

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band:	58 (1967)
Heft:	24
Rubrik:	9. Internationale Blitzschutzkonferenz : Tagung vom 25.-28. September 1967 in Lugano

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

9. Internationale Blitzschutzkonferenz

Tagung vom 25.—28. September 1967 in Lugano

061.3:621.316.98

Die Fachleute aus 14 Ländern trafen sich in Lugano zur 9. Internationalen Blitzschutzkonferenz. Als Einladende der Schweiz zeichneten die FKH¹⁾, der SEV und die Vereinigung kantonaler Feuerversicherungsanstalten. Die bereits zum zweiten Mal erfolgte Wahl von Lugano als Tagungsort in der Schweiz ist darin begründet, dass die von der FKH betriebene Blitzmessstation auf dem Monte San Salvatore viele wertvolle Erkenntnisse und Resultate ermöglicht. Dem Besuch der Station wurde daher auch ein halber Tag der sonst knappen Zeit gewidmet. Ein erklärendes Referat des Leiters der FKH, Prof. Dr. K. Berger, enthielt die letzten Neuerungen der Meßstation. Die ersten Resultate der neuen Feldmesseinrichtung, die im Winter 1966/67 gebaut wurde, liegen vor. Als Messgerät dient die Feldmühle, die im wesentlichen eine isolierte, gelochte Platte enthält, die wechselweise durch eine gleiche, darüber angeordnete, drehbare Platte dem luftelektrischen Feld ausgesetzt und wieder von diesem abgeschirmt wird. Die Registrierung durch ein Magnetband erlaubt ein Speichern, so dass bei Blitz einschlägen in die Türme der Feldverlauf während einiger Sekunden vor dem Einschlag noch aufgezeichnet werden kann. Im Zusammenhang mit den zahlreichen Aufwärtsblitzen ist es von Interesse, die für solche Entladungen notwendigen Feldstärken zu messen. Die bereits erhaltenen Resultate zeigen interessante Erscheinungen, benötigen aber zur exakten Erklärung noch Kontrolluntersuchungen.

Zur Entstehung und Organisation der Internationalen Blitzschutztagung sei folgendes bemerkt:

Die Internationalen Blitzschutztagungen gehen auf die Initiative weniger Fachleute aus Österreich, Deutschland und der Schweiz zurück, die sich im Jahre 1948 erstmalig in Reichenhall zusammenfanden, um möglichst einheitliche Empfehlungen für den Blitzschutz in den 3 Ländern auszuarbeiten. Den drei Gründerländern schlossen sich später auch Polen und die DDR an. Im Gegensatz zu andern internationalen Organisationen unterhält die Blitzschutzkonferenz kein ständiges Sekretariat. Es ist Aufgabe des einladenden Landes, die jeweilige Tagung zu organisieren. Das Programm dafür wird jeweils ein Jahr vor der Tagung vom «Gründerkomitee», d. h. von den Vertretern der fünf Gründerländer festgelegt.

Das Verfahren, an der Tagung die vorher verteilten, insgesamt 30 Berichte nicht zu verlesen, liess der notwendigen Diskussion mehr Zeit. Infolge des Umfangs und der Weitschichtigkeit der Probleme genügte die Konferenzzeit nicht zur abschliessenden Diskussion aller Fragen. Manche Diskussion zwischen den rund hundert Teilnehmern wurde daher ausserhalb des Konferenzsaales im kleinen Kreis weitergeführt.

Die nächste Konferenz soll auf Einladung der ungarischen Delegation 1969 in Budapest stattfinden.

1. Gewitter- und Blitzforschung, Blitzzählern

Die notwendige Grundlage eines Blitzschutzes ist die Kenntnis der Eigenschaften des Blitzes (Amplitude, Steilheit, Dauer). Nur die Messungen im Blitzkanal selbst, d. h. am Fusspunkt, mittels eines Shunts erlauben dabei eine genaue Erfassung. Dem berechtigten Wunsch, die Blitzstudien in einer Ebene auszuführen, treten wirtschaftliche Erwägungen entgegen, die eine derart grosse Installationsauslage für vielleicht nur einen Blitz einschlag pro Jahr nicht rechtfertigen. Es muss daher versucht werden, aus den Messungen in exponierter Lage mit viel Einschlägen Rückschlüsse auf das ebene Gelände zu ziehen. Die Aufteilung in Aufwärts- und Abwärtsblitze auf dem Monte San Salvatore ist ein Schritt in dieser Richtung. Es zeigt sich dabei, dass in den Jahren 1955 bis 1966 82 % der gemessenen Blitze Aufwärtsblitze waren. So mit dürfen also nur 18 % auf die Ebene übertragen werden. Was die zur Auslösung von Aufwärtsblitzen nötigen elektrischen Felder betrifft, wird auf Grund von Beobachtungen die Ansicht vertreten, dass der *statische* Ladungsaufbau in der Wolke keine genügend grossen Felder auf der Erdoberfläche verursacht, dass

vielmehr erst die Ladungsumschichtung infolge Wolkenblitzen kurzeitig zu den nötigen Feldstärken führt. Die Feldmesseinrichtung auf dem Monte San Salvatore wird darüber noch genaueren Aufschluss geben. Für die Erforschung des Kanalaufbaus sind die Aufwärtsblitze sehr interessant. Hier ist sowohl die elektrische wie photographische Erfassung (solange sie unter den Wolken sind) möglich. Die beobachteten Rückstufen liegen in der Grösse von 3...4 m und entsprechen etwa der Länge der Büschelbildung. Diejenigen der Abwärtsblitze sind mit 10 m und mehr eher etwas grösser. Die Dicke des stromführenden Kanals ist stark zeitabhängig, jedoch zu klein, um optisch erfasst zu werden. Versuche im Laboratorium mit kurzen Stößen durch Seidenpapier zeigten feine Kanäle mit Durchmesser wesentlich unter einem Millimeter. Der leitende Kanal langdauernder Blitzströme dürfte einen Durchmesser bis etwa 1 cm erreichen.

Die Aufwärtsblitze führen eher kleine Ströme von wenigen 100...1000 A und verfächeln sich oft stark nach oben. Wohl als auffälligstes Merkmal in bezug auf verschiedene Polarität zeigt sich, dass das Vorwachsen eines positiven Kanals lichtschwächer ist als das eines negativen, welcher gut sichtbare, ausgeprägte Rückstufen aufweist. Das Zusammentreffen von Aufwärtsblitzen mit Wolkenblitzen kann zu Folgestößen mit eventuellem Polaritätswechsel führen. Bei negativen Abwärtsblitzen entstehen Fangentladungen in der Grösse von wenigen 10 m; positive Abwärtsblitze weisen dagegen oft sehr lange Fangentladungen auf. Das Übertragen dieser Beobachtungen in den Bereich des praktischen Blitzschutzes zeigt, dass hohe Bauwerke Ansatzpunkte für Fangentladungen bilden, welche Blitze aus positiven Wolken aus einem weiten Umkreis anziehen können. Im reinen Flachland ist daher vermutlich die Zahl der positiven Abwärtsblitze kleiner als auf dem Monte San Salvatore, wobei aber hier der positive Blitz, wenn er kommt, auch eine steile Front aufweisen wird. Die mittlere gemessene Ladung Q bei Abwärtsblitzen betragen 12 C bei negativen und 122 C bei positiven Wolken. Zur Bestimmung des kritischen Überschlagabstandes des Blitzes beim Herunterwachsen sollte nicht nur die durchschnittliche Feldstärke zwischen Blitzkopf und Objekt berücksichtigt, sondern auch dem mit begrenzter Geschwindigkeit erfolgenden Vorwachsen der Fangentladung Rechnung getragen werden.

Ein Vergleich der Messergebnisse der einzelnen Forschungsgruppen zeigt, dass die wesentlichen Blitzparameter wie Strom, Steilheit und Dauer stark voneinander abweichen. Dies röhrt einmal daher, dass in der Summenhäufigkeit andere untere und obere Grenzwerte gewählt und gegeben sind. Ein Vergleich der Summenhäufigkeit im Intervall von 20...60 kA, welcher diese Schwierigkeit beseitigt, ergibt immer noch Abweichungen von über 36 %. Die Erklärung dafür liegt wohl in den verschiedenen Messmitteln (Shunt, Stäbchen usw.) und auch in den topographischen Verhältnissen. In Anbetracht der Wichtigkeit dieser Grössen wird vorgeschlagen, ein internationales Komitee zu bilden, das eine gemeinsame Basis erarbeitet und dabei die verschiedenen Messmittel und Örtlichkeiten in Rechnung stellt. Eine Untersuchung der Resultate mit statistischen Methoden würde sicher einen Teil der Abweichungen erklären. Die Genauigkeit von $\frac{1}{3}$ aller verwendeten Stäbchen wird mit 10 % angegeben, was durch eine Untersuchung der Studiengesellschaft bestätigt wird. Diese Messmethode erlaubt aber kaum das Erkennen von Folgestößen. Allein vom Schutz der Hochspannungsleitungen aus gesehen, ist eine bessere Übereinstimmung der verschiedenen Resultate nicht erforderlich, da die Betriebserfahrungen gut mit den Stäbchenmessungen übereinstimmen. Die örtlichen Besonderheiten der Messergebnisse zu berücksichtigen, erscheint teilweise zu verfrüht, da besonders für Verhältnisse in ebenem Gelände zu wenig Resultate vorliegen. Das Messen der Einschläge in alle erstellten Blitzschutzanlagen mittels Stahlstäbchen wäre sicher wünschenswert, bereitet aber in der Praxis grosse Schwierigkeiten. Neben der Wartung bietet auch das Erfassen parallelgeschalteter Ableitungen grosse Probleme.

Erfreuliche Resultate zeigen die Messungen mit Blitzzählern. Diese Geräte, gebaut nach den Empfehlungen des Studienkomitees

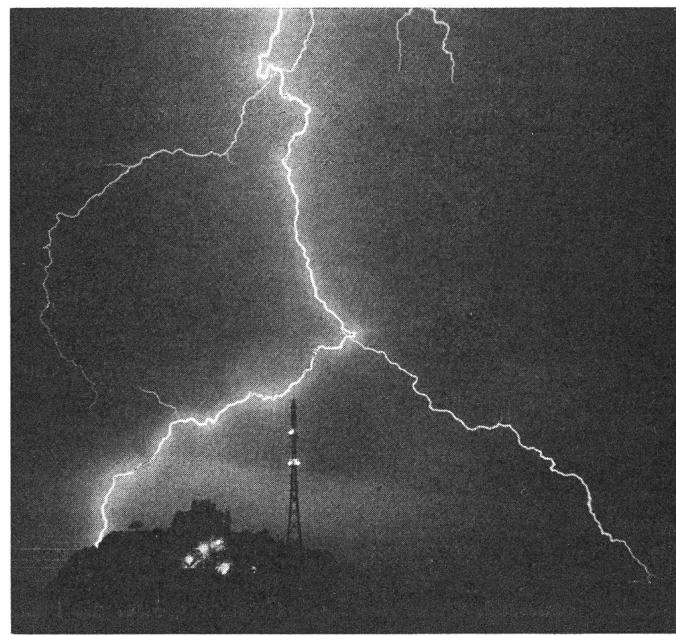
¹⁾ Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen.

tees 8 der CIGRE, registrieren in einem Radius von ca. 18 km, d. h. auf einer Fläche von ca. 1000 km², Feldsprünge von 5 V/m bei einer Grundfrequenz von 500 Hz. Die Aufteilung der Zählergebnisse in Wolkenblitze und Erdblitze ist nicht möglich. Die in Bayern und Schleswig-Holstein über 3 Jahre gemittelten Jahressummen streuen stark von Ort zu Ort, wobei als allgemeine Tendenz eine Zunahme der Anzahl bis in die Grösse von 3...10 000 Zählungen pro Jahr festzustellen ist, je weiter südlich die Station liegt. Exponierte Punkte eignen sich schlecht als Standorte von Zählern, da diese hier auch weit entfernte Blitze infolge der Feldkonzentration messen und somit keine vergleichbaren Resultate liefern. Um Überschneidungen zu vermeiden, wird eine Entfernung von 50 km zwischen zwei Zählern empfohlen. Eine Ergänzung der Blitzzählgeräte mit automatischen Druckern erlaubt die Aufzeichnung der Gewittertätigkeit, d. h. genauer Blitztätigkeit über das Jahr, ja sogar über den Tag. Dabei treten 1...2 Maxima auf, je nach Ort, dies sowohl im Jahresverlauf in den Monaten Juni bis August, wie auch im Tagesverlauf von 12.00 Uhr bis Mitternacht. Frontgewitter zeigen eine doppelt so grosse Blitztätigkeit als Wärmegewitter. Mit Hilfe der Zähler und Radar konnten Gewitterzüge zeitlich und örtlich verfolgt werden; die festgestellte durchschnittliche Geschwindigkeit beträgt 50 km/h. Werden die Blitzimpulse pro Blitzzähltag (Definition: mehr als 5 Impulse pro Tag) ermittelt, so ergibt dies eine logarithmische Summenhäufigkeits-Verteilung, deren Mittelwert, d. h. 50-%-Wert, in allen Jahren bei 80...100 Impulsen pro Blitzzähltag liegt. Zu beachten ist, dass ein Blitzzähltag doppelt so häufig vorkommt wie ein meteorologischer Gewittertag (mind. 1 mal Donner). Über die Dauer der Gewitter liegen unterschiedliche Angaben vor. Neben Werten von 1 h in Schottland (Mittel von 10 Jahren), besteht die Möglichkeit von Kaltfrontgewitterdauern bis 48 h (San Salvatore). Die Zahl der Wärmegewitter ist in Mitteleuropa von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterworfen; während in einem Sommer praktisch keine vorkommen, können sie in einem andern Sommer relativ häufig sein.

2. Theorie des Blitzschutzes

Die heute übliche Prüfung mit einer 1,2|50-μs-Stossquelle wurde im einführenden Referat kritisch beleuchtet. Ausgehend von einer Steilheit von 100 kA|μs für den 2. Stoss von Mehrfachblitzen wird der Spannungsanstieg auf einer Leitung betrachtet. Bereits das vereinfachte Schema einer Leitung mit Transformatorm am Ende erweist sich dabei als recht instruktiv. Der eingeprägte Strom von 100 kA|μs bewirkt auf einer Freileitung eine Steilheit von 1 MV|20 ns. Die übliche stationäre Betrachtungsweise, z. B. für den Schutz des Transformators, ist bei diesen Steilheiten nicht mehr angebracht, sondern das Wellenspiel muss genau verfolgt werden. Hier entscheiden Laufzeiten, ob ein Schutz noch wirksam ist oder nicht. Unter diesem Gesichtspunkt kann die Frage gestellt werden, ob die heutige Prüfmethode mit vorgegebener Stossform und Scheitelhöhe genügend ist. Die Untersuchungen bei Blitzwirkung zeigen, dass mit einem gegebenen dU/dt gemäss eingeprägt Strom gerechnet werden muss. Natürlich erfordert eine solche Prüfung neue, spezielle Stossgeneratoren mit rasch zündenden Funkenstrecken und kleiner Kreisinduktivität. Diese Forderungen wurden an der Technischen Hochschule München erfüllt, und eine Reihe erster Versuche zeigen bereits interessante Resultate, indem sich Kennlinien, die im Bereich des 1|50-μs-Stosses bekannt sind, bei Stössen mit zunehmender Frontsteilheit überschneiden. Dies bedeutet z. B., dass sich bestimmte Spitze-Platten-Anordnungen im Steilstossgebiet gerade umgekehrt verhalten können als beim 1|50-μs-Stoss. Diese Tatsache kann in der Isolationskoordination eine Rolle spielen, wobei die ausschlaggebende Grundlage «der eingeprägte Strom» genau bekannt sein sollte. In den österreichischen Vorschriften ist diesem Umstand Rechnung getragen, indem eine Stromsteilheit von 30 kA|μs angenommen wird. Aus dieser Sicht drängt sich eine vermehrte Messung der Stromsteilheit auf.

Bei den gemessenen Stosskennlinien mit dem 1-MV-Stossgenerator sehr steiler Front streuen die Ansprechspannungen ca. 1 %, dies ist recht wenig verglichen mit der Streuung kleiner Funkenstrecken (bei weniger als 10 kV), die bis 250 % streuen.



In Finnland zeigten sich im Zusammenhang mit Steilstößen im 20-kV-Netz eigenartige Erscheinungen: Trotzdem die Ableiterstossansprech-Charakteristik und die Restspannung unter der Isolationscharakteristik liegt, traten Überschläge der Isolation auf bei Beanspruchung mit Steilstößen. Die grosse Spannungsspitze am Anfang bewirkte somit später einen Überschlag.

Neben den sehr steilen Stößen ist auch das Verhalten von Stößen mit Frontzeiten über 200 μs interessant, indem dort vielfach ein Absenken der Durchbruchspannung beobachtet wird. Diese Vorgänge, die vermutlich auf Trägereffekte (Ionenlaufzeiten) beruhen, haben einen anderen Charakter als bei schnellen Stößen, bei denen die Zeiten verglichen mit der Ionenbeweglichkeit kurz sind. Ebenso bleibt offen, wie sich die Durchschlagsspannung einer Spitzenfunkenstrecke bei grösseren Abständen verhält. Dieses Problem wird vom Studienkomitee 15 der CIGRE (Koordination) bearbeitet.

Im Zusammenhang mit dem Begriff des Schutzraumes stellt sich die Frage, ob die Anwendung dieser Bezeichnung überhaupt gerechtfertigt ist. Mit der Verwendung des Begriffs Schutzbereich verknüpft sich die Aussage oder die Vorstellung, dass in diesem Bereich kein Einschlag erfolgt. Dies widerspricht aber den Erfahrungen, die trotz aller Theorien Einschläge in die verbotene Zone feststellen. Eine Lösung dieses Widerspruches könnte mit Hilfe des Begriffs der Wahrscheinlichkeit gegeben werden. So wie aus der Summenhäufigkeitskurve die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens einer bestimmten Blitzstärke abgeleitet wird, kann auch für den «Schutzraum» ein Wahrscheinlichkeitsfaktor abgeleitet werden, der dann innerhalb des Schutzraumes viel kleiner ist als außerhalb, in seiner Aussage aber einen Einschlag zulässt. Als Parameter in diesem neuen Schutzbereich wären neben den örtlichen Blitzvorkommen auch die Dimensionen der Anlageteile, z. B. Mast, Erdseile usw., einzuführen. Es wäre dann nicht mehr ein bestimmter Schutzraum vorzuschreiben, sondern eine bestimmte maximal zulässige Einschlagswahrscheinlichkeit. Diese Berechnung setzt aber eine klare Erkenntnis sowohl des herabkommenden Blitzkopfes wie der Ausbildung von Fangentladungen und deren Einzugsbereich voraus, wobei z. B. die Laboratoriumsversuche nicht ohne weiteres auf den Blitzvorgang übertragen werden dürfen, da bei diesem die tatsächlichen Dimensionen eine Rolle spielen.

Ein wichtiger Punkt in der Blitzschutztechnik ist die Erdung. Viele staatliche Verordnungen enthalten daher auch genaue Angaben über maximale Erdungswiderstände. Für das Erreichen eines bestimmten Wertes ist es vorteilhaft, die genaue Struktur des Bodens zu kennen. Auf Grund von Bodenmessungen mit dem 4-Punkte-Verfahren kann die Art der wirksamen Erdungsform entschieden werden, z. B. Band- oder Tiefenerder. Da die Erdanlage dem Blitzschutz genügen muss, sind die Widerstandswerte bei Stossbeanspruchung massgebend. Dies bedeutet, dass eine lange Erdung bereits nicht mehr Ohmisch ist, sondern als Leitung

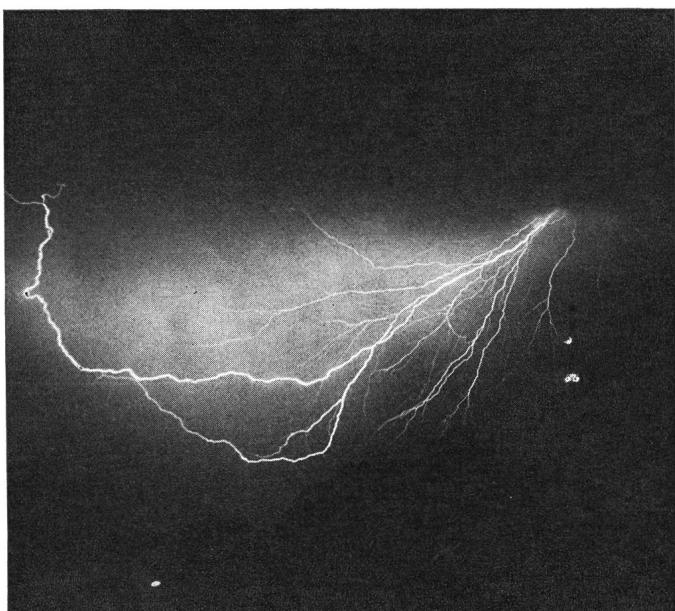
wirkt. In gewissen Landesvorschriften werden deshalb bestimmte maximale Längen festgelegt.

Beim Einbau tauchen noch Erscheinungen auf, die sich teilweise ungünstig, teilweise günstig auswirken. So ist z. B. die Frosttiefe vorher zu bestimmen, denn innerhalb dieser Schicht verlegte Erder haben im Winter plötzlich höhere Erdungswiderstände. Ebenso kann das Austrocknen den Widerstand im schlechten Sinne beeinflussen. Im porösen Boden zeigt sich, dass der Stoss-widerstand bei Feldstärken über ca. 2,5 kV/cm absinkt. In inhomogenem Boden erfolgt die Ausbreitung des Stromes nicht gleichmässig nach allen Seiten. Schlecht leitende Schichten weisen dabei eine Bildung von Kanälen auf, auf die sich der Strom konzentriert, um zu den besser leitenden Teilen zu gelangen. Geoelektrische Untersuchungen, die in Kroatien durchgeführt wurden, zeigen, wie mannigfaltig die Widerstandsverhältnisse in einem kleinen Abschnitt von nur ca. 100 m sein können. Muss der Widerstandswert einer Erdung genau berechnet werden, so liefert nur die Messung am Ort selber genaue Unterlagen.

Über die Frage, wie weit die Bodenverhältnisse den Einschlagort beeinflussen, besteht noch keine einheitliche Meinung. Als Beitrag wurde eine theoretische Arbeit vorgelegt, die als Voraussetzung eine gut leitende Spalte in sehr schlecht leitendem Gestein voraussetzt, wobei das ε des Gesteins grösser als 1 ist. Rechnerisch wurde die Spalte als Ellipsoid erfasst. Das Resultat zeigt eine Felderhöhung an der Erdoberfläche über dem Spalt, die den Blitz beeinflussen könnte. Die Rechnung ist allerdings nur gültig für das statische Feld, mit $\varrho = \infty$ für das die Spalte umgebende Gestein, oder bei sehr raschen Vorgängen in der Grössenordnung von μs , sofern das Gestein den spez. Widerstand von mindestens $10^4 \Omega m$ aufweist. Bei einer Vorwachsgeschwindigkeit von 1/1000 Lichtgeschwindigkeit, was $0,3 m/\mu s$ entspricht, würde der Blitz somit nur in den letzten Metern beeinflusst werden. Ein Versuch im Laboratorium, in dem eine gut leitende Spitze im Wasser von $600 \Omega m$ steht und dabei von unten gerade die Oberfläche erreicht, zeigt, dass der Funken von der ausserhalb liegenden Elektrode senkrecht auf die Wasseroberfläche schlägt und dann längs dieser zur gut leitenden Spitze überspritzt. Dies dürfte in vielen Fällen der wahre Vorgang sein, von dem der Volksmund sagt, «dass das Metall den Blitz anzieht».

3. Praktischer Blitzschutz

In verschiedenen Referaten wurde die technische Realisierbarkeit eines Blitzschutzes besprochen. Die Diskussion spiegelte dabei die verschiedenen Auffassungen zwischen den Ländern und innerhalb der Länder wieder, die teils auf unterschiedlichen Erfahrungen, teils auf verschiedener Akzentuierung der Gefahrenpunkte beruht. Wird den Vorschriften Gesetzeskraft gegeben, wie z. B. in Österreich, so sind aus diesem Gesichtspunkt heraus noch weitere Aspekte zu berücksichtigen, z. B. muss der Blitzableiterbau kontrolliert werden, wobei die Kontrolle bereits bei der



Kenntnis der Ausführenden beginnt. Die Bestimmungen müssen neben wirtschaftlichen Überlegungen auch dem Durchschnitt der Ausführenden gerecht werden. Dies bringt zwangsläufig eine gewisse Vereinfachung der Vorschriften mit sich. Von einer Normung des Schutzes wird abgesehen im Hinblick auf die Vielfalt der Objekte. Die Normung der einzelnen Teile ist jedoch sinnvoll.

Im Falle der Seilbahnen sehen die österreichischen Vorschriften folgende wesentliche Punkte vor:

1. Mechanische Teile sind gut leitend zu verbinden und an mindestens 2 Punkten zu erden.

2. Stationen im Hochgebirge: Bei hohem spez. Bodenwiderstand sind sämtliche Schutz- und Betriebserderanlagen in geeigneter Weise mit einer Blitzschutzerde über Trennstellen zu verbinden.

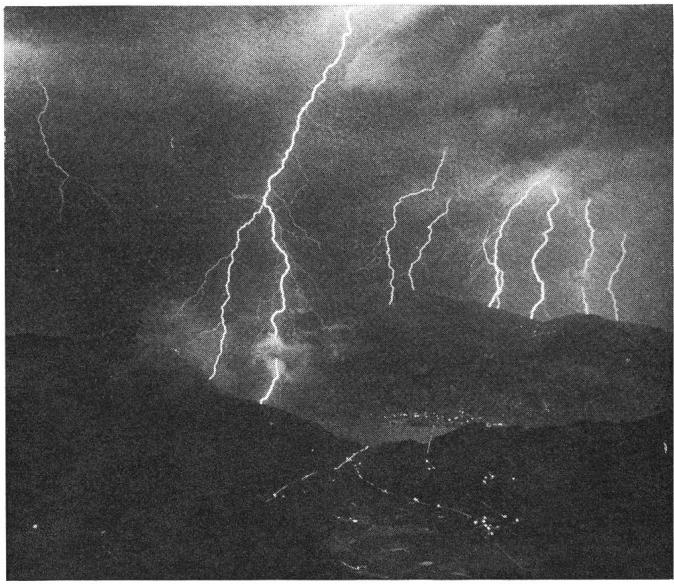
3. Wenn die geforderten Erdungswiderstände nicht erreicht werden, sind geeignete Massnahmen im Einvernehmen mit der Eisenbahnbehörde zu treffen.

Die Erdung aller Stützen wird beibehalten. Sofern das Tragseil über 26 mm Durchmesser aufweist, scheint ein direkter Einschlag in dasselbe nicht mehr gefährlich. Die heute gebauten, tragfähigen Seilbahnen dürfen alle Tragseile mit grösserem Durchmesser aufweisen. Aus diesem Grund wird auf ein zusätzliches Erdseil verzichtet. Die damit erreichte Schutzwirkung rechtfertigt den Aufwand des sehr hoch zu verlegenden und daher problematischen Seiles nicht.

Der praktische Blitzschutz im Zusammenhang mit Sprengstoffen wirft immer wieder viele Probleme auf, beginnend bei der Herstellung bis zur Verwendung. Die Durchführbarkeit der österreichischen Verordnung, dass auch bei zuverlässiger Blitzschutzanlage bei Herannahen des Gewitters der Arbeitsplatz verlassen werden muss, wird stark angezweifelt. Die praktische Anwendung zeigt grosse Probleme: Wo sollen die Leute hin, aufs Feld in vielleicht grössere Gefahr? In Produktionsbetrieben kann der Arbeitsprozess nicht ohne weiteres unterbrochen werden. Daher lässt sich die Ansicht, dass ein den Gefahren entsprechender, weitgehender Blitzschutz genüge, gut begründen. Hier, und besonders auch im Zusammenhang mit den elektrisch gezündeten Sprengungen, tritt immer die grosse Frage auf, wer ein herannahendes Gewitter erkennen soll und auf welche Weise. Die in verschiedenen Ländern zu diesem Zweck verwendeten Blitzzähler (z. B. in Deutschland, Österreich) benötigen doch die Interpretation eines Verantwortlichen, ansonst kann an gewissen Tagen wegen der hohen Empfindlichkeit des Zählers überhaupt nicht oder nur teilweise gearbeitet werden. Dies bewirkt wenig beliebte Zusatzkosten und führt zur Missachtung der Warnung. Die Schweiz ist daher von den Zählern abgekommen und setzt einen Vertrauensmann mit grosser Erfahrung ein, der die Warnung durchführt. Überdies werden nur noch hochunempfindliche Zünder verwendet, die bei einer Überdeckung von 200 m und minimal 500 m Stollenlänge das Arbeiten auch während Gewittern erlauben. Mit vernünftig gehandhabtem Zähler oder mit Vertrauensmann bleibt der Wartdienst eine vom entscheidenden Menschen abhängige Handlung; er muss daher gut ausgewählt und instruiert sein. Der Jurist darf aber nicht vergessen, dass hier ein Mensch handelt, dessen eventueller Fehlentscheid nicht Gründ sein darf, ihm die volle Verantwortlichkeit eines Unfalles aufzubürden.

Im Zusammenhang mit eisenarmierten Fundamenten stellt sich immer wieder die Frage, ob diese als Erdung genügen, oder ob zusätzlich ein Band zu verlegen sei. Versuche, die in Schweden durchgeführt wurden, bestätigen die Versuche der FKH im Auftrag der schweizerischen PTT, wonach Armierungseisen, die im Beton mit 1 mm Draht zusammengebunden sind, auch dann, wenn die Eisen nicht verschweisst sind, ohne Beschädigung des Betons mit Stoßströmen von 70 kA Scheitelwert mehrmals belastet werden können. Selbst kleine, nicht verbundene Distanzen führen jedoch zur Sprengung des Betons. Die normalen Betonarten haben in feuchtem Erdboden, wie Messungen beweisen, in der Regel immer einen kleineren Widerstand als das sie umgebende Erdreich. Fundamente könnten somit als Erdungen verwendet werden. Neue Betonarten können sehr dicht sein oder eine glasartige Oberfläche aufweisen, so dass keine Feuchtigkeit mehr eindringt. Der spez. Widerstand wird dann unzulässig hohe Werte annehmen, und das armierte Fundament genügt als Erdung nicht mehr.

Entspricht eine Blitzschutzanlage nicht den technischen Bestimmungen, so ist sie als ungenügend zu bezeichnen. Die bereits



in Krakau (8. Internationale Blitzschutzkonferenz) begonnene Diskussion, wie weit eine solche Anlage toleriert werden kann und wo sie eine zusätzliche Gefahr bildet, wurde mittels instruktiver Beispiele weitergeführt. Besteht nur eine Auffangeinrichtung, z. B. in Form einer Stange ohne Ableitung, so ist dies äußerst gefährlich. Dies gilt ebenso bei durch Korrosion oder andere Schäden unterbrochener Ableitung. Verschiedene Blitzschäden zeigen, dass separat verlegte Blitzerdungen, wie sie früher üblich waren, eine Gefahr bedeuten, indem bei Blitzeinschlag doch Überschläge auf andere geerdete Teile stattfinden. Schlechte Kontakte beeinträchtigen den Schutzwert des Ableiters nicht. Eine mangelhafte Schutzanlage ist auch im Hinblick auf das psychologische Moment abzulehnen, indem trotz sichtbarem Blitzschutz ein Schaden eintritt. Damit schwindet das Vertrauen. Doch ist zu bedenken, dass auch eine vorschriftsmässige Schutzanlage nicht alle Bagatellschäden verhindern kann.

Alle metallischen, berührbaren Teile müssen gut leitend mit der Blitzschutzanlage verbunden werden, um Spannungsdifferenzen zu vermeiden. Die Zuleitung des Telefons bedarf dabei besonderer Beachtung. Mehrere Unfälle zeigen die grosse Gefahr beim Telefonieren bei Gewittertätigkeit, sofern die eingeführten Drähte nicht über Ableiter mit der Erde verbunden werden. Der Verhinderung von Spannungsdifferenzen innerhalb von Gebäuden sollte mehr Beachtung geschenkt werden, wobei die Mittel zu deren Verwirklichung verschiedenartig sein können, angefangen bei Ausgleichsverbindungen, Ableitern bis zu den Funkenstrecken. Durch die vielseitige Vermaschung wird ein Schutzkäfig geschaffen, der sich dem Idealbild des Faradaykäfigs möglichst nähern soll. Dieses Schutzprinzip verdient mindestens so viel Beachtung wie die Erdung, die sich im Gebirge sowieso nicht verwirklichen lässt.

4. Spezielle Schutzprobleme

Über eine in der DDR gelegene 30-kV-Leitung — ein Sorgenkind bezüglich Blitzeinwirkungen — liegen interessante Resultate über Schadenverteilung und Untergrund vor. Wird die auf der Strecke aufgenommene Störstatistik der Jahre 1957—1961 betrachtet, so zeigen sich Häufungspunkte, die auf eine Blitzeinschlagbeeinflussung deuten. Die viel längere Statistik der Jahre 1924—1956 zeigt aber ein ausgeglicheneres Verhalten und bewahrt somit vor eventuellen Trugschlüssen. Auf Grund der zahlreichen geoelektrischen Sondierungen bei Masten allein ergibt sich kein Anhaltspunkt dafür, dass bestimmte Masten wegen geoelektrischer Struktur zu Gewitterstörungen neigen.

Ein schönes Beispiel, dass mit Laufzeiten bei Blitzeinschlägen gerechnet werden muss, ist die Sendeanlage auf der Zugspitze. Die Anlage selbst befindet sich in einer Kaverne unter dem Sendeturm. Ein Kabel der deutschen Bundespost führt in einer Entfernung von 3 m am Fusse des Sendeturms vorbei und ist aus Be-einflussungsgründen nicht am Mast, sondern erst 25 m weiter unten galvanisch mit der Anlage verbunden. Zwischen Turmfuss und Kabel ist aber eine Kugelfunkenstrecke mit 1 m Schlag-

weite angebracht. Diese Funkenstrecke weist jetzt schon mehr als 100, an ihren Brandspuren sichtbare Überschläge auf. Die Vermaschung auf eine Distanz von 25 m genügt also nicht, um bei raschen Vorgängen hohe Spannungsdifferenzen zu verhindern. In Konsequenz dieser Tatsache sind in der Richtfunkstelle auch die Starkstromleitungen alle 15 m (Phase und Nulleiter) mit Überspannungsableitern versehen. Die Anlage arbeitet nun seit 10 Jahren ohne Schaden durch Blitzeinwirkung. Im Gegensatz dazu darf das Fernmeldekabel zur Richtfunkstelle auf dem Geissberg bei Wien erwähnt werden. Das Kabel, vor dem Krieg verlegt, weist einen Bleimantel und die gewöhnliche Flachdrahtarmierung auf. Starke Einschläge in den Turm wirkten im Kabel Defekte. Das Anbringen von Ableitern sowohl an den Enden wie an Schadenstellen hatte zur Folge, dass Überschläge wohl nicht mehr hier entstanden, sondern in den Kabelstücken zwischen den Ableitern. Das Kabel kann wohl mit Ableitern geschützt werden, nur ist es nötig, diese in konstanten Distanzen anzubringen. Ein solcher Schutz wird recht aufwendig.

Bei einem Einschlag in ein Kabel (die Bedeckung über dem Kabel kann leicht durchschlagen werden) fliesst der Blitzstrom durch den Kabelmantel und geht allmählich auf den Erdboden über. Ein Vergrössern des Mantelquerschnittes setzt wohl die Längsspannung herunter, es würde aber bei einer Stoßhaltespannung von 4 kV ca. 340 mm² Cu benötigt, um einen 50- μ s-Stoss von 50 kA in schlechtem Boden sicher zu bewältigen. Als interessante Lösung des Problems kann das in der Schweiz in besonders gefährdeten Gegenden verlegte Spezialkabel erwähnt werden. Der Aufbau zeigt in der Reihenfolge von aussen nach innen folgende Struktur: Doppelte Flachdrahtarmierung gegenläufig — starker PVC-Mantel — Bleimantel — 8 Eisenbänder — 2 Kupferbänder — Aderbündel. Diese 8 Eisenbänder, die den wesentlichen Unterschied gegenüber gewöhnlichen Kabeln darstellen, bewirken eine Stromverdrängung für rasche Vorgänge. Es ist dies eine Art Vergrösserung des Skineffekts, der Strom wird auf den Außenmantel gedrückt, und zwar wesentlich stärker als dies auf Grund der Ohmschen Widerstände der Fall wäre. Es ist damit möglich, den für die Stoßbeanspruchung massgebenden Widerstand gegenüber dem Gleichstromwiderstand von 0,18 Ω /km fast um einen Faktor von 100 auf 2,2 m Ω /km zu senken. Wenn einzelne Adern herausgeführt und die Abzweigungen mit Überspannungsableitern versehen werden, treten dadurch keine übermässigen Spannungen gegen die übrigen Adern auf, die eine Verstärkung der Aderisolation erforderte. Die zu äusserst liegende Flachdrahtarmierung ist im Sinne einer Widerstandsenkung mit grosser Steigung versehen. Der darunter liegende PVC-Mantel muss bei Einschlägen zwischen zwei Muffen, wo der Ausgleich «Aussen-Innen» stattfinden kann, den Überschlag auf das Blei verhindern. Diese Bedingung ist besonders wichtig, da nur 1 C notwendig ist, um ein Loch in einen mit PVC geschützten Bleimantel zu brennen; im Gegensatz dazu entsteht beim ungeschützten Bleimantel erst ein Loch bei einer Beanspruchung von mehr als 10 C.

Neben dieser technisch in ihrer Wirkungsweise interessanten Lösung ist auch noch der altbewährte Zoreskanal zu erwähnen. In diesem Zusammenhang ist die Idee der Kabelverlegung in ein Wasserleitungsröhr als Schutzmühllung zu begrüssen. Sind doch diese Röhre relativ billig und gewähren einen guten Schutz.

Die letzten drei Aufsätze aus Rumänien sind der Blitzwirkung auf elektrische Hochspannungsleitungen und Stationen gewidmet. Dass trotz Ableiter Transformatoren Defekte aufweisen, zeigt, dass in der Schutzanordnung ein Fehlentscheid vorliegt. Die genauen Erscheinungen lassen sich mit Hilfe der Wellenspiele ermitteln, wobei die Rechenmaschine heute auch Berechnungen von grossen, vermaschten Anlagen erlauben. Dies ist manchmal nötig, wenn es darum geht, Einflüsse einzelner Komponenten genau abzuschätzen. Insbesondere dann, wenn z. B. zwei Schutzmöglichkeiten (Funkenstrecken, Ableiter) gleichzeitig angebracht sind, deren Tauglichkeit und Notwendigkeit geklärt werden. Bei solchen Berechnungen werden die Apparate und Transformatoren durch ihre Stoßkapazität dargestellt, eine Vereinfachung, die sicher zulässig ist. Aus der genauen Berechnung ist es dann möglich, vereinfachte Ersatzschemata abzuleiten, die für eine gewisse Anlagenart zutreffen. Diese Schemata erlauben es dem täglichen Ingenieur, Überspannungsvorgänge in seinem Netz zu überblicken und zu verstehen. So zeigten die Berechnungen, dass sich z. B.

Funkenstrecken am Eingang von Stationen gut bewähren. Die Erfahrungen bestätigen diese Tatsache, indem die im 20-kV-Netz mit Funkenhörnern versehenen Stationen eine 4...5fache Verringerung der Schadenfälle aufweisen. Infolge des tieferen Isolationsniveaus des 20-kV-Netzes sind Hörner auf 4,5...6,5 cm eingestellt, im Gegensatz dazu z. B. Finnland mit 8...10 cm, wobei sich die guten Betriebserfahrungen bestätigen. Der Transformator selbst wird nach wie vor mit einem Ableiter geschützt, da eine Funkenstrecke mit ihrem schnellen Spannungszusammenbruch eine unnötige Beanspruchung ergibt.

Eine Voraussage der Störungen durch Blitzeinwirkungen ist recht schwierig, da viele Parameter (Höhen, Anordnung, Mastwiderstände, Erdseil, topographische Gegebenheiten usw.) berücksichtigt werden müssen. Eine in Rumänien durchgeführte Untersuchung in dieser Richtung zeigt beachtliche Resultate. Als Grundlage wurde eine Freileitung von 110 kV Betriebsspannung genommen. Die Wahl der Leitung als Rechenbeispiel ist sicher gegenüber der Station gerechtfertigt, da 90 % der Störungen auf erstere entfallen. Die notwendige Blitzstatistik resultiert sowohl aus Beobachtungen wie in letzter Zeit auch aus Zählermessungen. So wurde durch das Personal der Kraftwerke die Zahl der Gewitterstunden und -tage ermittelt. Die mittlere Zahl der Gewitterstunden pro Gewittertag beträgt 1,5. Auf Grund aller Zahlen und Parameter wurde eine Störungswahrscheinlichkeit durch Blitzeinwirkung errechnet und mit der tatsächlich eingetretenen verglichen. Die errechnete Anzahl liegt unter der wirklich eingetretenen, was aber in Anbetracht, dass bei einem Einschlag verschiedene der nicht immer zeitlich gestaffelten Schutzinrichtungen ansprechen können, ohne weiteres erkläbar ist. Die Rechnung zeigt aber interessante Aspekte, wie z. B., dass ein Erdseil erst im Zusammenhang mit tiefohmigen Mastfüßen (10...20 Ω) seinen vollen Schutz entfalten kann. Je tiefer der Widerstand ist, um so besser der Schutz. Bei Widerständen über 40 Ω nützt das Seil nicht mehr viel, dies besonders in Netzen, deren Betriebsspannung in der Grösse von 150 kV und darunter liegt. Ein Erdseil wurde daher in gebirgigem, hochohmigem Gelände konzenterweise weggelassen.

Innerhalb der Schäden in Stationen zeigen diejenigen mit einer Betriebsspannung von 25...35 kV die meisten Ausfälle. Neben der Tatsache, dass diese Stationen am zahlreichsten sind, wirkt sich hier aber auch das wesentlich tiefer liegende Isolationsniveau aus. Werden zwei Stationen von derselben Blitzstärke getroffen, so hat zwangsläufig diejenige mit höherer Betriebsspannung die grösseren Chancen, von Störungen verschont zu bleiben.

5. Statistik der Blitze und Blitzwirkungen

Im Bestreben, mit den neuesten Erkenntnissen und dem Stand der Technik Schritt zu halten, werden in Holland die dort seit 1939 gültigen «Richtlinien für Blitzschutzanlagen» neu überarbeitet. Die in der neuen Fassung enthaltenen, von den ABB-Vorschriften abweichenden Punkte sollen hier kurz erwähnt werden:

1. Gebäude über 25 m Höhe sollen einer Maschenweite der Fangleitungen aufweisen, die kleiner ist als 20 m. Es erfolgt eine Abstufung

zwischen 25 und 50 m Höhe, die bei der oberen Grenze und darüber eine Weite von 10 m vorsieht.

2. In Anbetracht, dass zwei Ableitungen vorgeschrieben sind, wird eine Näherung von zwei an anderer Stelle galvanisch verbundenen Leitern (Eigennäherung) bis zu einer minimalen Distanz $D = 1/20 l$ zugelassen (l = effektive Länge der Leitung, die der Blitz benützen sollte).

3. Deutliche Bevorzugung von Tiefenerdern gegenüber andern Erdern.

Eine Bevorzugung von Tiefenerdern scheint in Stadtgebieten in Anbetracht der geringeren Erstellungskosten gerechtfertigt. Türme mit 2 gegenüberliegenden Ableitungen zu versehen, gewährleistet einen guten Schutz. Bei armierten Betonbauten gehen jedoch die Ansichten auseinander; die holländische Vorschrift, entweder keinen zusätzlichen Blitzschutz oder, wenn Blitzschutz, dann sowohl Auffang- wie Ableitungen 20 cm über dem Beton anzurichten, wird nicht allgemein gebilligt, indem auf Anlagen mit guten Erfahrungen verwiesen wird, wo beide Teile unter Verputz gelegt wurden. Eine zusätzliche Ableitung scheint vielerorts erwünscht, da der wohl vorgeschriebenen Verbindung zwischen den Betoneisen nicht ganz getraut wird. Der Gedanke des Zusammenschlusses von Schutzerdung und EW-Betriebserdung in den Häusern wird in Holland von der Werkseite her nicht begrüßt, vielleicht werden aber Erfahrungen mit Schadenfällen doch zur heute üblichen Auffassung führen.

Die Gefahr von nichtverbundenen, in ein Haus hineinführenden metallischen Leitungen wird auch durch die in der DDR ausgewerteten Schadenfälle bestätigt. Mit Ableiter versehene Anschlüsse sind bei Blitzeinwirkungen als verbunden zu betrachten. Abgelegene Gebäude sind hier speziell zu beachten, da zu langen Zuleitungen meist auch noch ein hoher Erdungswiderstand kommt. Als Zuleitungen für Blitzströme sind auch Weidezäune, die aus dem Netz gespiesen werden, zu betrachten. In dichter besiedelten Gebieten können bestimmte Anlageteile, z. B. Stromversorgung, an einem gemeinsamen zentralen Punkt mit Ableitern versehen werden. Es ist aber zu beachten, dass bei Blitzeinwirkung mit Laufzeiten gerechnet werden muss. Eine statische Betrachtung kann zu gefährlichen Trugschlüssen führen.

Die heute billigen Kunststoffrohre werden zunehmend auch als Wasserleitungen verlegt. Dies ist wohl zulässig, sofern die Konsequenzen richtig überdacht werden. Besonders der Ersatz eines Teiles in dem metallischen Leitungsnetz kann zu gefährlichen Zuständen führen.

Erfreulicherweise konnte bekanntgegeben werden, dass das internationale Wörterbuch des Blitzschutzes vor der Vollendung stehe. Es sollen darin 300 Begriffe des Blitzschutzes in 18 Sprachen enthalten sein. 13 Sprachen sind bereits vorhanden. Der Aufbau ist dabei der folgende: Als Grundsprache ist Deutsch vorgesehen, d. h. in der vorderen Kolonne steht alphabetisch geordnet der Begriff auf deutsch, dahinter in 17 weiteren Kolumnen die Übersetzungen. Jedes Wort hat eine Nummer, diese wird dann im Inhaltsverzeichnis aufgeführt, wo in jeder Landessprache alphabetisch geordnet nochmals die 300 Begriffe vorkommen. Von einer Begriffserklärung wurde dabei bewusst Abstand genommen. Das in ca. 4...5 Monaten fertiggestellte Wörterbuch wird in Jugoslawien gedruckt und an die Mitgliedsländer zum Selbstkostenpreis verkauft.

U. Burger

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Künstliche Beleuchtung barocker Kirchen

628.973.5

[Nach W. H. Rösch: Licht in barocken Kirchen, Lichttechnik 19(1967)7, S. 269]

Im Jahr 1957 wurde in einer bedeutenden schweizerischen Klosterkirche eine Beleuchtungsanlage mit Fluoreszenzlampen erstellt. Namhafte Denkmalpfleger und Architekten wandten sich vornehmlich in der Fachpresse gegen die irrite und unästhetische Lösung des Beleuchtungsproblems in diesem Fall, so dass die Wiederholung auf andere Barockkirchen verhindert werden konnte.

Für Barockräume ist die Anwendung mancher moderner Lichtquellen wie z. B. von Fluoreszenzlampen deshalb ungeeignet,

weil die kaltwirkende Lichtzusammensetzung die malerischen Tendenzen des Barocks nicht wiederzugeben vermag und das Licht zudem so diffus ausgestrahlt wird, dass die plastische Wirkung der Architektur verloren geht.

Auf Grund jahrelanger Erfahrung mit Problemen der Kirchenbeleuchtung kann ein Projekt erst nach Klärung historisch-stilistischer, architektonisch-ästhetischer und betrieblicher Kriterien ausgearbeitet werden, was zur engen Zusammenarbeit mit Architekt, Denkmalpfleger und der Bauherrschaft nötigt.

Leuchten mit vielen freistrahlenden Glühlampen, wie z. B. ein Maria-Theresia-Leuchter mit Kristallbehang, sind für Barockinnenräume am geeignetesten; sie bewirken Licht-Schattenkontraste, welche die Stuckplastik richtig zur Geltung bringen und