

Das Grundprinzip des Blitzschutzes¹⁾

Von K. Berger, Zürich

An der 10. Internationalen Blitzschutz-Konferenz wurde eine Reihe von Referaten vorgetragen, die sich alle mit den Erdungswiderständen oder Erdungsimpedanzen befassen, so dass man den Eindruck erhielt, mit kleinen Erdungswiderständen sei das Blitzschutzproblem für Gebäude irgendwelcher Art gelöst. Es schien daher nötig, das Grundproblem des Blitzschutzes im gesamten zu betrachten. Diesem Zweck dienen die folgenden einfachen Überlegungen:

Der Zweck des Blitzschutzes lässt sich wie folgt umschreiben:

1. Schutz von Personen und Sachen *im* Gebäude, das vom Blitz getroffen wird;
2. Schutz von Personen *neben* dem vom Blitz getroffenen Gebäude;
3. Verhinderung von Gefährdungen und Sachschäden *in oder bei Nachbargebäuden*, die mit dem vom Blitz betroffenen Gebäude über elektrische Leiter verbunden sind, z. B. über Niederspannungsnetze, Telefonleitungen usw.

¹⁾ Erweiterter Diskussionsbeitrag, gehalten an der 10. Internationalen Blitzschutz-Konferenz am 1. Oktober 1969 in Budapest (siehe Heft Nr. 4, S. 192 des Bulletins des SEV).

Der Vorgang beim Blitzeinschlag in ein geschütztes Gebäude kann im einzelnen wie folgt beschrieben werden:

1. Stromübergang vom Blitzkanal zu den Fangdrähten oder Auffangmetallen der Blitzschutzanlage;
2. Abfliessen des Blitzstromes über die ihm zur Verfügung stehenden Ableitungen zur Erdung;
3. Stromübergang von der Erdung in die Erde.

Bei den 3 genannten Teilvorgängen entstehen elektrische Spannungsdifferenzen, nämlich:

1. Ein Lichtbogenspannungsabfall am Auffangmetall, der aber lediglich 10...20 V beträgt, und daher nur für Wärmewirkungen von Bedeutung ist;
2. Ein Spannungsabfall induktiver Art längs der Ableitungen, der den Ohmschen Abfall im Kupfer- oder Stahldraht weit übertrifft;
3. Ein Spannungsabfall an der Erdung, bei dem die räumliche Ausdehnung und Anordnung der Elektroden einerseits, der spezifische Bodenwiderstand und die eventuelle Nichthomogenität des Bodens andererseits eine Rolle spielen.

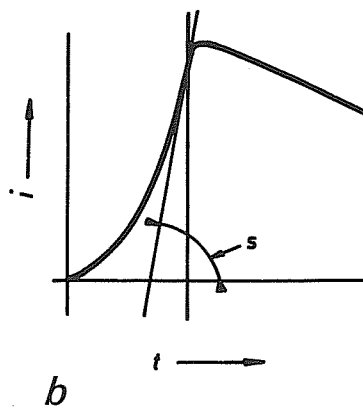
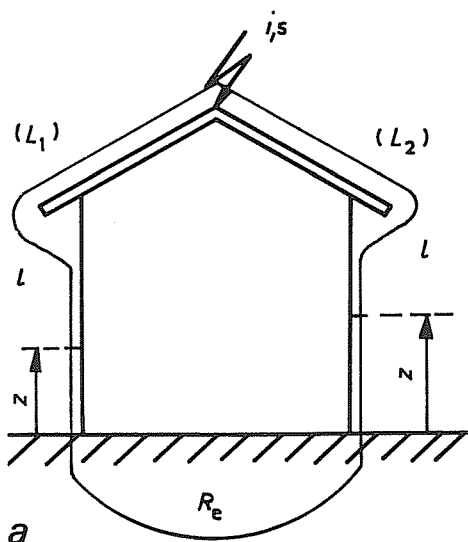


Fig. 1
Annahmen für den Blitzschutz

1. Blitz	2. Blitz
$i = 25 \text{ kA}$	$i = 60 \text{ kA}$
$s = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$	$s = 50 \text{ kA}/\mu\text{s}$
$l = 15 \text{ m} , L_1 = L_2 = 20 \mu\text{H}$	
Erdung	
$R_e = 1 \Omega$	$R_e = 20 \Omega$
$u = i R_e + s \cdot L(z)$	

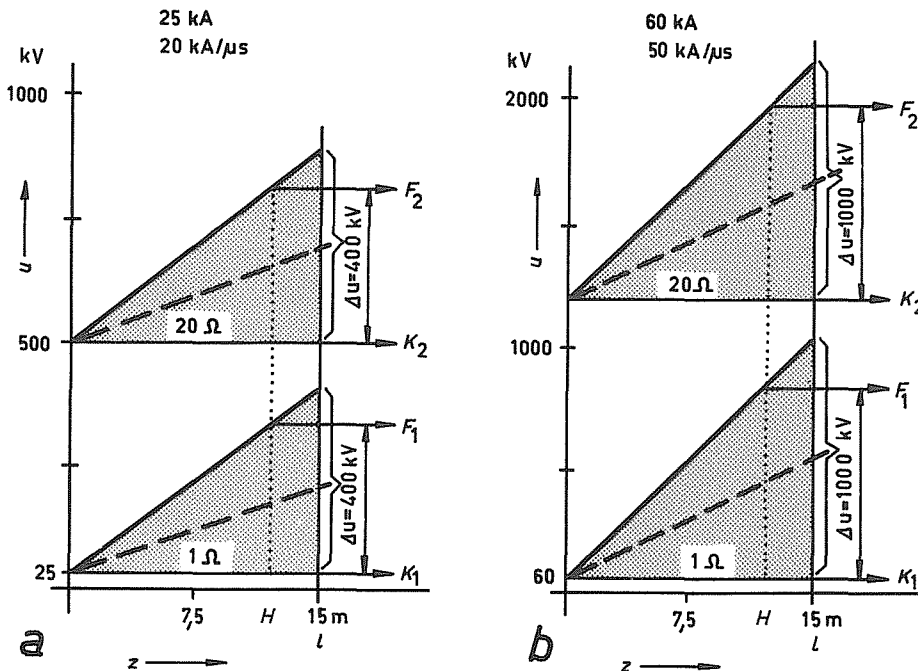


Fig. 2

Spannung im Punkt z bzw. l

Spannungsdifferenzen im Gebäude
 1. Ableitung
 2. Ableitungen
 Weitere Bezeichnungen siehe im Text

Ferner sind zwei verschiedenen gute Erdungen angenommen, nämlich:

Gute Erdung $R_e = 1 \Omega$ Übliche, eher schlechte Erdung $R_e = 20 \Omega$

In der Tabelle ist ferner die Länge jeder Ableitung zu ca. 15 m angenommen, was einer Induktivität von ca. $L_1 = L_2 = 20 \mu H$ entspricht.

Mit diesen Zahlenwerten lässt sich die Spannung (u) an jedem Punkt (P) des Blitzableiters angenähert ausrechnen. Zu diesem Zweck bezeichnen wir die Entfernung des Punktes P bis zum Schwerpunkt der Erdung mit z .

$z = 0$ entspricht einem Punkt im Schwerpunkt der Erdung
 $z = l$ entspricht der Länge einer Ableitung von der Erdung bis zum Dachfirst.

Für einen beliebigen Punkt $P(z)$ gilt bei der beschriebenen Stromkurve:

$$u = i R_e + s \cdot L(z)$$

Besonders gilt für $z = 0$: $u_e = i R_e$
 für $z = l$: $u_l = i R_e + s \cdot L(l) = i R_e + \Delta u$

Fig. 2 gibt nun eine graphische Darstellung der Spannung u des Blitzableiters gegen Erde unter Voraussetzung einer einzigen Ableitung L . Abszisse ist die Länge (z), gemessen von der Erdung Richtung Dach, Ordinate die Spannung $u = i R_e + s \cdot L(z)$. Die induktive Spannung wächst proportional mit der Länge z der Ableitung. Die Fläche zwischen Gesamtspannung und Erdspannung ist durch einen grauen Ton hervorgehoben worden.

Bei zwei Ableitungen wird die induktive Spannung Δu auf die Hälfte reduziert, bei vier Ableitungen auf rund $\frac{1}{4}$, sofern diese Ableitungen nicht unmittelbar nebeneinanderliegen. Diese Bedingung muss erfüllt werden, damit sich die magnetischen Felder der einzelnen Ableitungen unabhängig voneinander ausbilden können. Der Fall mit 2 Ableitungen ist in der Figur gestrichelt angedeutet.

In Fig. 2 sind ausserdem mit K_1 und K_2 die Spannungen bezeichnet, die durch Kabel oder Wasserleitungen im Erdboden nach aussen, z. B. in Nachbarhäuser verschleppt werden. Entsprechend bedeuten F_1 und F_2 die Spannungen, die von einer Freileitung verschleppt werden, sofern diese in der Höhe H an der Hauswand befestigt und in dieser Höhe über Niederspannungsableiter mit der Blitzschutzableitung verbunden ist.

Was sind nun die Konsequenzen dieser grundsätzlichen Betrachtung?

1. Die Personen- und Sachgefährdung im Gebäude hängt grundsätzlich nicht von der Güte der Erdung (R_e) ab, sondern vom Spannungsabfall (Δu) längs der Blitzstromableitung. Infolge der wirksamen Steuerung des Feldes gilt dies insbesondere für Gebäude mit Ring- oder Fundamenteerdung.

2. Die Gefährdungsspannungen im Gebäude sinken ungefähr im gleichen Masse, wie die Anzahl gleicher, voneinander entfernter Ableitungen grösser wird. Unmittelbar nebeneinander liegende Ableitungen wirken jedoch nicht viel besser als eine Ableitung allein.

3. Metallteile mit wesentlich vertikaler Ausdehnung sind an beiden Enden an die übrigen Ableitungen zu verbinden. Regenabfallrohre aus Kupfer oder Stahl sollten in erster Linie als Ableitungen benützt werden, da ihre Induktivität wesentlich kleiner ist als diejenige von Kupfer- oder Stahldraht bzw. -Band.

4. Die Vermaschung aller grösseren Metallteile des Gebäudes ist für den Blitzschutz im Gebäude wichtiger als der Erdungswiderstand R_e . Den besten Blitzschutz gewähren Stahlskelettbauten und Bauten mit allseitig durchgehender Armierung.

	Beispiel a	Beispiel b
Blitzdaten	25 kA 20 kA/μs	60 kA 50 kA/μs
Erdserspannung $i R_e$	25 kV ($R_e = 1 \Omega$) 500 kV ($R_e = 20 \Omega$)	60 kV ($R_e = 1 \Omega$) 1200 kV ($R_e = 20 \Omega$)
Induktive Spannung $\Delta u = s \cdot L(l)$ für $L = 20 \mu H$	400 kV	1000 kV

Der Zweck des Blitzschutzes kann somit in elektrischer Beziehung so gefasst werden, dass verlangt wird, dass keine gefährlichen Spannungsdifferenzen (nicht «Potentiale») am menschlichen oder tierischen Körper, und keine brandgefährlichen Funken oder Lichtbogen entstehen. Der Erreichung dieses Zwecks dient das Grundprinzip des Blitzschutzes. Es soll anhand von zwei Figuren kargestellt werden.

Fig. 1 legt die Annahmen fest, die wir einer angenäherten Berechnung der Spannungsabfälle beim Blitzeinschlag zugrunde legen wollen. In Fig. 1a ist schematisch ein Gebäude skizziert, dessen Blitzschutz aus einer Firstleitung, zwei Ableitungen l und einer Ringerdung R_e besteht. In Fig. 1b ist der Blitzstromverlauf $i(t)$ angedeutet, wie er sich aus den vielen Oszillogrammen der Versuchstation am Monte San Salvatore für den ersten Teilblitz ergibt. Der Strom steigt in einigen μs auf seinen Höchstwert, wobei das Tempo des Aufstieges, die sog. Steilheit s , bis zum Scheitwert wächst (dies im Gegensatz zu der von der CEI vor vielen Jahren genormten Stromform). Auf der rechten Seite von Fig. 1 ist eine Tabelle aufgezeichnet. Sie enthält zwei typische Blitzströme:

Mittlerer Blitz	Kräftiger Blitz
$i = 25 \text{ kA}$	$i = 60 \text{ kA}$
$s = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$	$s = 50 \text{ kA}/\mu\text{s}$

5. Querverbindungen zwischen den vertikalen Ableitungen sind in 1. Linie am Dach und am Erdboden wirksam, weniger in mittlerer Höhe.

6. Mit mindestens 4 parallelen Ableitungen von nicht mehr als 15 m Länge werden die Spannungsdifferenzen im Gebäude üblicher Höhe bei den meisten Blitzen derart klein, dass die «Näherungsbedingungen» ohne besondere Massnahmen erfüllt sind, indem Spannungen von 100 bis 250 kV weniger als 0,4 m Schlagweite in Luft ergeben. Voraussetzung ist eine als Steuerelektrode wirkende Erdung des Gebäudes, am besten Ring- oder Fundamentterdung, an die alle wesentlichen Metallteile verbunden sind.

7. Vom Gebäude wegführende Freileitungen übertragen die volle Spannung, d. h. sowohl die Erdungsspannung $i R_e$ als auch den induktiven Spannungsabfall Δu bis zur Höhe der Freileitung, sofern sich dort Ableiter oder unzulässige Näherungen befinden. Diese hohen Spannungen gefährden Ortsnetze und Installationen der Nachbarhäuser beträchtlich.

8. Vom Gebäude wegführende Kabel übertragen höchstens die Erdungsspannung $i R_e$. Durch Anschliessen leitender Kabelmäntel an die beidseitigen Gebäudeerdungen wird die übertragene Spannung reduziert.

9. Auf dem gewachsenen Erdboden entsteht beim Gebäude ein Spannungstrichter, d. h. es entstehen Schrittspannungen, die durch die feldsteuernde Wirkung von Ring- oder Fundamenterdungen stark reduziert werden. Aus diesem Grunde sowie infolge der kurzen Dauer dieser Schrittspannungen dürften sie vermutlich keine Personengefährdung darstellen, dies im Gegensatz zum Fall eines unter einen blitzbetroffenen Baum Schutzsuchenden.

Die vorstehenden Folgerungen gelten in erster Linie für Wohnhäuser üblicher Grösse. Das geschilderte Grundprinzip ist jedoch allgemein; es gilt sinngemäss auch für andere Bauten, insbesondere auch für Hochhäuser, Hochkamine usw. Während im Tiefland Werte von einigen Ohm für R_e erreicht werden können, ist dies im Gebirge überhaupt nicht möglich. Der Blitzschutz basiert im letzteren Falle ausschliesslich auf der Einhaltung kleiner Werte für $\Delta u = s \cdot l$, nicht auf den Werten von R_e . Kleine Werte von Δu werden erreicht durch eine grosse Anzahl paralleler Ableitungen, die im Grenzfall mit dem Bodennetz einen Faradayschen Käfig bilden, innerhalb dessen der Blitzschutz vollkommen ist.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. K. Berger, Forschungsleiter der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen, Seefeldstrasse 301, 8008 Zürich.