

**Messungen und Resultate der Blitzforschung
der Jahre 1947...1954
auf dem Monte San Salvatore**

**Dispositifs de mesure et résultats
des recherches sur la foudre
des années 1947...1954
au Monte San Salvatore**

**Apparecchi di misura e risultati
delle ricerche sui fulmini
degli anni 1947...1954
sul Monte San Salvatore**

**Measuring Equipment and Results
of Lightning Research during 1947...1954
on Mount San Salvatore**

K. Berger
Professor der ETH, Versuchsleiter der FKH

Erweiterter Sonderabdruck
aus dem Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins,
Bd. 46(1955), Nr. 5 und 9
Seefeldstrasse 301, Zürich 8

1956

Druck: A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich

Vorwort

Das Problem des Blitzes hat die Menschen ohne Zweifel von jeher beschäftigt. Aus dem anfänglichen Gefühl der Angst und Beklemmung entsteht bald der Wunsch nach Schutz gegenüber dieser gewaltigen und rätselhaften Naturerscheinung. Erst für den Menschen des naturwissenschaftlichen Zeitalters erhebt sich neben dieser *Frage des Blitzschutzes* noch ein zweites Problem, nämlich jenes der *Ausnützung der Blitzenergie* in irgend einer Weise. Es ist bezeichnend für unser Zeitalter, dass Leute, die zum erstenmal von Blitzforschung reden hören, sich darunter fast immer dieses zweite Problem vorstellen. Einerseits tritt die Angst vor den Blitzwirkungen beim heutigen Menschen schon stark zurück, was wohl als Kompliment für den Erfolg des Blitzschutzes gelten darf, anderseits leben wir in einer Zeit, wo von Energiemengen viel geschrieben und gesprochen wird.

Es soll hier sofort vorweg genommen werden, dass sich die nachstehende Schrift ausschliesslich mit dem ersten Problem, d. h. mit dem Problem des Blitzvorgangs und des Blitzschutzes befasst. Der *Betrachtung der Blitzenergie* seien hier nur vorausgehend einige Überlegungen gewidmet, weil dieses Problem in Zeitungsspekulationen immer wieder auftaucht. Dies muss ja auch nicht verwundern, ist doch der Eindruck eines kräftigen Blitzschlages ein so gewaltiger, dass es mit Ausnahme grosser Explosionen wohl kaum eine eindrucksvollere Demonstration gibt für das, was sich der einfache Mann als «Energie» vorstellt. Aber so wenig, wie es sich einbürgern wird, mit Schwarzpulver oder modernen Explosivstoffen den Ofen zu heizen, so wenig scheint Aussicht vorhanden, die Blitzenergie technisch auszunützen.

In der Tat ist die auf eine längere Zeitspanne, z. B. ein Jahr verteilte Energiedichte der Blitze pro km² Erdoberfläche so klein, dass andere Energiequellen, z. B. die Sonnenstrahlung, sie um Grössenordnungen übertreffen. Auch die Windenergie verspricht aus diesem Grunde viel eher eine technische Ausnützung als die Blitzenergie. Wird bedacht, dass z. B. auf dem Monte San Salvatore, der sehr blitzgefährdet ist, jährlich in einen Auffangturm zwischen 10 und 40 Blitzeinschläge erfolgen, und wird pro Blitz eine mittlere Energie im Raum zwischen Wolken und Erde von einigen 100 kWh gerechnet, was nach heutigen Beobachtungen eher hoch gegriffen ist, so liessen sich an einem extrem günstigen Punkt somit jährlich höchstens 10 000 kWh aus der Atmosphäre entnehmen. Mit einem mittleren Sommerpreis elektrischer Energie «ab Kraftwerk» von 3 Rp./kWh, was schweizerischen Verhältnissen entsprechen dürfte, liesse sich jährlich pro Berggipfel bestenfalls ein Bruttobetrag von 300 Franken gewinnen. Wenn bedacht wird, dass diese Energie gespeichert werden müsste, da sie ganz plötzlich mit einer gewaltigen Leistung von maximal etwa einer Milliarde kW anfällt, um im allgemeinen nach Bruchteilen einer Sekunde wieder auf Null zu fallen, so leuchtet wohl ein, wie

wenig interessant die Ausnützung der Blitzenergie sein muss.

Nach dieser Bemerkung, mit der begründet werden sollte, warum die Ausnützung der Blitzenergie heute und wohl noch für sehr lange Zeit nicht in Frage kommt, sollen auch über das *Problem des Blitzschutzes* einige allgemeine Bemerkungen vorausgeschickt werden. Es scheint ziemlich ausgeschlossen, dass die antiken Völker, die Griechen, Römer und ihre Vorgänger sich gegen den Blitz zu schützen wussten. Die Überzeugung, dass der Blitz eine ähnliche Erscheinung ist wie der elektrische Funke, konnte wohl erst dann entstehen, als man sich mit elektrischen Funken näher beschäftigte. Dies war erst im Gefolge der Renaissance möglich, als der Mensch wagte, sich von den kirchlichen Dogmen über die Naturerscheinungen zu lösen und ungehemmt und objektiv zu beobachten, was die Natur offenbarte.

Die Erkenntnis oder besser die Überzeugung, dass der Blitz elektrischer Natur, und dass ein Blitzschutz auf einfache Weise möglich ist, wird allgemein *Benjamin Franklin* zugeschrieben, der im Jahre 1753 die berühmt gewordene Erklärung im «Poor Richards Almanac» abgab, die auf S. 6 reproduziert ist.

Die Erfindung Franklins löste eine Welle von Versuchen mit Blitzableitern in verschiedenen Ländern aus, die zum Teil auch zu Unfällen führten. In Europa setzte sich der Blitzableiter recht langsam durch. Die stärksten Antriebe lagen wohl in den von Zeit zu Zeit immer wieder entstandenen Explosionen von Pulvermagazinen ohne Blitzschutz, z. B. jener von Brescia 1769, bei der 3000 Personen den Tod gefunden haben sollen, oder eines Pulverturms der Stadt Breslau, wobei ein grosser Teil der Stadt zerstört worden sein soll, wovon eine Denkmünze aus dem Jahre 1749 zeugt.

Es ist deshalb nicht zu verwundern, dass in den meisten Kulturstaaen das Bedürfnis entstand, sich gegen den Blitz zu schützen. Zu diesem Zweck musste die Technik des Blitzschutzes studiert werden. Dies bedingte nun eigentlich eine genaue Kenntnis der Vorgänge beim Blitzeinschlag. Lediglich der ausserordentlich schwierigen Erforschung des Blitzes ist es zuzuschreiben, wenn sich dieser noch fast 200 Jahre lang der Enthüllung seiner Eigenschaften zu entziehen wusste.

Von den meisten Ländern wurden zunächst rein empirische Massregeln, wie die Blitzgefahr für Menschen und Tiere und Häuser zu bannen sei, herausgegeben. Die Berechtigung dieser Empfehlungen für den Blitzschutz basierten ausschliesslich auf den damit erzielten günstigen oder ungünstigen Wirkungen.

Erst seit ca. 1925 stellte die Technik Messmittel zur Verfügung, welche erlauben, so rasch ablaufende elektrische Vorgänge, wie sie der Blitz darstellt, in allen Einzelheiten zu verfolgen. In erster Linie ist dies noch heute der sog. Kathodenstrahl-

Oszillograph (KO), zu dem sich in der Folge noch weitere wertvolle Messmethoden gesellten¹⁾.

Ungefähr zur gleichen Zeit, wo die neuen Messmittel eine erfolgreiche Blitzforschung versprochen, entstand auch von einer andern Seite das Bedürfnis nach Blitzschutz, nämlich seitens der elektrischen *Energieübertragung über Hochspannungsleitungen*. Weitaus die meisten modernen Erkenntnisse der Blitzeigenschaften werden der Forschung verdankt, welche von dieser Seite, d. h. von der Seite der elektrischen Energieübertragung aus ausgelöst wurde. Dies gilt auch für die in dieser Broschüre beschriebenen Forschungsergebnisse. Heute sind die Schutzfragen, welche die Energieübertragung direkt betreffen, zum grossen Teil bereits beantwortet. Wenn die Blitzforschung weiter geht, so verfolgt sie heute vor allem einen weitem, doppelten Zweck, nämlich einmal jenen des allgemeinen und rationellen Blitzschutzes, insbesondere von Lebewesen und Gebäuden aller Art, ferner die Erkenntnis der Entstehung und der Eigenschaften langer elektrischer Funken, und die Frage, ob sich für die Blitzeinschlagstellen bestimmte Bodenmerkmale angeben lassen.

Es besteht eine ausserordentlich breite *Literatur über Blitzforschung*. Diese Aufsätze sind weniger für die Allgemeinheit als für Spezialisten bestimmt, welche selber am Problem weiter arbeiten. Dagegen soll zum Schluss auf die wichtigste heutige Literatur über *Blitzschutz* hingewiesen werden, weil diese wohl allgemeines Interesse hat. Zu erwähnen sind vor allem die amerikanischen, englischen, deutschen und schweizerischen Regeln für den Blitzschutz (siehe S. 6). Diese Regeln enthalten die Anleitungen, wie Blitzableiter in den betreffenden Ländern gebaut werden sollen. Da die Blitze in den verschiedenen Ländern sich nicht wesentlich voneinander unterscheiden dürften, spiegeln die verschiedenen Landesregeln vor allem die Schwierigkeiten, die als wesentlich empfunden wurden. Die Regeln betreffen den Schutz üblicher, wie auch einiger spezieller Bauwerke, wie Kirchen, Türme, hohe Schornsteine, feuer- und explosionsgefährdete Bauten, Pulverfabriken, Öltanks usw.

In der Schweiz bestimmen die kantonalen Feuerversicherungsanstalten, ob und wie weit Gebäude gegen den Blitz zu schützen sind. Wo ein Schutz von diesen Anstalten verlangt wird, bestimmen diese in der Regel, dass der Schutz nach den Leitsätzen des SEV [4]²⁾ ausgeführt werden muss. Wenige Kantone verlangen noch etwas weitergehenden Schutz; es ist dies eine Frage des Ermessens, die stark von wirtschaftlichen Erwägungen geleitet wird. Grundsätzlich soll der Schutz ja nicht mehr kosten, als der damit verhütbare Schaden.

Die in den Leitsätzen enthaltenen technischen Ausführungsbestimmungen für Blitzableiter richten sich in der Schweiz an die Spengler und Dachdecker, die sich in Ermangelung eines besondern Blitzableiterbauberufes mit der Erstellung der Blitzableiter befassen. Die betreffenden Spengler werden in den meisten Kantonen in besondern, von

den Feuerversicherungsgesellschaften organisierten Kursen instruiert. Die Überwachung der Ausführung und des guten Zustands der Blitzableiter geschieht durch die sog. Blitzableiter-Aufseher, welche ebenfalls den Feuerversicherungsgesellschaften unterstehen.

Es ist sehr lehrreich, die Entwicklung der verschiedenen Blitzschutzregeln in technischer Hinsicht zu verfolgen. Während Franklin sich damit begnügte, eine Eisenstange auf das Dach eines Gebäudes zu setzen, die mit einem dicken Draht mit dem feuchten Boden verbunden war, befassen sich die heutigen Regeln hauptsächlich mit zwei wichtigen Punkten, nämlich mit der Rolle allfälliger grösserer *Metallmassen im Gebäude* und mit der *Erdung*. Demgegenüber ist die Blitzauffangstange ihrer Grösse und Bedeutung nach immer kleiner geworden. Während der einfache Blitzableiter nach Franklin auch heute noch ein Gebäude gegen die Zündung durch den Blitz zu schützen vermag, wenn es keine andern leitenden Teile (Wasser- und elektrische Leitungen, Heizungen usw.) enthält, entsteht eine grundsätzliche Frage, ob grössere innere Metallmassen mit dem Blitzableiter zu verbinden seien oder nicht. Mit der Verbindung z. B. des Überlaufrohres einer Zentralheizung über dem Dach leitet man beim Blitzeinschlag bewusst einen Teilstrom des Blitzes durch das Gebäude hindurch. Es ist menschlich verständlich, dass dagegen beim einfachen Bürger eine gewisse Scheu besteht, möchte er doch den Blitz möglichst sich vom Leibe fernhalten.

Überlegt man anderseits, dass die Gefahr für Lebewesen und die Gefahr der Funkenbildung und somit Entzündung nur in *Spannungsdifferenzen* liegt, so ist nicht zu bezweifeln, dass grundsätzlich der beste Schutz in der möglichst weitgehenden und vollständigen Verbindung aller leitenden Teile miteinander liegen muss. Der physikalische Grenzfall des unendlich guten Schutzes ist dementsprechend der sog. *Faradaykäfig*, d. h. eine lückenlose, elektrisch gutleitende Umhüllung des Gebäudes. Nach physikalischen Grundgesetzen, die sich auf die mannigfaltigste Weise immer wieder als richtig erweisen, kann im Innern einer solchen Metallhülle überhaupt nie ein elektrisches oder magnetisches Feld von aussen her erzeugt werden. D. h., es gibt dort zwischen irgendwelchen innern Punkten nie eine Spannungsdifferenz; der Schutz ist hundertprozentig. Praktisch wird es in den seltensten Fällen möglich sein, einen solchen Faradaykäfig zu realisieren. Man kann sich aber dem Ideal beträchtlich nähern, z. B. in Stahlskelettbauten oder schon bei Eisenbetonbauten mit feinmaschiger Armierung. Im ca. 400 m hohen Empire State Building in New York sind z. B. in drei Jahren 68 Blitzeinschläge nachgewiesen worden, ohne dass dabei der geringste Blitzschaden entstand.

Es ist nun gerade die Aufgabe der modernen Blitzforschung, durch genaue Kenntnis des Blitzstromverlaufs vorausbestimmen zu können, wie «feinmaschig» die Ableitung des Blitzstromes erfolgen muss, damit in einem gegebenen Fall, sei es nun Wohnhaus oder Pulverfabrik, kein Schaden

¹⁾ z. B. die Boys-Kamera, siehe Beispiel S. 41, Fig. 32.

²⁾ siehe Literaturverzeichnis auf S. 6.

entstehen kann. Denn sobald der zeitliche Blitzstromverlauf bekannt ist, lassen sich die Spannungsunterschiede zwischen beliebigen Punkten eines Leitersystems im Gebäude bestimmen, wenn der Blitz dieses durchfließt. Während bei sehr hohen Objekten, Türmen usw. dem wellenartigen Charakter der Blitzstromableitung Rechnung getragen werden muss, genügt im Fall des üblichen niedern Gebäudes die Rechnung auf quasistationärer Basis auf Grund vor allem der induktiven Spannungsabfälle. Es besteht gar kein Zweifel, dass diese Rechnung eine zuverlässige Bestimmung aller Spannungsdifferenzen erlaubt. Sie lässt sich überdies in begrenztem Umfang durch Versuche mit sog. Stoss-Generatoren nachprüfen und scheint alle rechnerischen Überlegungen zu bestätigen. Diese Spannungsdifferenzen sind aber das Entscheidende für die Blitzgefährdung von Personen und Sachen. Für Personen entsteht beim Berühren zweier zugleich erfassbarer Leiterpunkte ein Stromdurchgang durch den Körper, während die Brandgefahr in Gebäuden auf den Funken beruht, die zwischen Leiterpunkten entstehen können, die sich nah beisammen befinden und genügend Spannung gegeneinander aufweisen.

Somit ist es möglich, bei genügend sicherem statistischem Messmaterial über den Verlauf des Blitzstromes Blitzableiter unter gegebenen Umständen (Abstände von andern Metallmassen usw.) ebenso sicher zu rechnen, wie man heute elektrische Maschinen jeder Grösse berechnet. Wenn von statistischem Material gesprochen wird, so soll dies bedeuten, dass es eben, wie die nachstehenden Messungen zeigen, ganz ausserordentlich verschiedene Blitze gibt. Es geht nicht nur darum, den in einer langen Beobachtungsperiode feststellbaren «schwersten» Blitz zu finden, sondern sozusagen für jeden Blitztypus die Häufigkeit seines Vorkommens zu kennen, um damit die Gefahr zahlenmässig beurteilen zu können. Ansätze für eine solche Berechnungsweise finden sich in den z. Z. modernsten Regeln, die nach dem Krieg in Deutschland ausgearbeitet wurden [3]²⁾. Es wird dort bestimmt, wie nahe ein nicht blitzstromführender Leiter sich einem Blitzableiterdraht nähern darf, wenn die Länge dieses Drahtes bis zur «Erdung» gegeben ist. Als Resultat wird ein Verhältnis von kritischem Abstand zu Länge von 1 : 10 genannt. Das heisst, kommt der fremde Leiter näher, so ist er mit dem Blitzableiter

zu verbinden. Ist er weiter entfernt, so soll keine Funkengefahr bestehen. Diese Rechnungsweise berücksichtigt den wichtigsten Teil der Spannungsabfälle, nämlich den induktiven Abfall auf den Ableitungsdrähten.

Die *Erdung* eines blitzgefährdeten Objektes bestimmt, wie hoch seine Spannung oder sein Potential als Ganzes genommen steigt. Dieses Potential ist von primärer Bedeutung dort, wo fremde Leiter in das Gebäude greifen, die nicht direkt mit dem Blitzableiter verbunden werden können, z. B. elektrische Leitungen.

Auf die Ausbildung einer guten Erdung, vor allem auf den Einbezug einer allfälligen Wasserleitung wird mit Recht grösster Wert gelegt. Es muss nach heutiger Erkenntnis als schwerer Fehler betrachtet werden, wenn in einem Wohngebäude mit Wasserleitung die Blitzerdung nicht an diese verbunden ist.

Dagegen gibt es gerade in unsern Bergen viele Fälle, wo von einer «Erdung» im eigentlichen Sinn des Wortes, d. h. auf gutleitende Verbindung mit der leitenden Erde, nicht gesprochen werden kann. Das Prinzip des Faradaykäfigs weist den Weg, wie solche Objekte trotzdem und sogar sehr gut gegen Blitzschäden geschützt werden können, selbst auf einem unendlich grossen «Erdungswiderstand». Führen jedoch z. B. elektrische Leitungen in ein solches Objekt, so ist der Zusammenschluss unter Verwendung von Ableitern unumgänglich. Als typisches Beispiel hierzu mag gerade die Meßstation auf dem Monte San Salvatore gelten, die trotz Verlegung von ca. 400 m Erdungsdraht einen «Erdungswiderstand» von 17...37 Ω aufweist. Durch den lückenlosen Zusammenschluss aller leitenden Teile mit Ausbildung eines geschlossenen Faradaykäfigs unter Einbezug der elektrischen Zuleitungen über Ableiter ist es möglich, die Station aus dem Niederspannungsnetz von Lugano selbst im Moment von Blitzeinschlägen störungslos zu speisen. Über den speisenden Niederspannungsleitungen fliesst in solchen Momenten ein Anteil des Blitzstromes ab, und es muss darauf in der Talstation Rücksicht genommen werden. Dieses extreme Beispiel zeigt, dass ein Blitzschutz selbst in sehr extremen Fällen durchaus möglich ist, sofern die Grundlagen für die Bemessung des Schutzes vorhanden sind. Die Sicherung solcher breiter Grundlagen bildet den Zweck der heutigen Blitzforschung.

²⁾ siehe Literaturverzeichnis auf S. 6.

Préface

Le problème de la foudre a de tous temps préoccupé l'humanité. Au début, ce terrible et incompréhensible phénomène remplit les hommes de crainte et d'effroi; puis, le besoin de se protéger contre ses effets destructeurs se fit sentir; à notre époque du triomphe de la science enfin, se pose, outre la question de la protection, celle de *l'utilisation de l'énergie développée par la foudre*. Or, si l'on considère le nombre de coups de foudre qui tombent annuellement sur une surface donnée, par exemple sur 1 km², ou sur une montagne déterminée, on s'aperçoit que l'énergie développée est très faible. Dans le cas très favorable du mont San Salvatore, où tombent annuellement 30 coups de foudre environ, on obtient, en admettant une teneur de 300 kWh par coup de foudre, une quantité annuelle d'énergie représentant — au prix moyen suisse de 3 ct. par kWh à l'usine — la somme dérisoire d'environ 300 fr.! Ce résultat, si décevant qu'il soit, est encore aggravé si l'on considère qu'un coup de foudre développe une puissance atteignant environ un milliard de kW au maximum, mais retombant à zéro au bout d'une fraction de seconde déjà. Comment emmagasiner une telle énergie? Même si l'on arrivait à résoudre ce problème, les quelques milliers de kWh obtenus pour chaque sommet de montagne n'auraient aucun intérêt pratique.

Il est très peu probable que les peuples anciens — les Romains, les Grecs et leurs prédécesseurs — aient su *se protéger contre la foudre*. Mais avec les progrès de la science, en particulier de l'étude de l'électricité, la conviction que la foudre était analogue aux décharges électriques se fit de plus en plus vive. Ceci se passait à l'époque de la Renaissance, où l'homme, s'étant libéré des contraintes des dogmes de l'église médiévale sur les phénomènes naturels, se mit à observer et à étudier objectivement ce que la nature lui révélait. *Benjamin Franklin* fut le premier à se convaincre que la foudre est, par sa nature même, un phénomène électrique, et qu'il était facile de se protéger contre ses effets; c'est en 1753 que parut sa fameuse déclaration ¹⁾.

Aussitôt après cette publication, des essais furent entrepris dans divers pays, au cours desquels d'ailleurs quelques accidents survinrent. En Europe, le paratonnerre ne se répandit que très lentement. Ce furent les explosions de poudrières — comme par exemple celle de Brescia en 1769, qui fit près de 3000 victimes — qui provoquèrent une forte impulsion en faveur des paratonnerres.

On ne doit donc pas s'étonner si, dans les pays civilisés, la nécessité d'une protection se fit de plus en plus sentir. Les progrès de la technique des paratonnerres supposaient toutefois une connaissance exacte du phénomène de la foudre; or, durant en-

viron 200 ans, la foudre se déroba à toute investigation. On se contenta de publier dans différents pays des directives plus ou moins empiriques.

Ce fut vers 1925 seulement que l'on parvint à construire des appareils aptes à suivre les phénomènes électriques rapides jusque dans leurs détails ²⁾. En première ligne il faut mentionner l'oscillographe à rayons cathodiques, auquel vinrent bientôt se joindre d'autres méthodes de mesure. Presqu'en même temps, le développement des lignes de transport d'énergie électrique à haute tension, qui exigeaient impérieusement une protection contre la foudre, donna une forte impulsion aux recherches. On put ainsi établir des règles bien fondées au sujet des dispositions à adopter pour obtenir une bonne protection des lignes électriques. Si l'on poursuit les essais, c'est dans le but d'étendre les résultats, et d'obtenir également une protection rationnelle pour les êtres vivants et pour les constructions de toutes sortes.

De nombreux travaux ont paru sur les recherches concernant la foudre. Ils intéressent toutefois surtout les spécialistes en la matière. Par contre, nous donnons ici un index des règles sur la protection contre les effets de la foudre, pensant qu'elles sont d'un intérêt plus général ³⁾.

En Suisse, ce sont les compagnies d'assurance contre les incendies qui décident si et dans quelle mesure un bâtiment doit être protégé contre la foudre. En général, elles s'en tiennent aux directives publiées par l'ASE sur la construction des paratonnerres, et ce n'est que rarement qu'elles exigent des constructions plus perfectionnées. Les règles techniques sur les installations de paratonnerres intéressent spécialement les ferblantiers et les charpentiers; en effet, ce sont eux — comme il n'existe pas d'ouvriers spécialisés dans ce domaine — qui établissent les installations de paratonnerres. Ils sont instruits dans ce métier par les compagnies d'assurance elles-mêmes. Dans certains cantons, il existe des contrôleurs de paratonnerres, dépendant également des dites compagnies d'assurance contre les incendies.

Les directives suisses sur ces installations traitent notamment du rôle des masses métalliques situées à l'intérieur des immeubles et de leur bonne connexion à la terre. En substance, elles préconisent de relier toutes ces masses entre elles, afin d'empêcher la formation de différences de potentiel de l'une à l'autre. Les installations du mont San Salvatore obéissent à cette règle; elles déchargent vers la terre tous les coups de foudre qu'elles captent, sans aucun risque pour la station d'essai ni pour le réseau de distribution d'énergie électrique qui l'alimente.

²⁾ voir p. 41 un exemple d'une photographie montrant la formation du canal de la foudre.

³⁾ voir p. 6.

¹⁾ voir p. 6.

Prefazione

Il problema del fulmine ha sempre preoccupato l'umanità ed infuse fra gli uomini, già dai tempi remoti, un senso di paura e d'ansietà. Si fece quindi sentire il bisogno di proteggersi contro gli effetti di questo grandioso e misterioso fenomeno naturale. Nel nostro secolo dove la scienza è più diffusa, oltre che alla questione della protezione si pone anche quella dell'*utilizzazione dell'energia sviluppata dai fulmini*. Se si considera però il numero dei fulmini che cadono sopra una superficie terrestre di un km² in un anno, l'energia sviluppata sulla zona risulta ancora più piccola di quella ottenuta per i fulmini che cadono su una determinata montagna. Prendendo questa possibilità come base, si arriva, per il caso molto favorevole del monte San Salvatore, con una frequenza di ca. 30 fulmini all'anno, tenendo conto di un'energia media di ca. 300 kWh per fulmine e del prezzo medio svizzero per kwh di ca. 3 cts., alla somma irrisoria de 300 fr. annui, per i pochi migliaia de kWh sviluppati. Si comprende meglio il risultato sconcertante ottenuto, se si considera che il colpo di fulmine sviluppa solo durante pochi milionesimi di secondo, una potenza pari a ca. un miliardo di kWh. Quest'energia scende poi rapidamente fino a zero, dopo solo alcune frazioni di secondo. Come immagazzinare tale energia? Anche se si arrivasse a risolvere il problema, le poche migliaia di kWh ottenute per ogni sommità de montagna, non si dimostrano interessanti.

Invece, per ciò che riguarda la *protezione contro i fulmini*, possiamo asserire che risulta escluso che i popoli antichi, i Romani ed i Greci per es.^o ed i loro antecessori, sapevano proteggersi contro gli effetti del fulmine. Man mano che la scienza progrediva, e che gli scienziati indagarono più da vicino l'elettricità e le connesse scariche elettriche, si fece più viva la convinzione che il fulmine era paragonabile alle scintille elettriche. Questo accadeva nel rinascimento, all'epoca cioè in cui l'uomo, liberatosi dai dogmi della chiesa sui fenomeni naturali, passò ad osservare ed a studiare indipendentemente ciò che effettivamente la natura rivelava, ricercando cause ed effetti, libero da freni od ostacoli. *Beniamino Franklin* fu il primo a convincersi che il fulmine è, per la sua natura stessa, un fenomeno elettrico, e che era possibile di proteggersi contro lo stesso, pubblicando nell'almanacco «Poor Richards» del 1753, la sua famosa dichiarazione¹⁾.

Subito dopo la dichiarazione del Franklin, molte prove se fecero in diversi paesi, prove coronate da successi ed insuccessi, che non mancarono di provocare anche infortuni. In Europa il parafulmine si fece strada a stento. Furono le esplosioni di polveriere, come per es.^o quella di Brescia del 1769 che fece, si afferma, ca. 3000 vittime; a dare una spinta di grande portata in favore dei parafulmini.

Non ci si deve quindi meravigliare, se, nei paesi progrediti la necessità di una protezione si fece mag-

giormente sentire. Per questo occorre conoscere ciò che avviene nelle scariche elettriche, ma per ben ca. 200 anni il fulmine si derubò ad ogni investigazione.

In diversi paesi si pubblicarono direttive sulla protezione, più o meno empiriche, applicabili ad uomini o cose.

Solo nell'anno 1925 la tecnica costruì degli apparecchi che permisero di seguire i fenomeni fin nei loro dettagli²⁾. In prima linea si deve menzionare l'oscillografo a raggi catodici al quale si aggiunsero poi altri metodi di misure. Fu in primo luogo la necessità di proteggere le linee elettriche per la trasmissione dell'energia a distanza, che diede incremento alle ricerche ed alle misure, l'oscillografo fu per queste ricerche di grande aiuto. L'apparecchio registra l'andamento della tensione, il suo variare entro milionesimi di secondo, la ripidezza del fronte, l'intensità delle scariche, le polarità dei fulmini, ecc.³⁾. Si poterono nel seguito stabilire le regole e gli accorgimenti per un'ottima protezione delle linee elettriche di trasmissione dell'energia a distanza. Se gli investigazioni continuano tutt'oggi, è per ottenere pure dei risultati soddisfacenti per la protezione di essere viventi e per i fabbricati di ogni genere.

Sulle indagini dei fulmini vennero pubblicati molteplici scritti. Queste trattazioni interessano però solo gli specialisti in materia. Per contro pubblichiamo un'indice riguardante i trattati sulla protezione contro gli effetti dei fulmini, ritenendo che questi siano di maggior interesse³⁾.

Nella Svizzera, sono le ditte di assicurazione contro gli incendi che decidono come e quando un edificio deve essere protetto contro i fulmini. Di regola fanno stato le direttive pubblicate dall'ASE sulla costruzione dei parafulmini; raramente le assicuratrici richiedono speciali esecuzioni, e ciò in casi molto particolari inerenti le questioni economiche. Le regole tecniche sugli impianti dei parafulmini interessano specialmente i lattonieri ed i carpentieri i quali stabiliscono, in mancanza di operai specializzati, gli impianti di parafulmini. Essi sono istruiti con appositi corsi, dalle suddette società di assicurazione contro gli incendi. In certi cantoni esistono anche controllori di parafulmini, diretti dalle suddette società.

Le direttive svizzere per gli impianti di parafulmini si imperniano specialmente sulla presenza di masse metalliche nell'interno dei fabbricati e sulla loro buona connessione colla terra. Propongono in generale un loro collegamento generale onde evitare la formazione di differenze di potenziali fra masse metalliche. L'impianto sul monte San Salvatore obbedisce a questa regola, e scarica verso la terra, tutte le folgori che riceve senza rischi per la zona e per la rete di alimentazione con energia elettrica alla quale esso è collegato, e che distribuisce pure energia in impianti interni.

²⁾ vedere pag. 41 per un esempio di una fotografia mostrante la formazione del canale di un fulmine.

³⁾ vedere pag. 6.

¹⁾ vedere pag. 6.

Foreword

Lightning has doubtless been a problem for Mankind through all ages. The initial impulse of fear is soon followed by the desire for protection from this mighty and mysterious force of Nature. It is improbable that the antique peoples, the Greeks, the Romans and their predecessors, knew how to protect themselves from lightning. The conviction that lightning is a related phenomenon to that of the electrical spark could arise only after the latter had been investigated in detail. This was the case in the period following the Renaissance, when so many dared for the first time to free themselves from the dogmatic teachings of the mediaeval Church on natural phenomena and began unhindered and objectively to examine what Nature disclosed.

The knowledge, or better, the conviction of the electrical nature of lightning and that lightning protection could be obtained through simple means is generally credited to *Benjamin Franklin*, who in 1753 gave the now famous statement on lightning protection in an almanac of that year (see reproduction below).

Franklin's invention started off in several countries a wave of experiments with lightning protectors — some of them even leading to accidents. In Europe the lightning protector found but slow recognition. The repeatedly occurring explosions in powder stores not provided with lightning protection, for instance the explosion in Brescia in 1769 in which 3000 persons are said to have found their death, drew renewed attention to the problem. It is therefore not surprising that many nations began the study of this problem. But lightning protection could not be effectively carried out without an exact knowledge of the mechanism of lightning strokes. However, because of the extraordinary difficulty of lightning research, nearly 200 years elapsed since Franklin's discovery before the properties of lightning were unveiled.

The lightning protection regulations of the different countries started off as purely empirically drawn up rules on measures to be taken to safeguard man, beast and building from lightning strokes. These recommendations on lightning protection measures were based solely on the favourable or unfavourable results obtained with them.

It is only since about 1925—1934, the period in which the cathode-ray oscillograph and the Boys high-speed recording camera were introduced, that research workers were provided with measuring means which enabled every detail of lightning strokes and other rapidly occurring electrical phenomena to be followed¹⁾. At about the same time as the introduction of the new measuring apparatus, the need for lightning protection arose in another sector: in the field of electrical power transmission, as a result of the introduction of high-voltage transmission. The greater part of all modern knowledge

of lightning properties is due to the research carried out in connection with high-voltage power transmission. This is also the case for the research results described in this booklet.

The problems of lightning protection which directly concern high-voltage transmission have, to a great extent, been solved. The reasons for the continued pursuit of lightning research are the following: the desire to provide a rational and generalized lightning protection for living beings and buildings of every kind; the knowledge of the occurrence and the properties of long electrical sparks; and, finally, the answer to the question whether the occurrence of lightning strokes can be assigned to specific properties of the ground or terrain.

The literature on *lightning research* is very comprehensive. The majority of this literature consists of articles addressed to specialists themselves working on the problem. Of general interest, however, is the modern literature on *lightning protection*. The following short list contains the official regulations on lightning protection of a few selected countries.

Bibliographie	Literatur Literature	Bibliografia
[1] Code for Protection against Lightning. Handbook 46, 1952. Ed. by USA-Dept. of Commerce, National Bureau of Standards. Washington: US Government Printing Office 1952.		
[2] BS CP 326.101: 1948 Protection of Structures against Lightning. London: British Standards Institution 1948.		
[3] Blitzschutz. Bearbeitet und hg. vom Ausschuss für Blitzableiterbau (ABB). 6. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn 1955.		
[4] SEV Publ. Nr. 113 d Leitsätze für Gebäudeblitzschutz. 2. Aufl. Zürich: Schweiz. Elektrotechn. Verein (SEV) 1954.		

Mayor's Courts for the City
ARE held quarterly at Annapolis, viz The last Tuesday in *January, April, July* and *October*.

How to secure Houses, &c. from LIGHTNING.

IT has pleased God in his Goodness to Mankind, at length to discover to them the Means of securing their Habitations and other Buildings from Mischief by Thunder and Lightning. The Method is this: Provide a small Iron Rod (it may be made of the Rod-iron used by the Nailers) but of such a Length, that one End being three or four Feet in the moist Ground, the other may be six or eight Feet above the highest Part of the Building. To the upper End of the Rod fasten about a Foot of Brass Wire, the Size of a common Knitting-needle, sharpened to a fine Point; the Rod may be secured to the House by a few small Staples. If the House or Barn be long, there may be a Rod and Point at each End, and a middling Wire along the Ridge from one to the other. A House thus furnished will not be damaged by Lightning, it being attracted by the Points, and passing thro the Metal into the Ground without hurting any Thing. Vessels also, having a sharp pointed Rod fix'd on the Top of their Masts, with a Wire from the Foot of the Rod reaching down, round one of the Shrouds, to the Water, will not be hurt by Lightning.

QUAKERS General Meetings are kept,
AT Philadelphia, the 3d Sunday in March. At Chester-River. the 2d Sunday in April. At Duck-Creek.

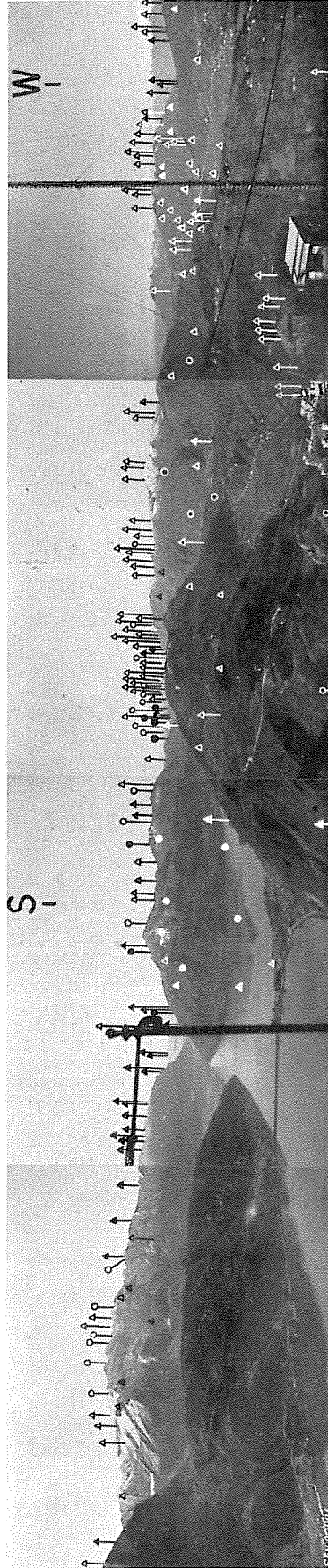
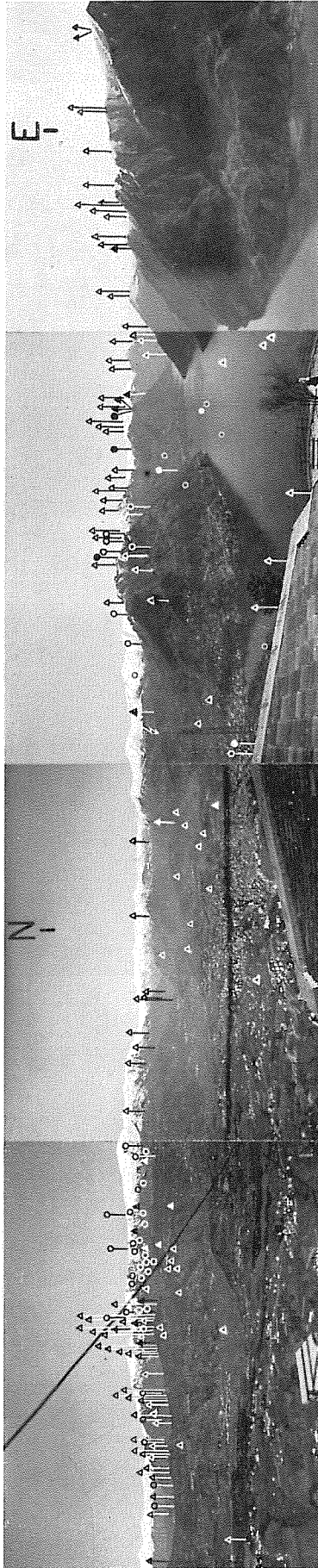
SEV 23995

Franklins Erklärung über den Blitzschutz
 Dichiarazione di Franklin Déclaration de Franklin
 sulla protezione contro sur la protection
 il fulmine contre la foudre

Franklin's statement on lightning protection

«Poor Richard's Almanac», 1753; B. F. J. Schonland: The Work of Benjamin Franklin on Thunderstorms and the Development of the Lightning Rod. Journal Franklin Institute Vol. 253(1952), No. 5, p. 386.

¹⁾ see p. 41 for an example of a photograph showing the formation of a lightning channel.



Panorama with lightning striking points

Panorama mit eingetragenen Blitzeinschlagstellen

Panorama coi punti di caduta dei fulmine

Panorama avec les points de chute de la foudre

- | | | |
|---|------|--|
| ● | 1951 | Einschlagstelle sichtbar
Point de chute visible
Punto visibile di caduta del fulmine
Striking point visible |
| ▲ | 1952 | |
| ○ | 1953 | |
| △ | 1954 | |
-
- | | | |
|---|------|--|
| ● | 1951 | Einschlagstelle nicht sichtbar
Point de chute invisible
Punto invisibile di caduta del fulmine
Striking point not visible |
| ▲ | 1952 | |
| ○ | 1953 | |
| △ | 1954 | |

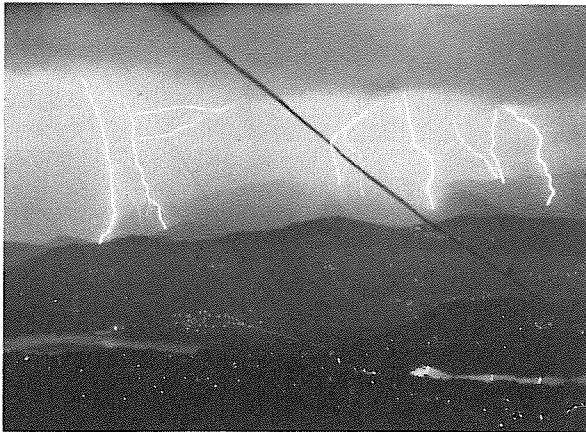
Tafel II

Charakteristische Blitzeinschläge

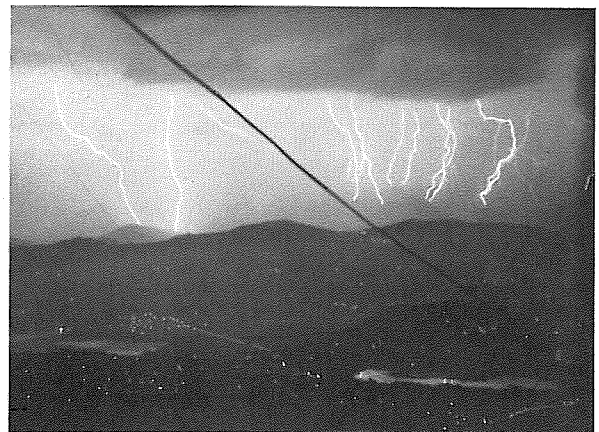
Photographies caractéristiques de la foudre

Fotografie caratteristiche del fulmine

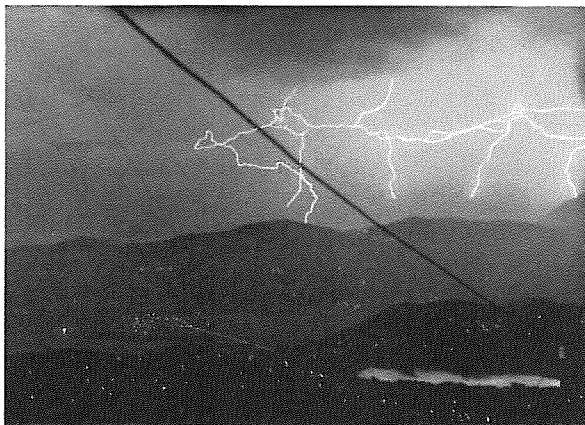
Typical photographs of lightning-strokes



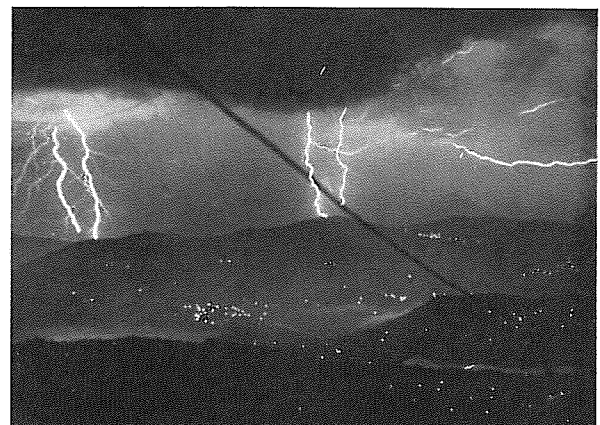
26.5.53. 20.51... 20.56 NW



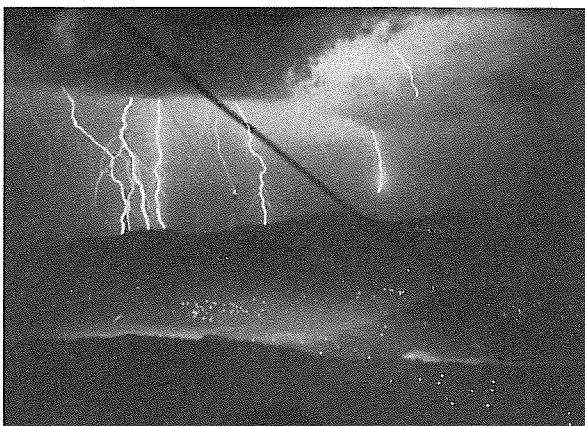
26.5.53. 20.56... 21.00 NW



26.5.53. 21.02... 21.06 NW



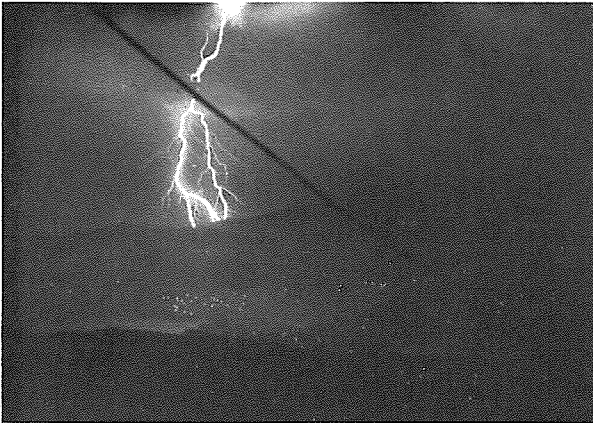
8.9.54. 01.03... 01.11 NW



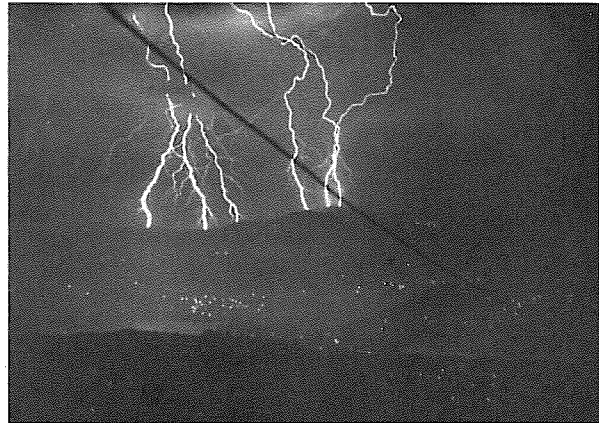
8.9.54. 01.14... 01.16 NW



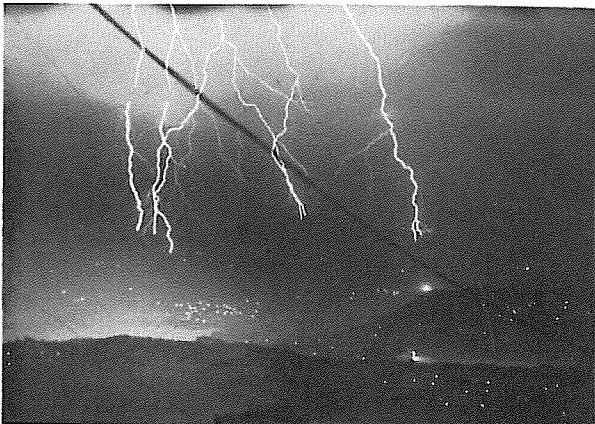
8.9.54. 01.16... 01.21 NW



8.9.54. 01.22... 01.23 NW



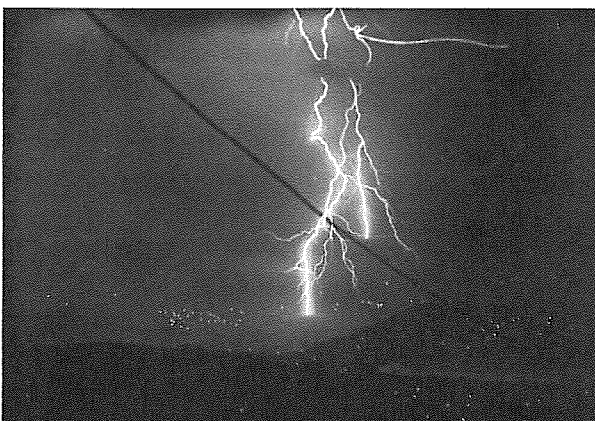
8.9.54. 01.23... 01.25 NW



8.9.54. 01.25... 01.27 NW



8.9.54. 01.27... 01.29 NW



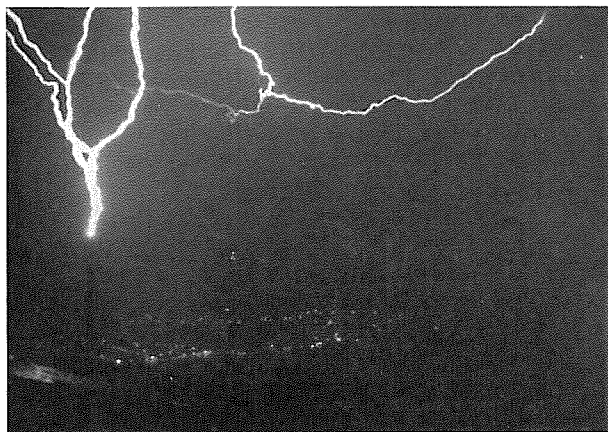
8.9.54. 01.29 ... 01.31 NW

SEY 23044

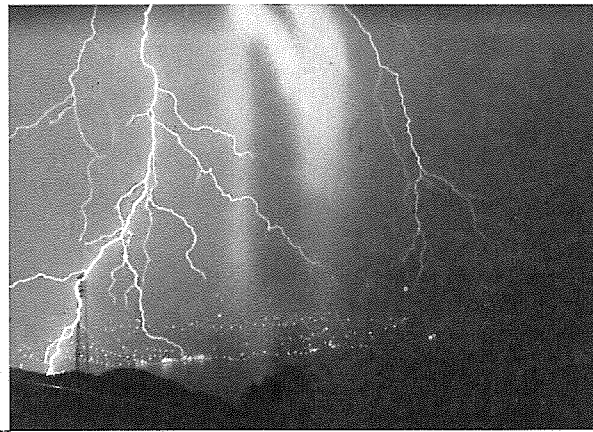


8.9.54. 01.31 ... 01.38 NW

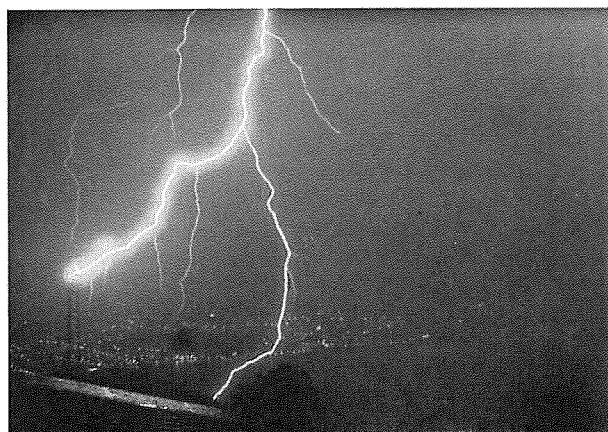
Tafel IV



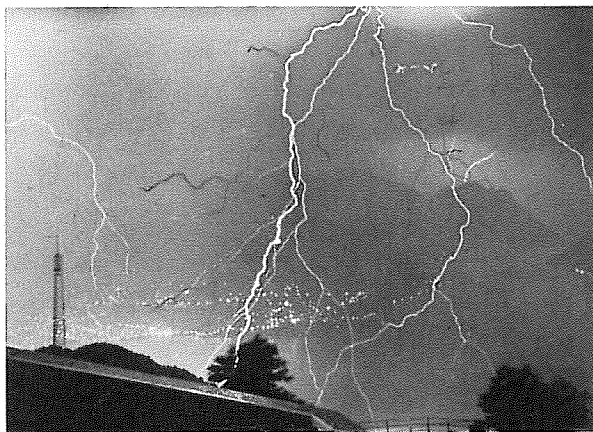
24.6.51 21.41... 21.51 NE



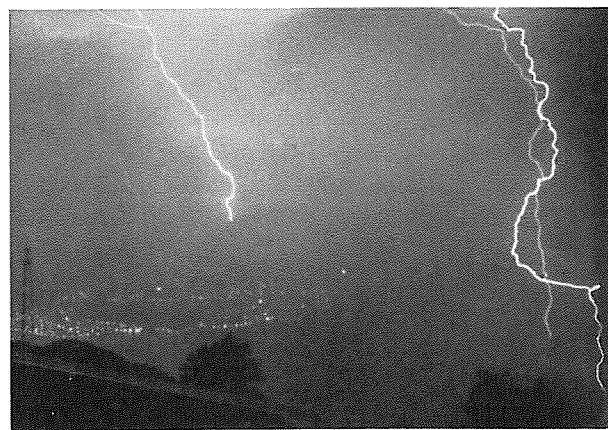
21.5.53 20.59... 21.01 NE



29.7.53 22.31... 22.45 NE



22.6.54 23.41... 23.54 NE

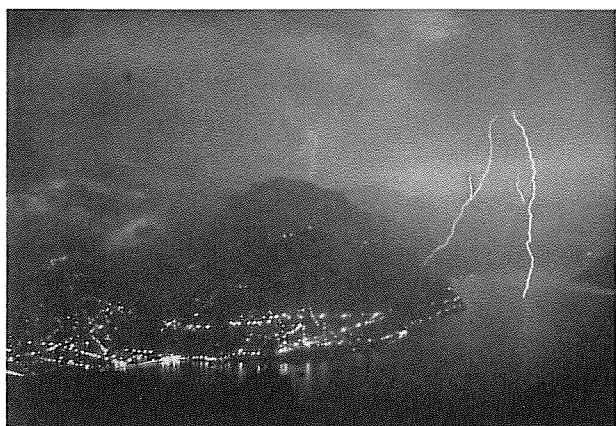


22/23.6.54 23.54... 0.06 NE

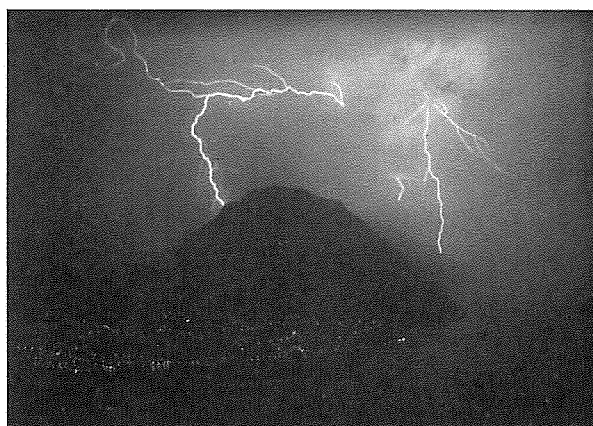
SEV 23 045



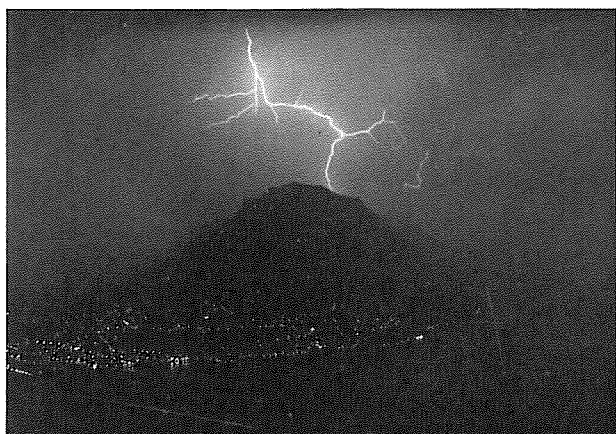
28.6.54 22.40... 22.45 NE



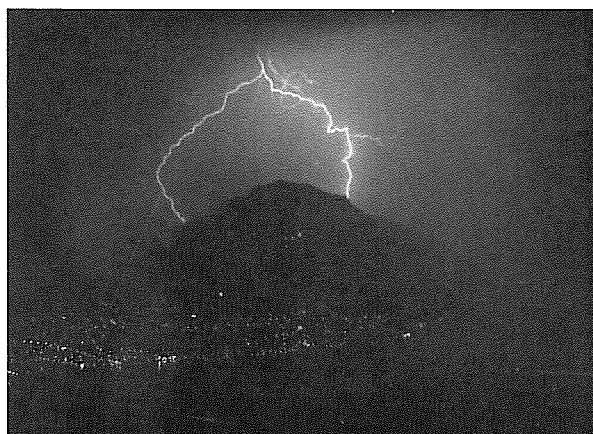
22./23.7.51. 23.28 ... 0.19 NE



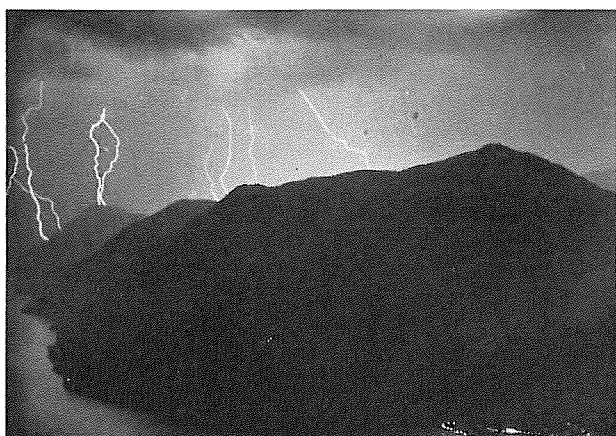
29.7.53. 22.52 ... 22.58 NE



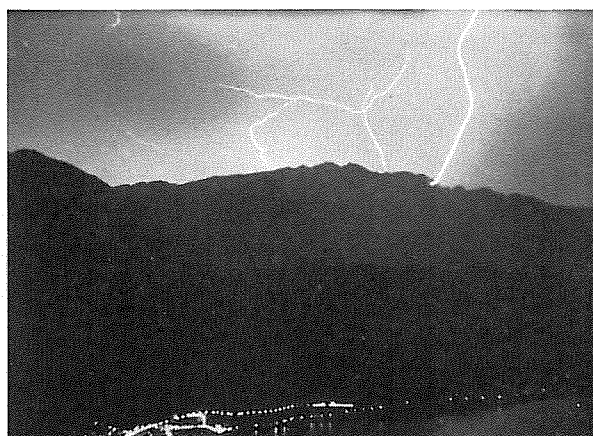
29.7.53. 22.58 ... 23.01 NE



29.7.53. 23.01 ... 23.02 NE



28.6.54. 23.44 ... 23.45 E
SEY 23046

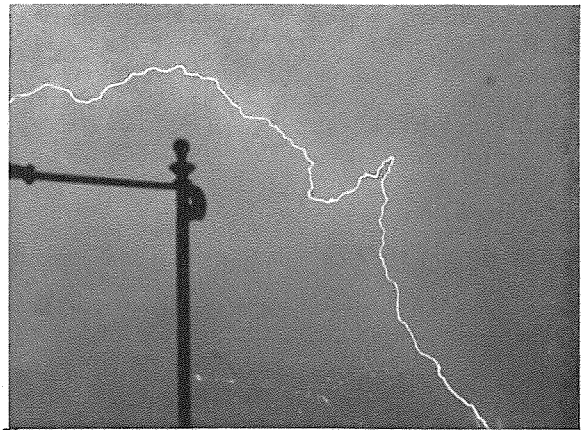


23.6.54. 0.36 ... 0.42 SE

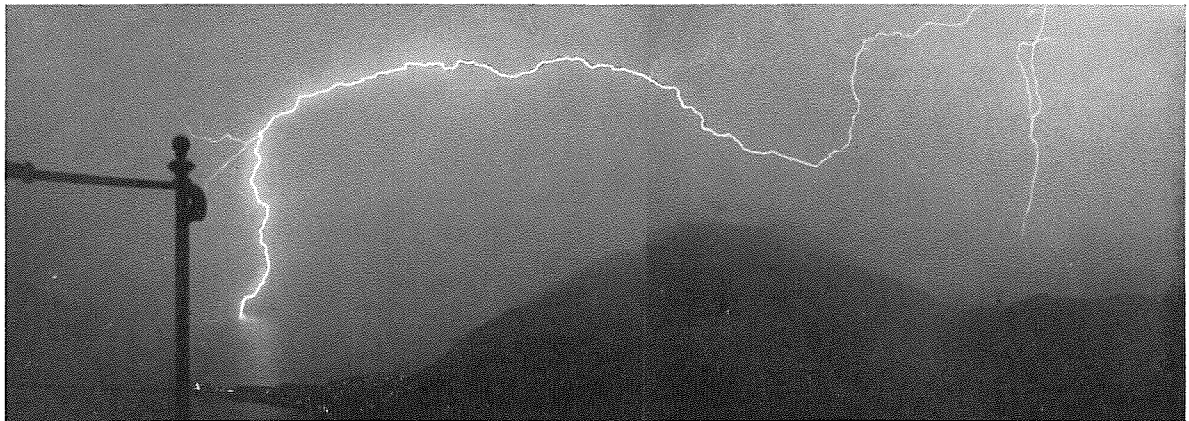
Tafel VI



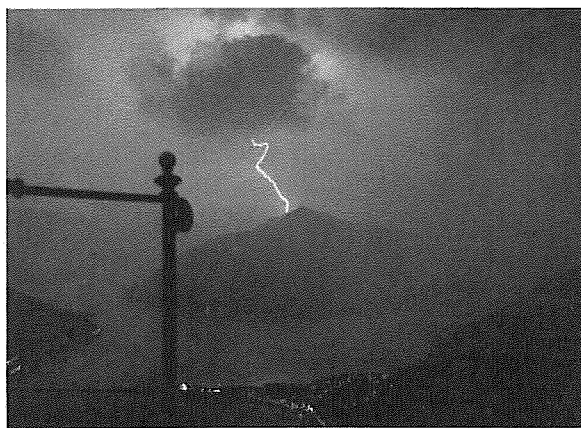
8.8.51. 0.34 ... 01.47 S



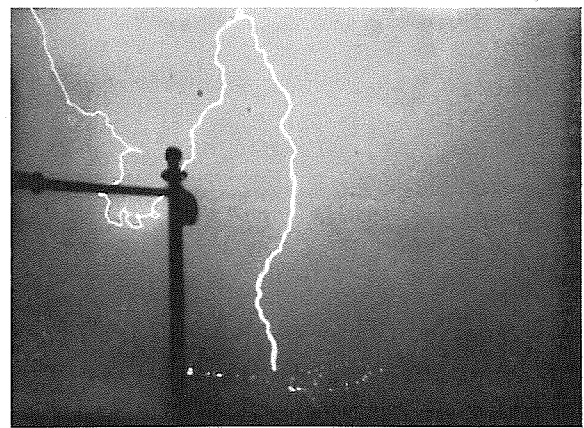
4.5.52. 20.44...20.53 S



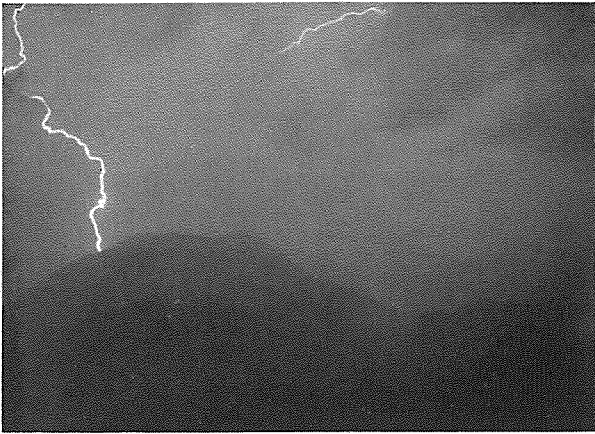
14.7.52. 21.56. .21.58 S



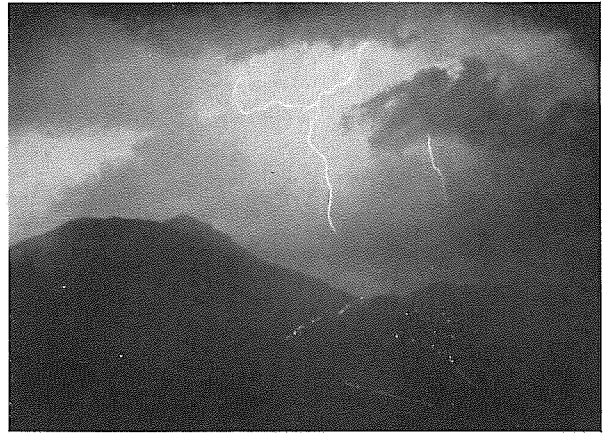
SEV23047 14 7.52. 21.11...21.17 S



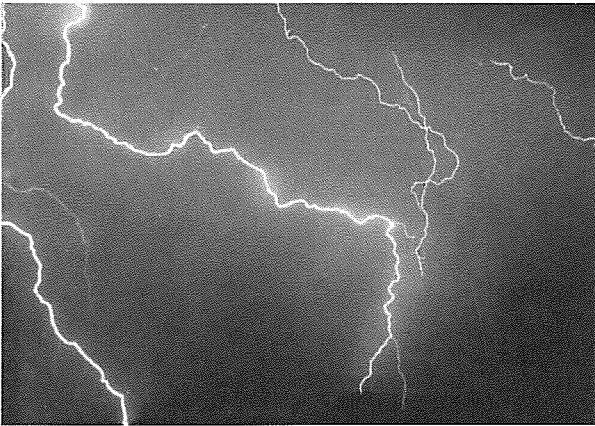
2 9.54 23.16 .. 23.26 S



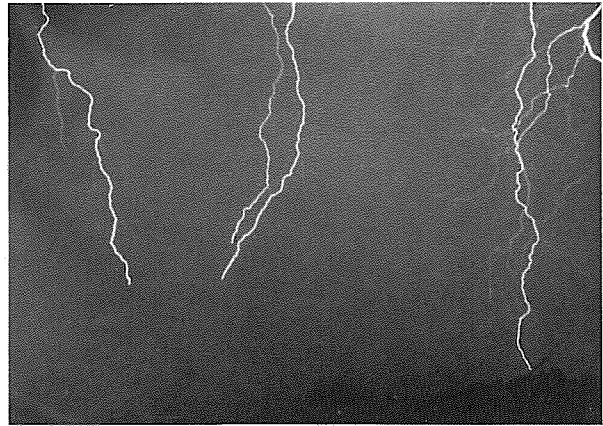
14.7.52. 21.47 ... 21.50 SW



22.6.53. 22.37...23.00 SW



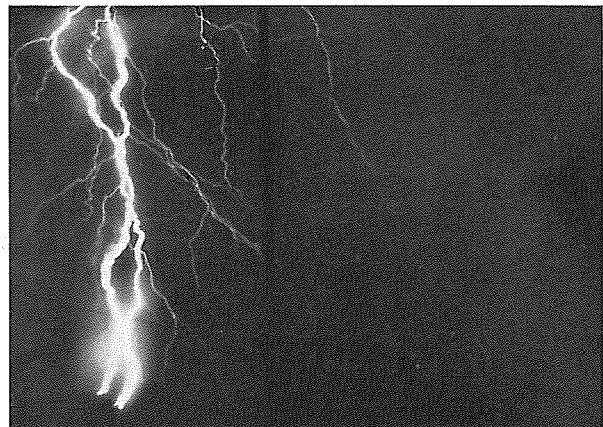
29.7.53. 22.15...22.40 SW



29.6.54. 0.15...0.18 SW

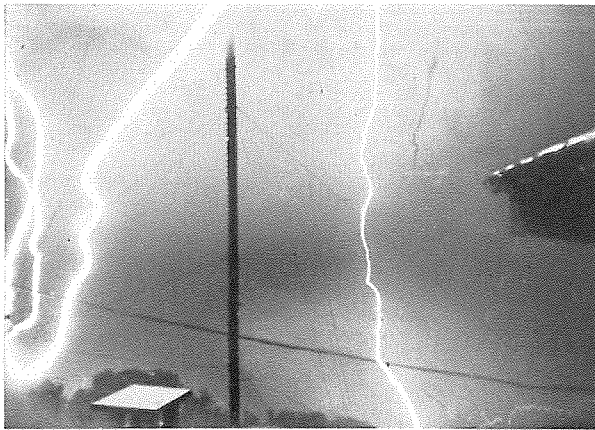


11.5.52. 22.35...22.48 W
SEV 23048



29.6.54. 0.11...0.16 W

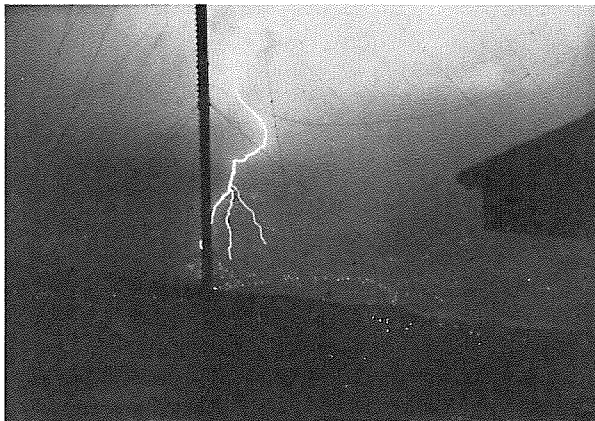
Tafel VIII



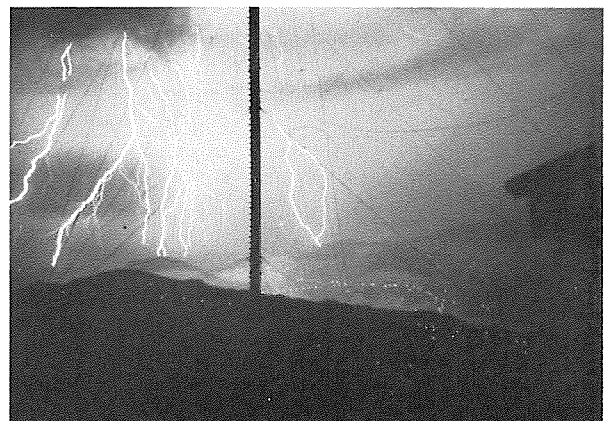
29.6.54. 0.19...0.23 W



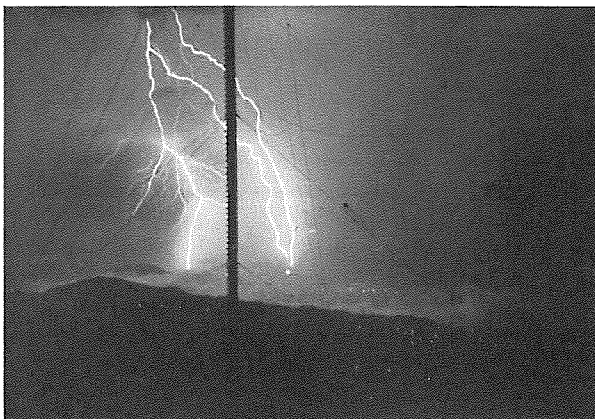
29.6.54. 0.23...0.29 W



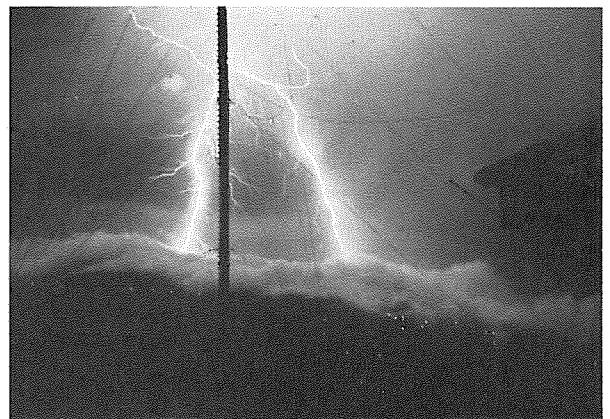
8.9.54. 01.26...01.33 W



8.9.54. 01.47...01.54 W



8.9.54. 01.54...01.57 W



8.9.54. 01.57...02.00 W

Die Messeinrichtungen für die Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore

Von K. Berger, Zürich

621.316.99 : 621.316.13

I. Ziel der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore

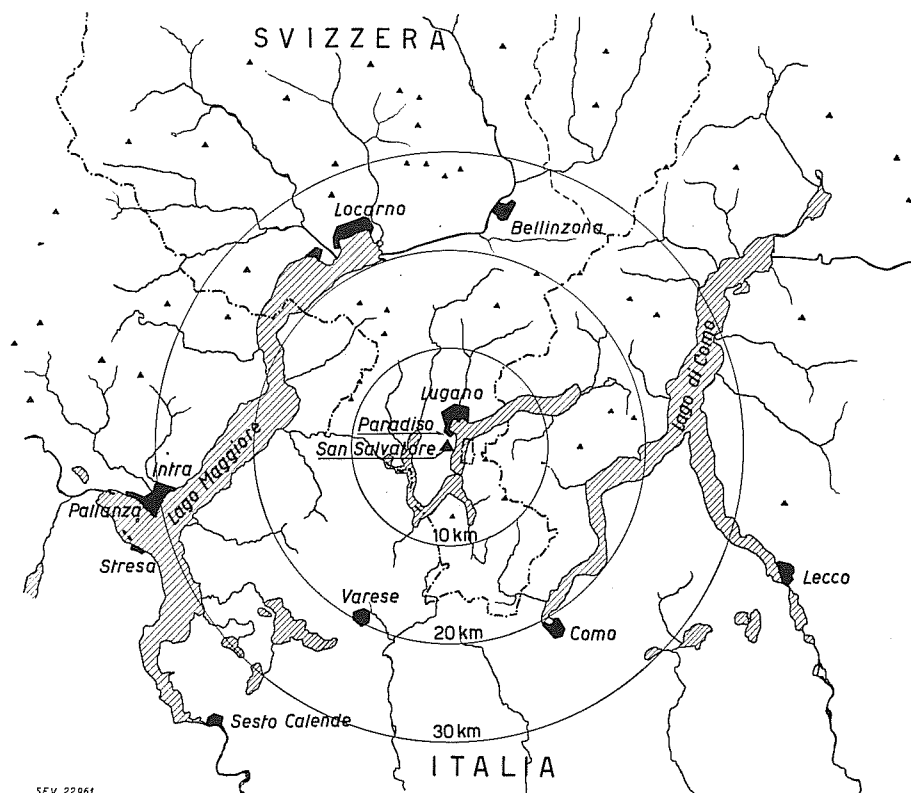
Die Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore ist aus den schweizerischen Überspannungsmessungen an Hochspannungsleitungen der Jahre 1928...1937 hervorgegangen, nachdem es sich dort gezeigt hatte, dass für Mittel- und Höchstspannungsleitungen nur der direkte Blitzeinschlag zu Störungen führen kann. Anfänglich handelte es sich in der Hauptsache darum, den Scheitelwert der Blitzströme und ihr Anstiegstempo (Steilheit) zu messen, um Erdungen und Ableitungen des Blitzstromes z. B. von Masten wirtschaftlich bemessen zu können. Die Kompliziertheit des Blitzstromverlaufes zeigte immer deutlicher, dass weitere Erkenntnisse des Blitzes nur durch gleichzeitige Beobachtung des Blitzes mit allen zur Verfügung stehenden physikalischen Mitteln, seien sie elektrischer, magnetischer oder optischer Art, gewonnen werden können [3]¹⁾.

ebenen und bergigen Gegenden. Als drittes Ziel soll die objektive Feststellung der Lage von Blitzeinschlagstellen erwähnt werden. Für diese zwei genannten Ziele eignet sich die Lage des Berges mit seiner prachtvollen Aussicht ganz hervorragend. Es braucht kaum gesagt zu werden, dass diese Grundlagenforschung die Basis bildet für jegliche Art von Blitzschutz, insbesondere jene von Gebäuden aller Art.

II. Messeinrichtungen

1. Blitzauffang-Türme

Wie im bereits erwähnten Bericht über die ersten Messresultate [2] ausgeführt ist, kann der zeitliche Verlauf des Blitzstromes mit den heute zur Verfügung stehenden Messmitteln nur am Ort des Blitzeinschlages in den Erdboden zuverlässig gemessen werden. Als Messpunkt wurde auf Grund mehrjähriger Vergleiche der Einschlaghäufigkeit



SEV 22961

Fig. 1

Geographische Karte des Monte San Salvatore mit Umgebung

▲ Berggipfel

So kann heute als Ziel der Blitzforschung auf dem San Salvatore die Erforschung des Blitzes unter den gegebenen geographischen und topographischen Verhältnissen des Tessins mit Hilfe möglichst aller zur Verfügung stehenden Messmittel bezeichnet werden.

Ein zweites, spezielles Ziel ist die Feststellung allfälliger Unterschiede im Verhalten der Blitze in

verschiedener Schweizer Berggipfel der Monte San Salvatore gewählt. Über seine geographische Lage orientiert die Karte der Fig. 1. Eine Ansicht des Berges von Lugano aus gibt Fig. 2.

Im Jahre 1943 wurde auf dem Berg ein *erster Blitzauffang-Turm* von 70 m Höhe aufgestellt (Fig. 3). Er besteht aus vielen mit Zwischenraum im Quadrat verschraubten Balken von total 60 m Höhe und einer aufgesetzten Stahlrohrspitze von

¹⁾ siehe Literatur am Schluss der Arbeit.

10 m. Dieser Turm ist in vier Richtungen durch Abspannungen gehalten, von denen jede aus einem 12 m langen Holzbalken besteht, an dem die Ankerseile abgespannt sind (Fig. 4). Dieser erste Blitz-auffang-Turm steht nahe beim Berggipfel, auf dem

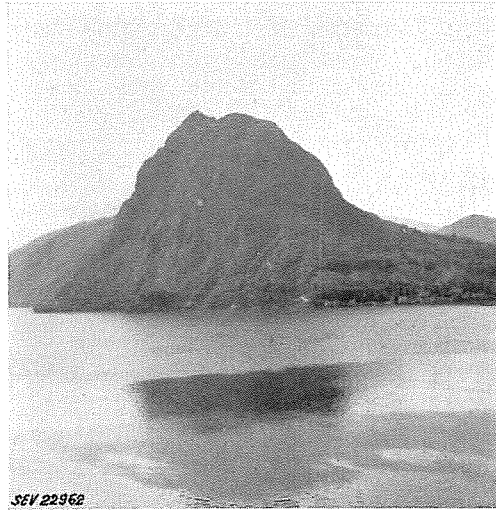


Fig. 2
Monte San Salvatore von Lugano aus

sich eine kleine Wallfahrtskirche befindet. Ein Grundriss ist in Fig. 5 gegeben. Die Abspannseile aus Stahl, sowie die Ableitungen aus Kupferdraht

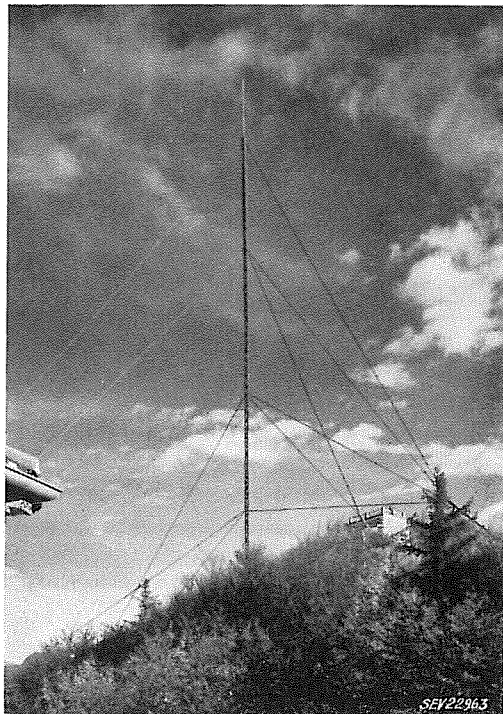


Fig. 3
Turm 1 vom Hotel aus

längs der vertikalen Balken des Turmes sind zu einem Blitzstrom-Shunt geführt, der sich seit 1947 beim Wasserreservoir nahe beim Messraumgebäude befindet; seine Lage ist ebenfalls aus dem Grundriss in Fig. 5 ersichtlich. Sein Vorgänger, der näher beim Gebäude montiert war, verbrannte im August

1946 anlässlich eines Gewitters. Von diesem Blitzstrom-Shunt, der aus zwei Widerstandsstufen besteht, führen verschiedene Messkabel zum Messraum, wo sich die oszillographische Messeinrichtung befindet.

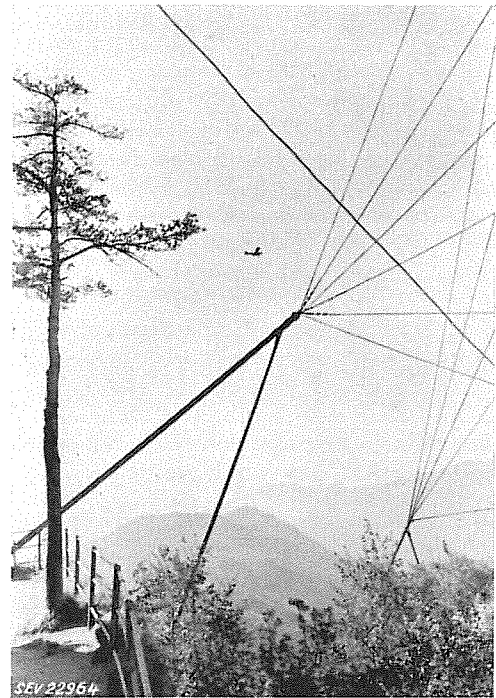


Fig. 4
Zwei der vier Abspannungen von Turm 1

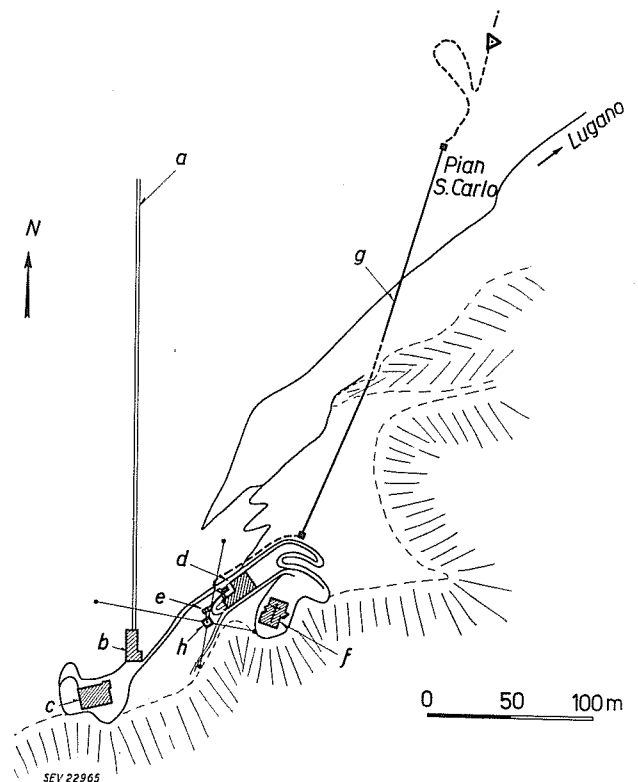


Fig. 5
Situationsplan der Installationen auf dem Monte San Salvatore mit Bezeichnung der Gebäude
a Seilbahn; b Seilbahnstation; c Hotel; d Messraum, Wohnung; e Shunt; f Kirche, 915 m ü. M.; g Freiluft-Messkabel; h Turm 1; i Turm 2

Seit dem Frühling 1950 steht ein *zweiter Blitzauf-fang-Turm* zur Verfügung, der auf einem Vor-gipfel «San Carlo» aufgestellt wurde, nachdem dort Einschläge photographisch festgestellt worden waren. Dieser Turm wurde bestellt, da Befürch-tungen bestanden wegen baldiger Fäulnis des Holzes des ersten Turmes. Glücklicherweise ergab die jähr-liche Untersuchung bisher noch keine unmittelbare Gefahr in dieser Beziehung, so dass seit 1950 die Blitz-einschläge in beide Türme erfasst werden können, womit sich die Basis der Messungen wesentlich ver-breitert hat. Fig. 6 zeigt den zweiten Turm. Er be-steht im Gegensatz zum ersten aus einer Stahlrohr-konstruktion mit dreieckigem Grundriss und ca. 6 m Seitenlänge, und einer von dieser Eisenkonstruk-tion isolierten Nadel von 18 m Länge. Die Gesamt-höhe ist ebenfalls 70 m. Zwischen der geerdeten

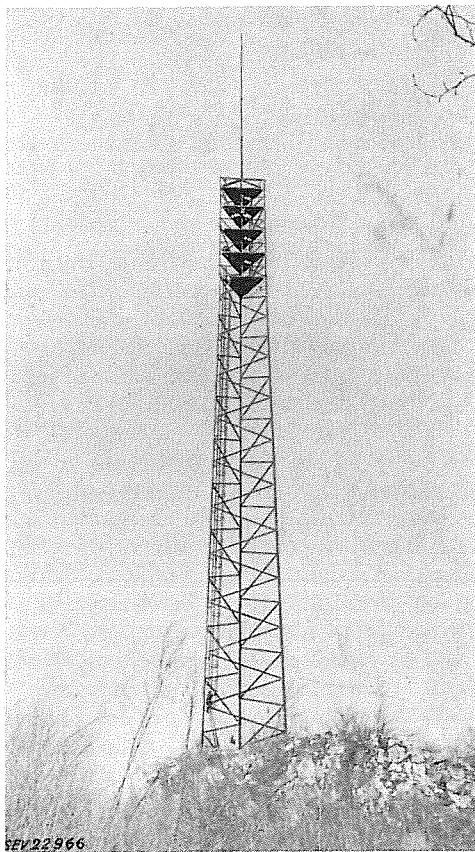
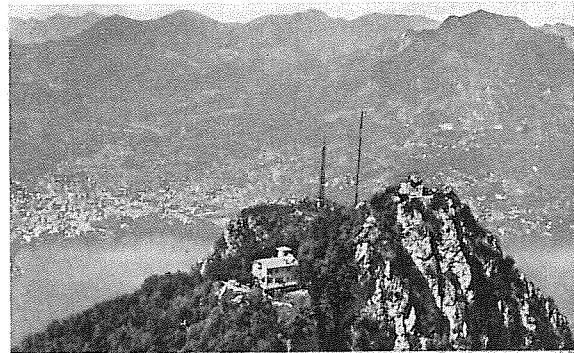


Fig. 6
Turm 2

Stahlkonstruktion und der Nadel ist der Shunt für die Blitzstrommessung eingebaut. Von ihm aus führt ein von der Kabelfabrik Cossonay speziell hergestelltes Messkabel zum Messraum auf dem San Salvatore. Die horizontale Distanz dieses Turmes vom Messraum beträgt gemäss Fig. 5 rund 400 m. Über die Höhen-Koten orientieren folgende Zahlen:

- Der Spiegel des Luganersees liegt 275 m über Meer.
- Der Berggipfel des San Salvatore befindet sich 915 m über Meer, somit 640 m über dem See.
- Der Standort des alten Turmes hat Kote ca. 900 m, der neue ca. 853 m.
- Somit liegen die beiden Turmspitzen ca. 695 und 650 m über dem Seespiegel.

Schliesslich zeigen die Fliegerbilder der Fig. 7 den Berggipfel mit den beiden Blitzauffang-Türmen. Auf den Bildern sind auch der Oszillographen-Mess-



SEV 22967

Fig. 7
Fliegerphoto des Berges

a von Süden nach Norden; b von Norden nach Süden

raum, die Kirche auf dem Berggipfel, der Berg-gasthof und ein Stück des als Luftkabel gespannten Messkabels zu sehen.

2. Blitzstrom-Shunt, Messkabel, Erdung, Gewittermelder

Jeder Blitzauffang-Turm ist über einen Blitz-strom-Shunt an die Blitzstromerdung des Berg-gipfels gelegt. Diese Shunts sind zweistufig nach dem Prinzipschema der Fig. 8 gebaut. Der nieder-ohmige Widerstand R_1 von $0,02 \Omega$ ist als Rohr aus Konstantan gebaut; er liefert die Spannung für die Ablenkplatten des Kathodenstrahl-Oszillographen (KO).

Der höherohmige Widerstand R_2 von 1Ω wird aus zwei Lagen einer bifilaren Wicklung aus Kon-stantanband mit $27 \times 0,55 \text{ mm}^2$ Querschnitt ge-bildet. Dieser Widerstand ist nicht absolut induk-tionsfrei wie R_1 , sondern nur induktionsarm und dient zur Speisung des Schleifen-Oszillographen (SO). Zu diesem Zweck sind zwei Vorschaltwider-stände R_3 und R_4 von ca. $70 \text{ k}\Omega$ und ca. 4500Ω vorhanden, welche Meßschleifen verschiedener Empfindlichkeit direkt speisen. An den Wider-ständen R_2 , R_3 , R_4 entsteht bei einem Blitzstrom von 100 kA eine Spannung von 100 kV, für welche der Shunt bemessen ist. Die im Widerstand R_2 vom Blitzstrom erzeugte Joulesche Wärme muss von seiner Wärmekapazität aufgenommen werden; das

Gewicht dieses Widerstandes beträgt deshalb ca. 16 kg (Konstantan).

Der Shunt des ersten Blitzauffang-Turmes ist über ca. 20 m lange Messkabel aus gummiisolierten Einleiter-Bleikabeln mit dem Messraum verbunden. Für den Shunt des zweiten Blitzauffang-Turmes ist von den Kabelwerken Cossonay ein spezielles Hoch-

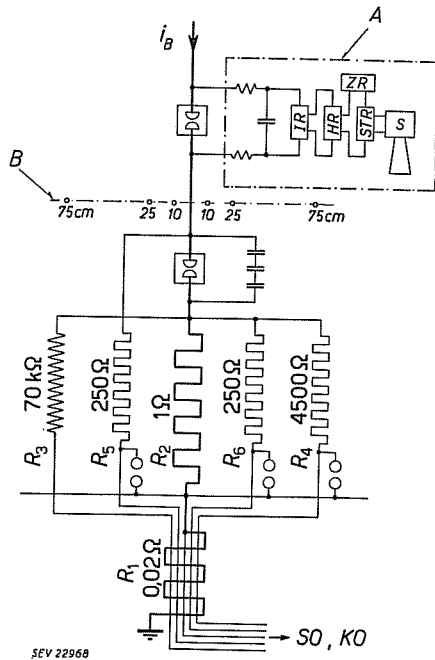


Fig. 8
Schema der beiden Blitzstrom-Shunts
A Gewittermelder; B Stahlstäbchen; i_B Blitzstrom;
IR Impulsrelais; HR Halterelais; STR Starkstromrelais;
ZR Zeitrelais; S Signallampe; $R_1 \dots R_6$ Widerstände

frequenzkabel von ca. 540 m Länge mit Polyäthylen-Isolation angefertigt worden, dessen Querschnitt aus Fig. 9 hervorgeht. Der zentrale Leiter mit 7 mm² Querschnitt bildet die Messader für den KO, d. h. für die kurzzeitigen und raschveränderlichen Blitzstromanteile. Die acht ausserhalb angeordneten dünnern Leiter mit 2,5 mm² Querschnitt sind wie folgt benützt: Zwei als Messadern zum SO, zwei als Auslöseleitungen für SO und KO, der Rest als Starkstrom- und Telefonverbindungen zum zweiten Turm. Der ausserordentlich starke Kupfermantel von 550 mm² Querschnitt in zwei Lagen Runddraht ist als Abschirmung nötig, um die Spannungsabfälle, die beim Abfliessen des Blitzstromes gerade im Zeitpunkt der Messung entstehen, genügend klein zu halten gegenüber dem Abfall im Messwiderstand R_1 von 0,02 Ω . Dieses Problem ist für alle im Blitzstrom enthaltenen Frequenzen zu lösen. Es bedingt bei hohen Frequenzen nur eine kleine, dagegen bei tiefen Frequenzen mit ihrer grossen Eindringtiefe eine beträchtliche Dicke des Cu-Mantels, damit an seiner Innenhaut noch kein störender Ohmscher Abfall entsteht. Da der Gleichstromwiderstand des Mantels mit 0,02 Ω gerade etwa dem Widerstand R_1 des Shuntes gleichkommt, würde unter der Annahme, dass der volle Blitzstrom über die ganze Länge des Messkabelmantels bis zum Messraum abfliesst, ein Gleichstrom an R_1 doppelt, an $(R_2 + R_1)$ 9 % zu

hoch gemessen. Für die an R_1 mit dem KO gemessenen kurzen Stromspitzen grosser Höhe ist der Fehler wegen der hohen Frequenz dieser Ströme jedoch belanglos. Der grösste Messfehler ist für langdauernde Ströme vorhanden, die an $(R_1 + R_2)$ vom SO gemessen werden; er dürfte annähernd 9 % betragen.

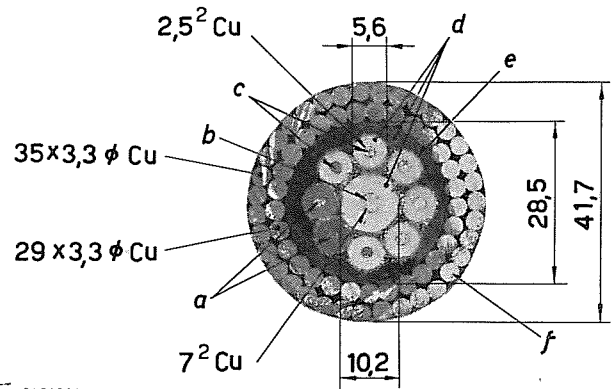


Fig. 9
Querschnitt des Kabels zu Turm 2
a Messleiter des Schleifen-Oszillographen; b Messleiter des
Kathodenstrahl-Oszillographen; c Auslöseleiter; d Polyäthylen-
Isolation; e Kupfer-Umkloppelung; f Kupfermantel
Masse in mm

Sämtliche Einrichtungen auf dem Berg und die dazugehörige Starkstromspeisung sind an ein Erdungsnetz geerdet, das sich auf dem nördlichen Bergabhang befindet und aus ca. 400 m Eisendraht von 6 mm Durchmesser besteht. Dieses Netz ist an seinem unteren Ende mit dem Geleise der Drahtseilbahn des Monte San Salvatore verbunden. Das Geleise bildet zusammen mit einem starken Cu-Draht eine sehr gut leitende Erdverbindung zur 800 m entfernten Mittelstation Pazzallo und nach Lugano-Paradiso. Die Kontrolle des Erdungswiderstandes des Netzes auf dem Berg geschieht durch Auftrennen der Verbindung an das Geleise. Zwischen beiden wurde je nach der Witterung ein Widerstand von 17...37 Ω gemessen, der als Erdungswiderstand der gesamten Berginstallation gelten kann.

Spezielle Vorsicht war nötig bei der Führung der Wasserleitungen auf dem Berg. Eine direkte Verbindung der Erdung über die Wasserleitung zum Berggasthof musste vermieden werden, weil sich sonst bei Gewitter dort Überschläge und Sicherungsdefekte einstellten. Diese fallen zum grossen Teil weg, wenn die Erdverbindung nur über den ca. 150 m langen Umweg des Bahngeleises besteht.

Sodann war es nötig, das öffentliche Telefon von der vom Blitzstrom betroffenen Bergerdung zu distanzieren, d. h. vor allem keine Ableiter «zum Schutz des Telefons» auf dem Berg einzubauen. Seitdem diese Trennung durchgeführt ist, sind die Erfahrungen bezüglich der Betriebssicherheit des in Pazzallo über einen Übertrager an das Netz Lugano angeschlossenen Telefons bei Gewitter sehr gut.

Der Gewittermelder hat den Zweck, den Blitzwart auf den Beginn eines Gewitters, d. h. auf Blitzentladungen im Umkreis von ca. 10 km aufmerksam zu machen. Dies ist vor allem des Nachts nötig. Er besteht sehr einfach aus einem empfindlichen Impuls-Relais, das auf Ströme einiger mA mit einigen

ms Dauer anspricht und unter Zwischenschaltung eines Starkstromrelais eine Autohupe während einer Sekunde betätigt. Der Impuls entsteht durch die Freigabe der Influenzladung, die auf dem Turm 1 durch die entfernte Gewitterwolke gebunden ist und im Moment des Blitzes frei wird und über das Impulsrelais zur Erde abfließt.

Infolge der grossen Kapazität des Turmes gegen die Wolken genügt die Influenzladung zur direkten Betätigung des Impulsrelais, ohne dass irgendwelche Verstärkerröhren nötig sind. Der Gewittermelder ist auch im Prinzipschema der Fig. 8 ersichtlich.

3. Blitzstrommessung mit «Stahlstäbchen» und «Induktionsschleife mit Klydonograph» und «Blitzhörer»

Auf Grund von Beobachtungen von F. Pockels [4] hat M. Töppler angeregt, den Scheitelwert einfach verlaufender und einmaliger Stoßströme dadurch zu messen, dass ein Bündel feinsten Magnetstahldrähte («Stahlstäbchen») vom Blitzstrom magnetisiert wird. Aus der Stärke der Remanenz bei gegebener Anordnung des «Stäbchens» im Magnetfeld des Blitzstromes kann dessen Scheitelwert durch eine Eichung des Stäbchens mit Gleichstrom bestimmt werden. Solche Stahlstäbchen sind an vielen Orten auf dem Berg eingebaut worden, z. B.:

an den beiden Blitzstrom-Shunten zur Kontrolle der oszillographischen Blitzstrommessung;

an den Abspannungen des Turmes 1 (um zu kontrollieren, dass dort kein Blitzstrom unbemerkt abfließt);

am Messkabel des Turmes 2 (um damit den Blitzstromanteil zu erfassen, der beim Einschlag in den Turm 2 nicht in die dortige Erdung, sondern über den Messkabelmantel nach der Erdung auf dem Berggipfel und zum Bahngelände abfließt);

an den Blitzableiterstangen auf der Aussichtsterrasse der Kirche und auf dem Dach des Berghotels (um zu kontrollieren, ob der Blitzturm 1 fähig ist, die Gebäude vor Blitzeinschlägen zu bewahren).

Es soll gleich hier vorweggenommen werden, dass diese Stahlstäbchen als Indikatoren ausserordentlich gute Dienste leisten. Zum Beispiel wurde festgestellt, dass seit der Aufstellung des Blitzturmes 1 im Jahre 1943 kein einziger Blitzeinschlag mehr in das Hotel und nur ein einziger in die Kirche auf dem Berggipfel erfolgte. Hingegen wurden bisher dreimal Überschläge an den Turmabspannungen festgestellt, zweimal an der westlichen und einmal an der südlichen Turmabspannung. Es war nötig, in der westlichen Abspannung zwei horizontale Drahtseile derart zu spannen, dass dadurch die sechs übereinanderliegenden Abspannseile in mittlerer Höhe elektrisch verbunden werden, so dass der Blitzstrom auf kurzem Weg, d. h. mit kleinerem Spannungsabfall zum Shunt abfließen kann.

An beiden Türmen ergab sich ausserdem die Möglichkeit, an der 10 bzw. 18 m langen «Nadel», welche den Blitz auffangen soll, auch die *Steilheit des Blitzstromanstieges* mit der Induktionsmethode zu messen. Es wurden zu diesem Zweck zwei Drahtschleifen von ca. 0,5 und 0,6 m² Fläche in einer Ebene durch die Nadel in kleinem Abstand von ihr gespannt, deren Enden zu *Klydonographen* führen, welche durch die Grösse von Lichtenberg-Figuren auf einer Photoschicht die induzierte Spannung in

der Drahtschleife und damit den höchsten Wert der zeitlichen Änderung (di/dt) des induzierenden Blitzstromes zu messen gestatten. Um merkwürdige Nebenerscheinungen abzuklären, wurde die eine Drahtschleife vom Turm isoliert, die andere direkt vom Turm abgezweigt, so dass sich beide Messungen vergleichen lassen. Fig. 10 zeigt beide Anordnungen.

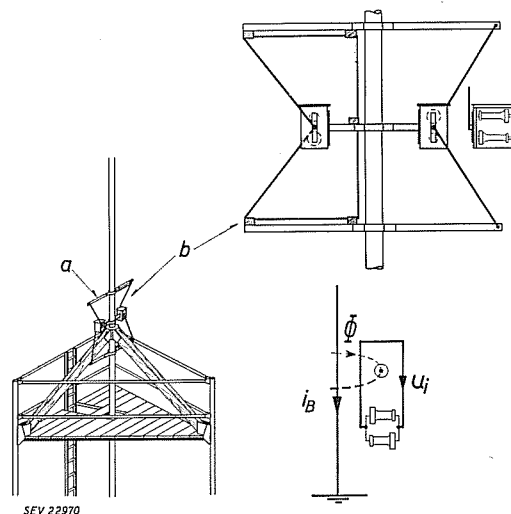


Fig. 10

Stromsteilheits-Messeinrichtung auf Turm 2

a nichtisolierte Schleife; b isolierte Schleife; i_B Blitzstrom; u_i induzierte Spannung; Φ Induktionsfluss

Um für positive und negative Stromänderungen gleiche Empfindlichkeit der Messung zu bekommen, sind an jeder Drahtschleife zwei umgekehrt gerichtete («anti-parallele») Klydonographen in der Form alter Telephonhörer («Blitzhörer») angeschlossen. Diese Messeinrichtung wurde von 1947...1949 am Turm 1 benützt, dessen «Nadel» von 10 m Länge nur über die Sprossen des 60 m hohen Holzturmes zugänglich war, so dass die Bedienung nur schwindelfreien Leuten gelang. Mit dem Bau des neuen Turmes 2 im Frühling 1950 wurde die Einrichtung vom Turm 1 demontiert und an der besser zugänglichen 18 m langen Nadel des Turmes 2 angebracht. Aus der gewählten Anordnung ergibt sich eine Gegen-Induktivität des Blitzstromes von:

$$\begin{aligned} M_1 &= 0,37 \mu\text{H} \text{ für die vom Turm isolierte Drahtschleife;} \\ M_2 &= 0,5 \mu\text{H} \text{ für die vom Turm abgezweigte Drahtschleife.} \end{aligned}$$

Infolge der Kleinheit der Drahtschleife darf die an deren Enden messbare Spannung gleichgesetzt werden der induzierten Spannung u_i . Somit ergibt sich der grösste Momentanwert der Blitzstromsteilheit $(di/dt)_{\max}$ aus (u_i/M) . Der Wert von u_i ergibt sich aus der Grösse der Klydonographenfigur durch Eichung mit Stoßspannungen.

4. Oszillographen-Messraum

Der Oszillographenraum befindet sich in einem alten Gebäude, knapp unter dem Berggipfel, das seinerzeit einem Eremiten als Wohnung diente, siehe Fig. 11. Dieser Raum wurde uns von der Bahnverwaltung als Pächter und einer Bruderschaft als Eigentümerin zum Zweck der Gewitterforschung überlassen. Heute befinden sich ausser dem Mess-

raum auch eine Dunkelkammer und ein Magazin mit kleiner Werkstätte darin; ferner wurde im Sommer 1950 eine Wohnung für die Familie des Blitzbeobachters, H. Rutz, über dem Messraum eingerichtet.

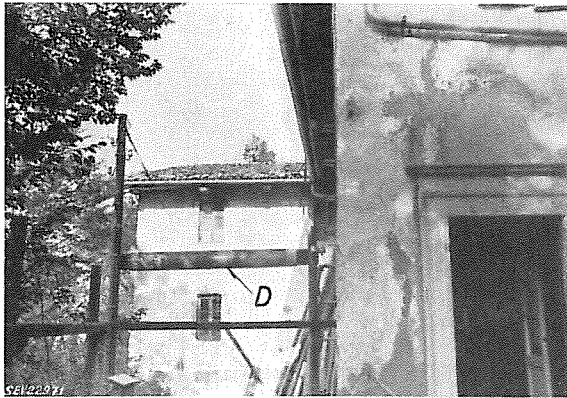


Fig. 11
Oszillographen-Gebäude mit der Netzanschluss-Drosselspule
D Drosselspule

Im Messraum sind innerhalb eines vollständig geschlossenen, aus feinem Drahtnetz bestehenden Faradaykäfigs die beiden Oszillographen, nämlich ein sechsschleifiger SO und zwei Einstrahl-KO untergebracht, ferner zwei Registrier-Instrumente für den Glimmstrom der beiden Turmspitzen (seit 1951), sowie die Stromversorgung mit einer Notstrom-Speicherbatterie für 108 V und 100 Ah Kapazität, die uns von den SBB in freundlicher Weise leihweise überlassen wurde. Der Faradaykäfig ist mit der Bergerdung verbunden; in seinem Innern ist der Beobachter gegen jegliche gefährliche Spannung bei Blitzeinschlägen geschützt. Fig. 12 zeigt den Käfig mit den Messeinrichtungen.

In den ersten Jahren wurde während nahen Gewittern die Verbindung dieses Messraumes zur speisenden 380-V-Freileitung des EW Lugano auf einige Meter Distanz geöffnet und die Einrichtung aus der Batterie gespeisen. Mit der Zunahme des Verbrauches war dies nicht mehr möglich. Heute bleibt die Verbindung des Messraumes mit dem EW Lugano dauernd über eine Drosselspule bestehen, die so gebaut ist, dass sie für Wechselstrom bifilar wirkt, währenddem sie für den Blitzstrom ca. 1 mH Induktivität aufweist. Zu diesem Zweck ist die Spule aus vier parallelen isolierten Drähten gewickelt, an deren Enden Niederspannungsableiter zwischen Phasen und Nulleiter geschaltet sind, um für den Blitzstrom alle vier Leiter parallel zu schalten. Die Spule ist in Fig. 11 ersichtlich.

Alle Messeinrichtungen sind mit Drehstrom 220/130 V gespeisen. Die heute als Notstromreserve dienende Batterie wird über einen Gleichrichter geladen und liefert über einen rotierenden Umformer wieder Drehstrom. Bei einem Ausfall der Netzspannung aus Lugano vermag die Batterie die gesamte Messeinrichtung während ca. 2 h zu speisen.

Ein Prinzipschema der Einrichtungen des Messraumes wird in Fig. 13 gegeben. Darin sind auch die

beiden Türme angedeutet, jeder mit seinem Blitzstrom-Shunt sowie den Mess- und Auslöseleitungen für SO und KO.

Der Schleifen-Oszillograph registriert während einer Sekunde auf einer Messtrommel von 1 m Umfang den Blitzstromverlauf. Er wird seit 1950 für beide Türme zugleich benützt. Die sechs Schleifen sind seit 1950 wie folgt angeschlossen:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Schleife (oben im Oszillogramm): | + i_{max} für beide Türme zugleich |
| 2. Schleife 2. Turm | Strombereich 5000 A |
| 3. Schleife 2. Turm | Strombereich 300 A |
| 4. Schleife 1. Turm | Strombereich 300 A |
| 5. Schleife 1. Turm | Strombereich 5000 A |
| 6. Schleife (unten im Oszillogramm): | - i_{max} für beide Türme zugleich |

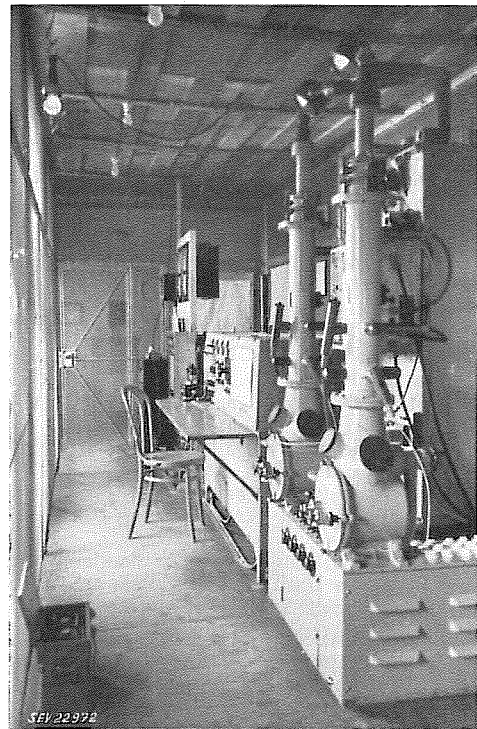


Fig. 12
Messeinrichtungen im Faraday-Käfig des Oszillographen-raumes

Vor 1950, als nur ein Turm vorhanden war, galt das in Bull. SEV Bd. 38 (1947), Nr. 25, S. 813, als Fig. 1 veröffentlichte Prinzipschema. Damals war eine Zeitstreckerschaltung nicht nur für i_{max} , sondern auch für die Stossladung q_{st} vorhanden. Infolge der ungenügenden Anzahl Meßschleifen musste diese Grösse mit dem Anschluss des zweiten Turmes weggelassen werden. Aus demselben Grund (ungenügende Schleifenzahl) müssen die Schleifen 1 und 6 zugleich für beide Türme benutzt werden. Dies ist zulässig, solange nicht beide Türme zugleich vom Blitz getroffen werden.

Die Belichtung der Oszillogramme des SO geschieht nach wie vor mit Hilfe einer speziellen Bogenlampe mit zwei Wolfram-Spitzen als Elektroden, zwischen denen der Gleichstromdurchgang mittels einer Stossentladung aus einem kleinen Stossgenerator eingeleitet wird. Die Stossentladung wird ihrerseits vom Spannungsabfall des Blitz-

stromes im Blitzstrom-Shunt gezündet. Auf dem Markt konnten wir keine Lampe finden, welche sich innert Mikro-Sekunden auf volle Helligkeit zünden lässt und eine entsprechend hohe Leuchtdichte mit genau definierter Lage liefert. Mit dem zweiten Turm ist eine zweite Zündelektrode an dieser Bogenlampe angebracht worden, so dass sich sofort ersehen lässt, von welchem Turm her die Auslösung erfolgt.

Wir danken der ASEA auch an dieser Stelle für die freundliche Überlassung.

Im Messraum befinden sich auch die zwei *Registrier-Instrumente für Glimmströme* (Elmsfeuer) an den beiden Turmspitzen. Ihr Messbereich ist seit 1951 auf ± 50 mA eingestellt. Der Schutz dieser empfindlichen Instrumente gegen Überlastung geschieht durch mehrgliedrige Selenketten, die auch im Prinzipschema (Fig. 13) ersichtlich sind. Nach der

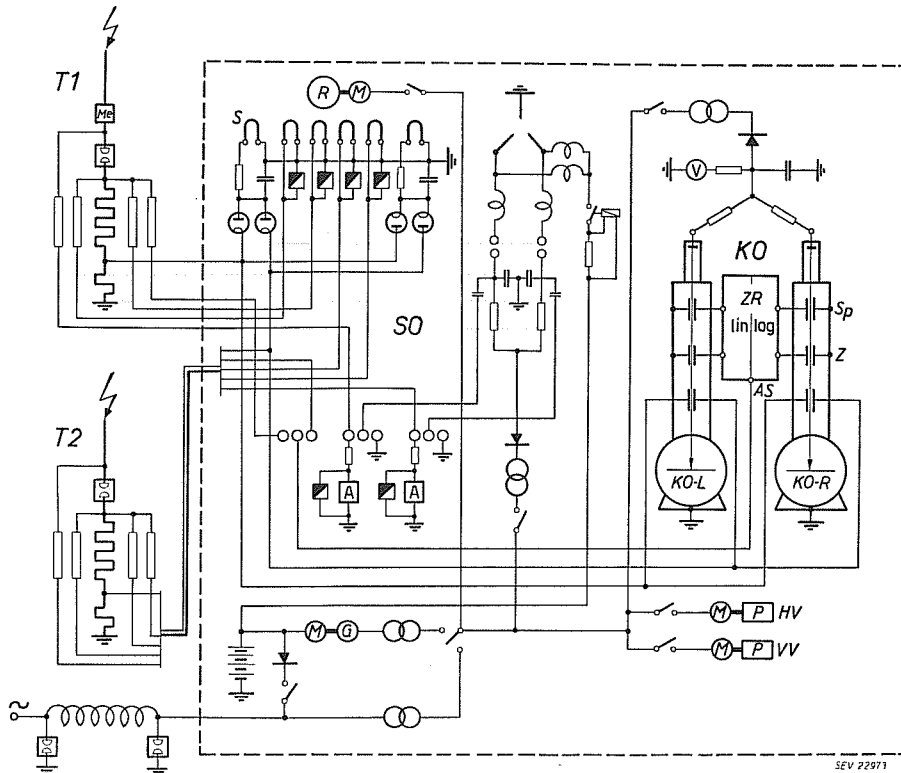


Fig. 13
Prinzipschema der Blitzstrommessungen (1954)

- T1 Turm 1
- T2 Turm 2
- Me Melder
- SO Schleifen-Oszillograph
- S Mess-Schleifen
- R Filmtrommel
- M Motor
- A Amperemeter
- G Generator
- KO Kathodenstrahl-Oszillograph
- V Voltmeter
- ZR Zeitrelais
- Sp Sperrplatten des Kathodenstrahl-Oszillographen
- Z Zeitablenkplatten
- AS Auslösung
- KO-L, KO-R Kathodenstrahl-Oszillographen mit langsamer bzw. rascher Zeitablenkung
- P Pumpe
- HV Hochvakuum
- VV Vorvakuum
- mehrgliedrige Selenkette

Die *Kathodenstrahl-Oszillographen* registrieren den Verlauf kurzdauernder Spitzen des Blitzstromes oberhalb ca. 5 kA während einer Dauer von ca. 200 μ s (Zeitkonstante $T = 57$ μ s, 1. KO) und 0,02 s (2. KO). Beide Einstahl-KO arbeiten mit kalter Kathode und dauernd angeschlossener Molekularpumpe. Die Bereitschaft dieser KO ist nicht so gut wie jene des SO, weil die Regulierung des Vakuums bisher nicht automatisch erfolgt. Es wird daher in der Regel so vorgegangen, dass die KO erst bei Gewitterdrohung betriebsbereit gemacht werden. Erfolgen die ersten Blitzeinschläge sehr bald, so sind unter Umständen die KO noch nicht bereit, während der SO es ist. Die Auslösung der KO ist grundsätzlich schwierig, weil nicht auf i_{max} und auch nicht auf $(di/dt)_{max}$ abgestellt werden kann, sondern auf einen kritischen Wert $(\Delta u/\Delta t)$.

Im Jahre 1951 wurden uns von der ASEA²⁾ in Schweden in freundlicher Weise zwei KO mit abgeschmolzenen Röhren leihweise für diese Gewittermessungen zur Verfügung gestellt. Es gelangen damit einige Aufnahmen; doch entstanden im Dauerbetrieb Schwierigkeiten wegen der hohen relativen Luftfeuchtigkeit auf dem Monte San Salvatore, der die Apparate nicht lang standhielten.

²⁾ ASEA = Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget.

bisherigen Erfahrung würde ein Messbereich mit ± 10 mA genügen. Die Registrierung erfolgt mit einem Vorschub des Papiers von 10 cm/Stunde, so dass einzelne Blitze in der Regel noch deutlich getrennt ersichtlich sind.

5. Photoraum auf San Salvatore Kulm

Der Zufall wollte es, dass zwischen der Aussichtsterrasse auf dem höchsten Punkt des San Salvatore und dem darunter befindlichen Gewölbe der Wallfahrtskirche ein unbenützter toter Raum von ca. 1,8 m Höhe bestand. Mit gütiger Zustimmung einerseits der Bruderschaft della Buona Morte in Lugano-Paradiso als Eigentümerin der Bergkirche und anderseits der Verwaltung der Drahtseilbahn des Monte San Salvatore als Pächterin, konnte dieser Raum als Photoraum eingerichtet werden. Von ihm aus geniesst man eine herrliche Rundschau, und es bot sich somit eine einzigartige Gelegenheit zu Panorama-Aufnahmen von Blitzeinschlägen.

Der Raum wurde 1950 als Faradaykäfig ausgebaut und mit zwei Fenstern und acht Öffnungen für das Photographieren von Blitzen versehen. In jeder Öffnung ist grundsätzlich ein ruhender Photoapparat (Typ Leica) und eine Boys-Kamera mit

kleiner Vorschubgeschwindigkeit der Photoschicht (ca. 3 m/s) vorhanden. Das nach dem neuen Turm gerichtete Photofenster erhielt ausserdem eine Boys-Kamera mit hoher Vorschubgeschwindigkeit (ca. 50 m/s). Aus Ersparnisgründen sind z. Z. nur fünf Leica-Apparate vorhanden, die möglichst in der Richtung der Blitzeinschläge eingesetzt werden. Jeder Apparat photographiert einen Raumwinkel von ca. 50° , so dass eine kleine Überdeckung vorhanden ist.

Die Bauart der Boys-Kamera für kleine Filmgeschwindigkeit ist aus Fig. 14 ersichtlich. Der Papiervorrat von maximal 30 m ist im Innern der Trommel aufgewickelt, ebenso das bereits belichtete Papier. Die Trommel wird von einem Asynchronmotor mit drei Touren pro Sekunde angetrieben. Das auf dem Umfang der Trommel exponierte Photopapier von 15 cm Breite läuft vor zwei

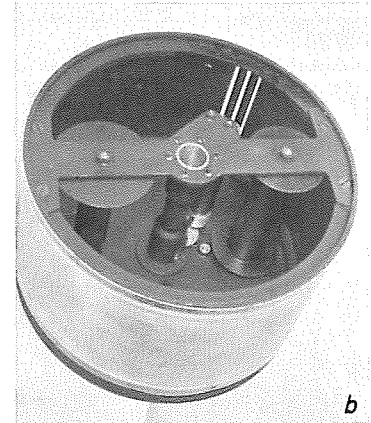
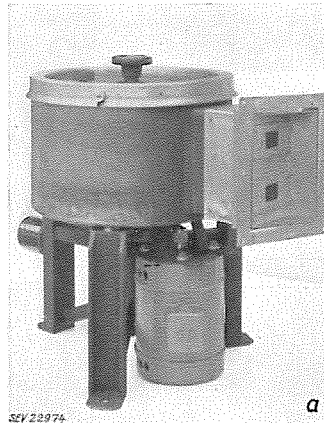


Fig. 14
Boys-Kamera mit kleiner
Filmgeschwindigkeit (LK)
a Ansicht; b Filmtrommel

gleichen Linsen mit verschiedener Öffnung vorbei, womit sich zwei Helligkeitsstufen erreichen lassen. Die Linsendaten sind die folgenden:

Brennweite 135 mm, Öffnung 1 : 6,5 (Paradiso)
Brennweite 105 mm, Öffnung 1 : 4,5 (Bergkirche)
Brennweite 75 mm, Öffnung 1 : 3,5 (Turm 2)

Infolge der Trommelwölbung sind die Aufnahmen am Rand nicht mehr sehr scharf, jedoch für den vorliegenden Zweck noch genügend.

Die Bauart der Boys-Kamera für raschen Papier-vorschub ist aus der Fig. 15 ersichtlich. Das Wesentliche der Ausführung besteht darin, dass die Photo des Blitzes durch ein z. Z. ca. 2 mm starkes Plexiglas hindurch auf dem innern Trommelumfang aufgenommen wird. Tourenzahl der Trommel ca. 49 U./s; Daten der Linse: Brennweite 36 mm, Öffnung 1 : 3,5. Es wird Schmalfilm von 35 mm Breite benötigt.

Blitzphotos können z. Z. nur während der Nacht gemacht werden, indem einfach die Verschlüsse dauernd geöffnet bleiben, bis entweder vermutet wird, dass ein Blitz in das Blickfeld einer Kamera kam, oder bis der Beobachter die Vorbelichtung so stark schätzt, dass die Photoschicht wegen Schleierbildung gewechselt werden muss.

Die Eignung verschiedener Photoschichten für diese Blitzphotographien ist recht verschieden. Aus Kostengründen wurde bisher bei den Boys-Kameras für kleine Vorschubgeschwindigkeit in der Regel mit Oszillographen-Papier gearbeitet, was jedoch nicht befriedigt.

Im Photoraum wurde im Sommer 1951 mit einem Ionenzähler nach H. Israël [5] die Anzahl schwerer «Ionen» pro Volumeneinheit der Atmosphäre während vorüberziehender Gewitter gemessen. Im Sommer 1952 wurden diese Messungen in der Weise modifiziert, dass der tägliche Gang dieser Ionenzahl

bei jedem Wetter festgestellt wurde. Solche Messungen wurden früher vom Osservatorio Ticinese in Locarno-Monti durchgeführt und veröffentlicht [5]. Da sie mit einem gleichen Apparat gemessen wurden, sind sie direkt vergleichbar. Die Luft wird für diese Messungen durch ein ca. 1 m langes, ca. 15 cm weites Eisenrohr, einen kurzen Gummischlauch und die beiden Messzylinder des Ionenzählers hindurch gesaugt. Je nach dem Ionengehalt der Luft entlädt sich ein sehr hochohmig isolierter Messzylinder mehr

oder weniger rasch, was mittels eines Lindemann-Elektrometers festgestellt wird.

Ferner wurde im Photoraum auch ein neuartiger Blitzeinschlagzähler ausprobiert, der lediglich Blitzeinschläge in den Erdboden (Erdblitze), nicht aber Blitze zwischen Wolken (Wolkenblitze) zählen soll. Das Instrument ist von H. R. Meier und E. Trümpy an der ETH mit Hilfe eines besondern Kredites entwickelt und an anderer Stelle beschrieben worden [6].

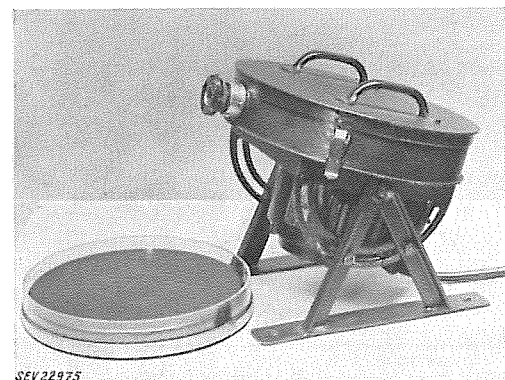


Fig. 15
Boys-Kamera mit grosser Filmgeschwindigkeit (RK)

6. Photoraum Paradiso

Um das Vorwachsen der Blitze in den ersten Turm photographisch verfolgen zu können, wurde bereits im Jahre 1947 am Fusse des Monte San Salvatore im Dachstock eines Gebäudes an der Via Bosia 9 ein Photoraum eingerichtet, wo je eine Boys-Kamera mit raschem (49 m/s) und langsamem Filmvorschub (1 m/s) aufgestellt wurden. Der Abstand dieses Photoraumes von der Spitze des ersten

Turmes beträgt ca. 1400 m in der Horizontalen und 670 m in der Vertikalen.

Die Apparate sind grundsätzlich genau gleich gebaut wie die bereits beschriebenen des Photoraumes auf dem Berggipfel. Die Öffnung der Verschlüsse und die Schaltung der Motoren geschah in den ersten Jahren von einer Schaltuhr aus, welche nach Einsetzen der Dunkelheit einschaltete und vor Beginn der Morgendämmerung wieder ausschaltete. Seit 1953 wird auf telephonischen Anruf hin nur noch dann geöffnet, wenn Gewittergefahr besteht. Damit wird die Schleierbildung der Photographien vermindert, die sonst besonders in mond hellen Nächten stark störend ist.

7. Photoschrank auf dem zweiten Blitzauffang-Turm

Der Einbau des Blitzstrom-Shuntes auf dem zweiten Turm zwischen dessen Nadel und der gerdeten Turmkonstruktion, ca. 55 m über dem Erdboden, ergab die Möglichkeit, dort auch einen Schrank mit Boys-Kameras für kleine und grosse Vorschubgeschwindigkeit der Photoschicht einzubauen. Diese Apparate registrieren Blitzeinschläge in den alten Turm aus ca. 400 m Horizontalabstand bei ca. 50 m Höhendifferenz zur Turmspitze. Diese Entfernung scheint günstiger als die grössere Distanz des Photoraums in Paradiso, um auch das erste Aufleuchten der Blitzbahn photographisch sichtbar zu machen. Leider gelingt dies nur nachts, so dass mehr Oszillogramme als Photos der Einschläge in die Türme aufgenommen werden.

III. 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 Gegenden 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. 16 eine Karte reproduziert, die für das angrenzende Italien gilt, und die von M. Bossolasco im Auftrage der italienischen Elektrizitätswerke bearbeitet wurde [7].

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 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 «nahes 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 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.

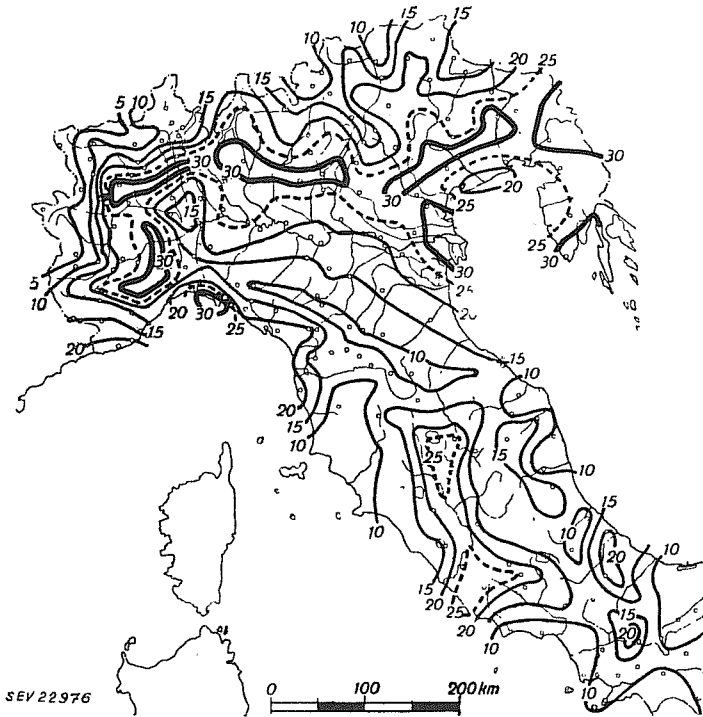


Fig. 16
«Isoceraunic level» Italiens nach Bossolasco
(aus Energia Elettrica 1949)

In den Kurven der Fig. 17 und 18 sind Gewitterbeginn und Gewittertätigkeit über der Tageszeit für die Jahre 1947...1954 für die nahen Gewitter (innert

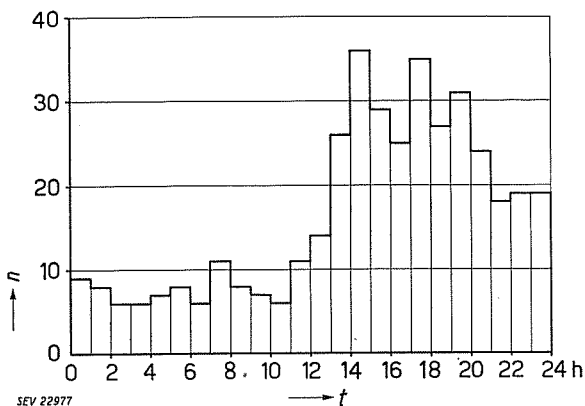


Fig. 17
Tagesgang des Gewitterbeginns auf dem San Salvatore
1947...1954
n Anzahl Gewitter; t Zeit

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

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.

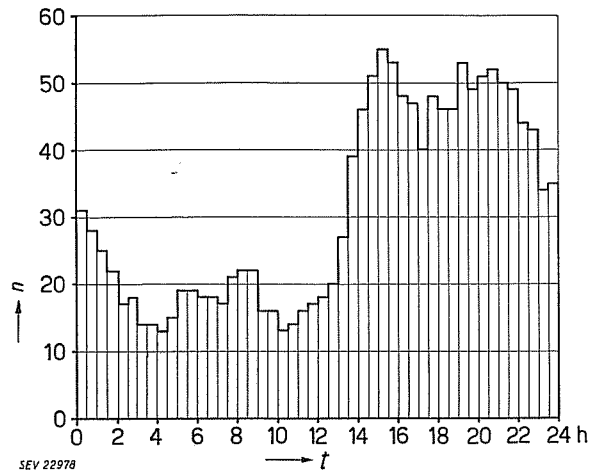


Fig. 18
Tagesgang der Gewittertätigkeit auf dem San Salvatore
1947...1954
n Anzahl Gewitter; t Zeit

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 Blitzauffangtürme ersehen werden. Da sich in der Regel die Wirkungen mehrerer räumlich getrennter Gewitter

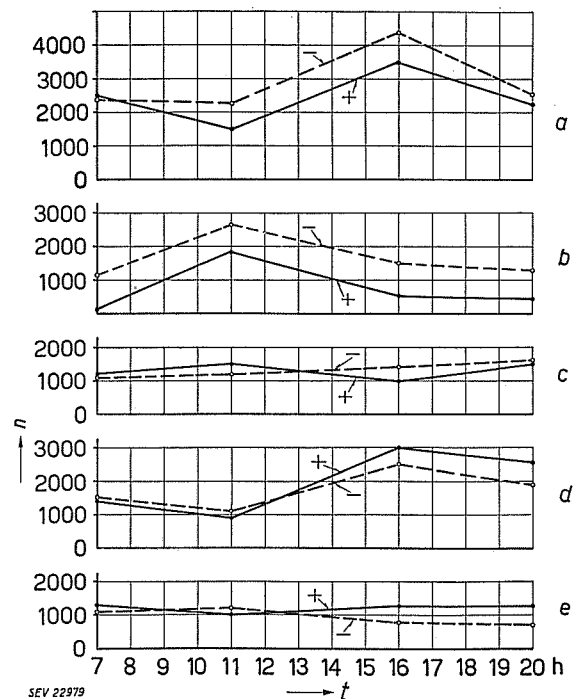


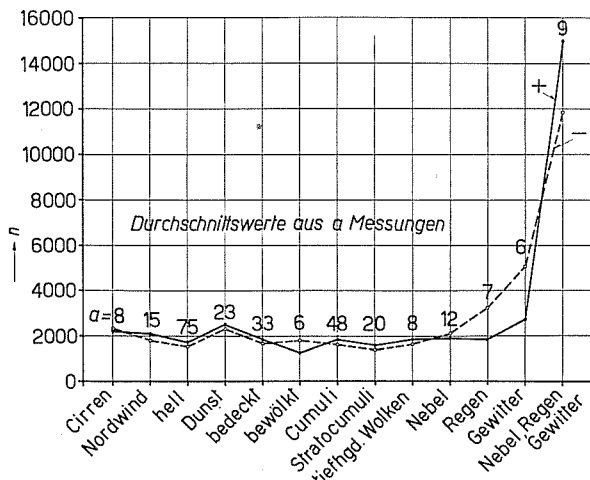
Fig. 19
Beispiele des Ionengehaltes der Luft auf dem San Salvatore bei fünf verschiedenen typischen Wetterlagen
a bedeckt bis bewölkt; b Nordwind, hell; c Stratokumuli 10/10;
d hell und Dunst; e hell ohne Dunst
n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm³ Luft;
t Zeit

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 [8] über die Raumladungsdichte im Jahr 1952 sind in Fig. 19...21 festgehalten.

Zunächst zeigt Fig. 19 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.



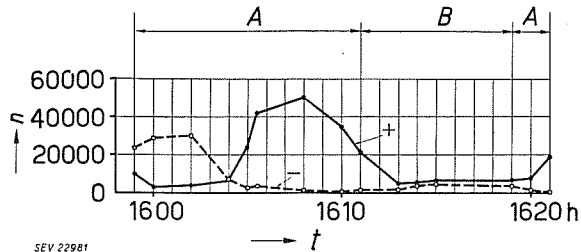
SEV 22980

Fig. 20

Mittlerer Ionengehalt auf dem San Salvatore bei verschiedenen Witterungen

n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft

Fig. 20 zeigt den mittleren Ionengehalt für verschiedene Witterungen. Die Anzahl Messungen, die zur Mittelwertbildung 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 frühern Messungen des Osservatorio Ticinese in Locarno-Monti zeigt durchaus ähnliche Werte [5].



SEV 22981

Fig. 21

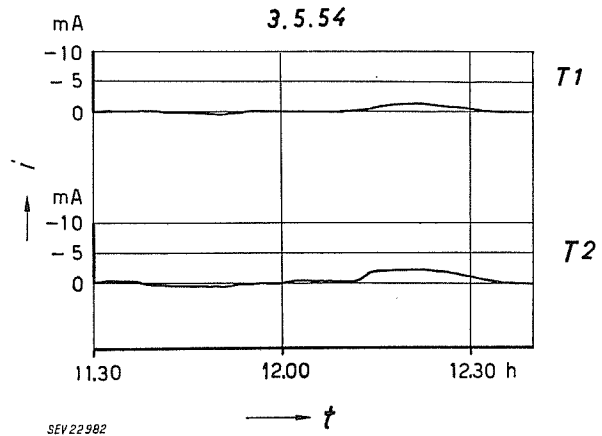
Beispiel des Wechsels von positiven und negativen Raumladungen des in Regenwolken getauchten San Salvatore A Station in Regenwolken eingetaucht (Südwind); B sturmartiger Nordwind, freie Sicht; n Anzahl positiver und negativer Träger pro cm^3 Luft

Fig. 21 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. 6 min Abstand folgen sich positives und negatives Maximum.

Fig. 22 und 23 geben zwei Beispiele von Glimmströmen beider Türme, einmal beim Vorüberziehen

von Gewitterwolken ohne Blitze, das andere Mal mit Blitzen in der weitem Umgebung.

Im ersten Beispiel (Fig. 22) 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 höheren Glimmstrom auf als Turm 2. Doch kommt auch der umgekehrte Fall vor (Fig. 22).



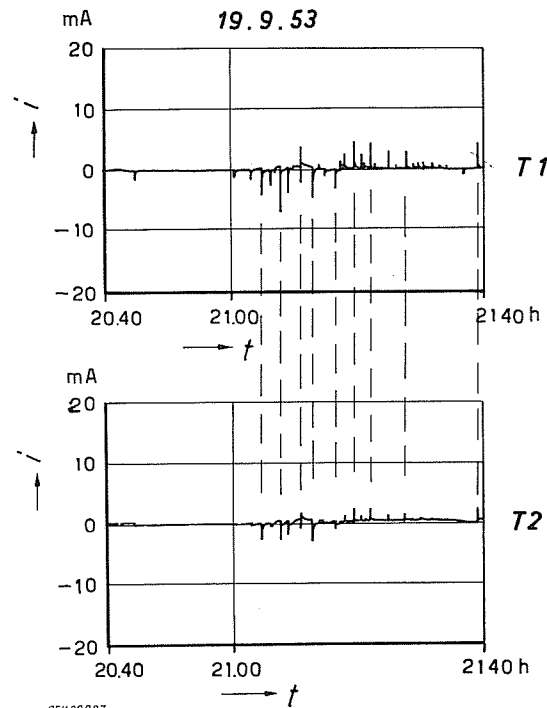
SEV 22982

Fig. 22

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2

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

Im zweiten Beispiel (Fig. 23) 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



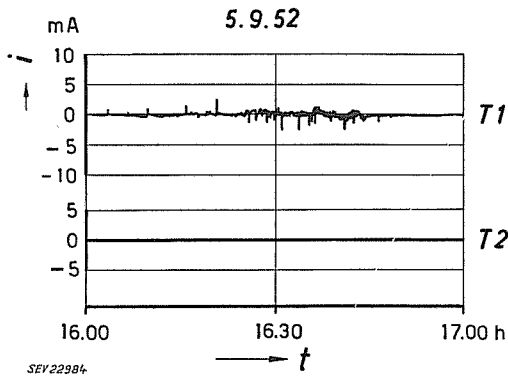
SEV 22983

Fig. 23

Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2

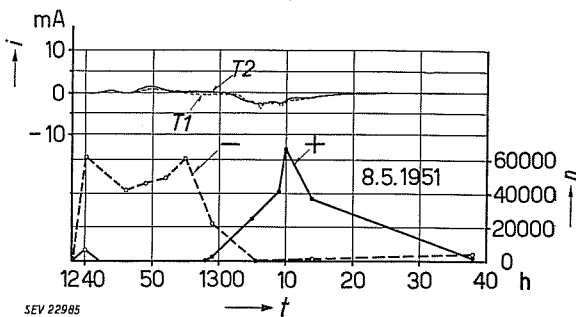
2. Beispiel: Mit Blitzen in der weitem Umgebung
 i Glimmstrom; t Zeit

die Ladungsmessung aus zwei Gründen nicht möglich: einmal wegen der Trägheit des Milliampereometers und andererseits wegen der Strombegrenzung durch die zum Schutz des Instruments vorgeschaltete Selenkette.



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

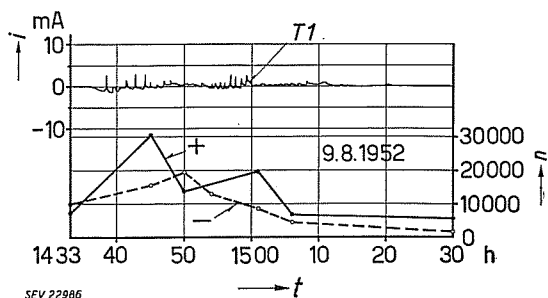
Hie und da zeigen sich auch Glimmstromregistrierungen, die auf Turm 1 und 2 wesentlich verschieden verlaufen. Ein Beispiel dieses Falles ist in Fig. 24 reproduziert. In diesem Fall muss auf eine sehr beschränkte Ausdehnung der positiven oder negativen Raumladungswolke geschlossen werden, beträgt doch der horizontale Abstand der beiden Türme nur 400 m.



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

Die zwei folgenden Fig. 25 und 26 geben zugleich den Verlauf des Glimmstromes an Turm 1 und den Verlauf der Ionendichte beider Polaritäten.

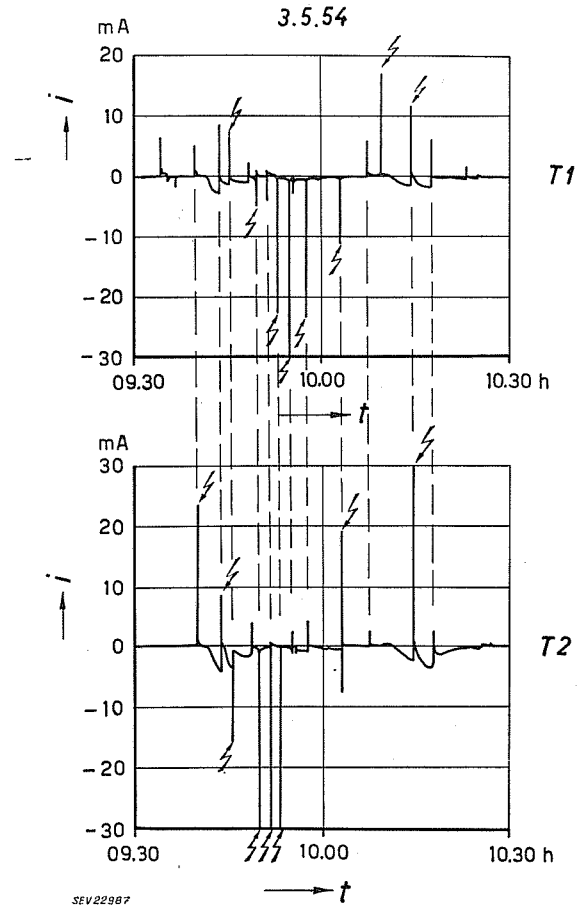


Verlauf der Ionendichte und des gleichzeitigen Glimmstromes an Turm T1

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

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

Die beiden folgenden Fig. 27 und 28 zeigen schliesslich zwei Beispiele von Glimmstrommessung und Ladungsimpulsen bei sehr nahem Gewitter, wobei auch mehrere Blitzeinschläge in die Türme erfolgen. Blitzeinschläge, die zu Oszillogrammen des SO führten, sind in diesen beiden Figuren mit einem Blitzpfeil bezeichnet, und zwar sowohl bei Turm 1 wie auch bei Turm 2.



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

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

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.

Von der Turmspitze 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

Bild von der Gewittertätigkeit, Blitzhäufigkeit und Gewitterfeldstärke in der Gegend des San Salvatore.

Aus einer genauern, 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.

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 den Tabellen III...VII sind die Nummern der Oszillogramme eingetragen, wobei alle Oszillogramme eines Jahres in der natürlichen Reihenfolge, in der sie erhalten wurden, nummeriert sind. (Die pro 1946 eingetragenen Oszillogramme sind bereits im früheren Bericht [2] 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. In Tabelle VIII ist zusammenfassend die Anzahl der jährlichen Oszillogramme eingetragen.

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 nähern 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,

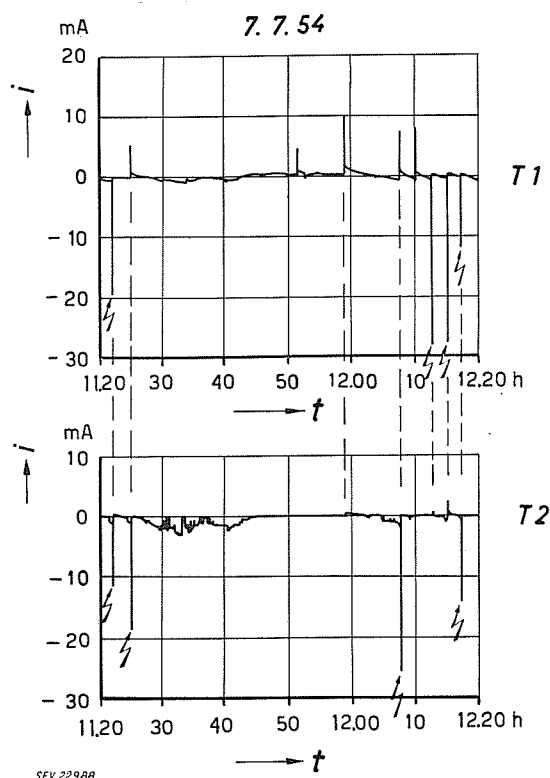


Fig. 28
Glimmstromverlauf an Turm T1 und T2 bei sehr nahen Gewittern mit Einschlägen in die Türme
2. Beispiel
Einschläge in die Türme mit Oszillogramm
i Glimmstrom; t Zeit

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.

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. Ceraunographen, bei denen sich der zahlenmässige Vergleich der Angaben zweier an zwei verschiedenen Orten im Tessin aufgestellten Apparate als unmöglich erwiesen hat [9].

Neben der Anzahl Blitzeinschläge in beide Mess-türme vermitteln die Registrierstreifen des Glimmstromes und des Verschiebungsstromes das beste

Systematik der Blitzströme 1946...1954

Tabelle III

Jahr	Gruppe 1 Negative Blitze	Gruppe 1a Negative Blitze mit Anfangsstoss (> 5 kA)
1946	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	8 (13), 9 (14), 10 (10)
1947	3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19	11 (5)
1948	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14	10 (31), 12 (14), 14 (75)
1949	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	5 (13), 7 (48)
1950	2, 3, 4, 5, 8, 12, 15	12 (55)
1951	1, 2, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39	14 (48), 18 (40) 36 (16,5), 37 (6)
1952	1, 2, 5, 6, 7, 8, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 31, 32	26 (21)
1953	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19	9 (20), 12 (6), 14 (19)
1954	4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88	14 (45), 15 (6), 17 (6) 49 (34), 50 (>64) 51 (>68), 52 (39) 62 (40), 64 (12), 67 (31) 70 (11), 86 (10)
n	204 (Gesamtblitze)	
n_{Δ}	390 (Teilblitze)	
$Q_m^{1)}$	$\frac{4536}{204} = 22,2 \text{ C}$	—

1) ab 1951 ohne Stossladung
Eingeklammerte Zahlen: i_{max} in kA

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

Systematik der Blitzströme 1946...1954

Tabelle IV

Jahr	Gruppe 2 Positive Blitze	Gruppe 2a Positive Blitze mit Anfangsstoss (> 5 kA)
1946	1, 2, 4	2 (15), 4 (5)
1947	5, 14	—
1948	1, 5, 11, 15 ¹⁾	5 (6)
1949	1, 3	1 (16)
1950	1, 6, 7, 10, 13, 14, 16	7 (20), 10 (30), 14 (26)
1951	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 21, 38	8 (5), 38 (28)
1952	3, 4, 9, 10 ¹⁾ , 11, 12, 13, 14, 28	10 (30) ¹⁾ , 13 (32), 28 (20)
1953	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	1 (6), 7 (11)
1954	1, 2, 3, 10, 11, 22, 23, 31, 32, 41, 42, 81	22 (11)
n	57 (Gesamtblitze)	
n_{Δ}	59 (Teilblitze)	
$Q_m^{2)}$	$\frac{2537}{57} = 44,5 \text{ C}$	

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

1) 2 Teilblitze
2) ab 1951 ohne Stossladung
Eingeklammerte Zahlen: i_{max} in kA

Systematik der Blitzströme 1946...1954

Tabelle V

Jahr	Gruppe 3 Bipolare Blitze	Gruppe 4 Nur Stossentladung Dauer $\leq 0,01 \text{ s}$
1946	—	—
1947	—	—
1948	—	10
1949	—	—
1950	9, 11	12, 14 (+)
1951	13, 27	14, 36
1952	—	10 (+) ²⁾ , 26
1953	19	9, 14
1954	3, 4, 9, 12, 59, 68, 75, 76	14, 49, 50, 67
n	13	
n_{Δ}	24	
$Q_m^{2)}$	$\frac{1220}{13} = 94 \text{ C}$	
3)	$\frac{1550}{13} = 120 \text{ C}$	

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

1) 2 Teilblitze
2) ab 1951 ohne Stossladung
3) Mit Stoss von ca. 3 ms Dauer und > 385 C
Ladung bei Osz. Nr. 68 (KO)

Systematik der Blitzströme 1946...1954

Tabelle VI

Jahr	Gruppe 5a Negative Blitze mit Stoss im Rücken von Teilblitzen	Gruppe 5b Negative Blitze mit Stoss am Anfang späterer Teilblitze	Gruppe 6 Beide Türme getroffen
1946	6	6, 8, 10	— ¹⁾
1947	—	11, 13, 15, 18	— ¹⁾
1948	—	6, 12, 14	— ¹⁾
1949	—	—	— ¹⁾
1950	—	4	—
1951	11, 22, 23, 28, 29, 30, 31, 39	9, 11, 15, 28, 29, 30, 31, 39	1, 9, 11, 22, 31, 39
1952	2, 7, 21, 23, 32	2, 7, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32	5, 15, 22, 24, 27, 29
1953	—	13, 14, 17	11, 18, 19
1954	7, 8, 46, 48, 52, 70, 77, 78	13, 20, 21, 27, 36, 44, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 58, 60, 63, 66, 71, 78	3, 4, 6, 11, 13, 16, 25, 26, 29, 32, 48, 55, 56, 58, 62, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 77

1) Nur 1 Turm vorhanden

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

Systematik der Blitzströme 1946...1954

Tabelle VII

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 Teilblitze	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
n	204		57		13				
n _Δ	390		59		24				
Q _m	4536 204 = 22,2 C ¹⁾		2537 57 = 44,5 C ¹⁾		1220 13 = 94 C ¹⁾				
					1550 13 = 120 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

wenn angenommen wird, dass bei Blitzen in der Nähe des Berges kurzdauernde Entladungen (Büschelentladungen) aus der Turmspitze entstehen, deren Dauer so kurz ist, dass die trägen 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 [10].

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 in Tabelle VIII 90 Beispiele ausgezogen und auf den Tafeln IX...XIII reproduziert worden, welche ein Bild der

Typische Beispiele von Oszillogrammen des SO (Tafeln IX...XI)

Tabelle VIII

Jahr	Gruppe 1		Gruppe 2		3 ± Blitze	4 nur Stoss	5 (5a und 5b)
	1	1a	2	2a			
1946	6	8, 9, 10	—	—	—	—	6, 8, 10
1947	13, 15, 16 19	—	5	—	—	—	13, 15
1948	2, 6, 12	10, 14	—	—	—	10	6, 12, 14
1949	—	7	3	1	—	—	—
1950	2, 3, 5, 8 15	12	16	7, 10, 14	11	12, 14	—
1951	15, 23, 28 29, 30	14, 18, 36	—	8, 38	13, 27	14, 36	15, 22, 23 28, 29, 30
1952	2, 5, 7, 20 21, 22, 23 24, 29	26	3, 12	10, 13 28	—	10, 26	2, 7, 21, 22 23, 24, 29 32
1953	17	9, 12, 14	—	1	19	9, 14	13, 14, 17
1954	20, 46 58, 71	49, 50, 51 70	42	22	3, 4, 9 12, 59, 68, 75 76	49, 50	20, 46, 51 58, 70, 71

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

Tafel IX

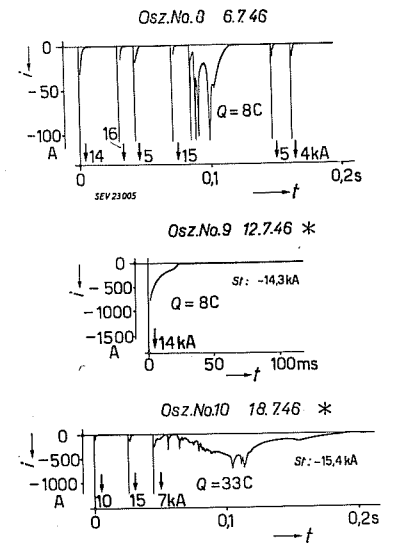
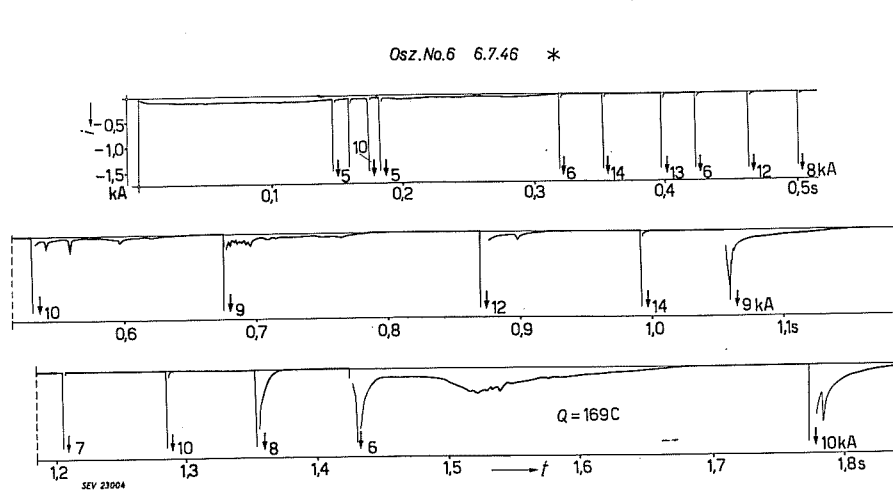
Charakteristische Schleifen-Oszillogramme

Oscillogrammes caractéristiques de l'oscillographe électromagnétique

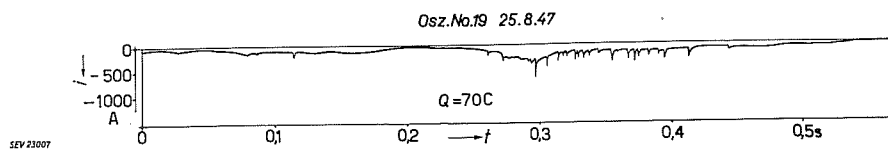
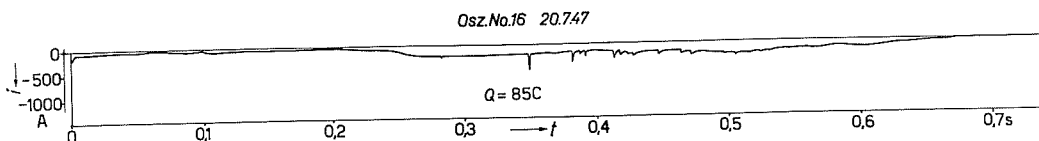
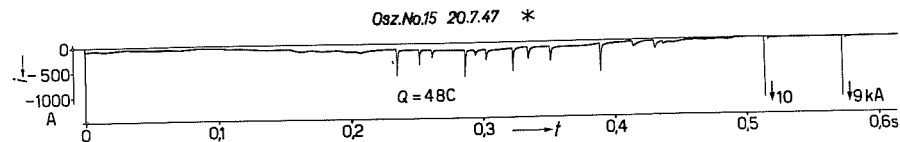
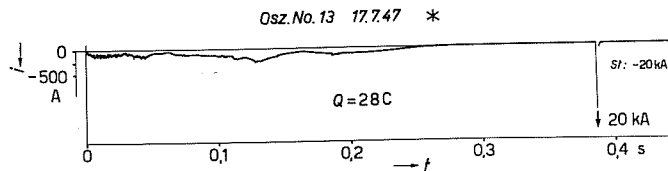
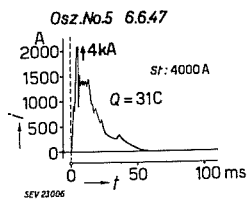
Oscillogrammi tipici dell'oscillografo elettromagnetico

Typical electromagnetic oscillograms

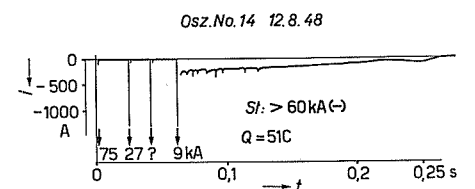
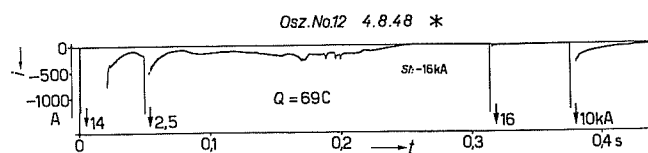
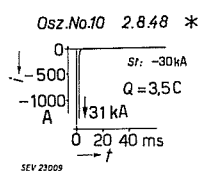
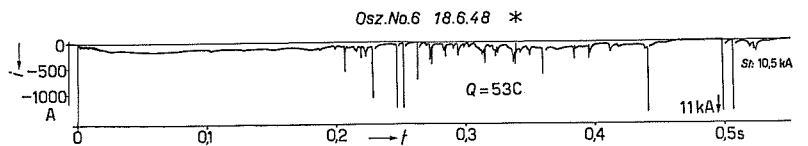
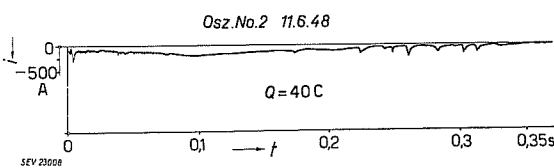
1946



1947

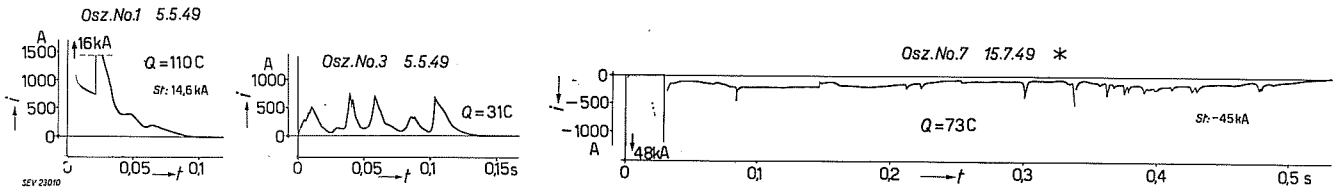


1948

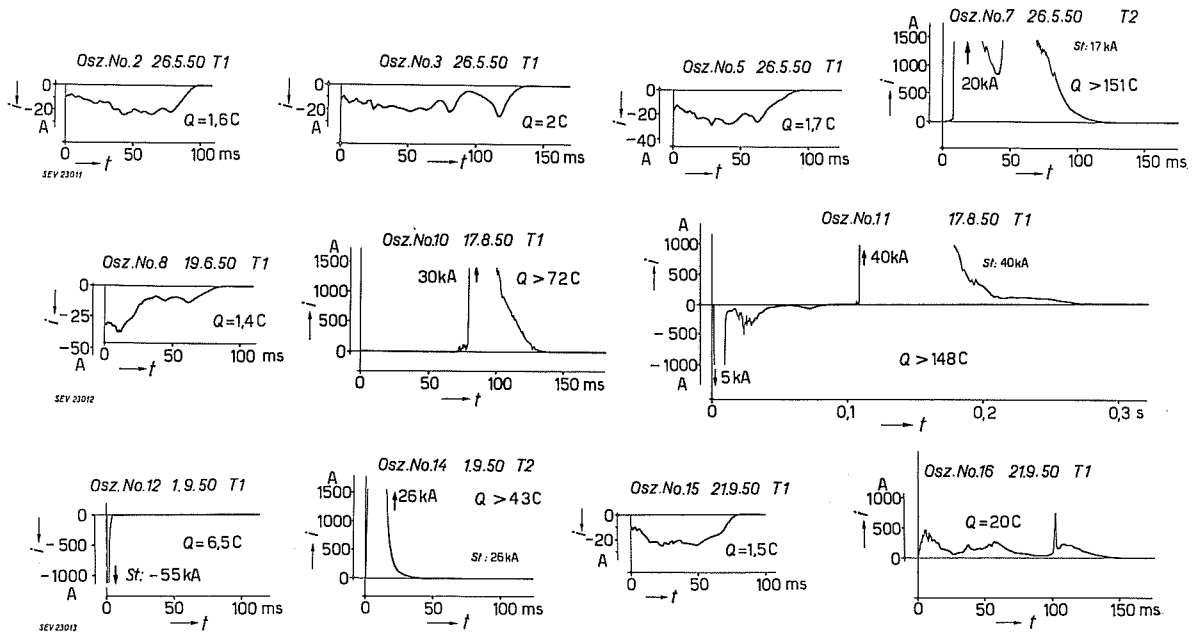


1949

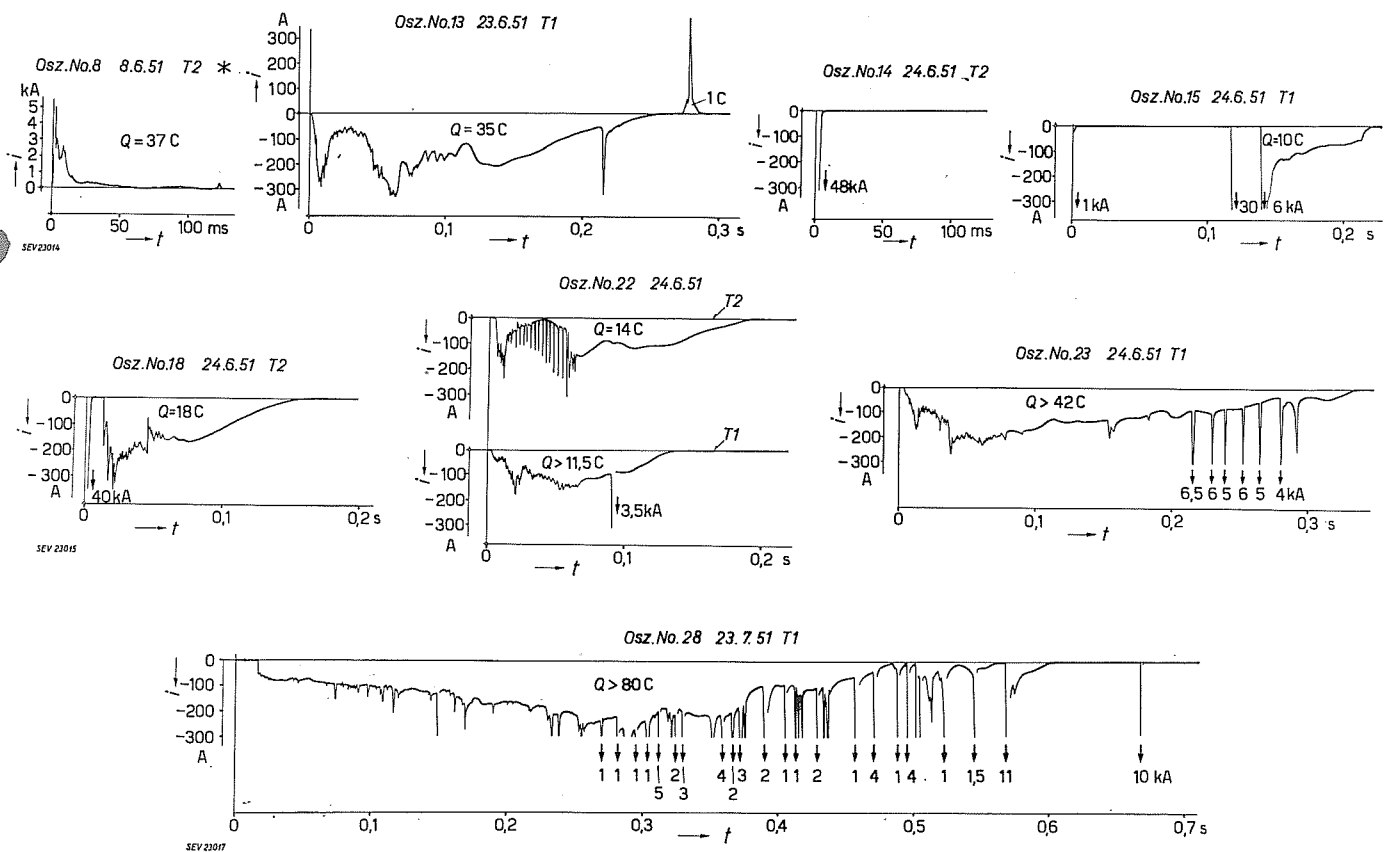
Tafel X



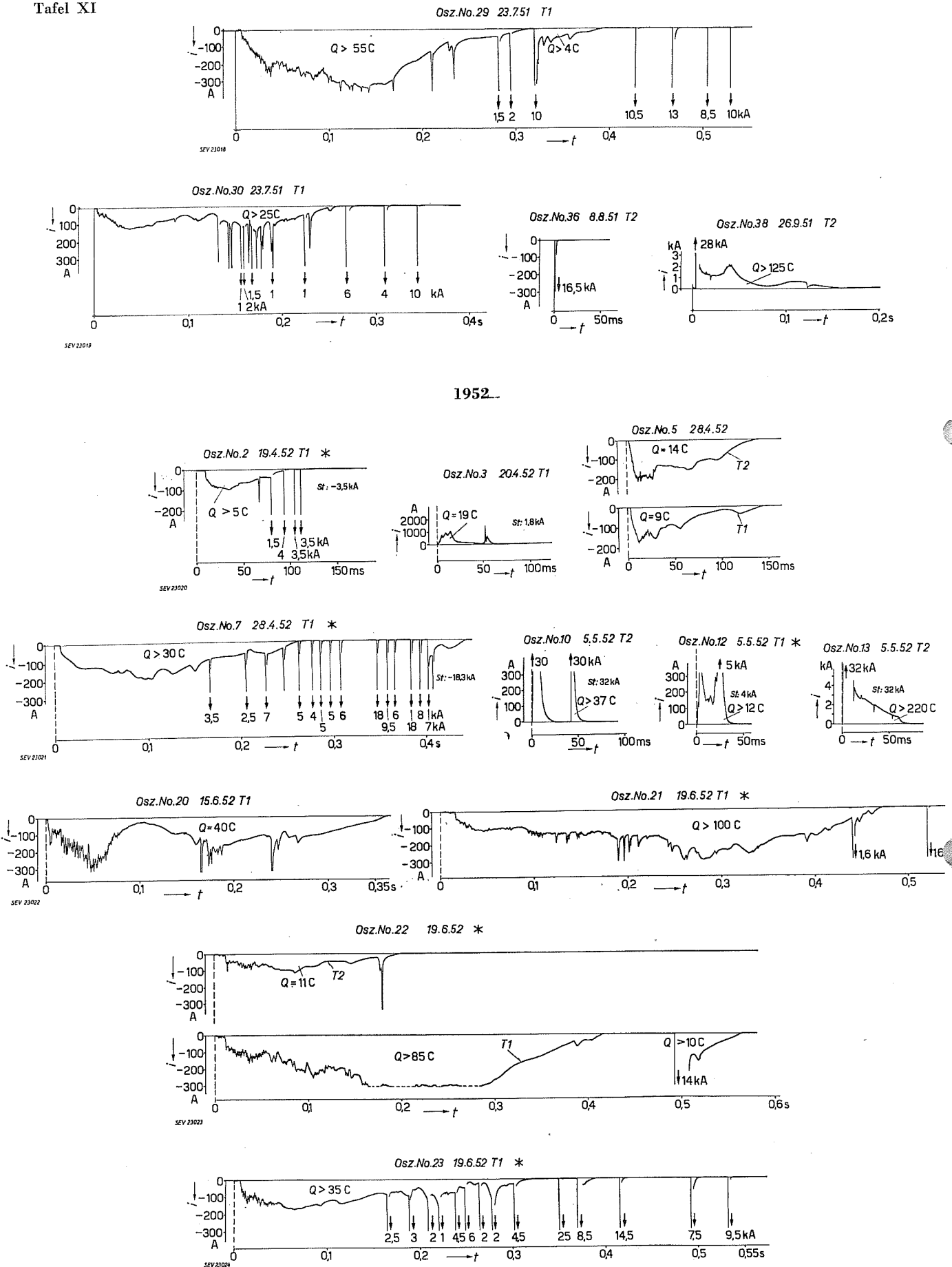
1950

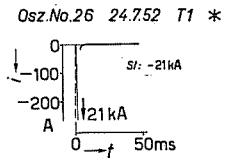
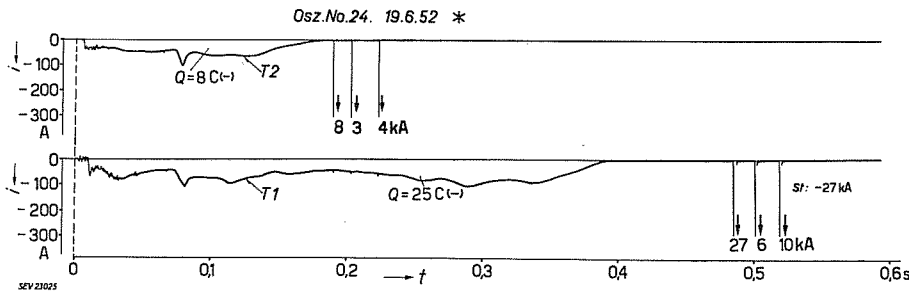


1951

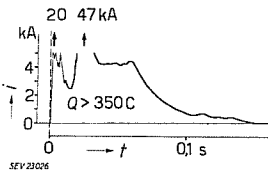


Tafel XI

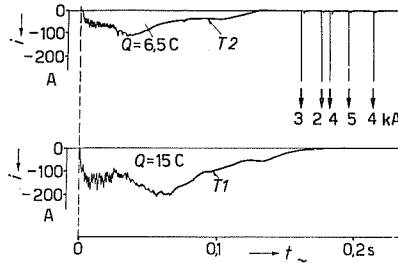




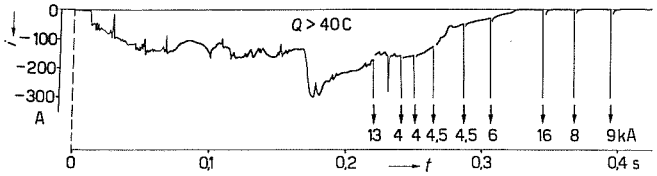
Osz.No.28 28.7.52 T1



Osz.No.29 28.7.52



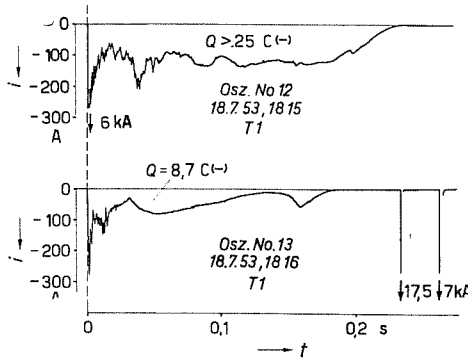
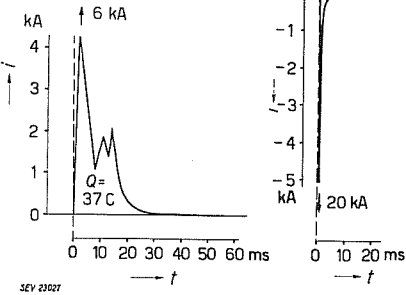
Osz.No.32 21.8.52 T1 *



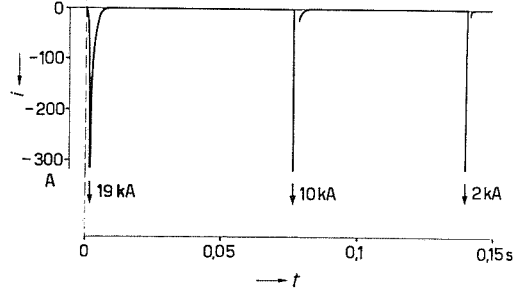
1953

Osz.No.1
29.4.53, 07.53, T1

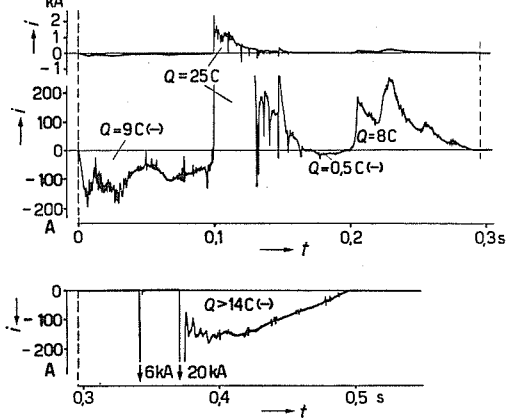
Osz.No.9
6.7.53, 13.40, T1



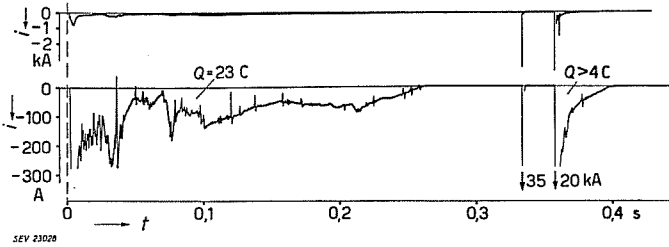
Osz.No.14
29.7.53, 22.34, T2



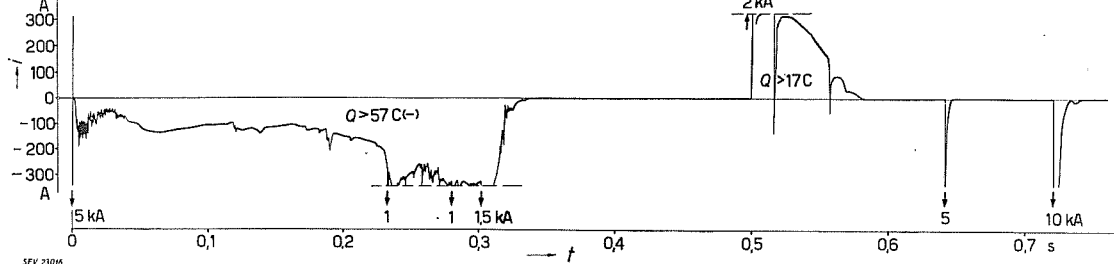
Osz.No.19 28.9.53, 18.20, T1



Osz.No.17 28.9.53 18.16, T1

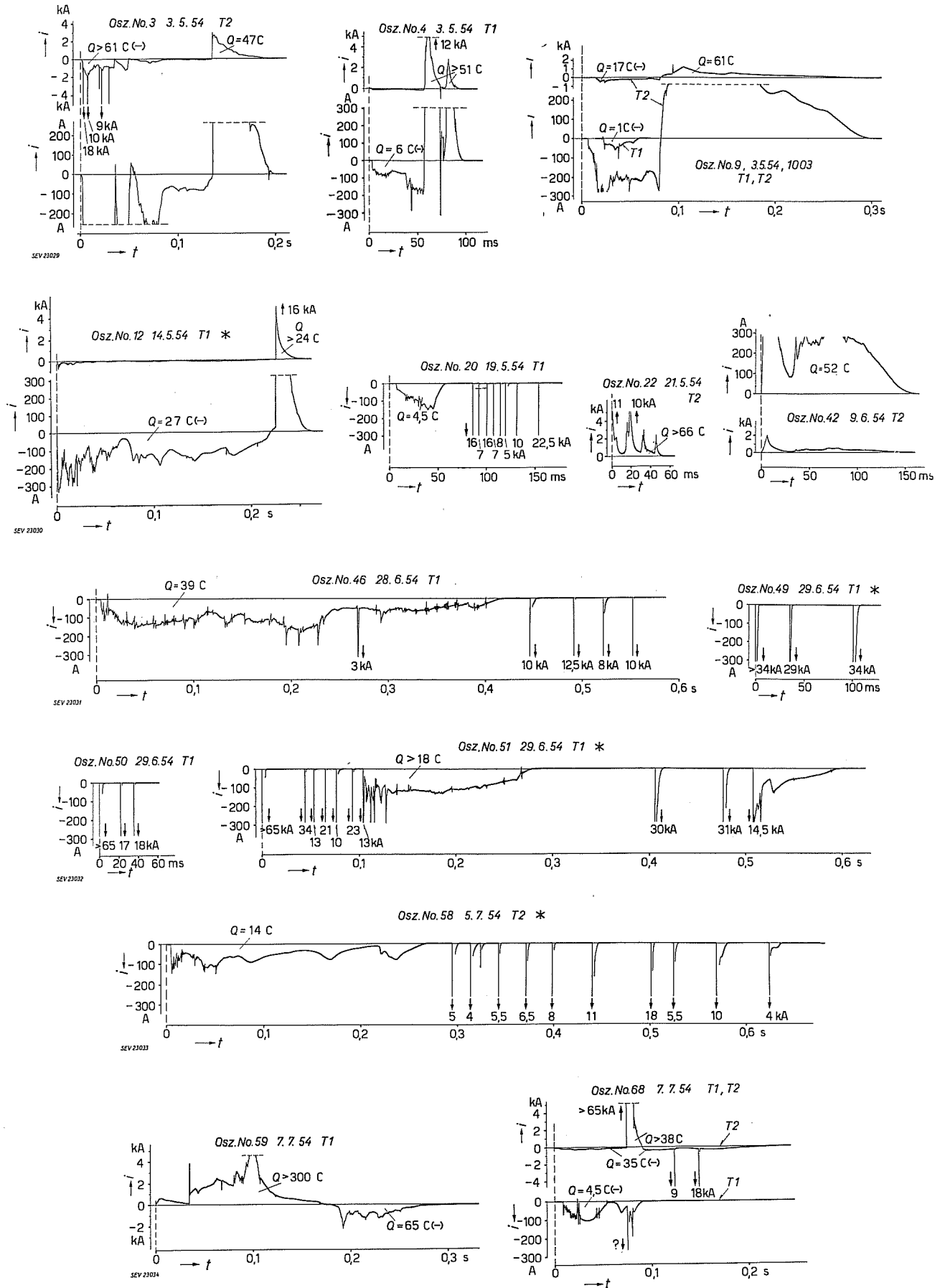


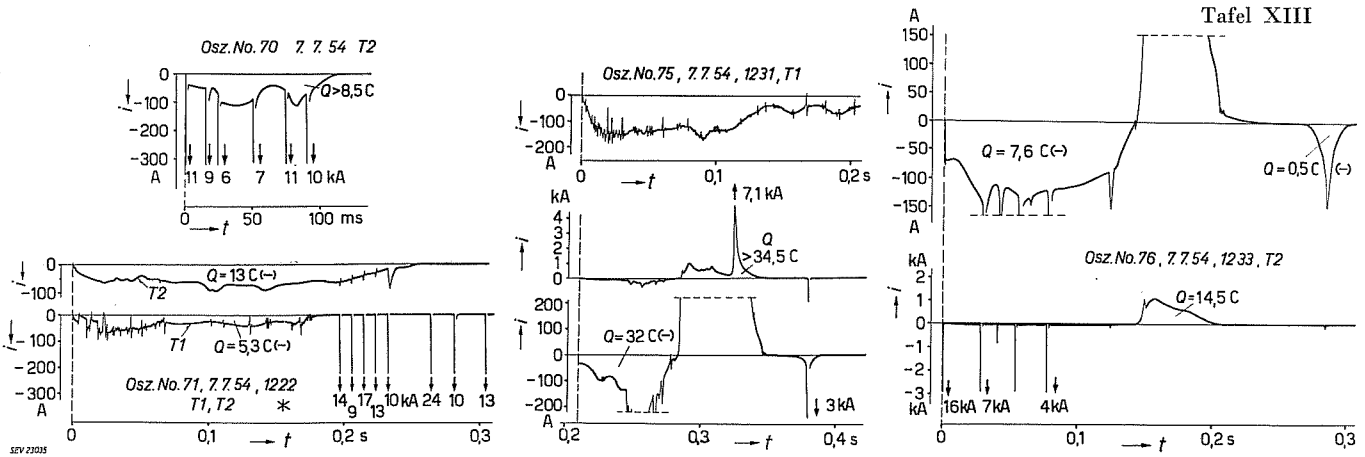
Osz.No.27 23.7.51 T2



Tafel XIII

1954





typischen Blitzeigenschaften 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 Glühlampen und Widerstände bewirkt, seit 1950 mit Hilfe von Selenketten, was sich als günstiger erwiesen hat.

In diesen Oszillogrammen sind sodann die Resultate der i_{max} -Messung durch den mittels der Speicherschaltung 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 $T = 57 \mu s$, 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. Die wesentlichen Kathodenstrahl-Oszillogramme sind in Tabelle IX aufgeführt und auf den Tafeln XIV...XVI 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.

Liste der wesentlichen Kathodenstrahl-Oszillogramme 1946...1954 (siehe Tafel II)

Tabelle IX

Jahr	Nummer
1946	6, 9, 10
1947	7, 13, 15, 20
1948	6, 10, 12
1949	7
1950	Keine KO-Oszillogramme
1951	ASEA-KO: 8, 9, 10, 11, 19, 20, 21, 37
1952	21, 22, 23, 24, 26, 32, ASEA-KO: 2, 7, 12
1953	Keine KO-Oszillogramme
1954	12, 14, 44, 49, 51, 58, 66, 67, 71, 78, 79

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 Überschlages von der Wasserleitung zum Geländer gehoben und ein Erdtrichter ausgeworfen (Fig. 29).

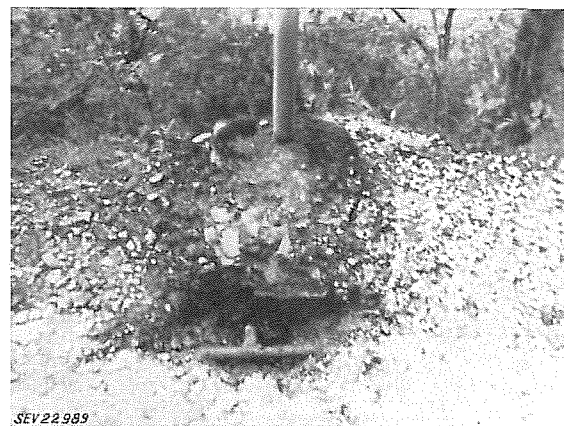


Fig. 29
Blitztrichter an Wasserleitung vor dem Messraum

5. Stahlstäbchen

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

Tafel XIV

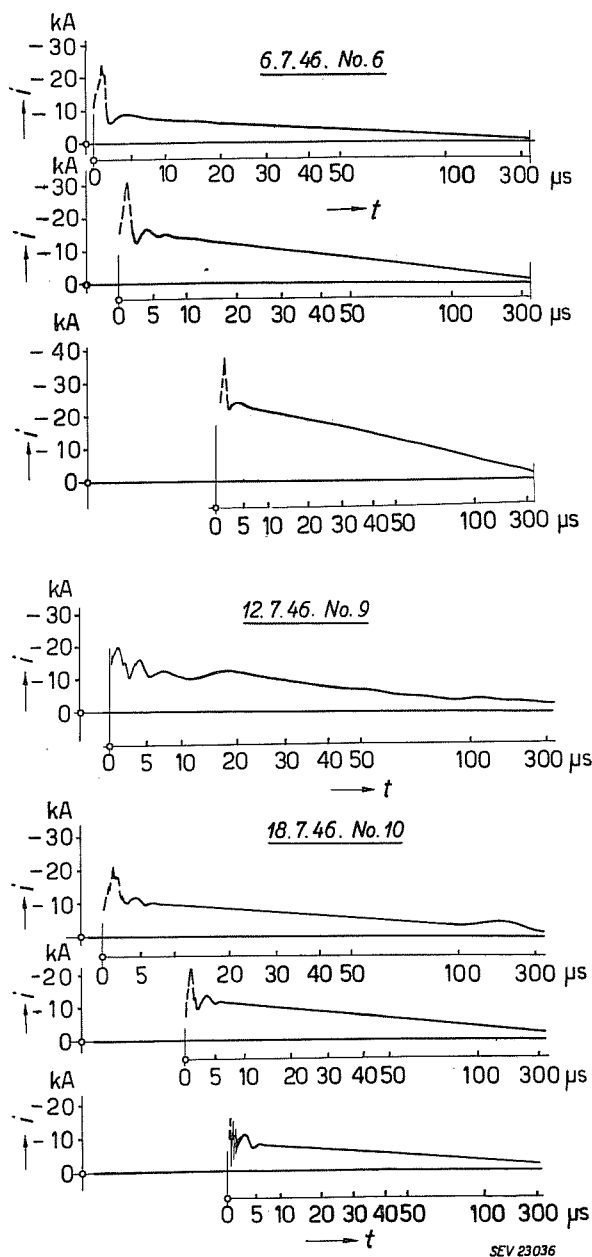
Charakteristische Kathodenstrahl-Oszillogramme

Oscillogrammes caractéristiques de
l'oscillographe cathodique

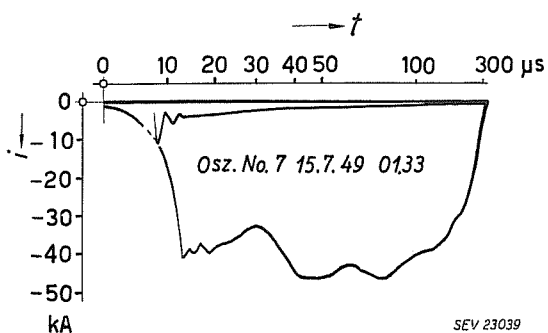
Oscillogrammi tipici dell'oscillografo
catodico

Typical cathode-ray oscillograms

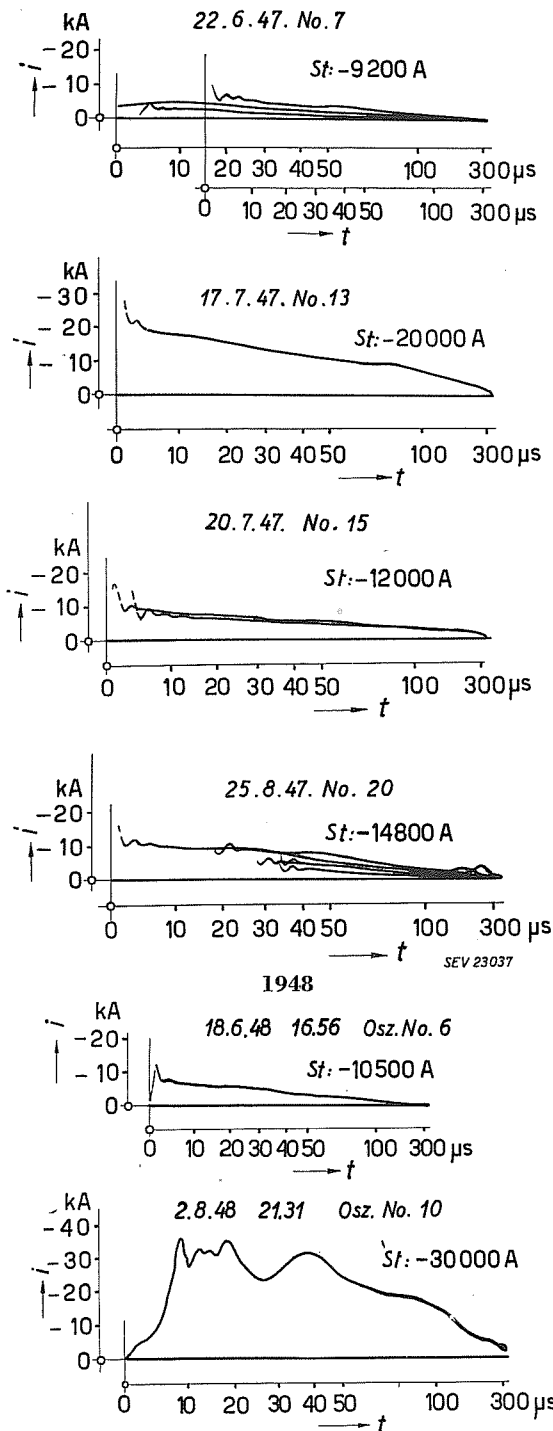
1946



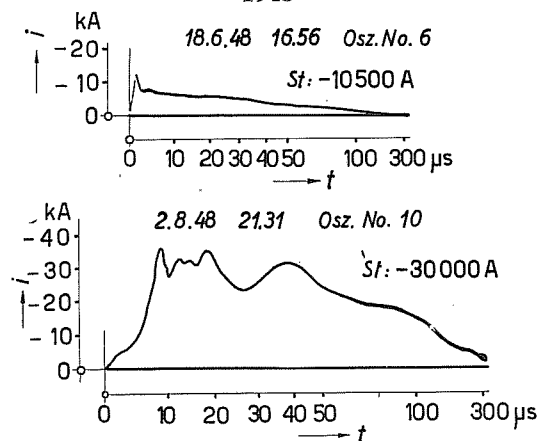
1949



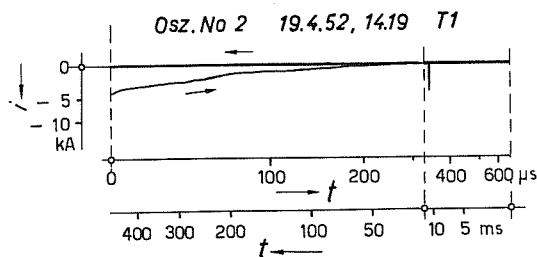
1947



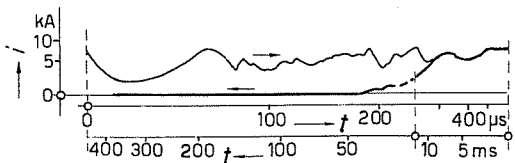
1948



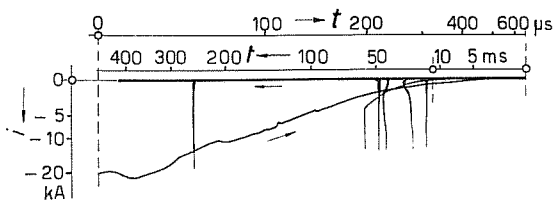
ASEA KO-San Salvatore



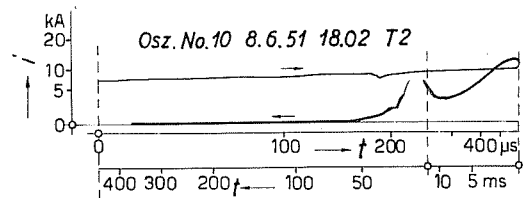
Osz. No. 8 8.6.51 16.46 T2



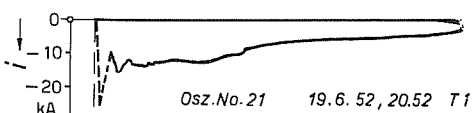
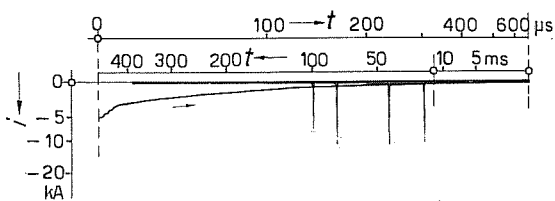
Osz. No. 9 8.6.51 17.39 T1



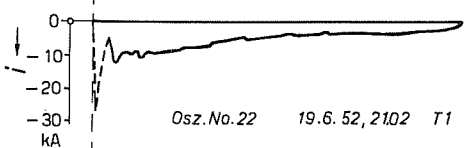
Osz. No. 10 8.6.51 18.02 T2



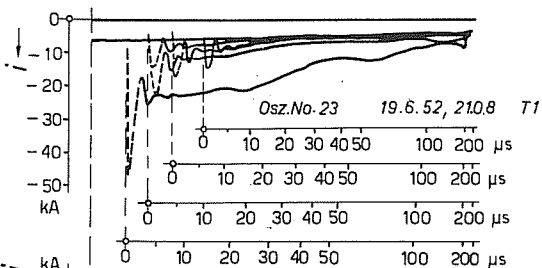
Osz. No. 11 8.6.51 18.23 T1



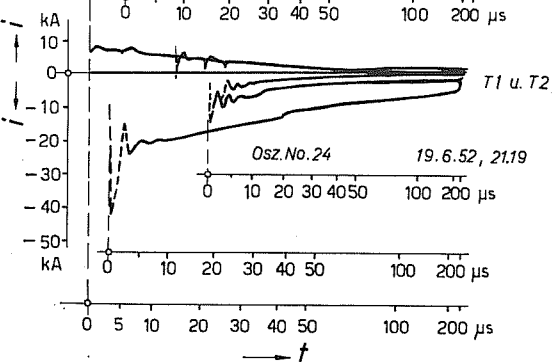
Osz. No. 21 19.6.52, 20.52 T1



Osz. No. 22 19.6.52, 21.02 T1



Osz. No. 23 19.6.52, 21.08 T1

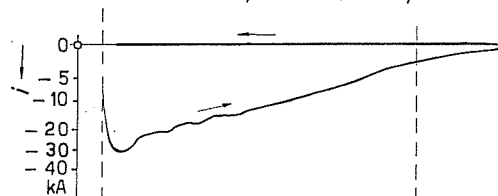


Osz. No. 24 19.6.52, 21.19

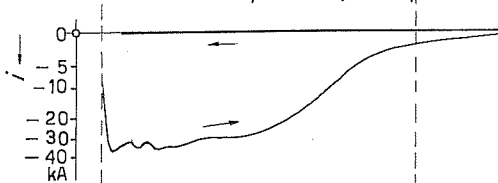
1951

Tafel XV

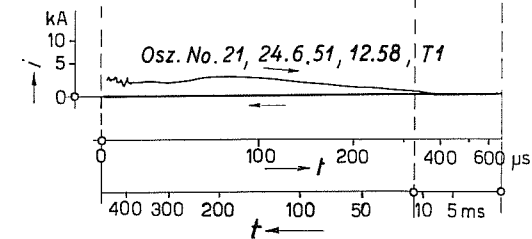
Osz. No. 19, 24.6.51, 12.47, T1



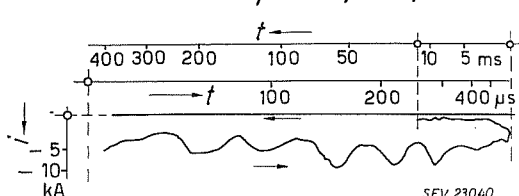
Osz. No. 20, 24.6.51, 12.49, T1



Osz. No. 21, 24.6.51, 12.58, T1

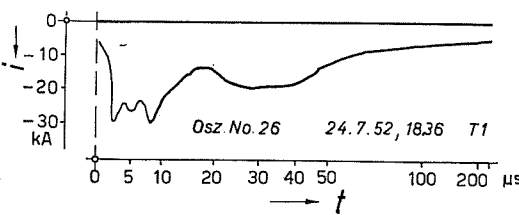


Osz. No. 37, 25.8.51, 22.59, T2

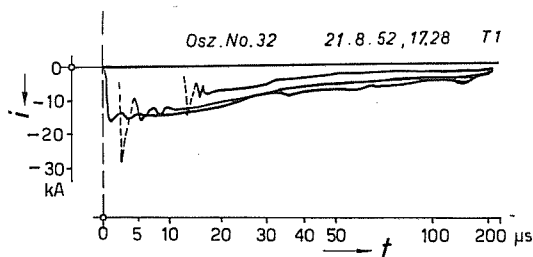


SEV 23040

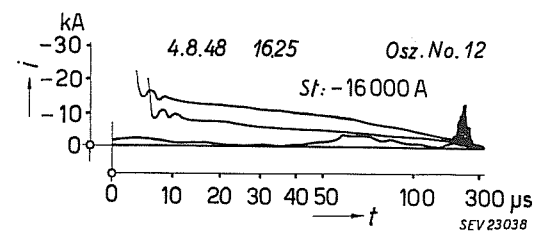
1952



Osz. No. 26 24.7.52, 18.36 T1



Osz. No. 32 21.8.52, 17.28 T1

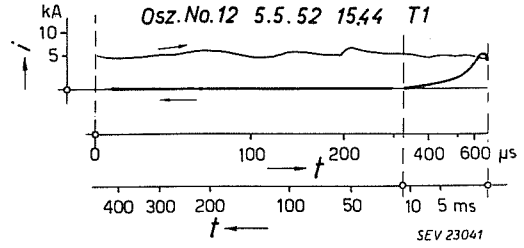
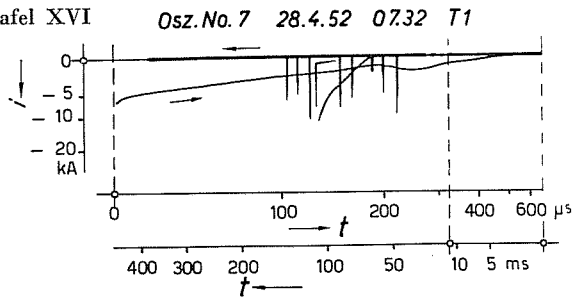


4.8.48 16.25 Osz. No. 12

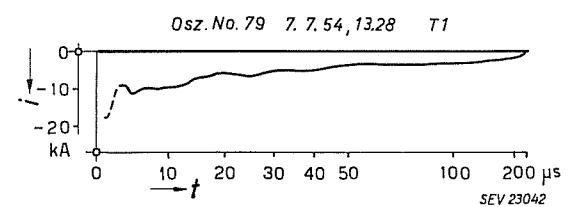
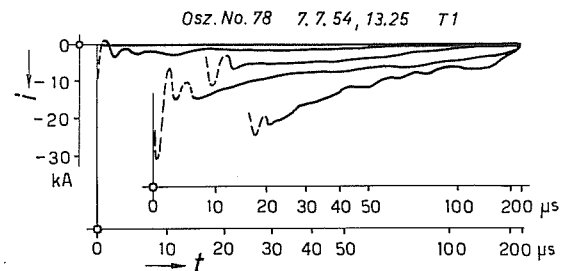
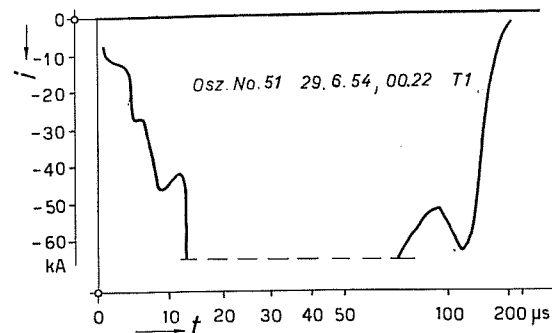
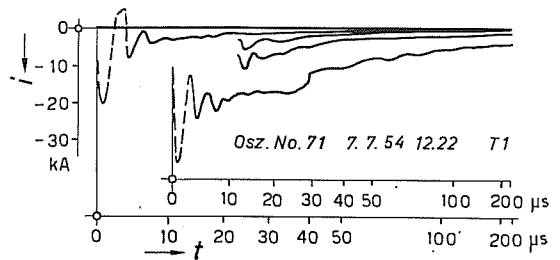
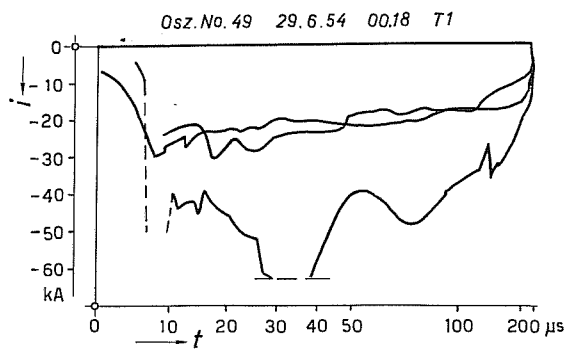
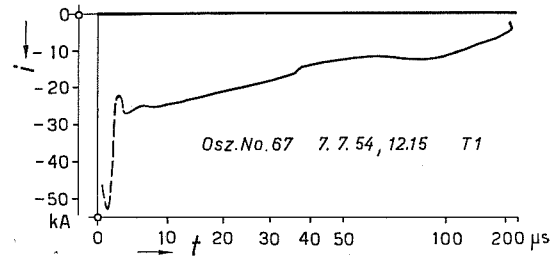
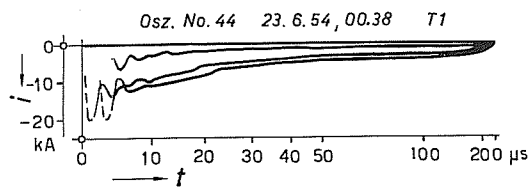
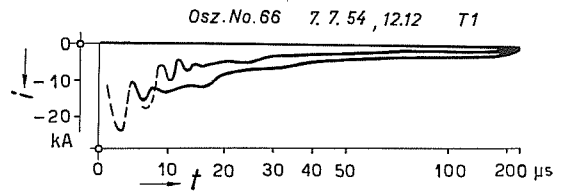
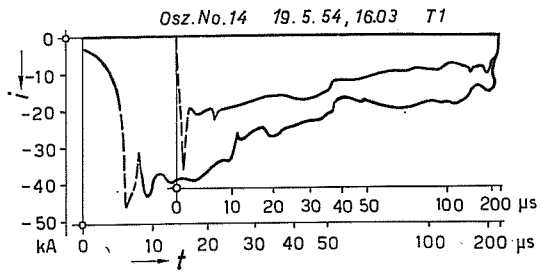
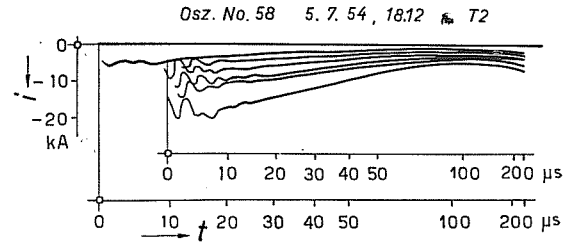
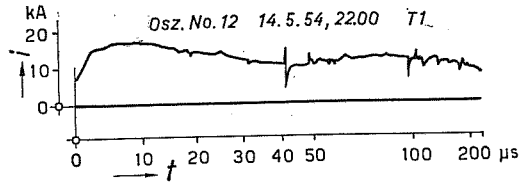
St.: -16000 A

SEV 23038

Tafel XVI



1954



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 (Tafeln IX...XIII) 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 frühern oder spätern Einwirkungen. Bedingung ist lediglich, dass mehrfache Figuren noch auseinander gehalten werden können. Mit der Auswechslung der die Form von alten Telephonhörern besitzenden Klydonographen nach jedem Gewitter ist dies im allgemeinen bei grössern Figuren noch möglich. Da die kleinen Klydonographenfiguren jedoch z. T. in den grössern verschwinden, sofern sich mehrere auf demselben Photopapier befinden, ist die Feststellung der gesamten Anzahl Figuren nicht möglich. Fig. 30 zeigt die Auswertung der Maximalwerte des Blitzstromanstiegs di/dt . Dabei ist stets zu beachten, dass es sich um grösste Momentanwerte der Blitzstromsteilheit handelt.

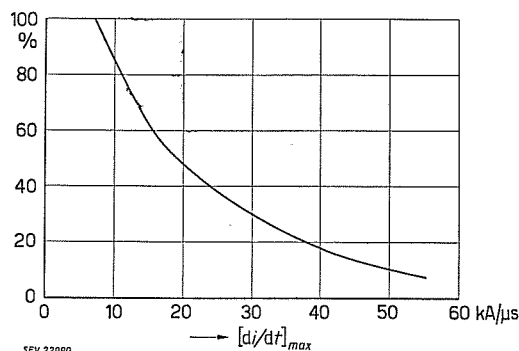


Fig. 30
Häufigkeit rascher Stromanstiege 1947...1954
26 Messungen mit Klydonograph
 $[di/dt]_{max}$ grösste Stromsteilheit

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.

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. Blitzeinschlags-Photographie

Seit 1951 werden vom Photoraum auf dem Berggipfel aus alle nächtlichen Blitzeinschläge 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.

Beispiele von Blitz-Photographien
(siehe Tafel II...VIII)

Tabelle X

Tafel	Himmels-Richtung	Datum	Zeit
II	NW	26. 5. 1953	20.51...20.56
		26. 5. 1953	20.56...21.00
		26. 5. 1953	21.02...21.06
		8. 9. 1954	01.03...01.11
		8. 9. 1954	01.14...01.16
		8. 9. 1954	01.16...01.21
III	NW	8. 9. 1954	01.22...01.23
		8. 9. 1954	01.23...01.25
		8. 9. 1954	01.25...01.27
		8. 9. 1954	01.27...01.29
		8. 9. 1954	01.29...01.31
		8. 9. 1954	01.31...01.38
IV	NE	24. 6. 1954	21.41...21.51
		21. 5. 1953	20.59...21.01
		29. 7. 1953	22.31...22.45
		22. 6. 1954	23.41...23.54
		22./23. 6. 1954	23.54...0.06
		28. 6. 1954	22.40...22.45
V	NE	22./23. 7. 1951	23.28...0.19
		29. 7. 1953	22.52...22.58
		29. 7. 1953	22.58...23.01
		29. 7. 1953	23.01...23.02
		28. 6. 1954	23.44...23.45
		23. 6. 1954	0.36...0.42
VI	S	8. 8. 1951	0.34...01.47
		4. 5. 1952	20.44...20.53
		14. 7. 1952	21.56...21.58
		14. 7. 1952	21.11...21.17
		2. 9. 1954	23.16...23.26
		14. 7. 1952	21.47...21.50
VII	SW	22. 6. 1953	22.37...23.00
		29. 7. 1953	22.15...22.40
		29. 6. 1954	0.15...0.18
		11. 5. 1952	22.35...22.48
		29. 6. 1954	0.11...0.16
		29. 6. 1954	0.19...0.23
VIII	W	29. 6. 1954	0.23...0.29
		8. 9. 1954	01.26...01.33
		8. 9. 1954	01.47...01.54
		8. 9. 1954	01.54...01.57
		8. 9. 1954	01.57...02.00
		8. 9. 1954	01.57...02.00

Leider ist es bis heute nur möglich, Blitze während der Nacht zu photographieren, weil die Ver-

schlüsse 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 Blitzeinschläge. Auf Grund der Oszillogramme wäre die Photographie des Blitzeinschlagortes 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 in der Tabelle X einige Blitzphotographien ausgezogen und in den Tafeln II...VIII 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 Tafel I). 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. *H. Rutz*, der die Apparate betreut, hat die seltene Gelegenheit, vom Photoraum aus eine Menge von Blitzen von Auge zu beobachten, während die Photoapparate 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 Blitzes 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.

3. 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 höhern Geschwindigkeit (ca. 1/100 der Lichtgeschwindigkeit). Über die Blitzbildung an hohen Objekten liegen Beobachtungen vor 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 Ruckstufen («dart leader»: Leitblitz mit Wurfspeer vergleichbar). Die beiden gelungenen Bilder vom ersten Teilblitz sind in Fig. 31 und 32 reproduziert.

Das erste Bild (Fig. 31) ist im Photoraum in Paradiso am 15. Juli 1949 gewonnen. Es zeigt einen Blitz hinter dem Monte San Salvatore mit einer Reihe von Ruckstufen, deren Auswertung auf dem Bild dargestellt ist. Das zweite Bild ist in Fig. 32 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 XII). 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

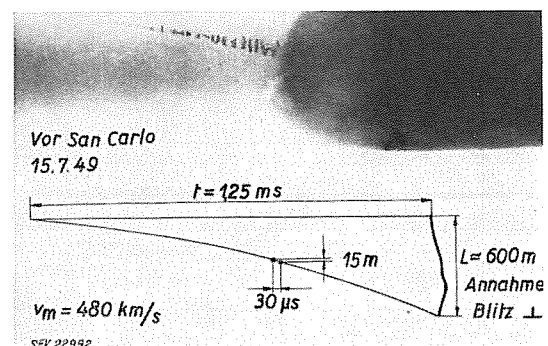


Fig. 31
Ruckweise vorwachsender Teilblitz («stepped leader»)
1. Beispiel
Aufnahme mit Boys-Kamera Paradiso mit grosser Filmgeschwindigkeit

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 spätern Teilblitze führen ausschliesslich zum Turm, nicht mehr zum Felsen. Das zu Fig. 18 gehörige

Oszillogramm Nr. 14/1953, Tafel XII, beginnt mit einem negativen Stoßstrom von ca. 19 kA. Auch die zwei spätern 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-Oszillogramm 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 stu-

fenweise Entwicklung zeigen, Abzweige, die in der Luft endigen, dagegen momentan entstehen sollen. Die Erklärung liegt eher darin, dass die Vorentladungsstufen schwacher 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 aufleuchten lässt

Fig. 33 und 34 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* gut erkennbar.

Fig. 35 und 36 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. 35 reproduziert. Leider ist kein zugehöriges Stromoszillogramm vorhanden, da dieser Blitz nicht von einem Messturm, sondern von einer dem Gipfel des

Fig. 32

Ruckweise vorwachsener 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 (grosse Filmgeschwindigkeit), Vorwachsen und erster Teilblitz; c zweiter Teilblitz, 80 ms später; d dritter Teilblitz, 150 ms später

Exemple d'une photographie montrant la formation du canal de la foudre

a Photo relevée avec la caméra fixe. Elle montre un éclair avec deux branches vers en bas.

b, c, d photo relevée avec la caméra Boys à grande vitesse du film. Elle montre 3 coups de foudre partiels, chacun avec une décharge préliminaire (leader stroke), dont le premier se présente sous la forme du «stepped-leader», les deux suivants sous la forme du «continuous leader». On remarque la formation simultanée des deux branches du premier «stepped leader». Au moment où le canal atteint le paratonnerre d'un côté, une décharge momentanée se propage de la pointe du paratonnerre vers le haut.

Esempio di una fotografia mostrante la formazione del canale di un fulmine

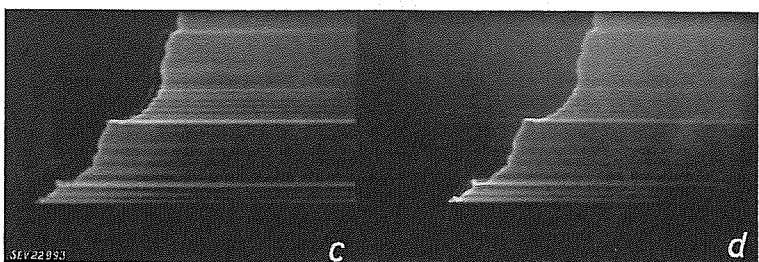
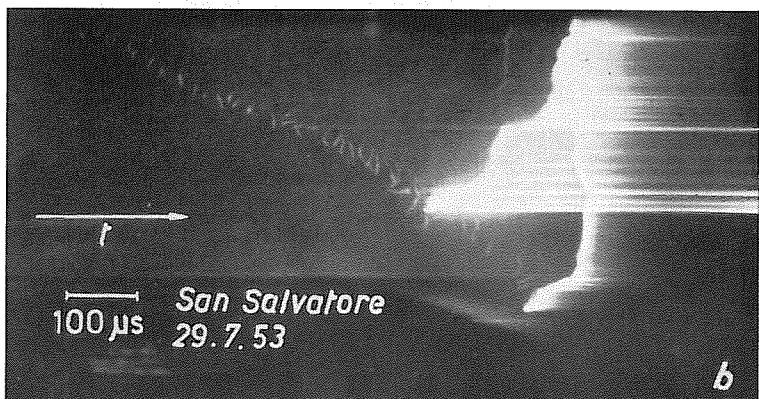
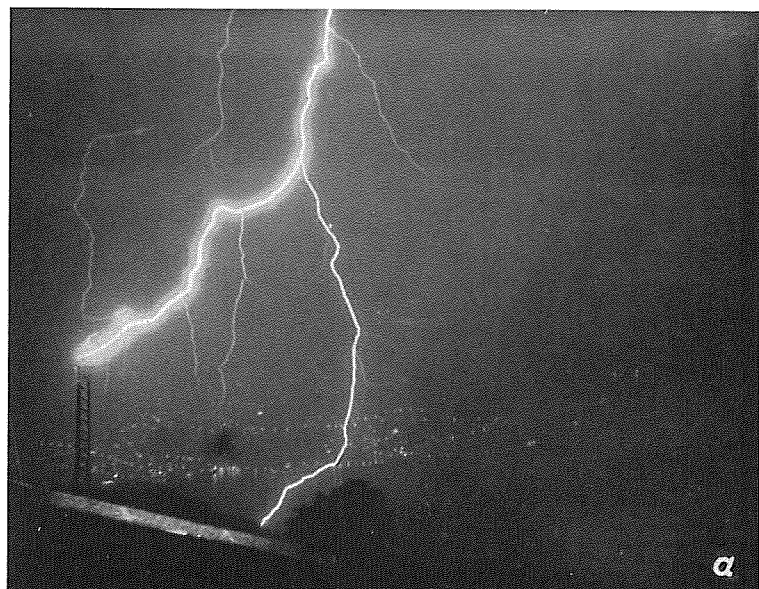
a Fotografia presa con l'apparecchio fotografico fisso. Essa mostra un lampo con due ramificazioni verso il basso.

b, c, d. Fotografia presa coll'apparecchio fotografico Boys che possiede una pellicola mossa a grande velocità. Essa mostra tre colpi di fulmini parziali: ciascuno con scarica preliminare (leader stroke), di cui la prima si presenta sotto forma di un «stepped-leader», e le due seguenti sotto forma di «continuous leader». Si rimarca la formazione simultanea delle due ramificazioni del primo «stepped-leader». Nel momento in cui il canale tocca il parafulmine da un lato, una scarica momentanea si propaga dalla punta dello stesso verso l'alto.

Example of a photograph showing the formation of a lightning channel

a Photograph taken with a fixed camera showing a lightning stroke with two branches at the lower end.

b, c, d Photographs taken with a high-speed Boys camera showing 3 partial strokes, each one with a preliminary discharge (leader stroke). The first of these leader strokes is in the form of a «stepped leader», the following two in the form of a «continuous leader». Note the simultaneous formation of the two branches of the stepped leader. The instant the lightning channel reaches the lightning tower from one side, a momentary discharge travels from the tower upwards.



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

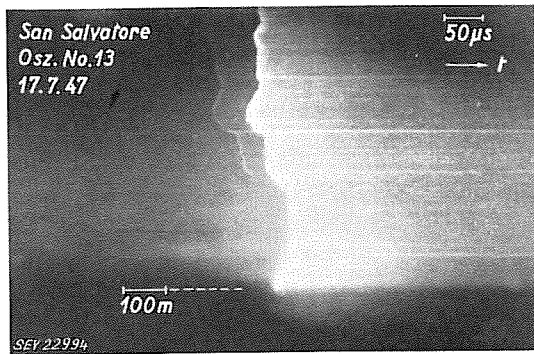


Fig. 33

Glatte, nicht ruckweise Vorentladung späterer Teilblitze («dart leader»)

1. Beispiel

Aufnahme mit Boys-Kamera (grosse Filmgeschwindigkeit)

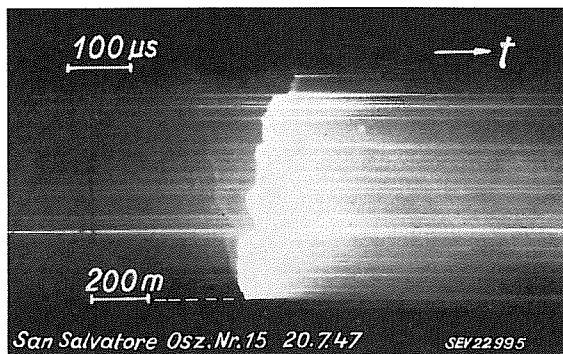


Fig. 34

Glatte, nicht ruckweise Vorentladung späterer Teilblitze

2. Beispiel

Aufnahme mit Boys-Kamera (grosse Filmgeschwindigkeit)

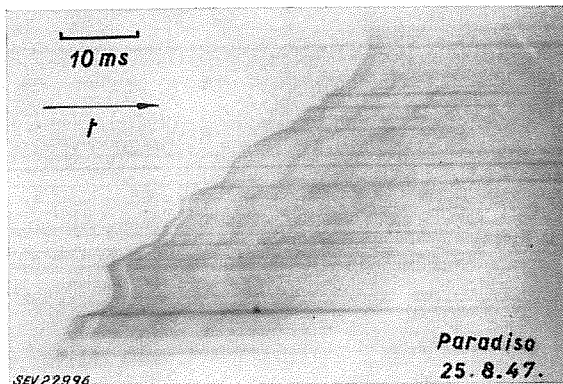


Fig. 35

Nach oben vorwachsener 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. 36 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.

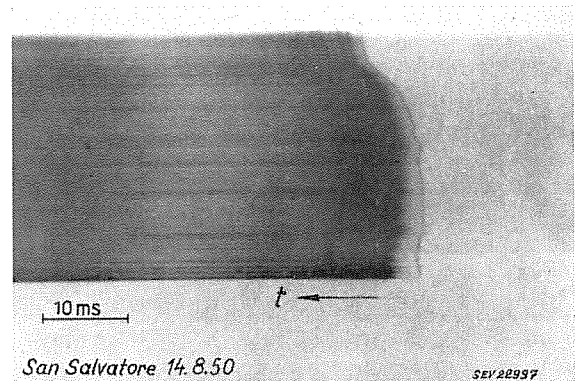


Fig. 36

Nach oben vorwachsener 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.

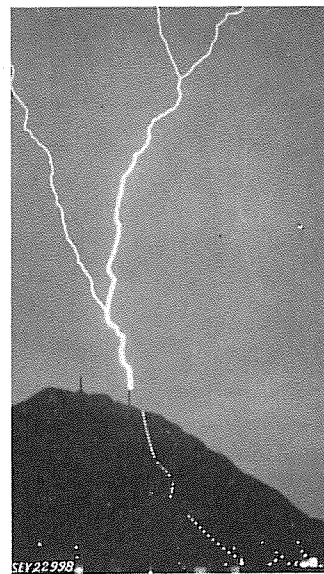


Fig. 37

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. 37 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 Stromoszillogramme zeigen, dass hier mit ganz seltenen Ausnahmen nur ein einziger Teilblitz vorkommt. Man vergleiche dazu die Häufigkeitskurven der Fig. 38a und b. Die Steilheit der positiven Blitzströme scheint viel kleiner zu sein als bei Blitzen 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. 38a 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. 39a), und dann die Häufigkeit verschiedener Scheitelwerte von Teilblitzen (Fig. 39b).

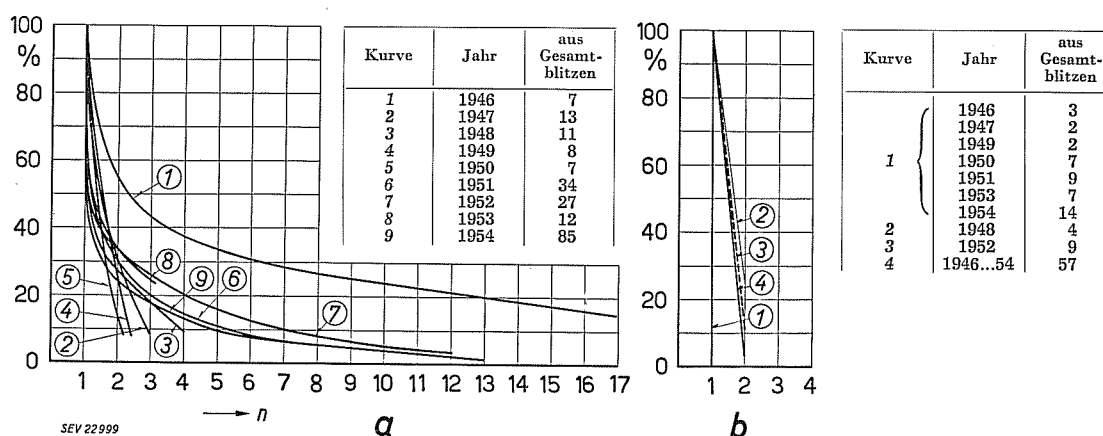


Fig. 38
Häufigkeit der Anzahl negativer und positiver Teilblitze in Gesamtblitzen
a negative Blitze; b positive Blitze; n Anzahl Teilblitze

erkennen lässt. Fig. 31 und 32 stellen daher mindestens photographisch einen relativ seltenen Ausnahmefall dar. Es fragt sich, ob auch die Bildung von Ruckstufen als Ausnahmefall zu gelten hat. Fig. 32, 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.

IV. Diskussion der bisherigen Beobachtungen

1. Statistik der elektrischen Blitzdaten

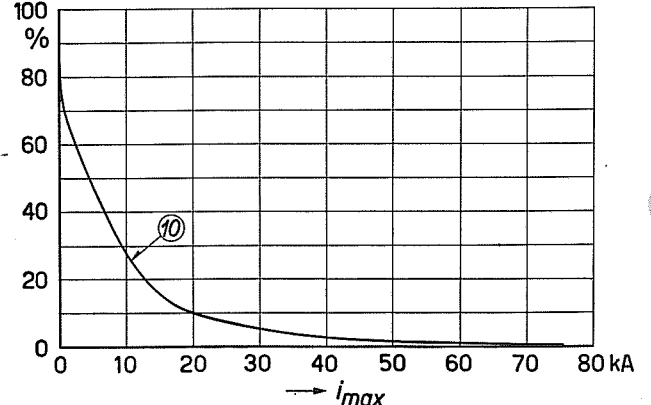
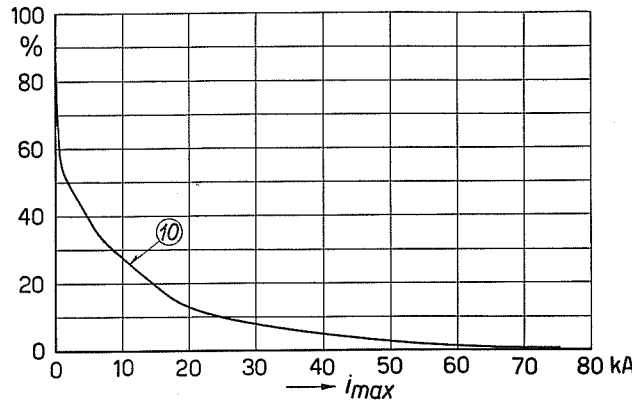
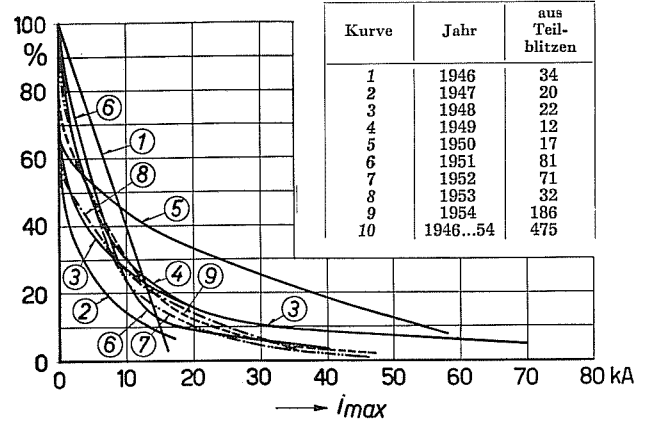
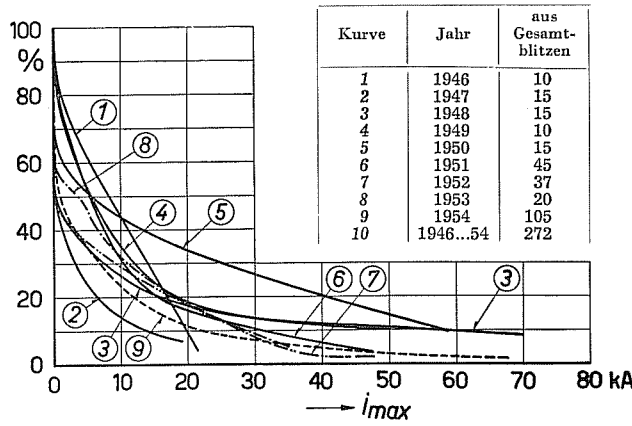
Die Blitzeinschläge in die beiden Messtürme in den Jahren 1947...1954 sind statistisch ausgewertet und in den nachstehenden Fig. 38...41 dargestellt worden. Es betrifft dies folgende Daten des Blitzes:

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. 39 zeigt, dass eine beträchtliche Anzahl Blitze mit kleinem Strom (z. B. < 2 kA) vorkommen. Es ist ohne weiteres möglich, aus diesen Kurven jene ändern 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. 39
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 XI ersichtlich.

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

Tabelle XI

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 (-) > 141 (+)	> 5 000 (-) > 40 000 (+)
1951	38	+	≈ 125	+ 28 000
1952	13	+	≈ 220	+ 32 000
	28	+	> 350	+ 47 000
1953	—	—	—	—
1954	3	-/+	> 61 (-) > 47 (+)	— 18 000 > 108
	11	+	> 320	+ 14 000
	19	—	110	— 1 550
	59	+/-	> +300 — 65	+ 7 500 > 365 — 3 000
	68	-/+/-	> +350 ¹⁾ — 35	> + 65 000 ¹⁾ > 385 — 18 000
	78	—	> 135	— 27 500

¹⁾ KO-Messung

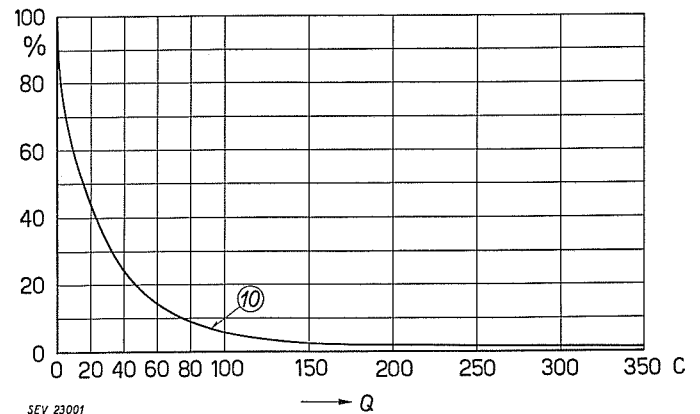
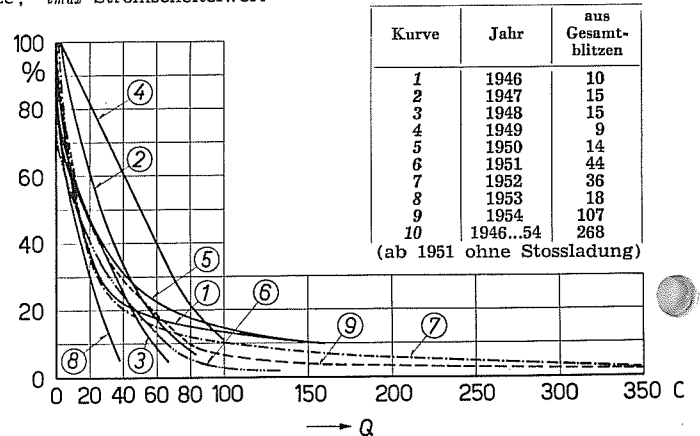


Fig. 40
Häufigkeit der Ladungen von Gesamtblitzen
Q Ladung

d) Die Dauer des Blitzes

Es sind zwei Darstellungen gewählt, je nachdem, ob die Dauer von Gesamtblitzen (Fig. 41a) oder jene von Teilblitzen (Fig. 41b) gemeint ist.

scheinen von der Grössenordnung $10...20 \text{ kA}/\mu\text{s}$ zu sein.

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

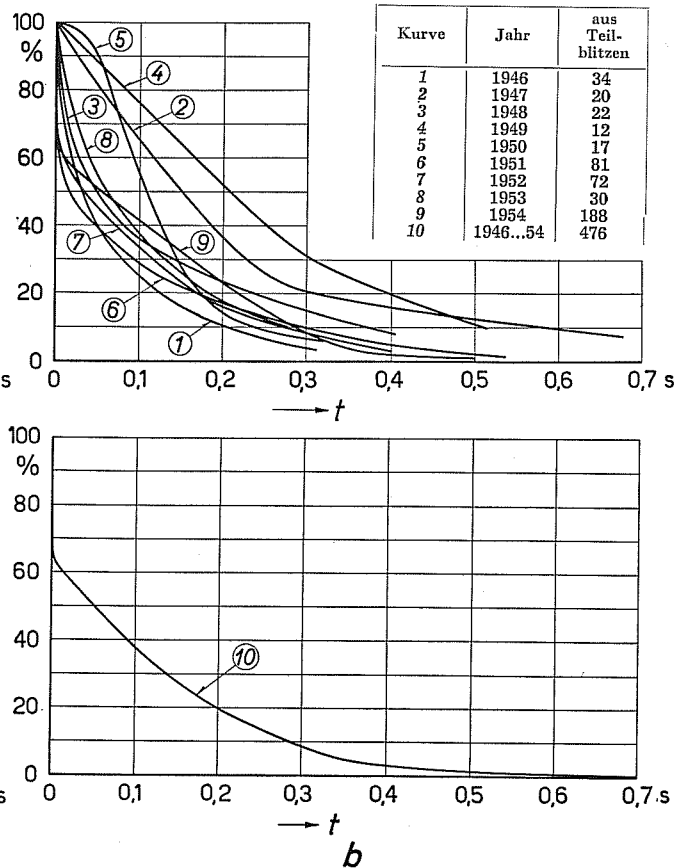
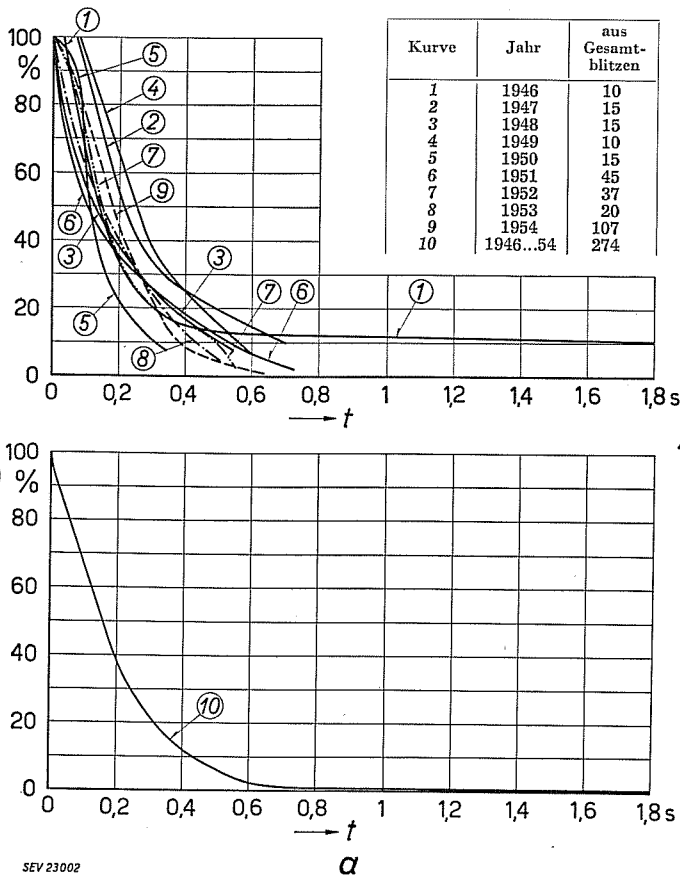


Fig. 41
Häufigkeit der Dauer von Gesamt- und Teilblitzen
a Gesamtblitze; b Teilblitze
t Blitzdauer

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. 30). 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 XII enthält die Auswertung der KO-Oszillogramme bezüglich des Stromscheitelwertes i_{max} , der Halbwertdauer 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 $30 \text{ kA}/\mu\text{s}$ 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. $0,3 \text{ MHz}$ 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.

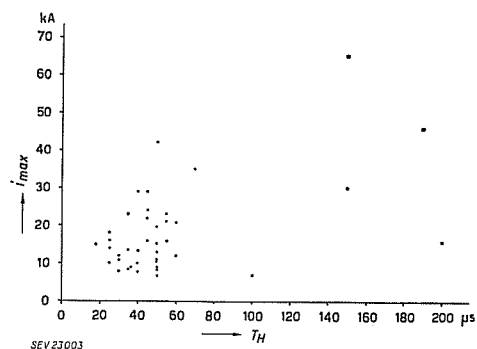


Fig. 42
Korrelation zwischen Blitzstrom-Scheitelwert und Halbwertdauer
 i_{max} Stromscheitelwert; T_H Halbwertdauer

KO-Oszillogramm-Auswertung

Tabelle XII

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. 42 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 Blitzeinschlägen montierten Stahlstäbchen hat ergeben, dass weder in das Berghotel noch in die Bergstation der Drahtseilbahn während der Beobachtungsperiode 1947...1954 Blitzeinschläge vorgekommen sind. Dagegen ereignete sich ein einziger Blitzeinschlag 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 Horizontalstrecke 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 Blitzeinschlags ca. 15 m unter der Spitze von Turm 2; siehe Fig. 32.

3. Geographische Lage der Blitzeinschläge

Die in den Jahren 1951...1954 photographierten Blitzeinschlagspunkte sind bereits in Tafel I 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 Blitzeinschläge berücksichtigt, so wäre nach den Beobachtungen von H. Rutz die Lücke im Vedeggiotal, d. h. im Sektor NW...N, bereits von Blitzeinschlägen 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 Blitzeinschläge 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 Blitzeinschläge elektrisch auszumessen, wie im Kapitel I 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. 32 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 *Blitzeinschlagzähler*, 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 fliesst und sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von $1000 \text{ A}/\mu\text{s}$ ändert. Somit war 1954 mit rund vier Blitzeinschlägen pro km^2 um den San Salvatore herum zu rechnen, welche obige minimale Stromteilheit 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, andererseits 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 Blitzes rührt wohl davon her, dass der unter der Wolkengrenze liegende und daher sichtbare Teil des Blitzes mehr oder weniger senkrechte Richtung aufweist. Der horizontale, oft viel längere Teil dagegen ist nur in Aus-

nahmefällen sichtbar, wie z. B. aus Tafel VI, Aufnahme vom 14. Juli 1952, hervorgeht. Die Entfernungsmessung eines Einschlags aus der Schallmessung muss daher zu ganz falschen Resultaten führen, und auch die Blitzeinschlagzählung 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 VIII). Das Bild sieht genau so aus, wie wenn der Blitzkanal am Erdboden gestoppt würde, während 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. 31 und 32). 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 bekannt gewordenen 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.

V. 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. Betracht-

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 Registrier-KO grosser Schreibgeschwindigkeit, 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 Blitzeinschläge pro Jahr auf einem begrenzten Umkreis, oder im Detail durch Feststellung der genauen geographischen Lage jedes einzelnen Einschlags. 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 trägheitslosen, 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 Beobachtungs-

periode. 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. Andererseits 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 Faradaya-käfigs, gegeneinander kostenmässig abzuwägen 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 Hörmessungen tatkräftig mitgearbeitet hat.

Literatur

- [1] Berger, K.: Die Blitzmeßstation auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 26, 29. Dez., S. 803...805.
- [2] Berger, K.: Neuere Resultate der Blitzforschung in der Schweiz. Bull. SEV Bd. 38(1947), Nr. 25, 13. Dez., S. 813...823.
- [3] Surge Phenomena. Seven Years Research for the Central Electricity Board 1933...1940. Part I: The Study of Lightning. London: The British Electrical and Allied Industries Research Association 1941.
- [4] Pockels, F.: Ein Versuch, die bei Blitzschlägen erreichte maximale Stromstärke zu schätzen. Meteorol. Z. Bd. 15 (1898), Februar, S. 41...46.
Pockels, F.: Zur Bestimmung der Maximalstromstärke von Blitzen. Meteorol. Z. Bd. 18(1901), Januar, S. 40...41.
- [5] Ambrosetti, Fl.: Luftelektrische Messungen in Locarno-Monti. Ann. schweiz. meteorol. Zentr.-Anst. Bd. 81(1944), Anhang Nr. 6, S. 12...18.
- [6] Triimpy, E.: Messinstrument zur Zählung der Anzahl Blitzeinschläge in einem beschränkten Umkreis. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 7, 3. April, S. 207...213.
- [7] Bossolasco, M.: La distribuzione dei temporali in Italia. Energia elettr. Bd. 26(1949), Nr. 11/12, November/Dezember, S. 717...729.
- [8] Israël, H.: Ein transportables Messgerät für schwere Ionen. Z. Geophys. Bd. 5(1929), Nr. 8, S. 342...350.
- [9] Wieland, W.: Lassen sich mit dem Ceraunographen die Gewitterzüge bestimmen? Verh. schweiz. naturf. Ges. Bd. 133(1953), S. 78...82.
- [10] Malan, D. H. 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.