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: Über die Wahrscheinlichkeit und den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen

Autor: Berger, K. / Biegelmeier, G. / Karobath, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-914866

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: 07.08.2025

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

Über die Wahrscheinlichkeit und den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen

Von K. Berger, G. Biegelmeier und H. Karobath

551.594.221:614.825;

Nach einem kurzen geschichtlichen Überblick werden Angaben über die Blitzunfallstatistik verschiedener Länder gemacht. Die physikalischen und physiologischen Gegebenheiten bei Blitzeinwirkungen auf Menschen und Nutztiere werden ausführlich dargestellt. Auf Grund von Unterlagen des Blitzforschungsinstitutes am San Salvatore werden Wahrscheinlichkeitsüberlegungen angestellt, mit denen es möglich ist, die Erfahrungen der Unfallstatistik zu erklären. Anschliessend werden Tierversuche mit Stoßströmen besprochen, und ein Tierunfall durch Blitzschlag wird technisch diskutiert.

Après un bref historique, des indications sont données sur les statistiques d'accidents dus à la foudre dans divers pays. Les particularités physiques et physiologiques des effets de la foudre sur des personnes et des animaux sont décrites en détail. En se basant sur les indications de l'Institut de recherche de la foudre, au San Salvatore, certaines réflexions probabilistiques sont proposées qui confirment les résultats des statistiques d'accidents. Pour terminer, des essais exécutés avec des courants de choc sur des animaux sont décrits, et l'accident d'un animal, dû à la foudre, est discuté du point de vue technique.

Es gibt neun Götter, die Blitze
senden und elf Arten von solchen.
Jupiter schleudert drei.

1. Einleitung

Wohl der erste, der auf den Gedanken kam, dass der Blitz eine Form des elektrischen Funkens sei, war ein englischer Geistlicher, *D. William Wall,* der schrieb, dass der Funken, den die Konduktoren einer Elektrisiermaschine lieferten, «bis zu einem gewissen Grad Blitz und Donner vorstelle» [1][1]). *Stephen Gray* (1666–1736) kam zu demselben Vergleich «si licet magnis componere parva», und *Johann Heinrich Winkler* (1703–1770), einer der bedeutendsten Lehrer seiner Zeit und Professor der Physik an der Universität Leipzig, widmete ein ganzes Kapitel seiner physikalischen Schriften dem Problem «ob Schlag und Funken der verstärkten Elektrizität für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind» [1].

Natürlich war es schon seit urdenklichen Zeiten bekannt, dass Blitze Menschen und Tiere töten können, aber man schrieb diese verheerenden Kräfte Jahrtausende lang dem Wirken der Götter zu.

Im Zeitalter *Benjamin Franklins* (1706–1790) begann man mit den ersten Experimenten mit atmosphärischen Entladungen, wobei man zunächst mit einer gewissen Sorglosigkeit vorging. Der Schrecken war dann gross, als man von dem Unglück hörte, das dem Petersburger Physiker, Professor *G. W. Richman,* 1753 widerfahren war. Der Gelehrte wollte die Stärke der Wolkenelektrizität im Verlaufe eines Gewitters messen. Zu diesem Zweck hatte er an einer Blitzstange, die bis in sein Labor geführt war, einen Messingdraht beweglich angebracht, so dass dieser wie ein Elektrometerblättchen vor einem Viertelkreis mit Zahlenskala spielen konnte: «*Richman* beschäftigte sich eben mit der Beobachtung der Wirkung, welche die Elektrizität der Wolken äussern würde, und hatte folglich den Kopf vorwärts gebeugt. Bei ihm war der Zeichner der Akademie, *Solokow,* welchen er bei seinen Versuchen um sich zu haben pflegte, um ihm die elektrischen Erscheinungen zu zeigen und ihn in den Stand zu setzen, dieselben desto genauer auf den Kupfertafeln vorzustellen, welche er davon stechen lassen wollte. Dieser Künstler, welcher sich dem Professor zur Seite befand, sah auf einmal eine blaue Feuerkugel von der Grösse einer geballten Hand von dem Drahte des Elektrizitätsanzeigers nach dem Kopf des Professors hinfahren (Fig. 1). So sehr man sich bemühte, den unglücklichen *Richman* wieder ins Leben zu bringen, so gab er doch kein Zeichen des Lebens mehr von sich» [2].

Heute sind die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität weitgehend bekannt und die physikalischen Vorgänge bei der Blitzentladung geklärt [3; 4]. Hier ist von Interesse, dass zwischen positiven und negativen Entladungen unterschieden werden muss, wobei sich der Blitz entweder aus den Wolken zur Erde als Abwärtsblitz, oder in umgekehrter Richtung als Aufwärtsblitz entwickeln kann (Fig. 2). Aufwärtsblitze kommen jedoch in der Ebene nur ausnahmsweise an hohen Objekten vor, so dass sie im allgemeinen nicht berücksichtigt zu werden brauchen (Typen 2 und 4 in Fig. 2). Positive Wolkenentladungen dürfen als in der Ebene seltene Fälle ebenfalls ausser Betracht gelassen werden (Typen 3 und 4).

Bezüglich der physiologischen Wirkungen des Blitzes liegen die Verhältnisse jedoch anders, und erst in den letzten Jahren scheint es möglich geworden zu sein, mehr über den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen auszusagen. Zunächst zeigt die Statistik der Unfälle durch Blitzschläge eine eigenartige Regelmässigkeit der Todeshäufigkeit, die zweifellos physiologische Ursachen haben muss. Es zeigt sich nämlich, dass für etwa ein Drittel der vom Blitz getroffenen Personen der Un-

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Fig. 1 Tödlicher Unfall durch Blitzschlag von Professor G. W. Richman in Petersburg 1753 [2]

Gegenüberstellung von Unfällen durch Blitzschläge Tabelle I

Land	Gesamtzahl der vom Blitz getroffenen Personen	davon tödliche Unfälle	Prozentsatz der tödlichen Unfälle
USA	1926 (24 Jahre)	651	33,8 %
Österreich	926 (25 Jahre)	276	29,8 %
Ungarn	156 (10 Jahre)	50	32 %

fall tödliche Folgen nach sich zieht. Fig. 3 zeigt für einen Zeitraum von 27 Jahren die Statistik der Blitzunfälle in Österreich.

Aus einer Statistik der USA ergibt sich, dass in den Jahren 1950...1973 von insgesamt 1926 Wanderern und Bergsteigern, die vom Blitz getroffenen wurden, 651 getötet wurden [5] und bei einer 10-Jahres-Statistik über Blitzunfälle in Ungarn waren bei insgesamt 156 Unfällen 50 Tote zu verzeichnen [6]. Tab. I gibt diese Zahlen mit den entsprechenden Prozentsätzen der tödlichen Unfälle wieder.

Die nachfolgenden Überlegungen, Erfahrungen und Tierversuche legen es nahe, die Ursache des tödlichen Ausganges bei Blitzunfällen in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle im Herzkammerflimmern zu suchen. Eine Lähmung der Atemzentren als primäre Todesursache anzunehmen, ist nach den gewonnenen Erfahrungen unwahrscheinlich geworden. Schon *Alvensleben* hat darauf hingewiesen [7], dass elektrische Kopfdurchströmungen gefahrlos sind. Dies wird einerseits durch die Erfahrungen bei den elektrischen Hinrichtungen in den USA bewiesen, die zeigten, dass Durchströmungen von 8...10 A und mehr selbst bei einer Dauer von 50 s nicht genügten, um eine dauernde und damit tödliche Atmungslähmung hervorzurufen. Das bei diesen Stromstärken während des Einschaltens stillstehende Herz nimmt nach dem Ausschalten seine Tätigkeit wieder auf, und mit dem Blutkreislauf setzt allmählich die Atmung spontan wieder ein. Die Kopfdurchströmung wird ja auch medinzinisch zum Behandeln der Schizophrenie mit Erfolg angewendet. Dabei werden 300 bis 600 mA bei etwa 250 V~ während 0,3...0,8 s durch den Kopf geleitet. Die Patienten werden ohne jede Schmerzäusserung bewusstlos und erwachen später aus der Bewusstlosigkeit ohne jede Erregung. Auch bei den später besprochenen Tierversuchen hat sich gezeigt, dass ein unmittelbar nach dem Elektroschock auftretender Atemstillstand nicht lange andauert und die Spontanatmung nach mehreren Sekunden bis maximal 3 min wieder einsetzt.

Neben den tödlichen Wirkungen durch Herzkammerflimmern treten die übrigen klinischen Erscheinungen des Blitzunfalles in den Hintergrund. So sind oft Fälle aufgetreten, wo vom Lichtbogen Metallteile am Körper angeschmolzen oder verschweisst werden (Reissverschlüsse, Kettchen, Uhren, Schnallen), oder wo Gleitfiguren (Lichtenbergfiguren) oder Haarverbrennungen am Körper vorkommen, ohne dass der Betroffene tödlich verletzt wird. Vorübergehend treten auch Lähmungen von Extremitäten, Sensibilitätsstörungen und nervöse Störungen auf. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle klingen diese klinischen Beschwerden jedoch mit der «Restitutio ad integrum» ab. Dagegen gibt es tödliche Blitzunfälle, bei denen der Tote keinerlei äussere Spuren der Blitzeinwirkung erkennen lässt.

2. Physikalische und physiologische Gegebenheiten bei Blitzeinwirkungen auf Menschen und Nutztiere

Schon früher wurde darauf hingewiesen [8], dass der Strom durch Mensch und Tier beim Blitzschlag wesentlich durch den Lichtbogenüberschlag bestimmt wird. Der aus der üblicherweise negativ geladenen Gewitterwolke herunterfahrende Blitz nähert sich während $\approx {}^{1}/_{100}$ s dem Körper, bis über die Fangentladung die Verbindung zum geladenen Blitzkanal entsteht. Der dabei fliessende Blitzstrom erreicht in weniger als einer Mikrosekunde bis zu einigen Mikrosekunden Anstiegszeit Scheitelwerte von vielen 1000 A. Ströme bis zu einigen 1000 A fliessen zunächst durch den Körper, bis der Spannungsabfall ausreicht, den Lichtbogenüberschlag einzuleiten. Damit bricht die Spannung am Körper auf die Lichtbogenspannung zusammen. Bei Hochstromlichtbögen beträgt die Feldstärke 10...15 V/cm und ist nahezu unabhängig von Stromstärke und Länge des Lichtbogens [9]. Bei einer Lichtbogenlänge von 2 m

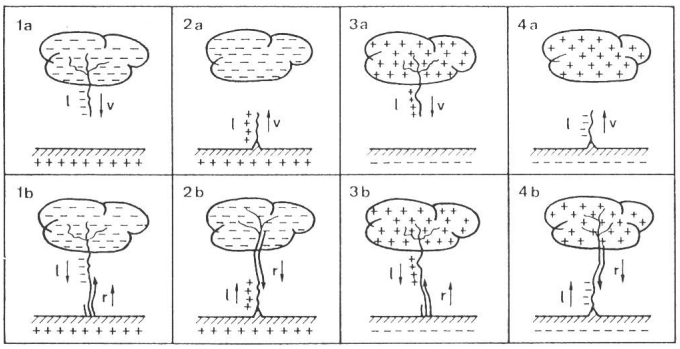

Fig. 2 Formen der Blitzentladung

1 Abwärtsblitz aus negativer Wolke
2 Aufwärtsblitz nach negativer Wolke
3 Abwärtsblitz aus positiver Wolke
4 Aufwärtsblitz nach positiver Wolke

l Leitblitz (leader)
r Hauptentladung (return stroke)
v Vorwachsgeschwindigkeit

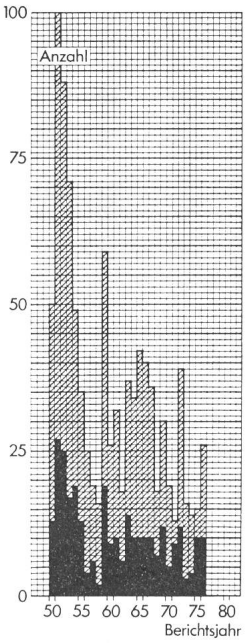

Fig. 3
Blitzunfallstatistik für Österreich von 1950 bis 1976
schraffiert: Gesamtzahl der Unfälle
schwarz: tödliche Unfälle

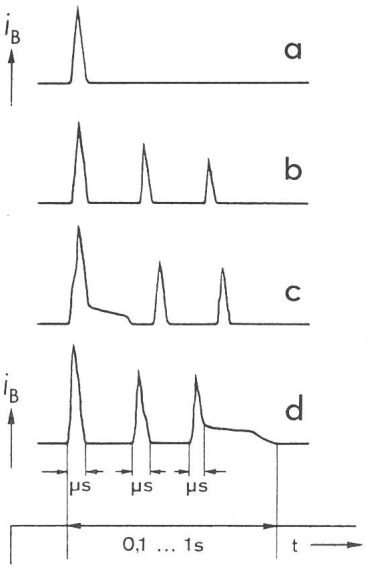

Fig. 4 Prinzipielle Darstellung des Stromverlaufes i_B von Abwärtsblitzen

a Einfacher negativer Abwärtsblitz (Teilblitz)

b Mehrfacher negativer Abwärtsblitz ohne langdauernde Komponente

c Mehrfacher negativer Abwärtsblitz mit langdauernder Komponente im ersten Teilblitz

d Mehrfacher negativer Abwärtsblitz mit langdauernder Komponente im letzten Teilblitz

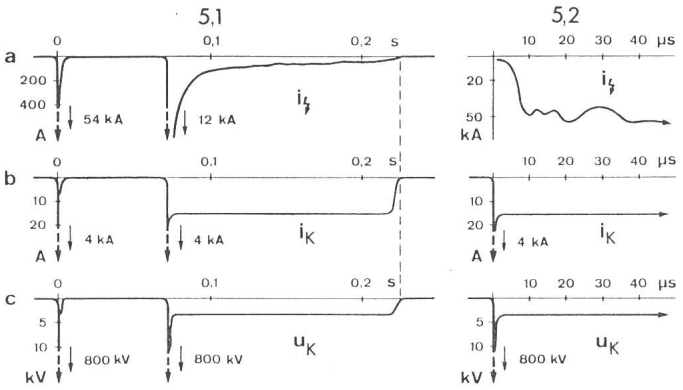

Fig. 5 Beispiel eines negativen Abwärtsblitzes mit zwei Teilblitzen

5.1 Gesamte Blitzdauer

a Blitzstromverlauf der zwei Teilblitze mit Impulsen von 54 und 12 kA [3b]

b Körperstrom i_K vor und nach dem Überschlag am Körper

c Körperspannung u_K vor und nach dem Überschlag am Körper

5.2 Detail des Impulses eines ersten Teilblitzes (54 kA)

Annahmen für die Berechnung von i_K und u_K:
Körperwiderstand Kopf/beide Füsse: 200 Ω
Körperlänge 1,6 m
Feldstärke im Überschlagslichtbogen 20 V/cm
Körperspannung nach Überschlag 3200 V
Körperstrom nach Überschlag 16 A

kann man also während der Dauer des Lichtbogens mit einer praktisch konstanten Spannung entlang des menschlichen Körpers von 2...3 kV rechnen. Damit ergibt sich bei einem Anfangswiderstand des menschlichen Körpers von etwa 200 Ω ein Rechteck-Stromimpuls durch den Körper, der eine praktisch konstante Amplitude in der Grössenordnung von etwa 10 A besitzt mit einer Impulsdauer, die der Dauer des Blitzstromes entspricht. Als Körperwiderstand wirkt der Anfangswiderstand [10]. Der angenommene Wert von 200 Ω für den Stromweg Rumpf – beide Beine dürfte realistisch sein, weil neuere Messungen gezeigt haben, dass die in [10] angegebenen Werte R_B um etwa 30 % zu hoch sind.

Betrachtet man, wie erwähnt, nur negative Abwärtsblitze, so kommen prinzipiell die in Fig. 4 dargestellten Kurven des Blitzstromverlaufes in Betracht. Fig. 5 zeigt Einzelheiten des Oszillogrammes eines negativen zweifachen Abwärtsblitzes mit langdauernder Komponente im zweiten Teilblitz. Auf Grund der vorhergehenden Überlegungen sind darunter die zu erwartende Körperspannung und der Körperstrom aufgezeichnet. Man erkennt also, dass ein Stromverlauf im menschlichen Körper zu erwarten ist, der aus unipolaren Gleichstromimpulsen besteht, die während der Brenndauer des Lichtbogens einen Scheitelwert in der Grössenordnung von 10 A haben.

Es ist nun zu untersuchen, welche physiologischen Wirkungen derartige Elektrisierungen auf Menschen und Nutztiere haben. Am besten bekannt sind die Wirkungen technischer Wechselströme 50...60 Hz, wobei, wie erwähnt, das Kammerflimmern als wesentliche Todesursache angesehen werden muss. Frühere Arbeiten, die für die Werte der Gefahrenschwellen des Herzkammerflimmerns Energiekriterien [11] oder Strommengenkriterien [12] anzuwenden versuchten, halten den Ergebnissen der Tierexperimente nicht stand [13; 14]. Aus diesen Tierversuchen kann geschlossen werden, dass das Kammerflimmern durch zwei verschiedene physiologische Mechanismen hervorgerufen wird. Bei Einwirkungsdauern unter einer Herzperiode tritt Flimmern nur in der sogenannten vulnerablen Periode bei Stromstärken in der Grössenordnung weniger Ampère auf. Bei Einwirkungsdauern, die länger sind als eine Herzperiode, entsteht Flimmern oft schon bei 0,1 A, gleichgültig in welchem Moment in Bezug auf den Herzschlag die Elektrisierung einsetzt. Der prinzipielle Verlauf der Flimmerschwelle ist in Fig. 6 gezeigt. In dieser Figur ist auch versuchsweise die Flimmerschwelle für Gleichstromimpulse eingezeichnet, wobei Impulsdauern von 0,1...4 s untersucht wurden [15]. Die Versuche wurden mit Hunden durchgeführt; Flimmern ist dabei nur bei Längsdurchströmungen entstanden, und es konnte eine gewisse Abhängigkeit von der Stromrichtung festgestellt werden.

Diese neuen Erkenntnisse über den Blitzstromverlauf ermöglichen eine Deutung der relativen Anzahl der tödlichen Blitz-

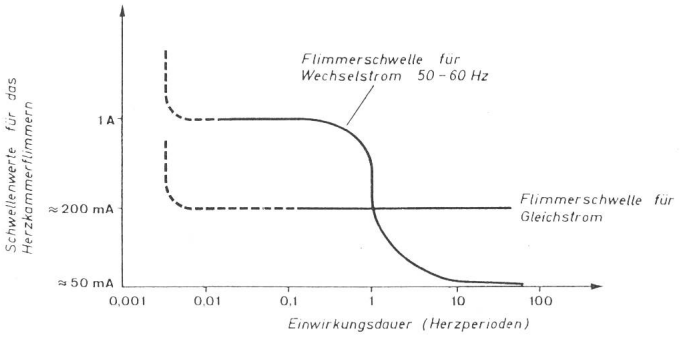

Fig. 6 Prinzipieller Verlauf der Schwellenwerte für das Auslösen von Herzkammerflimmern bei Wechselstrom 50...60 Hz und Gleichstrom, bei Längsdurchströmung

Häufigkeit der verschiedenen Formen von Abwärtsblitzen und Wahrscheinlichkeit von letalen Unfallfolgen Tabelle II

Gesamtzahl der Blitze	126 ≙ 100 %	Gefährdung *)	Tote
Blitzform Fig. 4a	82 ≙ 65 %	20 %	16
Blitzformen Fig 4b, c, d	44 ≙ 35 %	60 %	26
		Summe	42 ≙ 33 %

*) Als Gefährdung wird die Wahrscheinlichkeit verstanden, dass der betreffende Blitz eine Durchströmung des Herzens während mindestens eines Teils der vulnerablen Phase bewirkt.

unfälle. Wenn der Moment des Blitzschlages zufällig in die vulnerable Herzphase fällt, wird er praktisch immer Kammerflimmern auslösen und damit einen tödlichen Unfall verursachen. Wir kennen nun aus den Tierversuchen die Dauer der vulnerablen Periode einigermassen [14; 16]. Sie liegt wahrscheinlich zwischen 15 und 25 % der Gesamtdauer einer Herzperiode. Man muss aber bedenken, dass in der Unfallstatistik sicher auch tödliche Blitzunfälle erscheinen, die nicht durch Herzkammerflimmern verursacht worden sind, sondern z.B. durch schwere Gehirnverletzungen, die natürlich auch sekundär zur Zerstörung des Atemzentrums führen können, oder einfach durch mechanische Verletzungen infolge Sturzes. Im Mittel wird daher der Prozentsatz der tödlichen Blitzunfälle sicher noch etwas höher sein als die Dauer der vulnerablen Herzphase verglichen mit der Gesamtdauer der Herzperiode. Bei diesen Überlegungen muss man ferner auch berücksichtigen, dass häufig Mehrfachentladungen auftreten (Fig. 4), wodurch die Wahrscheinlichkeit, dass eine Entladung in die vulnerable Phase fällt, vergrössert wird.

Im nachfolgenden sei versucht, dafür eine Wahrscheinlichkeitsüberlegung durchzuführen. Unter der Annahme einer vulnerablen Phase von 20 % der Herzperiode würden sich für die 126 Abwärtsblitze der Messperiode 1963...1971 am San Salvatore [3] die in Tab. II aufgeführten Verhältnisse ergeben. Die Gefährdung von 60 % bei den Blitzformen nach Fig. 4b, c, d ergibt sich durch die drei Einzelentladungen, die, jede für sich, in die vulnerable Phase fallen können und dann zum Flimmern führen würden. Teilentladungen mit oder ohne langdauernde Komponente werden bei Körperströmen mit Scheitelwerten über etwa 10 A als für das Auslösen von Herzkammerflimmern gleich gefährlich erachtet.

Die eingangs erwähnten Erfahrungen der Unfallstatistik, wonach etwas mehr als 30 % aller Blitzunfälle tödlich ausgehen, findet jedenfalls mit diesen Überlegungen eine einfache und natürliche Erklärung.

3. Tierversuche

Es war wesentlich, durch Tierversuche zu beweisen, dass Impulsströme im Mikrosekundenbereich Kammerflimmern auslösen können. Diese Versuche wurden mit Unterstützung des österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführt und haben wesentliche Erkenntnisse gebracht [17; 18]. Zur Nachbildung des Blitzes wurde ein Blitzstoßspannungsgenerator mit 500 kV Summenladespannung verwendet. Die gespeicherte Ladung betrug 0,6 C bei einer Energie von 150 kWs. Die Schaltung des Stromkreises ist in Fig. 7 dargestellt.

Die Spannungsbeanspruchung bestand aus einer Stosswelle mit einer Stirnzeit von 1 µs, die kurz nach dem Erreichen des Scheitels (450 kV) zum Durchschlag der Entladungsstrecke führte. Die darauf einsetzende Stromstosswelle hatte die Form einer stark gedämpften Sinusschwingung mit einer Anstiegszeit von 7 µs und einer Rückenhalbwertszeit von 13,5 µs. Fig. 8 zeigt den Stromverlauf des experimentellen Blitzes.

Die Spannung an der Entladungsstrecke wurde mit einem gedämpft kapazitiven Spannungsteiler gemessen und die Stromwelle über einen induktionsarmen Shunt von 16 m Ω mit einem Oszillographen aufgezeichnet. Als Entladungsstrecke fand eine Spitze–Platte–Funkenstrecke Verwendung. Das Versuchstier wurde auf die geerdete Elektrode (Messingplatte 15 × 15 cm) gelegt, wobei der Abstand der Elektroden 50 cm betrug. Der Zeitpunkt der Stossentladung war nicht mit einer bestimmten Herzphase synchronisiert.

Aus einer Serie von photographischen Aufnahmen, die zur Darstellung des heissen inneren Kernes des Entladungskanals mit starken Filtern gemacht wurden, hat sich bestätigt, dass die Entladung in Form eines Lichtbogenüberschlages um den Tierkörper herum erfolgt. Mit einer Lichtbogenlänge von 0,5 m ergibt sich eine Bogenspannung in der Grössenordnung von 1 kV. Der Körperanfangswiderstand des Versuchstieres lag sicher unter 50 Ω. Es entstanden zwei Rechteckimpulse von abwechselnder Polarität mit einem Scheitelwert in der Grössenordnung von 10 A und einer Impulsdauer von etwa 25 µs als Körperstrom. Abweichend vom natürlichen Blitzunfall war also der Umstand, dass es sich nicht um unipolare Stromreize gehandelt hat und dass die Versuchstiere querdurchströmt wurden.

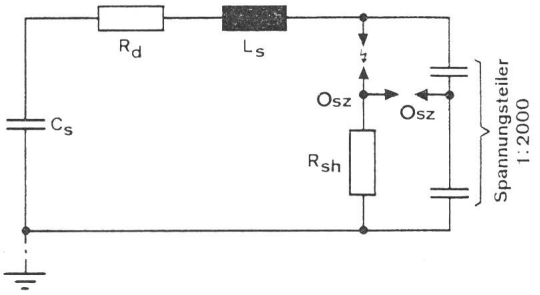

Fig. 7 Schaltbild des Blitzstoßspannungsgenerators
$C_s = 1{,}2\ \mu F$, $R_d = 5\ \Omega$, $L_s = 30\ \mu H$, $R_{sh} = 16\ m\Omega$,
Osz Oszillograph

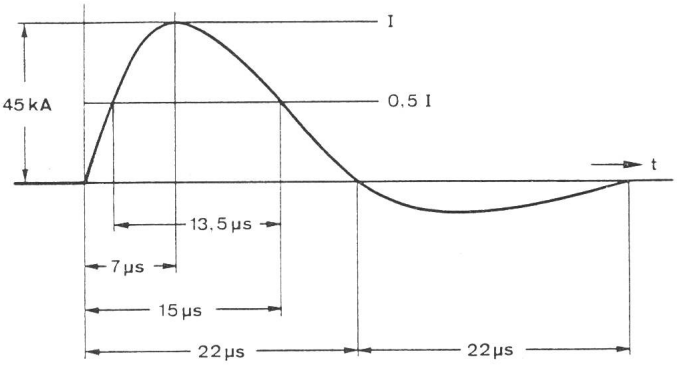

Fig. 8 Stromverlauf des experimentellen Blitzes

Die Untersuchungen wurden an 23 Schweinen und an einem Hund durchgeführt. Vor dem Blitz wurden die EKG-Ableitungen und die Druckkurven im Ventrikel registriert sowie Blutproben für chemische Analysen entnommen und die neuromuskuläre Erregbarkeit überprüft. 20 s nach dem Blitzschlag wurde wieder ein EKG aufgenommen; anschliessend wurden alle Massnahmen der Voruntersuchung periodisch wiederholt und klinische Besonderheiten notiert oder aufgenommen. Die überlebenden Tiere wurden am dritten Tag getötet und obduziert.

Die medizinisch interessanten Ergebnisse der Versuche sind in [17] ausführlich besprochen. Hier soll besonders hervorgehoben werden, dass von den 23 Schweinen sieben unmittelbar nach dem Blitz verendeten; zwei weitere Tiere starben innerhalb der ersten Stunde. Bei sieben Tieren trat Herzkammerflimmern auf und in zwei Fällen Asystolie. Auch dieses Ergebnis passt gut in die eingangs erwähnten Erfahrungen der Statistik. Auch die übrigen Versuchsergebnisse ergaben überraschende Ähnlichkeiten, wenn sie mit den Fallberichten von Patienten nach Blitzunfällen verglichen wurden.

4. Tierunfälle

In den vorhergehenden Abschnitten wurden Elektrisierungen besprochen, die auftreten, wenn der Blitz direkt in Personen oder Tiere einschlägt. Es gibt aber auch Blitzunfälle, insbesondere bei Nutztieren, die durch Schrittspannungen entstehen, wobei die Spannungsunterschiede im Boden durch den Spannungsabfall verursacht werden, der sich aus dem Blitzstromverlauf und dem Erdungswiderstand ergibt. An Hand eines Unfalls, der technisch genau untersucht wurde, soll auf die Elektrisierungen geschlossen werden, die in derartigen Fällen durch Blitzschläge auftreten können.

Im Sommer 1975 verendete während eines Gewitters im Stall eines oberösterreichischen Anwesens ein Rind nach einem Blitzschlag. Unmittelbar nach dem Blitzschlag wurde ein kurzes Aufbrüllen der im Stall befindlichen Rinder vernommen. Fünf Tiere standen dabei auf der in Fig. 9 schraffiert gezeichneten Fläche, eines auf der gegenüberliegenden Seite. Danach fand man ein Rind von den fünf Tieren der schraffierten Standfläche leblos am Boden, während die übrigen Tiere unter starker Schockeinwirkung standen. Außerdem wurde ein teilweiser Lichtausfall festgestellt. Dieser war durch das Ansprechen eines Leitungsschutzschalters bei einem Lichtstromkreis entstanden, während der ebenfalls in der Anlage vorhandene Fehlerstromschutzschalter mit einem Nennwert des Auslösefehlerstromes von 600 mA nicht ausgelöst hatte.

Das Anwesen wird über einen Dachständer und eine Niederspannungsfreileitung mit Strom versorgt und ist durch eine Blitzschutzanlage gegen atmosphärische Überspannungen geschützt. Im Rinderstall ist eine Selbstränkanlage vorhanden, die von einer in Kunststoffrohren verlegten Ortswasserleitung gespeist wird (Fig. 9).

Zur Klarstellung des technischen Sachverhaltes wurden eine Reihe von Messungen ausgeführt. Die Messung des Erdungswiderstandes mittels einer Erdungsmessbrücke ergab einen Widerstand von ca. 4 Ω. Danach wurde der Blitzschutzerder entsprechend Fig. 10 über einen Regeltransformator mit Strom beaufschlagt.

Bei einer Stromstärke von 8,1 A erreichte die Erderspannung einen Wert von 30 V, was einen Erdungswiderstand von 3,7 Ω ergibt. Bekanntlich finden sich infolge der Stromabhängigkeit der Erdungswiderstände oft Unterschiede zwischen Erdungsmessungen mit einer Erdungsmessbrücke und Stromspannungsmessungen (bei 60 V und 19,1 A betrug der gemessene Wert nur 3,15 Ω). Gleichzeitig wurde die Spannung der im Stall befindlichen Aufstallung, auf der die Selbstränkanlage montiert ist, gegen den Blitzschutzerder zu 10,4 V bestimmt.

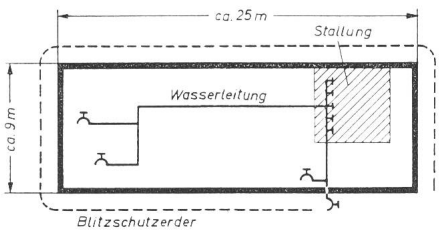

Fig. 9 Grundriss des Unfallortes

Da die Gefährdung der Tiere zweifellos durch einen Stromfluss Vorderbeine – Hinterbeine oder von der Aufstallung zu den vier Beinen zustande gekommen ist, wurde auch die Berührungsspannung zwischen der Aufstallung und den Hinterbeinen bestimmt. Zu diesem Zweck wurde der Innenwiderstand des Voltmeters durch Parallelschaltung eines Widerstandes auf 300 Ω herabgesetzt, etwa den Wert, der für ein Rind als gültig angesehen werden kann, und der Standortwiderstand der Hinterbeine wurde durch eine quadratische Messelektrode 250 × 250 × 2 mm nachgebildet. Danach wurde die Erderspannung auf 60 V erhöht. Dabei wurde auf der Standfläche der Tiere zwischen Aufstallung und den Hinterbeinen eine Berührungsspannung von 0,5 V gemessen (Fig. 11).

Nimmt man für eine überschlägige Berechnung an, dass der Stoßstrom die Form des «mittleren Normalblitzes» gehabt hat [19], dann ergibt sich bei 50 kA Scheitelwert der Maximalwert

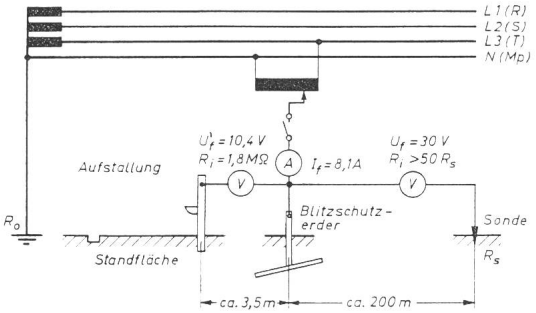

Fig. 10 Messung der Fehlerspannung der Aufstallung gegen den Blitzschutzerder für eine Erderspannung von 30 V

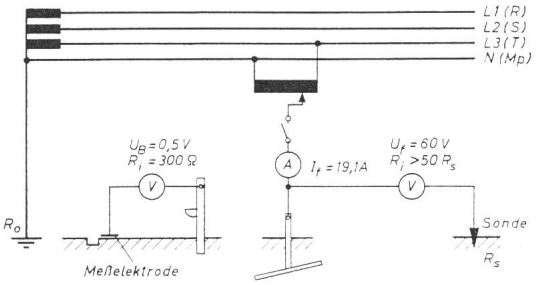

Fig. 11 Messung der Berührungsspannung der Aufstallung gegen die Standfläche der Hinterbeine der Rinder Messelektrode 250 × 250 × 2 mm

der Erderspannung des Blitzschutzerders zu ca. 150 kV. Ganz grob gesprochen, kann man den Impuls mit einer verzerrten Sinushalbwelle mit einer Frequenz von 5 kHz vergleichen (Periodendauer 0,2 ms). Man sieht also, dass es sich um eine sehr kurzzeitige Entladung handelt. Der Scheitelwert der Berührungsspannung an den Tieren hat dabei etwa 1 % der Fehlerspannung betragen, also 1500 V. Damit kann man den Scheitelwert des Körperstromes zwischen 5 und 15 Ampère schätzen (Körperwiderstand ca. 100...300 Ω). Für jenes Tier, dessen Herz sich gerade in der vulnerablen Phase befunden hat, könnte sich also Herzkammerflimmern ausgebildet haben. Betriebsfrequente Wechselströme nennenswerter Grösse können gegen Erde nicht geflossen sein, denn sonst hätte der Fehlerstromschutzschalter angesprochen.

5. Zusammenfassung

Auf Grund der physiologischen Gegebenheiten war zu vermuten, dass entsprechend starke Stromimpulse in der vulnerablen Herzphase Kammerflimmern hervorrufen können, auch wenn die Impulsdauer nur Millisekunden oder sogar Bruchteile davon beträgt. Derartige Impulse treten bei Elektrisierungen durch Blitzschläge auf.

Die Statistik der Blitzunfälle zeigt regelmässig, dass etwa 30 % der vom Blitz getroffenen Personen sterben. Dieser Prozentsatz kann durch die Wahrscheinlichkeit, dass Blitzströme die vulnerable Herzphase treffen, erklärt werden.

Die näheren Untersuchungen der physikalischen Vorgänge beim Blitzeinschlag in Menschen und Tiere zeigt, dass es sich dabei um unipolare Impulse handeln muss, die bei den üblichen Abwärtsblitzen im Flachland nach einer sehr kurzen Anfangsspitze einen Scheitelwert in der Grössenordnung von 10 A haben. Die Stromdauer kann Bruchteile von Millisekunden bis zu Zehntelsekunden betragen. Durch Tierversuche konnte gezeigt werden, dass das Auftreten von Herzkammerflimmern durch Stossentladungen möglich ist, wobei die Versuchsbedingungen allerdings etwas von den natürlichen Verhältnissen beim Blitzschlag abgewichen sind. Die technische Untersuchung eines Tierunfalles durch Schrittspannungen bei einem Blitzeinschlag in ein Bauernhaus führte ebenfalls zu dem Ergebnis, dass ein Stromimpuls mit einem Scheitelwert zwischen 5 und 15 A den Tod eines Tieres – zweifellos einen Herztod – verursacht hat.

Die vorerwähnten Erfahrungen machen es wahrscheinlich, dass die überwiegende Zahl der tödlichen Blitzunfälle durch Herzkammerflimmern verursacht wird. Dieser Effekt tritt auf, wenn der Zeitpunkt des Unfalls so unglücklich war, dass die Person oder das Tier gerade dann vom Blitz getroffen wurde, als sich das Herz in der vulnerablen Phase befand. Die Flimmerschwellen für Impulse mit weniger als 10 ms Dauer sind derzeit noch nicht erforscht. Im Bereich von einer halben Herzperiode bis herab zu 10 ms scheint die Flimmerschwelle bei Längsdurchströmung mit technischem Wechselstrom 50...60 Hz ziemlich konstant bei 1...2 A zu liegen. Die beim Abwärtsblitz auftretenden Körperströme in der Grössenordnung von 10 A könnten also vom physiologischen Standpunkt aus durchaus in der Lage sein, Herzkammerflimmern auszulösen.

Literatur

[1] *F. Fraunberger:* Elektrizität im Barock. Köln, Aulis-Verlag, o. Jahr.

[2] *J. Priestley:* Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektrizität nebst eigenthümlichen Versuchen. Berlin und Stralsund, Verlag Gottlieb August Lange, 1772.

[3a] *K. Berger:* Oszillographische Messungen des Feldverlaufs in der Nähe des Blitzeinschlags auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 64(1973)3, S. 120 bis 136.

[3b] *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] *R.H. Golde:* Lightning. 2 Volumes. London/New York/San Francisco, Academic Press, 1977.

[5] *R.H. Golde* and *W.R. Lee:* Death by lightning. Proc. IEE 123(1976)10R, p. 1163...1180.

[6] *J. Iranyi* u.a.: Das Blitztrauma in neuer Sicht. Münchener Medizinische Wochenschrift 104(1962)33, S. 1496...1500.

[7] *K. Alvensleben:* Stand der Forschung über die Wirkung industrieller Ströme auf lebenswichtige Organe. ETZ 62(1941)33, S. 706...709.

[8] *K. Berger:* Zum Problem des Personenblitzschutzes. Bull. SEV 62(1971)18, S. 397...399.

[9] *R. Rüdenberg:* Elektrische Schaltvorgänge in geschlossenen Stromkreisen von Starkstromanlagen. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1953.

[10] *G. Biegelmeier:* Über die Wirkungen des elektrischen Stromes auf den Menschen. E und M 94(1977)3, S. 107...118.

[11] *C.F. Dalziel:* Threshold 60-cycle fibrillating currents. AIEE Trans. Power Apparatus and Systems 79(1960)4, p. 667...673.

[12] *P. Ossypka:* Messtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier, Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen. Elektromedizin 8(1963)3, S. 153...179 + Nr. 4, 193...214.

[13] *G. Biegelmeier:* Die Bedeutung der Z-Schwelle des Herzkammerflimmerns für die Festlegung von Berührungsspannungsgrenzen bei den Schutzmassnahmen gegen elektrische Unfälle. E und M 93(1976)1, S. 1...8.

[14] *K. Reinhold* u.a.: Die Gefährdung durch schwingungspaketartig gesteuerte elektrische Ströme. Medizinisch-technischer Bericht. Köln, Institut zur Erforschung elektrischer Unfälle, 1976.

[15] *O. Wilcke* und *H. Broghammer:* Die Wirkung des Gleichstromes auf das Herz bei Spannungen bis 600 Volt. Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin 126(1956)6, S. 511...525.

[16] *W.B. Kouwenhoven* a.o.: A-c shocks of varying parameters affecting the heart. Trans AIEE Communications and Electronics 68(1959)2, p. 163...169.

[17] *H. Karobath:* Der Blitzunfall. Baden-Baden, Verlag Gerhard Witzstrock, 1975.

[18] *H. Karobath* u.a.: Der Einfluss des experimentellen Blitzschlages auf das Versuchstier Schwein. Erste Mitteilung. Symposium Biomedizinische Technik in Österreich, Graz, 20. und 21. Juni 1975.

[19] Blitzschutz und allgemeine Blitzschutz-Bestimmungen. 8. Auflage. Berlin, VDE-Verlag, 1968.

Adressen der Autoren

Prof. Dr. *Karl Berger*, Gstadstrasse 31, CH-8702 Zollikon;
Dr. *Gottfried Biegelmeier*, Heiligenstätterstrasse 187, A-Wien XIX;
Univ.-Doz. Dr. *Harald Karobath*, Einsiedeleigasse 16, A-1130 Wien.