

# Neuartiges Blitzschutzkonzept eines Fernmeldegebäudes

Autor(en): **Montandon, E. / Hadrian, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **75 (1984)**

Heft 1

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904333>

## **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.

# Neuartiges Blitzschutzkonzept eines Fernmeldegebäudes

E. Montandon und W. Hadrian

Die erhöhte Anfälligkeit elektronischer Anlagen gegenüber blitzbedingten Überspannungen ist allgemein bekannt. Im Zusammenhang mit der Einführung elektronischer Fernmeldeausrüstungen wurde diesem Aspekt bei der Errichtung des neuen Fernmeldegebäudes Ittigen bei Bern gebührend Beachtung geschenkt, indem ein Blitzschutzkonzept zur Anwendung gelangte, bei dem Blitzstromführungen durch das Gebäudeinnere so weit wie möglich vermieden werden sollen. Die Wirksamkeit dieses Konzeptes wurde durch Messungen der Schweizerischen PTT geprüft (1. Teil des Artikels) [1]. An der Technischen Universität Wien wurden im Rahmen der von der Internationalen Blitzschutz-Konferenz (ICLP) angeregten internationalen Zusammenarbeit Stromverteilungsuntersuchungen an einem Modell des Fernmeldegebäudes Ittigen durchgeführt (2. Teil).

On sait que les installations électroniques sont particulièrement menacées pour les surtensions dues à la foudre. Il en a été tenu compte pour l'aménagement des équipements électroniques dans le nouveau bâtiment des télécommunications d'Ittigen près Berne, par une conception de protection évitant le plus possible le passage du courant de foudre à l'intérieur du bâtiment. Son efficacité a été contrôlée par des mesures effectuées par les PTT suisses (première partie de l'article). A l'Université Technique de Vienne, des mesures de répartition du courant ont été exécutées à un modèle du bâtiment des télécommunications d'Ittigen, cela dans le cadre de la coopération internationale proposée par la Conférence internationale de la protection contre la foudre (seconde partie).

## Adressen der Autoren

E. Montandon, Generaldirektion PTT, Forschung und Entwicklung, 3030 Bern, und Dr. W. Hadrian, Technische Universität, Institut für elektrische Anlagen und Hochspannungstechnik, A-1040 Wien.

## 1. Teil: Blitzschutzkonzept und Untersuchungen am Originalgebäude

### 1. Einleitung

Als Fortsetzung der Untersuchungen an turmähnlichen Gebäuden wurden von der Generaldirektion PTT, Forschung und Entwicklung, unter Ausnützung der gesammelten Erfahrungen mit einem entsprechend ausgebauten Instrumentarium an einem neu erstellten Fernmeldegebäude (Fig. 1) Blitzkopplungsmessungen durchgeführt, und zwar vor Installation der Betriebsausrüstungen.

Das bei diesem Gebäude angewandte Blitzschutzkonzept beruht auf dem in Figur 2b gezeigten Prinzip zur Blitzstromableitung. Untersuchungsziele waren:

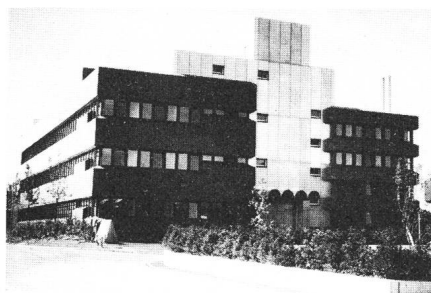


Fig. 1 Fernmeldegebäude Ittigen, Ostfassade  
Abmessungen des Gebäudes etwa 65×35×15 m

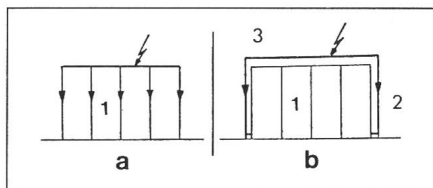


Fig. 2 Prinzipien zur Blitzstromableitung

- a Ableitungen im Gebäudeinnern
- b Ableitung nur über Aussenhaut (Metallfassade)
- 1 Gebäude
- 2 Metallfassade
- 3 engmaschiges Fangnetz

a) Die Ermittlung blitzbedingter Überspannungen an gegebenen oder simulierten elektrischen und elektronischen Ausrüstungen.

b) Der Vergleich der Resultate, gewonnen mit zwei verschiedenen Blitzstrom-Einspeisungsarten, nämlich:

*Methode 1* mit Aussenspeisung des Blitzstromes und Innenmessung der auftretenden Spannungen. *Methode 2* mit Innenspeisung des Blitzstromes und Aussenmessung unter Anwendung des Reziprozitätsgesetzes [2]. Der Hauptvorteil dieser Stromspeisungsart liegt in der wesentlich kleineren Eigeninduktivität des Speisestromkreises, wodurch steilere Stossstromanstiege möglich sind, und zwar ohne Verlust an Stoskapazität und damit ohne Verlust an Stossenergie, Stossladung und Stossstrom, dies bei gleichbleibender Ladespannung.

c) Die Ermittlung des Einflusses der Blitzstrom-Rückleiteranordnung (Einzel- oder Mehrfachrückleiter).

Vorab sei das Reziprozitätsgesetz anhand von Figur 3 kurz in Erinnerung gerufen [3].  $I_1$  bzw.  $I_2$  sind eingespeiste Ströme.  $U_1$  bzw.  $U_2$  sind die resultierenden hochohmig gemessenen Spannungen. Die Impedanz  $Z_K$  des passiven, linearen Netzwerkes ist unabhängig davon, welches der beiden Tore des Vierpols (1 oder 2) als Stromeingang benützt wird.

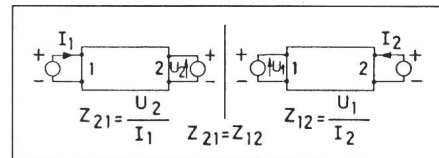
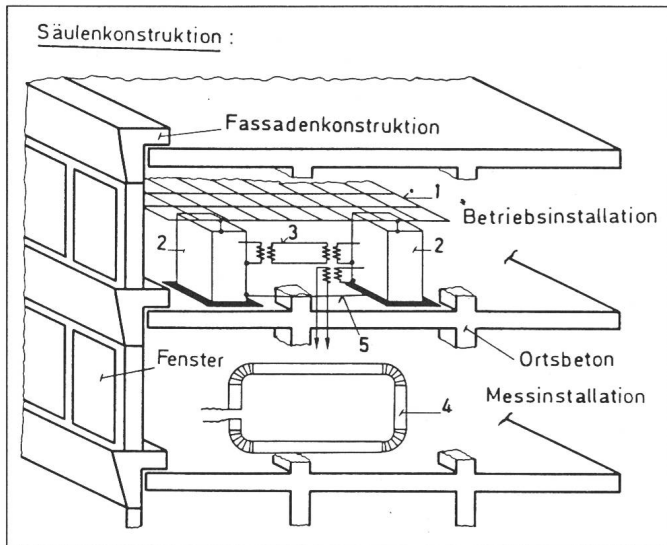


Fig. 3 Reziprozitätsgesetz



**Fig. 4**  
**Gebäudeaufbau in Säulenkonstruktion**

- 1 Kabelrost
- 2 Gestelle mit elektronischer Ausrüstung, isolierte Montage
- 3 Verbindungsleitungen über Symmetrie-Transformatoren
- 4 Induktionsschleife aus Kupferrohr (Messschleife)
- 5 Ausgleichsleitung

## 2. Gebäudeaufbau und Blitzschutz

Das für die Messuntersuchungen dienende Fernmeldegebäude besteht aus einer Säulenkonstruktion im Raster von etwa  $7 \times 7$  m, auf der alle Geschosse abgestützt sind (Fig. 4). Säulen und Decken bilden eine durchgehend armierte Ortsbetonstruktur. Die Fassaden bestehen aus metallenen Fensterelementen. Alle nicht verglasten Flächen besitzen eine Metallverkleidung aus Aluminium, welche mit den Fensterelementen elektrisch leitend verbunden ist, durchgehend von der metallenen Dachbrüstung bis auf Erdbodenhöhe.

Die Fassadentragkonstruktion ruht auf vorfabrizierten Betonelementen, die auf jeder Etage in die Ortsbetonkonstruktion eingehängt sind. Ausser auf Erdbodenhöhe besteht keine leitende Verbindung zwischen Ortsbetonarmierung und Metallfassade. Die Flachdachkonstruktion hat keine elektrisch leitenden Durchdringungen von der Fangleitungsanordnung auf die Gebäudearmierung. Die Fangleitungsanordnung, ein Maschengitter von  $60 \times 60$  cm bestehend aus  $20 \times 1$  mm Alu-Bändern, ist durch die Wärme- und Wasserisolation von der Armierung um mindestens 12 cm distanziert. Dabei wird die zusätzliche Luftstrecke infolge der Kiesbedeckung nicht zur Isolationsstrecke gerechnet. Die an allen Kreuzungspunkten vernieteten Alu-Bänder sind ringsum am Gebäudedachrand mit der Alubrüstung verschraubt.

Die Fangleitungsanordnung bildet somit den «Deckel einer Dose», deren Mantel in Form der Metallfassade als Ableitung dient. Die elektrisch beheiz-

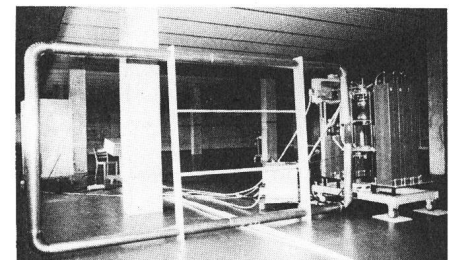
ten Dachentwässerungs-Leitungen sind *nicht* an das Fangleitungsnetz angeschlossen. Ebenfalls sind die Abdeckungen der Dachventilatoren nicht daran angeschlossen, da die Abdeckungen der Ventilatoren nur über ungenügende Luftdistanzen isoliert ist. Ein entsprechender Schaden bei einem direkten Blitzeinschlag in die Ablaufrohre oder in die Dachventilatoren muss somit in Kauf genommen werden. Selbstverständlich wäre es ein Leichtes, sich technisch auch gegen dieses Risiko zu schützen, indem die gefährdeten Elemente mit einer von ihnen genügend distanzierter und an die Fangleitungs-Einrichtung angeschlossene Abdeckung versehen würden.

Mit dieser äusseren Blitzschutzanlage soll verhindert werden, dass Blitz-

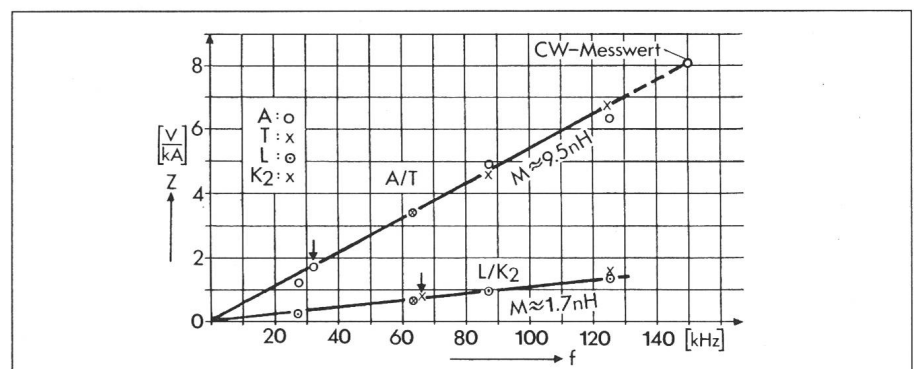
schläge die Dachhaut verletzen oder gar durchschlagen und dadurch Blitzstromanteile über die Tragsäulen durch das Gebäudeinnere fließen.

## 3. Anwendbarkeit des Reziprozitätsgesetzes

In Fig. 5 sind die Ergebnisse der Kopplungsimpedanz-Messungen in Funktion der Frequenz aufgetragen, und zwar für vier verschiedene Messanordnungen A, L,  $K_2$  und T (Tab. I). Für die Anordnung A wurde die Kopplungsimpedanz sowohl mit kontinuierlichen Frequenzen als auch mit periodisch gedämpften Stossströmen bei vier verschiedenen Grundfrequenzen gemessen. Diese vier Grundfrequenzen ergaben sich durch die Stosskapazitätsänderung von 0,25/0,5/1 und 4,65  $\mu$ F (Fig. 6). Sie betragen 125/87/63 und 27 kHz. In allen Fällen zeigt die Kopplungsimpedanz in Funktion der Frequenz eine Gerade. Die Kopplung ist somit zumindest für diesen Frequenzbereich induktiv. Alle Kurven wurden mit Innenspeisung/Aussenmessung aufgenommen.



**Fig. 6** Im Innern des Gebäudes: Stossstromanlage und Induktionsschleife im 2. Stock



**Fig. 5** Kopplungsimpedanz-Messungen ( $Z$ ) in Funktion der Frequenz ( $f$ )

Messschleife im 2. OG. Anordnung gemäss Tabelle I

Kurven aufgenommen mit Innenspeisung / Aussenmessung / Kontrollpunkte  $\downarrow$  mit Aussenpeisung / Innenmessung

A Werte mit Einzelrückleiter

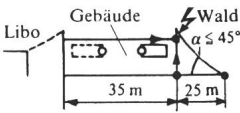
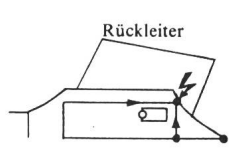
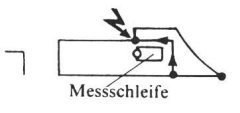
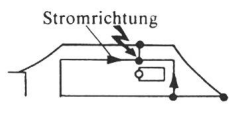
T Werte mit «Spinne» (6 Rückleiter), Rückleiterverteilung gleichmässig

L Werte mit Einzelrückleiter

$K_2$  Werte mit «Spinne» (6 Rückleiter)

$M$  Gegeninduktivität

CW Continuous wave

Anordnungsgeometrie	Einschlagort und Messschleife	Gegeninduktivität M (nH)	In die Messschleife im 2. OG induzierte Spannung bei Blitzschlag mit 100 kA/μs			Bemerkungen
			in Dachkante Wald	Libo	ins Fangnetz	
	Dachkante					Einzelrückleiter-Anordnung
	(A) Wald (L) Libo	9,3 1,6	930 V -	- 160 V	- -	
	Dachkante					6 Rückleiter (Spinne)
	(T) Wald (K <sub>2</sub> ) Libo	9,5 1,8	950 V -	- 180 V	- -	
	Fangnetz					Einzelrückleiter-Anordnung
(U) Wald	15,6	-	-	1560 V		
	Fangnetz					6 Rückleiter (Spinne)
(T <sub>3</sub> ) Wald	4,5	-	-	450 V		

A : Messanordnung A  
 ⚡ : Einschlagort

Dimensionen der Messschleife siehe Figur 4

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Reziprozität wurde bei den Anordnungen A und K<sub>2</sub> der Strom mit dem Stossgenerator *extern* eingespeist und die resultierende Spannung an der Kupferrohr-Schleife gemessen (Aussenspeisung/Innenmessung). Da nur eine einzige feste Stosskapazität ( $C = 0,165 \mu\text{F}$ ) für die Aussenspeisung zur Verfügung stand, konnte jeweils nur ein Punkt auf der Kurve kontrolliert werden (Fig. 5). Die resultierende Stossform hängt bei der Aussenspeisung selbstverständlich ebenfalls von der Induktivität des Stosskreises ab, also von der Geometrie. Deshalb stellt sich für jede Anordnung eine andere Grundfrequenz ein. Die Messwerte

decken sich innerhalb der Messgenauigkeit mit jenen der Innenspeisung. Damit ist die Anwendbarkeit des Reziprozitätsgesetzes auch für nicht turmähnliche Objekte nachgewiesen.

#### 4. Einfluss der Rückleiteranordnung bei Blitzschlägen in die Dachkanten

Aus Figur 5 (Messungen im 2. OG, Einschlagpunkt in Dachkante) geht hervor, dass die Messwerte für die Spinnenanordnungen T und K<sub>2</sub> mit jenen für die Einzelrückleiteranordnungen

gen A und L praktisch identisch sind. Für den Praktiker sind diese Ergebnisse ausreichend, um einzusehen, dass die Rückleiteranordnung zumindest für die Simulation von Dachkanteinschlägen keinen massgebenden Einfluss auf die Messresultate hat. Da der Aufwand für den Versuchsaufbau für Einzelrückleiter-Anordnungen wesentlich geringer ist (insbesondere dann, wenn Innenspeisung verwendet wird), lohnt sich die grosse Arbeit zur Installation mehrerer Rückleiter in keinem Fall. Oft erlauben zudem die örtlichen Verhältnisse einen regelmässigen Aufbau einer «Spinne» gar nicht.

Dass das Messresultat von der Rückleitergeometrie abhängig ist, zeigt Figur 7. Der Einfluss des Rückleiterdurchhangs lässt sich am einfachsten kontrollieren, wenn ein konstanter Strom mit konstanter Frequenz in einen Stromkreis eingespeist wird und die erzeugte Messspannung in Abhängigkeit des Durchhangs und der Distanz vom Gebäude beobachtet wird. Während die Anordnungen nach Figur 7b, c und d keinen bedeutenden Einfluss auf das Messergebnis haben, entsteht mit Anordnung nach Figur 7a eine beträchtlich grössere Messspannung. Die Erklärung hierfür wird in Abschnitt 8 gegeben.

Für die vorliegenden Messungen wurde die Anordnung nach Figur 7d beibehalten. Der Einfluss des Rückleiters ist dann minimal, wenn  $d \geq \frac{2}{3} a$  und  $\beta \geq 45^\circ$  sind. Selbstverständlich sind diese Bedingungen sowohl für Einfach- als auch für Mehrfachrückleiter-Anordnungen zu respektieren.

#### 5. Induzierte Spannungen in einer 2x4-m<sup>2</sup>-Messschleife in Abhängigkeit von Einschlagpunkt, Schleifenplatzierung und Rückleiteranordnung

Tabelle I gibt Auskunft über die bei einem Blitzschlag auftretenden Spannungen an der offenen Messschleife (4) nach Figur 4. Die induzierte Spannung berechnet sich aus der gemessenen Gegeninduktivität M und der gewählten Blitzstromsteilheit  $di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$  (sehr steiler Blitz).

Am meisten gefährdet sind im 2. OG beim Fenster Seite «Wald» platzierte Schleifen. Die Seite «Libo» ist etwa fünfmal weniger gefährdet als die Seite

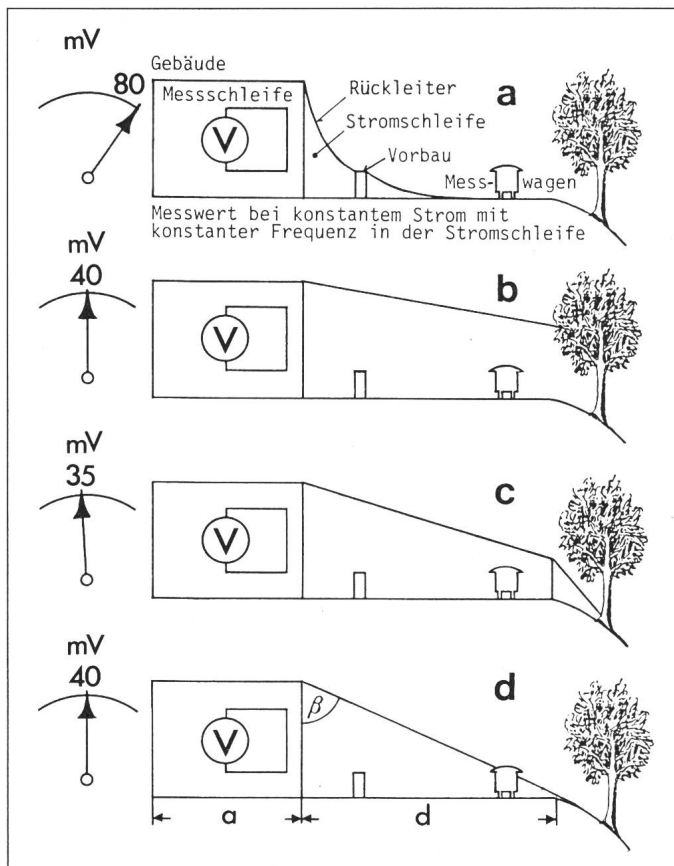


Fig. 7  
Einfluss des  
Rückleiterdurchgangs  
auf das Messergebnis

Gebäudearmierung verbunden ist. Der Nulleiter ist nur an einer Stelle in der Niederspannung-Hauptverteilung im Keller mit dem Schutzleiter verbunden. An verschiedenen Steckdosen im ganzen Gebäude wurden mit den Messanordnungen A und T nach Tabelle I folgende Spannungsarten gemessen (Tab. II):

Spannung  $U_1$ : Zwischen Fensterelement a (Fassade) und Schutzleiter (E). Diese Spannung ist die bei einem Blitzschlag auftretende Berührungsspannung zwischen einem genullten Gerät und dem Fensterelement.

Spannung  $U_2$ : Zwischen Fensterelement a und Nulleiter (N). Diese Spannung beansprucht nur die Isolation der Installation. Als Überspannung tritt  $U_2$  auch zwischen Phasenleiter und Fensterelement auf.

Spannung  $U_3$ : Zwischen Schutzleiter (E) und Nulleiter (N). Diese Spannung beansprucht die Isolation oder die Überspannungsschutzelemente in einem genullten Gerät.

In Tabelle II sind die Resultate dargestellt.

## 7. Die Wirkungen von Hin- und Rückleiter

Die vom Strom  $i_1$  erzeugten Magnetfelder sollen bezüglich ihrer Richtung anhand von Figur 8 untersucht werden.

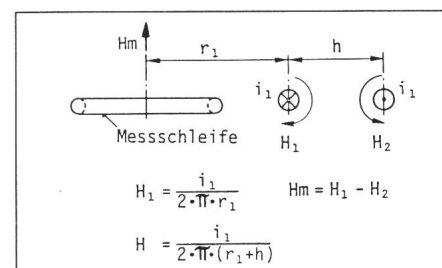


Fig. 8 Magnetfeldrichtungen bei Einzelleiter

«Wald». Für Dachkanteneinschläge liefern Einzel- und Mehrfachrückleiter-Anordnung gleiche Spannungswerte, sowohl für Seite Libo als auch für Seite Wald. Logischerweise verursacht die Messanordnung U (Einschlag ins Fangnetz, mit Einzelrückleiter) eine höhere Spannung als Messanordnung A oder T, da die Stromrichtungen  $\rightarrow$  beim Einschlag ins Fangnetz im Gegensatz zum Dachkanteneinschlag gleichsinnig auf die Messschleife wirken. Mit der Messanordnung  $T_3$  (Einschlag ins Fangnetz, mit Mehrfachrückleiter) wird jedoch eine kleinere Spannung erzeugt als mit Messanordnung U.  $T_3$  liefert sogar eine kleinere induzierte Spannung als T. Die Mehrfachrückleiter-Anordnung eignet sich deshalb nicht zur Simulation von Blitzeinschlägen ins Fangnetz.

In Figur 4 ist eine realistische Anordnung einer Fernmeldeausüstung angedeutet. In der gezeichneten Lage könnte ohne den Kabelrost (1) an den Symmetrier-Transformatoren (3) eine Spannung von knapp je 1000 V auftreten. Bei Installationen mit Kabelrost entstehen spannungsreduzierende Kurzschlusschleifen, so dass der kritische Spannungswert noch etwa 500 V beträgt.

## 6. Spannungen an Starkstrominstallationen beim Einschlag in die Dachkante

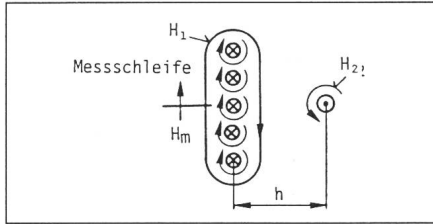
Die Betriebsräume besitzen den Fensterreihen entlang Brüstungskanäle, in denen in regelmässigen Abständen 220-V-Steckdosen montiert sind. Jede Etage hat eine Starkstromverteilung, bei der der Schutzleiter mit der

Überspannungen an 220-V-Starkstrominstallationen durch Blitzeinschlag in Dachkante mit  $\hat{I} \approx 100 \text{ kA}$ ; Anstiegszeit  $\approx 5 \mu\text{s}$  (Resultate unabhängig davon, ob Innen- oder Aussenspeisung verwendet)

Tabelle II

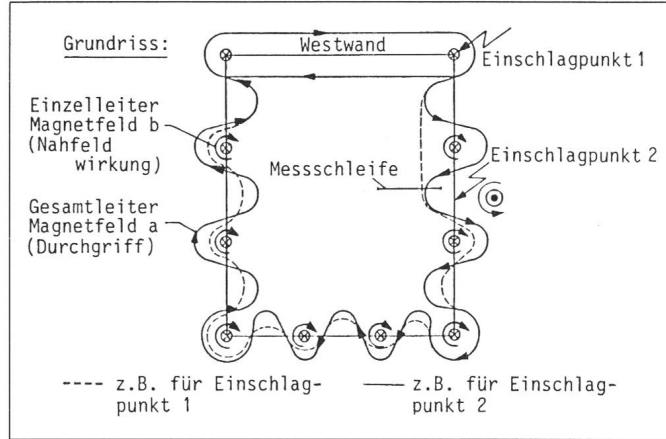
	Fassade - Schutzleiter	Fassade - Nulleiter	Nulleiter - Schutzleiter
	Spannung $U_1$ V/100 kA	Spannung $U_2$ V/100 kA	Spannung $U_3$ V/100 kA
2. OG	750	2200	2500
1. OG	100	2100	2100
EG	65	580	700





**Fig. 9 Magnetfeld-Richtungen bei mehreren parallelen Leitern**  
(harfenähnliche Anordnung)

den. Man erkennt, dass zwei entgegengesetzte Felder  $H_1$  und  $H_2$  die Messschleife durchdringen, wobei das Feld des nähergelegenen Leiters dominiert. Man sieht auch, dass die induzierte Spannung mit kleiner werdendem Abstand  $h$  abnimmt, da die beiden Felder sich aufzuheben beginnen. Verteilt sich der Strom  $i_1$  auf mehrere parallele Leiter, so wird das Feld  $H_1$  hinsichtlich seiner Wirkung auf die Messschleife kleiner (Fig. 9). Hinter einer unendlich

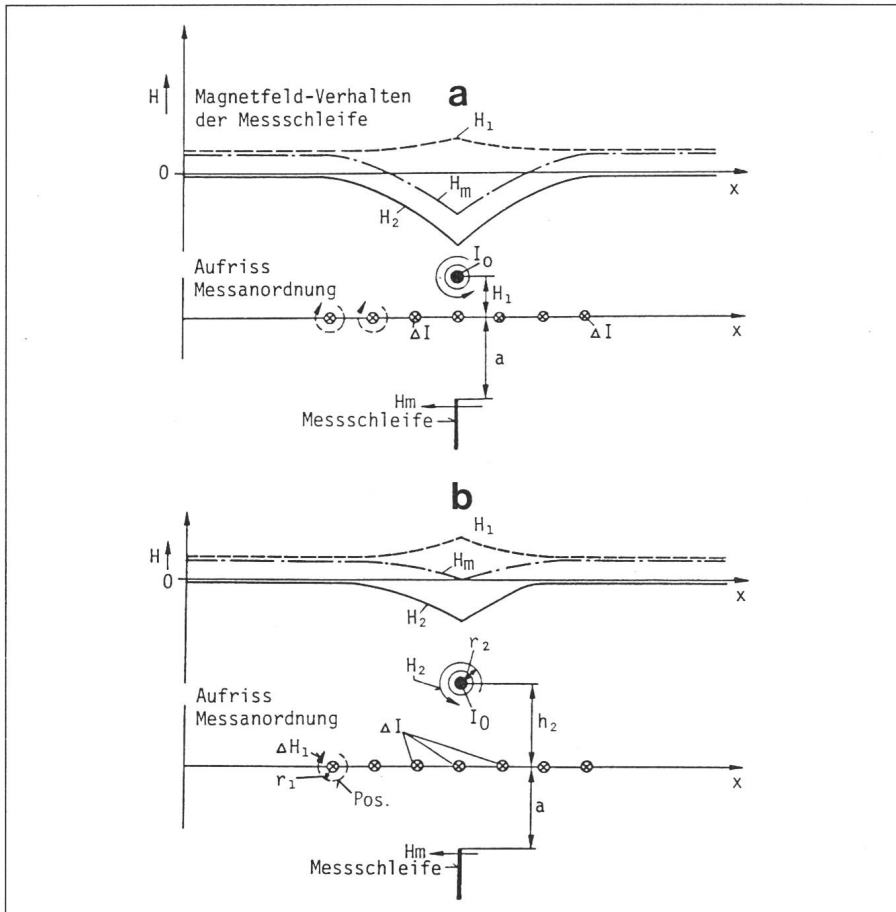


**Fig. 11 Vereinfachter Grundriss des Fernmeldegebäudes «Ittigen» mit Magnetfeldlinien**

grossen Metallplatte (anstelle der harfenähnlichen Leiteranordnung) wäre das resultierende Feld gleich null.

Mit Modellmessungen wurde die Situation für eine harfenähnliche Anordnung nach Figur 9 untersucht und dabei das in Figur 10 aufgezeichnete

Magnetfeldverhalten gemessen. Je nach Abstand  $h$  des Rückleiters von der «Harfe» wird das Magnetfeld ( $H_m$ ) in der Messschleife im Abstand  $a$  hinter der Harfe positiv, null oder negativ. Das Feld des Rückleiters dominiert mindestens bis zu einem Abstand  $h$ , der mehr als zehnmal den Abstand zwischen den Einzelleitern der Harfe beträgt. Mit kleiner werdendem Abstand  $h$  steigt die induzierte Spannung an, jedoch ist ihre Phasenlage entgegengesetzt zur Phasenlage resultierend aus Figur 10b.



**Fig. 10 Einfluss der Rückleiterhöhe  $h$  auf das resultierende Feld ( $H_m$ ) in einer Schleife in festem Abstand  $a$  vom Gitter**

a  $h_1 \approx h_2$ . Das resultierende Feld ( $H_m$ ) wechselt die Phasenlage je nach Position der Schleife entlang der  $x$ -Achse

b  $h_2 \approx 2h_1$ . Das resultierende Feld ( $H_m$ ) wechselt die Phasenlage nicht, weist jedoch ein deutliches Minimum auf.

$I_0$  Rückleiterstrom

$\Delta I$  Hinström in Gitterstab

$\Sigma \Delta I + I_0 = 0$

$\Delta H_1 = \Delta I / 2\pi r_1$

$H_2 = -I_0 / 2\pi r_2$

## 8. Einzelleitermagnetfeld und Durchgriffmagnetfeld

Werden diese Überlegungen auf den Grundriss der Anlage Ittigen übertragen, so entsteht bezüglich der auftretenden Magnetfelder die Figur 11. Man erkennt um das stromdurchflossene Gebäude ein Magnetfeld, welches bei den Öffnungen (Fenster = Harfenlücken) in das Gebäude eindringt (Durchgriff). Ausserhalb des Gebäudes unterstützen sich die Feldlinien des Durchgriffs (a) und diejenigen um die Einzelleiter (b). Innerhalb des Gebäudes sind sie einander entgegengesetzt. Nur in der Nähe eines Rückleiters unterstützt dessen Wirkung diejenige des Durchgriffs.

## 9. Schlussbetrachtungen und praktische Hinweise

Aufgrund der zahlreichen Messresultate, Messvergleiche und entsprechend gründlichen Auswertungen soll ein Konzentrat der wichtigsten Erkenntnisse in Form praktischer Hinweise vorgelegt werden. Im folgenden wird von zwei Gebäudekategorien hinsichtlich baulicher Blitzschutzmassnahmen gesprochen.

Zur Gebäudekategorie 1 gehört das Messobjekt, ferner gehören sämtliche Eisenbeton-Konstruktionen mit durchgehend elektrisch leitender Armierung in allen Aussenwänden dazu. Spezielle Hochbauten (z. B. Fernmeldtürme) sind davon ausgeschlossen.

Zur Gebäudekategorie 2 gehören alle übrigen Bauten, für die ein einfacher bauseitiger Blitzschutz konventioneller Art besteht. Da die blitzbedingten Bedrohungswerte für installierte Ausrüstungen je nach Gebäudekategorie um Grössenordnungen auseinanderliegen, werden Ausrüstungen in Gebäuden der Kategorie 1 als *nicht blitzexponierte* Ausrüstungen und jene in Kategorie 2 als *blitzexponierte* Ausrüstungen bezeichnet.

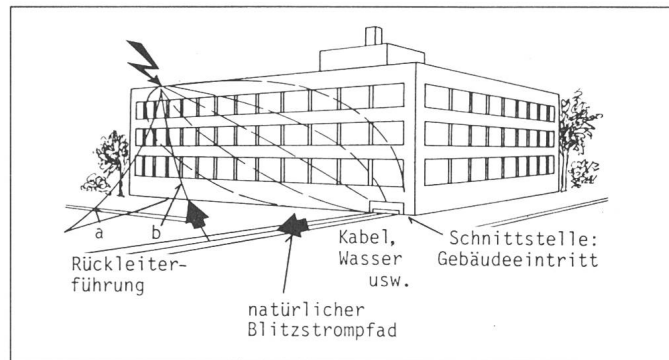
In 20 bis 30 m hohen Gebäuden der Kat. 1 dürfen elektronische Anlagen auch im obersten Geschoss betrieben werden. Die bauseits nötigen Blitzschutzmassnahmen sind bereits im Vorprojekt zu berücksichtigen. In Gebäuden der Kat. 2 ist bei der Raumbelegung der beträchtlich höheren Blitzgefährdung insbesondere in den oberen Stockwerken oder in der Nähe von blitzstromführenden Ableitungen besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Zusätzliche bauliche oder apparative Blitzschutzmassnahmen sind vorzusehen.

In Gebäuden der Kat. 1 sind pro 15 m Gebäudehöhe Stossüberspannungen von 2,5 kV Form 1,2/50 zu erwarten, und zwar zwischen Phasen- und Schutzleiter, Null- und Schutzleiter sowie Phasen- bzw. Nulleiter und Fangleitungen. Diese Überspannungswerte treten im obersten Geschoss des Gebäudes und an Installationen wie Liftmaschinen, Dachablaufheizungen, Rohrbegleitheizungen, Dachventilatoren auf, unter der Voraussetzung, dass der Nulleiter *nicht* in einem der obern Geschosse geerdet ist. Bei Anlagen mit Trafostationen in oberen Stockwerken treten diese Spannungswerte in den untern Geschossen auf. Diese Stossspannungswerte werden von den üblichen Starkstrominstallationen ertragen. In Gebäuden der Kat. 2 sind an denselben Installationen Stossspannungswerte von 100–200 kV pro 15 m Gebäudehöhe zu erwarten. Der höhere Wert gilt für Stellen in der Nähe des Blitzeinschlages [5].

Die genannten Überspannungswerte in Starkstrominstallationen wirken sich als Gleichtaktspannungen (auch asymmetrische Spannungen genannt) an Netzgeräten aus. Die Stossspannungen werden durch die Kapazität

**Fig. 12**  
Natürlicher Blitzstrompfad und Simulation

Rückleiterführung a:  
Behinderung des natürlichen Blitzstrompfades  
Rückleiterführung b:  
Begünstigung des natürlichen Blitzstrompfades



zwischen Primär- und Sekundärseite auf die Sekundärseite übertragen und können in erster Linie zu Zerstörungen von Gleichrichtern, Zerhackern usw. führen. Selbstverständlich ist dieser Aspekt auch bei langen Signalkabelanschlüssen symmetrischer und asymmetrischer Betriebsart gebührend zu berücksichtigen.

In Gebäuden der Kat. 1 sind die induzierten Überspannungen auf Verbindungen zwischen einzelnen Gestellreihen gering (etwa 500 V, siehe Abschnitt 5). Mit geringem installationstechnischem und apparativem Aufwand sind diese Überspannungen zu beherrschen.

Für Gebäude der Kat. 2 sind die Überspannungen auf Verbindungen zwischen einzelnen Gestellreihen in der Nähe des Einschlagortes jedoch um zwei Grössenordnungen höher, d. h.: etwa 25–50 kV [5]. Die von den einzubauenden Schutzelementen zu absorbierende Energie steigt mit der Spannung im Quadrat, so dass sich ein Schutz mit Suppressor-Dioden allein nicht mehr bewerkstelligen lässt. In solchen Fällen wäre eine Kombination von Gasableitern und Suppressor-Dioden erforderlich.

An Gebäuden der Kat. 1 werden bei Simulation der Dachkanteneinschläge sowohl mit der Einzelrückleiter- als auch mit der Mehrfachrückleiter-Anordnung (Spinne) dieselben Spannungswerte erzielt, dies sowohl für Kopplungen auf kleine Messschleifen als auch für Kopplungen auf ausgedehnte Infrastrukturinstallationen (Starkstrom). Bei der Simulation von Einschlägen *innerhalb des Dachrandes* zeigten sich Unterschiede zwischen Einzelrückleiter- und Spinnenanordnung im Verhältnis 3:1. Die Unterschiede in den blitzbedingten Spannungen abhängig vom Einschlagort (z.B. in nördliche oder in südliche Dachkante) ergaben ein Verhältnis von 5:1.

Diese Unterschiede sind also grösser

als die grössten Unterschiede von der Rückleiteranordnung. Da kein Ingenieur die apparativen Schutzmassnahmen innerhalb desselben Gebäudes in Abhängigkeit des Einschlagortes masschneidert, wird ein einziges Bedrohungsniveau gewählt, das sich vernünftigerweise nach den ungünstigsten Werten richtet, weil niemand weiss, in welchen Gebäudepunkt ein Blitz einschlagen wird. In diesem Zusammenhang muss der Messspezialist sich auch überlegen, welche Pfade ein Blitzstrom bei seiner Ableitung wählen wird. Da Schnittstellen in der Regel auch Schwachstellen sind [4], müssen u. U. auch Kabeleinführungen in die Messungen einbezogen werden. Dies ist durch geeignete Wahl der Rückleiterführung möglich (Fig. 12). Mit der Rückleiterführung b) muss jedoch insbesondere bei Breitbandmessungen die Gefahr der grösseren Störbeeinflussung der Messung durch Fremdstrom-Einkoppelung beachtet werden.

Unabhängig von der Wahl des Rückleiters (Spinne oder Einzelrückleiter) müssen mehrere Einschlagorte gemessen werden. Parallel zum Dachgeführte Rückleiter sollten vom Dach-Fangleitungsnetz eine Distanz von etwa zehnmal dem Abstand zweier paralleler Fangleitungen aufweisen. Betreffend der vertikalen Rückleiterführung sei an Abschnitt 4 erinnert.

Bei der «Spinnenanordnung» sollte die Stromverteilung in den Rückleitern bekannt sein. Dies ist wichtig zur Beurteilung von Kompensationseffekten. Für Gebäude der Kat. 2 lassen sich die kritischen Kopplungen am einfachsten berechnen. Da nur wenige Fang- und Ableitungen vorhanden sind, kann in der Nähe eines angenommenen Einschlagortes der halbe Blitzstrom in die Rechnung eingesetzt werden (Stromverteilung nur in zwei Richtungen). Für praktische Hinweise über die zu erwartenden Spannungen genügen die berechneten Werte aufgrund der Angaben in [5].

## 2. Teil: Untersuchungen am Modellgebäude

### 10. Einleitung

Bei Untersuchungen an Gebäude-Modellen ist es erforderlich, den physikalisch sehr komplexen Vorgang eines direkten Blitzschlages stark zu vereinfachen [6]. Das Schwergewicht der Modelluntersuchungen liegt auf der Ermittlung der Verteilung des Blitzstromes auf die Ableitungen und Verbindungsleitungen des Blitzschutzsystems. Hat man die Blitzstromverteilung für einen gegebenen Einschlagpunkt ermittelt, so ist es prinzipiell möglich, sowohl die magnetische Feldstärke in einem beliebigen Punkt innerhalb des Gebäudes als auch den magnetischen Fluss durch eine Leiterschleife zu berechnen. Somit ist man in der Lage, bei einer vorgegebenen Anstiegsgeschwindigkeit des Blitzstromes die in der Schleife induzierte Spannung zu bestimmen.

Da für die Berechnung der zu erwartenden Stromverteilung bei grossen Gebäuden noch keine Rechenprogramme existieren, wurde an der Technischen Universität in Wien eine Modelltechnik entwickelt. Die elektrisch leitenden Teile des Gebäudes werden durch ein räumlich vermaschtes Netzwerk aus Kupferdraht nachgebildet. Dabei schwankt der Modellmassstab zwischen 1:72 und 1:37. Um gleichartige Ausbreitungsverhältnisse wie im Original zu erhalten, erfolgt eine Verkleinerung der Impulsproportionen des «Modellblitzes» im Verhältnis des geometrischen Modellmassstabes. Die Erde wird unendlich leitfähig angenommen und modellmässig durch ein Metallgitter nachgebildet.

Bevor die Untersuchungen am Modell des Fernmeldegebäudes durchgeführt wurden, erfolgte die Untersuchung des Blitzschutzkonzeptes am Modell eines Gebäudes mit einfacher geometrischer Struktur. Dadurch werden die prinzipiellen Eigenschaften deutlich erkennbar [7].

### 11. Modell eines Gebäudes mit geometrisch einfachem Aufbau

Das Grundmodell stellt ein Gebäude dar, das sieben Geschosse besitzt. Dabei wird angenommen, dass die Bewehrungsseisen übereinanderliegender Säulen untereinander verbunden sind und somit einen durchgehenden elek-

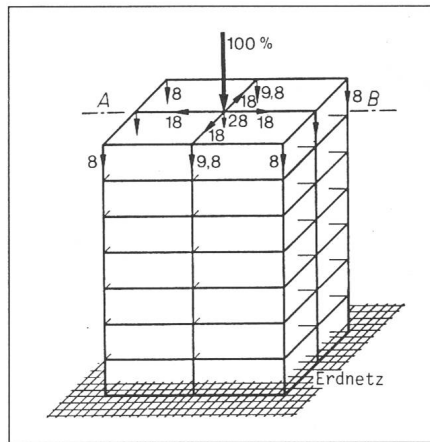


Fig. 13 Stromverteilung beim Blitzschutzkonzept der maximalen Vermaschung (Grundmodell)  
Werte in % des Gesamtblitzstromes

trischen Leiter bilden, der vom Dach bis zur Erde reicht. Weiter wird vorausgesetzt, dass in den einzelnen Geschossen die Säulen elektrisch leitend z. B. über die Bewehrung oder durch Verbindungsleitungen untereinander verbunden sind. Es liegt somit ein elektrisch leitendes, räumlich vermaschtes Netzwerk vor, wie es in Figur 13 dargestellt ist. Dieses Grundmodell entspricht dem Blitzschutzkonzept der maximalen Vermaschung. Durch Erweiterung um eine Dachvermaschung und eine leitende Fassade wird daraus ein Konzept, das den Faradayschen Käfig möglichst gut zu realisieren versucht. In Figur 14 erkennt man die als zweite «Haut» ausgeführte Dach- und Fassadenkonstruktion. Bei der modellmässigen Nachbildung wurde weiter angenommen, dass in der Fassade sowohl in den Gebäudeecken als auch in der

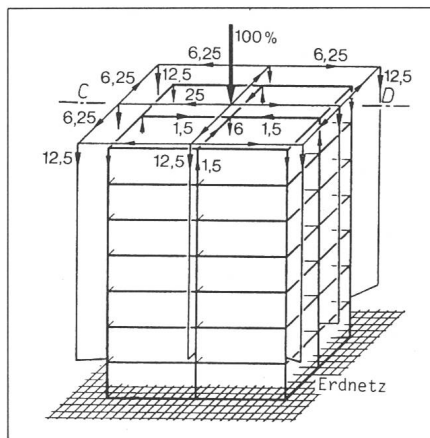


Fig. 14 Stromverteilung beim Blitzschutzkonzept mit zweiter «Haut» (zusätzliche Dach- und Fassadenkonstruktion)  
Werte in % des Gesamtblitzstromes

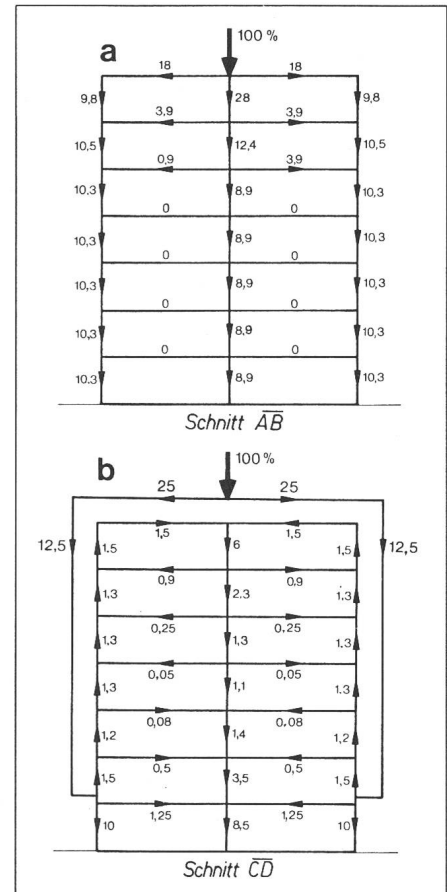


Fig. 15 Stromverteilung im Inneren der Gebäude  
a Grundmodell, Schnitt AB  
b Blitzschutzkonzept mit zweiter «Haut», Schnitt CD  
Werte in % des Gesamtblitzstromes

Mitte der Gebäudeseiten eine durchgehende, elektrisch leitfähige Verbindung vom Dach bis in die Höhe des ersten Geschosses besteht. Zusätzliche horizontale Verbindungen in der Fassade sind nicht vorhanden. Betrachtet man das 1. Geschoss des Modells als Kellergeschoss, dann entspricht die im Modell erfolgte elektrische Einbindung der Fassade in die Decke des 1. Geschosses in Wirklichkeit der Einbindung in den Fussboden des Erdgeschosses. Als elektrisch wirksame Erde wird jedoch die Bodenfläche des Kellers angenommen.

Figur 15 zeigt den Querschnitt AB bzw. CD der beiden beschriebenen Modellgebäude mit den gemessenen Vertikal- und Horizontalströmen. Die eingetragenen Zahlenwerte sind das Verhältnis zwischen dem gesamten Modellblitzstrom ( $I = 400 \text{ mA} = 100\%$ ) und dem Messwert im entsprechenden Ableiter, ausgedrückt in Prozenten.

Beim Grundmodell fliessen 18% des Blitzstromes symmetrisch über die horizontalen Verbindungen zu den Ab-



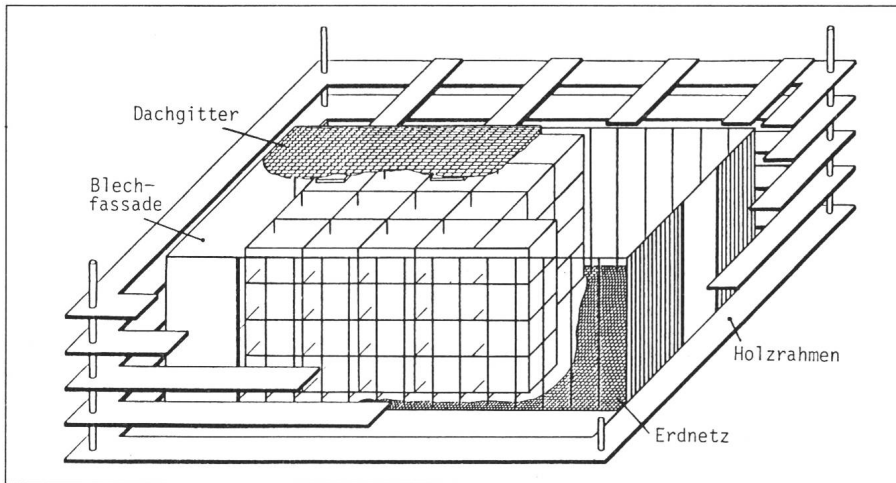


Fig. 16 Modell des Fernmeldegebäudes

leitern an den Seitenflächen. In der Säule unmittelbar unter der Einschlagstelle fließen 28%. Bemerkenswert ist, dass der Strom in der mittleren Säulenreihe von 28% im 7. Geschoss auf 8,9% in den unteren Geschossen abnimmt. Hingegen nimmt er in den äusseren Säulenreihen etwas zu. Es tritt eine Art Stromverdrängung zur Gebäudeausenhaut auf. Beim Modell nach Figur 14 teilt sich beim Mitteneinschlag von der Dachmitte aus der Blitzstrom symmetrisch über die horizontalen Verbindungsleitungen auf die Fassadenableiter auf. In diesen fließen 12,5% des Gesamtblitzstromes. Bemerkenswert ist die Stromverteilung in den Säulen im Inneren des Gebäudes. Wie Figur 15 zeigt, fliesst in den Säulen in der Mitte der Seitenflächen der Strom vom Erdgeschoss in Richtung Dach, um dann über den Mittelableiter zurück zur Erde zu fließen. Dieser Effekt erinnert an die Ausbildung von Wirbelströmen.

Betrachtet man die einzelnen Strombeträge, so ergeben sich beim Modell mit der zweiten «Haut» in der inneren leitenden Struktur (Säulen) wesentlich kleinere Ströme als beim Grundmodell. So ist z. B. in der mittleren Säulenreihe der Strom um den Faktor 5 und in den Aussenreihen um den Faktor 5 bis 10 kleiner.

Der Vergleich beider Konzepte zeigt, dass die Ströme im Inneren des Gebäudes stark reduziert werden und daher eine Verringerung der induzierten Spannungen zu erwarten ist.

## 12. Modell des Fernmeldegebäudes

Der Bau des Modells erfolgte nach den Plänen des Fernmeldegebäudes. Dabei konnten nicht alle Einzelheiten nachgebildet werden. Figur 16 zeigt

eine stark vereinfachte Zeichnung des Gebäudemodells.

Bei der Entwicklung der Gebäudemodelltechnik wurde berücksichtigt, dass der Planung von Gebäuden im allgemeinen ein starres geometrisches Grundraster zugrunde liegt. Im vorliegenden Fall des Fernmeldegebäudes beträgt dieses Grundraster  $7,4 \times 7,4$  m. In den Kreuzungspunkten dieses Koordinatensystems befindet sich je

eine tragende Säule. Der umbaute Raum wird somit in Zellen mit der Grundfläche  $7,4 \times 7,4$  m und der jeweiligen Geschosshöhe gegliedert. Zunächst muss diese Zellenstruktur nachgebildet werden. Jede Geschossebene besteht daher aus einem mit Kupferdraht kreuzgitterartig bespannten Holzrahmen. Die Knotenpunkte dieses Gitters entsprechen den Pfeilerkoordinaten. Durch Vertikalverbindungen der einzelnen bespannten Holzrahmen entsteht das Gesamtmodell. Der Modellmassstab musste so gewählt werden, dass die durch andere Modelluntersuchungen vorgegebenen Abmessungen der Holzrahmen möglichst optimal genutzt wurden. Die Grösse der Zellen ergab sich deshalb zu  $20 \times 20$  cm. Die Geschosshöhe im Modell beträgt 12 cm, dies ergibt einen Modellmassstab von 1:37.

Unter den vielen denkbaren Einschlagpunkten soll die Stromverteilung am Beispiel des Einschlages in die Dachmitte besprochen werden. Einen Überblick über die Stromverteilung in den einzelnen Fassadenableitern und Säulen innerhalb des Gebäudes gibt Figur 17. Die Darstellung des

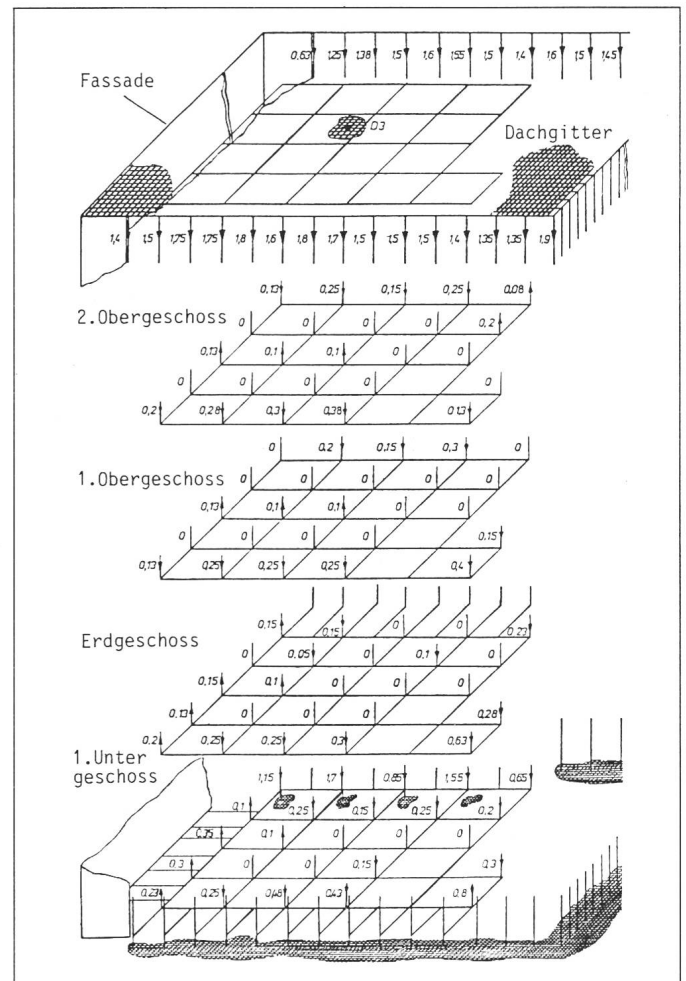


Fig. 17 Vertikalstromverteilung bei direktem Einschlag in Dachmitte  
Werte in % des Gesamtblitzstromes

Modells ist der Höhe nach etwas gedehnt, so dass die Schrägrisse der Geschosse und der Schrägriss des Daches eindeutig und übersichtlich dargestellt werden können. Das Dachgitter und das Erdnetz sind in der Darstellung nur angedeutet. Der Stern im oberen Teilbild markiert die Einschlagstelle im Dachgitter.

Die Stromwerte in den Fassadenableitern der Gebäudelängsseiten weisen untereinander nur geringe Unterschiede auf. In den beiden rechten Eckableitern fließt der grösste Strom 1,9 bzw. 1,8%. Der Strom über die Blechfassade lässt sich nur indirekt bestimmen, und zwar als Differenz zwischen dem Gesamtblitzstrom und der Summe der Ströme über die Fassadenableiter. Die Ströme durch die Säulen im 2. OG, 1. OG und im Erdgeschoss sind alle kleiner als 0,63%. Viele Säulen können im Rahmen der Messempfindlichkeit als stromlos angesehen werden. Betrachtet man die Stromrichtun-

gen, so erkennt man wieder Säulen, in denen der Strom von unten nach oben fließt. Die grössten Stromwerte innerhalb der Geschosse treten in den der Fassade nahestehenden Gebäudesäulen auf. Es ist somit auch hier eine Art Stromverdrängungseffekt festzustellen. Die grössten Ströme fließen erwartungsgemäss im 1. UG, da dort bereits ein Teil der Fassadenableiter in die inneren Gebäudeableiter eingebunden sind. Die Werte liegen zwischen 0,65 und 1,7%. Bei stichprobenartigen Messungen der Ströme in den horizontalen Verbindungsleitungen wurden Werte zwischen 0 und 0,5% festgestellt.

Besonders interessant ist ein Vergleich zwischen einem direkt gemessenen, induzierten Spannungswert und dem entsprechenden aus der Modelluntersuchung ermittelten Wert. Für einen Einschlagpunkt an der Dachkante ergibt eine stark vereinfachte Berechnung für eine Anstiegsgeschwin-

digkeit von  $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$  etwa 1000 V. Der gemessene Wert beträgt 950 V. Es ist somit eine gute Übereinstimmung festzustellen.

#### Literatur

- [1] E. Montandon und B. Beyeler: Blitzbedrohung von elektronischen und elektrischen Ausrüstungen im Innern von grossflächigen Gebäuden. Forschungsbericht VD 24.146 F. Bern, Generaldirektion PTT, 1983.
- [2] E. Montandon: Lightning induced overvoltages in buildings and installed equipment and recommendations for optimum protection. Report 78M3. 3rd symposium and technical exhibition on electromagnetic compatibility, Rotterdam, May 1...3, 1979; p. 415...420.
- [3] K. Küpfmüller: Einführung in die theoretische Elektrotechnik, 6. Auflage. Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1959.
- [4] E. Montandon: Blitzschutz netzgespeister Anlagen. Techn. Mitt. PTT 57(1979)4, S. 137...145.
- [5] P. Hasse und J. Wiesinger: Handbuch für Blitzschutz und Erdung, 2. Auflage. München, Pflaum-Verlag/Berlin-Offenbach, VDE-Verlag, 1982.
- [6] W. Hadrian: Die Blitzstromverteilung im Ableitersystem eines Gebäudes (Modelluntersuchungen). 15. Europäische Blitzschutzkonferenz, Uppsala, 25...29. Juni 1979; S. K2-17...K2-34.
- [7] W. Hadrian: Ableitung des Blitzstromes über die Fassadenebenen bei gleichzeitiger elektrischer Trennung vom übrigen Teil des Gebäudes. Modelluntersuchungen. Bericht 2.5 der 17. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Den Haag, 6.9...9.9.1983; S. 111...120.