

# Modelluntersuchungen über den Schutzraum und ihre Bedeutung für Gebäudeblitzableiter

Autor(en): **Rühling, F.**

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 10

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915695>

## **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.

# Modelluntersuchungen über den Schutzraum und ihre Bedeutung für Gebäudeblitzableiter <sup>1)</sup>

Von F. Rühling, München

621.316.933

Die Blitzschutztechnik verlangt nach Lösungen des Schutzraumproblems. Da man nicht warten kann, bis entweder die praktischen Erfahrungen an Blitzschutzvorrichtungen oder die physikalischen Erkenntnisse über das Durchschlagphänomen beim Blitzschlag so weit fortgeschritten sind, um eine definitive Schutztheorie aufstellen zu können, muss man die augenblicklich verfügbaren Daten aus Forschung und Praxis zusammen mit einigen Annahmen zu einem Resultat verbinden.

In dem vorliegenden Beitrag wird, dem heutigen Stand des Wissens folgend, eine solche Synthese durchgeführt, die sich vor allem auf die neueren Ergebnisse der Blitzforschung und eigene Modellversuche mit einer langsam ansteigenden positiven Stossspannung bei grosser Schlagweite stützt. Der dabei auftretende Leadermechanismus scheint der Entladung von Abwärtsblitzen sehr ähnlich zu sein. Ein weiterer Vorteil gegenüber bisherigen Modellversuchen kann darin gesehen werden, dass die Entscheidung über den Einschlagsort nicht direkt an der spannungsführenden Elektrode, sondern ähnlich den natürlichen Verhältnissen darunter in einem elektrodenlosen Raum erfolgt, was quantitativ nachweisbar ist.

Der Schutzraum von Fangstangen wird für eine zulässige Einschlagswahrscheinlichkeit mathematisch beschrieben und zeigt den Schutzwert dieser Vorrichtung besonders im Höhenbereich üblicher Wohngebäude auf. Es ist denkbar, dass oft Dachaufbauten, wie Dachständer von Energieleitungen und Antennen, durch geringfügige Änderungen zur Fangvorrichtung ausgebaut werden können.

La technique des parafoudres exige des solutions du problème de la zone de protection. Du fait qu'on ne saurait attendre que les expériences pratiques en matière de parafoudres, ou que les connaissances acquises sur le claquage par suite de coup de foudre aient suffisamment progressées pour pouvoir établir une théorie de protection définitive, on doit pour l'instant combiner les données actuellement disponibles des recherches et de la pratique à des hypothèses afin d'obtenir un résultat.

La présente contribution établit, d'après l'état actuel de nos connaissances, une telle synthèse qui se base essentiellement sur les résultats les plus récents des recherches sur la foudre, ainsi que sur de propres essais sur modèles à une tension de choc positive, progressant lentement à de grandes distances. Le mécanisme de Leader, qui se produit à cette occasion, paraît ressembler passablement aux éclairs dirigés vers le sol. Un autre avantage, par rapport aux essais sur modèles effectués jusqu'à présent, consiste dans le fait, que la décision relative au point de pénétration de la foudre ne dépend pas de l'électrode sous tension, mais s'effectue similairement aux conditions naturelles dans un espace dépourvu d'électrodes, ce que l'on peut prouver quantitativement.

La zone de protection des parafoudres est décrite mathématiquement pour une probabilité d'impact admissible, et illustre la valeur de cette protection tout particulièrement aux hauteurs usuelles des maisons d'habitation. On peut s'imaginer, que des superstructures de toitures, tels que les potelets des lignes d'aménée et les antennes peuvent par de faibles modifications être transformées en dispositifs de protection.

## 1. Einführung

Obleich es heute möglich ist, grösste Energiespeicher von 2600 kW zum Zwecke der Kernfusion zu betreiben, liegt der Energieinhalt einer Gewitterwolke noch mehr als um das 1000fache darüber [1]<sup>2)</sup>. So ist es nicht verwunderlich, dass sich die Menschen seit jeher vor der Gefahr dieser gewaltigen Naturerscheinung durch allerlei phantasievolle Praktiken zu schützen versuchten, bis mit der genialen Erfindung durch *Benjamin Franklin* vor mehr als 200 Jahren der entscheidende Durchbruch zu einer wissenschaftlichen Betrachtungsweise des Blitzschutzproblems gelang.

Der im Sinne von *Franklin* als Fangstange ausgebildete Blitzableiter fand sofort grosse Beachtung und ist bis heute als wesentliches Schutzelement anerkannt. Von speziellem Interesse ist dabei die geometrische Grösse des Schutzraumes.

Heute wird das Blitzschutzproblem vorwiegend unter wirtschaftlichen Aspekten gesehen. Es stellt sich somit die Frage nach dem wertangepassten, vertretbaren Aufwand für eine Schutzvorrichtung unter Bezugnahme auf statistische Daten über die Häufigkeit und die Art von Schadensereignissen. Dazu benötigt man eine möglichst genaue Kenntnis über den Ablauf der Blitzentladung.

## 2. Blitzparameter

Die Blitzforschung der letzten Jahrzehnte [2; 3] brachte wichtige Erkenntnisse, die hier nur bezüglich der Schutzraumfrage angedeutet werden sollen:

<sup>1)</sup> Erweiterte Fassung eines auf der 11. Internationalen Blitzschutzkonferenz in München im September 1971 vorgetragenen Referates.

<sup>2)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

- a) Messung von Blitzkenngrössen,
- b) Photographie von Entladungsbahnen,
- c) Charakterisierung der Blitze.

Blitze, die von der Erde aus vorwachsen, sind in ebenem Gelände relativ selten und hauptsächlich an das Vorhandensein besonders exponierter Stellen wie hohe Türme und Sendemaste gebunden. Es ist mit einiger Sicherheit anzunehmen, dass die Entladung am Punkt höchster Feldstärke startet und somit die Einschlagstelle festgelegt ist. Da dieser Punkt aus elektrostatischen Gründen der höchstgelegene sein wird, sind alle sich unterhalb befindenden Punkte vor einem Einschlag geschützt. Für den Schutzraum bedeutend sind die am häufigsten vorkommenden Abwärtsblitze, von denen 81,8 % negative Polarität besitzen [2]. Der restliche Anteil positiver Abwärtsblitze scheint an lange Fangentladungen gebunden zu sein [3] und kann aus diesem Grund unberücksichtigt bleiben.

Meistens bildet sich im Flachland der Blitzkanal mit einer mittleren Ladung von 1 C aus einer Gewitterwolke mit negativer Ladungsbilanz. Er wächst durchschnittlich mit einer Geschwindigkeit von  $1,5 \cdot 10^5$  m/s in Ruckstufen gegen die Erde vor [4; 7]. Erreicht der Blitzkopf eine bestimmte kritische Höhe, die zum Einsatz einer erdseitigen Fangentladung ausreicht, so erfolgt, nachdem sich Blitzkanal und Gegenentladung getroffen haben, der Ladungsausgleich.

Die kritische Höhe, in der die Entscheidung über den Einschlagsort fällt, ist für die Grösse des Schutzraumes von ausschlaggebender Bedeutung. Einfache geometrische Überlegungen zeigen bei Anwendung des Gesetzes der kürzesten Schlagweite, dass der Schutzraum kleiner wird, je weiter der Blitzkopf nach unten vorgewachsen ist.



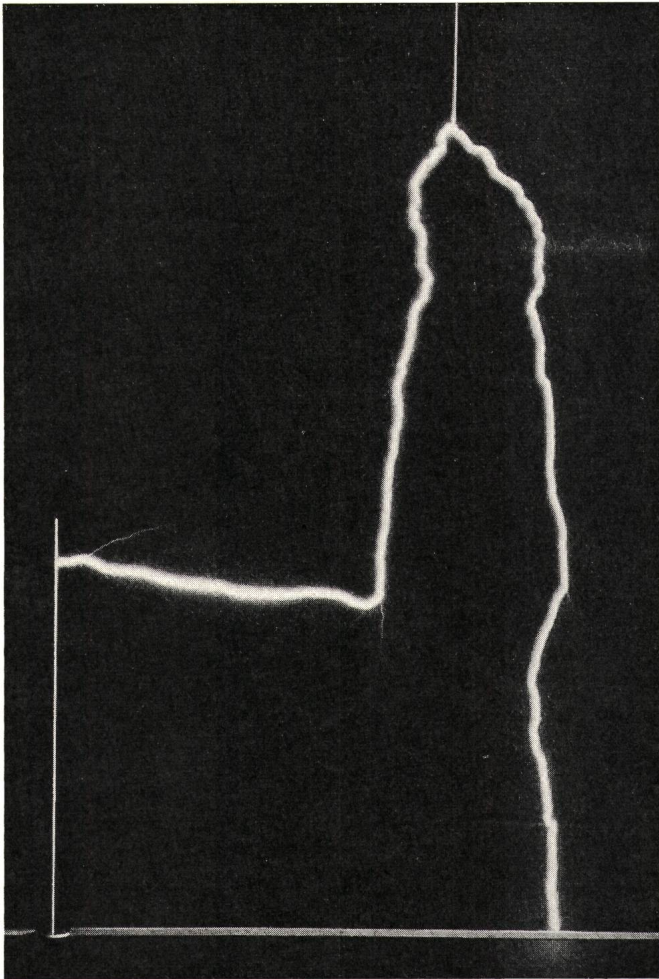


Fig. 1  
Entladungsbahnen im Mehrelektrodensystem  
Stab—Stab—Platte bei positiver Schaltstoßspannung

Der Schutzraum kann prinzipiell mit drei Methoden bestimmt werden:

- a) Beobachtungen an geschützten Objekten,
- b) Analytische Berechnungen,
- c) Modellversuche.

Die Beobachtungen geben einen genauen Aufschluss über die Wirkungsweise von Schutzeinrichtungen. Sie haben jedoch den grossen Nachteil, dass bei der geringen Einschlagshäufigkeit in einem Menschenleben kaum eine statistisch gesicherte Aussage möglich wird. Nach einer Auswertung von *Wiesinger* [5] ist nur alle 128 bis 200 Jahre mit einem Blitzeinschlag in ein Gebäude zu rechnen.

Die Berechnungen müssen sich, in einem gewissen Masse ähnlich den Modellversuchen, aufgrund lückenhafter physikalischer Daten über den Gesamtverlauf der Blitzentladung auf Annahmen stützen.

Die Modellversuche haben den Vorteil einer gewissen Übereinstimmung des Durchschlagphänomens und bieten die Möglichkeit eingehender statistischer Untersuchungen, wie sie beim Blitzschutzproblem unablässig sind.

### 3. Modellversuche

Bei den Modelluntersuchungen, wie sie in den dreissiger Jahren begannen, geht man davon aus, den Blitzkanal nur in seiner entscheidenden letzten Phase nachzubilden. Die span-

nungsführende Elektrode stellt den Blitzkanal in dieser kritischen Höhe dar.

Als für den Schutzraum wesentliche Einflussgrösse ergibt sich die Spannungsform. Bei den bisherigen Versuchen wurde vorwiegend eine positive Stoßspannung mit einer Stirnzeit von ca. 1  $\mu$ s verwendet. Damit erhielt man oft einen Schutzraum, der mittels einfacher geometrischer Beziehungen dargestellt werden konnte [6].

Für eine gute Simulation stellt sich einerseits die Frage nach der natürlichen Feldstärkeänderung auf der Erde bei Annäherung des Blitzkanals. Die Antwort dazu liefert *Golde* [7] durch die folgende Beziehung:

$$dE/dt = 1,8 \cdot 10^7 Q \frac{e^{-10^{-5} vt}}{v t^2} \frac{V/cm}{s} \quad (1)$$

Dabei bedeuten  $dE/dt$  die zeitliche Änderung der Feldstärke auf der Erdseite,  $Q$  die mittlere Kanalladung des Blitzes in C,  $v$  die Geschwindigkeit des Blitzkanals in cm/s und  $vt$  die Höhe des Blitzkopfes in m über dem Erdboden zur Zeit  $t$ .

Beim Einsetzen der oben genannten Durchschnittswerte ergeben sich für normale Blitzkopfhöhen Feldstärkeanstiege, wie sie Stoßspannungen besitzen, deren Stirnzeiten in der Grössenordnung von 100  $\mu$ s liegen.

Andererseits ist aus Beobachtungen hinreichend bekannt, dass die Blitzkanalbahnen nicht einer einfachen geometrischen Beziehung, wie sie das Gesetz der kürzesten Schlagweite darstellt, folgen, sondern scheinbar willkürlich, d. h. mit einer

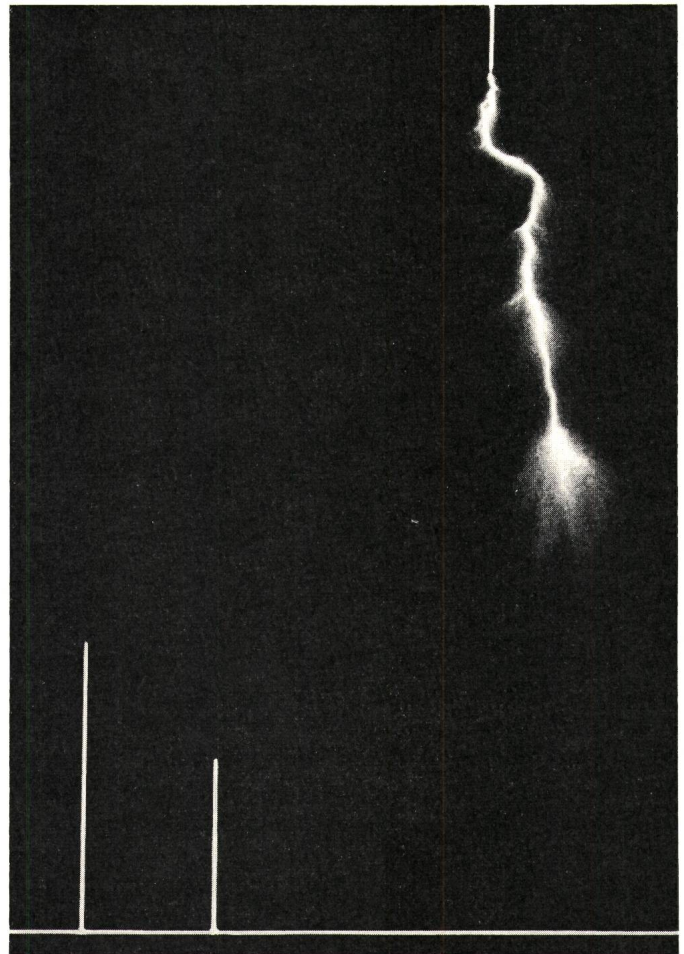


Fig. 2  
Vorentladungserscheinung an einer positiven Stabspitze



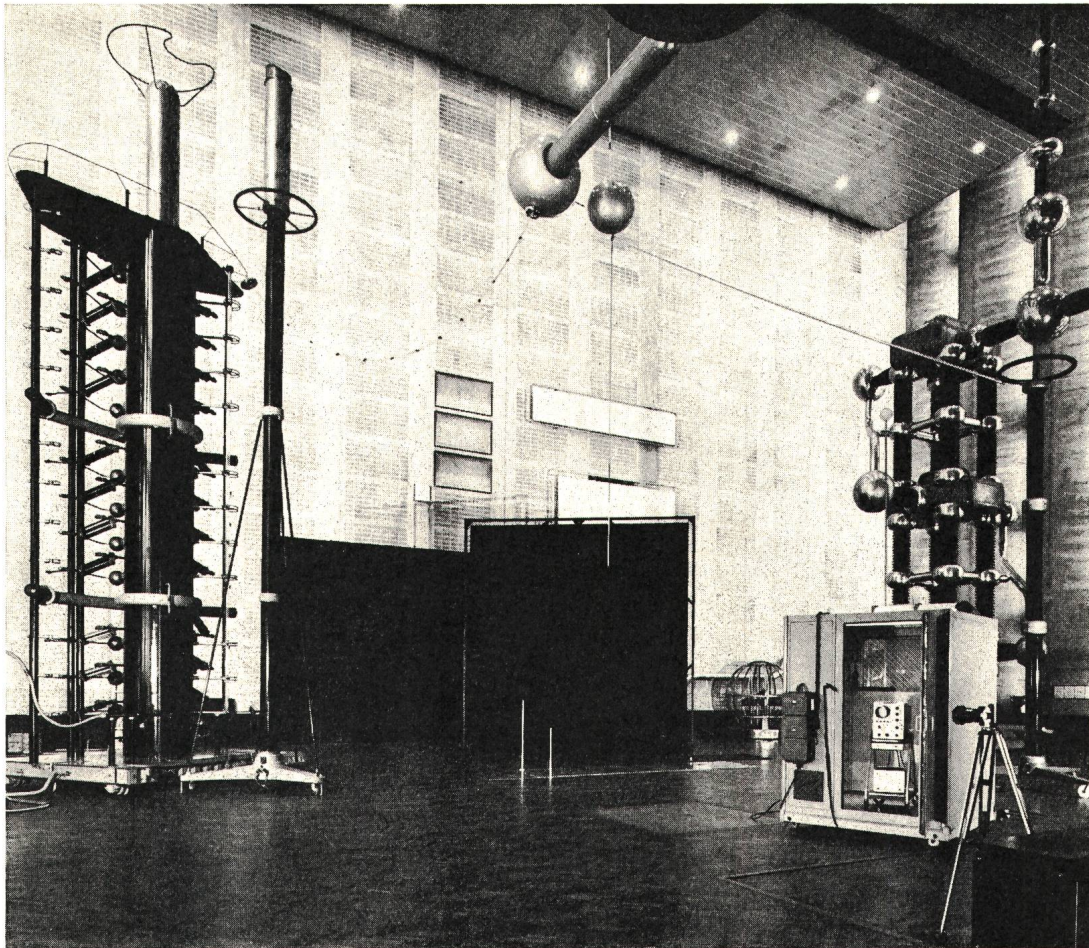


Fig. 3  
Modellversuchsanordnung mit 3-MV-Stossgenerator und Messeinrichtung

grossen Streuung entlang der Hauptentladungsrichtung Wolke-Erde verlaufen. Wie anders wären sonst auch Einschläge unterhalb der geerdeten Spitze eines Mastes möglich, wie man sie auf dem Monte San Salvatore, dem Empire State Building und dem Eiffelturm beobachtet hat <sup>3)</sup>.

Eine derartige Streuung im Bahnverlauf wird aber auch bei grossen Schlagweiten von Stoßspannungsdurchschlägen positiver Polarität beobachtet, wobei die Stirnzeiten um 100  $\mu$ s liegen. Fig. 1 zeigt zwei mögliche Entladungsbahnen des Mehrelektrodensystems Stab—Stab—Platte bei dieser Spannungsbeanspruchung. Am Modellfangstab liegt der Einschlagspunkt unterhalb der geerdeten Spitze, da die Orientierung des Blitzes erst sehr spät, d. h. in geringer Höhe über der Platte erfolgt, um sich dann ähnlich wie in der Natur der Fangvorrichtung weitgehend horizontal anzunähern.

Bei den Modellversuchen wird eine positive Schaltstossspannung mit der geforderten Stirnzeit verwendet. Diese Spannungsart besitzt für grössere Schlagweiten eine der natürlichen Blitzentladung sehr ähnliche charakteristische Leaderentladung, die aufgrund ihres geringen Längsgradienten von ca. 1 kV/cm das Hochspannungspotential weit in den Raum vorzuschieben vermag. Der Leader entwickelt sich ruckstufenartig gegen die geerdeten Elektroden vor, die in Fig. 2 aus zwei Stäben und einer als helle Linie angedeutete Platte bestehen. Am Kanalkopf bilden sich Leuchtfadenentladungen (streamer) aus, die über die nächste Stufe des Bahnverlaufs entscheiden.

<sup>3)</sup> K. Berger: Zusammenfassung der Diskussionen der Gruppe II. 8. Int. Blitzschutzkonferenz, Krakau 1965.

Daraus ergibt sich ein ausgeprägter Abtasteffekt bezüglich geerdeter Elektroden im Vorentladungsstadium.

Die Versuche fanden im Hochspannungsinstitut der Technischen Universität München statt [9] (Fig. 3). Als Spannungsquelle diente ein 12stufiger 3-MV-Stossgenerator. Die Modellanordnung bestand aus einem Mehrelektrodensystem. Vor einer photographischen Zwecken dienenden 5 · 5 m<sup>2</sup> grossen, schwarzen Leinwand ist in Fig. 3 der Fangstab und der das zu schützende Objekt darstellende kleinere Probestab zu erkennen. Beide Stäbe stehen auf einer 5 · 2,5 m<sup>2</sup> grossen Fläche aus Aluminiumplatten.

Während der Versuche wurde für eine bestimmte Anordnung, deren geometrische Grössen aus Fig. 4 zu ersehen sind, der Abstand  $a$  zwischen dem Fangstab (2) und dem Probestab (3) zur Ermittlung verschiedener Einschlagshäufigkeiten variiert. Die Höhe  $H$  der spannungführenden Elektrode, d. h. des Modell-Blitzkopfes (1), blieb auf dem konstanten Wert von 400 cm. Der seitliche Abstand  $A$  wurde so gewählt, dass nur ca. 50 % aller Einschläge in den Fangstab erfolgten, um eine für den Schutzraum ungünstige Lage des Modell-Blitzkopfes zu fixieren.

Die Einschlagshäufigkeit  $H_e$  wurde für verschiedene Modell-Höhenverhältnisse  $H/h_0$  bei den Probestabhöhen  $h = (0,3 \dots 0,6 \dots 0,8) h_0$  bestimmt und wie im Beispiel von Fig. 4 im Wahrscheinlichkeitsnetz aufgetragen. Im allgemeinen ergab sich in der normierten Darstellung ein «Schutzraumfächer» (Fig. 5) je nach gewählter prozentualer Einschlagswahrscheinlichkeit.



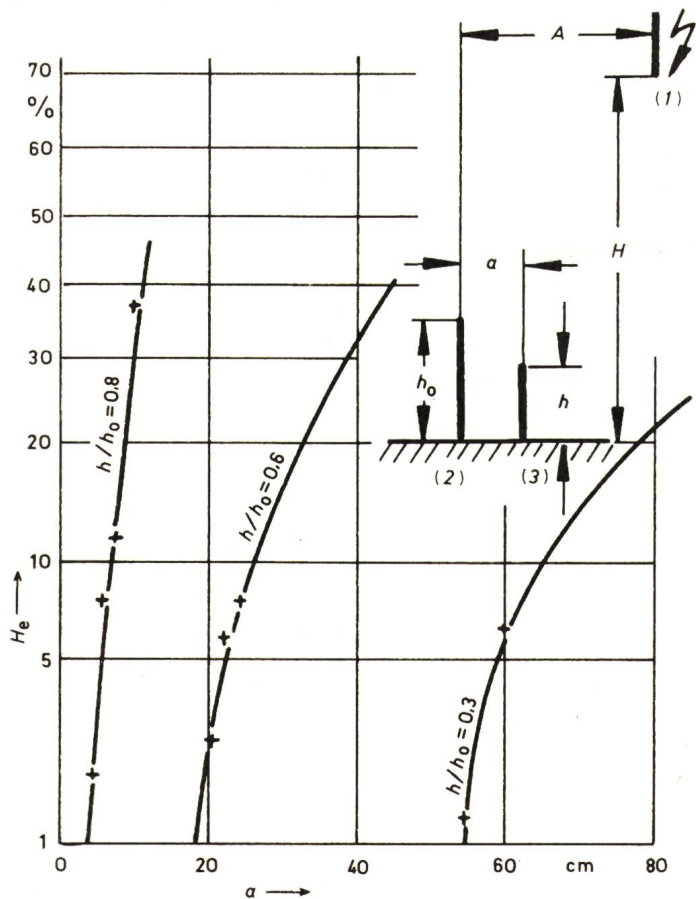


Fig. 4  
Einschlagshäufigkeit des Probestabes  
(1) Modell-Blitzkopf  
(2) Modell-Fangstab  
(3) Probestab

$H_e$  Einschlagshäufigkeit;  $a$  Abstand zwischen Probestab und Fangstab;  $A$  Abstand des Fangstabes von der Achse der spannungführenden Elektrode;  $h$  Probestabhöhe;  $h_0$  Fangstabhöhe 80 cm;  $H$  Modell-Blitzkopfhöhe 400 cm.

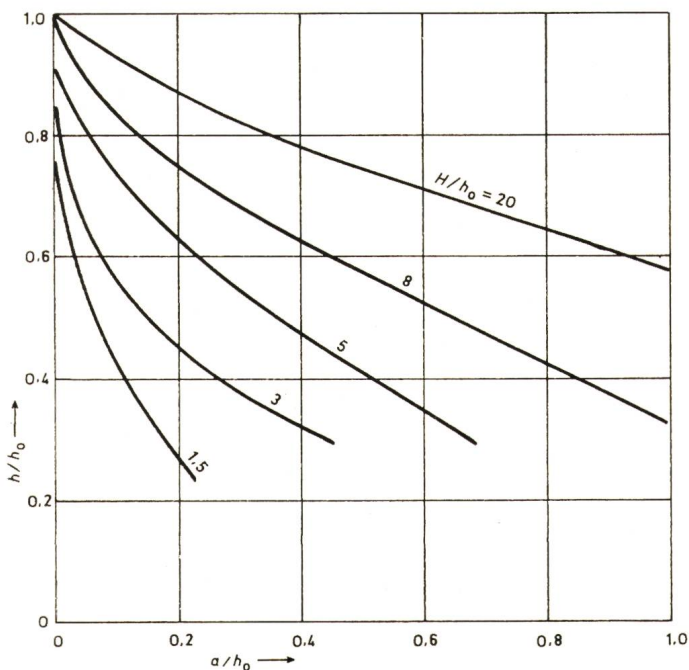


Fig. 5  
Genormte Schutzraumkurven für 1%ige Einschlagswahrscheinlichkeit  
Bezeichnungen siehe Fig. 4

#### 4. Transformation Modell—Natur

Nach dieser rein experimentellen Schutzraumbestimmung müssen die Messergebnisse auf die entsprechenden natürlichen Grössen übertragen werden. Dabei liegt die Problematik dieser Transformation in der Wahl der richtigen Bezugsgrössen.

Die erste Bezugsgrösse ist die Höhe  $h_k$  der kritischen Modell-Blitzkopflage, in der die Entscheidung über den Einschlagsort fällt. Bisher wurde die Höhe der spannungführenden Elektrode als dieser direkt entsprechend angenommen. Bei den vorliegenden Untersuchungen wird jedoch aus der Photographie der Entladungsbahnen (Fig. 6) ersichtlich, dass die Entscheidung über den Einschlagsort nicht unmittelbar unterhalb der Elektrode erfolgt, da ein grosser Teil der Bahnen bis zu einem bestimmten Niveau relativ willkürlich (dem Leadermechanismus eigen) verläuft.

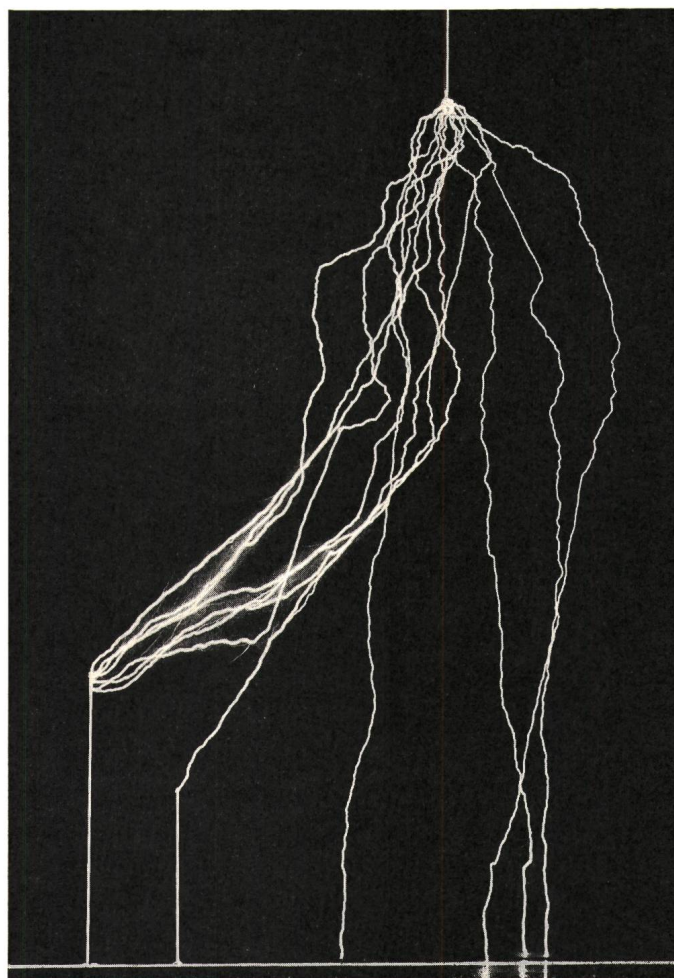


Fig. 6  
Entladungsbahnen zur Schutzraumbestimmung

Um eine mögliche Gesetzmässigkeit in der Streuung der Entladungsbahnen zu erkennen, wird eine statistische Auswertung vorgenommen, die mit grosser Sicherheit die Ermittlung des wahrscheinlichsten Bahnverlaufs gestattet (Fig. 7). Die gestrichelten Geraden stellen die beiden Tangenten an die Kurve in den Endpunkten dar und ergeben einen idealen Bahnverlauf. Die Berechtigung hierfür leitet sich aus dem Gedanken ab, dass in unmittelbarer Nähe der Elektroden jeweils nur das zugehörige elektrische Feld für den Bahnverlauf verantwortlich ist. In der Strecke dazwischen überlagern sich die Einflüsse. Deshalb ist die wahrscheinlichste Bahn dort stetig gekrümmt.



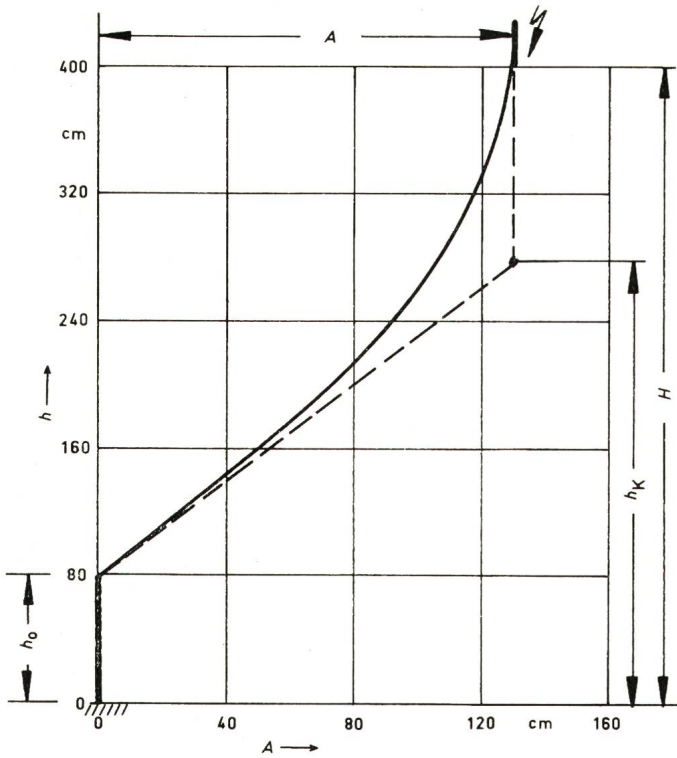


Fig. 7  
**Wahrscheinlichste Entladungsbahn**  
 $h_k$  kritische Modell-Entscheidungshöhe  
 Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 4

Die Höhe des Schnittpunktes der Tangenten bzw. des Knickes der idealen Bahn stellt somit die für die Transformation notwendige Modellgröße  $h_k$  dar und lässt gleichzeitig den Schluss zu, dass die Entscheidung über den Einschlagsort durchschnittlich um eine beachtliche Strecke unterhalb der Spitze ähnlich den natürlichen Verhältnissen in einem elektrodenlosen Raum erfolgt, was durch die Fig. 1 und 2 eindrucksvoll gezeigt wird.

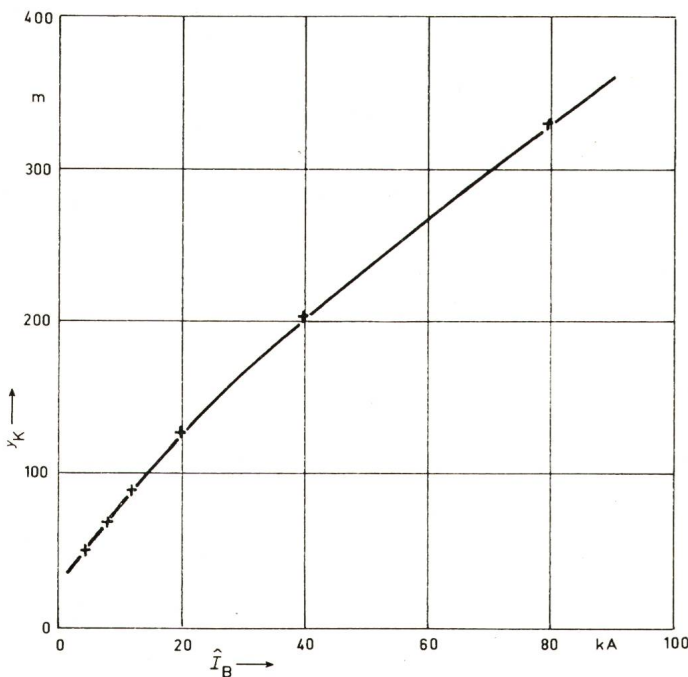


Fig. 8  
**Kritische Blitzkopfhöhe über dem Erdboden**  
 $y_k$  kritische Blitzkopfhöhe in der Natur;  $\hat{I}_B$  Blitzstromscheitelwert

Die zweite Bezugsgröße wird durch das Verhältnis  $h_k/h_0 = y_k/y_0$  bestimmt. Dabei bedeuten  $y_k$  die kritische Blitzkopfhöhe und  $y_0$  die tatsächliche Höhe einer Fangvorrichtung in der Natur. Es ist nötig, die Abhängigkeit der kritischen Höhe von den bekannten Blitzströmen zu wissen. Diese Funktion lässt sich analytisch berechnen, wenn man näherungsweise von einer rotationssymmetrischen Anordnung ausgehend den Blitzkanal als Linien- und den Blitzkopf als Punktladung darstellt [10]. Die Gewitterzentrumshöhe wird mit 3000 m angenommen. Nach der neueren Literatur [8; 11] über Funkenstrecken grosser Schlagweiten scheint eine mittlere Feldstärke von 1 kV/cm vertretbar zu sein. Die Kurve in Fig. 8 stimmt mit den Berechnungen von Golde [7] gut überein, wenn man auf den entsprechenden Feldstärkewert extrapoliert.

### 5. Einschlagswahrscheinlichkeit

Da es unwirtschaftlich wäre, einen statistisch allzu sicheren Schutzraum anzugeben, muss eine Vereinbarung über zulässige Einschläge getroffen werden. Die bekanntesten Größen über

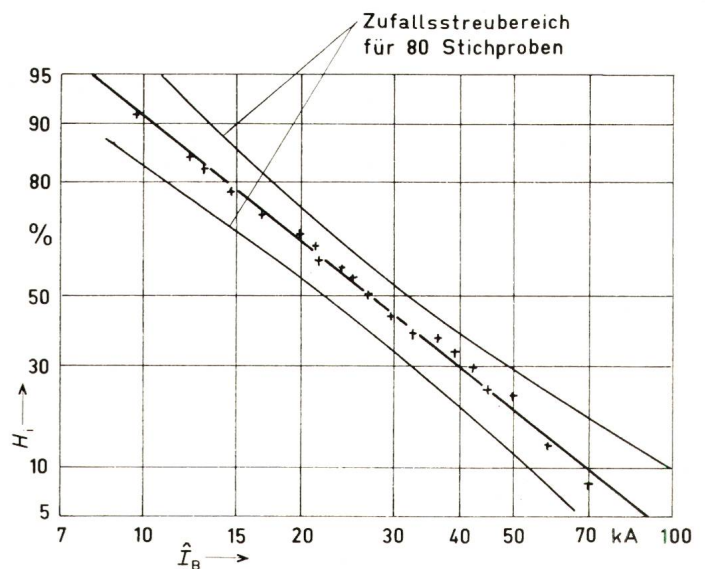


Fig. 9  
**Statistische Verteilung der Stromscheitelwerte negativer Abwärtsblitze mit Zufallsstreuungsbereich**  
 Minimalwert (95%-Wert): 8 kA  
 Maximalwert (5%-Wert): 90 kA  
 $H_i$  Summenhäufigkeit;  $\hat{I}_B$  Blitzstromscheitelwert

die Blitzentladung sind die Stromscheitelwerte. Meist wird die Summenhäufigkeit aller Ströme unabhängig von Polarität und Vorwachsrichtung ermittelt.

Da für die Schutzraumbestimmung, wie bereits erwähnt, nur negative Abwärtsblitze in Frage kommen, sollen allein deren Ströme herangezogen werden [2]. Trägt man die Werte in einem logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz auf [12], so lassen sich die Stichproben durch eine Gerade verbinden (Fig. 9). Der Minimalwert (95%-Wert) von 8 kA soll für die Schutzraumgrenze gelten, d. h. ein Blitzableiter soll nur vor Blitzen mit grösseren Strömen als 8 kA schützen. Diese untere Grenze scheint vertretbar zu sein, da kleinere Blitzstromstärken gemessen an den gesamten Schadenfällen wenig dazu geeignet sind, grosse kostenintensive Schäden zu verursachen [5].

Nach dieser Festlegung bleibt die für die Schutzwirkung interessante Frage nach der Einschlagswahrscheinlichkeit  $w_e$  für grössere Ströme bei einer gegebenen Höhe  $y_0$  der Fangvorrichtung. In den festgelegten Grenzen (Fig. 9) lautet dazu die allgemeine Lösung:

$$w_e(y_0) = \int_{8 \text{ kA}}^{90 \text{ kA}} w_1(I, y_0) \cdot w_2(I, y_0) \cdot \varphi(I) \cdot dI \quad (2)$$

Dabei bedeuten  $w_1(I, y_0)$  eine Funktion, die aufgrund experimenteller Untersuchungen der Einzugscharakteristik angibt, welcher Prozentsatz aller ein Objekt treffenden Blitze in eine kritische seitliche Blitzkopflage kommen können und  $w_2(I, y_0)$  eine Funktion, die die Einschlagswahrscheinlichkeit ausdrückt. Die Funktion  $\varphi(I)$  stellt die Wahrscheinlichkeitsdichte der Blitzstromscheitelwerte nach Fig. 9 dar.

### 6. Schutzraum von Fangstangen

Für die Bestimmung von Schutzräumen im Höhenbereich üblicher Wohngebäude wird eine Schutzsicherheit um 95 % als völlig ausreichend erachtet. In Fig. 10 ist die genormte Höhe

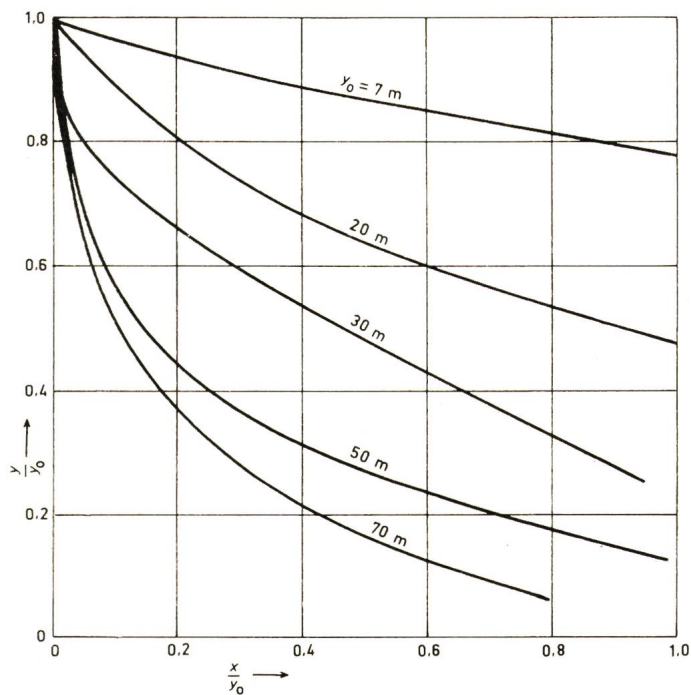


Fig. 10

#### Resultierender Gebäudeschutzraum in genormter Darstellung

$y$  Höhe über dem Erdboden;  $y_0$  Gebäudehöhe einschliesslich Fangstab;  $x$  seitlicher Abstand von der Fangvorrichtung in der Natur

$y/y_0$  der Schutzraumgrenze für Fangstabhöhen  $y_0 = 7...70$  m über dem Erdboden als Funktion des genormten seitlichen Abstandes  $x/y_0$  dargestellt.

Die experimentell ermittelten Kurven lassen sich durch Geraden annähern. Die Schutzraumbegrenzungen können im oben genannten Bereich durch folgende Beziehungen für die effektiv geschützte Gebäudehöhe  $y_{\text{eff}}$  und für den Gebäude-Schutzraumwinkel  $\alpha$  beschrieben werden:

$$y_{\text{eff}} = y_0 (1 - 0,0066 y_0) \quad \text{m} \quad (3)$$

$$\alpha = 70 - 0,35 y_0 \quad \text{Grad} \quad (4)$$

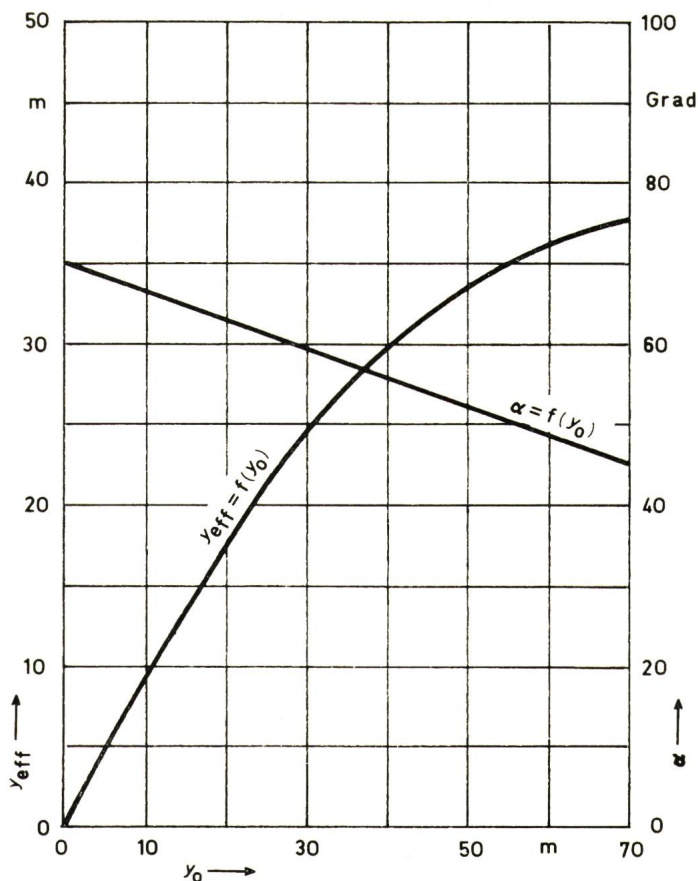


Fig. 11

#### Effektiv geschützte Höhe und Schutzraumwinkel

$y_{\text{eff}}$  effektiv geschützte Gebäudehöhe;  $y_0$  tatsächliche Höhe der Fangvorrichtung;  $\alpha$  Gebäude-Schutzraumwinkel

wenn die tatsächliche Höhe der Fangvorrichtung  $y_0$  in m eingesetzt wird. Die Funktionen (3) und (4) sind in Fig. 11 als Kurven dargestellt. Dies bedeutet für die Praxis, dass der Schutzraum erst um die Strecke  $y_0 - y_{\text{eff}}$  unterhalb der Fangstabspitze beginnt. Die ungeschützte Strecke wird um so länger, je höher die Fangstange angeordnet ist. Damit ergibt sich ein Schutzraum, der dem Umstand von beobachteten

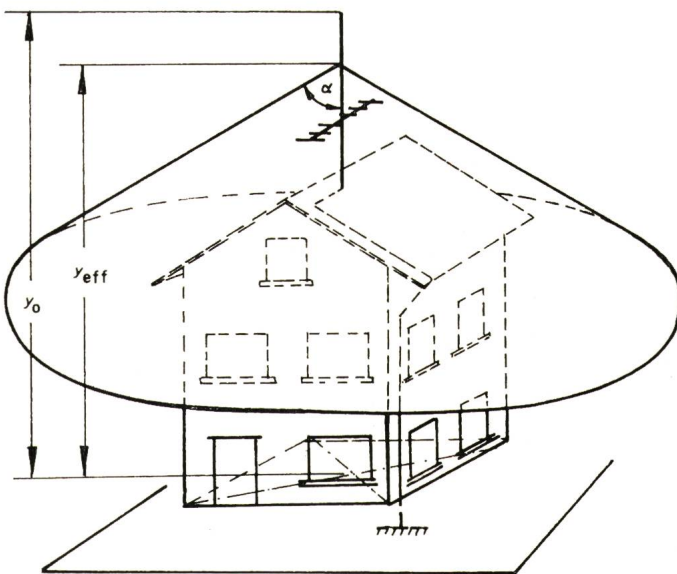


Fig. 12

#### Berechneter Schutzraumkegel für ein Wohngebäude

Bezeichnungen siehe Fig. 11



Einschlägen unterhalb einer Spitze Rechnung trägt bzw. eine horizontale Annäherung des Blitzes zulässt, wie Fig. 1 im Modell zeigt. Dieses anomale Verhalten gilt in der Natur hauptsächlich für stromschwache Entladungen, die der Erde relativ nahe kommen (siehe Fussnote 3).

Fig. 12 stellt den Anwendungsfall für ein Wohngebäude mit einer unter Einbeziehung aller zu schützenden Vorsprünge effektiven Höhe von 15 m dar. Aus Fig. 11 ergibt sich eine Fangstabhöhe von 17 m. Durch Verlängerung einer bereits vorhandenen, in der Mitte des Daches günstig aufgestellten Fernsehantenne lässt sich diese geforderte Höhe leicht erreichen. Es ist denkbar, dass auch andere Dachaufbauten als Fangvorrichtungen herangezogen werden können [5].

### 7. Schlussbemerkung

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Universität München unter grosszügiger Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Dafür spricht der Verfasser auch an dieser Stelle seinen Dank aus.

### Literatur

- [1] H. Prinz: Erschütterndes und Faszinierendes über gespeicherte Elektrizität. Bull. SEV 62(1971)2, S. 97...109.
- [2] 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.
- [3] K. Berger und E. Vogelsanger: Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955...1965 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 57(1966)14, S. 599...620.
- [4] A. Uman: Lightning. New York a. o., McGraw-Hill, 1969.
- [5] J. Wiesinger: Integration der Gebäudeinstallation in die Blitzschutzanlage. Bull. SEV 63(1972)3, S. 117...124.
- [6] J. Wiesinger: Blitzmodellversuche und Ersatzschaltungen für Erdblitze. Bull. SEV 58(1967)12, S. 517...520.
- [7] R. H. Golde: The lightning conductor. J. Franklin Institute 283(1967)6, p. 451...477.
- [8] K. Feser: Inhomogene Luftfunkenstrecken bei verschiedenen Spannungsbeanspruchungen. Dissertation, Technische Hochschule München, 1970.
- [9] H. Prinz: Feuer, Blitz und Funke. München, Verlag F. Bruckmann, 1965.
- [10] H. Steinbigler: Anfangsfeldstärken und Ausnutzungsfaktoren rotations-symmetrischer Elektrodenanordnungen in Luft. Dissertation, Technische Hochschule München, 1969.
- [11] B. Gänger: Elektrische Festigkeit von Luftisolierstrecken bei hohen Schaltspannungen. Bull. SEV 62(1971)4, S. 227...236.
- [12] J. Wiesinger: Blitzgeschützte Campingzelte. Blitz und Erde, Mitteilungen aus dem Hause Dehn 1(1970)1, S. 4...17.

#### Adresse des Autors:

Dipl.-Ing. F. Rühling, Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU-München, Arcisstrasse 21, D-8 München 2.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Elektrische Lichttechnik, Lampen Technique de l'éclairage, lampes

#### Linear polarisiertes Licht für Kraftfahrzeuge

535-45:629.113

[Nach H. J. Schmidt-Clausen und J. M. van Bommel: Über die Anwendung von linear polarisiertem Licht in der Kraftfahrzeugbeleuchtung Lichttechn. 24(1972)1, S. 19...22]

Durch den Einsatz von linear polarisiertem Licht in der Kraftfahrzeugbeleuchtung kann das Blendungsproblem gelöst werden. Es liegen bereits zahlreiche Untersuchungen mit einem Polarisationsystem vor, bei dem die Schwingungsachsen von Polarisator und Analysator unter einem Winkel von 45° zur Horizontalen verlaufen.

Damit das polarisierte Licht des entgegenkommenden Fahrzeuges maximal gelöscht wird, müssen die Schwingungsachsen vom Polarisator des einen und vom Analysator des anderen Fahrzeuges einen Winkel von 90° bilden. Abhängig vom Winkel der Schwingungsachsen von Analysator und Polarisator eines Fahrzeuges sind zahlreiche Polarisationsysteme zwischen den beiden Extremen des 0°-Systems und 90°-Systems möglich.

Die Blendungsstärke – definiert durch die Lichtstärke des Scheinwerfers eines entgegenkommenden Fahrzeuges, wenn der Abstand zwischen Beobachter und entgegenkommendem Fahrzeug 50 m beträgt – ist gesetzlich für unpolarisierte Kraftfahrzeugbeleuchtungen mit max. 0,15 lx festgelegt. Danach muss sich auch die Auswahl der Materialien für Polarisationsfilter richten.

Wird als Analysator die Analysatorbrille eingesetzt, so ist zu beachten, dass die laminierte Windschutzscheibe als Depolarisator wirkt und einen Anstieg der Blendungsstärke um Faktoren zwischen 1,2 und 31 bewirken kann. Messungen ergaben, dass mit zunehmendem Neigungswinkel der Windschutzscheibe (auf die Senkrechte bezogen) durch wachsende Depolarisation und Blendungsstärke der Sichtbarkeitsabstand abnimmt. Auch verändern Objekte auf der Strasse im polarisierten Licht ihre Reflexionseigenschaften.

H. Hauck

### Elektrische Traction — Traction électrique

#### Die neue U-Bahn in München

625.42:621.33 (43-2.6)

[Nach Siemens-Presseinformation Nr. 2.045-A]

Die Münchner U-Bahn gilt als eine der modernsten Untergrundbahnen der Welt. Sie fährt mit 750 V Gleichspannung. Zur Stromversorgung wurden drei Gleichrichterunterwerke mit Silizium-Gleichrichtereinheiten (800 V/3000 A), 10-kV-Mittelspannungsanlagen und mit Gleichstromverteilungsanlagen ausgerüstet. Gleichstromseitig kommen neue 4000-A-Schnellschalter mit elektronischem Stromanstiegsauslöser zum Einsatz.

Der erste Bauabschnitt der U-Bahn umfasst 16,16 Streckenkilometer.

Während der Olympischen Spiele werden 54 U-Bahn-Doppeltriebwagen der weissblauen Ausführung und sechs rote Leihzüge aus Nürnberg fast pausenlos im Einsatz sein. Jeder Doppeltriebwagen wird von vier 180-kW-Fahrmotoren in 12 s auf 40 km/h beschleunigt, um nach 35 s die Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h zu erreichen. Mit Hilfe der gleichen Motoren werden die Wagen auf einem Bremsweg von 200 m auch wieder ruckfrei bis zum Stillstand verschleissfrei abgebremst. Elektronische und elektromechanische Steuergeräte regeln Anfahrt und Bremsung.

Aus dem Bereich Signalanlagen sind vor allem fünf Stellwerke des speziell für Stadtschnellbahnen entwickelten SpDrS-U-Systems zu erwähnen. Sie umfassen zusätzlich zur üblichen Ausstattung Einrichtungen für selbsttätige Zugnummermeldung, Zuglenkung und für zuggesteuerte Zugzielanzeige; aussergewöhnliche Bedienungsvorgänge werden von sog. Störungsdruckern protokolliert. Ausserdem wurden Zentralblockeinrichtungen und stationäre Anlagen für linienförmige und punktförmige Zugbeeinflussung mit den dazu gehörenden Fahrzeugeinrichtungen eingebaut. Die Linienzugbeeinflussung arbeitet nach dem Kurzschleifen-system und ermöglicht ein automatisches Fahren mit optimaler Geschwindigkeit bei geringstem Energieverbrauch, 90 s Zugfolgezeit und zielgenaues Halten. Der Fahrer braucht auf dem jeweiligen Startbahnhof nur zwei Tasten zu betätigen; der Zug bewegt sich dann automatisch bis zu einem seiner Länge entsprechenden programmierten Haltepunkt auf dem nächsten Bahnhof.