

1. Vortrag Krakau 1965

Blitzstromformen im Zusammenhang mit Polarität und Vorwachsrichtung des Blitzes

Die nachstehenden Ausführungen bilden einen Auszug aus den Blitzstrommessungen auf dem San Salvatore bei Lugano, Schweiz X). Sie sind gewonnen an 2 Messtürmen von je 70 m Höhe. Die Lage der beiden Türme mit dem Messraum und dem Fotoraum geht aus Abbildung 1 hervor.

Infolge der starken Konzentration des elektrischen Feldes an den Messtürmen auf dem Berg, der den Laganersee um ca. 640 m überragt, entstehen nicht nur die in der Ebene bekannten Blitze, die von den Wolken aus gegen den Boden vorwachsen, sondern auch Aufwärtsblitze, die von den Turmspitzen nach oben wachsen. Ihre Anzahl beträgt bei unseren Messungen etwa das 3-fache der Abwärtsblitze.

Die Stromformen des Blitzes sind nun wesentlich verschieden je nachdem, ob es sich um Aufwärts- oder Abwärtsblitze handelt, und ferner verschieden für die Entladung positiver oder negativer Wolken. Wir bezeichnen die Entladung positiver Wolken zum Erdboden als positive Blitze, die Entladung negativer Wolken zum Boden als negative Blitze. Die verschiedenen Stromformen sollen anhand einiger typischer Bilder besprochen werden.

- a) Abwärtsblitze. Bei diesen befindet sich der Ursprung des Blitzkanals in den Wolken, d.h. zwischen Gebieten positiver und negativer Raumladungen, die fast ausschliesslich auf feinen Wassertropfchen liegen. Dort kommt es bei genügend grosser Feldstärke zur Ionisierung und damit zum Anfang des Leit Blitzes. Dieser wächst nach beiden Richtungen, bei Wärmegewittern nach oben und nach unten vor.

Die Vorwacherichtung ist durch das dynamische Feld bestimmt, das sich zwischen der Spitze des Leitblitzes und den ihn umgebenden Raumladungen bildet. Nach Töglér sinkt der Widerstand des Leitblitzkanals im gleichen Mass, wie die durch ihn fliessende elektrische Ladung wächst. Dadurch wird die grosse Länge des Blitzes bei kleineren Spannungen möglich, als dies durch Extrapolation der Schlagweitekurven für hohe Spannungen nötig wäre. Erreicht der abwärtswachsende Leitblitz die Erde nicht, so bleibt es bei einem Wolkenblitz; erreicht er die Erde, so entsteht ein Erdblitz. Der sich der Erde nähernde Blitzkanal befindet sich auf einer Spannung gegen Erde, die sich aus der Spannung des Blitzursprunges und dem Spannungsabfall längs des Leitblitzes bestimmt. In der Regel dürften diese Spannungen in der Grössenordnung 10...100 MV sein. Im Moment der Erdberührung entlädt sich der Leitblitzkanal, der mit einem guten elektrischen Leiter kleinen Durchmessers verglichen werden kann, der je nach der Kanalspannung mit einer Glimmhülle ja vielen Metern Durchmesser umgeben ist.

Der bei dieser Kanalentladung entstehende Blitzstrom an der Erdoberfläche geht aus den folgenden typischen Bildern hervor, zunächst im Fall der Entladung einer negativen Wolke. Dia (2^x) zeigt den gesamten Stromverlauf. Er beginnt mit einem Stromstoss, dem in der Regel weitere Stösse folgen. Die Form dieser sehr kurzzeitigen Stösse ist im μ s-Massstab in den folgenden 3 Bildern dargestellt.

Dias (3)-(4)-(5) entsprechend Fig. 23-24-25 im Bulletin-Aufsatz.

Der Strom steigt gemäss Dia 23 langsam, dann rascher, um innert ca. 10 μ s seinen Höchstwert zu erreichen. Dieser Höchstwert bleibt in der Regel einige 10 μ s fast konstant, um dann gegen Null oder auf einen kleinen Restwert abzusinken. Dies ist die erste Kanalentladung oder, falls in der Folge noch weitere Entladungen stattfinden, der 1. Teilblitz (partial stroke, component stroke).

*entspricht Fig. 16 im Bulletin-Aufsatz

Kommen nach dem Nullwerden des Stromes weitere Teilblitze vor, die als Folgeblitze bezeichnet werden können, so haben diese eine grundsätzlich verschiedene Form, die in Dia (24) gezeigt ist. Der Strom steigt jetzt innert ca. 1 μ s auf den Höchstwert, um innert einiger 10 μ s in stetiger Weise wieder abzuklingen. Die Form dieses Stossstromes ist recht gut vergleichbar mit der international genormten Form der Stossspannung 1/50, was beim 1. Teilblitz gar nicht der Fall ist.

Bei der Entladung negativer Wolken können bis über 20 solcher Folgeblitze vorkommen. Ihre Amplitude ist fast ausnahmslos kleiner als beim 1. Teilblitz; ihre Frontdauer aber immer wesentlich kürzer.

Die (5^x) gibt Ihnen den Stromverlauf am Erdboden bei der Entladung einer positiven Wolke. Positive Blitzströme kommen seltener vor als negative auf dem San Salvatore etwa im Verhältnis 1:6, sofern Aufwärts- und Abwärtsblitze gezählt werden, oder ca. 1:4, wenn nur die Abwärtsblitze betrachtet werden. Der Stromverlauf ist grundsätzlich verschieden vom Fall negativer Blitze. Der Stromanstieg erfolgt langsamer, d.h. die Frontdauer ist grösser. Dagegen kommen bei den positiven Blitzen ausnahmsweise starke Entladungen vor. Während der grösste negative Blitzstrom der Messungen 1955...1963 wenig über 100 kA liegt, erreichte der grösste positive Blitzstrom den Wert von über 180 kA. Der Unterschied wird aber wesentlich grösser, wenn nicht der Stromscheitelwert, sondern der für die Stromwärme und für die elektrodynamischen Kraftwirkungen massgebende Wert, nämlich $\int i^2 dt$, berechnet wird.

Wir werden darauf bei den statistischen Darstellungen zurückkommen.

b) Aufwärtsblitze. Solche Blitze entstehen an sehr hohen Objekten, wie es z.B. die Messtürme auf dem San Salvatore sind, oder an Wolkenkratzern, oder an Sendemasten auf Hügeln oder Bergen. Es kann dort gegenüber den Raumladungen der tiefliegenden Wolkenschichten ein so starkes elektrisches Feld entstehen, dass es zur Ionisierung der Luft kommt.

x) entspricht Fig. 25 im Bulletin-Aufsatz

Dadurch entstehen z.B. die oft hörbaren zischenden Elmsfeuer, die oft einige Minuten dauern, dann auch ihre Polarität wechseln und wieder einsetzen. Auf dem San Salvatore werden die entstehenden Glimmströme beider Türme, die einige mA erreichen, ohne Unterbruch über den ganzen Sommer registriert. Es ist damit möglich, ein qualitatives Mass für den Verlauf der elektrischen Feldstärke über dem Berg zu bekommen. Ein Beispiel der Glimmstromregistrierung gibt Die 6.) In manchen Fällen entstehen während der Dauer der Elmsfeuer Blitze in der Umgebung oder zum Berg. In andern Fällen bleibt es bei den Glimmströmen, ohne dass ein Gewitter entsteht. Es kommt auch vor, dass sich Gewitter zähern, ohne dass vorher Elmsfeuer entstanden. Es wird hier deshalb von einem statischen Elmsfeuer gesprochen, weil es daneben auch kurzdauernde "dynamische" Elmsfeuer gibt, die im Moment von Blitzschlägen in der nähern oder weitem Umgebung des Berges entstehen, und die sich durch ein peitschenknallartiges Geräusch über den Türmen äussern. Es ist dies ein Beweis dafür, dass in solchen Momenten eine starke Feldstärkeerhöhung über den Turmspitzen vorkommt. Es scheint nun, dass dieser Feldsprung der Anlass sein kann für eine stärkere Entladung von der Turmspitze nach oben, nämlich ein Aufwärtsblitz. Ob solche Aufwärtsblitze nur dann entstehen, wenn in der Umgebung bereits ein Wolkenblitz vorkommt, lässt sich nicht entscheiden. Es ist denkbar, dass auch Aufwärtsblitze aus dem statischen Feld entstehen, analog der wohlbekannten Büschelentladungen der Hochspannungstechnik. Der Entscheid zwischen diesen beiden Entstehungsformen des Aufwärtsblitzes lässt sich nur durch Feldmessungen mit guter Zeitauflösung feststellen, was bisher nicht durchgeführt wurde.

Der gesamte Aufwärtsblitz ist in Die 7 gezeigt, und zwar für den Fall negativer Blitze. Der 1. Teilblitz besteht aus einem Strom der Grössenordnung 100 A, genauer zwischen ca. 30 und 300 A, der aber nicht μ s, sondern Zehntelsekunden dauert. Nach dem Abklingen dieses 1. Teilblitzes können weitere Teilblitze oder Folgeblitze entstehen. Diese unterscheiden sich in der Fern nicht von Folgeblitzen der Abwärtsblitze. Der grosse Unterschied liegt ausschliesslich im 1. Teilblitz.

a) entspricht Fig. 11 im Eull. Aufsatz

b) " " 15 " " "

Bei der Entladung positiver Wolken entstehen auch bei Aufwärtsblitzen keine Folgeblitze; die gesamte Entladung erfolgt stets in einem einzigen Guss. Der Stromanstieg ist langsamer, die Frontdauer grösser als bei negativen Blitzen. Die Unterscheidung zwischen Aufwärtsblitzen und Abwärtsblitzen ist bei positiven Blitzen nicht so eindeutig wie bei negativen.

a) Fangentladungen. Der Vollständigkeit halber müssten noch die sogenannten Fangentladungen erwähnt werden, die sich bei Abwärtsblitzen ausbilden können. Es ist dies gewissermassen die letzte Stufe des gegen den Erdboden hin wachsenden Leitblitzes. Wenn der unter hoher Spannung stehende Blitzkanal sich dem Boden genügend genähert hat, wird eine Art Durchschlag der Luft zwischen Kanalkopf und Erde erfolgen. Auch können dem Blitzkopf mehrere Entladungen von Erde in Form von Büschelentladungen entgegenwachsen. Diese werden als Fangentladungen bezeichnet. Es handelt sich somit dabei um einen rudimentären Aufwärtsblitz, der gegen den schon bestehenden und sich nähernden Blitzkopf hin vorwächst und damit das Schluss-Stück der Blitzverbindung zur Erde herstellt.

Schliesslich wäre zu erwähnen, dass die Unterscheidung von Abwärts- und Aufwärtsblitzen vorstehend auf Grund der Stromoszillogramme gemacht wurde. Wir versuchen des nachts stets, das Vorwachsen auch fotografisch zu erfassen. Leider ist dies nur bei wenigen Blitzen möglich, weil die Lichtstärke des Leitblitzes oft nicht genügt, um fotografische Spuren zu hinterlassen. Aber mit Geduld und kleinen Verbesserungen hoffen wir auch hier breitere Resultate zu bekommen.

d) Statistische Auswertung. Die enorme Streuung in der Grösse und Form der Blitzströme zwingt uns zur statistischen Auswertung. Nur so kann eine Uebersicht über die mannigfaltigen Erscheinungen gewonnen werden.

Dies S. 14, entsprechend Fig. 26-27-28-30-34-35-37
des Bull. Aufsatzes

Eine Diskussion der Häufigkeitskurven für die verschiedenen charakteristischen Werte des Blitzstromes für positive und negative Blitze erübrigt sich wohl; die Kurven sprechen für sich selbst. Zu erwähnen ist lediglich, dass stets 2 Kurven 1 & 2 gezeichnet sind. Kurve 1 gilt für Aufwärts- und Abwärts-Blitze, Kurve 2 dagegen für die Abwärtsblitze. Diese Unterteilung wurde gemacht, um eine Uebertragung der Messungen auf dem Berg in das Flachland zu ermöglichen. In erster Näherung darf wohl angenommen werden, Häufigkeit und Stromverlauf der Abwärtsblitze seien auf Bergen und im Flachland gleich. Dagegen kommen im Flachland, abgesehen von sehr hohen Türmen (Wolkenkratzern) keine Aufwärtsblitze vor. In den letzten 10 Jahren wurden auf dem Monte San Salvatore rund 400 Blitzströme oszillografiert. Wir hoffen, mit der Zeit soviele Daten zu bekommen, dass eine zuverlässige Statistik der Blitzströme aufgestellt werden kann. Dazu wird es allerdings noch einige Jahre Geduld und Arbeit brauchen, sowie die nötigen Kredite. Wir hoffen aber, das gesteckte Ziel zu erreichen.

*) Seite 1: K. Berger & E. Vogelsanger:
Messungen und Resultate der Blitzforschung der
Jahre 1955...1963 auf dem San Salvatore
Bull. SEV 1965, Nr.1