Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 69 (1978)

Heft: 8

Artikel: Blitzstrom-Parameter von Aufwärtsblitzen : gemessen am Monte San Salvatore, Lugano

Autor: Berger, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-914865

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 14.07.2025

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

Blitzstrom-Parameter von Aufwärtsblitzen

Gemessen am Monte San Salvatore, Lugano

Von K. Berger

551.594.221:621:316.98;

Der Bericht enthält die statistische Auswertung von rund 1000 Aufwärtsblitzen an den beiden Messtürmen in den Jahren 1963...1973. Dargestellt werden in Tabellenform und auf Wahrscheinlichkeitspapier die 4 für die Bemessung jedes Blitzschutzes wesentlichen Blitzstrom-Parameter Stromscheitelwert, elektrische Ladung, Stromquadratimpuls und Steilheit des Stromanstiegs. Dazu kommen die Zeit-Parameter, nämlich Dauer des Gesamtblitzes und der Teilblitze, Frontdauer des Stromes, ferner die Anzahl der Teilblitze im Gesamtblitz. Der Bericht enthält sodann einen kurzen Vergleich der Parameter von Abwärts- und Aufwärtsblitzen. Als besondere Form insbesondere der Aufwärtsblitze werden die bipolaren Blitze erwähnt, die ohne oder nur mit kurzer Strompause negative und positive Ladung zur Erde führen.

Ce rapport concerne l'interprétation statistique d'un millier de coups de foudre ascendants, enregistrés aux deux tours de mesure, de 1963 à 1973. Les 4 paramètres essentiels pour le dimensionnement de chaque installation de protection contre la foudre: valeur de crête du courant de foudre, charge électrique, impulsion du carré du courant, et raideur du front du courant, sont représentées dans des tableaux et sur du papier à réseau de probabilité. En outre, les paramètres de temps: durée totale de la foudre, durée des coups de foudre partiels, durée du front du courant, ainsi que le nombre de coups de foudre partiels. Le rapport donne également une brève comparaison des paramètres des coups de foudre descendants et des coups de foudre ascendants. Une forme particulière, spécialement de ces derniers, est le coup de foudre bipolaire, qui conduit à la terre une charge négative et une charge positive, sans pause de courant ou avec une pause très brève entre les deux.

1. Einleitung

In zwei Berichten [1; 2][1]) wurden die in den Jahren 1963 bis 1971 auf dem Monte San Salvatore gemessenen Abwärtsblitze statistisch dargestellt. Der vorliegende Bericht bildet die Ergänzung durch die in der Messperiode 1963...1973 gewonnenen Messresultate an Aufwärtsblitzen. Damit wird das Bild aller möglichen Typen von Blitzen zwischen negativen oder positiven Wolken und Erde vervollständigt. Weiter werden bipolare Blitze angeführt. Die Parameter der Aufwärtsblitze werden mit jenen der Abwärtsblitze verglichen.

2. Erdblitztypen

Alle 4 auf Grund von Wolkenpolarität und Vorwachsrichtung des Blitzes möglichen Blitztypen sind bereits in [1] und [2] bezüglich der Parameter der Abwärtsblitze, und in [3] durch Photographie aller Blitztypen beschrieben worden. Als Vorwachsrichtung eines Blitzes gilt grundsätzlich jene seines Leitblitzes, der dem Hauptblitz vorangeht. Eine Ausnahme von dieser Definition wurde damals für intensive positive Blitze gemacht, die als Abwärtsblitze klassiert wurden. Davon soll in Abschnitt 3 noch die Rede sein.

Die Auswertung insbesondere der Aufwärtsblitze liess es als nützlich erscheinen, gegenüber [3] eine weitere Unterteilung der 4 Blitztypen vorzunehmen, indem unterschieden wird, ob es zu einem Hauptblitz kommt oder nicht. Diese Unterteilung ist in Fig. 1 dargestellt [4; 5; 6]. Die obere Reihe bedeutet dabei den Fall, wo es beim Leitblitz bleibt, die untere den Fall mit Hauptblitz. Überdies ist in Fig. 1 die Numerierung der Blitztypen 2 und 3 gegenüber [3] vertauscht worden. Dies erschien wünschenswert, als bei der Auswertung der Aufwärtsblitze die primäre Bedeutung der Polarität der Wolke klar wurde. Die Blitze der oberen Reihe sind in der Sprache der Hochspannungstechnik als sehr grosse Büschelentladungen zu bezeichnen. Nur bei den Blitzen der unteren Reihe entsteht als Hauptblitz ein starker, kurzer Stromimpuls, der entsprechend seinen 4 Parametern für die verschiedenen Auswirkungen des Blitzes verantwortlich ist.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

3. Häufigkeit der verschiedenen Blitztypen

Über die Gesamtzahl der Blitzstrom-Oszillogramme aller 4 Blitztypen gibt Tabelle I Auskunft. Diese Tabelle unterscheidet sich in 2 Punkten von Tab. III in [1], nämlich:

Erstreckung der Messperiode auf die Jahre 1963...1973, d.h. 11 Beobachtungsjahre statt 9. Daraus resultiert eine Erhöhung der gesamten Anzahl Oszillogramme von 1024 auf 1196, ferner eine Korrektur der statistischen Werte.

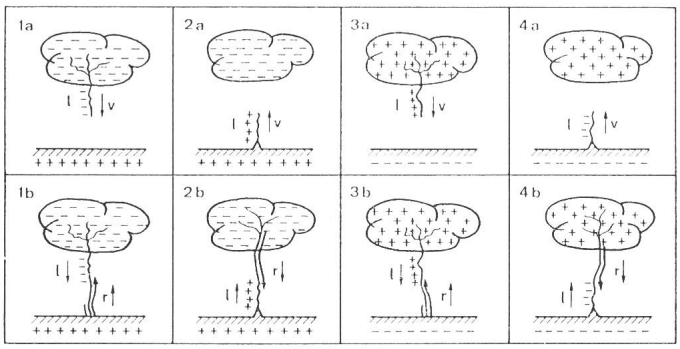


Fig. 1 Blitztypen
Typ 1: B.F.I. Schonland, 1938 [7]
Typ 2: K.B. McEachron, 1939 [8]
Typ 3: In der Ebene, selten
Typ 4: San Salvatore, 1966 [3]

Anzahl und Typen der Blitzstrom-Oszillogramme 1963–1973 Tabelle I

Jahr	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	↓ −	↑ −	↓ +	↑↓ +	↓ Bipolar	↑	Total
1963	22	83	Δ	7	1	3	116
1964	7	38	Δ	5	0	6	56
1965	3	91	Δ	14	0	9	117
1966	7	120	Δ	25	0	10	162
1967	11	90	Δ	34	0	13	148
1968	2	85	Δ	11	0	3	101
1969	3	36	Δ	11	0	3	53
1970	32	68	Δ	1	0	7	108
1971	16	122	Δ	19	2	5	164
1972	3	32	Δ	7	0	5	47
1973	23	75	Δ	21	1	4	124
11 Jahre	129	840	Δ	155	4	68	1196

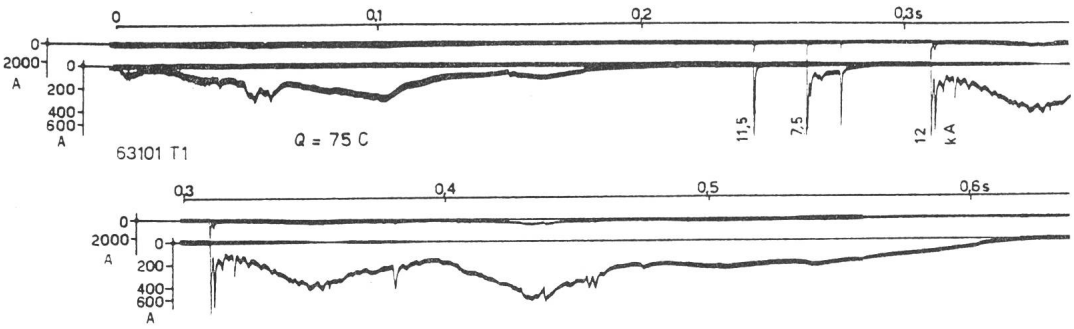


Fig. 2
Strom-Oszillogramm eines negativen Aufwärtsblitzes vom Typ 2a oder 2b (erster Teilblitz)
Gleiches Oszillogramm in zwei Strommaßstäben

3.1 Unterscheidung von Aufwärts- und Abwärtsblitzen

Diese Unterscheidung gründet sich auf die Vorwachsrichtung des Leitblitzes (leaders), welche grundsätzlich durch Photographie mit bewegtem Film (streak camera) oder auf Grund der Richtung der Verzweigungen des Blitzkanals oder aus dem Oszillogramm des Blitzstroms am Einschlagspunkt bestimmt werden kann. Ein Aufwärtsblitz beginnt mit einem stromschwachen Leader, der von der Erde, d.h. von einem Messturm nach oben vorwächst (Fig. 2). Ein Abwärtsblitz beginnt im Oszillogramm dagegen mit einem starken Stromimpuls, der auf die rasche, wanderwellenartige Entladung des von der Ladungswolke her über einen Abwärts-Leader aufgeladenen Blitzkanals schliessen lässt (Fig. 3).

Diese klaren Unterscheidungsmerkmale müssen bereits bei den *negativen Blitzen* ergänzt werden infolge des Auftretens der sog. «Fangentladungen», die dem Kopf des Abwärtsblitzes von der Erde aus entgegenwachsen. Ihre Länge beträgt nach bisherigen Schätzungen etwa 5...100 m, ihre Dauer wenige µs. Die Fangentladung (connecting leader) hat stets die umgekehrte Richtung des Leaders des Abwärtsblitzes. Die Definition der Vorwachsrichtung eines Blitzes gründet sich stets auf jener des Leaders, nicht auf jener der räumlich und zeitlich kurzen Fangentladung.

Bei den *positiven Blitzen* wird die Unterscheidung von Aufwärts- und Abwärtsblitzen dadurch erschwert, dass einem relativ kräftigen Aufwärts-Leader *ohne Strompause* ein sehr kräftiger Impuls folgt (Fig. 4). Dieser Impuls hat wohl eine etwas weniger steile Front und eine grössere Halbwertdauer, gleicht aber sonst in seinem Verlauf durchaus einem Abwärtsblitz aus negativer Wolke. Dies lässt vermuten, dass der Aufwärts-Leader mit einem positiv geladenen Wolkenblitzkanal zusammentrifft, der dann impulsartig zur Erde entladen wird. Soll nun dieser Blitz als Aufwärtsblitz oder als Abwärtsblitz bezeichnet werden? Dazu folgendes:

Wird der Aufwärts-Leader als Anfang eines selbständigen Blitzes betrachtet, so ist der Blitz als Aufwärtsblitz zu klassieren. Wird er aber als Fangentladung zu einem schon bestehenden Wolkenblitz oder zu einem bereits herunterfahrenden Abwärtsblitz aufgefasst, so ist der Blitz als Abwärtsblitz zu bezeichnen. Fig. 5 gibt das nachgezeichnete Foto eines solchen Blitzes, der sowohl einen langdauernden Aufwärts-Leader, als auch lichtschwache Verzweigungen eines Abwärtsblitzes erkennen lässt [9].

Zugunsten der Bezeichnung als Leader, d.h. eines Aufwärtsblitzes spricht die mit einigen Millisekunden rund 1000mal grössere Dauer des Aufwärts-Leaders gegenüber der Dauer einer Fangentladung zu negativen Blitzen, die bei wenigen µs liegt. Im frühern Bericht über Abwärtsblitze [1] wurde der Aufwärts-Leader als sehr lange Fangentladung gedeutet. Demgegenüber ist es im Interesse einer klaren Unterscheidung beider Erscheinungen von Vorteil, den Begriff der Fangentladung auf die Endphase der negativen Abwärtsblitze zu beschränken.

Die Tatsache, dass keine Fotos von Abwärtsblitzen zu den Messtürmen des San Salvatore gewonnen werden konnten, dass aber ein solcher Abwärtsblitz zum Luganersee in 1,7 km Entfernung vom Berggipfel einwandfrei als Abwärtsblitz photographiert wurde [3, Fig. 22], beweist, dass Abwärtsblitze, wenn auch selten, so doch zum ebenen Gelände vorkommen. Wenn sich dagegen ein Abwärtsblitz aus den Wolken über dem Gipfel des San Salvatore entwickelt, so wächst ihm infolge der transienten Feldkonzentration an den Messtürmen ein Aufwärts-Leader (bzw. eine abnormal lange Fangentladung) entgegen bis in beträchtliche Höhe, bevor der Abwärts-Leader

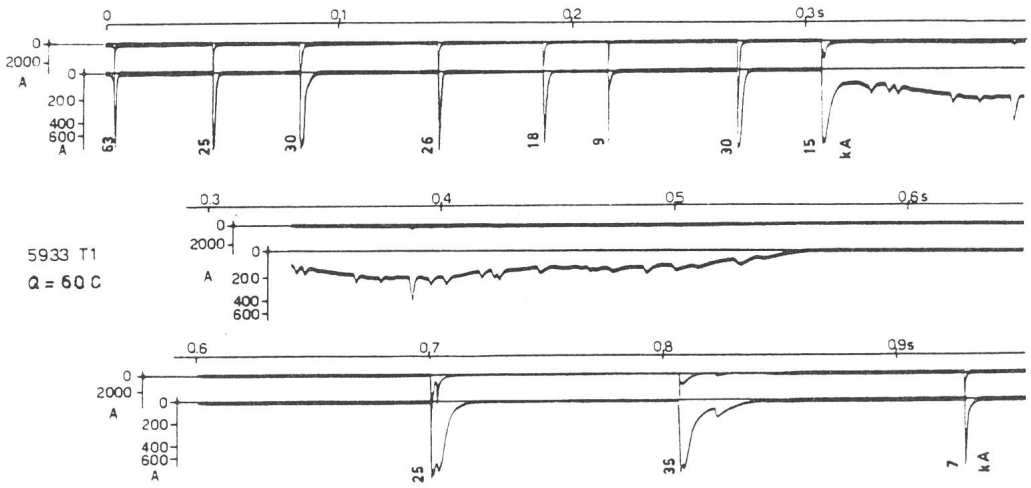


Fig. 3
Strom-Oszillogramm eines negativen Abwärtsblitzes vom Typ 1b mit 11 Teilblitzen
Gleiches Oszillogramm in zwei Strommaßstäben

den Messturm erreicht. Dann ist es schwierig, zwischen Abwärts- und Aufwärtsblitz zu unterscheiden (Fig. 5).

Dieser Schwierigkeit ist in Tab. I dadurch Rechnung getragen, dass in Kolonne T4 alle positiven Aufwärts- und Abwärtsblitze notiert sind. In Kolonne T3 ist dann mit dem Zeichen Δ angedeutet, dass wenige Blitze der Kolonne T4 möglicherweise als Abwärtsblitze zu deuten sind. Es liegen aber zuwenig schlüssige Oszillogramme oder Vorwachsfotos vor, um diese zweifelhaften Fälle zu beweisen. Auch ist ihre Anzahl zu klein, um ihre statistische Auswertung zu ermöglichen.

Die schematische Darstellung der Fig. 1 genügt für alle Blitze, die entweder nur negative oder nur positive Ladung zur Erde führen. Sie genügt nicht für jene Fälle, wo derselbe Teilblitz ohne Stromunterbruch nacheinander negative und positive Ladung führt. Tab. I enthält 72 solche *bipolare* Blitze. Davon konnten 30 genau ausgewertet werden. Die meisten bipolaren Blitze sind Aufwärtsblitze. Fig. 6a zeigt einen bipolaren Blitz in Turm 1, mit gleichzeitigem Blitz in Turm 2. Auf Fig. 6b ist ein bipolarer Blitz mit Teilblitzen abwechselnder Polarität dargestellt.

Tab. I bestätigt die viel grössere Häufigkeit negativer Blitze: In derselben Messperiode, wo 155 positive Aufwärtsblitze entstanden, gab es 840 negative Aufwärtsblitze, oder 840 + 129 = 969 negative Auf- und Abwärtsblitze.

Die statistische Verteilung der Blitzstrom-Parameter ist auf Grund aller auswertbaren Oszillogramme (Kolonnen T2 und T4 von Tab. I) in Tab. II zusammengestellt. Dabei gelten folgende Bezeichnungen:

S Blitze mit nur 1 Teilblitz (Einfachblitze)
M Blitze mit mehreren Teilblitzen (Mehrfachblitze)
M1 Erste Teilblitze in Mehrfachblitzen
MF Folgeblitze in Mehrfachblitzen
G Gesamtblitz (alle Teilblitze zusammen)
n Anzahl ausgewerteter Oszillogramme
T Teilblitz

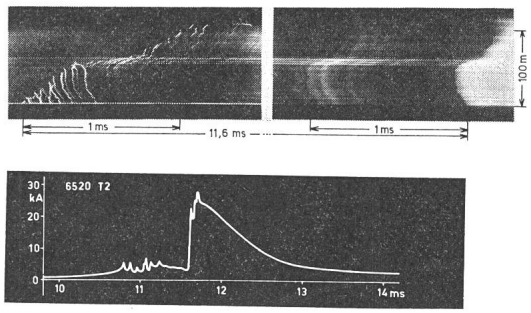


Fig. 4 **Stromoszillogramm eines positiven Aufwärtsblitzes vom Typ 4b, mit zugehörigem Vorwachs-Foto**

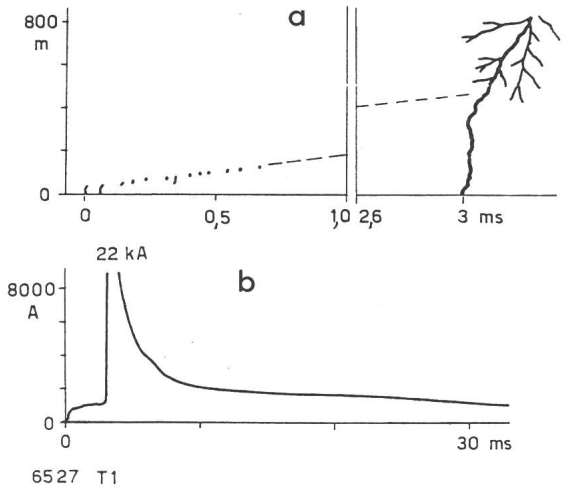


Fig. 5 **Nachgezeichnetes Foto eines Blitzes (a) mit einem 3 ms dauernden Aufwärts-Leader und darüber Verzweigungen eines Abwärtsblitzes (Typ 4b), zugehöriges Oszillogramm (b)**

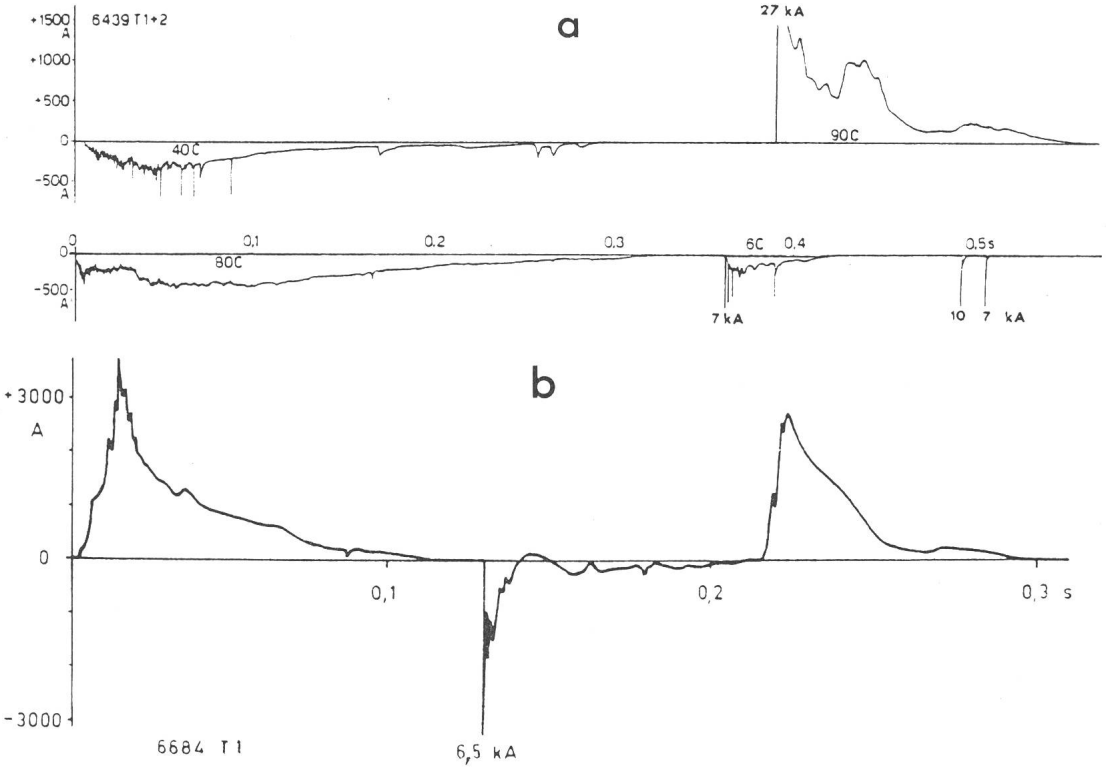


Fig. 6
Strom-Oszillogramme eines bipolaren Blitzes in Turm 1 mit gleichzeitigem negativem Blitz in Turm 2 (a) und eines Blitzes mit Teilblitzen abwechselnder Polarität (b)

4. Vergleich der Aufwärtsblitze mit Abwärtsblitzen

Ein Vergleich der hier dargestellten Parameter von Aufwärtsblitzen mit den früher beschriebenen Parametern von Abwärtsblitzen ist nur für negative Blitze möglich, da bei genauer Beachtung der Definition der Vorwachsrichtung auf Grund des Leaders auf dem Monte San Salvatore keine positiven Abwärtsblitze zum Berggipfel vorkommen. Dagegen lassen sich die positiven Aufwärtsblitze mit starken Stromimpulsen (Typ 4b) mit den ebenfalls stromstarken Impulsen negativer Abwärtsblitze (Typen 1b, 2b) vergleichen.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Tabellen II und III die (10–50–90) %-Werte der Parameter angeben. Dagegen wurden in der Tabelle von [2] die (5–50–95) %-Werte angeführt. Der Vergleich von Abwärts- und Aufwärtsblitzen wird hier für beide Fälle durchgeführt; die (10–50–90) %-Werte sind in ()-Klammern, die (5–50–95) %-Werte in []-Klammern angeführt.

4.1 Negative Blitze

Die *Ströme* der negativen einfachen Aufwärtsblitze (Typ 2a) sind reine Leader-Ströme der Grössenordnung einiger 10 bis rund 1000 A. Typ 1a kann am Erdboden nicht gemessen werden.

Die *Ladungen* der negativen einfachen Aufwärtsblitze (Typ 2a) sind etwa doppelt so gross als jene des negativen

Blitzstrom-Parameter — Tabelle II

Figur Nr.	Blitztype gemäss Figur 1	Einfach- oder Mehrfachblitz	Strom Polarität	Anzahl Oszillogramme n	10%	50%	90%
	Parameter: Stromscheitelwert $\hat{i}$				A	A	A
	2a	S	–	639	1 030	203	40
	2b	M1	–	195	1 310	248	47
7	2b	MF	–	176	25 000	10 000	4 200
(8)	4a	S	+	132	11 000	1 510	206
9	4b	S	+	35	127 000	36 300	10 400
10	2a	S	bipolar –	30	2 400	350	50
11			+		13 000	1 500	180
	Parameter: Elektrische Ladung $Q = \int i \cdot dt$				C	C	C
12	2a	S	–	638	69	11,6	1,94
13	2b T	MF	–	579	4,1	0,77	0,14
14	2b G	M	–	172	100	23	5,4
15	4a	S	+	137	187	26,4	3,7
16	4b	S	+	35	348	84,2	20,4
17	2a	S	bipolar –	30	181	12	0,8
18			+		345	25	1,5
	Parameter: Stromsteilheit di/dt				kA/µs	kA/µs	kA/µs
19	2b	MF	–	710	123	26,4	5,6
	4b	S	+	24	12,2	1,9	0,28
	Parameter: Stromquadrat-Impuls $\int i^2 \cdot dt$				$A^2 \cdot s$	$A^2 \cdot s$	$A^2 \cdot s$
20	2b	M, G	–	398	$1 \cdot 10^4$	$2{,}3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$
21	4b	S	+	35	$9 \cdot 10^6$	$6{,}6 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$
	Parameter: Gesamtblitzdauer T_G				ms	ms	ms
22	2b	M, G	–	212	791	338	144
	4b	S	+	34	240	68	19
	Parameter: Teilblitzdauer T_T				ms	ms	ms
23	2a	S	–	639	407	163	65
24	2b	MF	–	888	22,3	3,57	0,57
25	4a	S	+	138	215	72	24
26	4b	S	+	34	240	68	19
	Parameter: Frontdauer T_F				µs	µs	µs
27	2b	M, G	–	696	4	1	0,3
28	4b	S	+	23	340	39	4,5
	Parameter: Anzahl Teilblitze pro Gesamtblitz				Keine Normalverteilung		
29	2a–2b–4a–4b	S+M	+&–	1236 Teilblitze	19% mit 1 Teilblitz 17% mit 2 Teilblitzen 12% mit 3 Teilblitzen 5% mit 6 Teilblitzen 2% mit 11 Teilblitzen 1% mit 15 Teilblitzen		

gesamten Abwärtsblitzes (Typ 1b), nämlich rund (2–12–69) zu (2–7,5–28) C oder rund [1,2–12–115] zu [1–7,5–40] C.

Die *Ströme* der negativen Mehrfach-Aufwärtsblitze (Typ 2b) sind rund 3mal kleiner als jene der ersten Teilblitze von negativen Abwärtsblitzen, nämlich rund (4–10–25) zu (16–30–65) kA oder [3–10–32] zu [14–30–80] kA.

Die *Ladungen* der negativen Mehrfach-Aufwärtsblitze (Typ 2b) sind rund viermal grösser als jene der ersten Teilblitze von negativen Abwärtsblitzen, nämlich rund (5–23–100) zu (1,5–4,6–14) C oder [3,5–23–150] zu [1,1–4,6–20] C.

Die *Steilheit* des Stromanstiegs in negativen Mehrfach-Aufwärtsblitzen (Typ 2b) ist dieselbe wie bei den negativen Abwärtsblitzen, nämlich rund (6–25–120) kA/μs bzw. [12–40–120] kA/µs.

Der *Stromquadrat-Impuls* der negativen Mehrfach-Aufwärtsblitze (Typ 2b) ist wesentlich kleiner als beim ersten Teilblitz negativer Abwärtsblitze, aber gleicher Grössenordnung wie bei den negativen Abwärts-Folgeblitzen, nämlich rund ($5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^3 - 10^4$) $A^2 \cdot s$ gegenüber [$5 \cdot 10^2 - 6 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^4$] $A^2 \cdot s$.

Positive Blitze

Den positiven Aufwärtsblitzen kommt auf dem Monte San Salvatore ganz besondere Bedeutung zu.

Typ 4a lässt sich charakterisieren als kräftiger Aufwärts-Leader, der sich offenbar unter oder in der Wolke stark verzweigt, so dass eine beträchtliche Ladung ausgeglichen wird, nämlich rund (4–26–187) C bzw. [2,1–26–330] C.

Typ 4b zeichnet sich durch einen kräftigen Aufwärts-Leitblitz aus, der wie eine lange Fangentladung eine leitende Verbindung zu einem bereits bestehenden Wolkenblitz herstellt. Er führt einige 100 bis einige 1000 A. Nach einigen bis etwa 25 ms schliesst sich ein kräftiger Stromimpuls an, dessen Merkmale kurz die folgenden sind:

Der 50%-Wert des *Stromes* ist nur unwesentlich höher als jener der negativen Abwärtsblitze (Typ 1b), nämlich 36 kA und 30 kA. Der 50%-Wert der *Ladung* ist rund 10mal grösser als jener der negativen Abwärtsblitze (Typ 1b), nämlich rund 84 C gegenüber 8 C. Die *Steilheit* des Blitzstromes ist ungefähr eine Grössenordnung kleiner als bei den negativen Abwärtsblitzen der Typ 1b, nämlich mit einem 50%-Wert von etwa 2 kA/µs gegenüber 12 kA/μs beim ersten Teilblitz und 40 kA/µs bei den Folgeblitzen vom Typ 1b.

Der *Stromquadrat-Impuls* vom Typ 4b ist ebenfalls rund 10mal grösser als bei den negativen Abwärtsblitzen vom Typ 1b. Er erreicht Werte von rund 10 $kA^2 \cdot s$ gegenüber 1 $kA^2 \cdot s$ bei den Abwärtsblitzen. Die *Halbwertdauer* ist von der Grössenordnung einiger 100 µs, während jene der negativen Stoßströme der Typen 1b und 2b nur einige 10 µs beträgt.

Aus diesem Vergleich ergibt sich zusammenfassend, dass

1. die Induktionswirkungen der positiven Impulsströme (Typ 4b) mindestens eine Grössenordnung kleiner sind als bei den negativen Abwärtsblitzen,

2. die Schmelzwirkungen an Metalloberflächen der positiven Impulsströme (Typ 4b) rund 10mal grösser sind als bei den negativen Abwärtsblitzen,

3. die Wärmewirkungen in ohmschen Widerständen, sowie alle elektrodynamischen Wirkungen ebenfalls rund 10mal grösser sind als bei den negativen Abwärtsblitzen,

4. die grössten Blitze vom Typ 4b als «Gigantenblitze» («Superbolts») zu bezeichnen sind. Unter der Annahme eines Wolkenpotentials von rund 50 MV und einer Blitzladung von 300 C erreicht der Energieinhalt dieser Giganten $7{,}5 \cdot 10^9$ Joule oder rund 2000 kWh bzw. annähernd 1000 kg TNT. Da diese Energie in einem einzigen Teilblitz umgesetzt wird, entspricht dieser Blitz einer sehr kräftigen Explosion von mehreren km Länge.

5. Bipolare Blitze

Die bipolaren Blitze erlauben, sich ein approximatives Bild über die Ladungsverteilung in den Gewitterwolken zu machen. Der erste negative Strom stammt offenbar aus dem unteren Teil der Gewitterwolke. Beim weiteren Vorwachsen des Leaders werden dann positive Ladungen erfasst, die senkrecht oder schräg über den negativen Ladungen verteilt sind. Im einzigen Teilblitz bipolarer Blitze werden Ladungen von bis etwa 100 C negativ und 250 C positiv erreicht. Die grössten Ströme erreichen rund 10 kA negative und rund 25 kA positive Werte.

6. Folgerungen für den Blitzschutz

Die Parameter des Blitzstromes bilden die Grundlage für die Bemessung jeder Art von Blitzschutz. Die Messungen auf dem Monte San Salvatore haben die Bedeutung des Blitzstrom-Scheitelwertes als der früher einzigen Kennziffer des Blitzes zurücktreten lassen gegenüber den drei andern Parametern, nämlich in erster Linie dem Stromquadratimpuls $\int i^2 \cdot dt$ und der Ladung $\int i \cdot dt$ und, speziell für die Induktionswirkungen, der Stromsteilheit di/dt. Sodann lässt der breite Streubereich aller Parameter deutlich erkennen, dass der Blitzschutz eine Ermessensfrage ist, d.h. dass für jeden Fall entschieden werden muss, wie weit der Schutz realisiert werden soll. Ein hundertprozentiger Schutz unter Zugrundelegung der grössten Parameterwerte kann nur dort in Frage kommen, wo ein Versager keinesfalls zulässig ist, wie z.B. bei Munitionslagern, grossen Benzin-Benzol-Tanks usw. in bewohnten Gebieten. Für übliche Gebäude im Tiefland dürfte es genügen, den Blitzschutz auf Grund nur der negativen Abwärtsblitze zu bemessen. Auch dann ist zu entscheiden, *wie weit* die Wahrscheinlichkeit von Blitzschäden infolge Blitzschlags auf Grund wirtschaftlicher Überlegungen reduziert werden soll. Das heisst auch, dass sog. Bagatellschäden infolge Blitzeinschlags in Kauf genommen werden müssen.

Anderseits soll der Personenschutz mit grösster Wahrscheinlichkeit gewahrt werden. Dies bedingt neben dem äusseren Blitzschutz auch Massnahmen im Gebäudeinnern, d.h. vor allem den sog. Potentialausgleich aller berührbaren Metallteile. Infolge des steilen Stromanstiegs gelingt es nur auf diese Weise, die für Personen ausschliesslich gefährlichen Spannungs*differenzen* im Gebäude zu verhindern.

Auch empfindliche elektrische Einrichtungen im Gebäude, wie z.B. verzweigte elektronische Anlagen, lassen sich nur mit Hilfe eines weitgehenden Potentialausgleichs schützen, der bei immer weitergehender Vermaschung automatisch zum Faradaykäfig wird.

7. Rückblick

Mit diesem Bericht werden die 1943 begonnenen Blitzmessungen auf dem Monte San Salvatore und die zugehörige Auswertung abgeschlossen. Für die Ermöglichung der Forschungsarbeit hat der Autor der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH), dem Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung (NF) und der

Eidg. Technischen Hochschule (ETHZ) für die Zurverfügungstellung von Geldmitteln, Einrichtungen und Hilfskräften wärmstens zu danken, nicht weniger den engeren und weiteren Mitarbeitern, die ihr Interesse in tatkräftiger Mithilfe bekundet haben. Mit seinem Dank möchte der Autor die Hoffnung ausdrücken, dass sich die grosse Mühe gelohnt habe.

Literatur

[1] *K. Berger:* Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963...1971. Bull. SEV 63(1972)24, S. 1403 bis 1422.

[2] *K. Berger, R.B. Anderson* et *H. Kröninger:* Paramètres des coups de foudre. Electra (1975)41, p. 23...37.

[3] *K. Berger* und *E. Vogelsanger:* Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955...1965 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 57(1966)14, S. 599...620.

[4] *K. Berger:* Development and properties of positive lightning flashes at Mount S. Salvatore with a short view to the problem of aviation protection. Proceedings of the Conference on Lightning and Static Electricity, 14...17 april 1975 at Culham Laboratory, England, Report 2.

[5] *K. Berger:* Parameters of upward lightning flashes. Report to Cigré WG 33–01 for discussion in Dublin, June 1977.

[6] *K. Berger:* The earth flash. In: R.H. Golde: Lightning. Vol. 1: Physics of lightning. London, Academic Press, 1977; p. 119...190.

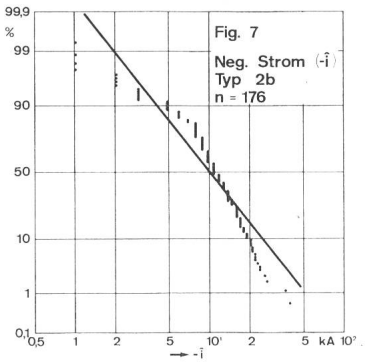
[7] *B.F.I. Schonland:* Progressive lightning. Part 4: The discharge mecanism. Proceedings of the Royal Society, London A 164(1938)1, p. 132...150.

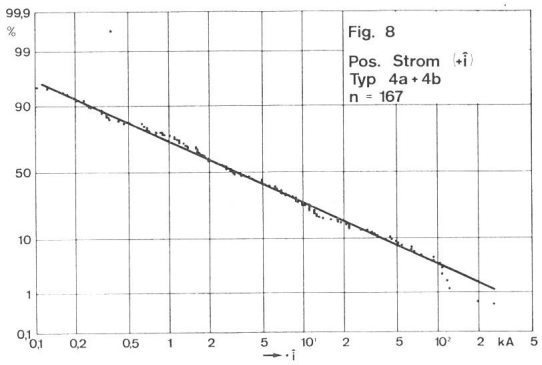
[8] *K.B. McEachron:* Lightning to the Empire State Building. Journal of the Franklin Institute 227(1939)2, p. 149...217.

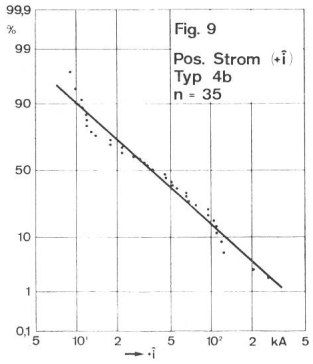
[9] *E. Vogelsanger:* Aufwärtsblitze und Fangentladungen. Neue Erkenntnisse vom Monte San Salvatore. Bericht Nr. 11 der 9. Internationalen Blitzschutzkonferenz in Lugano, 1967.

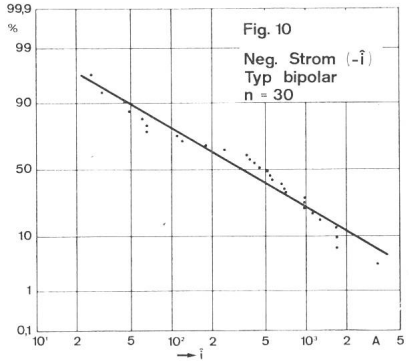
Adresse des Autors

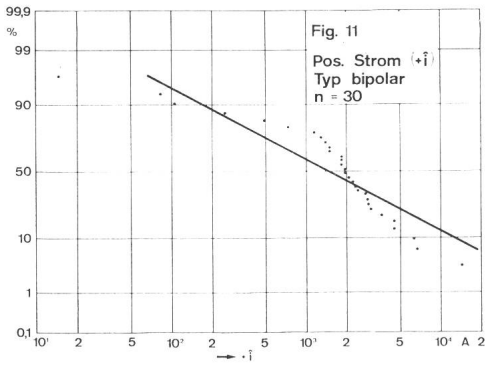
Prof. Dr. *K. Berger*, Gstadstrasse 31, 8702 Zollikon.

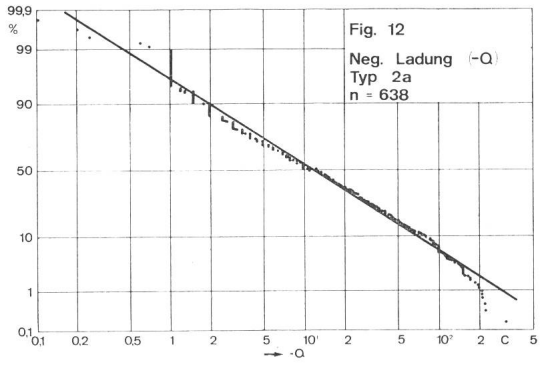












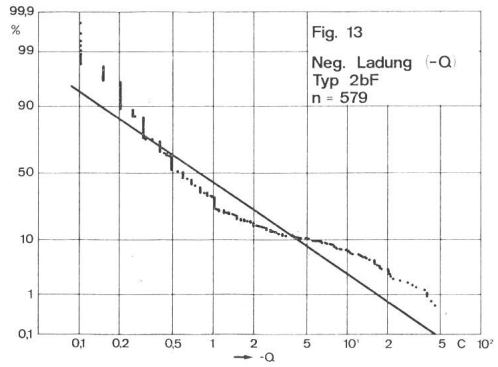


Fig. 13
Neg. Ladung (-Q)
Typ 2bF
n = 579
→ -Q

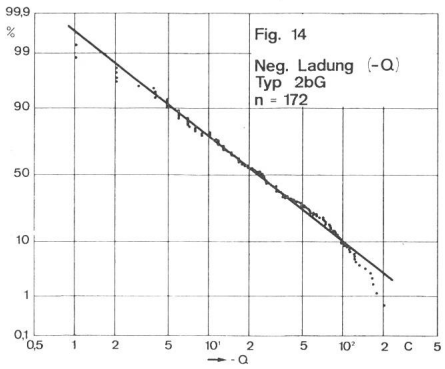


Fig. 14
Neg. Ladung (-Q)
Typ 2bG
n = 172
→ -Q

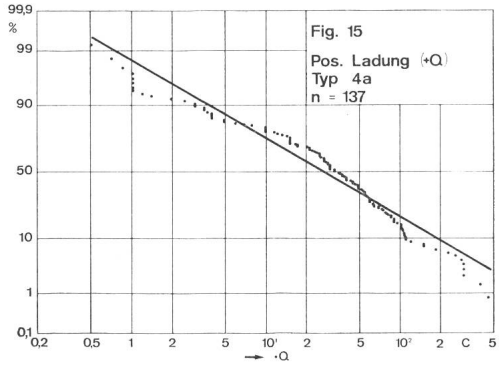


Fig. 15
Pos. Ladung (+Q)
Typ 4a
n = 137
→ +Q

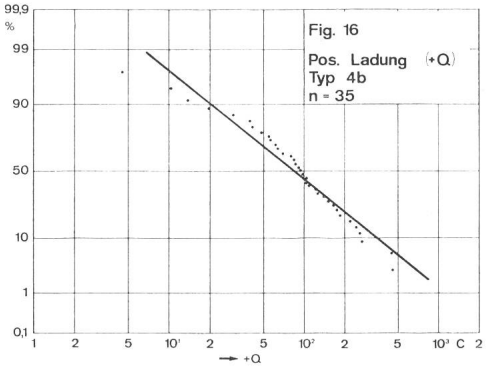


Fig. 16
Pos. Ladung (+Q)
Typ 4b
n = 35
→ +Q

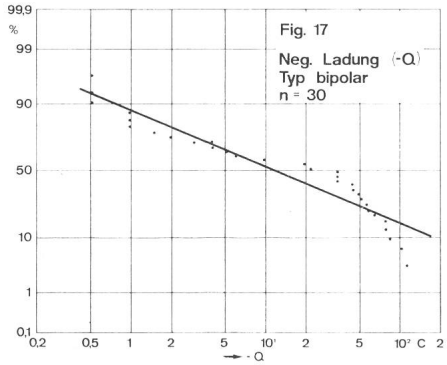


Fig. 17
Neg. Ladung (-Q)
Typ bipolar
n = 30
→ -Q

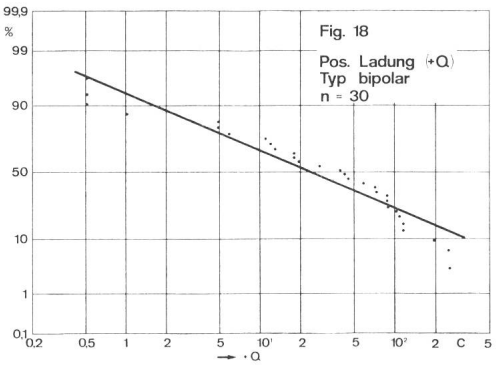


Fig. 18
Pos. Ladung (+Q)
Typ bipolar
n = 30
→ +Q

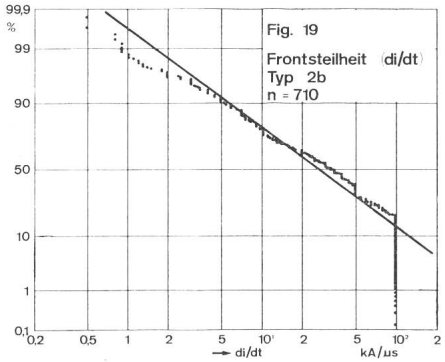


Fig. 19
Frontsteilheit (di/dt)
Typ 2b
n = 710
→ di/dt kA/µs

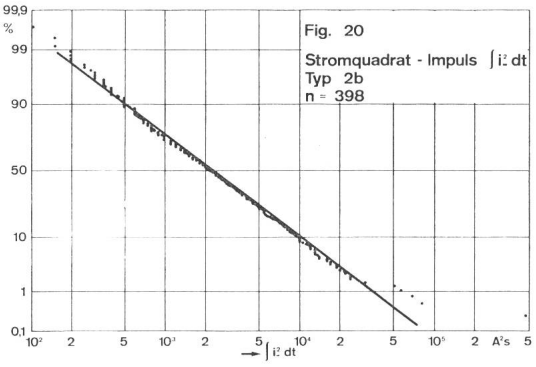


Fig. 20
Stromquadrat - Impuls ∫i² dt
Typ 2b
n = 398
→ ∫i² dt

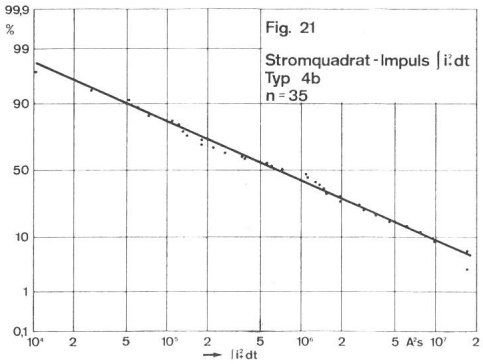


Fig. 21
Stromquadrat - Impuls ∫i² dt
Typ 4b
n = 35
→ ∫i² dt

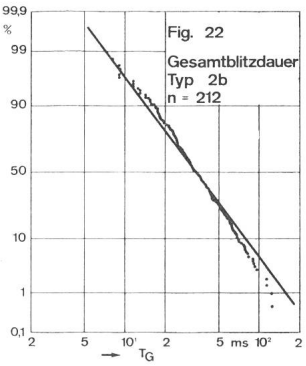


Fig. 22
Gesamtblitzdauer
Typ 2b
n = 212
→ TG

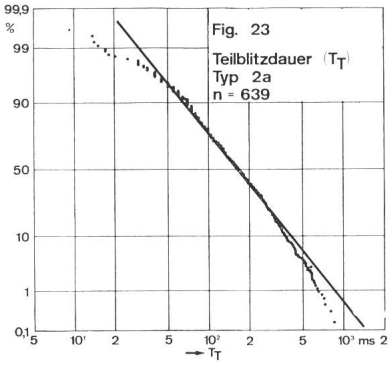


Fig. 23
Teilblitzdauer (T_T)
Typ 2a
n = 639
→ T_T

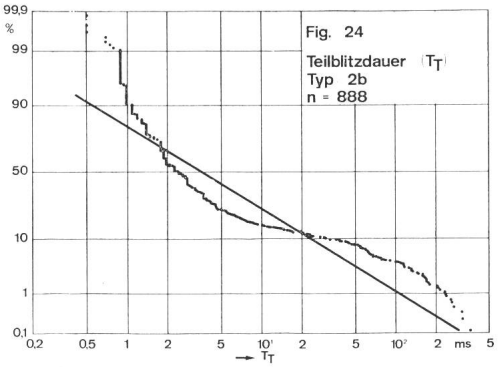


Fig. 24
Teilblitzdauer (T_T)
Typ 2b
n = 888
→ T_T

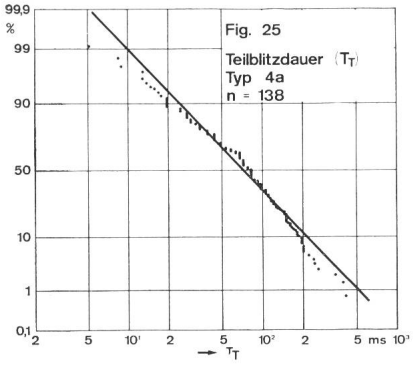


Fig. 25
Teilblitzdauer (T_T)
Typ 4a
n = 138
→ T_T

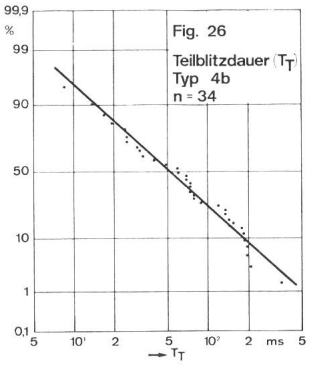


Fig. 26
Teilblitzdauer (T_T)
Typ 4b
n = 34
→ T_T

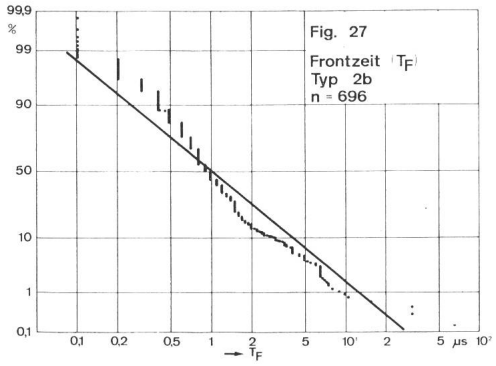


Fig. 27
Frontzeit (T_F)
Typ 2b
n = 696
→ T_F

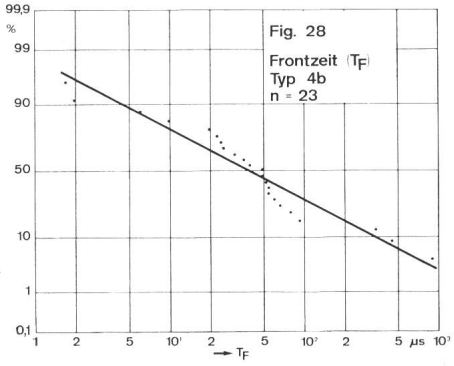


Fig. 28
Frontzeit (T_F)
Typ 4b
n = 23
→ T_F

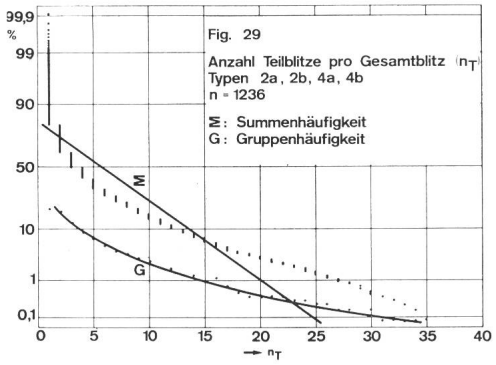


Fig. 29
Anzahl Teilblitze pro Gesamtblitz (n_T)
Typen 2a, 2b, 4a, 4b
n = 1236
M: Summenhäufigkeit
G: Gruppenhäufigkeit
M
G
→ n_T