

# **Blitzschutzkonzept für das PTT-Mehrzweckgebäude St. Chrischona = Mesures de protection contre la foudre pour le bâtiment à usages multiples des PTT de St-Chrischona**

Autor(en): **Montandon, Eric**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **59 (1981)**

Heft 9

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874200>

## **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.

# Blitzschutzkonzept für das PTT-Mehrzweckgebäude St. Chrischona

## Mesures de protection contre la foudre pour le bâtiment à usages multiples des PTT de St-Chrischona

Eric MONTANDON, Bern

621.316.98:621.396.67:624.97

Zusammenfassung. In der Nähe von Basel wird auf etwa 500 m über Meer ein Mehrzweckgebäude der Schweizerischen PTT-Betriebe für Richtstrahl-, Fernseh- und Rundfunkeinrichtungen gebaut. Die Antennenspitze erreicht eine Höhe von 250 m. Der Stahlbetonturm, aus einem Schaft mit sternförmigem Grundriss bestehend, wird etwa 150 m hoch. Um die oberen 50 m des Schaftes werden jene Betriebsräume angebaut, die hauptsächlich der Aufnahme der Empfangsanlagen dienen. Senderäume und Stromversorgungsanlagen befinden sich in den Untergeschossen. Aufgrund der Ergebnisse von Messuntersuchungen an einer bestehenden Anlage wurde für die Projektierung ein Blitzschutzkonzept erarbeitet, das bauliche, installationstechnische und apparative Massnahmen vorschreibt. In der Bauphase und nach Bauabschluss sind für Kopplungsimpedanzmessungen Termine reserviert, während denen die Bauarbeiten so einzuschränken sind, dass die Messungen nicht beeinflusst werden. Nach Betriebsaufnahme soll die Anlage auch für Kopplungsimpedanzmessungen bei direkten Blitzeinschlägen dienen.

Résumé. Près de Bâle à environ 500 m d'altitude, l'Entreprise des PTT construit actuellement une nouvelle station à usages multiples prévue pour la télévision, la radiodiffusion et les faisceaux hertziens. Le sommet de l'antenne atteindra une hauteur de 250 m et la tour en béton armé, avec une section en forme d'étoile, 150 m. Sur les 50 derniers mètres de la tour seront construits les différents locaux d'exploitation, principalement ceux destinés aux équipements de réception. Les émetteurs et les installations d'alimentation seront placés dans les sous-sols. A la suite des mesures effectuées dans une autre station, un concept pour la protection contre la foudre a été élaboré en temps opportun pour cette nouvelle station. Il comprend les prescriptions pour la construction du bâtiment, pour les installations des câbles ainsi que les exigences concernant la rigidité des équipements contre les surtensions. Pendant et après la construction, des mesures de différentes impédances de couplage sont prévues. Les travaux en cours ne devront pas gêner ces mesures. Après sa mise en service, cette station servira aussi à mesurer des impédances de couplage lors de coups de foudre directs.

### Progetto per proteggere dai fulmini l'edificio a scopi multipli delle PTT alto 150 m di St. Chrischona

Riassunto. Nelle vicinanze di Basilea si costruisce ora un impianto a scopi multipli dell'Azienda svizzera delle PTT per equipaggiamenti di ponti radio, televisione e radiodiffusione. L'antenna raggiunge un'altezza di 250 m. La torre di cemento armato, con pianta a forma di stella, avrà un'altezza di 150 m circa. Attorno agli ultimi 50 m della torre si costruiscono i locali d'esercizio nei quali vengono collocati soprattutto gli impianti di ricezione. I locali per la trasmissione e gli impianti d'alimentazione sono ubicati nel sottosuolo. È stato elaborato un progetto per la protezione degli impianti contro i fulmini che si basa sui risultati delle misurazioni effettuate su un impianto già esistente. Nel progetto sono definite le misure da prendere riguardanti la costruzione e la tecnica delle installazioni. Sono previsti termini, durante la fasi di costruzione e alla fine dei lavori, per eseguire misurazioni dell'impedenza d'accoppiamento. In questi periodi si devono ridurre i lavori di costruzione in misura tale da non influenzare le misurazioni. Quando l'impianto sarà in esercizio servirà anche per eseguire misurazioni dell'impedenza d'accoppiamento in occasione di cadute dirette di fulmini.

### 1 Einleitung

Im Jahre 1984 soll auf St. Chrischona bei Basel das etwa 250 m hohe Mehrzweckgebäude der Schweizerischen PTT dem Betrieb übergeben werden. Die technischen Ausrüstungen für Richtstrahltelefonie, Radio und Fernsehen sowie für weitere Funkanlagen werden zumeist elektronischer Art sein. Diese Einrichtungen lassen sich auch gegen Blitzeinwirkungen schützen. Allerdings bedarf es dazu gegenüber der älteren Gerätegeneration vermehrter Anstrengungen. In der Schweiz mussten schon etliche Anlagen, nachdem die zumeist röhrenbestückten Geräte durch volltransistorisierte abgelöst wurden, zwecks klarer Blitzstromführung mit zum Teil erheblichem Aufwand saniert werden, um die hohe Verfügbarkeit auch nach atmosphärischen Entladungen aufrechterhalten zu können.

Seit 1978 wird für Neuanlagen schon bei Projektierungsbeginn ein *Blitzschutzkonzept* erstellt. Dieses regelt verbindlich die baulichen, installationstechnischen und apparativen Massnahmen für einen optimalen Anlagenschutz unter Einbezug der aus Betrieb und Forschung hervorgehenden neuen Erkenntnisse und berücksichtigt stets die Besonderheiten der Anlage.

### 1 Introduction

En 1984, le bâtiment à usages multiples d'environ 250 m de hauteur de l'Entreprise des PTT suisses, érigé à proximité de Bâle, doit être remis à l'exploitation. Les équipements techniques pour la téléphonie à faisceaux dirigés, la radio et la télévision, ainsi que les installations pour d'autres services radioélectriques seront pour la plupart électroniques. Ces dispositifs peuvent être également protégés contre les effets de la foudre. Cependant, cela nécessite des mesures plus importantes que pour les appareils des générations plus anciennes. En Suisse, de nombreuses installations ont déjà dû être modifiées, parfois à grands frais, afin que soient créées des conditions claires découlant du courant dû à la foudre, en vue de maintenir la disponibilité élevée des installations, également après des décharges atmosphériques. Cela est surtout le cas depuis que les appareils équipés le plus souvent de tubes ont été remplacés par des dispositifs transistorisés.

Depuis 1978, et en ce qui concerne les nouvelles installations, une *conception de protection contre la foudre* est déjà mise sur pied au moment du projet. Elle définit, tant sur le plan de la construction que sur celui de la



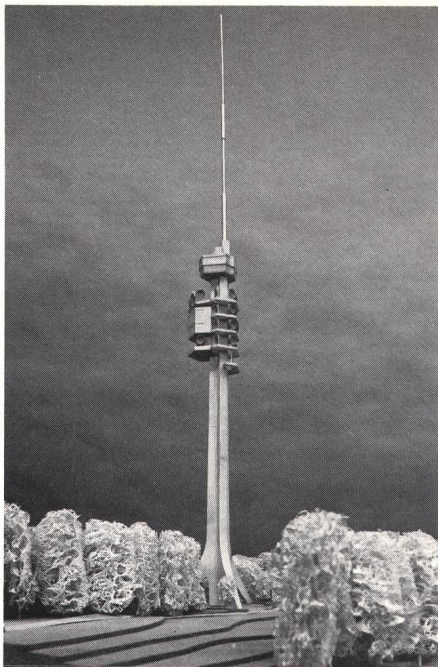


Fig. 1  
Modellaufnahme des Mehrzweckgebäudes St. Chrischona – Vue du bâtiment à usages multiples St-Chrischona

## 2 Turmkonstruktion

Figur 1 zeigt eine Modellaufnahme des sich zurzeit im Bau befindenden Turmes. Aus ästhetischen und statischen Gründen wurde ein *sternförmiger* Turmschaft gewählt, um den die obersten Geschosse auf einer Höhe zwischen 110 und 150 m asymmetrisch angebaut sind (Fig. 2 und 3). Aus Figur 1 nicht ersichtlich sind die Untergeschosse, deren Einrichtungen über zahlreiche Leitungen durch den Turmschaft mit den oberen Anlagen verbunden sind. Die Aufgabe besteht darin, all diese Einrichtungen optimal gegen Blitzeinwirkungen zu schützen. Aufgrund der Untersuchungen an einer anderen Anlage wurde der Nutzen einer wirksamen Metallverkleidung messtechnisch erfasst und sinngemäss für das Blitzschutzkonzept der Anlage in St. Chrischona angewendet.

## 3 Blitzschutzkonzept

Würde nur die Stahlbetonkonstruktion zur Blitzstromführung verwendet, so müsste bei einer Blitzstromsteilheit von 50...100 kA/ $\mu$ s im Turminnern mit einer induzierten Spannung zwischen den Unter- und den Obergeschossen von 5...10 kV gerechnet werden [3]. Ohne sinnvolle bauliche und installationstechnische Massnahmen würden die notwendigen apparativen Schutzmassnahmen für die Vielzahl der elektronischen Einrichtungen zu aufwendig. Wohl bestünde die einfachste Lösung darin, den ganzen Turm metallisch einzukleiden, womit die innere Spannung weniger als 100 V betragen würde. Dies kommt jedoch aus unterhaltstechnischen, finanziellen und ästhetischen Gründen nicht in Frage.

### 31 Bauliche Massnahmen

Wie die Figuren 2, 3 sowie 5 zeigen, wurde die Metallverkleidung ins Turminnere verlegt. Der *Leitungsschaft*

technique d'installation et des appareils, les mesures nécessaires pour obtenir une protection optimale des installations, compte tenu des dernières expériences d'exploitation et des progrès faits dans le domaine de la recherche en la matière. De plus, ces mesures sont adaptées chaque fois aux particularités du complexe à protéger.

## 2 Construction de la tour

La figure 1 montre une vue de la maquette de la tour actuellement en construction. Pour des raisons d'esthétique et de statique, on a choisi un corps de tour en *étoile*, sur le pourtour duquel on a aménagé de façon asymétrique les étages supérieurs situés à une hauteur comprise entre 110 et 150 m (fig. 2 et 3). Les étages inférieurs en sous-sol ne sont pas visibles sur la figure 1. Ils abritent des équipements reliés aux installations des étages supérieurs par de nombreux câbles posés dans le corps de la tour. Il s'agit de protéger toutes ces installations de façon optimale contre les effets de la foudre. En se fondant sur des essais réalisés dans une autre installation, on a pu mesurer des effets d'un revêtement métallique efficace, et ce principe a été utilisé en conséquence lors de l'établissement de la conception du dispositif de protection contre la foudre à mettre en place à St-Chrischona.

## 3 Conception de la protection contre la foudre

Si l'on utilisait uniquement l'armature de la construction de béton pour écouler les courants dus à la foudre, il faudrait compter à l'intérieur de la tour avec une tension induite de 5...10 kV entre les étages inférieurs et les étages supérieurs, pour des éclairs dont le front serait de 50...100 kA/ $\mu$ s [3]. Dans ces conditions, les mesures de protection qu'il faudrait appliquer aux nombreux dispositifs électroniques seraient par trop importantes si l'on n'intervenait pas tant sur le plan de la construction que sur celui de la technique d'installation. Il est vrai que la solution la plus simple consisterait à revêtir l'ensemble de la tour d'une enveloppe métallique qui aurait pour effet de réduire la tension induite à l'intérieur à une valeur inférieure à 100 V. Cette façon de procéder est cependant irréalisable pour des raisons d'entretien, financières et esthétiques.

### 31 Mesures sur le plan de la construction

Comme le montrent les figures 2, 3 ainsi que 5, le revêtement métallique a été posé à l'intérieur de la tour. La *gaine d'ascension des câbles* (fig. 4) est entièrement recouverte de tôles d'acier profilé qui sont utilisées également en tant que coffrage. Tous les 3 m (hauteur correspondant à une étape de bétonnage), ces tôles sont reliées par soudage à l'armature portante (distance horizontale entre les liaisons inférieures ou égales à 1 m). Les éléments principaux de l'armature sont constitués par des tiges d'acier filetées reliées entre elles par des manchons à vis spéciaux. Des essais avec un générateur de courant de choc ont montré que, du point de vue électrique, ces liaisons étaient aussi bonnes que les raccords soudés.



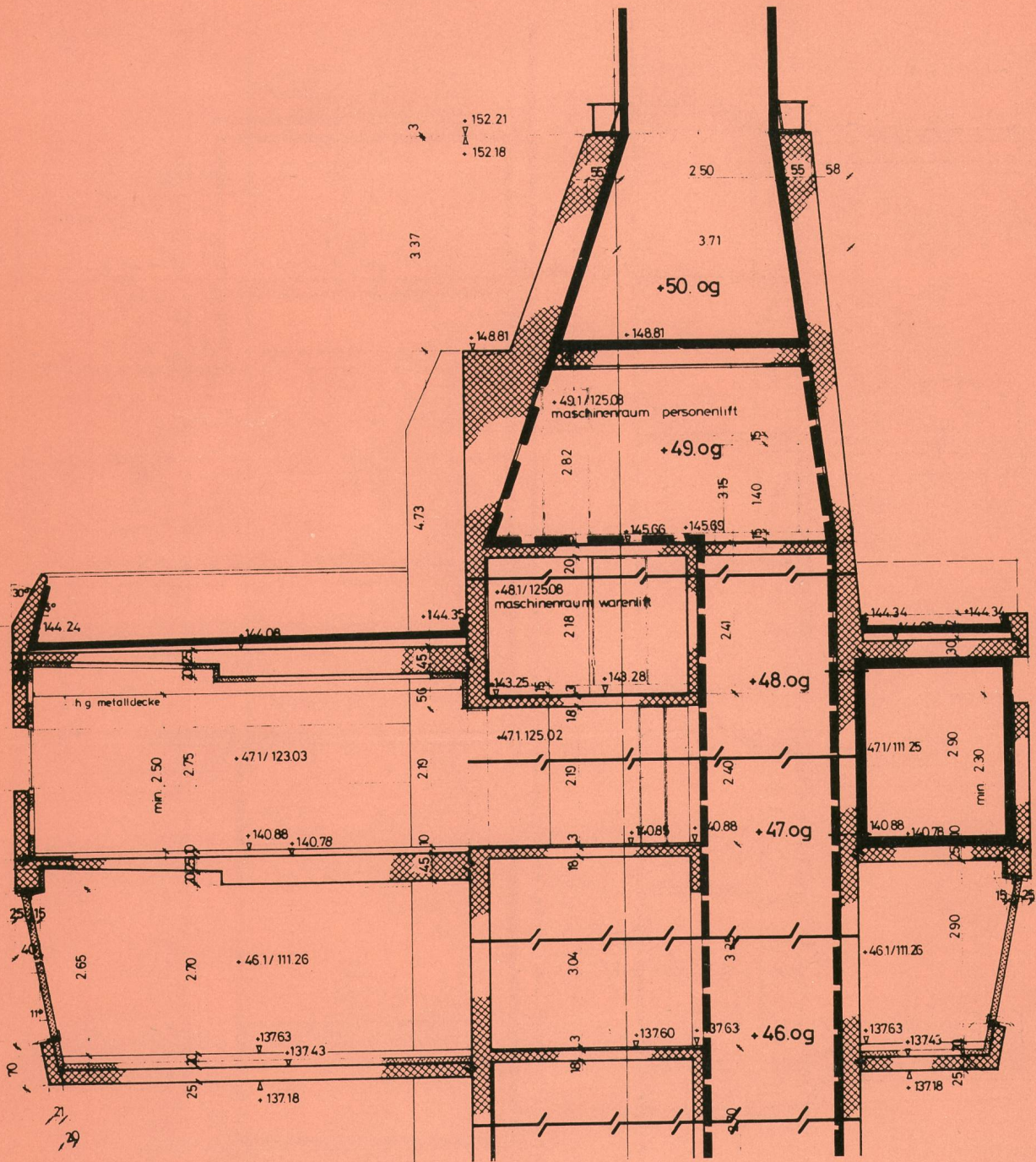


Fig. 2  
Schnitt durch die obersten Geschosse — Coupe à travers les étages supérieurs  
— Blechverkleidung — Revêtement de tôle

(Fig. 4) wird vollständig mit einem Stahlprofilblech ausgekleidet, das zugleich für die innere Schalung verwendet wird. Diese Bleche werden alle 3 m (Betonieretappe) durch Schweißen mit der tragenden Armierung verbunden (horizontaler Abstand zwischen den Verbindungen gleich oder kleiner als 1 m). Hauptelement der Armierung sind Gewinde-Stahlstäbe, die miteinander durch Spezialmuffen verschraubt sind. Wie Stossstromtests gezeigt haben, sind die elektrischen Eigenschaften solcher Schraubverbindungen gleich wie bei einer Schweissverbindung.

Les parois des locaux des étages supérieurs abritant des appareils sensibles aux surtensions sont également revêtues de tôles, qui servent encore de barrière de vapeur pour l'isolation thermique.

Au début, on avait songé à renoncer au revêtement de la gaine des câbles dans la zone des étages supérieurs, afin d'obliger une partie aussi élevée que possible du courant à s'écouler par les parois extérieures [31]. La présence de câbles de précontrainte en acier très rapprochés les uns des autres traversant dans le sens vertical la paroi portante intermédiaire entre la gaine des câ-



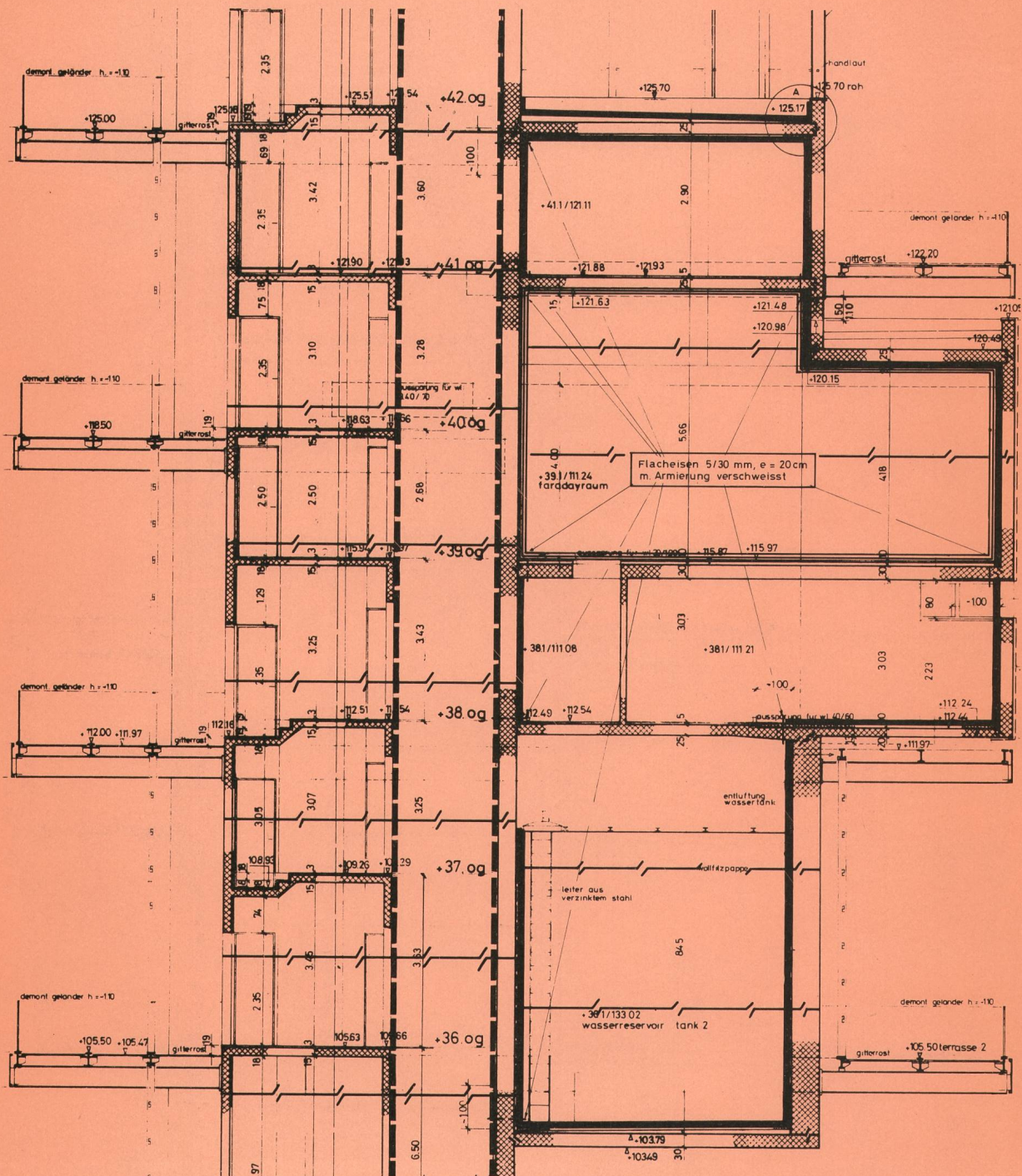


Fig. 3  
Schnitt durch mittlere Geschosse — Coupe à travers les étages médians  
■ Blechverkleidung — Revêtement de tôle

Alle Räume der oberen Stockwerke, die empfindliche Apparaturen enthalten, werden ebenfalls mit Blech ausgekleidet, wobei die Auskleidung zugleich als Dampfsperre der innenliegenden Wärmeisolation dient.

Ursprünglich bestand die Idee, auf die Leitungsschachtauskleidung im Bereich der Obergeschosse zu verzichten, um einen möglichst hohen Stromanteil über die Aussenwände fließen zu lassen [31]. Dagegen spricht aber das Vorhandensein starker nebeneinanderliegender Stahlspannseile, die in der tragenden Zwi-

bles und les locaux voisins rend cette solution impossible (fig. 2 et fig. 5). En effet, certainement que ces câbles de précontrainte conduisent une partie importante du courant dû à la foudre et engendrent de ce fait un champ magnétique élevé dans leur voisinage immédiat. Les conducteurs électriques courant parallèlement aux câbles de précontrainte sur une distance de 0,2...1 m seraient alors directement sous l'influence de ce champ magnétique. C'est pourquoi on décida de blinder la gaine des câbles *sans interruption* (fig. 3). Les cages de

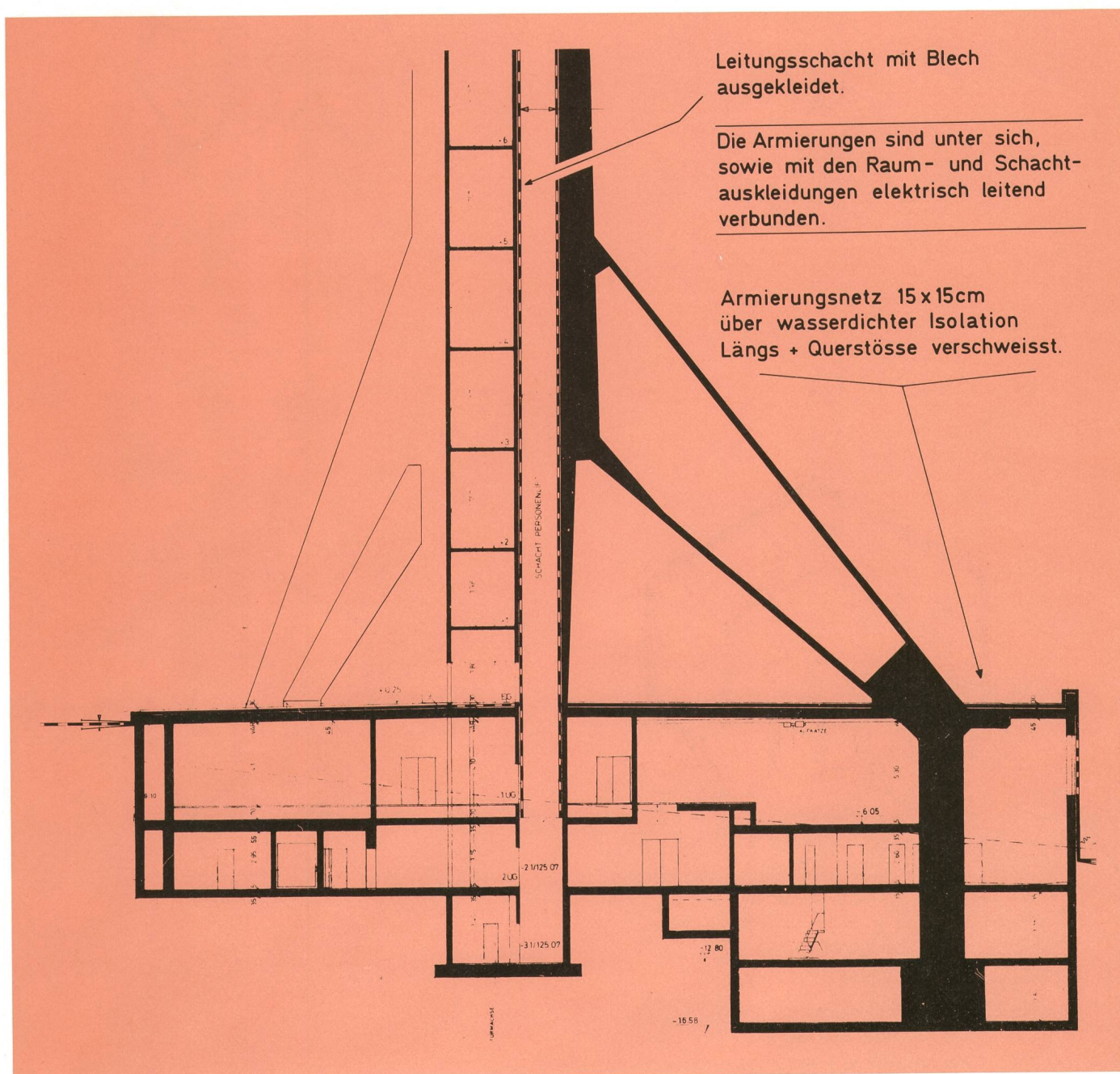


schenwand zwischen Leitungsschacht und angrenzenden Räumen in vertikaler Richtung durchgehen (Fig. 2 und Fig. 5). Sicher führen diese Spannseile erhebliche Blitzstromanteile und erzeugen somit in der näheren Umgebung ein starkes Magnetfeld. Direkt davon betroffen wären somit die zu diesen Spannseilen in 0,2...1 m Abstand parallel verlaufenden elektrischen Leiter. Aus diesem Grunde entschied man sich für die *durchgehende* Schachtauskleidung (Fig. 3). Die in dieser Figur aneinandergrenzenden Faraday-Räume (Leitungsschacht und Raumauskleidung) werden bei den Wanddurchbrüchen für die Kabeldurchführung durch Stahlrohre elektrisch verbunden. Diese können als Aussparungsschalung einbetoniert werden. Daneben bestehen noch weitere enge Verbindungen an den kritischen Wand-Boden-Anschlüssen (Fig. 3). Eine kurze Leitungsschachtunterbrechung (etwa 10 cm) findet sich beim

Faraday situées près les unes des autres dans cette figure (gaine des câbles et revêtement métallique des locaux) sont reliées électriquement par les tubes d'acier utilisés pour la traversée des parois par les câbles. Ces tubes servent également de coffrage lors du bétonnage. De plus, des liaisons existent aux points critiques de passage sol paroi (fig. 3). Une brève interruption (environ 10 cm) du blindage de la gaine des câbles a lieu dans les étages inférieurs, où les tôles sont utilisées uniquement en tant que coffrage.

Au sommet, la gaine des câbles débouche dans le bâti de fixation du mât (tête de la tour), où le revêtement métallique est relié sans interruption au mât d'acier (90 m de haut, fig. 2).

Les étages inférieurs ne sont pas blindés (fig. 4). L'effet de cage de Faraday est obtenu en ce sens que le



**Fig. 4**  
Schnitt durch Untergeschosse — Coupe à travers les étages inférieurs  
Leitungsschacht mit Blech ausgekleidet — Gaine d'ascension des câbles revêtue de tôle  
Die Armierungen sind unter sich sowie mit den Raum- und Schachtaus-

kleidungen elektrisch leitend verbunden — Les armatures sont reliées électriquement entre elles, ainsi qu'avec le revêtement des locaux et de la gaine d'ascension des câbles  
Armierungsnetz 15x15 cm über wasserdichter Isolation. Längs- und Querstösse verschweisst — Réseau d'armatures 15x15 cm sur isolation étanche à l'eau. Joints longitudinaux et transversaux soudés



Schachteintritt in die Untergeschosse, wobei die Bleche im unterirdischen Teil nur zur Schalung verwendet werden.

Zuoberst mündet der Leitungsschacht in den Mastverankerungsteil (Turmkopf), wo die Blechverkleidung lückenlos an den aufgesetzten Stahlmast (90 m hoch) anschliesst (Fig. 2).

*passage du courant dû à la foudre, provenant de tous les conducteurs qui l'écoulent (blindage de la gaine des câbles, armature, rails de guidage des cabines d'ascenseurs, installations sanitaires et câbles HF de gros calibre) a lieu sur et dans la dalle de béton recouvrant le premier sous-sol. Le réseau serré des armatures (15 x 15 cm), situées au-dessus de l'isolation étanche à*

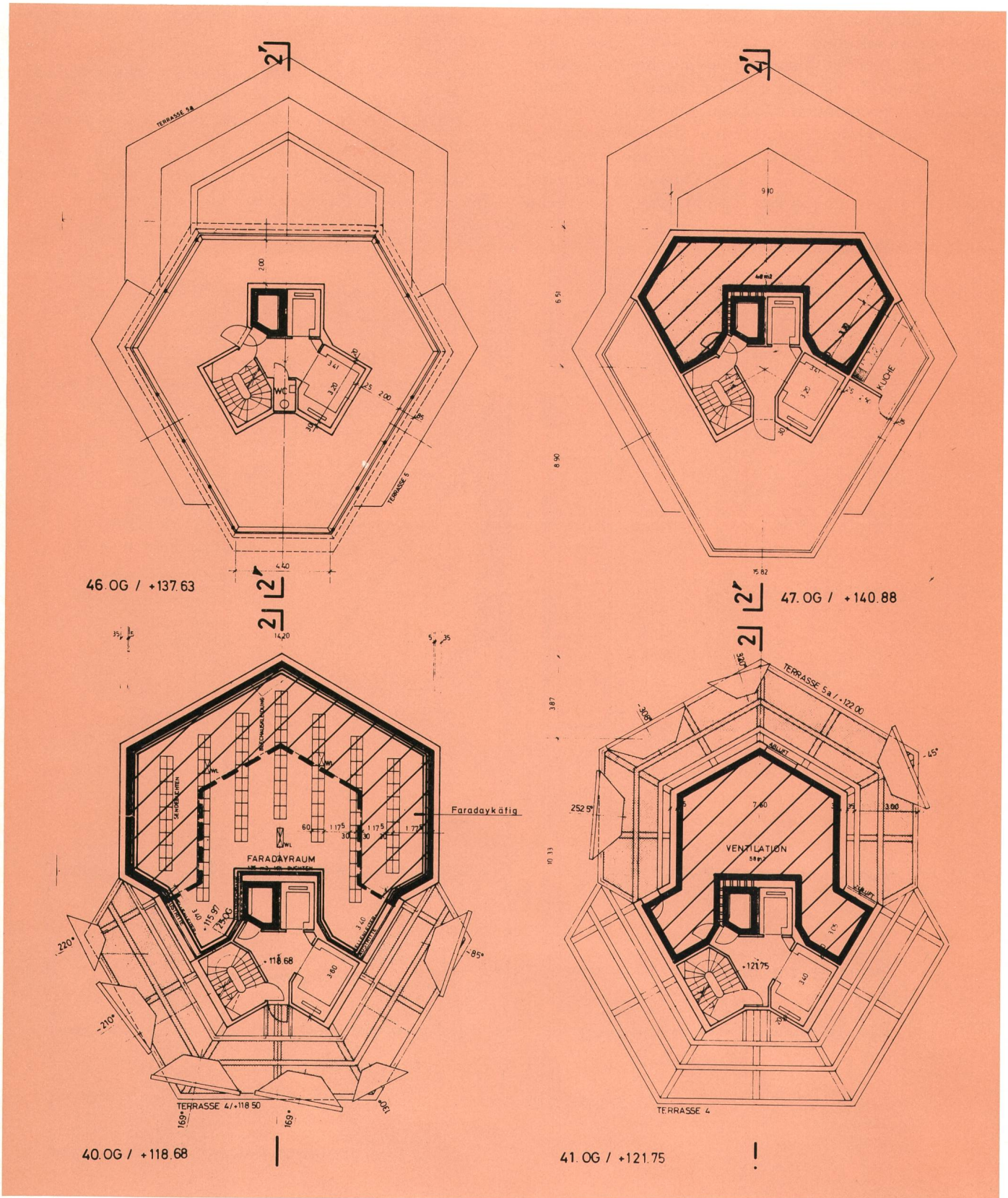


Fig. 5  
Horizontalschnitte verschiedener Ebenen — Coupes horizontales de divers plans

— Geschnitten — auf Boden und Wänden sowie unter Decke —  
Vue en coupe — sur le sol et les parois et sous le plafond

-  Auf Boden — Sur le sol
-  Unter Decke — Sous le plafond
-  Auf Dach — Sur le toit



Nicht ausgekleidet werden die Untergeschosse (Fig. 4). Der Faraday-Käfig wird hier dadurch erzielt, dass der *Blitzstromübertritt* von allen Blitzstromleitern (Leitungsschachtblech, Armierung, Liftschienen, Sanitäranlage und grosskalibrige HF-Kabel) *auf und in der Decke des ersten Untergeschosses stattfindet*. Das engmaschige Armierungsnetz (15 × 15 cm) über der wasserdichten Isolation dient sowohl zum Schutz gegen Direktanschläge als auch zur Stromverteilung über die ausgedehnte Untergeschoss-Dachfläche (etwa 1100 m<sup>2</sup>). Die Ableitung geschieht über das Ringerdnetz und die Blitzstromabschirmungen der an einer Stelle eingeführten Kabel.

Sämtliche die Kabel schützenden Armierungen und Stahlkanäle sowie die übrigen metallischen Leitungen (zum Beispiel Wasser) sind beim Gebäudeeintritt mit einer Stahlplatte verschweisst, die mit dem erwähnten Maschennetz und mit der Wand- und Deckenarmierung verbunden ist.

Auf allen eingeführten elektrischen Adern (Telefon, Hochspannung, Niederspannung) werden unmittelbar hinter der Einführung Überspannungsschutzelemente gegen die Anlageerde geschaltet.

Mit diesen baulichen Massnahmen ist es möglich, fast alle Einrichtungen und Leitungen gegen das Magnetfeld des Blitzstromes abzuschirmen, mit Ausnahme der

- grosskalibrigen Antennenkabel (siehe 321)
- Treppenhausinstallationen (zum Beispiel Beleuchtung, siehe 322)
- Liftanlagen (siehe 323)

## 32 Installationstechnische Massnahmen

### 321 Antennenkabel

Die grosskalibrigen Antennenkabel (Koaxialkabel) können gefahrlos Blitzstrom führen. Sie werden unter anderem auch aus Platzgründen im Treppenhaus schacht verlegt. Von Bedeutung ist deren einwandfreie Erdung beim *Austritt* aus dem *geschirmten Bereich* (Turmkopf) und besonders beim *Wiedereintritt* in diesen, damit nur kleine Blitzstromanteile ins Innere der Untergeschosse eindringen können (Fig. 4).

### 322 Treppenhausinstallationen

Da diese Installationen (Beleuchtung, Brandmelder, Telefon usw.) ausserhalb der geschirmten Zone liegen, ist die Installationsvorschrift nach *Figur 6a* zu beachten. Bei dieser Anordnung werden keine durch das externe Magnetfeld induzierten Spannungen ins Innere des ausgekleideten Installationsschachtes verschleppt. Dies bedeutet, dass Vertikalschleifen ausserhalb des geschirmten Bereiches nicht erlaubt sind.

### 323 Liftanlagen

Für die Liftkabel wurde ein kleiner, *getrennter und geschlossener Metallkanal* in der Ecke des Turmschafte zwischen den beiden Aufzügen vorgesehen, der die Starkstromkabel für die Liftmaschinen und die Kabel für die Liftsteuerung von den Stockwerken aus enthält.

Im Maschinenraum werden die Starkstrom- und die Steuerelektronik transformatorisch getrennt, wobei die

l'eau, sert tant à la protection contre les coups de foudre directs qu'à la répartition du courant sur la surface étendue du toit des étages inférieurs (environ 1100 m<sup>2</sup>). L'écoulement du courant a ensuite lieu par l'intermédiaire du réseau circulaire et des blindages contre la foudre des câbles introduits dans le bâtiment en un seul endroit.

Toutes les armures protégeant les câbles et les canaux métalliques, ainsi que toutes les autres conduites métalliques (par exemple les conduites d'eau) sont soudées à une plaque d'acier à leur point d'introduction dans le bâtiment, reliées elles-mêmes au réseau d'armature serré, ainsi qu'à l'armature des parois et du toit.

Des éléments de protection contre les surtensions sont placés entre tous les conducteurs électriques (téléphone, haute et basse tension), directement derrière leur point d'introduction.

Grâce à ces mesures touchant la construction, il est possible de protéger presque tous les dispositifs et toutes les lignes contre le champ magnétique engendré par un courant dû à la foudre. Font exception

- les câbles d'antennes de gros calibre (voir 321)
- les installations de cages d'escaliers (par exemple éclairage, voir 322)
- les installations d'ascenseurs (voir 323)

## 32 Mesures touchant la technique d'installation

### 321 Câbles d'antennes

Les câbles d'antennes de gros calibre (câbles coaxiaux) peuvent écouler sans danger un courant dû à la foudre. Ils seront installés, entre autres choses pour des raisons de place, dans la gaine de la cage d'escaliers. Il est cependant très important qu'ils soient parfaitement mis à terre à la *sortie* de la *zone blindée* (tête de la tour) et, en particulier au moment où ils *pénètrent à nouveau* dans cette zone (cage du premier sous-sol), afin que seule une faible partie du courant dû à la foudre puisse pénétrer dans les étages inférieurs (fig. 4).

### 322 Installations de la cage d'escaliers

Etant donné que ces installations (éclairage, alarme incendie, téléphone, etc.) sont situées à l'extérieur de la zone blindée, il y a lieu de respecter les prescriptions d'installation selon la *figure 6a*. Le recours à cette disposition empêche que des tensions induites dues au champ magnétique extérieur ne pénètrent à l'intérieur de la gaine d'installation blindée. Cela signifie qu'aucune boucle verticale n'est admise à l'extérieur de la zone blindée.

### 323 Installations d'ascenseurs

En ce qui concerne les câbles d'ascenseurs, on a prévu un *canal métallique fermé séparé* dans un angle du corps de la tour, entre les deux ascenseurs, qui renferme les câbles à courant fort pour les moteurs d'ascenseurs et les câbles pour la commande des ascenseurs à partir des étages.

Les équipements électroniques de la partie à courant fort et de la partie de commande sont séparés galvaniquement.



quement dans la salle des machines et l'électronique de commande n'y est mise à la terre qu'en un seul point.

La cabine de l'ascenseur est toujours amenée au même potentiel que celui de l'étage où elle se trouve par l'intermédiaire des rails de guidage (protection des personnes). Le câble de commande, en revanche, est au potentiel de la salle des machines ce qui fait qu'une tension induite  $U_2$  apparaît entre la cabine et les conducteurs du câble et les dispositifs qui y sont raccordés (fig. 7 et paragraphe 5).

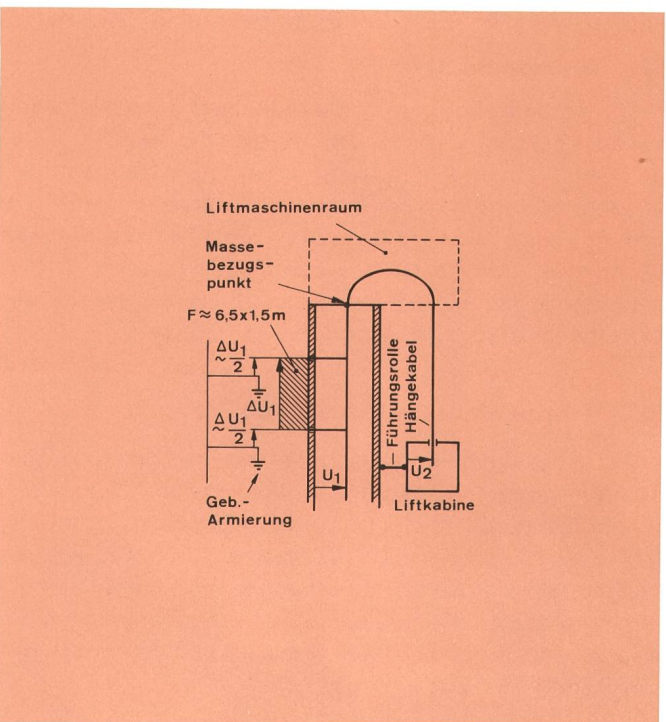
Etant donné la mise à terre dans la salle des machines, cette tension  $U_2$  n'est pas transmise à l'intérieur du canal fermé abritant les câbles de l'installation d'ascenseurs. Ainsi seuls les dispositifs dans la cabine d'ascenseur sont à protéger contre les surtensions induites à l'aide d'éléments adéquats.

En ce qui concerne les autres lignes d'alimentation dans les étages, la protection assurée par la rigidité diélectrique de l'isolation des conducteurs à courant fort est suffisante.

La tension apparaissant *entre conducteurs* empruntant parallèlement le même chemin (par exemple entre conducteurs d'un même câble) reste pratiquement nulle, tant que les mêmes conditions de mise à terre règnent pour les conducteurs considérés.

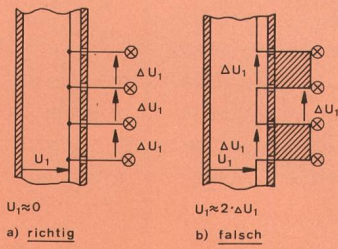
### 33 Mesures concernant les appareils

En ce qui concerne ces mesures, on se réfère aux recommandations selon [3].



**Fig. 7**  
**Separater Metallkanal für Liftkabel — Canal métallique séparé pour les câbles d'ascenseur**  
 $U_1 \approx 100 \dots 500 \text{ V}$  [3]  
 $\Delta U_1 \approx 10 \dots 20 \text{ kV}$  [1]  
 $U_2 \approx 500 \text{ kV}$  [1]  
 Liftmaschinenraum — Salle des machines d'ascenseur  
 Massebezugspunkt — Point de mesure de référence  
 Führungsschleife — Galet de guidage  
 Hängekabel — Câble suspendu  
 Geb(äude)-Armierung — Armature du bâtiment  
 Liftkabine — Cabine d'ascenseur

Leitungsschacht



**Fig. 6**  
**Leitungsführung aus dem Leitungsschacht — Poses des conduites sortant de la gaine d'ascension des câbles**  
 a) Richtig — Juste  
 b) Falsch — Faux  
 Leitungsschacht — Gaine d'ascension des câbles

Steuerelektronik einen einzigen Massebezugspunkt im Maschinenraum erhält.

Die Liftkabine steht über Führungsschienen stets auf demselben Potential wie das betreffende Stockwerk (Personenschutz). Das Hängekabel hingegen weist das Potential des Maschinenraumes auf, und es entsteht somit zwischen Kabine und Kabeladern beziehungsweise den daran angeschlossenen Einrichtungen die Spannung  $U_2$  (Fig. 7 und Abschnitt 5).

Diese wird jedoch wegen des Erdungspunktes im Maschinenraum nicht ins Innere des geschlossenen Liftleitungskanals verschleppt. Somit sind nur die Einrichtungen in der Liftkabine mit Schutzelementen gegen induzierte Überspannung zu schützen.

Als Schutz für die übrigen Etagezuleitungen genügt die Starkstromisoliationsfestigkeit.

Die Spannung *zwischen* auf gleichem Weg parallel geführten Leitern (zum Beispiel Leiter im selben Kabel) bleibt praktisch Null, solange für die betreffenden Leiter dieselben Erdungsbedingungen bestehen.

### 33 Apparative Massnahmen

Für diese sind die Empfehlungen gemäss [3] verbindlich.

### 4 Messungen

Vor und nach dem Bauabschluss sind Messreihen vorgesehen, um die *Kopplungsimpedanz* zwischen Blitzstrom und induzierter Spannung bestimmter Leiterschleifen in verschiedenen Räumen zu ermitteln.

Leiterschleifen sind im ausgekleideten Leitungsschacht, im ausgekleideten Richtstrahltelefoniereraum und in den nicht ausgekleideten benachbarten Räumen (Aufenthalts- und Reportageraum) vorgesehen. Für die Messungen wird die Methode nach [3], gemäss dem Reziprozitätsgesetz, angewendet. Es werden sowohl Messungen mit stationären sinusförmigen Wechselströmen



## 4 Mesures électriques

Une série de mesures électriques sont prévues pendant et après la construction, afin qu'il soit possible de déterminer l'impédance du couplage entre le courant dû à la foudre et la tension induite de certaines boucles de conducteurs dans différents locaux.

Des boucles de conducteurs sont prévues dans la gaine des câbles blindés, dans le local blindé pour la téléphonie à faisceaux hertziens et dans les locaux avoisinants non blindés (local de séjour et de reportage, fig. 2). Pour les mesures, on utilise la méthode selon [3] faisant appel à la loi de réciprocité. Les mesures sont effectuées tant avec des courants alternatifs stationnaires sinusoïdaux qu'avec des courants de choc dont l'amortissement est apériodique et périodique. Pour effectuer les mesures avec courant de choc, une installation transportable a été construite selon les spécifications des PTT.

Une fois la nouvelle installation mise en service, les résultats des essais mentionnés seront comparés avec les tensions apparaissant réellement à la suite de coups de foudre. A cet effet, il est prévu d'enregistrer *simultanément* aussi bien le front du courant dû à la foudre, à l'aide de la méthode de la boucle [32], que la tension induite dans les boucles correspondantes, ce qui permettra de déterminer l'impédance de couplage effective.

## 5 Calcul approximatif des tensions $\Delta U_1$ et $U_2$ (fig. 7)

Dans ce paragraphe, on expose une méthode pour le calcul approximatif des tensions induites entre la cabine et le câble de commande d'un ascenseur ( $U_2$ ) et entre deux étages, tensions dues à la boucle exposée au champ magnétique ( $\Delta U_1$ ). Ces tensions peuvent apparaître lors d'un coup de foudre dans les conditions supposées dans l'installation à usages multiples de St-Chrischona.

Pour le calcul, c'est la position géométrique de la boucle de conducteur considérée dans le champ magnétique *résultant* du courant dû à la foudre qui est importante. Le champ magnétique résultant traversant la boucle de conducteur correspond à la somme de tous les vecteurs de champ magnétique *perpendiculaires* à la surface de la boucle.

Les différentes lignes du champ magnétique apparaissant à proximité des conducteurs principaux d'écoulement du courant dû à la foudre sont représentées schématiquement sur le plan du corps de la tour faisant l'objet de la *figure 8*. Elles concernent

- la gaine des câbles
- les câbles d'antennes
- le canal métallique fermé aménagé spécialement pour les câbles d'ascenseurs
- les câbles de précontrainte dans les trois parois extérieures principales

La position des boucles de conducteurs considérés est également reportée dans la figure 8. Il s'agit de la disposition qui apparaîtrait, par exemple, si les boutons de commande pour le monte-charge étaient installés à chaque étage (c'est-à-dire tous les 6,5 m) à droite de l'entrée du monte-charge. Les dimensions de la boucle

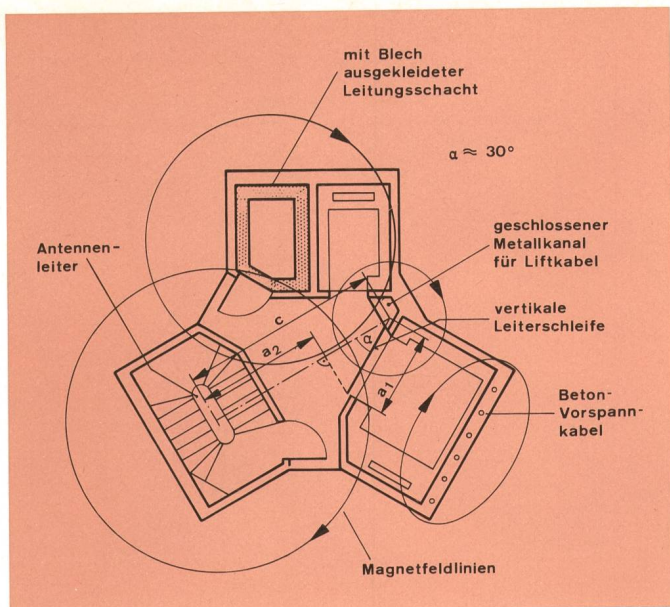


Fig. 8 Grundriss des Turmschaftes mit eingetragenen Magnetfeldlinien um die wichtigsten Blitzableitungen — Plan du corps de la tour avec les lignes de champ magnétique autour des conducteurs les plus importants écoulant le courant dû à la foudre  
Antennenleiter — Câbles d'antenne  
Mit Blech ausgekleideter Leitungsschacht — Gaine d'ascension des câbles revêtue de tôles  
Geschlossener Metallkanal für Liftkabel — Canal métallique fermé pour les câbles d'ascenseur  
Vertikale Leiterschleife — Boucle verticale des conducteurs  
Betonvorspannkabel — Câbles de précontrainte du béton  
Magnetfeldlinien — Lignes de champ magnétique

verschiedener Frequenz als auch Stossstromuntersuchungen mit aperiodisch und periodisch gedämpftem Verlauf durchgeführt. Für die Stossstromuntersuchungen wurde eine fahrbare Anlage nach PTT-Spezifikation gebaut.

Nach Betriebsaufnahme der Neuanlage sollen die Ergebnisse der genannten Untersuchungen mit den bei Blitzeinschlägen tatsächlich auftretenden Spannungen verglichen werden. Dazu ist vorgesehen, sowohl den Blitzstromanstieg mit Hilfe der Schleifenmethode [32] als auch die induzierte Spannung an den entsprechenden Schleifen *gleichzeitig* aufzuzeichnen, was die effektive Kopplungsimpedanz ermitteln lässt.

## 5 Approximative Berechnung der Spannungen $\Delta U_1$ und $U_2$ (Fig. 7)

In diesem Abschnitt wird eine Methode zur approximativen Berechnung der induzierten Spannung zwischen der Kabine und dem Hängekabel eines Lifts ( $U_2$ ) sowie der induzierten Schleifenspannung zwischen zwei Etagen  $\Delta U_1$  behandelt. Diese Spannungen können bei einem Blitzeinschlag unter den angenommenen Bedingungen in der Mehrzweckanlage St. Chrischona auftreten.

Zur Berechnung ist die geometrische Lage der betrachteten Leiterschleife im durch den Blitzstrom *resultierenden* Magnetfeld massgebend. Das die Leiterschleife durchdringende resultierende Magnetfeld entspricht der Summe aller Magnetfeldvektoren, die *senkrecht* zur Schleifenfläche stehen.

Im Grundriss des Turmschaftes sind in *Figur 8* die einzelnen Magnetfeldlinien schematisch eingetragen, die



um die Hauptblitzstromableitungen entstehen. Als solche dienen

- der ausgebildete Leitungsschacht
- die Antennenkabel
- der besondere geschlossene Metallkanal für die Liftkabel
- die Spannkabel in allen drei Hauptausenwänden

Ebenso ist in Figur 8 die Lage der betrachteten senkrechten Leiterschleife eingetragen. Diese Anordnung entstünde beispielsweise, wenn die Bedienungsknöpfe für den Warenlift in jedem Stockwerk (das heisst alle 6,5 m) rechts vom Eintritt in den Warenlift installiert würden. Die Vertikalschleife erhält somit die Dimension  $6,5 \times 1,5$  m und wird von den Magnetfeldlinien um den Metallkanal mit maximaler Wirkung durchdrungen.

Die Feldlinien um die Antennenkabel schneiden die Vertikalschleife in einem Winkel  $\alpha$  von etwa  $30^\circ$ , das heisst, ihre Wirkung beträgt somit  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  oder etwa 85 %. zu beachten ist, dass diese Feldlinien in entgegengesetzter Richtung zu den Feldlinien des Metallkanals wirken.

Betrachtet man die Richtung der Magnetfelder der übrigen Ableiter, so erkennt man, dass ihre Wirkung auf die Leiterschleife vernachlässigbar ist.

Laut [1] gelten für die Gegeninduktivitäten  $M$  der sich aus Figur 8 ergebenden *Figur 9* folgende Beziehungen:

$M_1$  = Gegeninduktivität für die Anordnung, bezogen auf den Metallkanal

$M_2$  = Gegeninduktivität für die Anordnung, bezogen auf die Antennenkabel

wobei

$$M_1 = 0,2 \cdot b \cdot \ln \frac{a_1}{r} \quad (1)$$

$$M_2 = 0,2 \cdot b \cdot \ln \frac{c}{a_2} \quad (2)$$

(Induktivitäten in  $\mu\text{H}$ , Masse in m.)

Setzt man die Zahlenwerte

$$a_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 6,5 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \text{ m}$$

$$a_2 = 2,2 \text{ m}$$

$$c = 3,5 \text{ m}$$

ein, werden

$$M_1 = 2,1 \mu\text{H}$$

$$M_2 = 0,6 \mu\text{H}$$

Resultierende Induktivität  $M_{\text{res}} = M_1 - M_2 = 1,5 \mu\text{H}$ .

Unter Annahme, dass sich der Blitzstrom zu je  $\frac{1}{10}$  auf die Antennenleiter und auf den Metallkanal verteilt, wird die Schleifenspannung

$$\Delta U_1 = M_{\text{res}} \cdot \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{10}$$

Ein Blitz mit der relativ hohen *Stromanstiegsgeschwindigkeit* von  $100 \text{ kA}/\mu\text{s}$  erzeugt somit eine Schleifenspannung von

$$\Delta U_1 = 15 \text{ kV}$$

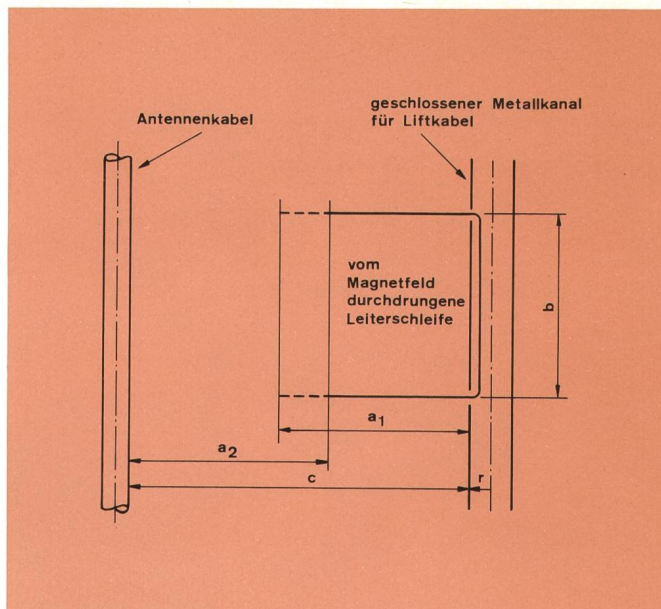


Fig. 9  
Geometrische Lage der Leiterschleife von Figur 8 — Situation géométrique de la boucle de conducteurs de la figure 8  
Antennenkabel — Câbles d'antennes  
Geschlossener Metallkanal für Liftkabel — Canal métallique fermé pour les câbles d'ascenseur  
Vom Magnetfeld durchdrungene Leiterschleife — Boucle de conducteurs traversée par le champ magnétique

verticale sont ainsi de  $6,5 \times 1,5$  m et elle est traversée avec un maximum d'efficacité par les lignes de champ magnétique apparaissant autour du canal métallique.

Les lignes de champ apparaissant autour des câbles d'antennes coupent la boucle verticale sous un angle  $\alpha$  de  $30^\circ$  environ, c'est-à-dire que leur effet est donc de  $\frac{\sqrt{3}}{2}$  ou environ 85 %. Il y a lieu de remarquer que ces lignes de champ agissent en sens inverse de celles qui apparaissent autour du canal métallique.

Si l'on considère le sens des champs magnétiques des autres conducteurs écouant le courant dû à la foudre, on s'aperçoit que leur effet sur la boucle de conducteur est négligeable.

Selon [1], les conditions suivantes sont valables pour les inductivités mutuelles  $M$  reportées dans la *figure 9*, qui découlent de la figure 8

$M_1$  = inductivité mutuelle pour la disposition se rapportant au canal métallique

$M_2$  = inductivité mutuelle pour la disposition se rapportant aux câbles d'antennes

$$M_1 = 0,2 \cdot b \cdot \ln \frac{a_1}{r} \quad (1)$$

$$M_2 = 0,2 \cdot b \cdot \ln \frac{c}{a_2} \quad (2)$$

(Induktivitäten in  $\mu\text{H}$  et dimensions en m)

En introduisant les valeurs chiffrées

$$a_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 6,5 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \text{ m}$$

$$a_2 = 2,2 \text{ m}$$

$$c = 3,5 \text{ m}$$

on obtient

$$M_1 = 2,1 \mu\text{H}$$

$$M_2 = 0,6 \mu\text{H}$$



Zu beachten ist, dass zwischen der Gebäudearmierung (in jedem Stockwerk mit dem Metallkanal verbunden) und der betrachteten Leiterschleife nur die Hälfte von  $\Delta U_1$  auftritt.

Für die Treppenhausinstallationen (322) wird  $\Delta U_1$  kaum grösser als 10...20 kV, da auf diese Leiterschleifen die resultierende Wirkung von *Leitungsschacht* und *Antennenkabel* unter Berücksichtigung der *Stromverteilung* gering bleibt.

#### Lifthängekabel

Mit der Gleichung (1) wird die maximale Spannung zwischen dem Lifthängekabel und der Kabine

$$U_2 \approx 0,2 \cdot b \cdot \ln \frac{a}{r} \cdot \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{10}$$

Mit

$$a = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 150 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \text{ m}$$

$$\frac{di}{dt} = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

wird

$$U_2 \approx 500 \text{ kV}$$

Eine solche Spannung lässt sich nur mit geeigneten Schutzelementen begrenzen, für deren Evaluation folgende Überlegungen angestellt werden.

#### Abschätzung des durch das Schutzelement fließenden Stromes

Das Lifthängekabel bildet zusammen mit dem Metallkanal eine Rechteckschleife mit einer Breite ( $S_2$ ) von etwa 1,5 m und einer Länge ( $S_1$ ) von ungefähr 150 m, wenn sich der Lift im untersten Stockwerk befindet.

Die Selbstinduktivität  $L$  einer solchen Rechteckschleife wird nach [4]

$$L = 4 \left[ (S_1 + S_2) \ln \frac{4 S_1 \cdot S_2}{d} - S_1 \ln (S_1 + g) - S_2 \ln (S_2 + g) \right] \cdot 10^{-3} +$$

$$+ 4 \left[ \delta \mu_r (S_1 + S_2) + 2 \left( g + \frac{d}{2} \right) - 2 (S_1 + S_2) \right] \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

(Induktivität in  $\mu\text{H}$ , Masse in cm)

$g$  = Diagonale der Rechteckschleife

$d$  = Drahtdurchmesser des Schleifenleiters

$\delta$  = Skineffektfaktor (abhängig von der Frequenz und dem Drahtdurchmesser)

Für Rechteckschleifen mit  $S_2 \ll S_1$  kann die Gleichung (3) vereinfacht werden zu

$$L = 4 S_1 \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot S_2}{d} \right) + \delta \mu_r \right] \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

(Induktivität in  $\mu\text{H}$ , Masse in cm)

Die relative Permeabilität  $\mu_r$  für nichtferromagnetische Stoffe beträgt 1, für Baustahl jedoch 100...500.

Der Skineffektfaktor  $\delta$  liegt für Leiterdurchmesser 1,5 mm und für Frequenzen zwischen 100 und 200 kHz zwischen 0,2 und 0,1 [4], wobei er sowohl mit zuneh-

L'inductivité résultante  $M_{res} = M_1 - M_2 = 1,5 \mu\text{H}$ .

Dans l'hypothèse que le courant dû à la foudre se répartit à raison de  $1/10$  sur les conducteurs d'antennes et sur le canal métallique, la tension de boucle devient

$$\Delta U_1 = M_{res} \cdot \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{10}$$

Pour un *accroissement de courant* de  $di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ , ce qui correspond à un front d'éclair très raide, on obtient une tension

$$\Delta U_1 = 15 \text{ kV}$$

Il y a lieu de remarquer que seule la moitié de  $\Delta U_1$  apparaît entre l'armature du bâtiment (reliée à chaque étage avec le canal métallique) et la boucle de conducteur considérée.

En ce qui concerne les installations de la cage d'escaliers (322),  $\Delta U_1$  n'est pratiquement pas supérieur à 10...20 kV, vu que l'effet résultant de la *gaine des câbles* et des *câbles d'antennes* reste faible, compte tenu de la *répartition du courant*.

#### Câble de commande des ascenseurs

La tension maximale entre le câble de commande et la cabine de l'ascenseur devient selon l'équation (1)

$$U_2 \approx 0,2 \cdot b \cdot \ln \frac{a}{r} \cdot \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{10}$$

avec

$$a = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 150 \text{ m}$$

$$r = 0,3 \text{ m}$$

$$\frac{di}{dt} = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

on obtient

$$U_2 \approx 500 \text{ kV}$$

Une telle tension ne peut être limitée que par l'utilisation d'éléments de protection appropriés, à l'évaluation desquels ont présidé les considérations suivantes.

#### Approximation du courant s'écoulant au travers de l'élément de protection

Le câble de commande forme avec le canal métallique une boucle rectangulaire dont la largeur ( $S_2$ ) est d'environ 1,5 m et la longueur ( $S_1$ ) d'environ 150 m, lorsque la cabine de l'ascenseur se trouve à l'étage inférieur.

Selon [4], la self-induction  $L$  d'une telle boucle rectangulaire est

$$L = 4 \left[ (S_1 + S_2) \ln \frac{4 S_1 \cdot S_2}{d} - S_1 \ln (S_1 + g) - S_2 \ln (S_2 + g) \right] \cdot 10^{-3} +$$

$$+ 4 \left[ \delta \mu_r (S_1 + S_2) + 2 \left( g + \frac{d}{2} \right) - 2 (S_1 + S_2) \right] \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

(Inductivités en  $\mu\text{H}$  et dimensions en cm)

$g$  = diagonale de la boucle rectangulaire

$d$  = diamètre du conducteur de boucle

$\delta$  = facteur d'effet de peau (fonction de la fréquence et du diamètre du conducteur)



mender Frequenz als auch mit zunehmendem Drahtdurchmesser abnimmt.

Im vorliegenden Fall gelten

$$\begin{aligned} S_1 &\approx 15\,000 \text{ cm} & \mu_r &= 1 \\ S_2 &\approx 150 \text{ cm} & \delta &= 0,2 \\ d &\approx 0,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

Damit wird nach Gleichung (4)  $L \approx 470 \mu\text{H}$ .

Figur 10 zeigt das Ersatzschaltbild der Lifthängekabelrechteckschleife.

Die induzierte Spannung  $U_2$  hat in Wirklichkeit einen schwingenden Verlauf, der nicht nur abhängig ist von der Art des Blitzstromanstieges (einige  $\frac{1}{10} \mu\text{s}$  bis einige  $\mu\text{s}$  bis zum Scheitelwert), sondern auch vom Verlauf des Blitzstromrückens (einige  $10 \mu\text{s}$  bis wenige  $100 \mu\text{s}$  Halbwertdauer). Innerhalb einiger  $10 \text{ ms}$  ist auch mit mehreren Teilblitzen zu rechnen, so dass sich im Schutzelement die je Teilblitz umgesetzte Energie summiert.

Zur Abschätzung des durch das Schutzelement fließenden Stromes nehmen wir für den schlimmstmöglichen Fall einen Verlauf der induzierten Spannung  $U_2$  an, wie er in Figur 11 dargestellt ist.

Demnach verhält sich der Strom durch das Schutzelement ungefähr nach Figur 12. Bis zum Zeitpunkt  $t_0$  steigt der Strom nach folgender Beziehung an:

$$i = I \left(1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}\right)$$

wobei

$$I = \frac{U_2}{R} = 250 \text{ kA}$$

und

$$\tau = \frac{L}{R} = 230 \mu\text{s}$$

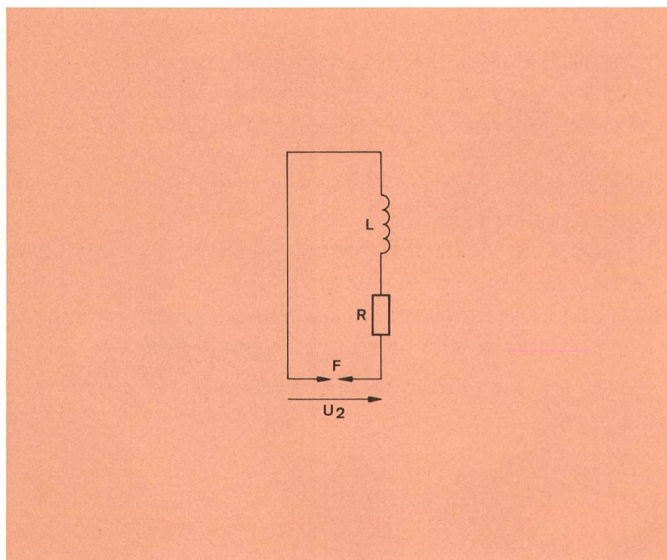


Fig. 10 Ersatzschaltbild der Lifthängekabel-Rechteckschleife — Schéma de remplacement de la boucle rectangulaire des câbles suspendus des ascenseurs

$$L = 470 \mu\text{H}$$

$R \approx 2 \Omega$  (Leiterwiderstand eines 150 m langen  $1,5\text{-mm}^2$ -Cu-Drahtes — Résistance d'un conducteur de cuivre de  $1,5 \text{ mm}^2$  de 150 m de longueur)

$U_2 = 500 \text{ kV}$  (induzierte Spannung — Tension induite)

F Schutzelement mit einem Widerstand von praktisch Null im leitenden Zustand — Élément de protection dont la résistance est pratiquement nulle à l'état conducteur

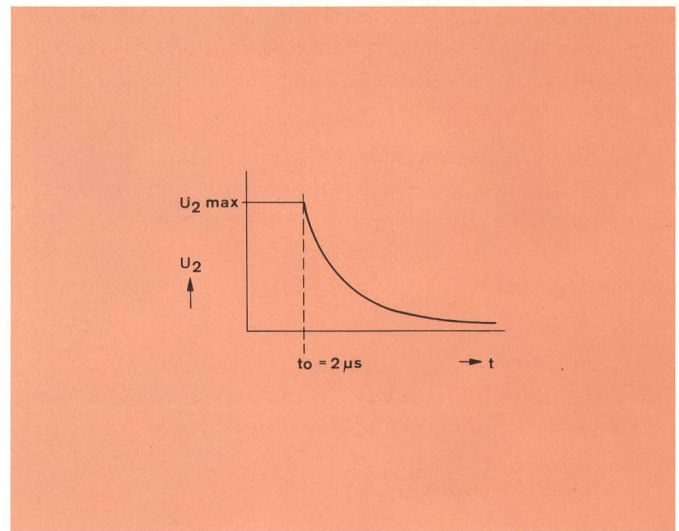


Fig. 11 Idealisierter Stossspannungsverlauf — Allure idéalisée de la tension de choc

Pour les boucles rectangulaires dont la valeur de  $S_2$  est beaucoup plus petite que celle de  $S_1$ , l'équation (3) peut être simplifiée en

$$L = 4 S_1 \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot S_2}{d} \right) + \delta \mu_r \right] \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

(Inductivités en  $\mu\text{H}$  et dimensions en cm)

La perméabilité relative  $\mu_r$  pour les matériaux non ferromagnétiques se monte à 1, pour l'acier de construction, elle est de 100... à 500.

Le facteur d'effet de peau  $\delta$  est compris entre 0,2 et 0,1 pour un diamètre de conducteur de 1,5 mm et des fréquences comprises entre 100 et 200 kHz [4]; sa valeur diminue lorsque la fréquence et le diamètre des conducteurs augmentent.

Dans le cas de St-Chrischona nous avons

$$\begin{aligned} S_1 &\approx 15\,000 \text{ cm} & \mu_r &= 1 \\ S_2 &\approx 150 \text{ cm} & \delta &= 0,2 \\ d &\approx 0,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

On a donc selon (4)  $L \approx 470 \mu\text{H}$ .

La figure 10 montre le schéma de remplacement de la boucle rectangulaire du câble de commande.

La tension induite  $U_2$  a en réalité une allure oscillatoire qui ne dépend pas seulement du genre de front de l'impulsion de courant dû à la foudre (de quelques dixièmes de  $\mu\text{s}$  à quelques  $\mu\text{s}$  jusqu'à la valeur de pointe), mais encore de l'allure du dos de l'impulsion de courant (de quelques dizaines de  $\mu\text{s}$  à quelques  $100 \mu\text{s}$  jusqu'à la valeur de demi-amplitude). Pendant une période de quelques dizaines de millisecondes, il faut également compter avec plusieurs coups de foudre partiels si bien que l'énergie transformée dans l'élément de protection correspond à la somme des énergies partielles.

Pour évaluer le courant traversant l'élément de protection, nous admettons que dans le cas le plus défavorable l'allure de la tension induite  $U_2$  est celle représentée à la figure 11.

Il s'ensuit que le courant à travers l'élément de protection se comporte à peu près comme l'indique la figure 12. Jusqu'au temps  $t_0$ , le courant augmente selon la relation suivante:



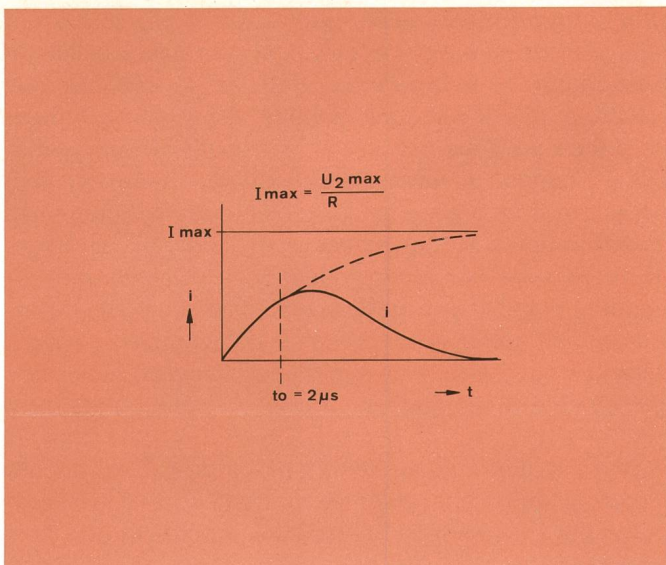


Fig. 12  
Resultierender Stromverlauf durch Ersatzschaltbild nach Figur 10 bei Spannungsverlauf gemäss Figur 11 — Allure du courant résultant de son passage à travers le schéma de remplacement selon figure 10 et pour une tension telle qu'elle est représentée à la figure 11

Zum Zeitpunkt  $t_0$  wird somit

$$i_{t_0} \approx 2,2 \text{ kA}$$

Die Zeit, die verstreicht, bis der induzierte Strom praktisch Null wird, könnte mit etwa  $6 \dots 10 \mu\text{s}$  angegeben werden.

#### Wahl des Schutzelementes

Der Einsatz eines Edelgasableiters, zum Beispiel Typ UC von *Cerberus*, stellt bezüglich des Stromes  $i_{t_0}$  kein Problem.

Es fragt sich aber, ob der allfällige Folgestrom aus der Betriebsstromquelle nach Durchgang des vom Blitz verursachten Stromstosses gelöscht werden kann, ohne dass zum Beispiel eine Sicherung durchschmelzen muss. Ebenso ist zu überlegen, ob die zu schützenden Elemente die dynamische Ansprechspannung (etwa  $600 \text{ V}$ ) eines solchen Ableiters verkraften.

Nötigenfalls muss eine der vielen auf dem Markt üblichen Schutzkombinationen eingesetzt werden, oder eine weitere Möglichkeit besteht in der Anwendung einer *Transzorbdiode* vom Typ *15 kP* mit einer Spitzenimpulsleistung von etwa  $110 \text{ kW}$  während einer Impulsdauer (Halbwertzeit einer abklingenden e-Funktion) von  $10 \mu\text{s}$ .

Die Betriebsspannung des damit geschützten Stromkreises darf jedoch  $40 \text{ V}$  nicht überschreiten. Damit könnte zum Beispiel der Diodentyp *15 kP 40* mit einer maximalen Durchlassspannung von  $73 \text{ V}$  eingesetzt werden. Die mittlere Leistung für den erwähnten Stromimpuls während ungefähr  $10 \mu\text{s}$  würde damit an der Schutzdiode

$$P \approx 1,5 \text{ kA} \cdot 73 \text{ V} = 110 \text{ kW}$$

betragen. Für niedrigere Betriebsspannungen wird die an der Diode auftretende Leistung kleiner und somit ungefährlicher. Der Vorteil einer *Transzorbdiode* liegt darin, dass diese nach Durchgang des Stossstromes für die gewählte Betriebsspannung problemlos «löscht».

$$i = I (1 - e^{-\frac{t_0}{\tau}}),$$

dans laquelle

$$I = \frac{U_2}{R} = 250 \text{ kA}$$

et

$$\tau = \frac{L}{R} = 230 \mu\text{s}$$

au temps  $t_0$ , on a alors

$$i_{t_0} \approx 2,2 \text{ kA}$$

Le temps qui s'écoule jusqu'au moment où le courant induit est pratiquement nul peut être évalué à environ  $6 \dots 10 \mu\text{s}$ .

#### Choix de l'élément de protection

L'utilisation de parasurtensions à gaz rare, par exemple du type UC de *Cerberus*, ne pose pas de problème du point de vue du courant  $i_{t_0}$ .

Il s'agit cependant de se demander si un éventuel courant de suite de la source de tension d'exploitation, qui succéderait au courant de choc provoqué par l'éclair, pourrait être coupé sans qu'un fusible ne doive fondre. De plus, il y a également lieu de se demander si les éléments à protéger supportent la tension dynamique d'amorçage (environ  $600 \text{ V}$ ) d'un tel parasurtension.

En cas de nécessité, il faut avoir recours à l'une des nombreuses combinaisons de protection disponibles sur le marché. Une autre possibilité consiste dans l'utilisation d'une *diode Transzorb* du type *15 kP* avec une puissance impulsive de pointe d'environ  $110 \text{ kW}$  pendant une durée d'impulsion (temps de demi amplitude d'une fonction décroissante) de  $10 \mu\text{s}$ .

La *tension d'exploitation* des circuits ainsi protégés ne doit cependant pas dépasser  $40 \text{ V}$ . Ainsi, il serait possible d'utiliser, par exemple, une diode du type *15 kP 40* avec une tension de passage maximale de  $73 \text{ V}$ . La puissance moyenne à la diode de protection pour l'impulsion de courant mentionnée pendant environ  $10 \mu\text{s}$  se monterait ainsi à

$$P \approx 1,5 \text{ kA} \cdot 73 \text{ V} = 110 \text{ kW}$$

Pour des tensions d'exploitation inférieures, la puissance apparaissant aux bornes de la diode serait plus faible et donc moins dangereuse. L'avantage d'une diode *Transzorb* réside dans le fait qu'après le passage du courant de choc, il n'y a pas de problèmes «d'extinction» pour la tension d'exploitation.

L'utilisation de *varistors à l'oxyde de zinc* n'entrerait pas en considération pour les *tensions d'exploitation faibles*, vu que les types qui peuvent être obtenus pour cette application ne supporteraient ni la valeur de pointe du courant de choc, ni l'énergie transformée dans le varistor.

Si, en revanche, on utilise une tension d'exploitation de  $220 \text{ V}$ , les varistors à l'oxyde de zinc du type *bloc* ou également *sous forme de disques*, tels que *SIOV-S 20 K 275 (Siemens)* ou *ERZ-C 20 EK 431 (Elbatex)* pourraient convenir en tant qu'éléments de protection. Avec les varistors, on n'a pas non plus de «problèmes d'extinction» et, pour le courant de choc mentionné, l'énergie transformée serait d'environ  $10 \dots 15 \text{ W}$ .

## 6 Considérations finales

En ce qui concerne les calculs ci-dessus, il y a lieu de se rendre compte que les surtensions et courants pou-



Der Einsatz von *Zinkoxidvaristoren* käme für *Kleinspannungsanwendungen* nicht in Frage, da die hierfür erhältlichen Scheibentypen weder den hier auftretenden Stossstromsicherheitswert noch die im Varistor umgesetzte Energie verkraften könnten.

Wird hingegen 220 V~ als Betriebsspannung verwendet, so wären Zinkoxidvaristoren in Form von *Blocktypen* oder auch noch als *Scheibentyp* wie SIOV-S 20 K 275

(*Siemens*) oder ERZ-C 20 EK 431 (*Elbatex*), als Schutz-element geeignet. «Löschprobleme» gibt es auch mit den Varistoren nicht. Die in diesen Elementen beim gegebenen Stromstoss umgesetzte Energie würde etwa 10...15 Ws betragen.

## 6 Schlussbetrachtungen

Was die Berechnung der auftretenden Spannungen betrifft, muss man sich darüber im klaren sein, dass die in der Praxis vorkommenden blitzbedingten Überspannungen und -ströme nur grob rechnerisch geschätzt werden können. Der Blitz hält sich keineswegs an einfache mathematische Funktionen. Ebenso wenig können nichtlineare Vorgänge, wie Varistor- oder Zündverhalten eines Gasableiters, Sättigungserscheinung in Eisenteilen und Gleichrichtereffekte, erfasst werden. Die angestellten Überlegungen sollen jedoch dem Praktiker zeigen, wie Betrachtungen «für den schlimmsten Fall» als «Leitplanken» dienen können, um die Vielzahl der angebotenen Schutzelemente sinnvoll einzusetzen.

Allgemein ist noch die Wichtigkeit des Blitzschutzes, besonders in Hochbauten an exponierten Lagen, hervorzuheben, ohne den der Betrieb empfindlicher Einrichtungen der Fernmeldetechnik noch mehr gefährdet wäre. Systematische Untersuchungen und die Abklärung der Verhältnisse in Mehrzweckanlagen wie St. Chrischona gestatten es, wichtige Erfahrungen zu sammeln, die von Bedeutung für spätere Vorhaben sind.

Schliesslich sei noch allen Mitarbeitern der Ingenieurbüros, der Unternehmer und der PTT gedankt, die bei der Erstellung einer solchen nicht alltäglichen und auch nicht problemlosen Blitzschutzanlage mitgewirkt haben oder noch mitwirken.

vant apparaître ne peuvent être évalués que tout à fait approximativement par le calcul. Il n'est pas possible de représenter le comportement de la foudre par des fonctions mathématiques simples. Il en est également de même pour les processus non linéaires, tels que le comportement de varistors ou celui de l'allumage d'un parasurtension à gaz rare, ainsi que pour les problèmes de saturation dans les pièces métalliques ou les effets de redresseur. Les idées émises à ce sujet doivent cependant montrer aux praticiens comment certaines considérations «pour le cas le plus défavorable» peuvent servir de «garde-fou» en vue d'une utilisation judicieuse des nombreux éléments de protection offerts sur le marché.

D'une manière générale, il y a lieu de relever encore l'importance de la protection contre la foudre, en particulier dans les bâtiments élevés construits en des sites exposés, sans laquelle l'exploitation des équipements sensibles de la technique des télécommunications serait mise encore plus en danger. Les essais systématiques et l'examen des conditions dans les installations à usages multiples telles que St-Chrischona permettent de faire des expériences importantes dont on profitera pour les centres futurs.

Il y a lieu de remercier ici tous les collaborateurs — qu'ils soient des bureaux d'ingénieurs, des entrepreneurs ou de l'Entreprise des PTT — qui ont participé à la mise en place d'une telle installation de protection contre la foudre, dont la réalisation n'est, pour le moins, pas quotidienne et pas sans problèmes.

## Bibliographie

- [1] *Wiesinger J.* und *Hasse P.* Handbuch für Blitzschutz und Erdung. Berlin, VDE-Verlag, 1977.
- [3] *Montandon E.* Die Grösse blitzbedingter Überspannungen an elektrischen Einrichtungen in Stahlbetonbauten mit und ohne leitender Metallverkleidung. Empfehlungen für die Überspannungsfestigkeit dieser Einrichtungen. Uppsala, 15. Europ. Blitzschutzkonferenz, 1979 (K2: 50–73).
- [31] *Hubert P.* Considérations théoriques sur les descentes de paratonnerres d'une tour hertzienne. Uppsala, 15. Europ. Blitzschutzkonferenz, 1979 (K2: 35–49).
- [32] *Wiesinger J., Trapp N.* und *Steinbigler H.* Messung von Blitzströmen mit einer Induktionsschleife. Venedig, 13. Int. Blitzschutzkonferenz, 1976 (Ref. 1.54).
- [4] *Hertwig P.* Induktivitäten. Hamburg, 1954.