

Der Blitzschutz hoher Gebäude

Prof. Dr. Volker Fritsch

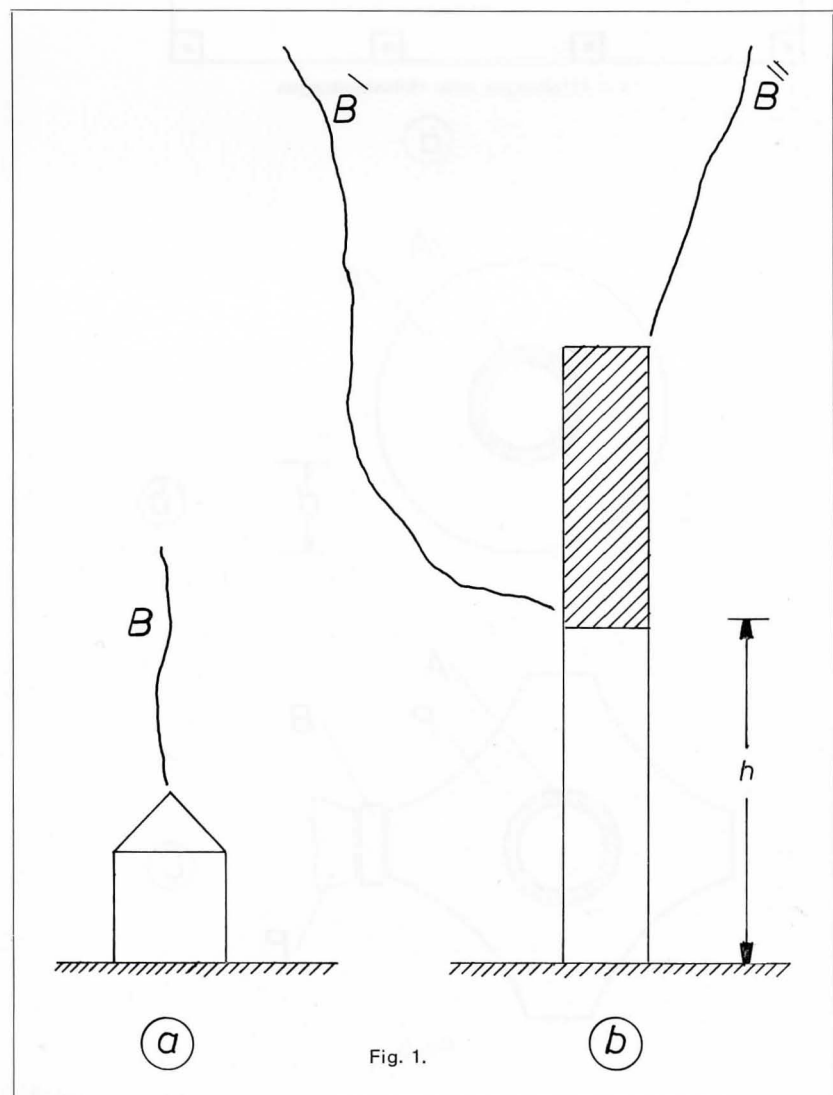
Hochhäuser gab es in Europa vor dem zweiten Weltkrieg nur in wenigen Städten und auch dort nur in geringer Zahl. Es darf daher nicht Wunder nehmen, daß die in den meisten Staaten geltenden Vorschriften und Leitsätze für das Blitzschutzwesen in erster Linie auf niedrige, meist sogar auf landwirtschaftliche Objekte ausgerichtet sind. Dies ist auch deshalb verständlich, weil in den meisten Ländern gute 70 bis 80 oder noch mehr % der Blitzschäden auf die Landwirtschaft entfallen. Nach dem zweiten Weltkrieg hat sich dies nun wesentlich geändert und zwar aus zwei Gründen: Zunächst hat die Zahl der Hochhäuser in allen Wirtschafts- und Verwaltungszentren bedeutend zugenommen, und diese Objekte enthalten heute meist eine große Zahl elektronischer Geräte, die bei schlechten Blitzschutzanlagen leicht zerstört werden können. Der Ausfall einer Fernschreibzentrale, einer elektronischen Rechenmaschine oder eines elektronisch gesteuerten Aufzuges kann wirtschaftliche Schäden bedingen, die bedeutenden Brandschäden an anderen Gebäuden durchaus gleichkommen. Daher ist es notwendig, die Blitzschutzmaßnahmen für Hochbauten den hier gegebenen besonderen Voraussetzungen anzupassen.

1. Allgemeines

Zunächst sind jene Unterschiede zu beachten, die sich in physikalischer und baulicher Hinsicht ergeben. Bei niedrigen Gebäuden haben wir es in unseren Gebieten meist mit negativen Abwärtsblitzen zu tun, also mit Entladungen, die durch eine von der Wolke zur Erde gerichtete Vorentladung eingeleitet werden. Bei Hochbauten sind es dagegen häufig positive Aufwärtsblitze. Wir wissen heute über die Aufwärtsblitze dank der Beobachtungen, die K. Berger am Observatorium des SEV am Monte Salvatore bei Lugano durchgeführt hat, recht gut Bescheid. Diese wach-

sen, da die Vorentladung von der Erde zur Wolke führt, meist aus Zonen mit hohem Spannungsgradienten hervor. Wichtig ist für uns ihre hohe Stromstärke. Während man bei den normalen Abwärtsblitzen meist mit Stromstärken unter 50 000 A rechnen kann, erreichen positive Aufwärtsblitze Werte von mehr als 100 000 A. Das bedeutet praktisch, daß wir bei der Projektierung von Blitzschutzanlagen auf Hochbauten mit doppelt so hohen Stromstärken rechnen müssen.

Aber auch die zu schützende Fläche des betreffenden Objektes ist wesentlich größer als bei niedrigen Gebäuden. Die heute in Kraft stehenden Vorschriften setzen eigentlich stillschweigend voraus, daß die Entladungsbahnen ungefähr senkrecht zur Erdoberfläche verlaufen (Fig. 1 a). Bei hohen Gebäuden muß man aber in größeren Höhen auch mit schräg verlaufenden Entladungen rechnen (Fig. 1 b). Die Höhe h kann man — durch Vergleich mit entsprechenden Modell-



Prof. Dipl.-Ing., sc. techn. Dr. Volker Fritsch, Staatlich autorisierte Versuchsanstalt für Geoelektrik und Blitzschutz, Wien

messungen – mit (h ca. 30 m) annehmen. Dies bedeutet, daß nicht nur die Dachfläche, sondern auch die schrägfürten Teile der Seitenfläche zu schützen sind. Schließlich muß man noch auf die baulichen Voraussetzungen Rücksicht nehmen. Die langen Ableitungen können nicht auf Stützen verlegt werden, weil in diesem Falle jede Reparatur die Errichtung kostspieliger Gerüste erfordern würde. Es wäre auch bei der Montage auf der Gebäudeoberfläche auf den in größeren Höhen doch schon recht starken Winddruck Bedacht zu nehmen. Ähnliche

Gesichtspunkte gelten auch für die Fangvorrichtungen am Dach. Die Erdungsanlage wieder ist auf die überbaute Grundfläche zu beschränken. Dies bedingt fast stets dreidimensionale Anlagen.

2. Fangvorrichtungen

Am günstigsten liegen die Verhältnisse, wenn das Dach metallisch gedeckt ist. In diesem Falle ersetzt das Blech jede andere Fangvorrichtung. Die Mindeststärke sollte allerdings 0,5 mm betragen. Wenn man von der

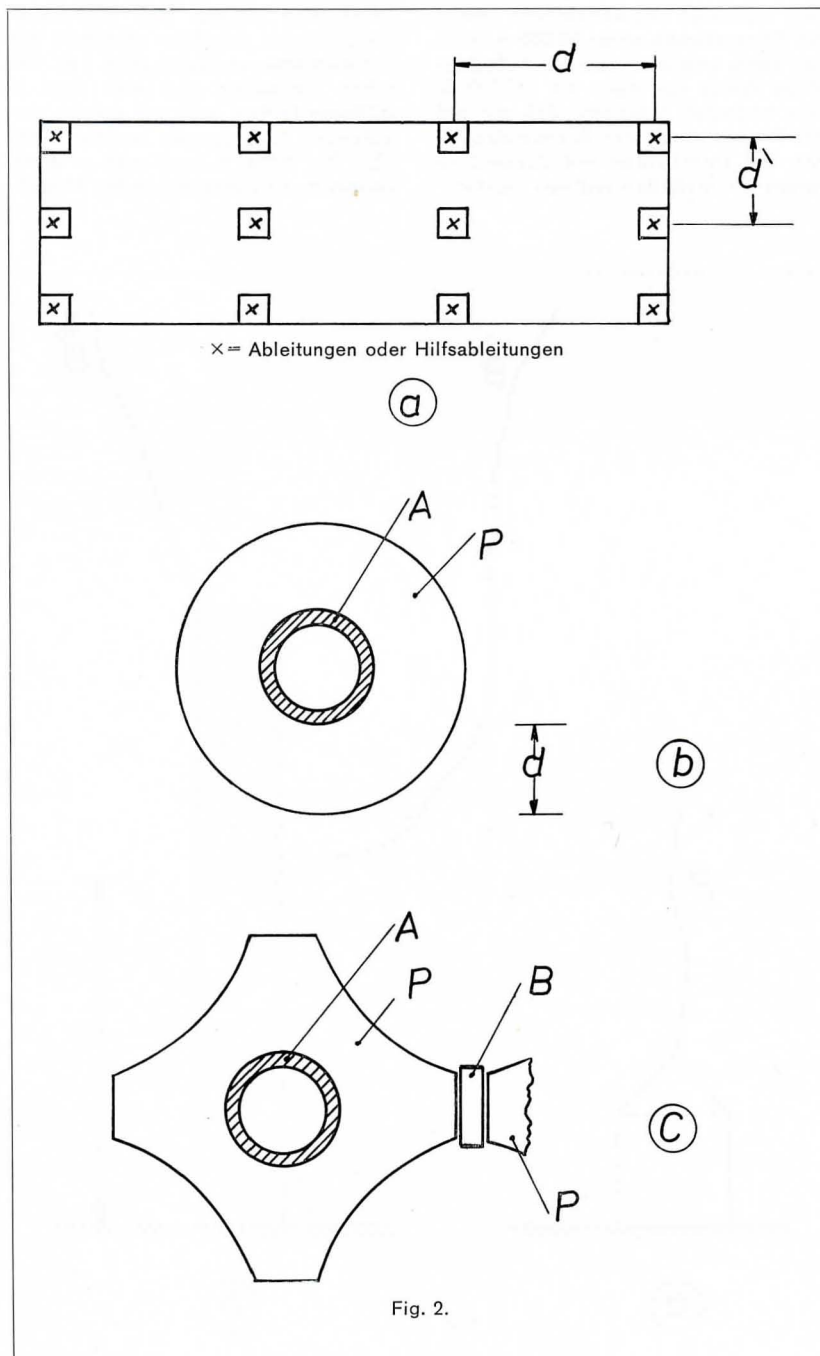
Blecheindeckung absieht, so sollte man wenigstens die Attiken und sonstigen Aufbauten mit Blech decken und durch Leitungen von 8 mm Durchmesser miteinander verbinden. Die Vermaschung der Dachleitungen soll so gewählt werden, daß kein Punkt der zu schützenden Fläche weiter als 6 bis höchstens 8 m von der nächsten Fangleitung oder einem mit diesen verbundenen Blech entfernt ist. Die Abstandsbedingungen sind also zu verschärfen, da normalerweise ein Abstand von 10 m zulässig ist. Besonders sorgfältig sind Aufbauten zu schützen, die die Motoren der Aufzüge enthalten. Ein Blitzschlag in einen Motor oder in Schaltanlagen, der die Benützung der Aufzüge unmöglich macht, lähmt praktisch den gesamten Betrieb in diesem Haus.

Antennen auf den Dächern von Hochhäusern sind grundsätzlich so zu dimensionieren, daß sie auch als Fangvorrichtung verwendet werden können. Dies gilt insbesondere für die Verbindungsleitungen, die mindestens 8 mm Durchmesser haben sollen. Dort, wo Verbindungen über Funkenstrecken erfolgen, sind diese so zu dimensionieren, daß sie Stoßströme von 150 000 A ableiten können. Im übrigen gelten die normalen Vorschriften.

3. Ableitungen

Die Ableitungen verbinden die Fangvorrichtungen mit der Erdung. Ihre Zahl und ihr gegenseitiger Abstand richtet sich nach der Bauart des Gebäudes. Es werden entweder eigene Drahtableitungen verwendet oder aber bereits vorhandene vertikale Leiter. Als solche kommen besonders in Betracht: die Armierung der Betonsäulen und die Aufzugschienen.

Die Armierung darf nur dann eine Leitung ersetzen, wenn sie eine elektrisch einwandfreie, durchgehende Verbindung darstellt. Bei höheren Säulen besteht die Armierung stets aus einzelnen „Körben“, die an den Stoßstellen miteinander durch dünnen Binddraht verbunden sind, der oft nur lose um die Armierungsstäbe gewickelt ist, so daß ein sehr hoher Kontaktwiderstand entsteht. Beim Durchgang starker Entladungen können diese durchschmelzen und es entsteht dann an der Schmelzstelle ein Lichtbogen, der auch den umgebenden Beton zerstören kann. Außerdem ist dann die durchgehende Verbindung unterbrochen und man erhält bei Prüfungen ganz falsche Resultate. Es ist daher notwendig, jene Ableitungen, die vorgeschrieben sind, in durchgehendem Draht auszuführen. Dieser wird in die betreffenden Säulen einbetoniert und während des Baues hochgezogen. Es hat wenig Sinn, diese Leitungen zu verzinken. Eine Verzinkung kann sogar schädlich sein. Außer



den durchgehenden Leitungen muß auch die Armierung am oberen Ende mit den Fangvorrichtungen und am unteren Ende mit der Erdung verbunden werden. Der gegenseitige Abstand der erwähnten Drahtleitungen soll 15 bis 16 m nicht überschreiten, richtet sich aber natürlich nach dem Abstand der Säulen.

Die Aufzugsschienen sind, wenn sie bis in das letzte Stockwerk reichen, oben und unten an die Blitzschutzanlage anzuschließen. Ebenso sind Umkehrrollen stets mit der Anlage zu verbinden. Weitere Verbindungen sind – wie noch besprochen werden wird – in verschiedenen Höhen und mit den übrigen Ableitungen herzustellen („Vermaschung“). Die Schienen der Aufzüge bilden übrigens – besonders in Gebäuden mit größerer Grundfläche – oft die einzige Möglichkeit, die vorgeschriebenen Abstände einzuhalten. Sie können wegen ihres großen Querschnittes als Hauptableitungen verwendet werden.

Die Einhaltung der erwähnten Höchstabstände von 15 bis 16 m bereitet oft Schwierigkeiten. In Fig. 2 a sehen wir ein Gebäude, dessen Säulen einen gegenseitigen Abstand (d...d') von weniger als 15 m haben. In diesem Falle kann der vorgeschriebene Maximalabstand eingehalten werden. Bei 2 b ist schematisch eine Bauweise skizziert, die heute bei Hochhäusern immer häufiger angewandt wird. In der Mitte wird ein turmförmiges Bauwerk A errichtet, das meist die Aufzüge enthält und oft die einzige Möglichkeit bietet, Ableitungen zu verlegen. An diesem Bauwerk werden dann die einzelnen Stockwerkplatten P hochgezogen und verankert. Meist werden diese am Boden fertiggestellt und dann hochgehoben. In diesem Falle ist es nicht immer möglich, den Abstand d von weniger als 15 m für die Verbindungsleitungen zu den Aufzugsschienen oder in den Schächten verlegten Ableitungen einzuhalten. Oft werden in solche Objekte Fenster mit metallischen Rahmen eingebaut. Dann kann man diese Rahmen miteinander metallisch verbinden (bzw. muß dies aus anderen Gründen sogar) und erhält an der Peripherie der kreisförmigen Platte P weitere Vertikalverbindungen. Vom untersten Stockwerk führen dann Verbindungen zur Erdung. Mitunter haben die besprochenen Platten nicht kreisförmigen Grundriß. Ein Beispiel zeigt Fig. 2 c. Zwischen zwei solcher Plattensysteme sind dann Zwischenbauwerke B eingeschoben, in denen die Platten P ebenfalls wieder verankert werden. Diese Zwischentürme werden oft zum Hochführen von Kabeln und Rohrleitungen verwendet. Es empfiehlt sich dann, metallische Rohre und Kabel mit Metallmantel zu verwenden. Die Rohre und Kabel-

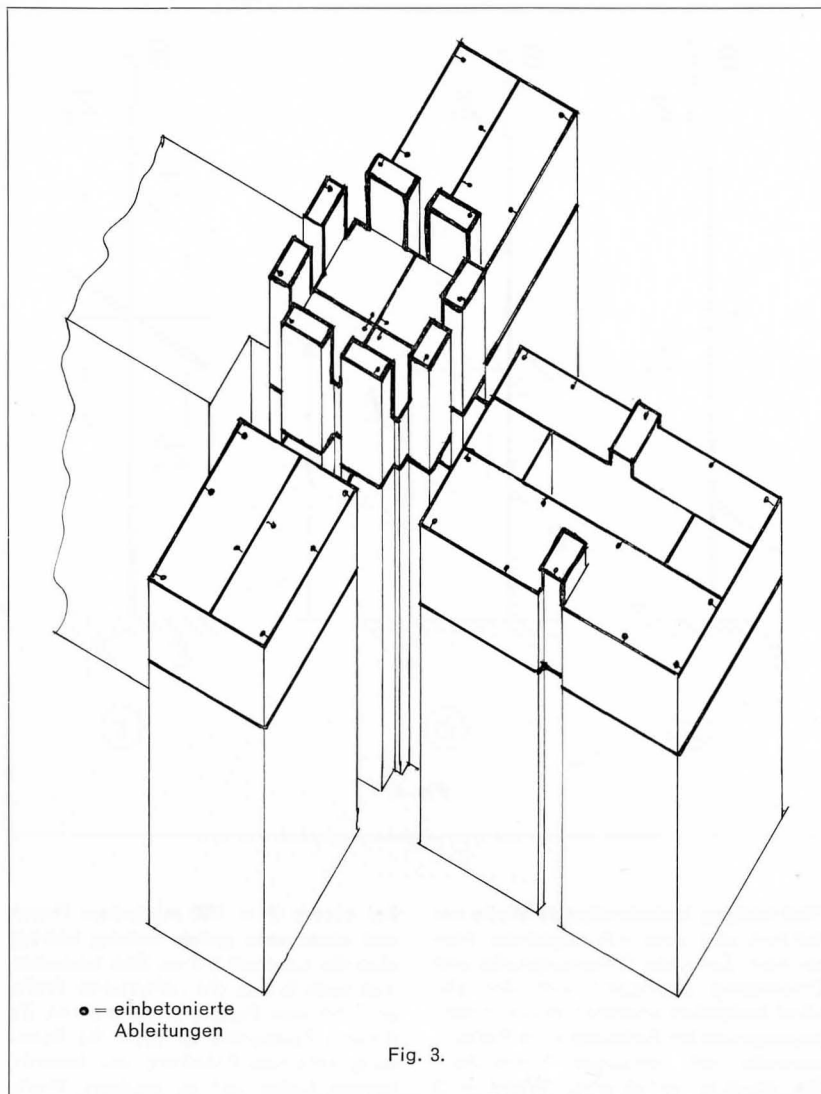


Fig. 3.

mäntel werden in Vertikalabständen von ungefähr 10 m miteinander oder mit den metallischen Traggerüsten verbunden. Diese wieder sind am oberen und unteren Ende sowie in Vertikalabständen von ca. 10 m (je nach der Höhe der Stockwerke) mit der übrigen Blitzschutzanlage zu verbinden. Sie erfüllen dann ebenfalls die Funktion einer Ableitung.

Beim Gießen der Platten sind auch Leitungen einzubetten, die von den Ableitungen nach den metallischen Fensterrahmen führen. In der Regel werden zwei, aufeinander senkrecht stehende Leitungen genügen. Die Verbindung dieser Leitungen mit den Ableitungen bzw. den sie ersetzenden Aufzugsschienen erfolgt am besten durch Schweißen. In Fig. 3 ist die Anordnung der Fang- und Ableitungen an einem größeren Objekt dargestellt, dessen Turmbauten 62 m hoch sind.

Wichtig ist die richtige Vermaschung der Ableitungen miteinander. Diese

Vermaschung verfolgt einen doppelten Zweck: Zunächst sorgt sie für einen Potentialausgleich im Inneren des zu schützenden Gebäudes, und es erfolgt durch sie ein Abbau der durch den Blitzeinschlag erzeugten Wanderwellen.

In Fig. 4 sehen wir eine Ableitung L, die an eine Erdung E anschließt. Wenn der Blitz einschlägt, so schreitet eine Welle von den Fangvorrichtungen zur Erde. Dabei müssen nun drei Wellenwiderstände unterschieden werden: der des Blitzkanals Z_1 , der der Ableitung Z_2 und der der Erdung. Wir haben also in diesem einfachsten Falle zwei Diskontinuitätsstellen Z_1/Z_2 und Z_2/Z_3 an denen der Wellenwiderstand sich plötzlich verändert. An einer jeden Diskontinuitätsstelle wird die Welle in ihrer Amplitude verändert. Es entsteht eine teilweise Reflexion. Wenn in unserem Falle z. B. der Wellenwiderstand der Erdung kleiner ist als jener der Ableitung, dann wird die in der

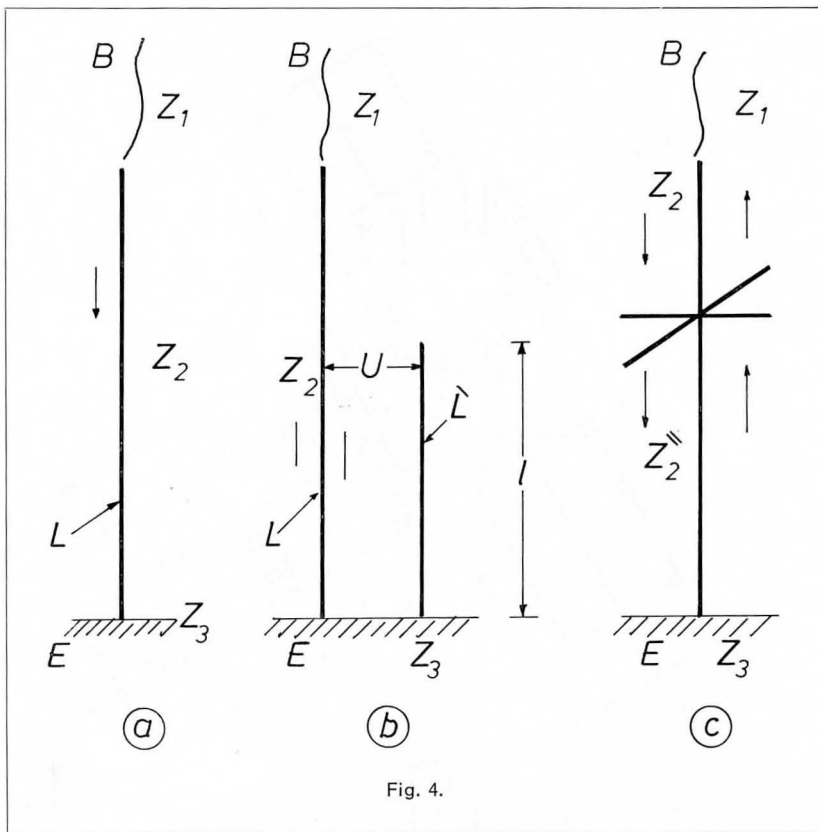


Fig. 4.

Pfeilrichtung fortschreitende Welle reflektiert und zwar mit negativen Vorzeichen. Zwischen Einschlagstelle und Erdeingang überlagert sich der abwärts laufende primären Welle in entgegengesetzter Richtung eine Reflexionswelle mit negativen Vorzeichen. Die abwärts verlaufende Welle wird durch die reflektierte daher geschwächt. Wenn z. B. ($Z_3 \cong 0$) wird, dann ist die Amplitude der abwärts laufenden Welle ungefähr gleich jener der reflektierten. Im Vorzeichen sind sie aber einander entgegengesetzt. Das bedeutet praktisch, daß die durch den Blitz ausgelöste Welle durch die reflektierte fast ausgelöscht wird. Wenn nun parallel zu der Ableitung L ein Kabel mit geerdeten Metallmantel, ein Rohr oder irgendwelche geerdete Drähte L' verlaufen (Fig. 4 b), dann wird, sobald nach dem Einschlag eine Welle zur Erdung läuft, zwischen L und L' eine Spannungsdifferenz U entstehen, die mit dem Fortschreiten der Welle sich ständig ändert. Sie wird zunächst zunehmen; sobald die Welle aber den Erdereingang erreicht hat, läuft die reflektierte Welle von der Erdung zur Fangvorrichtung. Dies hat zur Folge, daß die Spannung U zwischen L und L' wieder abnehmen wird. Die Laufgeschwindigkeit der Welle in Luft ist bekanntlich 300 m pro μs . In der Praxis werden wir mit geringeren Geschwindigkeiten zu rechnen haben.

Bei einem ($l = 100$ m) hohen Hause und einer sehr guten Erdung beträgt also die Laufzeit $1/3 \mu\text{s}$. Das bedeutet, daß nach $2/3 \mu\text{s}$ die reflektierte Welle am höchsten Punkte angelangt ist. Zu diesem Zeitpunkte ist dann die Spannung zwischen Ableitung und benachbartem Leiter auf so niedrige Werte abgesunken, daß kein Überschlag zwischen den beiden Leitern L und L' mehr möglich ist. Ein Blitzschlag kann dann im Inneren des zu schützenden Raumes keinen Schaden mehr anrichten. Nun ist es aber wichtig, daß zwischen zwei Punkten, zwischen denen die für den Überschlag erforderliche Spannung herrscht, der Überschlag selbst nicht sofort, sondern erst nach einer bestimmten Zeit erfolgt. Diese Zeit beträgt meist 2 bis $3 \mu\text{s}$. In unserem Falle wird daher sogar in der Zeit, in der die Welle abwärts läuft und daher noch keine reflektierte Welle wirksam werden kann, kein Überschlag stattfinden, da die Verzögerungszeit noch nicht abgelaufen ist.

Wenn wir natürlich L und L' an den oberen Enden gutleitend miteinander verbinden, dann kann es überhaupt nicht zu einem Überschlag kommen.

Die gleiche Wirkung wie z. B. der Übergang von der Ableitung zur Erdung hat aber auch eine Verzweigungsstelle, wie dies Fig. 4 c zeigt. Der Wellenwiderstand der Ableitung

zwischen Fangvorrichtung Z_2' ist von jenem der Verzweigung und der darunter liegenden Ableitung Z_2'' verschieden. Es kommt daher auch an jeder Verzweigungsstelle zu Reflexionen, die in gleicher Weise wirksam sind, wie die eben besprochenen. An jeder weiteren Verzweigungsstelle wiederholt sich dieser Vorgang.

Zusammenfassend kann man daher sagen, daß bei der Projektierung der Ableitungen darauf geachtet werden soll, deren Zahl möglichst groß zu wählen und sie in möglichst vielen Ebenen miteinander zu vermaschen. Durch die erste Maßnahme wird erreicht, daß der Blitzstrom auf viele Ableitungen verteilt wird und durch die zweite und die durch diese bedingten Reflexionen ein Abbau der Amplituden.

Die Zahl der Vermaschungsebenen richtet sich nicht zuletzt nach dem Inhalt der zu schützenden Räume. Enthalten diese z. B. empfindliche elektronische Einrichtungen, so empfiehlt es sich, jede oder zumindest jede zweite Etage zu vermaschen.

In der Höhe von 30 m soll auf jeden Fall eine Vermaschung durchgeführt werden, an die dann auch die bereits besprochenen Fangvorrichtungen anzuschließen wären. Weitere Vermaschungen in größeren Höhen sollen – wenn nicht geringere Abstände erforderlich sind – in vertikalen Abständen von ungefähr 10 m durchgeführt werden.

4. Erdung

Die Dimensionierung der Erdung in jeder Blitzschutzanlage ist durch drei Faktoren bestimmt: zunächst soll sie die atmosphärischen Ladungen zur Erde ableiten, dann soll sie so bemessen werden, daß im Inneren der zu schützenden Räume keine gefährlichen Spannungsdifferenzen entstehen können und für die eben besprochenen Reflexionen der einfallenden Welle sorgen. Schließlich ist bei ihrer Dimensionierung auch noch darauf zu achten, daß in der Umgebung des zu schützenden Objektes keine zu großen Schrittspannungen entstehen, die Personen verletzen und z. B. Kabel beschädigen könnten. Gerade Hochhäuser sind fast stets von Strom- und Fernmeldekabeln umgeben und die relativ großen Ladungen, die durch den Blitzableiter abgeleitet werden, können diese leicht beschädigen.

Aus allen diesen Gründen ist eine gute Erdung erforderlich. Ihre Anlage ist allerdings nicht immer leicht. Es steht ja meist nur die Fläche zur Verfügung die unter der Fundamentplatte liegt. Dieser Raum, der oft unter dem Grundwasserspiegel liegt, ist allerdings später kaum noch zugänglich. Es sind also Reparaturen nur unter sehr großen Schwierigkeiten und mit