

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 89 (1998)

**Heft:** 7

**Artikel:** Blitzgefährdete Freileitungen

**Autor:** Bergauer, Gerhard

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902065>

### **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:** 18.04.2026

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

Der Einsatz von Überspannungsableitern an Freileitungen soll einen sicheren, unterbruchsfreien und dabei möglichst wirtschaftlichen Betrieb der Netze ermöglichen. Im folgenden Beitrag wird erläutert, wie die Daten eines geographischen Blitzortungssystems mit registrierten Ableitvorgängen an der Freileitung in Verbindung gebracht werden können, um die Wirksamkeit der installierten Ableiter zu ermitteln.

# Blitzgefährdete Freileitungen

■ Gerhard Bergauer

Einen totalen Schutz gegen Auswirkungen von Blitzüberspannungen wird es bei elektrischen Anlagen nicht geben. Ziel muss es aber sein, möglichst wirtschaftlich die Versorgung der Abnehmer sicherzustellen wie auch grössere Schäden an Mensch und Anlagengut zu verhindern. Zu den dazu entscheidend beitragenden Massnahmen gehört der Einsatz von Überspannungsableitern. Überspannungsableiter werden bekanntermassen im grossen Umfang eingesetzt, um Anlagenschäden zu begrenzen. Der erfolgreiche Einsatz von Überspannungsableitern an blitzgefährdeten Freileitungen ist ebenfalls bekannt.

Tirol ist zwar keine ausgesprochen blitzgefährdete Gegend, das Problem von gehäuften Ausfällen von Freileitungen wegen atmosphärischer Störungen tritt aber auch hier vereinzelt auf. Der massive Einsatz von Ableitern, wie in Gegenden mit enormer Anhäufung von Gewittern (Asien, Amerika), wurde jedoch bei den Tiroler Wasserwerken (TiwaG) bisher aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Betracht gezogen. Die TiwaG war und ist bis zum heutigen Tag bestrebt, ausschliesslich durch Ableiter an den Leitungsenden und -abzweigungen (Transformatoren) und bei möglichen Trennstellen für einen ausreichenden Schutz zu sorgen. Über eine solcherart ausgerüstete Leitung soll hier berichtet werden. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass nach ent-

sprechenden Massnahmen vor vielen Jahren nur mehr vereinzelt Fehler infolge von atmosphärischen Störungen aufgetreten sind. Weil diese Leitung früher sehr störanfällig war, wurde sie versuchsweise mit Ableitansprechzählern ausgerüstet, die regelmässig abgelesen wurden. Über das Blitzortungsinstrument Aldis wird nun versucht, eine Relation zwischen topologischer Lage eines Blitzeinschlages und Ansprechen eines Ableitzählers auf die Gefährdung einer Freileitung zu schliessen. Im folgenden werden erste Anhaltspunkte präsentiert, die aus einer dreimonatigen Versuchsserie gewonnen werden konnten.

## Massnahmen zur Verminderung der Ausfallhäufigkeit

Die Ausfallhäufigkeit von Freileitungen durch Blitzeinwirkungen kann durch verschiedene Massnahmen verringert werden. Der Allgemeinheit wegen seien diese ohne Wertung und ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgezählt.

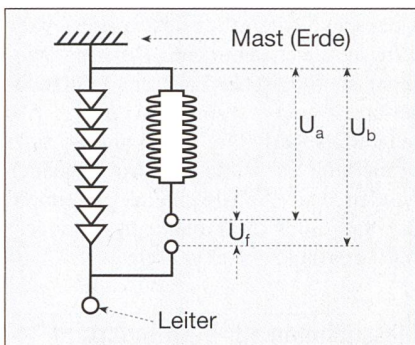
Als Massnahmen gegen direkte Blitzeinschläge werden häufig einfache oder mehrfache Erdseile oberhalb der Phasenseile angebracht. Daneben kann durch eine Erhöhung der Mastspitzen der Blitzschutzwinkel gezielt erhöht werden. Zusätzliche Erdseile unterhalb der Phasenseile sorgen ebenfalls für einen Potentialverlauf, der direkte Blitzeinschläge unwahrscheinlicher macht.

Gegen rückwärtige Überschläge werden zunächst die gleichen Massnahmen ergriffen wie gegen direkte Blitzeinschläge. Weitere Massnahmen dienen der Verringerung der Stossausbreitungswiderstände der Masten und der Verrin-

**Adresse des Autors**  
Dr. Gerhard Bergauer, Tiroler Wasserkraftwerke AG, A-6010 Innsbruck

gerung des Kettenleitwiderstandes durch Bodenseile. Schliesslich kann auch das Isolationsniveau der Isolatoren angepasst werden. Hier kommt einmal die generelle Erhöhung des Isolationsniveaus oder bei Doppelleitungen der Einsatz unterschiedlicher Isolationsniveaus in beiden Leitungen in Frage. Dadurch kann ein Doppelausfall der Leitung verhindert werden.

Da jedoch Überspannungen nie ganz ausgeschlossen werden können, wird man nicht um Massnahmen zur gefahrlosen Ableitung dieser Überspannungen umhinkommen. Auch hier stehen eine Reihe von Methoden zur Verfügung. An hochwertigen Anlageteilen und Leitungsenden bieten sich wegen ihrer spannungsabhängigen Widerstandscharakteristik speziell Metalloxidableiter an. Überspannungsableiter im Freileitungszug mit externer Funkenstrecke parallel zu den Isolatoren (Bild 1) ermöglichen im allgemeinen eine grössere Gesamtverfügbarkeit der Leitungen und weniger Ableiterschäden als beim Einsatz von Ableitern ohne externe Funkenstrecke, da im Normalfall keine Spannung an den Überspannungsableitern anliegt.



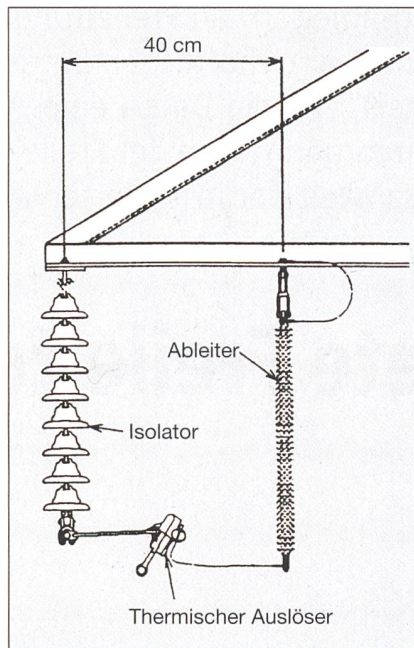
**Bild 1** Ableiter mit Funkenstrecke parallel zur Isolation

- $U_b$  Betriebsspannung
- $U_a$  Spannung über dem Ableiter
- $U_f$  Spannung über der Funkenstrecke

Daneben werden Überspannungsableiter im Freileitungszug mit Abtrenneinrichtung als Soll-Bruchstelle (und Fehlerortanzeige) eingesetzt (Bild 2). Diese Abtrenneinrichtung löst die Verbindung bei thermischer Überlastung.

### Funktionsweise der Ableiter

Die Wirkungsweise der Überspannungsableiter beruht auf ihrer spannungsabhängigen nichtlinearen Widerstandscharakteristik. Wird durch atmosphärische Einwirkungen die Mastanhebungsspannung gegenüber den Phasenleitern zu gross, so spricht die externe Funkenstrecke an. Durch die spannungsabhängige Widerstandscharakteristik erlischt



**Bild 2** Ableiterinstallation mit Soll-Bruchstelle

der Lichtbogen über die externe Funkenstrecke aber nach dem Ableitvorgang, da dann nur mehr die Systemspannung an der Funkenstrecke anliegt. In der Regel erlischt der Lichtbogen innerhalb einer für den Leitungsschutz nicht erfassbaren Zeit, so dass es zu keinem Ausfall der Leitung kommen kann. Sollte jedoch der Schutz schneller arbeiten, so würde eine schnelle automatische Wiedereinschaltung eine endgültige Verbraucherabschaltung verhindern.

### Überblick über die Anwendung von Ableitern

Als Überblick über typische Anwendungen von Überspannungsableitern im Freileitungszug und andere Massnahmen zur Reduzierung von Leitungsausfällen sollen folgende Länder mit ihren Massnahmen beispielhaft erwähnt werden.

#### Malaysia

Auf Doppelleitungen werden bei einem System bei fast allen Masten Überspannungsableiter mit Funkenstrecken parallel zu allen Phasenisolatoren installiert. Das andere System wird nicht bestückt, da nur der totale Einspeiseausfall, also der Ausfall der Doppelleitung, verhindert werden soll.

Als begleitende Massnahme wird die externe Funkenstrecke so bemessen, dass die parallele Funkenhornstrecke bei Blitzschlag nicht früher ansprechen kann und betriebsfrequente Schaltüberspannungen zu keinem Fehlansprechen führen. Ausserdem werden an jedem Ableiter Ansprechindikatoren installiert, die ein erfolgreiches Ansprechen signalisie-

ren und die Analyse des Schutzerfolges ermöglichen.

#### Japan

Als präventive Gegenmassnahmen werden in Japan einzeln und kumuliert folgende Massnahmen angewandt: mehrere zusätzliche Bodenseile speziell bei hohen Spannungsebenen, Verminderung der Maststoss-Ausbreitungswiderstände durch spezielle Erdungskonstruktionen an Masten, spezielle Mastkonstruktionen, um mit dem Erdseil eine bessere Schirmwirkung gegenüber den Phasenseilen zu erzielen, und ungleiche Isolationsniveaus bei Doppelleitungen. Sind trotz dieser Massnahmen noch immer zu viele Blitzfehler vorhanden oder sind einzelne Leitungen versorgungstechnisch unverzichtbar, so werden bereits seit den siebziger Jahren mit Erfolg Ableiter mit externer Funkenstrecke parallel zu den Phasenisolatoren eingesetzt. Trotz des generellen Trends einer entscheidenden Verringerung der Fehlerausfallrate von mit Ableitern bestückten Freileitungen wird in Japan weiterhin das Ableitverhalten von Ableitern intensiv registriert und ausgewertet, um die Schutzwirkung zu vervollkommen.

#### USA

Kostenvergleiche verschiedener notwendiger Gegenmassnahmen zur Verringerung des Ausfalls von Freileitungen, wie zweites Erdseil oder Mastspitzen-erhöhung, Verbesserung der Maststoss-Ausbreitungswiderstände und Ableiterinstallation parallel zu den Phasenisolatoren, liessen im Fall von Virginia Power die Ableiterinstallation als die wirtschaftlichste erscheinen, so dass diese realisiert wurde. Dort werden allerdings Ableiter ohne externe Funkenstrecke, aber mit Soll-Bruchstelle parallel zu den Phasenisolatoren bei ausgewählten Masten installiert (Bild 2). Die Auswahl erfolgte gemäss einer Blitzanzahlanalyse in einem etwa eine Meile breiten Korridor entlang der Leitung.

In allen Fällen wird von einer drastischen Reduzierung von Leitungsausfällen berichtet.

### Beispiel einer 10-kV-Freileitung

Das Beispiel der 10-kV Freileitung der Tiwag unterscheidet sich in einigen Dingen grundlegend von den oben angeführten Beispielen. Das 10-kV-Netz wird mit freiem Sternpunkt betrieben und ist eine reine Holzmastleitung ohne Erdseil. Nur an den vier Einbauorten der Ableiter existieren Erdungsanlagen mit unterschiedlich hohen Stossausbreitungswiderstän-

den. Das Gebiet um den Endpunkt der Leitung am Rauchkofel besitzt einen spezifischen Bodenwiderstand von mehr als 10 kOhm.

### Vorgeschichte

Aus dem Talkessel von Lienz (650 m ü.M.) führt zur Versorgung einer Rundfunk-Relaisstation am Rauchkofel (1910 m ü.M.) eine 10-kV-Freileitung, die ursprünglich direkt mit dem kombinierten 10-kV-Freileitungs- und Kabelnetz der Stadt Lienz verbunden war. Dieses Netz wurde wahlweise mit gelöschtem Sternpunkt oder ungelöscht betrieben. Einpolige Isolationsdurchbrüche führten in beiden Fällen zu stromschwachen Fehlern, also zu Erdschlüssen, die nicht unmittelbar abgeschaltet werden mussten. Unangenehmer Begleiteffekt im Betrieb mit Erdschluss ist jedoch die Anhebung der gesunden Phasen auf stationär verkettete Spannung, während transient weitaus höhere Werte zu erwarten sind (Erdschlusseintritt, intermittierende Erdschlüsse usw.).

Trotz Auslegung des gesamten Isolationspegels auf diese Bedingungen waren und sind Folgefehler, also Doppelerdschlüsse, nicht auszuschließen. Der zweite Fusspunkt, also die für den jeweiligen Fall schwächste Isolationsstelle, trat irgendwo im Netz auf. Aufgrund sich nun einstellender Kurzschlussströme mussten die Fehlerstellen und damit Leitungen mit Verbrauchern abgeschaltet werden. Besonders gefährdet waren in Kabelnetzteilen die Kabelendverschlüsse. Solche Fehler bedingen meistens längere Verbraucherunterbrechungen, bis die defekten Kabelendverschlüsse neu montiert und die Zellen gereinigt worden sind.

Nicht zu Unrecht trägt der Berg mit der Funk-/Relaisstation den Namen Rauchkofel. Denn nicht nur die Kommunikationsverbindungen zu allen möglichen Stellen im Tal waren und sind hervorragend, auch alle sich zusammenbrauenden Gewitter bevorzugten diesen Ausichtsberg und seine Umgebung für Blitzentladungen. Die Folge waren nicht zu tolerierende Ausfälle von Abnehmern im Stadtbereich, da die ursächlichen Fehlerstellen ausserhalb lagen. Aus diesen Umständen wurde bereits vor mehr als 25 Jahren unter Beihilfe von BBC ein Konzept entwickelt, um die Auswirkungen von Blitzeinschlägen zu vermindern.

### Abhilfemassnahmen

Als erste Massnahme wurde die exponierte Leitung durch einen Leistungsisoliertransformator vom übrigen Stadtnetz entkoppelt. Die Leitung selbst wurde an allen Endstellen mit Überspannungsab-

leitern, damals Funkenstreckenableiter, mit einem Ableitvermögen von 5 kA ausgerüstet. Das Ergebnis war, dass zwar keine Fehler mehr im 10-kV-Stadtnetz auftraten, die Leitung aber weiterhin unverhältnismässig oft und trotz automatischer Zuschalteneinrichtung definitiv abgeschaltet wurde oder mit Dauererdschluss weiterbetrieben werden musste. Erdschlüsse müssen aber in einer angemessenen Zeit zumindest lokalisiert und die Erdschlussstelle abgesichert werden, um das Netz weiter unter Spannung halten zu können. In der Praxis bedeutete dies meistens wieder eine manuelle Abschaltung, weil die Erdschlussstelle nicht sofort gefunden werden konnte. Die Ursache für die Fehler waren neben Isolatorschäden meistens Ableiterdefekte. Daher wurden diese 5-kA-Ableiter durch 20-kA-Funkenstreckenableiter ersetzt, worauf es in der Folge nur noch zu sehr wenigen Ausfällen mehr gekommen ist.

Vor fünf Jahren wurden diese Porzellanableiter durch 10-kA-Metalloxid-(MO)Ableiter in Kunststoffgehäusen ersetzt. Die Ausfallhäufigkeit hat dadurch weiter tendenziell abgenommen. Nur ein Beinahe-Einschlag in die Leitung nahe der Station Dolomitenhütte führte wegen der dort vorhandenen extrem schlechten Erdungsverhältnisse zu einem dreipoligen Kurzschluss zwischen den Ableitern, welche vollkommen zerstört wurden (technische Daten der Ableiter:  $U_c = 12 \text{ kV}$ ,  $U^{Rest}_{10 \text{ kA}} = 40 \text{ kV}$ ).

Ob die Zerstörung der Ableiter durch Abtrennvorrichtungen (Soll-Bruchstellen) hätte verhindert werden können, muss bezweifelt werden, da die Überschläge (Isolationsdurchbruch) im untersten Drittel der Ableiter erfolgt sind.

### Installation von Ableitähleinrichtungen

Aufgrund einer Anregung aus dem Hause ABB Ende 1996 trat folgende Frage auf: Kann innerhalb des Versorgungsgebietes der Tiwag ein Freileitungsnetzteil mit Überspannungsableitern ausgerüstet werden, um Leitungsausfälle infolge von Blitzeinschlägen zu verhindern? Da trotz Erforschung unserer Störungsstatistiken keine besonders störanfällige Leitung ermittelt werden

konnte, wurde die Idee realisiert durch Ermittlung von eventuellen Ableitvorgängen der Ableiter auf besagter 10-kV-Leitung deren Wirksamkeit nachzuweisen. Obwohl der Beobachtungszeitraum von nur drei Monaten keine endgültigen Aussagen zulässt, soll versucht werden, über die Korrelation zwischen der Anzahl der Ableitvorgänge und der Anzahl der Blitzeinschläge in Leitungsnähe eine positive Wirkung der installierten Ableiter nachzuweisen.

An vier Stellen wurden Ableitzähler vom Typ ABB-SCE installiert. Die Ableitzähler wurden in eine konzentrierte

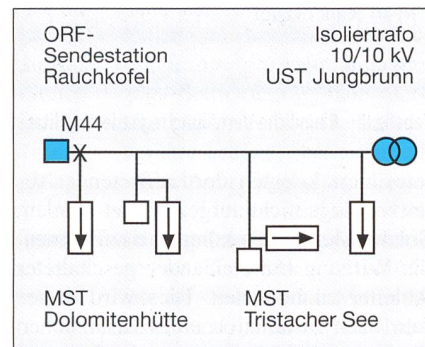


Bild 3 Einbauorte der Ableitzähler

Erdrückleitung in Serie geschaltet, so dass alle Ableitvorgänge über 20 A registriert werden. Die Ableitzähler besitzen eine Totzeit von 1000 ms. Das heisst, zwei Blitze werden nur dann einzeln registriert, wenn sie mit einem Zeitabstand von mehr als einer Sekunde auftreten. Die Einbauorte der vier Ableitzähler befinden sich an folgenden Stellen der Leitung (Bild 3):

- am Leitungsbeginn an der Unterstation Jungbrunn direkt an den 10-kV-Anschlussklemmen des 10/10-kV-Isoliertransformators,
- am Ende der Sticheitung Tristacher See bei dem 10/0,4-kV-Transformator,
- im Leitungszug bei der Maststation Dolomitenhütte,
- am Leitungsende beim Eingangsmast M44 zur Unterstation Rauchkofel.

### Zusätzliche Ableitzähler

In der Unterstation Rauchkofel sind zwar ebenfalls 10-kA-Ableiter eingebaut, aber in Ermangelung eines weiteren Ab-

Station/Monat	Juli	August	September	Gesamt
UST Jungbrunn	12	11	0	23
MST Tristacher See	0	15	2	17
MST Dolomitenhütte	2	6	0	8
M44 Rauchkofel	4	15	10	29
Gesamt	18	47	12	77

Tabelle I Anzahl der pro Station gezählten Ableitvorgänge

Monat	Juli		August		September	
	4 km	5 km	4 km	5 km	4 km	5 km
Abstand	4 km	5 km	4 km	5 km	4 km	5 km
Erstblitz	16	38	4	10	26	49
Folgeblitz	38	74	10	17	29	99

Tabelle II Anzahl registrierter Blitzeinschläge

Station/Monat	Juli				August				September			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Abstand (km)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
UST Jungbrunn	1	3	4	4	0	0	0	2	0	1	4	5
MST Tristacher See	1	4	8	8	0	2	4	4	1	3	3	6
MST Dolomitenhütte	1	5	7	8	1	5	5	7	1	3	10	8
M44 Rauchkofel	3	5	7	8	3	4	5	7	0	2	9	8
Gesamt	6	17	26	28	4	11	14	20	2	9	26	27

Tabelle III Räumliche Verteilung registrierter Blitzeinschläge

leitwählers konnten dort auftretende Ableitvorgänge nicht aufgezeichnet werden. Solche Messungen könnten dazu dienen, die Wirkung hintereinander geschalteter Ableiter zu bewerten. Dies wird dieses Jahr nach Installation eines zusätzlichen Zählers möglich sein.

Dasselbe trifft für die Einspeiseseite des Isoliertrafos zu, so dass eine Überkopplung von der Einspeiseseite nicht detektiert und daher nicht ausgeschlossen werden kann. Auch hier wird 1998 ein zusätzlicher Ableitwähler an der Einspeiseseite des Isoliertrafos eingebaut werden.

In Tabelle I ist die Anzahl registrierter Ableitvorgänge in den Monaten Juli bis September 1997 angegeben. Die Anzahl der in diesem Zeitraum durch das Blitzortungssystem Aldis aufgezeichneten Erst- und Folgeblitze ist in Tabelle II aufgeführt. Man erkennt, dass eine Vergrößerung des Beobachtungsumkreises von einem Radius von 4 km auf 5 km zu einer sehr deutlichen Zunahme der registrierten Blitzeinschläge führt. Offenbar haben einige Gewitter gerade in der Randzone stattgefunden.

Um die Aldis-Daten mit den gezählten Ableitvorgängen in Verbindung zu setzen, muss nun noch jeder registrierte Blitz als Funktion seines Einschlagortes einem der vier Ableitwähler zugeordnet werden. Dies ist in Tabelle III gesehen.

Eine Korrelation zwischen Tabelle I und Tabelle III herzustellen, ist kaum möglich.

Man erkennt, dass eine eindeutige Beziehung zwischen Blitzeinschlag und Ansprechen eines Ableiters, wenn sie überhaupt besteht, nur durch weitere Kriterien herzustellen ist. Wegen der hohen spezifischen Bodenwiderstände müssten vermutlich auch weiter entfernte Einschlagorte berücksichtigt werden, weil auch durch sie die Anhebespannung am Einbauort der Ableiter beeinflusst werden kann. Darüber hinaus könnte auch die Kenntnis der Blitzstromgrösse und der tatsächlich aufgetretenen Ableitströme hilfreich sein. Schliesslich wäre auch eine Registrierung des Zeitpunktes des Ableitvorganges sinnvoll, um eine Korrelation mit Blitzeinschlägen herstellen zu können.

Mit den bis heute eingebauten Ableitwählern ist eine Erfassung weder zeit-

lich noch bezüglich Blitzstromgrösse möglich gewesen. Für dieses Jahr ist daher beabsichtigt, andere Ableitwähler mit Stromgrössenregistrierung und Zeitmarkensetzung zu installieren, um vielleicht doch eine vernünftige Beziehung zwischen den Ableitvorgängen und den registrierten Blitzeinschlägen zu erhalten.

### Schlussfolgerungen aus den bisherigen Daten

Aufgrund der Ansprechzahlen lassen sich folgende Schlüsse ziehen. Einerseits dürfte nicht jeder Blitzeinschlag zu einem Ansprechen aller Ableiter geführt haben, und andererseits müssen auch einige entfernte Blitzeinschläge zum Ansprechen von Ableitern geführt haben. Für eine zukünftige genauere Analyse ist es deswegen unbedingt notwendig, sowohl die Ableitströme zeitlich aufgelöst zu registrieren als auch die Beobachtungsbereiche der Blitzeinschläge zu vergrössern. Ausserdem sollte die Totzeit der Ableitwähler für Folgeblitze verkleinert werden. Für die sehr verschiedenen Blitzintensitäten scheinen die an den Leitungsenden installierten Ableiter allerdings einen wirksamen Schutz gegen Leitungsfehler darzustellen. Direkte Blitzeinschläge in die Leitung dürften im Beobachtungszeitraum nicht aufgetreten sein.

### Literatur

- [1] Babik und Lamb: Virginia Power's Use of Polymer Housed Surge Arrestors to Protect 138 kV Transmission Line, IEEE Publication 0-7803-3522-8/96.
- [2] Transmission Line Arrestors in Japan, Insulator News & Market Report, May/June 97.
- [3] Hean, Arakawa und Suzuki: Application of 132 kV Line Arrestor in Malaysia, CEPSI.

## Lignes aériennes menacées par la foudre

L'utilisation des parafoudres sur les lignes aériennes doit permettre un fonctionnement des réseaux sûr, exempt d'interruptions et le plus économique possible. Cet article explique sur la base de quelques exemples de pays l'utilisation des parafoudres dans la protection contre la foudre. Puis on montre à quel point les informations d'un système de détection géographique des coups de foudre peuvent être mises en rapport avec des phénomènes de décharge enregistrés sur la ligne aérienne, pour déterminer l'efficacité des parafoudres installés.