

WIRTSCHAFTLICHER BLITZSCHUTZ VON BAUWERKEN AUF GRUND DER WAHRSCHEINLICHKEITSTHEORIE

Von

T. HORVÁTH

Lehrstuhl für Hochspannungstechnik und Elektrische Apparate, Technische Universität,
Budapest

Vorgelegt von Prof. Dr. J. EISLER

(Eingegangen am 23. Februar 1967)

Die Beobachtungen der Blitzschäden an Bauwerken und Freileitungen beweisen, daß vom Blitz selbst für völlig geschützt gehaltene Objekte getroffen werden können [2, 6, 12, 13]. Diese Beobachtungen führten dazu, daß nur die von einem Faradayschen Käfig umgebenen Gebäude als entsprechend geschützt betrachtet werden können. Diese Blitzschutzmethode ist aber bei der Mehrzahl der Gebäude zu teuer, weshalb man Bestrebungen beobachten kann, bei einfacheren Gebäuden keine Blitzschutzanlage zu errichten. Eher sucht man nach Gründen [5], bei einzelnen Bauwerken die Blitzschutzanlage überhaupt wegzulassen. Eine andere Lösung des Problems bestände darin, jedes Gebäude mit Blitzschutz zu versehen, die Baukosten der Anlagen jedoch zu verringern. Die polnischen Forscher sind bei der Ausarbeitung einer leichten Blitzschutzanlage von diesem letzteren Gesichtspunkt ausgegangen.

In der vorliegenden Arbeit soll der wirtschaftliche, auch in großem Umfang anwendbare Schutz einfacher, keine besonderen Ansprüche stellender Gebäude behandelt werden. Natürlich kann ein billiger Blitzschutz auf solchen Bauwerken nicht den Anspruch erheben, einen vollen Schutz zu gewähren. Zwischen der Gefahr, daß die zu schützenden Teile eines Bauwerks vom Blitz getroffen werden, einerseits und den Baukosten der Blitzschutzanlagen andererseits, kann ein Zusammenhang nach *Abb. 1* angenommen werden. Dieses Diagramm zeigt, daß die Gefahr eines Blitzschlages schon durch die einfachste und billigste Blitzschutzanlage wesentlich verringert wird, wobei freilich die noch bestehende Gefährdung keineswegs auf ein vernachlässigbar kleines Maß sinkt. Die Verminderung der Blitzgefährdung verlangsamt sich aber mit wachsenden Kosten der Blitzschutzanlage immer mehr. Die Erfahrung zeigt, daß eine völlige Abwendung der Blitzgefahr auf den Wert Null selbst bei höchstem Kostenaufwand nicht mit Sicherheit erreicht werden kann.

Nun sollen zwei Blitzschutzanlagen, der Faradaysche Käfig und die am höchsten Punkt des Gebäudes angebrachte Auffangstange, auf ihre Schutzwirkung hin miteinander verglichen werden. Erfahrungsgemäß bietet die Auffangstange keinen hundertprozentigen Schutz des Daches vor unmittelbaren Einschlägen [12]. Andererseits kann erreicht werden, daß die Stange und ihre

Ableitung nirgends nahe an einzelne in größerer Entfernung geerdete Metallobjekte (z. B. elektrische Leitungen) im Gebäude zu stehen kommt. Die Gefahr einer Sekundärentladung ist also praktisch gleich Null. Der Faradaysche Käfig schützt das Dach vor unmittelbaren Einschlägen besser, doch ist eine Verlegung, die wegen ihrer Nähe zu Metallbauteilen Sekundärentladungen hervorrufen könnte, nicht zu vermeiden. Eben wegen der Gefahr der Sekundärentladung muß der Faradaysche Käfig einen niedrigeren Erdungswiderstand haben als eine einfache Fangstange, seine Kosten liegen also auch deshalb

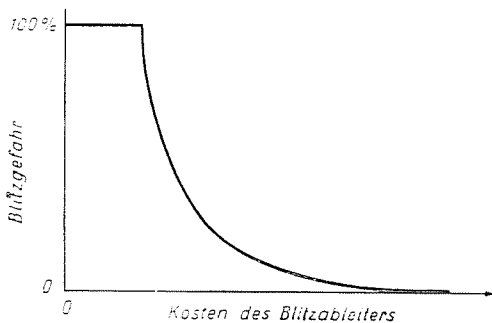


Abb. 1

höher. Die Kosten eines käfigartigen Blitzschutzes können nur durch Verringerung der Leiterquerschnitte herabgesetzt werden. Die polnischen Forscher haben diesen Weg gewählt [14], doch gebietet diese Lösung wegen der Korrosionsgefahr eine gewisse Vorsicht. Letzten Endes zeigt der Vergleich der Auffangstange mit dem Käfig, daß die bei der Stange verbleibende höhere Einschlagsgefahr den höheren Kosten und der erhöhten Gefahr einer Sekundärentladung beim Käfig gegenübersteht.

Um dieses Bild reell beurteilen zu können, muß die bei der Auffangstange noch vorhandene Einschlagsgefahr näher untersucht werden. Eine Handhabe hierzu bietet die Wahrscheinlichkeitstheorie; die Grundlagen für derartige Untersuchungen wurden auf der Konferenz in Arnheim dargestellt [7, 8]. Mit den Mitteln der mathematischen Statistik gibt diese Methode an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die zu schützenden Objekte in einem Gebiet mit der bekannten Blitzdichte von »B« Blitzen je km² jährlich vom Blitz getroffen werden.

Um die theoretische Untersuchung konkreter zu gestalten, soll hier das Familienhaus mit Zeltdach, gemäß Abb. 2 betrachtet werden, da derartige Bauwerke in Ungarn, hauptsächlich in der Provinz, sehr häufig sind. Diese Häuser sind im Grundriß quadratisch. Am höchsten Punkt des Daches ist eine 2 m hohe Auffangstange angebracht und durch einen Ableiter mit der Erdung verbunden. Zum Zweck der analytischen Untersuchung soll das vier-

eckige Gebäude durch einen runden Bau gemäß *Abb. 3* ersetzt werden. Durch diese Idealisierung verschieben sich die Größenordnungen nicht, sie soll vielmehr lediglich die Bestimmung der Größenordnungen ermöglichen.

Wenn davon abgesehen wird, daß das Dach aus nichtleitendem, die Auffangstange dagegen aus leitendem Material ist und daß der Einschlagspunkt auch von der Polarität des Blitzes abhängt, dann kann davon ausgegangen werden, daß der Blitz vom kritischen Punkt aus auf den nächsten

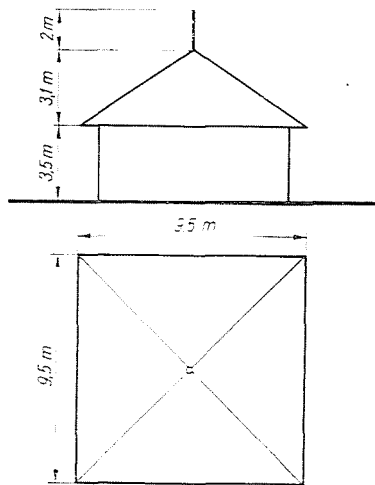


Abb. 2

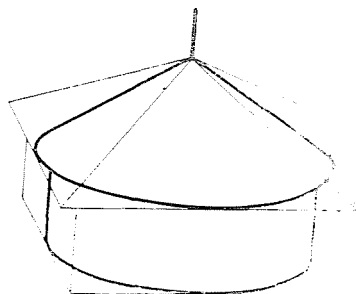


Abb. 3

geerdeten Punkt überzuschlagen sucht. Der kritische Punkt ist jener, an dem sich der Kopf der Vorentladung in dem Moment befindet, in dem aus der Erde die Fangentladung losgeht, der Punkt also, der den Einschlagspunkt bestimmt. Nach diesem Prinzip werden jene Blitze, deren kritischer Punkt in dem in *Abb. 4a* dargestellten drehsymmetrischen Raum liegt, einen Teil des Gebäudes treffen. Befindet sich auf diesem kein Blitzableiter, dann ist dieser Raumteil charakteristisch für die Einschläge, die das Gebäude gefährden. Ist ein Blitzableiter vorhanden, dann bezieht sich dies auf die Summe der Einschläge, die das Gebäude und den Blitzableiter erreichen. Ist im höchsten Punkt des Daches eine Auffangstange angebracht, werden nur jene Einschläge gefährlich, die das Dach erreichen. Aus dem Raumteil der *Abb. 4a* fällt also jener Teil aus, der näher an der Auffangstange liegt als am Dach. In diesem Fall wird der in der *Abb. 4b* schraffierte drehsymmetrische Teilraum für die Einschlagsgefahr charakteristisch. Schon eine einfache Betrachtung der Einzugsräume in *Abb. 4* läßt erkennen, daß sich der sonst prinzipiell unendliche Einzugsraum unter dem Einfluß der Blitzableiters auf endliche

Abmessungen verringert, womit auch die Einschlagsgefahr wesentlich kleiner wird. Auf Grund der Wahrscheinlichkeitstheorie sind aber die verschiedenen Teile des Einzugsraumes hinsichtlich der Einschlagsgefahr unterschiedlich zu bewerten.

Nach der von *Golde* entwickelten Theorie [3, 4] hängt die Entfernung zwischen kritischem Punkt und Einschlagsstelle vom Spitzenwert des Blitzstromes ab. Die Summenhäufigkeit des Blitzstromes ist genügend bekannt, [1, 2, 11] aus ihr kann also auch die Summenhäufigkeitskurve der kritischen

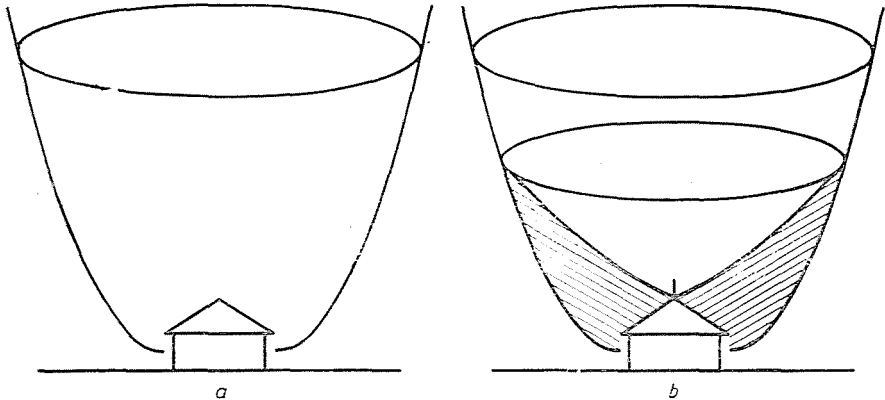


Abb. 4

Entfernungen bestimmt werden, wie dies aus dem in *Abb. 5* an die Spitze der Auffangstange aufgetragenen Diagramm ersichtlich ist. Die in diesem Bild angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf Gebiete mit einer Blitzdichte von 1 Blitz/km² pro Jahr. Den einzelnen Teilen des Einzugsraumes sind die im Diagramm der *Abb. 5* angegebenen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. Ihre Maßeinheit ist Einschlag/m³, sie bringen also zum Ausdruck, mit welcher Wahrscheinlichkeit jährlich aus 1 m³ des ringförmigen Teilraumes ein Blitz das Dach erreichen kann. Die Einschlagsgefahr ist um so größer, je ausgedehnter jener Teil des Einzugsraumes ist, in dem der Wert »Einschlag/m³« hoch ist. Die das ganze Gebäude betreffende Gefahr ergibt sich durch die Summierung der Wahrscheinlichkeiten für den ganzen Einzugsraum, oder genauer ausgedrückt, durch Bildung des Volumenintegrals der Verteilungsfunktion für den Einzugsraum.

Im Fall der *Abb. 4a*, also bei einem Bauwerk ohne Blitzableiter liegt die Einschlagswahrscheinlichkeit bei 10⁻⁴ Einschlägen/Jahr. Im Fall der *Abb. 4b* wird dieser Wert durch den Blitzableiter auf 10⁻⁶ Einschlägen/Jahr reduziert. Die einfache Auffangstange ist also bei einem so kleinen Gebäude geeignet, die Einschlagsgefahr auf 1% des ursprünglichen Wertes zu reduzieren. In

Wirklichkeit liegen jedoch die Verhältnisse noch günstiger, da das Dach nicht aus Metall ist und daher die Blitze weniger anzieht, als in Betracht gezogen.

Der Faradaysche Käfig hat keine Fangstange auf dem höchsten Punkt, sondern Fangleiter an den vier Kanten des Daches. Der Einzugsraum verändert sich hierdurch gegenüber der in *Abb. 4b* dargestellten Weise, daß derjenige Raum, der wegen der Fangstange ausfallen würde, enger wird.

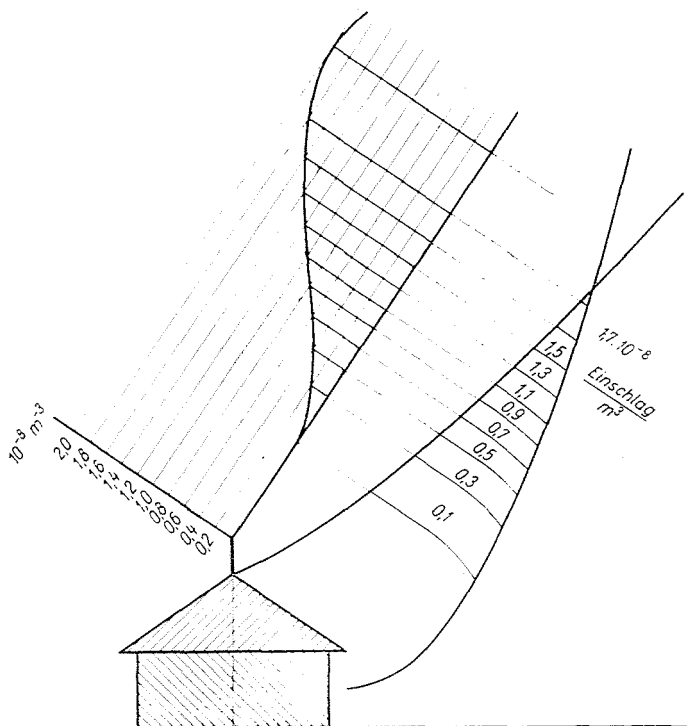


Abb. 5

Demgegenüber schneiden die vier Fangleiter symmetrisch je einen Teil aus dem schraffierten Einzugsraum aus. Durch diese etwas komplizierten Teilräume verringert sich die Einschlagsgefahr auf 10^{-7} Einschläge/Jahr, also auf $1/10$ derjenigen bei der einfachen Fangstange.

Aus der Untersuchung der Wahrscheinlichkeit eines Einschlages können nunmehr die folgenden Folgerungen gezogen werden. Ohne Blitzableiter ist die Gefahr ziemlich groß, da der Wert von 10^{-4} Einschlägen/Jahr nicht als klein betrachtet werden kann. Eine einfache Fangstange vermindert diese Gefahr auf 1% des ursprünglichen Wertes. Mit einfachen Mitteln und relativ niedrigen Kosten kann also die Gefahr erheblich herabgesetzt werden. Da der Blitzableiter nur aus einigen Bestandteilen besteht, brauchen die Abmessungen

der Leiter nicht stark vermindert zu werden, so daß die Korrosionsgefahr auf ein vernachlässigbares Maß sinkt. Die Wahrscheinlichkeit einer Sekundärentladung ist gleichfalls klein. Eine käfigartige Anlage vermindert die ohne Blitzableiter bestehende ursprüngliche Gefahr auf etwa 0,1%. Die Gefahr von Sekundärentladungen kann aber hierbei nicht ganz abgewendet, sondern nur durch bessere Erdung herabgesetzt werden. Die Kosten lassen sich nur durch Verminderung der Querschnitte senken.

Die obigen Darlegungen zeigen, daß die Auffangstange, deren Schutzwirkung auf Grund der Beobachtungen stark unterschätzt wurde, eigentlich mehr Aufmerksamkeit verdient. Es lohnt sich, Vergleiche zwischen Auffangstange und Faradayschem Käfig anzustellen. Bei einfachen Bauwerken erscheint es vorteilhafter, das Käfigsystem aufzugeben, als die Abmessungen der Leiter zu radikal zu vermindern.

Die Gefahr von Sekundärentladungen kann an jenen Stellen, an denen eine gute Erdung Schwierigkeiten verursacht, ausschlaggebend werden. Da es in den meisten Gebäuden auch eine Leitung gibt, die in einem entfernten Punkt geerdet ist, kann die Vermeidung einer Sekundärentladung an solchen Bauwerken eine vordringlichere Aufgabe darstellen, als die Vermeidung eines unmittelbaren Einschlages. Eine Sekundärentladung läßt sich am besten durch einen vom Gebäude unabhängigen Blitzableiter abwenden. Vom Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit her können also auch jene Blitzableiter eine Rolle spielen, deren Auffangelement ein Mast in der Nähe des Gebäudes oder ein Leiter ist, der zur Spitze eines hohen Baumes geführt wird. An den Erdungswiderstand solcher Anlagen werden bei weitem nicht so strenge Forderungen gestellt wie an den Erdungswiderstand eines käfigartigen Blitzschutzes, der auf dem Gebäude selbst angebracht ist.

Zusammenfassung

Die Wahrscheinlichkeit eines direkten Blitzschlages kann mit der Hilfe eines einfachen Blitzableiters auf etwa 1% des ursprünglichen Wertes vermindert werden, während eine kostspielige Schutzeinrichtung die Gefahr nur sehr langsam weiter herabsetzt. Bei kleinen, hauptsächlich landwirtschaftlichen Gebäuden ist es also wirtschaftlicher, statt eines Faradayschen Käfigs, eine einfache Fangstange zu verwenden. Bei käfigartigem Blitzableitern droht eine größere Gefahr aus den sekundären Überschlügen innerhalb des Bauwerks wegen der unvermeidlichen nahen Anordnung neben Metallobjekten.

Literatur

1. BAATZ, H.: Überspannungen in Energieversorgungsnetzen. Springer, Berlin, 1956.
2. BERGER, K.: Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947–1954 auf dem Monte San Salvatore. Bull. des SEV. 46, 405–424 (1955).
3. GOLDE, R. H.: The Frequency of Occurrence and Distribution of Lightning Flashes to Transmission Lines. Trans. AIEE. 64, 902–910 (1945).
4. GOLDE, R. H.: Theoretische Betrachtungen über den Schutz von Blitzableitern. ETZ-A 82, 273–277 (1961).

5. GOLDE, R. H.: Notwendigkeit des Blitzschutzes. Generalreferat an der 8. Int. Blitzschutz Konf. Kraków, 1965.
6. GROSSPETSCH, G.: Über die Theorien des Schutzraums von Blitzableiteranlagen. Deutsche El. Techn. **12**, 450—451 (1958).
7. HORVÁTH, T.: Eine neue Methode zur theoretischen Ermittlung der Wahrscheinlichkeit von Blitzeinschlägen sowie des Schutzeffektes. 7. Int. Blitzschutz Konf. Arnhem, 1963.
8. HORVÁTH, T.: Eine neue Methode zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit von Blitzeinschlägen. Elektrie **17**, 216—220 (1963).
9. MÜLLER-HILLEBRAND, D.: Rückwärtiger Blitzeinschlag in Häuser und Energieumsatz im eingeeengten Blitzkanal. ETZ-A **78**, 548—553 (1957).
10. MÜLLER-HILLEBRAND, D.: Über die Beanspruchung und Bemessung von Blitzschutzanlagen. EuM **77**, 345—349 (1960).
11. MÜLLER-HILLEBRAND, D.: Zur Physik der Blitzenladung. ETZ-A **82**, 232—249 (1961).
12. MÜLLER-HILLEBRAND, D.: The Protection of Houses by Lightning Conductors — A Historical Review. Journ. Franklin Inst. **274**, 34—54 (1962).
13. SCHWENKHAGEN, H. F.: Neuere Erkenntnisse über den Gebäudeblitzschutz. ETZ **73**, 63—68 (1952).
14. SZPOR, S.: Paratonnerres ruraux de type léger. Revue Gén. de l'Électricité. **68**, 263—270 (1959).

Dr. Tibor HORVÁTH, Budapest, XI., Egly József-u. 18. Ungarn.