

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: 71 (1980)

Heft: 9

Artikel: Extreme Blitzströme und Blitzschutz

Autor: Berger, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905249>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 05.02.2025

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

Extreme Blitzströme und Blitzschutz

Von K. Berger

699.887.2: 551.594.221:

In den letzten Jahrzehnten wurden in mehreren Ländern Blitzstrommessungen durchgeführt als Basis eines wirksamen und rationellen Blitzschutzes für alle denkbaren Objekte. Die Resultate werden in der Regel als Häufigkeit verschieden starker Blitze statistisch dargestellt. Massgebend für den Blitzschutz sind nicht die mittleren Werte der verschiedenen Parameter des Blitzstromes, sondern die hohen, eher unwahrscheinlichen Werte. Das Problem wird nachstehend für den Fall diskutiert, wo eine Blitzstörung bzw. ein Blitzschaden von grosser Bedeutung ist.

Au cours de ces dernières décennies, des mesures du courant de foudre ont été entreprises dans plusieurs pays, afin d'obtenir la base d'une protection rationnelle contre la foudre pour des objets de tout genre. Les résultats sont généralement représentés statistiquement sous forme de la fréquence des éclairs de différentes puissances. Ce qui est déterminant pour une bonne protection, ce ne sont pas les moyennes des divers paramètres du courant de foudre, mais les valeurs élevées, peu probables. Le problème est traité pour le cas où une perturbation ou un dommage dus à la foudre ont une grande importance.

1. Blitztypen

Die ausführlichsten oszillografischen Blitzstrommessungen wurden einerseits auf dem Monte San Salvatore [1...6] 1943 bis 1973, andererseits in Italien 1970...1977 [7] und in Südafrika (Pretoria) 1972...1979 [8] durchgeführt. Am Monte San Salvatore konnten alle vier bezüglich des Blitzstroms am Erdboden möglichen Blitztypen [5] nachgewiesen werden, nämlich:

1. Blitze aus negativ geladenen Wolken, deren Leitblitz von der Wolke zur Erde herunterwächst, kurz \downarrow -Blitz,
2. Blitze aus negativen Wolken, deren Leitblitz an der Spitze des Messturmes einsetzt, und der dann gegen die Wolken hinaufwächst, kurz \uparrow -Blitz,
3. Blitze aus positiv geladenen Wolken, deren Leitblitz von der positiven Wolke zur Erde herunterwächst, kurz \downarrow +Blitz,
4. Blitze aus positiven Wolken, deren Leitblitz an der Spitze des Messturmes einsetzt, um dann gegen die Wolken hinauf zu wachsen, kurz \uparrow +Blitz.

Fotografische Bilder vom Vorwachsen dieser Blitze wurden in [2] veröffentlicht.

2. Blitzstrom-Parameter

Der Blitzstromverlauf kann durch die folgenden vier, für den Schutz massgebenden Parameter charakterisiert werden [12]:

1. Der *Blitzstromscheitelwert* i . Er ist massgebend für alle ohmschen Spannungen, insbesondere am Erdungswiderstand einer Blitzschutzterdung.
2. Die *Steilheit* (di/dt_{\max}) des Blitzstromanstieges. Sie bestimmt alle Induktionswirkungen: Induktiver Spannungsabfall in Blitzstromleitern, induzierte Spannungen in magnetisch gekoppelten Kreisen.
3. Die *elektrische Ladung* $q = \int i \cdot dt$ des Blitzstrom-Impulses oder des gesamten Blitzstroms. Sie bestimmt die Grösse der Schmelzwirkungen an Ansatzstellen des Blitzes auf Metallen, ferner die Grösse eindringender Spannungen trotz metallischer Schirme (Skin effect screens).
4. Der Stromquadratimpuls $\int i^2 \cdot dt$ (in USA «Action Integral»). Er bestimmt die mechanischen Kraftimpulse und die Erwärmung von Blitzstromleitern.

Häufigkeitskurven dieser vier Parameter sind in den Figuren 1 bis 4 reproduziert. Ähnliche Kurven ergaben sich in Südafrika (Bericht des Cigré Comité 33-01, Juni 1979).

Eine Besonderheit der Messungen auf dem Monte San Salvatore besteht im Auftreten positiver Blitze mit einem sehr

starken, relativ langdauernden Stromimpuls, der zu extremen Werten des Stromquadratimpulses führt. Die Figuren 5 bis 10 zeigen bisher nicht veröffentlichte Oszillogramme des Stromverlaufs solcher positiven Blitze in zwei Zeitmaßstäben, ms und μ s. Fig. 11 zeigt die Korrelation zwischen der Dauer der Vorentladung und dem Blitzstromscheitelwert.

Die Häufigkeitskurven des Stromscheitelwertes, der Ladung, des Stromquadratimpulses und der Blitzdauer der 35 extremen positiven Blitze, die im Zeitintervall von 11 Jahren (1963...1973) gemessen wurden, sind in [8] enthalten. Auf die Wiedergabe der Steilheitskurven wird verzichtet, weil diese Werte wesentlich kleiner sind als bei den häufigeren Blitzen aus negativen Wolken. Die Betrachtung des Stromverlaufs im ms-Maßstab zeigt, dass dem hohen Impuls ein kleinerer Strom vorausgeht; Fig. 5 zeigt, dass auch Vorströme umgekehrter Polarität vorkommen.

Die Dauer vom Einsetzen des Vorstromes bis zum Einsetzen des grossen Impulses variiert zwischen wenigen und ca. 20 ms (Fig. 11). Die mittlere Dauer von 12 ms entspricht bei einer mittleren Vorwachsengeschwindigkeit des Leitblitzes von 200 m/ms 2,4 km Länge des Aufwärtsleitblitzes.

3. Blitzeinleitung

Der Vergleich der Stromoszillogramme mit den Oszillogrammen der elektrischen Feldstärke einerseits an der Ostflanke des Messturmes 1, andererseits über der Aussichtsterrasse des Berggipfels zeigt, dass dem Einsetzen des Blitzstroms stets eine Feldänderung aus dem vorher stationären Zustand vorausgeht. Beispiele des Feldverlaufs sind in [4] enthalten, insbesondere [4, Fig. 6 (17)] vor und während des grössten gemessenen Blitzstroms von 270 kA. Leider beschädigte jener Blitz den Mess-Shunt, so dass nur noch der Scheitelwert, nicht aber der weitere Verlauf gemessen werden konnte. Das Feld-Oszillogramm zeigt einen Sprung der Feldstärke auf einen während ca. 18 ms erhöhten Wert; die Feldstärke ändert dann die Polarität, um nach weitem ca. 10 ms zum Einschlag mit 270 kA zu führen.

Aus der Registrierung der Feldstärke vor und während des Einschlags und dem Vergleich mit dem Stromoszillogramm ist zu schliessen, dass einem Blitzeinschlag in allen Fällen eine elektrische Entladung in der Gewitterwolke vorangeht (Wolkenblitz). Diese Erkenntnis hat nachstehende Folgen.

4. Bezeichnung der Blitze

Als *Abwärtsblitz* ist ein Abzweig eines Wolkenblitzes zu bezeichnen, der fotografisch mit ruhendem oder rasch bewegtem Film verfolgt werden kann, sobald er aus der undurchsichtigen Wolke hervortritt und dann zur Erde herunterwächst.

Als *Aufwärtsblitz* wird im vorliegenden Bericht ein Blitz bezeichnet, der an der Turmspitze einsetzt, sobald das vom Wolkenblitz dort erzeugte elektrische Feld genügend hohe Werte erreicht. Erreicht dieser Aufwärtsblitz nur eine beschränkte Höhe, so entspricht er der sog. Büschelentladung (streamer) der Hochspannungstechnik (Typen 2a und 4a in Fig. 1 von [5]). Im kritischen Fall der Type 4b erreicht der Aufwärts-Streamer den in der hochgelegenen positiven Wolke noch bestehenden Wolkenblitz. Dessen verzweigtes Ladungssystem wird sich dann über den Aufwärts-Streamer zur Erde entladen, was zu den starken Blitzen der Type 4b führt. Es liegt nahe, in diesem Fall den Aufwärts-Leader als Fangentladung zu bezeichnen, wie das bei den Abwärtsblitzen aus negativen Wolken der Fall ist. Allerdings muss dabei in Kauf genommen werden, dass der getroffene Ast der Wolkenentladung in der Regel innerhalb der Wolke liegt und deshalb unsichtbar ist. Somit würde sich die Bezeichnung als Fangentladung nicht auf optische Wahrnehmung des Blitzes stützen, sondern nur auf die durch Feldmessungen nachweisbare Existenz einer Vorentladung innerhalb der positiven Wolke.

Im vorliegenden Bericht sollen sich die Bezeichnungen Abwärts- bzw. Aufwärtsblitz auf den optisch sichtbaren Blitz beziehen, nicht auf den hypothetisch vorangehenden Wolkenblitz. Fig. 12 zeigt ein Beispiel zur Entstehung der Blitztype 4b (positiver Aufwärtsblitz), ebenso Fig. 5 in [5].

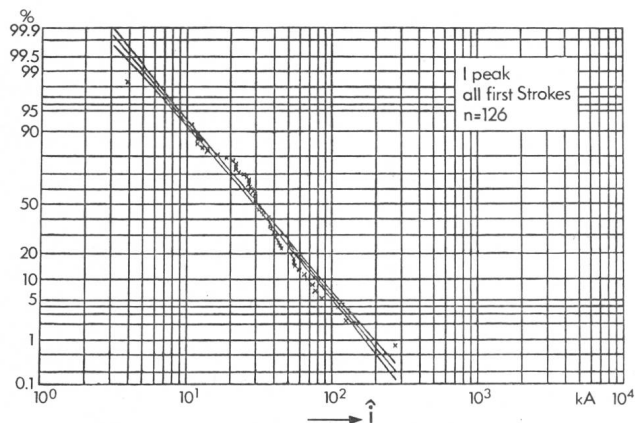


Fig. 1 Häufigkeit verschiedener Blitzstrom-Scheitelwerte \hat{i}

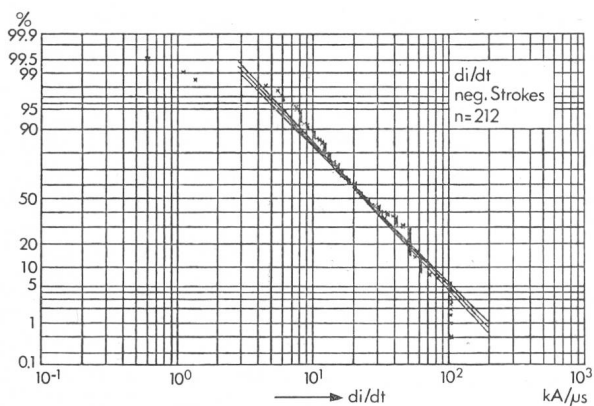


Fig. 2 Häufigkeit verschiedener Blitzstrom-Steilheiten di/dt_{max}

5. Bedeutung und Extremwerte der Blitzstrom-Parameter

Primäre Bedeutung für den Blitzschutz haben die beiden Parameter Stromquadratimpuls $\int i^2 \cdot dt$ und Stromsteilheit di/dt_{max} , der erste für den äusseren, der zweite für den inneren Schutz.

5.1 Zahlenwerte des Stromquadratimpulses

Nach den Messungen am Monte San Salvatore liegen die oberen Grenzwerte dieses Parameters bei ausschliesslich negativen Blitzen bei ca. $10^5 \text{ A}^2 \text{ s}$, bei den positiven grössten Blitzen bei ca. $2 \cdot 10^7 \text{ A}^2 \text{ s}$ oder $20 (\text{kA})^2 \text{ s}$. Die Extrapolation der Häufigkeitskurven aller positiven Blitze würde ergeben: ca. 1% aller bei $5 (\text{kA})^2 \text{ s}$.

Ein unabhängiger Extremwert konnte aus einem Bericht von H. Meister gewonnen werden [9]. Zwei im Abstand von 30 mm parallelgeführte, elektrisch parallelgeschaltete Erdungsdrähte von 20 mm^2 ($5 \text{ mm } \Phi$) wurden durch die Stromkräfte derart zusammengezogen, dass sie flachgepresst zurückblieben. Der Effekt wurde im Labor reproduziert und daraus der erforderliche Kraftimpuls bestimmt. Dieser mechanische Kraftimpuls entspricht einem elektrischen Impuls von etwa 300 kA bei $500 \mu\text{s}$ Halbwertdauer. Dies wiederum entspricht mit einem Formfaktor gegenüber rechteckiger Stromform von 0,5 einem Stromquadratimpuls von ca. $22,5 (\text{kA})^2 \text{ s}$. Dieser Wert deckt sich etwa mit dem grössten Wert der San Salvatore-Messung.

Die italienischen Messungen auf dem Monte Orsa unterscheiden nicht zwischen positiven und negativen Blitzen (Cigré 33-01, 1978). Die grössten Messwerte liegen bei ca. $3 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ s}$. Dazu wird ein 5%-Wert von $0,5 \cdot 10^6$ angegeben. Diese Werte liegen innerhalb des San Salvatore-Bereichs.

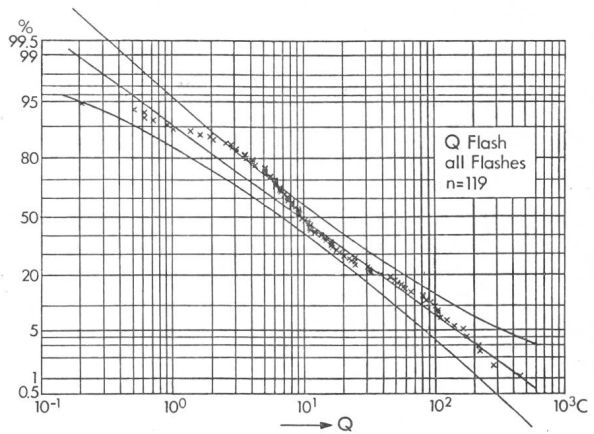


Fig. 3 Häufigkeit verschiedener Blitzstrom-Ladungen $q = i \cdot dt$

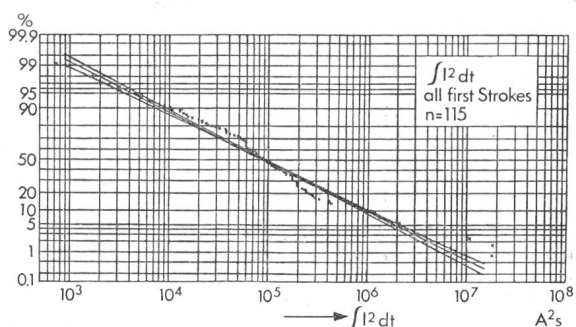


Fig. 4 Häufigkeit verschiedener Stromquadratimpulse $i^2 \cdot dt$

5.2 Bedeutung des Stromquadratimpulses

Was die Zahlen bedeuten, kann z. B. daraus ersehen werden, welche Erwärmung die Stromstöße in Cu-Drähten bewirken (Tabelle I). Die Tabelle zeigt, dass Impulse von $20 \text{ (kA)}^2 \text{ s}$ für einen einzelnen 6-mm-Cu-Draht die obere Grenze bilden. Dagegen sind Impulse bis $50 \text{ (kA)}^2 \text{ s}$ für $1 \times 8\text{-mm-}$ oder $2 \times 6\text{-mm-}$ Cu-Draht noch ohne unzulässige Erwärmung erlaubt.

5.3 Zahlenwerte der Stromsteilheit

Die extremen Werte der Steilheit di/dt_{max} des Blitzstroms treten stets bei den Folgeblitzen negativer Blitze auf. Das statistische Resultat der Messungen am San Salvatore ist in Fig. 2 dargestellt. Als 100% gilt dabei die Anzahl der Gesamtblitze (212), d. h., dass ein Mehrfachblitz nur einfach gezählt wird. Würde als 100% die Anzahl gemessener Folgeblitze (713) ge-

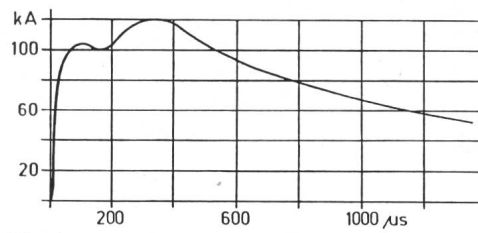
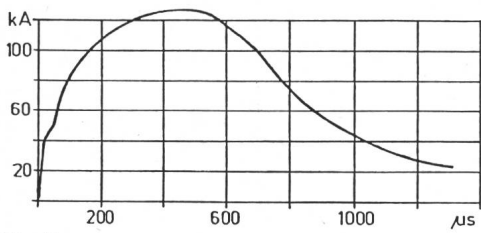
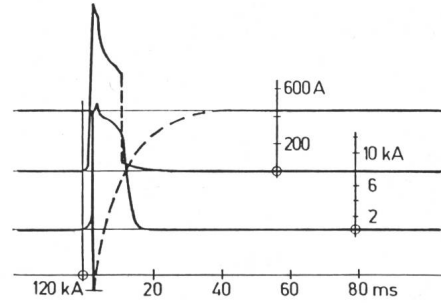
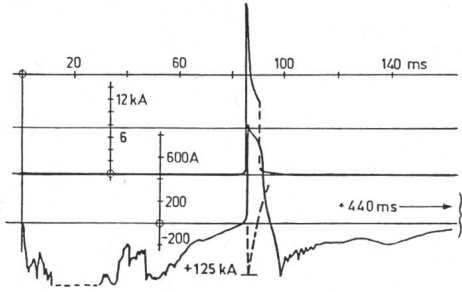


Fig. 5

Fig. 6

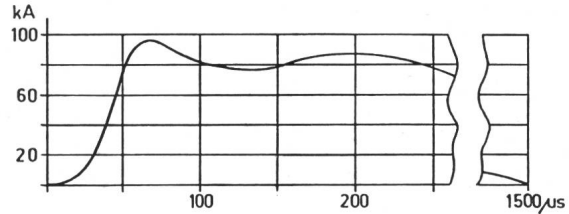
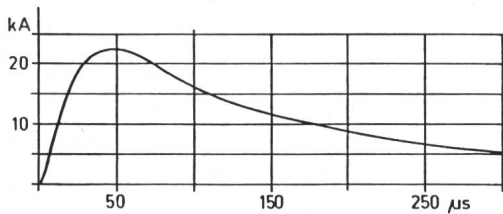
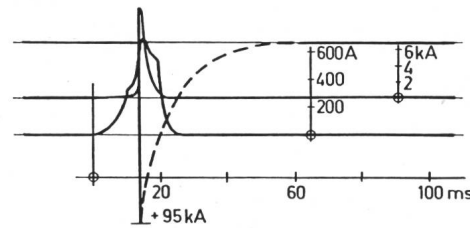
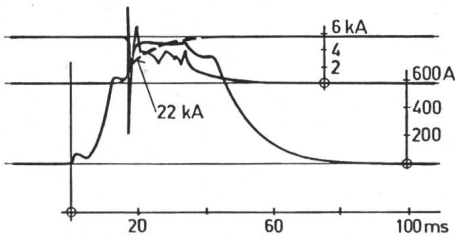


Fig. 7

Fig. 8

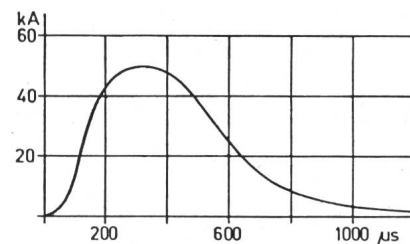
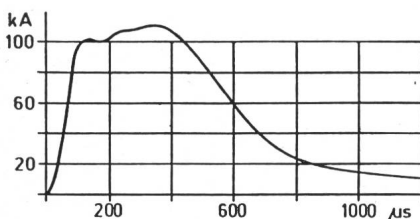
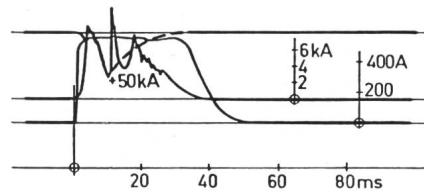
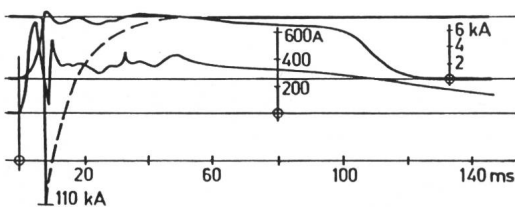


Fig. 9

Fig. 10

Fig. 5...10 Beispiele von Oszillogrammen positiver Blitzströme (Typ 4b) mit grosser Halbwertdauer und Angabe der Stromamplitude

zählt, so ergäbe sich Fig. 13. Es fällt auf, dass in beiden Figuren Messpunkte und Kurve bei 100 kA/μs aufhören. Diese Grenze ist lediglich durch den Zeitmaßstab der Oszillogramme bedingt.

Eine entsprechende Kurve wurde als Resultat mehrjähriger Messungen in Südafrika (Pretoria) gemessen und in Fig. 14 reproduziert.

Die Häufigkeit relativ hoher Steilheiten ist gross: 100 kA/μs oder mehr kommen auf Grund schweizerischer Messungen mit ca. 5% Häufigkeit vor. Bei geradliniger Extrapolation erreichen ca. 1% aller Blitze 200 kA/μs oder mehr (Fig. 2). Nach den Messungen in Südafrika kommt der Steilheit 100 kA/μs eine Wahrscheinlichkeit von 10% zu, jener von 200 kA/μs noch ca. 2%. Die italienischen Messungen an 149 Folgeblitzen ergeben 5% Wahrscheinlichkeit für 110 kA/μs oder mehr. Die französischen Messungen an künstlich durch Raketen ausgelösten Blitzen ergaben Folgeblitz-Steilheiten zwischen 50 und 80 kA/μs, in einem Fall wurden 100 kA/μs erreicht [10].

5.4 Bedeutung der Zahlenwerte der Stromsteilheit

Die Stromanstiegsgeschwindigkeiten di/dt_{max} bestimmen alle Induktionswirkungen des Blitzes, sowohl in Kreisen, die teilweise selbst Blitzstrom führen, als auch in getrennten, lediglich magnetisch gekoppelten Kreisen. Die Definition der Stromsteilheit entspricht der steilsten Tangente an die Stromkurve, nicht der von der IEC für Stoßströme definierten Verbindungsgeraden zwischen zwei Frontpunkten, z.B. 10 und 90% des Scheitelwerts.

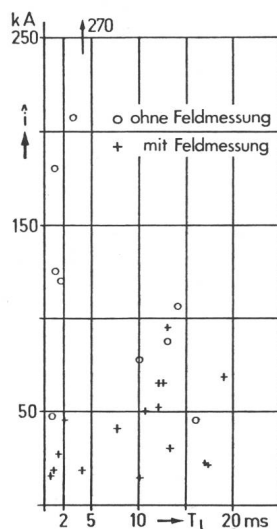


Fig. 11 Korrelation zwischen Vorstromdauer T_1 und Strom-Scheitelwert

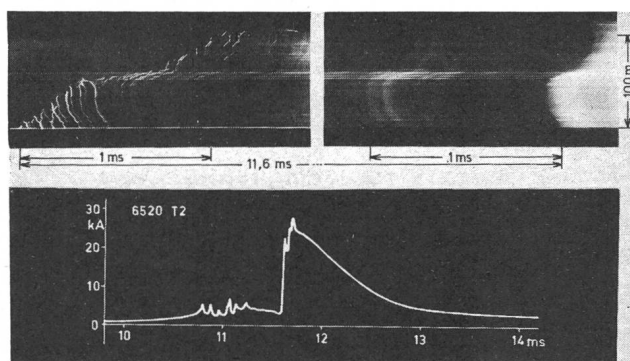


Fig. 12 Oszillogrammbeispiel des Blitztyps 4b mit entsprechender Streak-camera-Foto

Ein bekanntes Beispiel für die störende Induktionswirkung des Blitzstromes in einem *Starkstromkreis* besteht bei den Kirchtürmen mit elektrischem Lätwerk [11]. Während früher die isolierenden Glockenseile durch Motorgetriebe am Boden bewegt wurden, werden heute Lätmotoren in den Glockenstuhl eingebaut. Damit entsteht eine lange Parallelführung einer Niederspannungsleitung mit der Blitzableitung am Turm. Trotz der Überspannungsableiter am Turmfuss können bei grosser Turmhöhe, bei ungünstiger Anordnung der elektrischen Installation, und bei Verwendung eines einzigen Ableiterdrahtes Überschläge und Kurzschlüsse entstehen.

Von grösster Bedeutung sind heute die Induktionswirkungen des Blitzes in Stromkreisen mit *elektronischen Bauteilen*. Während in Starkstromanlagen mit Geräten zu rechnen ist, deren Prüfspannung 2000 V beträgt, arbeiten elektronische Geräte oft mit Spannungen einiger Volt oder weniger. Es ist relativ einfach, elektronische Kreise gegenüber blitzstromführenden Leitern oder «Erde» für 2000 V Prüfspannung zu isolieren. Viel schwieriger ist es, das Eindringen viel kleinerer Induktionsspannungen in die elektronischen Kreise zu verhindern. Eine absolut symmetrische Anordnung (Verdrillung usw.) ist ein taugliches Mittel, solange die Symmetrie besteht. Sobald aber im Betrieb eine Unsymmetrie auftritt, wie z.B. beim Ansprechen eines gegen «Erde» geschalteten Ableiters, ist die Unsymmetrie und damit die Überbeanspruchung da.

Für den *Schutz elektronischer Kreise* kommt in erster Linie eine vollständige Abschirmung in Betracht, wobei diese Abschirmung in vielen Fällen Blitzstrom führt. An die Abschir-

Erwärmung von Cu-Drähten durch einen Blitzstromimpuls von 300 kA, 500 μs sowie durch Stromquadratimpulse von 20...50 (kA)²s

j = Stromdichte, t = Dauer

Tabelle I

Stromquadratimpuls (kA) ² s	Leiterquerschnitt	$j\sqrt{t}$	$\Delta\theta$ [13]
22,5	1 × 6 mm 28,3 mm ²	168	180°
22,5	2 × 6 mm 2 × 28,3 mm ²	84	35°
22,5	1 × 8 mm 50,3 mm ²	94	48°
20	1 × 6 mm 28,3 mm ²	158	150°
30	1 × 6 mm 28,3 mm ²	194	270°
20	2 × 6 mm 2 × 28,3 mm ²	79	32°
30	2 × 6 mm 2 × 28,3 mm ²	97	50°
40	2 × 6 mm 2 × 28,3 mm ²	112	64°
50	2 × 6 mm 2 × 28,3 mm ²	125	83°
20	1 × 8 mm 50,3 mm ²	89	40°
30	1 × 8 mm 50,3 mm ²	110	63°
40	1 × 8 mm 50,3 mm ²	127	83°
50	1 × 8 mm 50,3 mm ²	141	115°

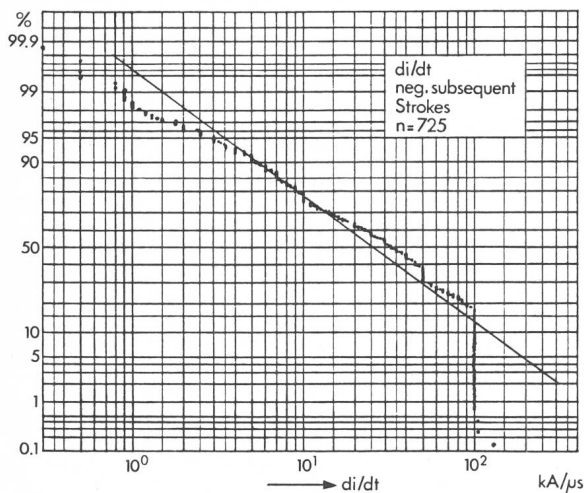


Fig. 13 Häufigkeit der Steilheit von Folgeblitzen am San Salvatore

mungen müssen hohe Anforderungen gestellt werden, seien es lückenlos durchgehende Eisenrohre oder entsprechende Wannen aus Stahl, die ganze Bündel von Drähten aufnehmen.

In elektronischen Stromkreisen, die nicht mit hohen Frequenzen (MHz) arbeiten, kommt als einfacher Schutz ein vorgeschaltetes RC-Filter in Frage, dessen Zeitkonstante ein Vielfaches der Frontdauer des Blitzstroms (ca. 1 μ s) beträgt. Für hochfrequente Kreise fällt diese Methode aber ausser Betracht. Diese Probleme werden heute unter dem Titel EMC (Electromagnetic Compatibility) auf breiter Basis diskutiert.

Für die Festlegung von Richtwerten von di/dt_{max} ist neben der Häufigkeit hoher Werte vor allem die Bedeutung des Versagens des Blitzschutzes bzw. der Elektronik infolge induzierter Blitzspannungen zu berücksichtigen. In wichtigen Anlagen dürften offenbar Extremwerte von 1...2% Häufigkeit der Bemessung des Blitzschutzes zugrunde gelegt werden. Bei der Berechnung der effektiven Störwirkungen ist zu berücksichtigen, dass die extremen Steilheiten nur bei den relativ kleinen Strömen der Folgeblitze (10...40 kA) auftreten. Die entsprechende Frontdauer beträgt somit bei 200 kA/ μ s 0,05...0,2 μ s. Für die Entstehung induzierter Ströme ist der massgebende Impuls nicht grösser als entsprechend einem 100-kA-Blitzstrom mit 100 kA/ μ s während 1 μ s.

6. Empfohlene Richtwerte der Blitzstrom-Parameter für einen sehr weitgehenden Blitzschutz

- a) *Stromquadratimpuls* $\int i^2 dt$
für übliche Gebäude im Flachland (negative Blitze) 0,5...1 (kA)²s
für sehr hohe Objekte, höher als 100 m (positive und negative Blitze) 20...50 (kA)²s
- b) *Steilheit* di/dt_{max}
für alle Gebäude (Flachland und Berge) 200 kA/ μ s
- c) *Blitzstrom* i (Scheitelwert)
für übliche Gebäude im Flachland (negative Blitze) 100 kA
für sehr hohe Objekte, höher als 100 m (positive und negative Blitze) 300 kA

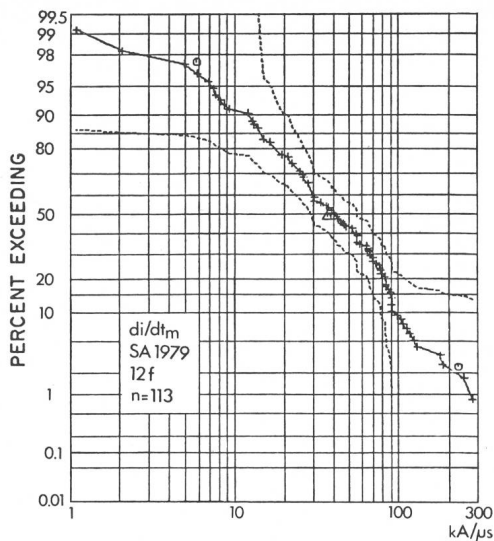


Fig. 14 Häufigkeit der Steilheit von Folgeblitzen nach einer Gesamtauswertung der Südafrika-Forschungsgruppe

Diese Stromwerte sagen wenig aus, solange nicht auch die Halbwertdauer bekannt ist. Wesentlich für den Blitzschutz ist nicht der Strom i , sondern der Stromquadratimpuls.

d) *Elektrische Ladung* $q = \int i \cdot dt$

- | | |
|---|-------|
| für übliche Gebäude im Flachland | 200 C |
| für sehr hohe Objekte (höher als 100 m) | 500 C |

Diese grossen Ladungen sind nicht im hohen Blitzstromimpuls, sondern im langdauernden Nachstrom enthalten. Sie entsprechen einer Einschlagswahrscheinlichkeit von höchstens 1...2% in ausgesprochen gewitterreichen Gebieten. Sie sind vorläufig auf geographisch gemässigte Zonen beschränkt; die Messungen erfolgten in der Schweiz und Italien sowie für künstlich ausgelöste Blitze auch in Frankreich in ca. 46° nördlicher Breite, ferner in Südafrika (Pretoria) in ca. 26° südlicher Breite.

Literatur

- [1] K. Berger und E. Vogelsanger: Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 56(1965)1, S. 2...22.
- [2] K. Berger und E. Vogelsanger: Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955...1965 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 57(1966)14, S. 599...620.
- [3] 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...1422.
- [4] K. Berger: Oszillographische Messungen des Feldverlaufs in der Nähe des Blitzeinschlags auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 64(1973)3, S. 120...136.
- [5] K. Berger: Blitzstrom-Parameter von Aufwärtsblitzen, gemessen am Monte San Salvatore, Lugano. Bull. SEV/VSE 69(1978)8, S. 353...360.
- [6] K. Berger, R.B. Anderson and H. Kröninger: Paramètres des coups de foudre. Electra -(1975)41, p. 23...37.
- [7] E. Garbagnati, E. Giudice et G.B. Lo Piparo: Messung von Blitzströmen in Italien. Ergebnisse der Jahre 1970...1977. 14. Internationale Blitzschutz-Konferenz, Gdansk, 22...26.5.1978. Referat 1.01.
- [8] R.B. Anderson and A.J. Erikson: Lightning parameters for engineering applications (ELEK 170). Cigré study committee 33: Overvoltages and insulations co-ordination. Colloquium and Study-Committee Meeting Suceava Roumania, 25...29 June 1979.
- [9] H. Meister: Dynamische Zerstörung einer Erdungsleitung durch den Blitz. Bull. SEV 64(1973)25, S. 1631...1635.
- [10] Weiterentwicklung der Blitzforschung in Frankreich. 14. Internationale Blitzschutzkonferenz, Gdansk, 22...26.5.1978. Referat 1.03.
- [11] K. Berger: Blitzforschung und Gebäudeblitzschutz. Bull. SEV/VSE 65(1974)26, S. 1899...1902.
- [12] H. Prinz: Die Blitzenladung in Vierparameterdarstellung. Bull. SEV/VSE 68(1977)12, S. 600...603.
- [13] J. Fallou: Les réseaux de transmission d'énergie. Paris, Gauthier-Villars, 1935.

Adresse des Autors

Prof. Dr. Karl Berger, Gstadtstrasse 31, 8702 Zollikon.