

Integration der Gebäudeinstallation in die Blitzschutzanlage

Autor(en): **Wiesinger, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **63 (1972)**

Heft 3

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915658>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Integration der Gebäudeinstallation in die Blitzschutzanlage¹⁾

Von J. Wiesinger, München

621.316.933

Das hier vorgelegte Konzept, das sich zunächst auf den Blitzschutz für übliche kleinere und mittlere Wohngebäude, wie Siedlungshäuser, Wochenendhäuser und Bauernhäuser, sowie für landwirtschaftliche Nutzgebäude, wie Ställe und Scheunen, beschränkt, strebt die Integration der Gebäudeinstallation in die Blitzschutzanlage an. Dies führt zu einem individuellen, optimalen Blitzschutz für jedes Gebäude bei minimalem Aufwand. Das Konzept sieht u. a. einen konsequenten Zusammenschluss aller vorhandenen und ergänzten Fanganordnungen, zu denen auch Fangstäbe gehören, vor. Zur Stromableitung dient in der Regel eine isolierte 10-mm²-Kupferleitung, mit deren Isolation das «induktive» Näherungsproblem in der Regel beherrscht wird. Grosse Metallteile im Gebäude werden an die Blitzschutzanlage angeschlossen. Durch einen konsequenten Zusammenschluss der Erd-einführungen und geerdeten Installationen mit dem elektrischen Schutzleitersystem im Sinne von VDE 0190/10.70 kann auf eine hochwertige Erdung verzichtet werden.

Mit diesen erstellten Richtlinien ergeben sich insbesondere für einfache Gebäude, z. B. Scheunen, die — wie statistische Erhebungen zeigen — von der Brandschadenseite her einen Blitzschutz am ehesten wünschenswert erscheinen lassen, sehr einfache Blitzschutzanlagen. Auch bei Gebäuden mit Metallinstallationen würde der Aufwand gegenüber bisher üblichen Blitzableiteranlagen in der Regel stark reduziert.

1. Einführende Schadenstatistik

Zunächst soll festgestellt werden, in welchem Umfange Blitzeinschläge in Gebäude zu Schäden führen und welche Gebäudearten besonders betroffen sind, um hieraus Folgerungen für die Errichtung von Blitzschutzanlagen ziehen zu können. Hierzu wurden dem Verfasser von der Bayerischen Versicherungskammer, München, dankenswerter Weise die gemeldeten Gebäudeschäden durch Blitzeinschläge in Bayern für die Jahre 1956 bis 1962, also für einen Zeitraum von sieben Jahren, zur Verfügung gestellt. Dabei ergaben sich die in Tabelle I für ein Jahresmittel zusammengestellten Schäden für Bayern, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Gebäudearten.

Nach Angaben des Statistischen Landesamtes, München, ist in Tabelle II die Gebäudeanzahl der einzelnen Gebäudearten für Bayern zum Ende des Jahres 1959, also im Mittel des betrachteten Zeitraumes, aufgeführt.

Schadenanzahl und -höhe bei verschiedenen Gebäudetypen

Tabelle I

Gebäudeart		Gebäudeschaden pro Jahr (Millionen DM)	Schadenfälle pro Jahr
Landwirtschaftliche Gebäude	bewohnt	0,27	81
	unbewohnt	1,99	163
Sonstige Gebäude	bewohnt	0,09	245
	unbewohnt	0,13	62
Summe		2,48	551

¹⁾ Erweiterte Fassung eines Referates zur 11. Internationalen Blitzschutzkonferenz vom 13. bis 17. September 1971 in München.

Suivant la conception exposée dans cet article et qui est tout d'abord limitée à la protection contre la foudre de petits et moyens bâtiments d'habitation, tels qu'immeubles de cités satellites, résidences secondaires et fermes, granges et écuries, l'installation électrique du bâtiment doit être intégrée à l'installation de protection contre la foudre, pour une protection individuelle optimale de chaque bâtiment, avec un minimum de frais. Tous les dispositifs de captation existants et complétés doivent être reliés entre eux, y compris les paratonnerres. La dérivation du courant a lieu par une ligne de cuivre de 10 mm², dont l'isolation permet généralement de résoudre le problème de l'induction. Les grandes masses métalliques du bâtiment seront également reliées à l'installation de protection contre la foudre. En reliant les introductions dans la terre et les installations mises à la terre avec le système électrique du conducteur de protection, selon VDE 0190 10.70, on peut renoncer à une mise à la terre de haute qualité.

Pour des bâtiments simples (granges, etc.), ces directives permettent d'aménager très simplement des installations de protection contre la foudre qui, comme le montrent les enquêtes statistiques, suffisent pour éviter des incendies. De même, dans bâtiments à ossature métallique, le coût serait considérablement réduit par rapport à celui des installations classiques de protection contre la foudre.

Bezieht man für die einzelnen Gebäudearten die Gebäudeschäden pro Jahr auf die Anzahl der Gebäude — dies ist in erster Näherung zulässig, wenn man die prozentual recht geringe Anzahl der nicht versicherten Gebäude ausser acht lässt —, ergeben sich die in Fig. 1 aufgeführten «Blitzeinschläge

Anzahl der verschiedenen Gebäudetypen

Tabelle II

Gebäudeart		Anzahl der Gebäude
Landwirtschaftliche Gebäude	bewohnt	322 568
	unbewohnt	667 413
Sonstige Gebäude	bewohnt	981 471
	unbewohnt	516 657
Summe		2 488 109

mit Schaden je Gebäude in 100000 Jahren» sowie der «Schaden je Gebäude und Jahr». In Fig. 1 ist darüber hinaus unterschieden nach Schäden durch zündende, nicht zündende und über Freileitungen einziehende Blitzströme.

Man erkennt, dass die landwirtschaftlichen unbewohnten Gebäude mit etwa 3 DM jährlichem Gebäudeschaden weit an der Spitze stehen, gefolgt von den landwirtschaftlichen bewohnten Gebäuden mit 84 DPf jährlichem Schaden. Die sonstigen Wohnhäuser weisen dagegen nur einen Schaden von 9 DPf auf. Bemerkenswert ist weiterhin, dass 96 % des gesamten Schadens durch Brand verursacht wird.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Schadenszahlen nur die Gebäudeschäden, nicht aber die Schäden an Einrichtungen, Maschinen, Vieh und dergleichen beinhalten.

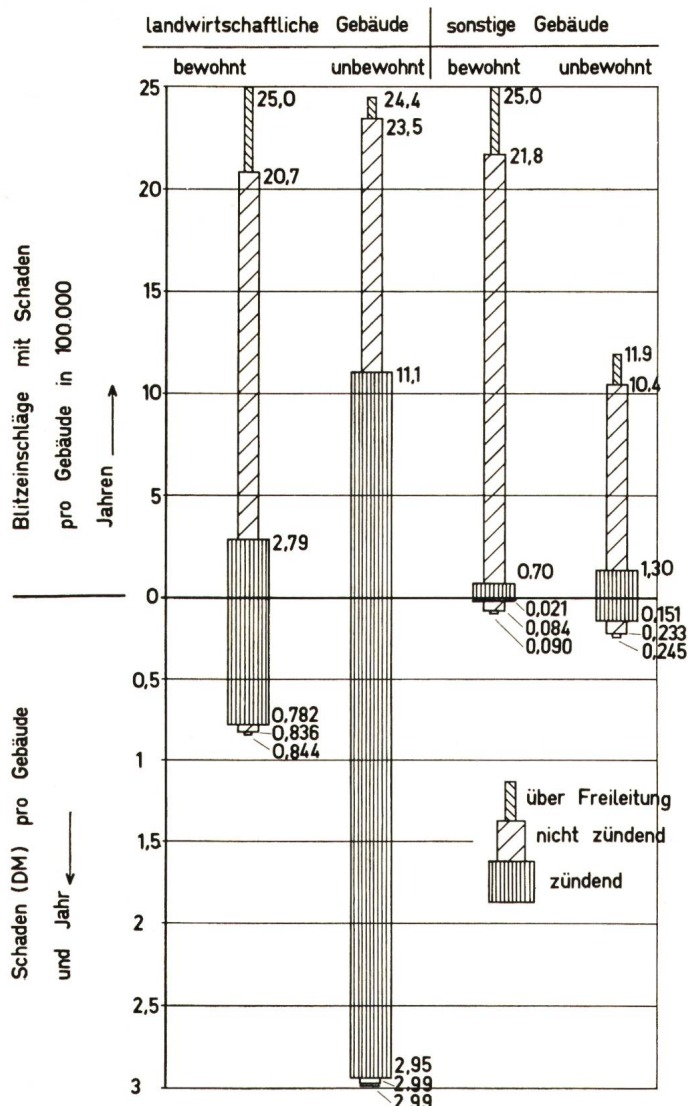


Fig. 1

Blitzschläge mit Schaden pro Gebäude in 100 000 Jahren und jährliche Schadenhöhe

Es soll nunmehr abgeschätzt werden, nach wieviel Jahren im Mittel mit einem Einschlag in ein Gebäude zu rechnen ist. Hierzu wird entsprechend den Ergebnissen der Blitzzählung in Bayern [1]²⁾ ein mittlerer Wert von fünf Einschlägen pro km² und Jahr angesetzt.

Wenn man in Übereinstimmung mit Müller-Hillebrandt³⁾ annimmt, dass der mittlere Einzugsbereich eines Gebäudes 1000 m² beträgt, ist alle 200 Jahre mit einem Blitzschlag zu rechnen. Wird für eine weitere überschlägige Betrachtung angenommen, dass bei landwirtschaftlichen Gebäuden die Gebäude- und Hoffläche von 1547 km² in Bayern gleichbedeutend ist mit dem Einzugsgebiet für Blitze, ergibt sich bei 989 981 landwirtschaftlichen Gebäuden alle 128 Jahre ein Blitzschlag.

In Tabelle III ist nunmehr für die einzelnen Gebäudearten unter Berücksichtigung der Tabellen I und II und der Fig. 1 angegeben, nach wieviel Jahren im Mittel bei einem Gebäude ein Blitzschlag, ein schadenanrichtender Blitzschlag und ein branderzeugender Blitzschlag zu erwarten ist.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

³⁾ D. Müller-Hillebrandt: Ist die Normung von Blitzableitern abgeschlossen? Referat an der 6. Internationalen Blitzschutzkonferenz (1961).

Während bei allen bewohnten Gebäuden und den unbewohnten landwirtschaftlichen Gebäuden etwa alle 4000 Jahre mit einem schadenverursachenden Blitzschlag zu rechnen ist – dies bedeutet aber, dass nur etwa jeder 20ste bis 30ste Einschlag zu einem Schaden führt –, differenziert sich die Zeit bis zu einem zündenden Blitzschlag sehr stark nach den Gebäudearten. Weitaus am ungünstigsten schneiden die landwirtschaftlichen unbewohnten Gebäude ab (hier entzündet jeder 45ste bis 70ste Einschlag einen Brand), gefolgt von den landwirtschaftlichen Wohngebäuden (jeder 180ste bis 280ste Blitz zündet). Bei den übrigen Wohngebäuden zündet nur etwa jeder 710te bis 1100ste Blitz.

Nach den Ermittlungen des Unterausschusses für Personenschäden des Ausschusses für Blitzableiterbau (ABB) waren in der gesamten Bundesrepublik Deutschland in Gebäuden im Jahre 1968 ein Toter und ein Verletzter, im Jahre 1969 nur ein Verletzter zu verzeichnen. Der Gebäudeschutz ist also in erster Linie von der Brandverhütung her gerechtfertigt, während der Personenschutz für die im Freien Befindlichen aktiviert werden sollte.

Da die Erstellungs- und Unterhaltskosten für herkömmliche Blitzschutzanlagen den verhüteten Schaden sicherlich weit übersteigen, sind durchaus Überlegungen angebracht, wie die Erstellungskosten, insbesondere für einfachere Gebäude, gesenkt werden können, ohne einen unvermeidbaren Abstrich an Sicherheit in Kauf nehmen zu müssen. Eine Möglichkeit, die im weiteren behandelt wird, ist wohl durch die Abstimmung der Blitzschutzanlage auf die vorhandene Gebäudeinstallation und damit auf den jeweiligen Gebäudetyp gegeben.

Die folgenden Ausführungen befassen sich bevorzugt mit dem Blitzschutz für Gebäude mit ersetzbaren Werten, also für übliche kleinere und mittlere Wohngebäude, wie Siedlungshäuser, Wochenendhäuser und Bauernhäuser, sowie für landwirtschaftliche unbewohnte Gebäude, wie Ställe und Scheunen. Eine Reihe der hier dargelegten Erkenntnisse dürfte allerdings auch für den Schutz von Gebäuden, die nicht in der vorstehenden Abgrenzung enthalten sind, von Bedeutung sein.

2. Kenngrößen der Blitzentladung

Wie in [2] ausführlich dargelegt wurde, ist es sinnvoll, auf Grund der langjährigen Messungen von Berger [3] Grenzwerte der Blitzkenngrößen für die Dimensionierung von Blitzableitern festzulegen. Es erscheint ausreichend, wenn für den Schutz der oben angesprochenen Gebäude als Maximalwerte diejenigen Kennwerte angenommen werden, die von 95 % der Erdblitze nicht überschritten bzw. die nur von 5 % erreicht

Häufigkeit der Blitzschläge bei den verschiedenen Gebäudetypen

Tabelle III

Gebäudeart		alle...Jahre ein Blitzschlag	alle...Jahre ein Blitzschlag mit Schaden	alle...Jahre ein Blitzschlag mit Brand-schaden
Landwirtschaftliche Gebäude	bewohnt	128...200	3997	35 842
	unbewohnt		4092	9 042
Sonstige Gebäude	bewohnt		3998	142 857
	unbewohnt		8389	76 923

Kennwerte	Mittelwert	Maximalwert
Stromscheitelwert (i)	33,5 kA	107 kA
Ladung (Q)	26,2 C	130 C
Stromquadrat-Zeitintegral ($\int i^2 dt$)	$3,4 \cdot 10^5 \text{ A}^2\text{s}$	$2,5 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$
maximale Stromänderung (di/dt_{\max})	41,5 kA/ μs	80 kA/ μs

werden, da im Mittel nur alle 2500 bis 4000 Jahre ein den 95-%-Wert überschreitender Blitz an einem Gebäude auftreten wird (vgl. Tabelle III).

Im einzelnen interessieren als Charakteristika eines Blitzstromes der Scheitelwert, die Ladung, das Stromquadrat-Zeitintegral und die maximale Stromänderung. Diese Kennwerte sind [2] entnommen und in Tabelle IV zusammengestellt.

3. Optimierung und Anpassung der Blitzschutzanlage an die Metallinstallationen

In den folgenden Abschnitten sei eine Gebäudeblitzschutzanlage in drei Funktionssysteme aufgeteilt:

- Fanganordnung,
- Ableitung,
- Erdeinführung.

Es wird versucht, jedes System für sich hinsichtlich des Aufwandes und des Schutzeffektes zu optimieren und an die vorhandene Installation anzupassen.

3.1 Fanganordnungen

Während als Fanganordnungen heute vielfach Firstleitungen verwendet werden [4], sind die Fangstangen – die in Deutschland nur für explosionsgefährdete Gebäude eingesetzt werden – u. a. durch ein Referat von *Horvath* auf der 10. Internationalen Blitzschutzkonferenz über den wirtschaftlichen Schutz von landwirtschaftlichen Gebäuden wieder ins Gespräch gebracht worden.

Für die hier betrachteten Gebäude erscheint eine von *Rühling* angegebene Beziehung für den Schutzraum von Fang-

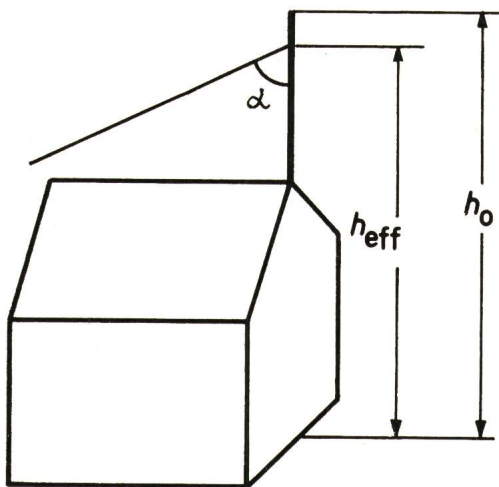


Fig. 2

Schutzraumwinkel von Fangstangen
 α Schutzwinkel
 h_0 tatsächliche Fangstabhöhe
 h_{eff} effektive Fangstabhöhe

stangen akzeptabel, da sie einmal den zunehmenden Schutzraumwinkel mit abnehmender Stangenhöhe berücksichtigt und auch Einschläge unterhalb der Spitze, wie sie in der Natur beobachtet wurden, in Rechnung stellt⁴⁾. Es wird ein Schutzraumwinkel α mit einer Schutzsicherheit um 95 % unter Berücksichtigung einer effektiven Fangstangenhöhe h_{eff} über dem Boden (Fig. 2) angegeben. Für Fangstangenhöhen h_0 über dem Boden von etwa 7 bis 70 m gilt:

$$h_{\text{eff}} = h_0 (1,03 - 0,006 h_0) \text{ (m)} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{122}{4 \sqrt{h_0}} \text{ (Grad)}$$

wenn h_0 in m eingesetzt wird.

Beispielsweise ist bei $h_0 = 14 \text{ m}$: $h_{\text{eff}} = 13,3 \text{ m}$ und $\alpha = 63 \text{ Grad}$.

Dieser Wert für α entspricht dem Schutzraumwinkel, der in den Richtlinien der USA für übliche Gebäude angegeben wird [5].

3.1.1 Gebäude ohne metallische Dachaufbauten

Der Blitzeingangspunkt kann hier festgelegt werden durch:

- Firstleitungen,
- Fangstangen auf den Dächern,
- Fangstangen neben den Gebäuden.

Wenn man neben den Firstleitungen auch Fangstangen mit einem nach Gl. (1) definierten Schutzraum als Fanganordnungen in Betracht zieht, hat man die Möglichkeit, sich den zu schützenden Objekten optimal anpassen zu können; insbesondere bei Gebäuden mit leicht brennbarer Bedachung wird den Fangstangen (vorzugsweise aus Eisen) der Vorrang zu geben sein. Bei Gebäuden von mehreren 10 m Länge kann auch die Errichtung mehrerer Fangstangen sinnvoll sein. Fangstangen neben den Gebäuden kommen dann in Frage, wenn sie an bereits vorhandenen, genügend nahen und hohen Objekten, wie Bäumen, Fahnenmasten und dgl., angebracht werden können; in diesem Fall werden direkte Einschläge in die Gebäude vermieden. Einige mögliche Ausführungsbeispiele zeigt Fig. 3.

Bei nicht brennbaren Bedachungen (Ziegel, Beton) spricht nichts dagegen, die Fangleitungen unmittelbar auf dem First zu verlegen.

Am Einschlagort kann im wesentlichen durch den Anoden- bzw. Kathodenfall von 15...20 V und einer maximalen Blitzladung von 130 C ein Metallvolumen bis etwa 0,2 cm³ ausgeschmolzen werden mit möglichen örtlichen Firstleitungsbeschädigungen als Folge. Da aber für die Stromweiterleitung von der Einschlagstelle – wie im Abschnitt 3.2 ausgeführt wird – ein 10-mm²-Kupferleiter oder ein 25-mm²-Eisenleiter genügt, erscheinen diese Leiterquerschnitte auch für die Firstleitungen als angemessen.

3.1.2 Gebäude mit metallischen Dachaufbauten

Als metallische Dachaufbauten kommen üblicherweise in Frage:

- Fernseh- und Rundfunkantennen,
- Dachständer für Energie- und Telefonleitungen.

Diese Aufbauten können den Einzugsbereich der Blitzentladung und den Einschlagpunkt massgebend bestimmen.

⁴⁾ *F. Rühling*: Modelluntersuchungen über den Schutzraum und ihre Bedeutung für Gebäudeblitzableiter. Referat an der 11. Internationalen Blitzschutzkonferenz (1971).

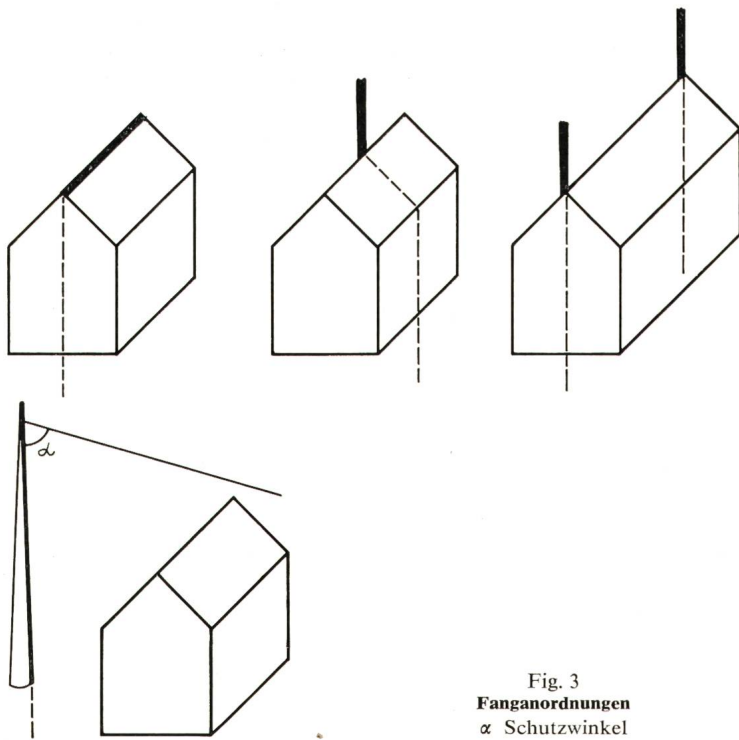


Fig. 3
Fanganordnungen
α Schutzwinkel

Liegt ein Gebäude in dem nach Gl. (1) festgelegten Schutzraum der Antenne oder ist die Freileitung parallel zum First geführt und überragt ihn, schlägt der Blitz in die Antenne, in die Freileitung oder in den Dachständer ein. Eine weitere Fanganordnung ist unnötig und sinnlos.

Liegt ein Gebäude nicht ganz im Schutzraum der Freileitung und der Dachaufbauten, muss der Schutz durch zusätzliche Fanganordnungen vervollständigt werden. Beispiele möglicher Ausführungen zeigt Fig. 4.

Wird also die vorhandene Dachinstallation als Fanganordnung mit in Betracht gezogen, kann in vielen Fällen auf zusätzliche Fangstäbe oder Firstleitungen verzichtet werden bzw. die vorhandenen Aufbauten brauchen nur so weit als

worin

Bei einem Einschlag in die Freileitung oder in den Dachständer werden die Niederspannungsisolatoren am Dachständer normalerweise überschlagen; auch bei einem Antenneneinschlag wird die Installation zwischen dem Antennenträger und der Antennenleitung in aller Regel durchschlagen. Damit werden die in das Gebäude eingeführten elektrischen Installationsleitungen an der Blitzstromführung beteiligt.

Um von allen möglichen Einschlagpunkten den Blitzstrom sicher ableiten zu können; ist es not-

wendig, alle vorhandenen und ergänzten Dachaufbauten potentialmässig zusammenschliessen. Die Antennenträger und Dachständer sind also (falls notwendig, über eine für den Blitzpotentialausgleich unmassgebliche Trennfunkstrecke) mit in der Regel 10 mm² isolierten Kupferleitungen mit gegebenenfalls noch weiter zugefügten Fanganordnungen zu verbinden. Auf die günstige Auswirkung isolierter Verbindungsleitungen hinsichtlich der Näherungen und auf die Isolationsdimensionierung, ebenso auf den angegebenen Kupferquerschnitt, wird im Abschnitt 3.2 näher eingegangen.

Die erstellten Forderungen stimmen im wesentlichen auch mit den schweizerischen Richtlinien überein, die bei Dachständern als Leitungsstützpunkte eine Verbindung mit der Blitzschutzanlage vorschreiben, bei anderen Dachständern eine Verbindung einräumen [6]. Liegen die Dachrinnen innerhalb des Schutzraumes, ist keine besondere Behandlung notwendig; andernfalls sind sie als Fanganordnungen zu betrachten.

3.2 Ableitungen

Als maximal zulässige Erwärmung von blanken oder isolierten Ableitungen sowie von Installationsleitungen werden etwa 300 °C angesehen, da hierbei eine Fremd- und Selbstzündung aller in der Elektrotechnik üblichen Isolierstoffe für Installationsmaterial ausgeschlossen ist. [7].

Wird eine Blitzstromableitung über nur eine Leitung vorausgesetzt, gilt für die Temperaturerhöhung Δθ bei der Annahme einer adiabaten Erwärmung in Übereinstimmung mit einer in [3] angegebenen Beziehung:

$$\Delta\theta = \frac{\exp\left(\frac{\int i^2 dt \cdot \alpha \epsilon_0}{q^2 \gamma c \cdot 4,19 \cdot 10^{-4}}\right) - 1}{\alpha} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2)$$

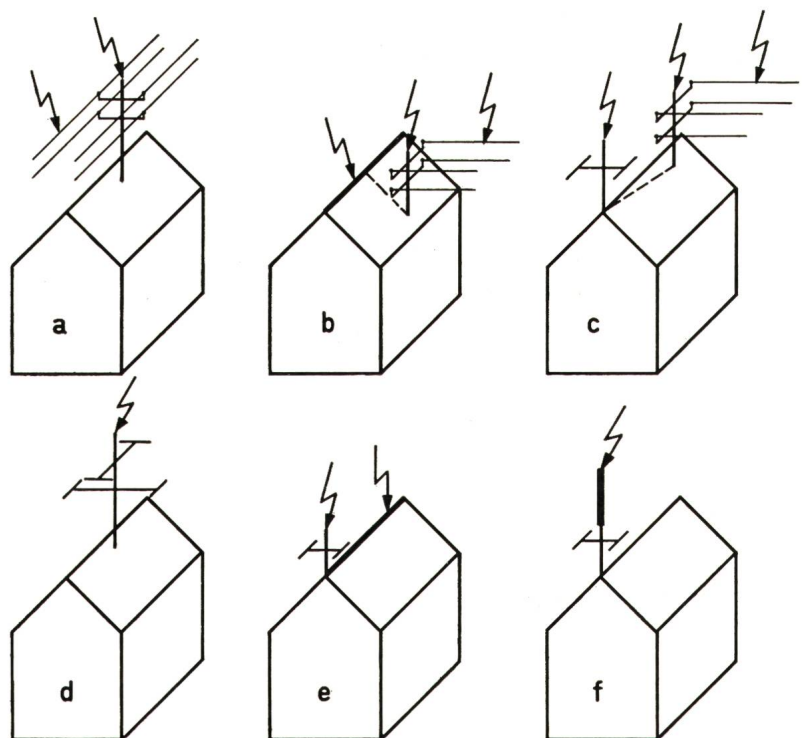
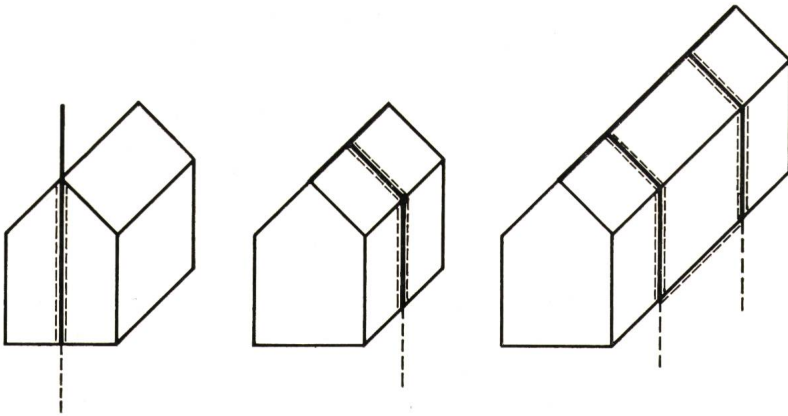


Fig. 4

Dachaufbauten, koordiniert mit Fanganordnungen

- a Einschlag in Freileitung oder Dachständer;
- b Einschlag in Freileitung, Dachständer oder Firstleitung;
- c Einschlag in Freileitung, Dachständer oder Antenne;
- d Einschlag in Antenne;
- e Einschlag in Antenne oder Firstleitung;
- f Einschlag in Fangstab auf Antennenträger

Fig. 5
Ableitungen



q Leiterquerschnitt in mm^2 ; α Temperaturbeiwert in $1/^\circ\text{C}$; c spezifische Wärme in $\text{cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$; γ Dichte in g/cm^3 und ϱ_0 spezifischer Widerstand bei 20°C in $\Omega \cdot \text{cm}$.

In Tabelle V sind die mit Hilfe von Gl. (2) ermittelten materialabhängigen, genormten Leiterquerschnitte zusammengestellt, die zur Ableitung eines Blitzstromes mit einem maximalen $\int i^2 \cdot dt$ -Wert von $2,5 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$ notwendig sind; weiterhin sind für die verschiedenen Leitermaterialien und -querschnitte die zu erwartenden Temperaturerhöhungen bei einer mittleren und einer maximalen $\int i^2 \cdot dt$ -Beanspruchung angegeben. Infolge der angenommenen adiabaten Erwärmung ist es gleichgültig, ob die Ableitungen blank oder isoliert sind.

In Gl. (2) ist zwar die Temperaturabhängigkeit des Leiterwiderstandes berücksichtigt, nicht aber eine mögliche Stromverdrängung und damit eine Abweichung des ϱ_0 -Wertes von

Leiterquerschnitte für Ableitungen

Tabelle V

Leitermaterial	Genormter Leiterquerschnitt mm^2	Erwärmung bei $(\int i^2 dt)$ mittel: $\Delta\vartheta_{\text{mittel}}$ $^\circ\text{C}$	Erwärmung bei $(\int i^2 dt)_{\text{max}}$: $\Delta\vartheta_{\text{max}}$ $^\circ\text{C}$
Kupfer	10	16	168
Eisen	25	25	305
Messing	16	32	264
Aluminium	16	18	147

$\Delta\vartheta_{\text{mittel}}$ Temperaturerhöhung bei einem mittleren Blitz.
 $\Delta\vartheta_{\text{max}}$ Temperaturerhöhung bei einem maximalen Blitz.

dem spezifischen Gleichstromwiderstand, die eine zusätzliche Abhängigkeit von dem zeitlichen Blitzstromverlauf und dem Leiterquerschnitt bedingen würde. Deshalb soll der Einfluss der Stromverdrängung auf $\Delta\vartheta$ in folgender Überlegung abgeschätzt werden: Bei 10-mm^2 -Kupferleitern und 16-mm^2 -Aluminiumleitern tritt eine Stromverdrängung erst bei Frequenzen oberhalb ca. 1500 Hz auf. Nun sind aber für die maximale Erwärmung der Ableitungen nur die stromstarken positiven Blitze verantwortlich, deren Stoßstromanteile nach [3, Fig. 25] Rückenhalbwertzeiten um $1000 \dots 1500 \mu\text{s}$ aufweisen. Das Amplitudenspektrum eines $0,1000\text{-}\mu\text{s}$ -Stromimpulses, durch den die positiven Stoßströme in erster Näherung dargestellt werden können, ist aber bei einer Frequenz von 1500 Hz schon auf 7% abgefallen. Hieraus kann geschlossen werden, dass zumindest bei Kupfer- und Aluminium-

⁵⁾ Laut den Leitsätzen für Blitzschutzanlagen des SEV (Publ. 4022, 1967) muss die Zahl der Ableitungen auf Gebäuden bis 300 m^2 Dachgrundfläche mindestens zwei betragen.

ableitungen die Stromverdrängung praktisch keinen Einfluss auf die in Tabelle V angegebenen maximalen Übertemperaturen haben wird.

3.2.1 Gebäude ohne metallische Inneninstallation

Bei Gebäuden ohne grössere Metallinstallationen, wie sie z. B. bei Scheunen, Stadeln und Wochenendhäusern zu finden sind, genügt zur Brandverhütung eine isolierte Ableitung⁵⁾, die aus beliebigem Leitermaterial mit dem Querschnitt nach Tabelle V bestehen kann. Bei Gebäuden von mehreren 10 m Länge sollten zwei Ableitungen vorgesehen werden. Einige Ausführungsbeispiele zeigt Fig. 5.

Die Ableitungen können an der Aussenwand der Gebäude – Abstandhalter sind aus elektrischen Gründen nicht erforderlich – verlegt werden. Bei dem Einsatz isolierter Ableitungen ist aber auch die Verlegung innerhalb der Gebäude denkbar. Legt man hierbei als Dimensionierungsrichtlinie für die Ableitungsisolation zugrunde, dass für einen nach Fig. 6 die Blitzableitung berührenden Menschen die nach [8] errechenbare Schleifenspannung kleiner als die Isolationsdurchschlagspannung sein soll, so kann z. B. ein 25-mm^2 -isolierter Eisendraht als Ableitung verwendet werden. (Zur Vermeidung der Schrittströme siehe Abschnitt 3.3.1.)

3.2.2 Gebäude mit metallischer Inneninstallation

Bei Gebäuden mit ausgedehnter metallischer Inneninstallation (z. B. elektrische Leitungen, Wasser- und Gasleitungen) sollte der Werkstoff des Ableitungsmaterials dem Installationsmaterial angepasst werden. Die Notwendigkeit wird aus der folgenden Betrachtung deutlich.

Bei einem Einschlag in ein Gebäude mit metallischen Leitungen (z. B. von der Antenne oder dem Dachständer in das Gebäude eingeführte Kupferleitungen) ist es im allgemeinen nicht auszuschliessen, dass auch über die Installation Teilblitzströme fließen, so dass eine Parallelschaltung der Blitzableitung mit den Installationsleitungen gegeben ist. Wie in [9] erläutert ist, teilt sich bei zwei an der Ableitung beteiligten Leitern der Blitzstrom dann umgekehrt proportional zu den Ohmschen Widerständen auf, wenn:

- die zwei Leitungen nach Fig. 7a sehr dicht beieinander liegen;
- die zwei Leitungen nach Fig. 7b voneinander entfernt liegen, aber die Blitzstromänderung sehr gering ist, wie es bei den Strom-

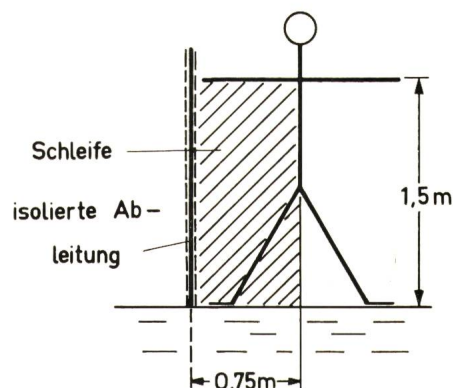


Fig. 6
Schleifenspannung am Menschen

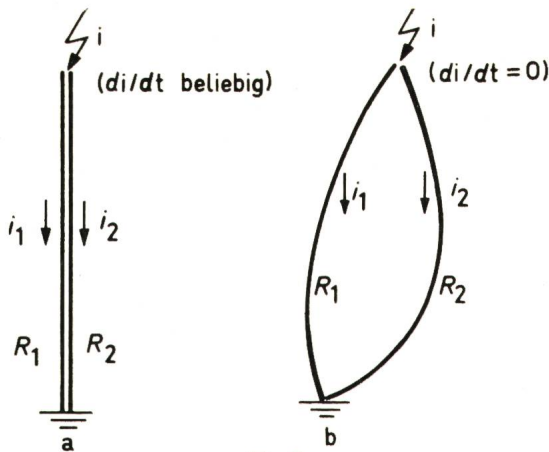


Fig. 7

Blitzstromaufteilung auf parallele Ableitungen

- i Blitzstrom
- i_1, i_2 Teilströme
- R_1, R_2 Leiterwiderstände

schwänzen (ebenso wie bei den hier nicht weiter betrachteten Aufwärtsblitzen) gegeben ist.

Während der erste Fall in der Praxis nicht allzu häufig anzutreffen sein wird, ist der zweite Fall bedeutsam bei dem Einschlag der stromstarken positiven Blitze, die in der Regel Stromschwänze mit einem erheblichen $\int i^2 \cdot dt$ -Anteil aufweisen [3].

Werden unter den genannten Voraussetzungen zwei parallele Leitungen 1 und 2 mit den Daten:

- Leiterlänge l_1, l_2 ,
- Dichte γ_1, γ_2 ,
- Leiterquerschnitt q_1, q_2 ,
- spezifische Wärme c_1, c_2 ,
- Temperaturbeiwert α_1, α_2 ,
- Leitererwärmung $\Delta\vartheta_1, \Delta\vartheta_2$,
- spezifischer Widerstand bei 20 °C $\varrho_{01}, \varrho_{02}$,

von einem Blitzstromwert $\int i^2 \cdot dt$ beansprucht, gelten folgende Beziehungen:

$$i_1^2 dt \cdot \varrho_{01} \cdot \frac{l_1}{q_1} (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\vartheta_1) = c_1 \gamma_1 l_1 q_1 \cdot d\Delta\vartheta_1$$

$$i_2^2 dt \cdot \varrho_{02} \cdot \frac{l_2}{q_2} (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\vartheta_2) = c_2 \gamma_2 l_2 q_2 \cdot d\Delta\vartheta_2 \quad (3)$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{\varrho_{02} l_2 q_1 (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\vartheta_2)}{\varrho_{01} l_1 q_2 (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\vartheta_1)}$$

Hieraus folgt für die Endübertemperaturen $\Delta\vartheta_{1e}$ und $\Delta\vartheta_{2e}$ der parallelen Leitungen:

$$\Delta\vartheta_{1e} = \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1}\right)^2 + \frac{\varrho_{02} l_2^2 c_2 \gamma_2}{\varrho_{01} l_1^2 c_1 \gamma_1} \cdot \frac{2}{\alpha_1} (\Delta\vartheta_{2e} + \frac{\alpha_2}{2} \Delta\vartheta_{2e}^2)} - \frac{1}{\alpha_1} \quad (4)$$

Die Leiterquerschnitte q_1 und q_2 sind in der Gl. (4) nicht mehr enthalten.

Fig. 8 zeigt die nach Gl. (4) ermittelten Endübertemperaturen – ausgehend von 20 °C – in einem Kupfer-, Messing- und Aluminiumleiter in Abhängigkeit von der Endübertemperatur in einem parallelen Eisenleiter bei gleichen Leiterlängen ($l_1 = l_2$). Man erkennt:

Wenn sich eine Eisenableitung z. B. um 100 °C erwärmt, wird die Temperatur in einer parallel liegenden Kupfer(installations)leitung gleicher Länge um 600 °C erwärmt, da die Eisenableitung den Blitzstrom in die Kupferleitung drückt.

Um nun die Kupfererwärmung unter 300 °C zu halten, muss die Eisenerwärmung auf 42 °C begrenzt bleiben.

Um diesen Temperaturverdrängungseffekt zu vermeiden, sollten bei üblichen Kupfer- oder Aluminiuminstallationen in den zu schützenden Gebäuden nur 10-mm²-Kupferblitzableitungen oder 16-mm²-Aluminiumableitungen verlegt werden, wobei dann eine Ableitung den Blitzstrom ohne unzulässige Erwärmung der aus beliebigem Material bestehenden Nebenableiter abzuführen vermag.

Die Ableitung ist möglichst vom Zentrum der Fanganordnungen zum Erdungszentrum (siehe Abschnitt 3.3) auf kürzestmöglichem Wege zu führen. Damit ist sichergestellt, dass ein grösstmöglicher $\int i^2 \cdot dt$ -Anteil über die Ableitung geführt und die im Gebäude auftretende Spannung (vgl. [9]) minimalisiert wird.

Bei allen Gebäudeblitzschutzanlagen werden in metallische Schleifen, insbesondere in die vielfältigen Schleifen der elektrischen Installation und der Antennenanlagen, infolge der Blitzstromänderung Spannungen induziert, die bis zu mehreren 10 oder gar 100 kV pro m² Schleifenfläche betragen können [8]. Diese Überspannungen sind mit realisierbarem Aufwand nicht zu vermeiden; somit muss auch bei allen bisher üblichen Blitzschutzanlagen mit Überschlügen in der Niederspannungsinstallation und mit Beschädigungen z. B. der Fernsehgeräte, Antennenverstärker und dergleichen gerechnet werden.

Dagegen sollte das Abspringen des Blitzstromes von der Blitzableitung auf sich nähernde Metallteile bestmöglich vermieden werden; dies wird bisher durch die Festlegung zulässiger «Eigennäherungen» [4] angestrebt, deren Realisation allerdings in der Praxis oft Schwierigkeiten bereitet. Diese «induktiven» Näherungsprobleme werden aber wohl leichter und sicherer beherrscht, wenn die Ableitungen mit PVC oder einem anderen hochwertigen in der Elektrotechnik üblichen Stoff isoliert werden und hierbei die hohe Stoßspannungsfestigkeit fester Isolierstoffe ausgenutzt wird.

Versuche des Verfassers mit Stoßspannungen 1,2/50 μ s haben beispielsweise ergeben, dass die Stosshaltspannung

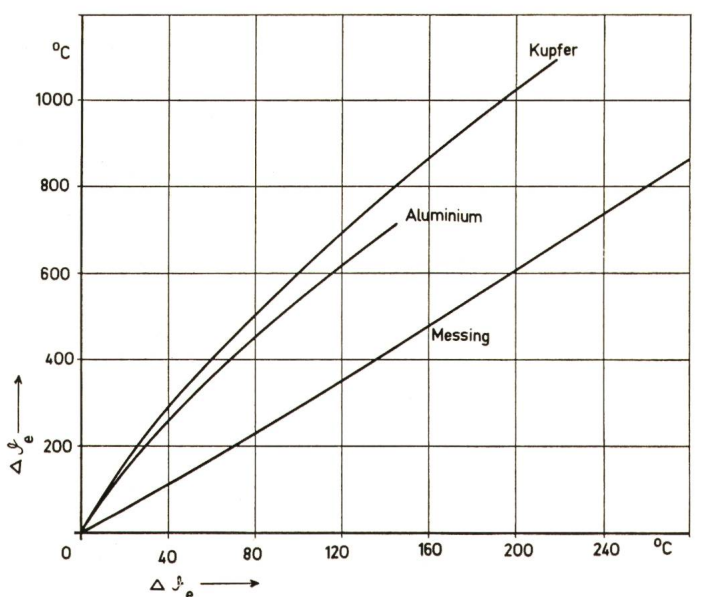


Fig. 8

Temperaturabhängigkeit paralleler Ableitungen

Ordinate: $\Delta\vartheta_e$ Endtemperatur; Abszisse: $\Delta\vartheta_e$ Endübertemperatur von Eisen

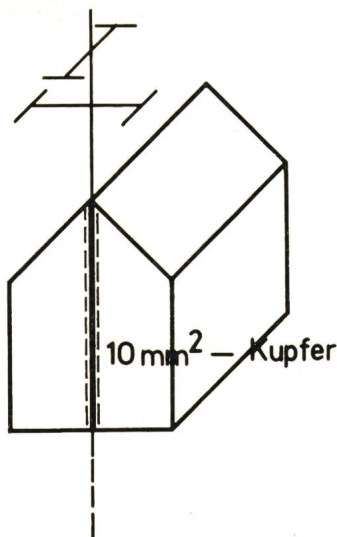


Fig. 9
VDE-mässige Antennenableitung
10-mm²-Kupferdraht mit
Isolierung

von 10-mm²-Kupferleitungen etwa 82 kV, von 10-mm²-Kupferkabeln etwa 220 kV beträgt entsprechend einer Festigkeit von 75 bzw. 65 kV/mm. Damit entspricht 1 mm PVC-Isolation einer Näherungsstrecke in Luft von etwa 10 cm!

Es sei dagegen darauf hingewiesen, dass Mauern – wie Stoßspannungsuntersuchungen an verschiedenen Materialien ergeben haben – eine gegenüber der Luft stark reduzierte elektrische Festigkeit haben und somit als elektrische Isolierungen gegen induzierte Spannungen recht ungeeignet sind.

Die Durchschlagfestigkeit und damit die Stärke der Ableitungsisolierung sollte an die jeweiligen zu beherrschenden Schleifenspannungen, die nach [8] bestimmbar sind, angepasst werden. Mit einem 10-mm²-Kupferleiter mit Kunststoffisolierung und Schutzmantel werden die in den betrachteten Gebäuden üblicherweise auftretenden Schleifenspannungen wohl in vielen Fällen beherrscht werden können. Auch die Verlegung innerhalb von Gebäuden wird durch den Einsatz isolierter Ableitungen erleichtert.

Die Ableitungen sollten wegen der möglichen Wärme- und Kälteausdehnungen bei extremen Blitzen vorzugsweise auf Putz oder Holz verlegt werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass sich die hier erstellten Forderungen in vollen Einklang bringen lassen mit den in VDE 0855/Teil 1 (Grünentwurf) festgelegten Sicherheitsbestimmungen für Antennenanlagen (vgl. beispielsweise Fig. 9).

3.3 Erdeinführung

Bei einem potentialmässigen Zusammenschluss (auch über Trennfunkstrecken) aller Metallinstallationen spielt der Erdungswiderstand für die im Gebäude auftretenden Spannungen keine Rolle (*Gold* nach [6, S. 3]; [9]). Der Zusammenschluss aller grossen Metallteile untereinander ist also für den Blitzschutz wichtiger als ein niedriger Erdungswiderstand. Der Erder hat dann nur die Aufgabe, den Blitzstrom in die Erde definiert einzuleiten.

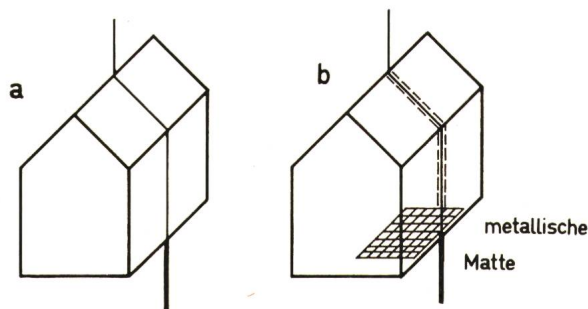


Fig. 10
Erdeinführung
Erklärungen siehe im Text

Als Erder kommen in Frage:

- Metallene Rohre der Installation, sofern sie ausreichende Wandstärken haben und mit weiträumig in der Erde verlegten Rohrnetzen verbunden sind;
- Schutzerder von Niederspannungsanlagen, z. B. Fundamente-erder;
- Stab- oder Bänderer, die auch für die Antennenerdung nach VDE 0855/Teil 1 (Grünentwurf) vorgesehen sind, z. B. 5 m lange Bänderer oder 3 m lange Staberder.

Als sehr wirtschaftliche und dauerhafte Erderform ist wohl der Staberder anzusehen, der auch in den englischen Vorschriften [6] bei den meisten Bodenarten empfohlen wird.

3.3.1 Gebäude ohne metallische Installationen

Bei Gebäuden ohne Metallinstallation ist der Erdungswiderstand für die Abwendung der Brandgefahr ohne Bedeutung. Der Blitzstrom kann z. B. mit einem etwa 3 m langen Staberder in den Boden eingeführt werden (Fig. 10a). Wenn z. B. bei freistehenden Scheunen oder Hütten neben der Brandabwehr auch Personen vor den Schrittspannungswirkungen geschützt werden sollen, empfiehlt sich z. B. eine Anordnung nach Fig. 10b. Hierbei wird eine Metallplatte, z. B. Baustahlgeflecht oder eine metalledierte Matte [2],

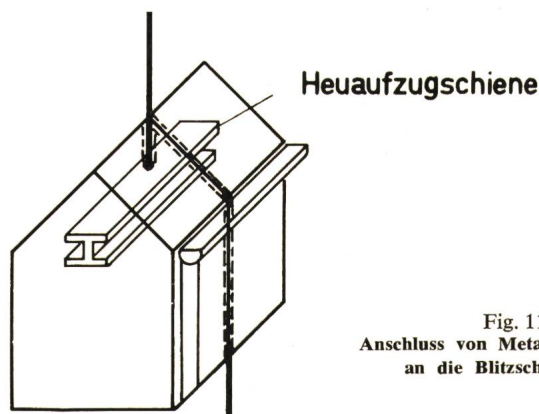


Fig. 11
Anschluss von Metallinstallationen
an die Blitzschutzanlage

am Erdführungspunkt über eine Leitung mit einem Querschnitt gemäss Tabelle V an die Blitzableitung angeschlossen; die Personen auf der Platte sind somit vor gefährlichen Schrittströmen geschützt. Vor abspringenden Strömen und Schleifenströmen schützt eine isolierte Ableitung gemäss den Ausführungen im Abschnitt 3.2.1.

3.3.2 Gebäude mit metallischer Installation

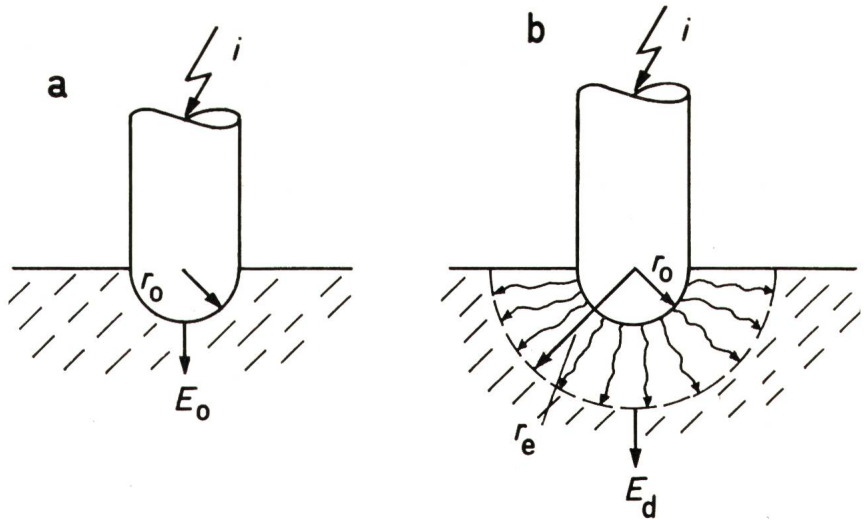
Es muss gefordert werden, dass alle Metallinstallationen auf dem kürzesten Wege mit der Blitzschutzanlage verbunden werden. Die Verwendung entsprechend isolierter Verbindungsleitungen kann hinsichtlich der «induktiven» Näherungen von grossem Vorteil sein. Regenrinnen und Regenfallrohre im Schutzraum der Fanganordnungen ausserhalb von steinernen Gebäuden, ebenso Fenster mit Metallrahmen und dergleichen, müssen wohl nicht unbedingt an die Blitzschutzanlage angeschlossen werden, solange die Ableitung nicht unmittelbar an ihnen vorbeiführt. Siehe zu diesen Ausführungen Fig. 11.

Bei Installationen, die gemäss VDE 0190/10.70 erstellt wurden, ist gewährleistet, dass alle geerdeten Anlagenteile, wie die Antennenanlage (auch wenn sie keine Fanganordnung darstellt), die Fernmeldeanlage, die Gasrohre, die Zu- und Abwasserrohre, die Heizungsrohre, die Erder und der Schutz- bzw. Nulleiter, an einer Potentialausgleichschiene miteinander

Fig. 12

Zum wirksamen Erdungswiderstand

- i Blitzstrom;
- E_0 Feldstärke am Erder;
- r_0 Radius des Erders;
- r_e Radius der Entladung;
- E_d Durchschlagfeldstärke des Bodens



verbunden sind. An diese Schiene ist auch die Blitzschutzanlage zweckmässig über eine ausreichend isolierte 10-mm²-Kupferleitung anzuschliessen. Falls keine geeignete Blitzschutzterde vorhanden ist, ist ein Band- oder Staberder zu erstellen. Bei Gebäuden mit mehreren Ableitungen (Fig. 5) sollte jede Ableitung einen Erder erhalten. Die Erder sind auf kürzestem Wege miteinander zu verbinden.

Die Blitzableitung soll prinzipiell die kürzestmögliche Verbindung vom Zentrum der Fanganordnungen zum Erdungsschwerpunkt darstellen.

4. Erdungswiderstand bei Blitzströmen

Da der Grösse des mit Niederspannung gemessenen Erdungswiderstandes von Blitzerdern oft eine für die Blitzschutzanlage bedeutende Rolle zugemessen wird, sei folgende Betrachtung angeführt.

Die Grösse des Erdungswiderstandes ist nur für die Spannungsanhebung eines Gebäudes gegenüber der ferneren Umgebung von Bedeutung, wenn alle Metallinstallationen miteinander verbunden sind. Der Wert des Erdungswiderstandes ist aber abhängig von dem jeweiligen Blitzstrom [10], da – abhängig von der momentanen Grösse des Blitzstromes – im Boden Entladungen entstehen, die den wirksamen Erdungswiderstand wesentlich herabsetzen können. Dies soll an folgender idealisierter Betrachtung verdeutlicht werden.

Die halbkugelige Spitze eines Staberders mit dem Radius r_0 tauche in den Boden mit dem spezifischen Widerstand ϱ gemäss Fig. 12a. Ohne Berücksichtigung von Entladungen im Boden ergibt sich hierbei ein Erdungswiderstand R_0 :

$$R_0 = 15,9 \frac{\varrho}{r_0} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (5)$$

wenn ϱ in Ωm und r_0 in cm eingesetzt werden.

Bei $r_0 = 0,5$ cm und $\varrho = 100$ Ωm errechnet sich R_0 zu 3180 Ω . Die maximale Feldstärke beim Scheitelwert des Blitzstromes \hat{i} an der Leiteroberfläche ergibt sich zu:

$$E_0 = 15,9 \frac{\hat{i} \varrho}{r_0^2} \text{ (kV/cm)} \quad (6)$$

wenn \hat{i} in kA gemessen wird.

Bei $\hat{i} = 100$ kA wäre $E_0 = 636000$ kV/cm. Da diese Feldstärke wesentlich höher ist als die Durchschlagfeldstärke des Bodens E_d von höchstens einigen kV/cm, bildet sich um die Metallspitze eine Entladung aus, von der idealisiert angenommen werden soll, dass sie einen Raum mit dem Radius r_e und der Randfeldstärke E_d weitgehend leitend macht (Fig. 12b). Dieser Radius errechnet sich zu:

$$r_e = \sqrt{\frac{15,9 \hat{i} \varrho}{E_d}} \text{ (cm)} \quad (7)$$

wenn \hat{i} in kA, ϱ in Ωm und E_d in kV/cm eingesetzt werden.

Für das genannte Zahlenbeispiel und $E_d = 2$ kV/cm wäre $r_e = 282$ cm. Somit ist der wirksame Erdungswiderstand gegeben, wenn in Gl. (5) r_0 durch r_e ersetzt wird:

$$R_e = 15,9 \frac{\varrho}{r_e} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (8)$$

Für das Zahlenbeispiel wird $R_e = 5,64$ Ω gegenüber $R_0 = 3180$ Ω ohne Berücksichtigung der Entladungen im Boden. Da nach [4] für den Erdungswiderstand eines Staberders ohne Berücksichtigung möglicher Entladungen gilt:

$$R_s = \frac{\varrho}{l} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (9)$$

wenn die Staberderlänge l in m und ϱ in Ωm angegeben sind, entspricht der wirksame Erdungswiderstand R_e der betrachteten kleinen Halbkugel bei einem Blitzstrom von 100 kA dem Erdungswiderstand R_s eines Staberders von 17,7 m Länge.

Da auch bei Erdungsanlagen mit nur einigen Ω gemessenem Erdungswiderstand Entladungen im Boden bei starken Blitzströmen nicht ausgeschlossen werden können und der eingepreiste Blitzstrom den wirksamen Erdungswiderstand massgebend beeinflusst, wird deutlich, dass dem gemessenen Erdungswiderstand nur eine untergeordnete Bedeutung zukommen kann.

Literatur

- [1] G. Frühauf und H.-U. Amberg: Ergebnisse von Blitzzählungen in Bayern und Schleswig-Holstein. ETZ-B 19(1967)17, S. 505...508.
- [2] J. Wiesinger: Blitzgeschützte Campingzelte. Blitz und Erde, Mitteilungen aus dem Hause Dehn 1(1970)1, S. 4...17.
- [3] 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.
- [4] ABB: Blitzschutz und Allgemeine Blitzschutz-Bestimmungen. 8. Auflage. Berlin, VDE-Verlag, 1968.
- [5] Code for protection against lightning. National Bureau of Standards Handbook 46. Washington, Superintendent of Documents, 1952.
- [6] A. Hösl: Blitzschutz in internationaler Sicht. Der Elektromeister 23(1970)11 + 12.
- [7] Brandsicherheit elektrischer Anlagen. ETZ-Report 1.
- [8] J. Wiesinger: Bestimmung der induzierten Spannungen in der Umgebung von Blitzableitern und hieraus abgeleitete Dimensionierungsrichtlinien. Bull. SEV 61(1970)15, S. 669...676.
- [9] J. Wiesinger: Ersatzschaltungen für Blitzableiter. Bull. SEV 62(1971)19, S. 936...941.
- [10] J. Wiesinger: Blitzsichere Zelte. Bull. SEV 59(1968)21, S. 1012...1017.

Adresse des Autors:

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Johannes Wiesinger, Wiss. Rat am Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Universität München, Arcisstrasse 21, D-8000 München.