

Blitzforschung und Personen-Blitzschutz //

Von Karl Berger *)

Zusammenfassung

Im ersten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Blitzmessungen auf dem Monte San Salvatore bei Lugano während der Jahre 1963 bis 1970 bekanntgegeben. Dabei sind ausschließlich die Abwärtsblitze berücksichtigt, d. h. jene Blitze, die aus den Wolken zur Erde herunterwachsen und die somit auf den Bergen und im Tiefland in gleicher Weise zu erwarten sind.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Möglichkeiten des Blitzschutzes jener Personen besprochen, die sich bei Gewitter längere Zeit im Freien aufhalten und denen kein Schutzraum zur Verfügung steht. Neben dem idealen Faraday-Käfig bestehen weniger vollkommene Schutzmaßnahmen, bei denen beim direkten Blitzeinschlag wohl mit einem mehr oder weniger deutlich spürbaren elektrischen Schlag zu rechnen ist, die aber im Stande sind, das gefürchtete Herzflimmern zu verhindern.

1. Allgemeine Betrachtung

Grundlage jedes Blitzschutzes, sei er für Gebäude, Flugzeuge, Pulverfabriken usw. bestimmt, ist die genaue Kenntnis des Blitzstromverlaufes. Aus diesem zeitlichen Stromverlauf können alle Spannungen oder „Spannungsabfälle“ berechnet werden, die an irgendwelchen vom Strom durchflossenen Objekten auftreten. Voraussetzung ist lediglich, daß der Stromverlauf sich nicht vom Objekt beeinflussen läßt. Dies dürfte solange der Fall sein, als die Spannungsabfälle am Boden wesentlich kleiner bleiben als die Spannung des geladenen Blitzkanals, d. h. wesentlich kleiner als rd. 10 bis 100 MV, z. B. nicht mehr als 1 bis 10 MV. Wird dem Blitzkanal bei seiner Entladung zum Erdboden ein mittlerer Wellenwiderstand von etwa 500 Ω zugeschrieben, entsprechend einer Kanalspannung von z. B. 50 MV und einem zugehörigen Blitzstrom von 100 kA, so ist ersichtlich, daß nur Widerstandswerte z. B. des Erdbodens von mindestens einigen hundert Ohm und entsprechende Spannungsfestigkeit in der Größenordnung Megavolt den Blitzstrom merklich herabsetzen können.

Im Gebirge, wo höhere Bodenwiderstände am Einschlagsort sicher vorhanden sind, kommt es infolge zu kleiner Spannungsfestigkeit der Luft zu Gleitentladungen längs des Felsens, wobei der gesamte Erdungswiderstand solange sinkt, bis die Festigkeit der Luft nicht mehr überschritten wird. Mit dieser kurzen Betrachtung soll klar gemacht werden, daß Schlagweiten von einigen Metern oder von Bruchteilen eines Meters belanglos sind für den Blitzstromverlauf. Es ist an dieser Stelle nicht möglich, die Ergebnisse der Blitzstrom-Messungen am San Salvatore bei Lugano im ganzen wiederzugeben. Eine solche Auswertung ist nach Abschluß der Messungen des Jahres 1971 für das Jahr 1972 vorgesehen. Dagegen kann als Grundlage für die Frage des Personenschutzes die Auswertung von 69 einfachen Abwärtsblitzen zum San Salvatore genommen werden.

2. Blitzstromdaten einfacher Abwärtsblitze

Im nachstehenden Bild 1 werden die charakteristischen Größen des zeitlichen Stromverlaufes von 69 Blitzen dargestellt, die in den Jahren 1963 bis 1970 in die beiden Meßtürme auf dem Monte San Salvatore einschlugen und oszillographisch gemessen wurden. Es handelt sich ausschließlich um einfache Abwärtsblitze, von denen nach heutiger Kenntnis angenommen werden darf, daß sie in gleicher Art und Größe auch im Tiefland auftreten.

*) Prof. em. Dr. sc. techn. Dr.-Ing. e. h. K. Berger ist Leiter des Blitzforschungsinstitutes auf dem Monte San Salvatore bei Lugano/Schweiz.

Ergänzend ist zu bemerken, daß die Größen im Bild 1 d bis 1 e wie folgt definiert sind:

Als Frontdauer T_F des Stromes gilt die Zeit vom Stromwert 2 kA bis zum Erreichen des ersten Scheitelwertes.

Unter Steilheit $(di/dt)_{max}$ ist der Maximalwert des Stromanstieges zu verstehen, d. h. in der Kurvendarstellung $i(t)$ ist die steilste Tangente an der Stromkurve gemeint. Dieser Wert tritt kurz vor Erreichen des Stromscheitelwertes auf.

3. Mehrfachblitze

3.1. Auswertung

In der Beobachtungs-Periode 1963 bis 1970 wurden am San Salvatore insgesamt 867 Blitze oszillographiert, davon: 113 Abwärtsblitze, nämlich 25 positiver und 88 negativer Polarität;

700 Aufwärtsblitze, nämlich 90 positiver und 610 negativer Polarität;

2 Abwärtsblitze, jeder sowohl mit positiven als auch negativen Strömen und

52 Aufwärtsblitze, jeder sowohl mit positiven als auch negativen Strömen.

Von diesen Messungen sind bis heute die vorgenannten 69 einfachen Abwärtsblitze, ferner 195 Mehrfachblitze beider Polarität und Vorwachsrichtung ausgewertet worden.

3.2. Ergänzungen zur Blitzstrommessung

Daraus lassen sich die Angaben unter Abschnitt 2 zur Zeit wie folgt ergänzen:

1. Die Mehrfachblitze erbrachten keinen größeren Stromscheitelwert i als die Einfachblitze (Bild 1 a). Inzwischen wurde am 26. 5. 1971 der bisher größte Blitzstrom mit rd. + 270 kA gemessen, der auch prompt den für 200 kA ausgelegten Blitzstrom-Meßwiderstand dynamisch beschädigte.
2. Während die größte Blitzstromdauer T bei einfachen Abwärtsblitzen 0,2 s beträgt (Bild 1 b), dauerte der gesamte Blitzstrom bei Mehrfachblitzen in der Beobachtungs-Periode 1963 bis 1970 bis zu 1,3 s; nach einem früheren Oszillogramm mit 17 Teil-Blitzen sogar bis 1,8 s.
3. Die Ladung Q (Bild 1 c) erreichte bei den einfachen Abwärtsblitzen in einem Ausnahmefall rd. 415 C. Bei den Mehrfachblitzen derselben Periode wurden mehrmals Werte von 250 C, und ein Wert von etwa 350 C gemessen, d. h. nicht mehr als bei den größten Einfachblitzen.
4. Die größten Blitzstromsteilheiten (Bild 1 d) der einfachen Abwärtsblitze liegen bei 30 kA/ μ s, die kürzesten Frontdauern (Bild 1 e) bei 1,5 μ s. Bei Mehrfachblitzen besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den ersten und den späteren Teilblitzen, indem bei letzteren die Frontdauer fast ausnahmslos bei rd. 1 μ s, teilweise noch darunter liegt. Frontdauern unter 1 μ s oder Steilheiten von mehr als etwa 50 kA/ μ s können mit der bestehenden Einrichtung nicht mehr genau erfaßt werden.

Der Unterschied in der Frontdauer zwischen den ersten und folgenden Blitzen ist größer als der Unterschied der Steilheit, d. h. daß die sehr kurzen Frontzeiten bei Folgeblitzen mit kleineren Strömen vorkommen. Größte Steilheiten von rd. 50 bis 80 kA/ μ s konnten in seltenen Fällen gemessen werden.

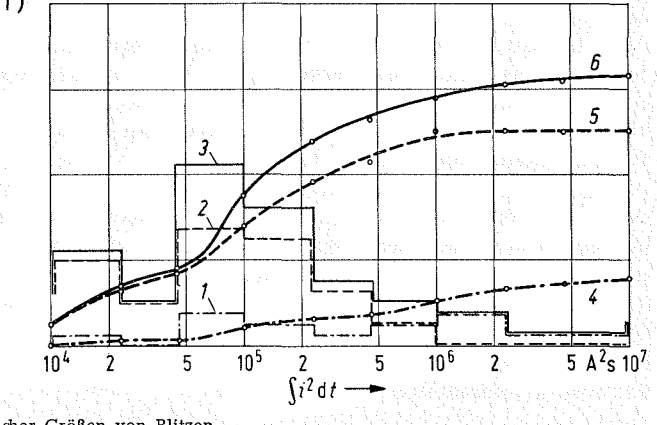
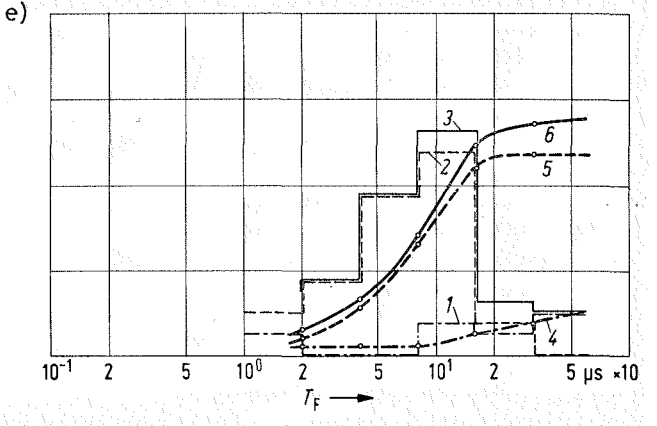
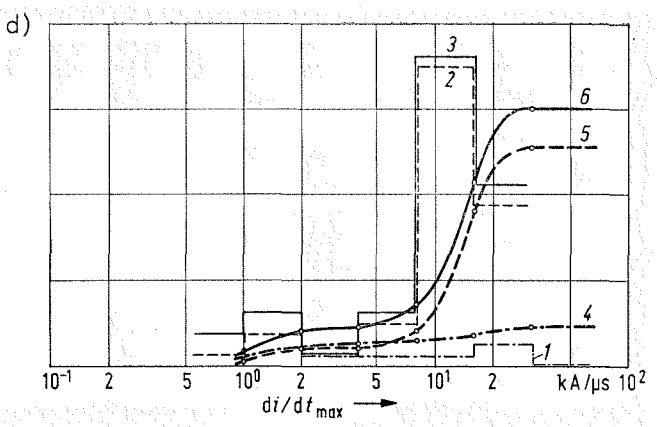
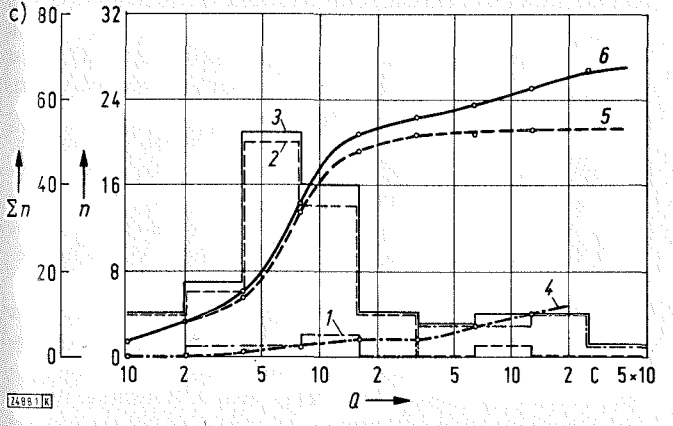
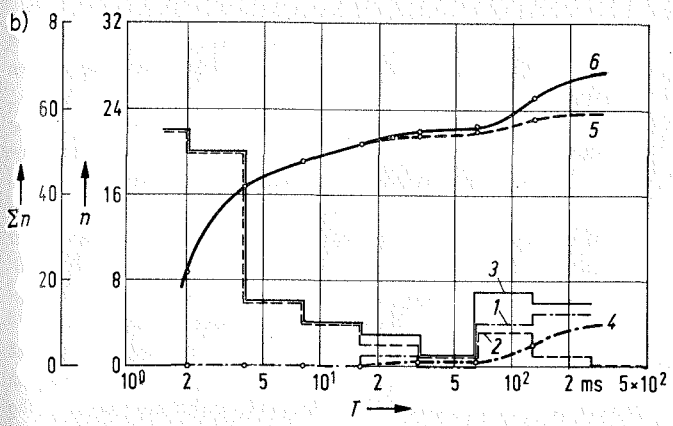
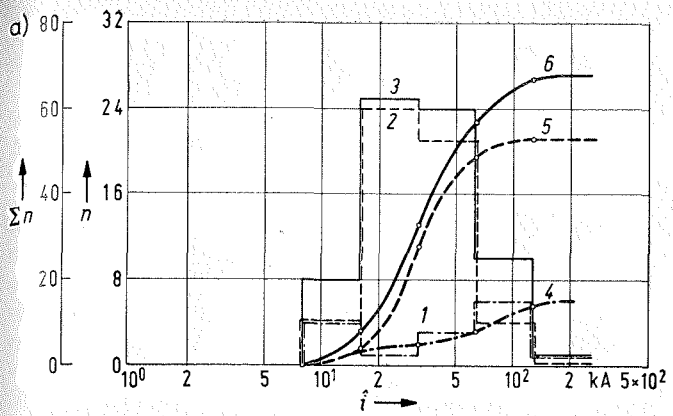


Bild 1. Darstellung der Häufigkeit n und Σn verschiedener charakteristischer Größen von Blitzen.

- a) n und Σn als Funktion von \hat{i} , Höchstwerte + 208 kA, 125 — 120 — 110 kA,
- b) n und Σn als Funktion von T , Höchstwert 220, 185 ms,
- c) n und Σn als Funktion von Q , Höchstwert 415 C,

- 1 Anzahl n_+ der Blitze mit positiver Polarität in einem gewissen Abszissenbereich,
- 2 Anzahl n_- der Blitze mit negativer Polarität in einem gewissen Abszissenbereich,
- 3 Anzahl n_{+-} der Blitze mit positiver und negativer Polarität,

- d) n und Σn als Funktion von $(di/dt)_{\max}$, Höchstwert 30 kA/μs,
- e) n und Σn als Funktion von T_F , kleinster Wert 1,5 μs,
- f) n und Σn als Funktion von $\int i^2 dt$, Höchstwert $1,6 \cdot 10^7 A^2 s$.

- 4 Summe Σn_+ aller Blitze mit positiver Polarität im Bereich Null bis Abszissenwert,
- 5 Summe Σn_- aller Blitze mit negativer Polarität im Bereich Null bis Abszissenwert,
- 6 Summe Σn_{+-} aller Blitze mit positiver und negativer Polarität im Bereich Null bis Abszissenwert.

5. Der Stromquadratimpuls $\int i^2 dt$ (Bild 1 f) erreichte bei einfachen Abwärtsblitzen positiver Polarität Werte von über $10^7 A^2 s$, bei negativen rd. $10^6 A^2 s$. Mehrfachblitze ergaben kein größeres Stromquadrat-Integral als die positiven Einfachblitze.

4. Aufwärtsblitze

Bekanntlich kommen Aufwärtsblitze nur an sehr hohen Objekten vor, wie Wolkenkratzer, Sendetürme, Schiffsmasten, Aussichtstürme usw. Sie wurden als Kuriosität eines nach oben verzweigten Blitzes an einem Schiffsmast auf dem Meer entdeckt und erstmals durch Blitzmessungen auf dem Empire State Building von K. B. McEachron, J. H. Hagenguth

und J. G. Andersen [1—3] photographisch mit bewegtem Film nachgewiesen. Auf dem San Salvatore ist die große Mehrzahl, etwa 75 bis 90 % aller Blitze, Aufwärtsblitze, die sich an den beiden Meßtürmen bilden und gegen die Gewitterwolken hinaufwachsen. Eigentlich müßte man beim Aufwärtsblitz nicht von einem Blitzeinschlag in den Turm, sondern von einem „Blitzausschlag oder Blitzausbruch aus dem Turm“ sprechen.

In Ergänzung und als Vergleich mit den einfachen Abwärtsblitzen des Abschnittes 2 läßt sich für Aufwärtsblitze folgendes sagen:

- 1. Der Blitzstrom beginnt nicht mit einem hohen Stromimpuls, sondern mit einem „Gleichstrom“ von wenigen

hundert Ampere als Ladestrom des Blitzkanals. Er dauert in der Regel einige Zehntelsekunden. Seine Ladung liegt dementsprechend in der Größenordnung von ungefähr 20 bis zu einigen hundert Coulomb.

- Die meisten Aufwärtsblitze sind Einfachblitze; sie bestehen dann ausschließlich aus dem genannten Gleichstrom von einigen hundert Ampere mit einer Dauer von Zehntelsekunden. Ihre Induktionswirkung ist praktisch bedeutungslos. Ihr Ansatzpunkt ist durch das statische Feld an hohen Spitzen und durch die Feld-Deformation gegeben, die sich infolge der sehr starken Ionisierung durch die dortigen Glimmströme (Elmsfeuer) bildet.
- Sofern es zum Mehrfachblitz kommt, sind die Folgeblitze von derselben Form und Größe wie die Folgeblitze von Abwärtsblitzen, d. h. es treten auch hier die größten Stromsteilheiten di/dt bis über $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$ ausschließlich in der Stromfront der Folgeblitze auf.
- Dem Aufwärtsblitz können gelegentlich auch eine kleine oder große Anzahl kurzer Stromimpulse überlagert sein, deren zeitlicher Verlauf den Folgeblitzen von Abwärtsblitzen vergleichbar ist.
- Verglichen mit den einfachen Abwärtsblitzen im Abschnitt 2 sind die Werte des Stromscheitelwertes und des Stromquadratimpulses beim Aufwärtsblitz kleiner, die Werte der Ladung und der Dauer des Stromes dagegen im Mittel größer als beim Abwärtsblitz. Eine ausführliche statistische Auswertung steht noch bevor.

5. Möglichkeiten des Personen-Blitzschutzes

Die Erfahrung in den verschiedensten Ländern hat bewiesen, daß die meisten schweren Personenunfälle als Folge von Blitzschlägen im Freien am häufigsten dadurch entstehen, daß die Leute Schutz vor Gewitter und Regen unter hohen Bäumen suchen, oder dadurch, daß sie auf dem freien Feld oder auf Heuwagen und Traktoren dem Blitz besonders stark ausgesetzt sind.

Das Problem des Personenblitzschutzes besteht deshalb in erster Linie für Leute, die sich im offenen Gelände oder auf Bergen weitab von schützenden Gebäuden, Hütten oder von Autos befinden, in die sie sich flüchten könnten. Die theoretischen Schutzmöglichkeiten, die sich auf Grund der Blitzstromdaten einwandfrei feststellen lassen, sollen nachstehend betrachtet werden.

5.1. Schutzmöglichkeiten

Grundsätzlich besten Schutz gewährt ein Faraday-Käfig um die zu schützende Person. Ein solcher Käfig besteht aus einer geschlossenen Metallhülle genügender Leitfähigkeit, in welche die zu schützende Person eingeschlossen ist; in dieser Weise besteht zwischen dem Schutz von Personen und von irgendwelchen Gebäuden kein grundsätzlicher Unterschied [4].

5.1.1. Ein Personenschutzkäfig wurde von *J. Wiesinger* im Hochspannungslaboratorium der Technischen Hochschule München (Vorstand Prof. *H. Prinz*) entwickelt [5]. Er besteht aus einem Drahtgeflecht, das von vier Stützen gehalten wird und das die Person ringsherum, auch am Erdboden, umgibt. Der zeltförmige Schutzkäfig kann zerlegt und in einem kleinen handlichen Paket, Gewicht 4 kg, untergebracht werden. Diese Lösung ist im Hochspannungslaboratorium in München unter den Bedingungen des natürlichen Blitzstromverlaufs untersucht worden und darf als vollkommener Schutz bei Blitzeinschlägen in den Käfig gelten.

5.1.2. Allenfalls als Schutzkäfig sind mit Metall belegte Mäntel oder Schlafsäcke anzusprechen. Metallbelegte Mäntel schwedischer Herkunft werden z. B. von der Feuerwehr als Schutz gegen Hitze-Strahlung benutzt. Der Mantel besteht aus unbrennbarem oder schwer brennbarem

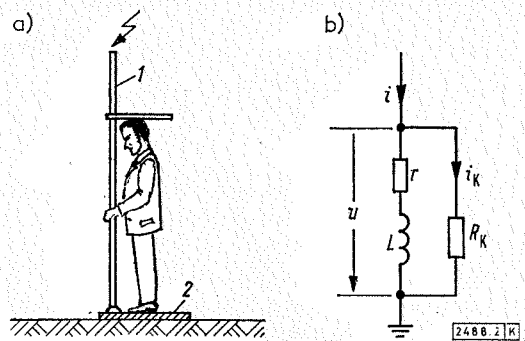


Bild 2. Einfacher Blitzschutz für Menschen.

a) Mensch mit Blitzschutzstange,
b) Ersatzschaltbild.

Material, der Überzug aus einer Leichtmetall-Legierung von wenigen Zehntel Millimeter Dicke, die einen sehr guten Leitwert hat.

Um diese Feuerwehnmäntel für den Blitzschutz verwendbar zu machen, müßten sie durch eine Kopfbedeckung ergänzt werden, die mit dem Metallmantel ringsum verbunden ist und nur einen Ausschnitt für das Gesicht offenläßt. Ferner müßte der Mantel so lang sein, daß es möglich ist, ihn unter die Knie zu nehmen und darauf zu knien, damit der Mantelkäfig auch unten gegen den Erdboden geschlossen ist. Ähnliche Überlegungen gelten bei Blitzschutz-Schlafsäcken.

Bei Blitzschutzmänteln ist keine Gewähr vorhanden, daß nicht der eine oder andere Körperteil ihn berührt. Wenn im extremen Fall sowohl Kopf als auch Füße mit dem Käfig leitend durch Berührung oder Funken verbunden werden, so wird ein Teilstrom des Blitzes durch den Körper fließen. Bei einem unendlich gut leitenden geschlossenen Käfig ist dieser Anteil gleich Null. Bei begrenzter Leitfähigkeit rechnet sich die Spannung am Körper aus dem ohmschen Widerstand des Mantels und dem Blitzstrom sowie seiner Verteilung über den Mantel aus. Dabei spielt die Strom-Enge beim Eintritt und Austritt des Blitzstromes eine wesentliche Rolle. Der Mantelbelag wird bei entsprechender Größe $\int i dt$ wegschmelzen, wie das von den Folienmänteln her bekannt ist.

Den theoretischen Möglichkeiten stehen daher praktische Schwierigkeiten entgegen, die es als fraglich erscheinen lassen, ob solche Schutzmäntel praktisch Eingang finden werden. Ebenso wie dem Schutzkäfig von *J. Wiesinger* haftet dem Schutzmantel der Nachteil an, daß ein Schutz nur bei Stillstand, nicht beim Gehen, vorhanden ist.

5.2. Theoretische Untersuchung

Bereits seit dem Ende des 18. Jahrhunderts sind Vorschläge für einen Blitzableiter für Herren und Damen gemacht und seither oft belacht worden. So wird ein Regenschirm mit hoher Spitze und mit einem Draht zum Boden abgebildet oder ein Damenhut mit ähnlichem Blitzableiterdraht, der am Boden nachgeschleift wird [6, 7]. Es stellt sich heute auf Grund der Blitzstromkenntnisse die Frage, ob nicht einfache Lösungen möglich sind, die vielleicht den Stromdurchgang durch den Körper nicht vollständig verhindern, ihn aber auf eine ungefährliche Größe verkleinern.

Dazu folgende Betrachtung. Man denke sich eine Blitzableiterstange, die auf eine Metallplatte aufgesetzt ist, auf der die zu schützende Person steht (Bild 2).

Der Blitzstrom i soll den Blitzableiterstab 1 durchströmen und über die metallische Grundplatte 2 zur Erde abfließen. Nach dem Körperstrom i_K , der über den Körperwiderstand R_K fließt, sowie dessen Ladung q_K ist gefragt. Es ist

$$u = L di/dt + r i,$$

$$u_{\max} \approx L (di/dt)_{\max} + r i_{\max},$$

$$i_K = u/R_K \approx (L/R_K) (di/dt) + (r/R_K),$$

$$q_K = \int_0^{\infty} i_K dt = L(i_e - i_0)/R_K + (r/R_K) \int_0^{\infty} i dt$$

mit $i_0 = 0$ dem Anfangswert und $i_e = 0$ dem Endwert des Blitzstromes. Es ist somit

$$q_K = r q/R_K,$$

sofern mit q die Ladung des Blitzstromes i bezeichnet wird. Es ergibt sich somit, daß der große induktive Spannungsabfall am Stabe insgesamt keine Ladung durch den Körper schickt, da sich der positive und der negative Impuls kompensieren. Die Spannung u am Körper erreicht dagegen hohe Werte. Dazu ein Beispiel für einen starken Blitzstrom mit folgenden Daten:

$$q = 200 \text{ C}, i = 10^5 \text{ A}, (di/dt)_{\max} = 30 \text{ kA}/\mu\text{s},$$

$$R_K = 1000 \Omega, r = 1 \text{ m}\Omega,$$

$$\text{Stange } 1,5 \text{ m lang und } 50 \text{ mm}^2 \text{ Al}, L = 2,5 \mu\text{H}.$$

Daraus ergibt sich:

$$q_K = 10^{-6} q = 0,2 \text{ mC}.$$

Die gesamte Ladung q_K beträgt somit rund ein Zehntel der höchstzulässigen Ladung eines Impulses eines elektrischen Weidezauns oder 0,2% der nach P. Osypka [8] für Herzflimmern gefährlichen Ladungsgrenze von 100 mC.

Die größte Spannung am Körper während des kurzen und hohen Stromimpulses wird:

$$u_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 30 \cdot 10^8 \text{ (A}/\mu\text{s}) + 10^{-3} \Omega \cdot 10^5 \text{ A} = 75 \text{ kV} + 100 \text{ V} = 75,1 \text{ kV}.$$

Der größte Strom wird

$$i_{K \max} = (L/R_K) (di/dt) + (r/R_K) i_{\max} = (2,5 \cdot 10^{-6} \text{ H}/1000 \Omega) \cdot (30 \text{ kA}/\mu\text{s}) + (10^{-3} \Omega/1000 \Omega) 10^5 \text{ A} = (75 + 0,1) \text{ A} \approx 75 \text{ A}.$$

Während eines Bruchteils der Frontdauer, das heißt innerhalb weniger Mikrosekunden passiert ein Stromimpuls von 75 A den Körper, dem im Rücken des Stoßes, d. h. innerhalb rd. 100 μs ein kleinerer Strom umgekehrter Polarität folgt, der die Gesamtladung annulliert.

Unter Annahme einer linearen Front beträgt die Frontdauer beim gewählten Beispiel:

$$T_F = i_{\max}/(di/dt)_{\max} = 10^5 \text{ A}/(30 \text{ kA}/\mu\text{s}) \approx 3,3 \mu\text{s}.$$

Die Stoßladung im Körper wird bei linearer Front innerhalb dieser Zeit:

$$q_{K \text{ st}} = 0,5 i_{K \max} T_F = 0,5 \cdot 75 \text{ A} \cdot 3,3 \mu\text{s} \approx 120 \mu\text{As} = 0,120 \text{ mC}.$$

Diese Ladung beträgt somit ungefähr 0,12% der kritischen Ladung von 100 mC nach P. Osypka. Sie wird überdies gemäß obigen Ausführungen innerhalb der Stoßdauer des Blitzstromes von der entgegengesetzten gleich großen Ladung kompensiert, so daß die Polarisationswirkung auf die Nervenzellen des Organismus innerhalb kurzer Zeit wieder aufgehoben wird.

Aus der Betrachtung folgt, daß ein mit einer metallischen Grundplatte versehener Blitzableiterstab imstande ist, die Blitzgefährdung eines Menschen zu verhindern, sofern dieser mit den Füßen auf der Metallplatte steht. Dies gilt selbst dann, wenn der Mensch mit dem Kopf oder den Händen die Blitzableiterstange berührt oder umfaßt. Die den Körper durchströmende elektrische Ladung ist etwa 0,1% des für Herzflimmern bekannten Grenzwertes von 100 mC. Aus den Betrachtungen folgt auch, daß ein Mensch, der sich im Innern eines Gittermastes befindet, durch Blitzeinschlag in diesen Mast in elektrischer Beziehung nicht gefährdet. Es braucht somit nicht unbedingt einen lückenlosen Faraday-Käfig, um einen genügenden Blitzschutz zu erreichen.

Was dem historischen Vorschlag aus den Jahren um 1790 fehlte, war die Einsicht vom Spannungstrichter am Erdboden.

Dessen Verhinderung geschieht im obigen Beispiel durch die Metallplatte, auf der sich der Mensch befinden muß. Damit ist er aber am Gehen verhindert, und man kann sich jetzt die weitere Frage stellen, ob es auf Grund obiger Erkenntnis nicht möglich ist, auch den schreitenden Menschen vor Blitzgefahr zu schützen.

5.3. Theoretische Betrachtung der Schutzmöglichkeiten für schreitende Menschen

Sofern der schreitende Mensch die vorstehend erwähnte Bodenmetallplatte mit sich trägt, ist er nach den vorangehenden Ausführungen blitzgeschützt. Das ist der Fall, wenn der Körper mit einem oder mehreren Metallbändern umgeben wird, die in oder unter den Schuhen beginnen und über die Beine seitlich des Rumpfes bis über den Kopf oder Hut geführt sind. Ein Problem besteht lediglich infolge der großen Hitze des Blitzfunkens an der Einschlagstelle.

Dieses Problem läßt sich lösen, wenn der Kopf oder Hut mit einer leichten Metallhaube oder auch mit einem metallischen Helm bedeckt wird, der mit Asbest gefüttert ist. Das auf beiden Seiten befindliche Metallband kann z. B. aus einem weichen Drahtgeflecht mit einem Kupferquerschnitt von mindestens 10 mm² bestehen oder aus einem Reißverschluß mit entsprechender Metallunterlage oder -verstärkung. Unversehens taucht hier das alte Bild vom Mann mit dem Regenschirm mit hoher Spitze und nachgeschleiftem Blitzableiterdraht wieder auf. In der Tat besteht der Mangel jenes Vorschlages grundsätzlich nur im nachgeschleiften Draht, der den Mann unter dem Schirm beim Blitzeinschlag einer tödlichen Schrittspannung oder einem tödlichen Teilstrom des Blitzes über den Körper aussetzte. Wird der Regenschirm-Ableitdraht nicht nachgeschleift, sondern unter die Füße geführt, so ist auf Grund der heutigen Kenntnisse vom Blitzstrom-Verlauf ein Schutz grundsätzlich durchaus möglich, wenn man auch darüber lächeln mag.

Wie groß die Schreckwirkung durch den Knall des Blitzeinschlages in den geschützten Menschen ist, bleibt eine umstrittene Frage. Es wird behauptet, daß der Knall eines sehr nahen Einschlages ziemlich schwach ist, was theoretisch wegen der stetig zunehmenden Distanz der einzelnen Schallquellen durchaus verständlich ist. Außerdem wird es möglich sein, jene Berggänger, Grenzwächter und andere Personen, die der Blitzgefahr besonders häufig ausgesetzt sind, durch Instruktionen auf den Knall und eine kurze Elektrisierung (wie beim elektrischen Weidezaun) aufmerksam zu machen. Eine elektrische Gefährdung durch den Blitzstrom kann jedoch auf Grund aller heutigen Blitzkenntnisse verhindert werden.

Wenn diese Ausführungen zu praktischen Lösungen führen, ist der Zweck der Arbeit erfüllt.

Die vorstehend benutzten Ergebnisse wurden gewonnen mit der finanziellen Unterstützung durch den Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung und die Schweizerische Forschungskommission für Hochspannungsfragen (FKH).

6. Schrifttum

- [1] McEachron, K. B.: Lightning to the Empire State Building. J. Franklin Inst. Bd. 227 (1939) S. 149—217.
- [2] McEachron, K. B.: Lightning to the Empire State Building, Teil 2. Electr. Engng. Bd. 60 (1941) S. 885—889.
- [3] Hagenauth, J. H., u. Anderson, J. G.: Lightning to the Empire State Building, Teil 3. Electr. Engng. Bd. 71 (1952) S. 641—649.
- [4] Berger, K.: Das Grundprinzip des Blitzschutzes. Bull. Schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 61 (1970) S. 272—274.
- [5] Wiesinger, J.: Blitzsichere Zelte. Bull. Schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 59 (1968) S. 1012—1017.
- [6] Figuier, L.: Les merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes. Paris 1870.
- [7] Prinz, H.: Feuer, Blitz und Funke. Brinkmann, München 1965.
- [8] Osypka, P.: Meßtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier. Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen. Elektromedizin Bd. 8 (1963) S. 153—179 und 193—214.

Manuskript eingereicht am 30. 6. 1971.