

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: 65 (1974)

Heft: 26

Artikel: Raktengetriggerter Blitze im Dienste des Freileitungsschutzes vor Gewitterüberspannungen : die Blitzstation von Saint-Privat-d'Allier in Frankreich

Autor: Rühling, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915490>

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: 03.04.2026

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

Raketengetriggerte Blitze im Dienste des Freileitungsschutzes vor Gewitterüberspannungen

Die Blitzstation von Saint-Privat-d'Allier in Frankreich

Von F. Rühling

Der vorliegende Aufsatz enthält einen Bericht über die neu errichtete Blitzstation im Massif Central, die der Verfasser im Sommer 1973 besuchte. Diese Station wird von der Electricité de France und von dem Commissariat à l'Energie Atomique betrieben. Das wissenschaftliche Programm setzt sich zum Ziel, von seiten der EdF das transiente Verhalten von Freileitungsmasten und Erdungssystemen im Hinblick auf den rückwärtigen Überschlag zu untersuchen. Von seiten des CEA interessieren plasmaphysikalische Fragen beim natürlichen Blitzeinschlag in den Erdboden.

Um den Blitzeinschlag zu einer bestimmten Zeit auf ein gewünschtes Objekt zu lenken, wird mit Hilfe einer Rakete ein dünner Triggerdraht gegen eine Gewitterwolke hochgeschossen. Die in der ersten Versuchsperiode gewonnenen Resultate zeigen, dass die Triggermethode und die Versuchseinrichtungen dazu geeignet sind, das gesteckte Ziel zu erreichen. Darüber hinaus ist es denkbar, dass die Blitzstation auch für grundsätzliche Blitzanalysen und für Prüfungen in der Blitzschutztechnik vorteilhaft eingesetzt werden kann.

Zum Geleit

Der vorliegende Bericht entstand nach einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten zweiwöchigen Aufenthalt in Saint-Privat-d'Aillier im August 1973, wozu der Verfasser von der Electricité de France eingeladen wurde. Wir möchten hier Dr. F. Rühling und ganz besonders Professor Dr. H. Prinz, Direktor des Institutes für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Universität München, unseren Dank aussprechen für das grosse Interesse, das sie unserem Forschungsvorhaben entgegenbringen.

Wir begrüssen es sehr, dass uns die Redaktion des Bulletin SEV die Möglichkeit gegeben hat, durch die Veröffentlichung dieses Aufsatzes unsere Blitzstation und die dort erzielten ersten Ergebnisse einem interessierten Leserkreis im deutschsprachigen Raum zu präsentieren.

1. Einführung

Die atmosphärischen Entladungen reduzieren die Versorgungssicherheit bei der gebräuchlichen Energieübertragung mittels Freileitungen. In Frankreich rechnet man im Mittel mit einer Ausfallrate von 12 Störungen pro Jahr und 100 km Leitungslänge. Solche Störungen lassen sich bei starrer Sternpunktterdung durch Kurzunterbrechung beherrschen. Mit zunehmender Kurzschlussleistung der Netze und mit stärker werdender Forderung nach gleichmässiger Stromlieferung für elektronische Grossgeräte, wie z. B. Computeranlagen, wird jedoch die Kurzunterbrechung sehr umstritten.

Die Freileitungen unterliegen zwei gewitterbedingten Störeinkwirkungen: dem rückwärtigen Überschlag auf ein Leiterseil beim Einschlag in den Mast oder das Erdseil und dem direkten Leiterseileinschlag. Letzterer lässt sich durch günstige Anordnung des Erdseils mit ausreichender Sicherheit vermeiden [1; 2]¹⁾. Das Problem des rückwärtigen Überschlages lässt sich durch Verwendung niedriger Mastimpedanzen und Masterdungswiderstände umgehen, wobei jedoch wirtschaftliche Aspekte zum Tragen kommen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, genaue Kenntnis über das transiente Verhalten des Mastes und seiner Erdung bei atmosphärischen Entladungsbedingungen zu erwerben.

Ausgehend von dieser Problemstellung hat die Electricité de France (EdF) zusammen mit dem Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) eine Blitzstation im Massif Central er-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

621.315.1 : 621.316.933 : 551.594.21

Le présent article est une description de la Station d'étude de la foudre, récemment érigée dans le Massif Central, et que l'auteur a visitée au cours de l'été 1973. Cette Station est exploitée conjointement par Electricité de France et par le Commissariat à l'Energie Atomique. L'objectif d'EdF est l'étude du comportement transitoire des pylônes de lignes et de leurs prises de terre, du point de vue des amorçages en retour. L'objectif du CEA est l'étude de phénomènes liés à la physique des plasmas, à partir des plasmas formés à la surface du sol au moment de l'impact de la foudre.

Afin d'orienter le coup de foudre à un instant choisi, et vers un objet donné, on lance vers le nuage orageux une fusée qui déroule un mince fil conducteur derrière elle. Les résultats obtenus pendant la première période d'investigations montrent que la méthode de déclenchement de la foudre et les installations d'essais sont bien adaptées au but poursuivi. Mais il est aussi possible d'utiliser cette Station d'étude pour des analyses plus fondamentales de la foudre, ainsi que pour certains essais dans le cadre des techniques de protection contre la foudre.

Electricité de France
C. Gary

Commissariat à l'Energie Atomique
P. Hubert

richtet, die Mitte Juni 1973 mit dem Forschungsvorhaben beginnen konnte. Neben den bereits genannten Zielen sind für die EdF Messungen an verschiedenen Erdungssystemen und elektrische Kenngrössen des Blitzes, wie sie von der schweizerischen Blitzstation am Monte San Salvatore [3; 4] bekannt sind, von grundsätzlichem Interesse.

Die Untersuchungen des CEA widmen sich den plasmaphysikalischen Fragen beim Blitzeinschlag in den Erdboden. Dabei mag die Diskussion um die umstrittene Existenz des Kugelblitzes eine Rolle spielen.

Dieser Aufsatz beschreibt die Einrichtungen der französischen Blitzstation von Saint-Privat-d'Allier. Zusätzlich werden der normale Ablauf der Experimente geschildert und die bisher bekannt gewordenen Ergebnisse resümiert.

2. Versuchseinrichtungen

2.1 Ort und Gelände

Die Blitzstation wurde in den Monaten Mai bis Juni 1973 nördlich von Saint-Privat-d'Allier (Fig. 1) errichtet. Die Versuchseinrichtungen befinden sich auf einer Anhöhe (1122 m) in einem teilweise bewaldeten Hügelgelände (Fig. 2). Die in einem Umkreis von mehr als 2 km liegenden Anhöhen von ca. 1200 m erheben sich über dem durchschnittlich 1000 m hohen Plateau der Auvergne 17 km westlich von Le Puy, der Hauptstadt des 43. Departements Haute-Loire.

Für den Standort der Station erwies es sich als vorteilhaft, dass in Saint-Privat-d'Allier ein fester Stützpunkt zur Über-

wachung der 225-kV-Leitung «Pratclaux-La-Rivière» eingerichtet ist. Diese Leitung kann von der Station aus über eine weite Strecke beobachtet werden. Die 213 Masten der 77 km langen Freileitung ohne Erdseile sind seit 1971 mit Blitzzählern versehen. Die registrierte hohe Einschlagzahl gab die Veranlassung, die Blitzstation in dieser gewitterreichen Gegend zu errichten. Der örtliche isokeraunische Pegel liegt bei 30 bis 35 Gewittertagen pro Jahr.

2.2 Freileitungsmast

Bei dem 25 m hohen Versuchsmast der EdF handelt es sich um ein fabrikneues, abgeändertes Modell, das üblicherweise in den französischen 150-kV-Netzen eingesetzt wird (Fig. 2). Während die eine Seite dem Original entspricht, ist die gegenüberliegende Seite mit einer Abschussrampe für 4 Raketen und einem Blitzfangring ausgestattet mit der Absicht, den Blitz an einer möglichst hohen Stelle des Mastes eintreten zu lassen. Fig. 3 zeigt die Abschussrampe Ost mit einer startbereiten Rakete in Richtung Blitzfangring. Die Mastfüsse sind in hochwertigen Betonfundamenten eingegossen, die ihrerseits durch dicke Plastikhäute gegen das Erdreich isoliert sind. Die Masterdung selbst erfolgt über einen Shunt und vier sternförmig nach aussen verlaufende Kupferseile von je 8 m Länge und 75 mm² Querschnitt.

Anstelle der Isolatorreihe hängt an der Masttraverse ein 6,8 m langer ohmscher Spannungsteiler zwischen 2 Toroiden zur Vermeidung von Koronantladung und zur Linearisierung der Spannungsverteilung. Die Niederspannungsseite des

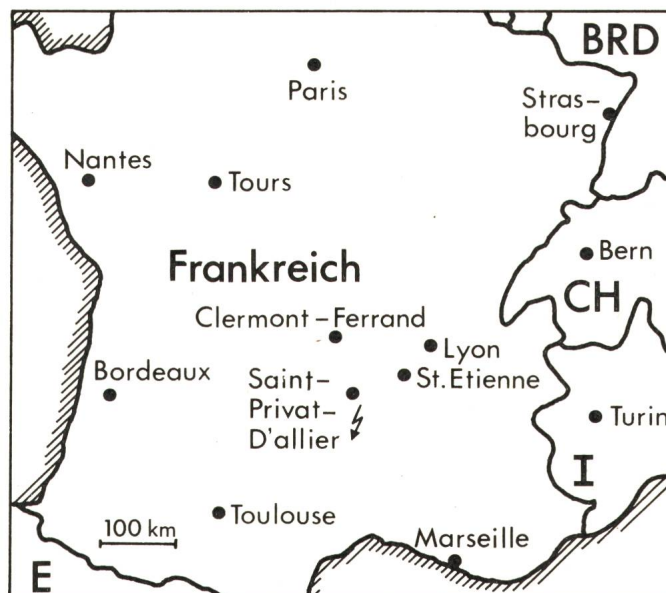


Fig. 1 Lageplan der Blitzstation von Saint-Privat-d'Allier in Frankreich

Teilers wird koaxial in eine Messkabine eingeführt, die durch Porzellanstützer auf 60 kV gegenüber dem eisenfreien Betonfundament isoliert ist.

Zu den ergänzenden Einrichtungen des Freileitungsmastes gehört ein zweiter horizontaler Spannungsteiler von 60 m Länge (Fig. 2), der sich aus 15 mit Schutztoroiden ver-

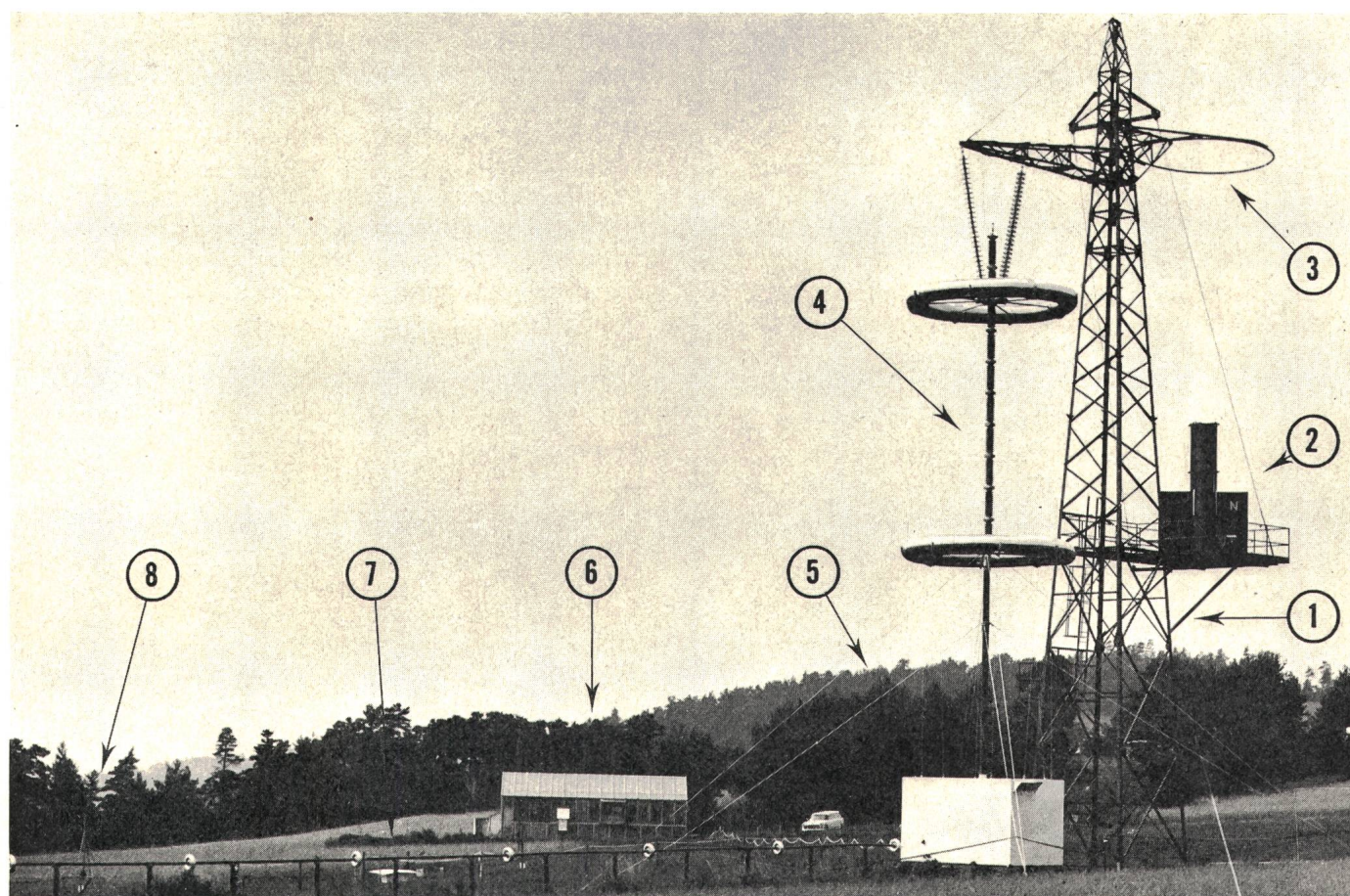


Fig. 2 Einrichtungen der Blitzstation

- | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1 Freileitungsmast der EdF | 3 Blitzfangring | 5 Messkabine | 7 horizontaler Spannungsteiler |
| 2 Abschussrampe für 4 Raketen | 4 vertikaler Spannungsteiler | 6 Beobachtungsstand | 8 Abschussrampe des CEA |

sehenen Einzelementen zusammensetzt. Damit kann die Spannungserhöhung am Mastfuss infolge des Erdungswiderstandes gemessen werden.

2.3 Stützeranordnung

Während des Aufenthaltes des Verfassers wurden vom CEA unter anderem Überschlüge an einer Stützeranordnung untersucht, wie sie Fig. 4 entnommen werden kann. Der Stützer ist auf einem Holzpfehl befestigt, über den der Blitzstrom in die Erde abfließt. Die Anordnung ist von zahlreichen auf Holzpflocken befestigten Messproben zur Bestimmung von Stromkennwerten und Strahlendosis umgeben, um damit Rückschlüsse auf das Einwirken des Blitzes auf die Materialien des natürlichen Erdbodens ziehen zu können.

Die Raketenrampe befindet sich in 8 m Entfernung vom Stützer. Sie ist im Hintergrund von Fig. 4 zu erkennen. Durch den gestreckten Aufbau wird neben dem Schutz der Messproben vor den heissen Abgasen beim Raketenstart eine geringere Startbeschleunigung des Drahtes, den die Rakete nach sich zieht, erreicht.

2.4 Triggersystem

Das angewandte Prinzip der Blitztriggerung besteht darin, dass mit Hilfe einer Rakete ein geerdeter Draht gegen eine Gewitterwolke geschossen wird. Dieses Verfahren wurde erstmals von Newman [5] erfolgreich vor der Küste Floridas auf einem Schiff erprobt. Die durch den hochschiessenden Draht bedingte Feldstärkeänderung bewirkt den Einsatz

der Blitzentladung, die dem durch den Draht vorgegebenen Weg bis zu dessen erdseitiger Befestigung folgt. Somit ist es unter der Voraussetzung einer genügend hohen Gewitterfeldstärke möglich, Ort und Zeitpunkt eines Blitzeinschlages mit einer Genauigkeit von Sekunden festzulegen.

Das hier zu beschreibende Triggersystem, mit dem innerhalb von 12 s eine Drahhöhe von ca. 700 m über dem Boden erreicht werden kann, setzt sich aus den folgenden 3 Teilen zusammen:

1. Triggerrakete;
2. Raketenbespannung;
3. Drahtabwickler.

Bei der Triggerrakete handelt es sich um eine in Frankreich gebräuchliche Hagelrakete klassischen Typs mit 4 Flügeln. Sie ist nur 80 cm hoch, hat einen Durchmesser von 57 mm und eine Masse von 2,4 kg. Die Zündung erfolgt elektrisch durch eine Trockenbatterie. Die Rakete wird nach der Zündung durch zwei U-Eisen der Abschussrampe geführt (Fig. 3) und kann während der ersten Sekunden der Flugzeit eine maximale Geschwindigkeit von 260 m/s erreichen. Nach Abbrennen des Raketenmotors explodiert die aus Silberjodidteilchen bestehende Nutzlast unter gleichzeitiger Vernichtung der Plastikhülle der Rakete. An herabfallenden Teilen konnten nur noch Bruchteile der Plastikflügel und der den Treibsatz enthaltende Kartontubus aufgefunden werden.

Die Raketenbespannung stellt die mechanische Verbindung zwischen Rakete und Triggerdraht her. Sie besteht aus einer Drahtschleife, die an zwei Flügeln befestigt ist (Fig. 3).

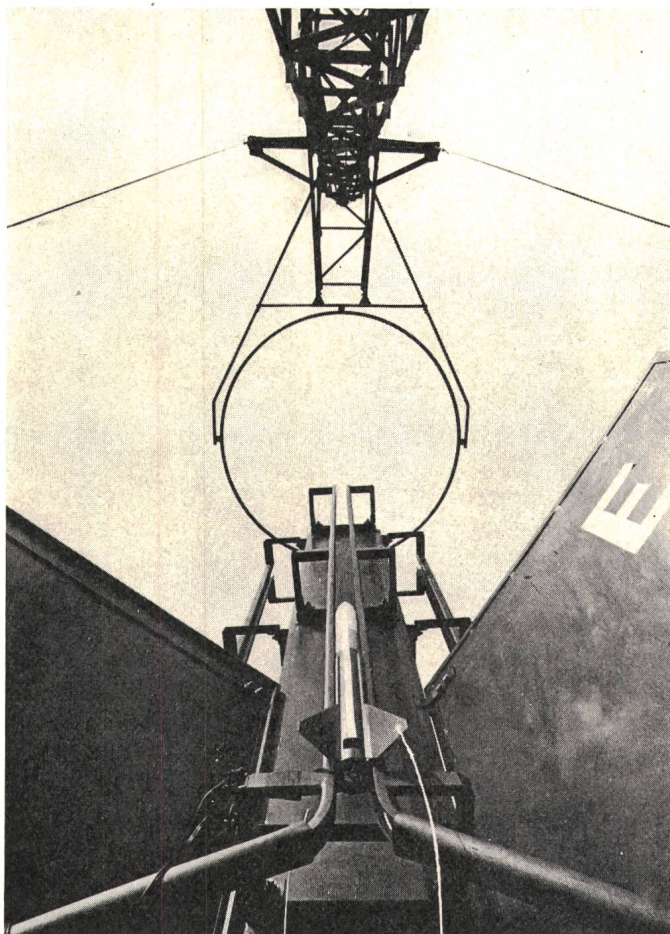


Fig. 3 Abschussrampe auf dem Freileitungsmast mit Blickrichtung auf den Blitzfangring



Fig. 4 Stützeranordnung des CEA mit Messproben und Triggereinrichtung

Der verwendete Draht ist mit Glaswolle überzogen, um von den heißen Abgasen nicht geschmolzen zu werden. Der Drahtschleife schliesst sich ein Stück Gummischlauch an, um Eigenschwingungen des Antriebssystems zu bedämpfen. Das Ende des elastischen Zwischenstückes ist mit dem Anfang des Triggerdrahtes verknüpft.

Der Drahtabwickler, der in Fig. 4 auf der Stützeranordnung zu erkennen ist, besteht aus einem Dorn, auf dem 2000 m Draht von 0,2 mm Durchmesser in engen Lagen aufgespult ist. Der isolierte Stahldraht besitzt einen Widerstand von $7 \Omega/\text{m}$ und eine Zugfestigkeit von 60 N. Die Spule steckt in einer flaschenförmigen metallischen Hülse von nur 5 cm Durchmesser, die durch eine für den durchziehenden Draht als Bremse wirkende Korkröhre abgeschlossen wird.

3. Messeinrichtungen

Bei den Messeinrichtungen ist einerseits dafür Sorge zu tragen, dass die Messungen absolut gefahrlos für das Personal vorgenommen werden können. Andererseits variieren die interessierenden Stromkennwerte, wie Amplitude, Dauer, dI/dt und Anzahl der Teilblitze, in einem weiten Bereich [3], so dass eine Vielzahl von Geräten für alle Eventualitäten notwendig ist, um trotz der Einmaligkeit eines bestimmten Blitzeinschlages eine hohe Erfolgsrate sicherzustellen.

3.1 Messkabine

Alle elektrischen Messeinrichtungen sind aus Sicherheitsgründen in der neben dem Freileitungsmast isoliert aufgestellten Messkabine, die als Faradayscher Käfig ausgebildet

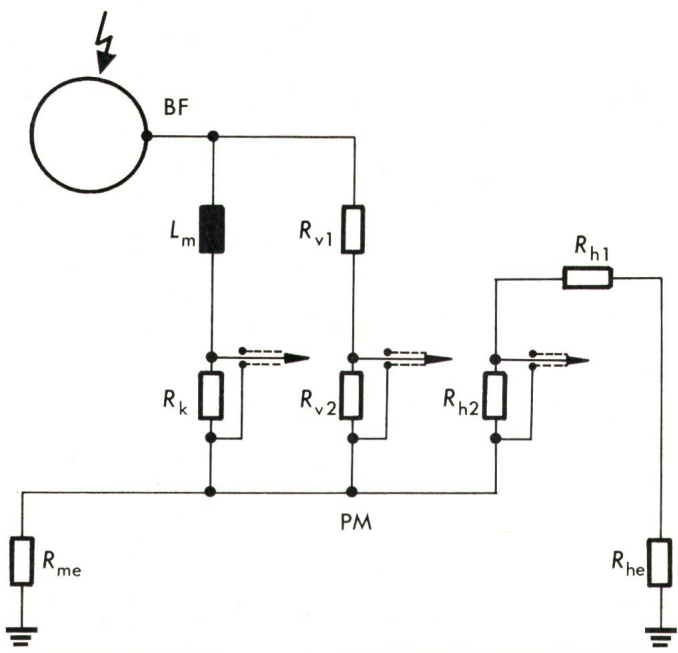


Fig. 5 Prinzipschaltbild der Messeinrichtungen

Freileitungsmast:

- BF Blitzfangring
- PM Potential der Messkabine und des Mastfusses
- L_m Mastinduktivität ca. $20 \mu\text{H}$
- R_k Koaxialmeßshunt $5 \text{ m}\Omega$
- R_{me} Masterdungswiderstand ca. 10Ω

Vertikaler Spannungsteiler:

- R_{v1} Hochspannungswiderstand $2 \text{ k}\Omega$
- R_{v2} Niederspannungswiderstand 1Ω

Horizontaler Spannungsteiler:

- R_{he} Erdungswiderstand ca. 30Ω
- R_{h1} Hochspannungswiderstand $2 \text{ k}\Omega$
- R_{h2} Niederspannungswiderstand 1Ω

und mit der Masterdung elektrisch verbunden ist, untergebracht. Es sind 3 verschiedene oszillographische Messungen vorgesehen (Fig. 5):

1. Blitzstrommessung am Fusse des Mastes;
2. Spannungsmessung zwischen Masttraverse und Mastfuß;
3. Messung der Potentialdifferenz zwischen Mastfuß bzw. Messkabine und Bezugs Erde.

Der Blitzstrom fließt über einen weitgehendst induktivitätslosen Koaxialshunt von $5 \text{ m}\Omega$ zur Masterdung. Damit können Ströme über 100 kA gemessen werden.

Durch die Messung mit Hilfe des vertikalen Ohmschen Spannungsteilers, dessen Niederspannungsseite durch ein Abschirmrohr direkt entlang der Teilerachse in die Messkabine führt, lässt sich die induktive Komponente der Spannung bestimmen, die normalerweise bei Freileitungen an der Isolatorreihe zwischen Leiterseil und Masttraverse auftritt. Die Ohmsche Komponente dieser Spannung ergibt sich aus der Messung des Spannungsabfalles am Masterdungswiderstand durch den horizontalen Ohmschen Spannungsteiler, der in 70 m Entfernung vom Mast an eine Bezugs Erde von ca. 30Ω angeschlossen ist.

In der Messkabine befinden sich die Niederspannungswiderstände der Spannungsteiler (Fig. 5) und sechs batteriebetriebene Oszillographen, die automatisch getriggert werden. Der Transport der Registriefilme erfolgt durch potentialfreie pneumatische Fernsteuerung vom Beobachtungsstand aus. Jeweils 2 Oszillographen geben dasselbe Meßsignal wieder, jedoch mit unterschiedlicher Amplitude und Zeitablenkung, um für die verschiedenartigen Bliztypen bereit zu sein.

3.2 Beobachtungsstand

Der von der Messkabine 110 m entfernte Beobachtungsstand (Fig. 2) besteht aus einem doppelten Faradayschen Käfig. Der äussere ist aus einem Maschengitternetz aufgebaut, das den gesamten Raum einschliesslich der Fundamente umschliesst. Der innere Käfig setzt sich aus metallischen Fenster- und Türelementen zusammen. Diese Elemente sind untereinander und an einem Punkt mit dem äusseren Käfig durch ein massives Kupferband verbunden, um einen einwandfreien Potentialausgleich zu erreichen. Die beiden Dächer des Beobachtungsstandes sind durch Porzellanstützer voneinander isoliert.

Die drei wesentlichen Aufgaben des Standes sind:

1. Schutz des Personals bei Gewitter;
2. Fernbedienung der Geräte;
3. Photographische Messungen.

Die photographische Ausrüstung besteht aus einer Vielzahl von Photoapparaten mit Objektiven verschiedener Brennweiten, um möglichst die gesamte Blitzbahn abbilden zu können. Die Photoapparate sind zusätzlich mit Filtern unterschiedlicher Dichte ausgestattet, um sich den Intensitäten des Blitzstrahles und des Umgebungslichtes vor allem bei Tag optimal anpassen zu können. Daneben werden mehrere Filmkameras mit Geschwindigkeiten bis zu 200 Bildern pro Sekunde eingesetzt, die die einzelnen Teilblitze bei multiplen Vorgängen aufzulösen vermögen. Die Steuerung aller Geräte erfolgt synchron über ein Druckluftsystem vom Steuerpult aus, mit dem auch die Schalter für die elektrische Raketenzündung pneumatisch über bis zu 120 m langen Druckluftleitungen aus Isoliermaterial betätigt werden.

3.3 Periphere Messgeräte

Die peripheren Messgeräte dienen zur Gewitterwarnung und zur Feldstärkemessung als Kriterium für den geeigneten Augenblick des Raketenstarts. Die Geräte sind alle auf dem Boden in der Nähe des Beobachtungsstandes installiert.

Der Gewitterdetektor zählt die atmosphärischen Entladungen im Umkreis von ca. 15 km mit Hilfe einer vertikalen Antenne. Seine Hauptaufgabe besteht darin, das Personal vor allem während der Nacht durch ein akustisches Signal auf ein herannahendes Gewitter aufmerksam zu machen.

Ein Feldmessgerät bedient sich des messbaren Ionenstroms zwischen einer radioaktiven Sonde und der Erde. Polarität und Grösse des Feldes kann an einem Zeigerinstrument abgelesen werden. Bei einer Feldstärke von ca. 0,5 kV/m wird ein Dauerhupton ausgelöst.

Eine genauere Feldmessung ermöglicht eine mit 2700 l/min drehende Feldmühle, die auf einem galgenförmigen Gerüst mit Öffnung nach unten aufgehängt ist. Das Amplitudensignal ist dem umgebenden elektrischen Feld proportional. Das Gerät ist mit einem Schreiber und einer leuchtenden Digitalanzeige ausgerüstet, die vom Beobachtungsstand aus durch ein Fenster direkt abgelesen werden kann. Bei einer Feldstärke von ca. 20 kV/m erreicht das Messgerät die Sättigungsgrenze. Die Feldmühle wird auf Grund der hohen Leistungsaufnahme nur kurzzeitig bei hohem Gewitterfeld betrieben, denn der gesamte elektrische Energiebedarf der Blitzstation muss aus Akkumulatoren gedeckt werden.

4. Versuchsablauf

Im Hinblick auf die relativ kurze Zeit, während der innerhalb der Versuchsperiode ein Gewitter direkt über der Blitzstation steht, ist es notwendig, die Einrichtungen ständig gewissenhaft zu kontrollieren und das Experiment möglichst automatisch ablaufen zu lassen. Dies erfordert vom Personal ein hohes Mass an Verantwortung.

4.1 Organisation

Das Versuchsprogramm wird gemeinsam von der EdF und dem CEA durchgeführt. Die Vorarbeiten bezüglich der Geländefrage und der Versuchseinrichtungen wurden von der EdF geleistet. Das CEA hat das Triggersystem entwickelt. Die Versuche werden abwechselnd nach Absprache mit dem Freileitungsmast oder mit der CEA-Anordnung durchgeführt.

Das Grundpersonal auf der Blitzstation setzt sich aus je 2 Personen der EdF und vom CEA zusammen. Die Funktion des Sicherheitsingenieurs wird jeweils vom EdF-Personal ausgeübt. Er trägt die gesamte Verantwortung über das Geschehen auf der Station, d. h. er fällt insbesondere bei Gewitterbedingungen die Entscheidung über einen Raketenstart. Er übernachtet in einem Wohnwagen, um im Falle eines nächtlichen Gewitters die Vorbereitungen für ein Experiment früh genug einleiten zu können.

4.2 Bereitschaft

Bei Herannahen eines Gewitters ertönt als erstes Warnsignal ein kurzes Hupen, sobald der Gewitterdetektor einen Erdblitz registriert. Daraufhin schaltet der Sicherheitsingenieur die radioaktive Feldmeßsonde ein. Wenn sich die Blitzregistrierung häuft und die Feldmessung einen Wert anzeigt, der wesentlich über dem Schönwetterwert von ca.

150 V/m liegt, wird das nicht anwesende Personal über Funk im 11 Autokilometer entfernten Hotel verständigt. Danach werden die Oszillographen in der Messkabine und die Feldmühle mit Digitalanzeige in Betrieb gesetzt. Im Beobachtungsstand müssen die Fensterverkleidungen vor den Kameras abgenommen und der Bedienungsknopf zur Raketenzündung entschert werden. Auf Grund der Automatisierung der Auslösung von Oszillographen und Kameras kann der Sicherheitsingenieur zumindest einen Versuch allein durchführen. Günstiger ist es jedoch, wenn die verschiedenen Aufgaben von mehreren Personen übernommen werden:

- Bedienung des Steuerpultes;
- Überwachung des Geländes und des Luftraumes;
- Beobachtung der Feldmühlenanzeige;
- Kontrolle der Kameras und Filtervorsätze (evtl. Handbedienung der Hochgeschwindigkeitskameras);
- Führung des Protokollbuches.

4.3 Blitztriggerung

Zeigt die Feldmühle Werte an, die nahe bei 20 kV/m liegen, so entscheidet der Sicherheitsingenieur über einen Raketenstart, nachdem er sich vergewissert hat, dass sich in der Nähe der nicht eingezäunten Blitzstation keine Menschen aufhalten und ein Flugzeug weder zu sehen noch zu hören ist. In der Regel erfolgt dann ein Countdown bis zum Abheben der Rakete, was individuelle Belichtungszeiten der Kameras einzustellen erlaubt. Handelt es sich um einen erfolgreichen Versuch, so müssen die Filme sofort weitertransportiert und eine andere Druckleitung zur Zündung einer weiteren Rakete an das Sicherheitsventil angeschlossen werden, um möglichst schnell im Falle einer anhaltend hohen Feldstärke für einen folgenden Versuch bereit zu sein. Es können maximal 6 Raketen hintereinander gezündet werden. Eine Neubestückung der Abschussrampen während eines Gewitters ist aus Sicherheitsgründen nicht möglich.

5. Bisherige Ergebnisse ²⁾

Bezüglich der bisherigen Ergebnisse ist zu bemerken, dass die erste Versuchsperiode, die effektiv nur ca. 2 Monate dauerte, vornehmlich der Erkundung der technischen Möglichkeiten einer derartigen Blitzstation galt. Zudem lag gerade in diesem Jahr die Gewitterhäufigkeit unter dem Durchschnitt.

5.1 Triggerprinzip

M. M. Newmann hat im August 1966 von einem Forschungsschiff aus 17 Blitze bei 23 Raketenstarts triggern können. Die Raketenhöhe betrug dabei etwa 100 m ³⁾. Bisherige Versuche in der USA und in der UdSSR, die Blitztriggerung von Land aus vorzunehmen, blieben erfolglos. Um so höher sind die Resultate der beschriebenen Blitzstation zu werten: Von 21 Raketenstarts führten 12 zu einem Blitzeinschlag, 7 in den Freileitungsmast und 5 in den Erdboden, was einem 57% igen Erfolg entspricht.

5.2 Blitzmessungen

Bis zum 24. September 1973, an dem die erste Versuchsperiode beendet wurde, hatten 8 Einschläge eine Dauer von

²⁾ R. Fieux, C. Gary und P. Hubert: Eclairs déclenchés artificiellement depuis une station terrestre. 12. Int. Blitzschutzkonferenz, Portorož 1973.

³⁾ H. Prinz, M. M. Newman: Über das Triggern von Blitzen aus der Sicht des Schutzes von Flugzeugen. 12. Int. Blitzschutzkonferenz, Portorož 1973.

einigen Zehntelsekunden und Amplituden in der Grössenordnung von einigen 100 A. Bei 4 Einschlägen handelte es sich um multiple Blitze, die alle in den Freileitungsmast einschlugen. Es wurden Stromscheitelwerte von 11 und 19 kA gemessen. Aus dem entsprechenden Potentialanstieg am Mastfuss ergibt sich ein Masterdungswiderstand bei Blitzeinwirkung von 13Ω gegenüber einem konventionell gemessenen Wert von 10Ω (Fig. 5). Die Stirnzeiten lagen bei $1,5 \mu\text{s}$.

In Fig. 6 werden anhand von 3 verschiedenen Aufnahmen Blitzeinschläge in den Mast gezeigt. Als Referenz ist jeweils die Masthöhe $h = 25 \text{ m}$ über dem Erdboden angegeben. Fig. 6a und 6b zeigen Einschläge in die Abschussrampe und in den Blitzfangring, was durch Schmalfilmaufnahmen nachgewiesen werden kann. In Fig. 6a ist die durch den Triggerdraht vorbestimmte gradlinige Bahn unter Berücksichtigung der Bildverzerrung nur ca. 70 m lang. Ein eindeutiger Einschlag in den Blitzfangring ist Fig. 6c zu entnehmen, wobei der Strahl ähnlich wie bei Aufnahmen von Newman³⁾ infolge der Windgeschwindigkeit weggeblasen wird.

Diese ersten Ergebnisse zeigen, dass durch das angewandte Triggersystem die Blitzstation dazu geeignet ist, die gesteckten Ziele zufriedenstellend zu verwirklichen. Darüber hinaus ermöglicht eine derartige Station eingehende Studien des Blitzphänomens, vergleichende Untersuchungen über die Entladungen im Laboratorium und in der Natur sowie Prü-

fungen von Geräten und Apparaturen, bei denen eine Blitzeinwirkung denkbar ist [6]. Der im Juni 1974 begonnenen zweiten Versuchsperiode der französischen Blitzstation darf mit Interesse entgegengesehen werden.

C. Gary und R. Fieux von der Direction des Etudes et Recherches der EdF sowie P. Hubert vom CEA stellten zur Anfertigung dieses Berichtes grosszügig Informations- und Bildmaterial zur Verfügung. Hierfür und für die wertvollen Ratschläge ist der Verfasser den Genannten zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Literatur

- [1] D. W. Gilman et E. R. Whitehead: Le mécanisme des amorçages dus à la foudre sur les lignes de transport à haute tension et à ultra-haute tension. *Electra* (1973)27, p. 65...96.
- [2] F. Rühling: Der Schutzraum von Erdseilen. *ETZ-A* 94(1973)10, S. 604...609.
- [3] K. Berger: Methode und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963-1971. *Bull. SEV* 63(1972)24, S. 1403...1422.
- [4] K. Berger: Oszillographische Messungen des Feldverlaufs in der Nähe des Blitzeinschlags auf dem Monte San Salvatore. *Bull. SEV* 64(1973)3, S. 120...136.
- [5] M. M. Newman: Use of triggered lightning to study the discharge process in the channel and application to v.l.f. propagation studies. In: S. C. Coroniti: Problems of atmospheric and space electricity. Proceedings of the third international conference on atmospheric and space electricity held at Montreux Switzerland, may 5...10, 1963. Amsterdam/London/New York, Elsevier 1965; p. 482...490.
- [6] H. Prinz: Fulminantes über Wolkenelektrizität. *Bull. SEV* 64(1973)1, S. 1...15.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. F. Rühling, Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Universität München, Arcisstrasse 21, D-8 München 2.

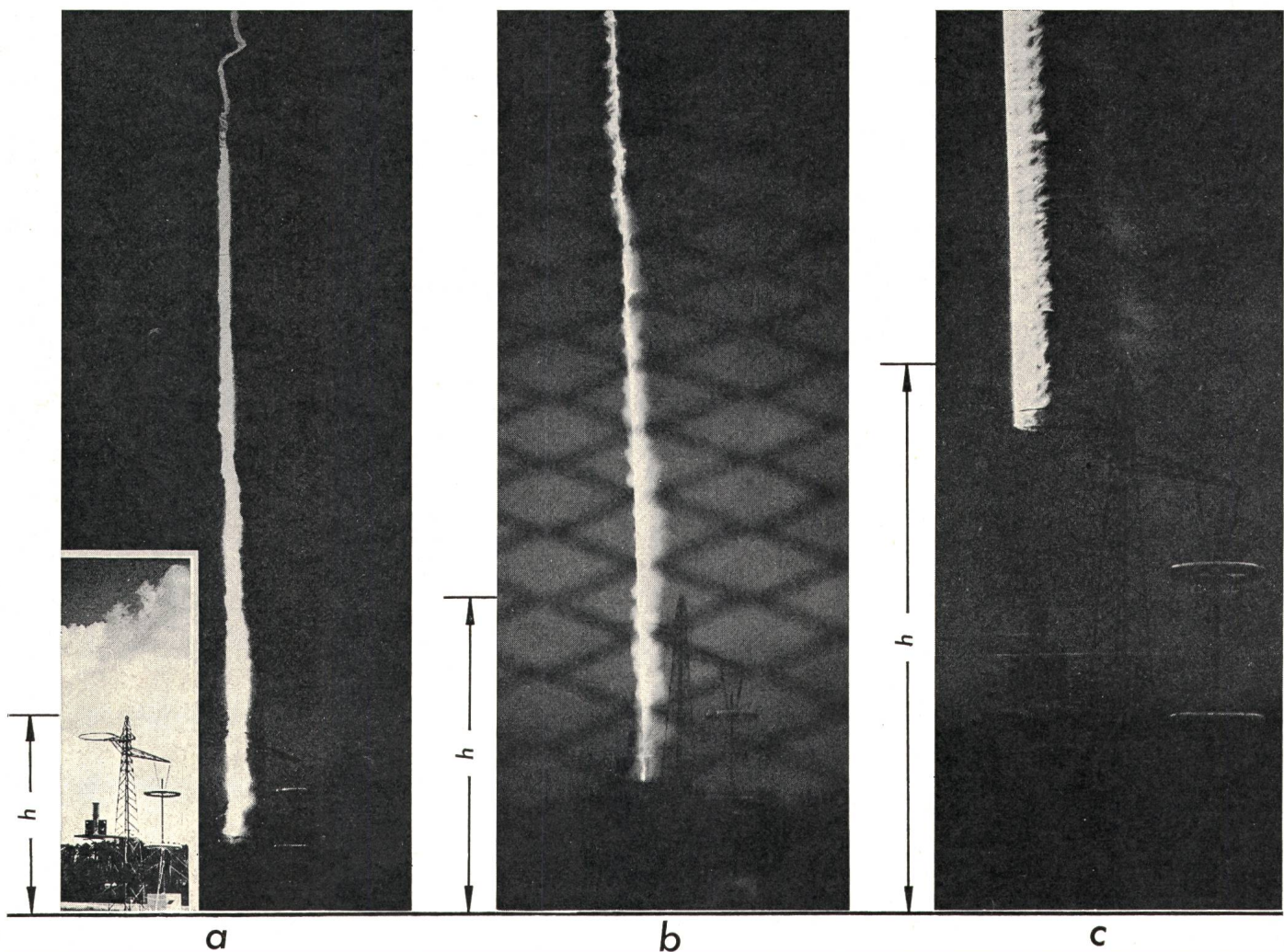


Fig. 6 Getriggerte Blitzeinschläge in den Freileitungsmast. Masthöhe $h = 25 \text{ m}$
Einschlagspunkte: a Abschussrampe b Abschussrampe und Blitzfangring c Blitzfangring