

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:	3
Artikel:	Wurf-Prüferdung in Mittelspannungs-Freileitungsnetzen
Autor:	Irresberger, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915351

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: 14.02.2026

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

Wurf-Prüferdung in Mittelspannungs-Freileitungsnetzen

Von G. Irresberger

Dans la plupart des pays d'Europe le travail sur lignes aériennes à moyenne tension (tension nominale de 5 kV et au-delà) n'est autorisé en principe qu'en l'absence de tension. Avant le début de tous travaux, le tronçon de ligne concerné doit être préalablement déclenché en tous points et sur tous ses pôles (déclenchement omnipolaire), être assuré contre tout réenclenche-

In Mittelspannungs-Freileitungsnetzen (mit Nennspannungen von 5 kV und darüber) ist das Arbeiten an diesen – und zwar in den meisten europäischen Ländern – grundsätzlich nur im spannungslosen Zustand erlaubt. Vor Beginn von Arbeiten aller Art muss hierzu der betreffende Leitungsabschnitt, an dem gearbeitet werden soll, zunächst allpolig und allseitig abgeschaltet, gegen Wiedereinschalten gesichert sowie auf Spannungsfreiheit geprüft werden. Die ordnungsgemäße Durchführung dieser Arbeitsschutzmassnahmen stellt hierbei sowohl an den Menschen als auch an die Geräte gewisse Anforderungen.

Die Abschaltung eines Netzteiles wird mittels der verschiedensten Schaltgeräte (einschliesslich deren Blockierung) vorgenommen, bei denen mechanisches Versagen kaum bekannt ist. In der Regel kann in den Mittelspannungs-Freileitungsnetzen eine (gegenüber dem Betriebslastverteiler und dem Freileitungspersonal) erfolgte Freimeldung als gesichert gelten. Trotz äusserster Anstrengungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen, insbesondere durch Einführung fortschrittlicher Ausbildungsmethoden in den eigenen Lehrwerkstätten (in neuester Zeit gelegentlich sogar unterstützt durch die Anwendung spezieller Übungsschaltanlagen), sowie trotz vermehrtem Einsatz hochqualifizierter Führungskräfte beim Neubau und in der Instandhaltung der Netze sind diesbezügliche menschliche Fehlleistungen aber leider nie völlig auszuschliessen. So erklärt es sich, dass einmal unter rund 11 000 oder 12 000 Fällen von Schaltungen im Hochspannungsnetz (wie die Untersuchungen für den Zeitraum 1952...1971 ergaben) Starkstromfreileitungen, obwohl ausser Betrieb gemeldet, dennoch unter Spannung stehen. Derlei Vorkommnisse waren meist zurückzuführen auf Hörfehler, Schalterverwechslungen, Fremdeinspeisungen durch Industrieeigenanlagen oder Notstromaggregate. Um nur ein Beispiel zu nennen: Einige tödliche Stromunfälle trugen sich verschiedenorts zu, obwohl die Verunfallten die Leitungen selbst ordnungsgemäss abgeschaltet hatten, weil kurz darauf an den nicht mehr einsehbaren Trennstellen (im Bereich von Gewässern und Seen) jeweils ein Vogel (Schwan) am Masttrennschalter eine Überbrückung herstellte und so die Leitung einpolig unter Spannung gesetzt wurde. Es steht ausser jedem Zweifel, dass derartige Unfälle, wovon die Jahresberichte des Eidgenössischen Starkstrominspektorate sowie der Arbeitsschutzinstitutionen anderer Länder ein beredtes Zeugnis ablegen, hätten vermieden werden können, wenn von den Arbeitenden die «fünf goldenen Sicherheitsregeln des Elektrikers» strikte eingehalten worden wären.

Die Prüfung auf Spannungsfreiheit wird mit ambulanten Hochspannungsanzeigern (z. B. nach Vorschrift VDE 0427/1.63) durchgeführt, die mit optischen oder/und akustischen Signalen nach verschiedenen physikalischen Prinzipien (Ab-

leitstrom/Wechselfeld) arbeiten. Fast allen derartigen Prüfgeräten [1] haften jedoch gewisse grundsätzliche Mängel an, die vornehmlich wetter-, anlagen- oder gerätebedingter Natur sind. Gewisse Schwierigkeiten ergeben sich ferner mit der Durchführung der Funktionsprobe der Hochspannungsanzeiger sowie mit der Anwendung der dazu erforderlichen Isolierbedienungsstangen. Es gibt wohl in neuester Zeit bereits Allwetterstangen, die mit einer der Höhe der Nennspannung entsprechenden Anzahl von Schutzschirmen oder Doppelisolatoren für den notwendigen Wasserabriß ausgestattet sind; verschiedene Betriebe stehen aber der Einführung dieser ohne Zweifel einen entscheidenden Fortschritt darstellenden Neuerung etwas zögernd gegenüber, weil es in den Ländern Deutschland, Schweiz und Österreich bis heute noch keine rechtsverbindlichen Bau- und Prüfvorschriften hierüber gibt. Mit Sorge erfüllt jedenfalls die Betriebsführung einzelner Elektrizitätsversorgungsunternehmen der Umstand, dass in industriellen Ballungszentren mit der in den letzten Jahren rapid ansteigenden Luftverschmutzung auch die elektrische Leitfähigkeit des Regenwassers stark ansteigt, womit sich der ohmsche Anteil am Ableitstrom erhöht; jedenfalls sind kurzzeitig bestehende Regenleitfähigkeiten von z. B. $1400 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ im Schrifttum genannt worden (zu Regenbeginn nach langen Trockenperioden sind jedoch noch wesentlich höhere Werte bekanntgeworden), wogegen hierorts bei eigenen Messungen [2] minimal $12 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ gefunden worden waren. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die heute zur Verfügung stehenden ambulanten Hochspannungsanzeiger wohl einen hohen Grad der Arbeitssicherheit verbürgen, die Geräte aber dennoch verbessert werden müssen. Vorstehende Ausführungen machen verständlich, dass die Betriebsvorschriften in den einzelnen Ländern daher die Erdung und Kurzschliessung als wirksamste Elektro-Arbeitsschutzmassnahme [3] zwingend vorschreiben.

Die Oberösterreichische Kraftwerke Aktiengesellschaft (OKA), Linz/Donau, Landesgesellschaft für die Stromversorgung Oberösterreichs, hat nun als bisher einziges unter den österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen im Juli 1969 probeweise, im Februar 1970 endgültig, für die Prüfung auf Spannungsfreiheit an einsystemigen Hochspannungs freileitungen bis 60 kV Betriebsspannung die «Wurf-Prüferdung mittels Drahtschleudergewehr» (Fig. 1), wiederholt auch «Spannungsprüfharpe» genannt, eingeführt. Unbeschadet dieser Neuregelung werden aber alle übrigen, bisher praktizierten und in den Betriebsvorschriften gesetzlich verankerten Mittel und Wege für diese Prüfung (zum Teil unter gewissen Einschränkungen, wie beispielsweise bei niederschlagsfreiem Wetter) weiterhin beibehalten. Von der Betriebsseite her konnte der Einführung der Spannungsprüfharpe insbesondere deshalb zugestimmt werden, weil das

gesamte Mittelspannungsnetz im wesentlichen (zu 88 %) aus 25-kV-Leitungen (auf Holzmasten ohne Erdseil), darüber hinaus meist einsystemig, besteht.

Mit Hilfe dieses Gerätes wird eine besonders feine, blanke Prüflitze über zwei bzw. alle drei Netzaussenleiter des dreipoligen Leitungssystems geschossen, die im Falle von Spannung (Fehlsituation) in der Regel ohne wesentlichen Schaden für die Leitung durchschmilzt, im spannungsfreien Zustand hingegen auf den Leiterseilen liegen bleibt und damit den spannungslosen Zustand einwandfrei kennzeichnet. Im Sinne der gesetzlichen Betriebsvorschriften (VDE 0105/Teil 1/8.64, § 7c 4.5 bzw. ÖVE-E 5/Teil 1/64, § 13,3413) gilt jedoch diese Wurf-Prüferdung nur als vorläufige Erdung; sie ist vor Beginn der Arbeit (als vierte der erforderlichen Arbeitsschutzmassnahmen) durch die vorgeschriebene Erdung an der Ausschalt- bzw. an den Arbeitsstellen (vor Ort) zu ersetzen. Bestimmungsgemäß ist bei der Wurf-Prüferdung so vorzugehen, dass niemand durch deren Berührung oder durch einen entstehenden Lichtbogen gefährdet werden kann. Das Prinzip der Spannungsprüfharpune hat dabei den Vorteil, dass die Prüflitze bis zur Anbringung der Arbeitserdung auf den Netzaussenleitern der Freileitung liegen bleibt und damit auf mindestens zwei solchen eine galvanische Brücke mit Erdverbindung hergestellt ist, bei den ambulanten Hochspannungssuchern hingegen nach dem Augenblick der Prüfung der Schutz gegen versehentliches Wiedereinschalten und gegen bereits lebensgefährliche Induktionsspannungen vorübergehend aufgehoben ist. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass diese Prüfung vom Erdboden aus möglich ist, also dass das stets mit einer gewissen Kraftanstrengung und einem gewissen Unfallrisiko verbundene Besteigen eines Leitungsstützpunktes überhaupt entfällt. Die Entscheidung über die Einführung des Drahtschleudergewehrs im genannten Betrieb wurde massgeblich durch den Umstand beeinflusst, dass die Electricité de France (EDF), für den erwähnten Netzbereich dasselbe bereits im Jahre 1949 generell eingeführt und mit ihm (bei mehreren tausend Exemplaren) die besten Erfahrungen gemacht hat.

Das Drahtschleudergewehr französischer Herkunft (Type MF-60, Fabrikat: CATU, Paris-Bagneux) arbeitet mit einer stark vorwärtsreibenden Druckfeder, hat einen Federdruck

von maximal 62 kg, eine Wurfhöhe von 18 m und eine Reichweite von 32 m. Vor dem Abschuss des Metallpfeiles mit angeklemmter Prüflitze wird diese an einen in das Erdreich eingetriebenen Erdspieß angeschlossen und ihrer ganzen Länge (30 m) nach dem Erdboden – etwa längs des Leitungstrassees – ausgelegt. Mit dem zuletzt erwähnten Sicherheitsabstand kommt der das Drahtschleudergewehr Bedienende im Fehlerfall immer außerhalb des Spannungstrichters (Sperrfläche) zu stehen. Bezuglich näherer Einzelheiten, wie Aufbau, Werkstoffe, Abmessungen, Gewichte, Abnahmebedingungen, Verwahrung, Benutzerkreis und Verwendungseinschränkungen dieser Spannungsprüfharpune sowie Versuche mechanischer und elektrischer Natur (unter anderem das Entlangwandern der Prüflitze am Leiterseil, Bestimmung des Federdruckes für Maximum und Minimum der Regulierung, Bestimmung der Pfeilgeschwindigkeit, Einfluss des Mastkopfbildes auf die Kurzschlussdauer, Schutzabstand von Metalldrahtzäunen, Ermittlung der Strom-Zeit-Kennlinien für die Prüflitze, Messung der Erdübergangswiderstände von Erdspiessen), sei auf die Ausführungen des Verfassers an anderer Stelle [4, 5] verwiesen; dieselben beinhalten – neben einem geschichtlichen Abriss dieser Schutzbefehle (beginnend bei den Erdungsketten) – auch alles Notwendige über die Erstellung besonderer Versuchsspannfelder, den Standplatz für den Erdspieß, die Gefahren des Spannungstrichters (dargestellt an zahlreichen Personen- und Tierunfällen zufolge vorschriftswidriger Installationen, Praktiken oder Kollisionen an bzw. im Bereich von Starkstromfreileitungen aller Spannungsebenen), die Kenntlichmachung des Spannungstrichters (mittels der vom Verfasser benützten Photoblitzlampenmethode) sowie die Statistik über Abschaltfalschmeldungen.

Da die Handhabung dieser Spannungsprüfharpune unter widrigen Umständen in mechanischer und elektrischer Hinsicht gewisse Gefahrenmomente in sich birgt, ist die strikte Einhaltung mehrerer bestimmter Benutzungsrichtlinien unerlässlich, wenn Unfälle vermieden werden sollen. Um dieses Ziel zu erreichen, war an sämtliche Benutzer des Drahtschleudergewehrs ein vier Seiten langer, bebildeter Sonderdruck über dieses Schutzgerät ausgegeben worden. Auch hatte der Verfasser für die richtige Reihenfolge der Bedienungsvorgänge sowie das richtige Verhalten des Schleudergewehrschützen eine «Zehnerregel» (Fig. 2) ausgearbeitet, die auf der Rückseite einer Einstechpalette (für die Rocktasche) zum Abdruck kam; deren Vorderseite bringt eine erläuternde Skizze – darstellend die Position des Schützens gegenüber der Leitung – und charakterisiert in wenigen Worten auch den Anwendungsbereich des Drahtschleudergewehrs.

Im Fehlerfalle, wenn also eine frei gemeldete Leitung versehentlich unter Spannung bleibt, tritt außerordentlich kurzzeitig im Bereich des Erdspießes eine elektrische Aufladung des Erdreiches ein, die je nach Umständen (wie beispielsweise Stand mit gespreizten Beinen zu den Spannungsniveaulinien, Grösse des Erdchlussreststromes, Feuchtigkeit des Erdreiches) eine gewisse Gefahr für die im Umkreis der Fehlerstelle (Erdchlusspunkt) stehenden Personen bedeuten kann. Ein erhöhtes Gefahrenmoment kann bei Fehlschüssen über nur einen einzigen Netzaussenleiter (Phase) und dem dadurch bedingten Einfacherdschluss (mit je nach Art des

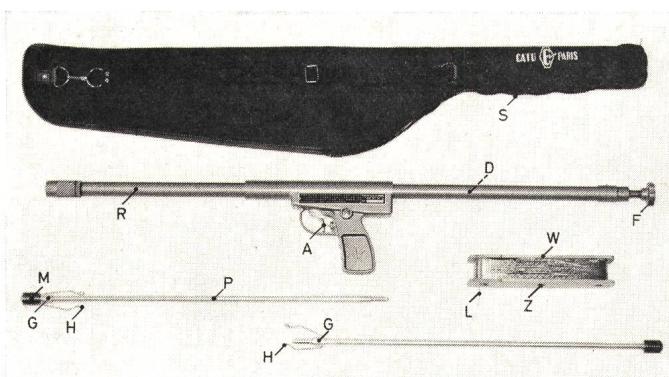


Fig. 1 Drahtschleudergewehr (Modell MF 60, Fabrikat CATU, Paris)

Seine wichtigsten Bauteile: Lauf (R), Abzug (A), Druckfeder (D), Handrad für Federdruckregulierung (F), Pfeil (P), Masselkopf (M), Gleithülse (G), Haken (H); Holzhaspel (W), Prüflitze (L), Haspelachse (Z), Segeltuchköcher (S). Seine wesentlichen Werkstoffe: Stahl, Duraluminium, Alpax.

Bedienungsrichtlinien

1. Das Gerät darf nur vom befugten Personenkreis bedient werden (z.B. Partieführer, Gruppenführer beziehungsweise deren Vertreter).
2. Erdspieß möglichst tief ins Erdreich einschlagen (Entfernung vom Mastfuß etwa halbe Leitungshöhe, siehe Skizze).
3. Prüflitze am Erdspieß mittels Flügelmutter anklammern und in ganzer Länge (30 m) am Erdboden bis zur Abschüttstelle auslegen.
4. Ausgelegte Prüflitze und Freileitung müssen sich - aus der Vogelperspektive betrachtet - unter einem spitzen Winkel schneiden (siehe Skizze).
5. Gerät erst unmittelbar vor Gebrauch spannen. Metallpfeil in Lauf einführen, durch Andrücken des Körpergewichtes Abzug spannen.
6. Abschüttstelle so wählen, daß Beschädigungen der Isolatoren sowie anderer elektrischer Einrichtungen ausgeschlossen sind.
7. Den vorherrschenden Witterungsverhältnissen (Wind) sowie der unmittelbaren Umgebung (Metallzäune) das entsprechende Augenmerk zuwenden.
8. Der Aufenthalt während des Abschusses im unmittelbaren Bereich des Erdspießes ist verboten (Gefahr des Spannungstrichters).
9. Prüflitze erst dann einholen, wenn Arbeitsschutz-Erdung mittels der transportablen Erdungs- und Kurzschließvorrichtung durchgeführt ist.
10. Die Verwahrung des Drahtschleudergewehres obliegt einem von der jeweiligen Abteilung beziehungsweise Außendienststelle namhaft gemachten Dienstnehmer.

Oberösterreichische Kraftwerke Aktiengesellschaft

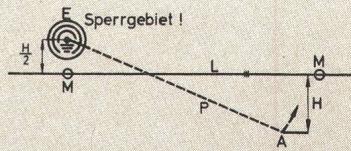
Landesgesellschaft für die Stromversorgung Oberösterreichs

Linz / Donau

Drahtschleudergewehr

Fabrikat CATU, Type MF 60

Mit dem Drahtschleudergewehr (Spannungsprüfharpune) kann vom Erdboden aus an einsystemigen Hochspannungs-Freileitungen bis 60kV Betriebsspannung die Prüfung auf Spannungsfreiheit gefahrlos durchgeführt werden. Diese Wurferdung ist eine Prüferdung und entbindet nicht von der gesetzlich vorgeschriebenen Erdung und Kurzschließung an den Ausschalt- und Arbeitsstellen.



L Hochspannungsfreileitung
 P Prüflitze (30 m)
 M Leitungsstützpunkt
 H Leitungshöhe
 A Abschüttstelle
 E Erdspieß

Fig. 2 Bedienungsrichtlinien für das Drahtschleudergewehr, auf einer Kunststoff-Einsteckpalette (Größe: 85/110 mm) abgedruckt.

In einer «Zehner-Regel» werden die unerlässlich notwendigen sowie vorsorglich zu treffenden Arbeitsschutzmassnahmen dem Schützen in Erinnerung gerufen.

Netzbetriebes unterschiedlicher Dauer) bestehen. In Vorführungen der Aussendienststellen obsorgt daher das eingangs genannte Unternehmen die eingehende Unterrichtung ihres für die Bedienung des Drahtschleudergewehrs in Frage kommenden Personals. Es ging aber nicht allein nur um eine mechanische Erprobung der Spannungsprüfharpune (mit leicht verständlichen, allgemeinen Hinweisen auf die Ballistik), sondern auch um eine Vorführung derselben im Fehlerfalle (bespannte Leitung). Die Demonstrationen [6] wurden daher bewusst an örtlichen, eingeschalteten 10/25/45-kV-Leitungen durchgeführt, um dem Personal einerseits die Gefahren des hierbei kurzfristig wirksam werdenden (vorwähnten) Spannungstrichters (Fig. 3), andererseits die Wirkungen des Kurzschlusslichtbogens beim ambulanten Erden und Kurzschließen einer versehentlich eingeschaltet gebliebenen (nichtspannungsgeprüften) Hochspannungsfreileitung mit aller Eindringlichkeit vorzuführen. Diese Versuche an Mittelspannungsfreileitungen (mit verschiedenen Leiterseilwerkstoffen), an denen ausserdem noch zahlreiche Vertreter privater und staatlicher Arbeitsschutzinstitutionen sowie Vertreter in- und ausländischer Elektrizitätsversorgungsunternehmen teilgenommen haben, dürften (wie wir dem Echo der Belegschaft und Fremdbesuchern entnahmen) ihre nachdrückliche Wirkung nicht verfehlt haben.

Wenn also eine Mittelspannungsfreileitung trotz Freimeldung versehentlich in Betrieb bleibt und daraus an der Freileitung (anstelle von blassen Seilanprellungen) selbst schwere Seilschäden entstehen, dies ohnehin nur in einem Spannfeld, so gibt es doch keinen Zweifel darüber, dass jede verantwortungsbewusste Betriebsführung irgendwelche Sachschäden ei-

nem schweren oder gar tödlichen Stromunfall eines Dienstnehmers vorzieht. Auch bei nach schweren oder tödlichen Arbeitsunfällen meist anhängig gemachten Strafverfahren verweisen die Gerichte stets darauf, dass Gesundheit und Leben von Dienstnehmenden oder Fremdpersonen unbedingt Vorrang vor wirtschaftlichen Interessen haben müssen. Fest steht jedenfalls, dass in einer bisher nur etwas mehr als dreijährigen Einsatzdauer das Drahtschleudergewehr sich bereits einmal (in einer besonderen Arbeits- und Netzsituation) als voll und ganz bewährend erwies, wobei die Seilschäden von so geringer Natur waren, dass eine sofortige Seilauswechselung als überflüssig betrachtet wurde!

Bekanntlich können Vorgänge, die mit dem Auge nicht mehr oder kaum noch wahrnehmbar sind, photographisch erfasst und dokumentiert werden. Es schien also nützlich, bei der letzten Versuchsserie die Angewandte Photographie in den Dienst der Sache zu stellen; nur auf diese Weise konnten die Schwächen sowie die Bestechlichkeit des menschlichen Auges ausgeschaltet werden. Insbesondere macht auch die enorme Lichtwirkung eines frei brennenden Lichtbogens an sich eine direkte Beobachtung, selbst unter Verwendung von Dunkelgläsern (Rot-Schwarz-Filter), fast unmöglich; bekanntlich hat man bei Kurzschlussversuchen in Schaltzellen (BBC) in 6...7 m Entfernung vom Lichtbogen noch Beleuchtungsstärken von 90 000...100 000 Lux gemessen. Umgekehrt wird daher auch der im Zuge einer Stossentladung «explodierende Draht» als Lichtquelle mit relativ grosser Lichtdauer für Kurzzeitaufnahmen verwendet.

Für die photographische Erfassung rasch veränderlicher Vorgänge, etwa wie sie der Ablauf eines Kurzschlusslicht-

bogens auf einer Hochspannungsfreileitung darstellt, stehen den Forschungslaboren der grossen Elektrokonzerne sowie den Elektro-Hochleistungsprüffeldern besondere Einrichtungen für Kurzzeitphotographie (Ultrarapidkameras) zur Verfügung. Selbst grosse Elektrizitätsversorgungsunternehmen können sich aber nicht der Hochfrequenz-Kinematographie für lichtbogendiagnostische Untersuchungen bedienen, sondern müssen sich mit normalen 8-mm- und 16-mm-Filmkameras (für normal 16/18/24 und maximal 64 Bilder/s) begnügen. Derartige Filmaufnahmen in Kleinbildformat haben jedoch den Nachteil, dass man hiervon meist keine genügend scharfen Vergrösserungen (13×18 cm oder 18×24 cm) von Einzelbildern anfertigen kann. Normale Photoapparate wiederum haben den Nachteil, dass es ein ausgesprochener Glücksschlag ist, wenn man einen solchen Vorgang von größenordnungsmässig nur 200 ms Dauer überhaupt auf das Bild bekommt (in einem konkreten Fall hatten von neun Amateurphotographen nur drei das Glück, bei sogar zwei Versuchsserien insgesamt fünf brauchbare Schnappschüsse zu machen); denn in den wenigsten Fällen stehen aufwendige und teure Synchronisierereinrichtungen zur Verfügung, die den aufzunehmenden Vorgang mit dem Verschluss der Kamera elektrisch kuppeln. Hinzu kommt, dass derartige Versuche meist abseits elektrifizierter Gebiete durchgeführt werden, so dass sogar deren elektrische Anspeisung beachtliche Schwierigkeiten mit sich bringen kann. Für den Einsatz mehrerer Kameras, die einerseits mit kürzesten Zeitabständen nacheinander ausgelöst werden, andererseits mit unterschiedlichen Belichtungszeiten (synchron) betrieben werden, erschien wiederum der Aufwand zu gross. Im Bewusstsein all dieser aufgezeigten Schwächen wurde nun für diese Belange hierorts erstmalig versucht, hierfür eine «filmende Kleinbildkamera» (mit einer Bildfrequenz von größenordnungsmässig 1...4 Aufnahmen/s einzusetzen. Demgegenüber ist bekannt, dass in letzter Zeit verschiedentlich Reihenaufnahmen über die Bewegung des Kurzschlusslichtbogens in Hochspannungsschaltanlagen (z. B. am Lichtbogenkarussell) mittels Robotkameras gemacht wurden, wobei der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen (z. B. insgesamt 42 Aufnahmen) etwa $1/7$ s bzw. $2/7$ s betragen hat.

Für die Aufnahmen wurde eine Kleinbildkamera «Leica III f» (mit Schlitzverschluss) mit einem «Leica-Motor» (Fabrikat Leitz, Wetzlar, DRP 619.221/1,249.078/1,272.705) verwendet. Wenn auch der Leica-Motor in Verbindung mit jeder dafür eingerichteten «Leica M 2» verwendet werden kann, stellt er dennoch ein äusserst seltenes photographisches Zusatzgerät dar. Hierbei wird anstelle des Bodendeckels der Federwerkmotor (amerikanischer oder deutscher Herkunft) eingesetzt, der das rasche Fortschalten des Filmes, das Spannen und das Auslösen des Verschlusses automatisch vornimmt. Dieser Federmotor ermöglicht Serienaufnahmen mit kurzen Zeitabständen; er bewirkt mit einmaligem Aufziehen bis zu 12 Aufnahmen, deren Ablauf in einer Gesamtzeit von etwa 4,8 s erfolgt. Bezeichnenderweise hat man für diese Aufnahmetechnik, die auf der Grenze zwischen Photographie und Kinematographie liegt, den neuen Begriff «Kinographie» geprägt.

Für die Vorführung der Wurf-Prüferdung (9. Versuchsserie) stand eine einsystemige 45-kV-Leitung zur Verfügung,

die über den drei Netzaussenleitern (Phasen) ein Blitzschutzseil, unter denselben eine Betriebsfernspiegel-(HT-)Leitung aufweist. Entgegen der Gepflogenheit bei derartigen Demonstrationen an 10/25-kV-Leitungen (fast immer zugleich zu Erprobungen neuer Netzschatzeinrichtungen genutzt) verzichtete man im gegenständlichen Fall auf die Anordnung eines besonderen (quer zum Leitungstrasse gestellten) Versuchsspannfeldes, weil diese Leitung zurzeit nur mehr in Reserve betrieben, in nicht allzu ferner Zeit aber direkt aufgelassen werden soll; das anspeisende Kraftwerk (Baujahr 1902) ist zudem für einen inzwischen schon begonnenen vollständigen Umbau vorgesehen. Auch hat man vom Einhängen biologischer Versuchskörper (Kalbshäute und Menschenhaare) und Stoffstreifen (verschiedener Beschaffenheit und Brennbarkeit) an die Leiterseile sowie vom Einfärbeln derselben mittels Thermo-Color-Farben diesmal Abstand genommen. Aus Sicherheitsgründen war jeweils ein generatorferner Kurzschluss (hier Entfernung Kraftwerk–Versuchsort: 45 km) gewählt worden, wobei der im Kraftwerk vorhandene zugehörige Leistungsschalter das eine Mal auf Schnellzeit, das andere Mal auf Normalzeit eingestellt wurden war. Wegen verschiedener Einrichtungen im Netzverband waren in vier anderen, ansonst unbesetzten Anlagen (zum Zwecke der Erfassung eines etwa damit verbundenen Störungsbereichs) vorübergehend entsprechend instruierte Beobachterposten eingesetzt worden; außerdem bestand eine ständige Funkverbindung zwischen dem Versuchsort, dem Einspeisekraftwerk und dem Betriebslastverteiler. Die zeitlichen Abläufe der Erdphasenkurzschlüsse wurden auch oszillographisch im Kraftwerk (seitens der Netzschatzgruppe der

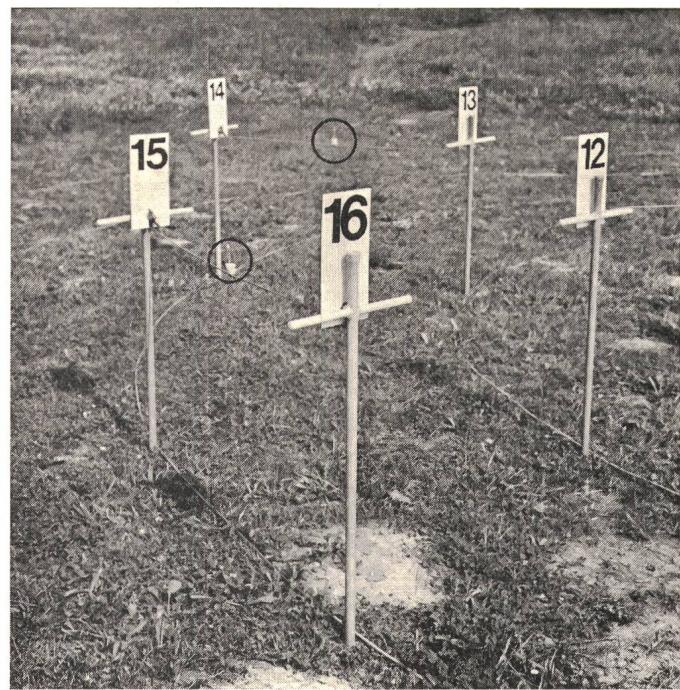


Fig. 3 Symbolische Darstellung der Äquipotentiallinien eines Spannungstrichters durch in 1-m-Abständen kreisförmig angelegte (orangefarbige) Perlonschnüre.

Für den Verfolg des Ansprechens der Versuchselemente dienen radial zwischen sowie tangential auf diesen Kreisen eingesteckte Erdelektroden (Stecksonden mit Nummernschildern). Radialsonde zwischen den Elektroden 13 und 14, Peripheriesonde zwischen den Elektroden 15 und 16. Blitzlichtlampen als Anzeigeelemente (im Bild durch Kreise kenntlich gemacht).



Fig. 4 Galvanischer Kurzschluss über zwei Netzaussenleiter (Phasen) einer 45-kV-Leitung, mit mehrfacher Erdbeteiligung, aufgenommen mit einer federwerkbetriebenen Kleinbildkamera höherer sekundlicher Einzelbildfolge (Motor-Leica).

Kurzschlußstrom: 740 A (Phase S) / 670 A (Phase T).

Betriebsabteilung) verfolgt. Von verschiedenen Standorten aus waren zudem mehrere Schmalfilmkameras (18 Bilder/s) für Kurzstreifen eingesetzt worden. Grosser Wert war auch diesmal wiederum auf die Kenntlichmachung des Spannungstrichters mittels zwischen Radial- und Peripheriesonden geschalteten Photoflux-Blitzlichtlampen sowie die volle Erderspannung anzeigen den Hochspannungs-Daueranzeigern, wie sie hierorts in Schaltungen häufig eingebaut sind, gelegt worden. Viel beachtet von allen Versuchsteilnehmern und die physikalischen Grundsätze der Erdertechnik bestätigend, zeigte es sich, dass die Blitzlampen in den acht Radialsonden ansprachen, in den zwei Peripheriesonden hingegen heil blieben. Schliesslich waren einzelne, stromversorgungsempfindliche Tarif- und Sonderabnehmer (Fabriken) von den beabsichtigten Versuchen vorsorglich informiert worden; auch die örtliche Gendarmerie bot ihre guten Dienste an. Nebenbei bemerkt können derartige Versuche auch einen positiven Nebenzweck in sich schliessen, indem sie einen bisher unentdeckt gebliebenen Schaden an der Leitung (z. B. Verrottung des Stahl-Blitzschutzseiles in aggressiver Atmosphäre) zutage bringen.

Die 9. Demonstrationsserie umfasste drei Versuchsschüsse. Den Teilnehmern bot sich beim Versuch I und III das charakteristische Bild eines Kurzschlusses über zwei Netzaussenleiter (Phasen) mit mehrfacher Erdbeteiligung (über Erdspieß/HT-Leitung/Blitzschutzseil), beim Versuch II das eines Erdschlusses über einen Netzaussenleiter (Phase) dar, der (im Hinblick auf den geringen Erdschlussreststrom) durch eine Abschaltung auf Kommando bewusst rasch beendet wurde. Da die Motor-Leica für Reihenaufnahmen in rascher Folge nur beim Versuch I eingesetzt worden war und der Versuch III ohnehin weitgehend diesem ähnelte, sei lediglich der Versuch I näher erörtert. Sieht man vom Nachleuchten des Kurzschlusslichtbogens selbst ab, so wickelten sich die verschiedenen elektrischen Vorgänge (Erd- und Kurzschluss) innerhalb einer Zeit von insgesamt 2020 ms ab. Verglichen mit den anderen Versuchsschüssen sind aber alle elektrischen Teilevorgänge von Fall zu Fall verschieden, wobei die einzelnen Parameter für die zeitlichen Unterschiede bereits an anderer Stelle [4] eingehend behandelt wurden.

Im Laufe der verschiedenen Versuchsserien zeichnete sich bereits klar die Tatsache ab, dass der nach Überschiessen der Freileitung zunächst zustande kommende Erdschluss mit meist mehreren, besonders kurzen Unterbrechungen (von größenordnungsmässig 60...360 ms) verbunden ist, weil die Prüflitze nicht dauernd am Leiterseil schleift und entlangwandert, sondern sich wiederholt von diesem abhebt. Auch mehrere frühere Versuche mit einer Kontaktspielvorrichtung bestätigten dies. So ist deshalb nach einem Lichtblitz (zufolge Kontaktunterbrechung) auf einem Bild des Leica-Films etwas zu sehen, wiederum auf mehreren folgenden Bildern dieses Films gar nichts, um dann erneut in Erscheinung zu treten. Dennoch liefert nicht die Aufnahme der Motorkamera eine endgültige Aufklärung der elektrischen Vorgänge, sondern nur das Oszillogramm. Andererseits kann das Oszillogramm keine Aussagen über die Dauer des Bestehens der Plasmawolken und des Funkenregens bis zu ihrem Verlöschen bieten, sondern nur die Aufnahme der Motorkamera. Daraus erhellt, dass beim Verfolg freibrennender Lichtbögen der Einsatz beider Hilfsmittel zweckmässig erscheint.

Im gegenständlichen Fall trat der erwähnte Erdschluss intermittierend auf; es wechselten also Erdschluss und Erd schlussfreiheit mit der Zeitfolge 210/200/230/80/1060 ms mehrmals ab, wobei dieses Spiel sich über insgesamt 1790 ms ausdehnte. Am Ende der am längsten dauernden Phase dieses mit mehreren Unterbrechungen bestehenden Erdschlusses (1060 ms) wurde der Kurzschluss über die Netzaussenleiter (Phasen) S und T eingeleitet (Fig. 4), der während einer Zeit von 230 ms bestand. Die Ausmessung der restlich verbliebenen Prüflitze ergab, dass der Kurzschlusslichtbogen eine Länge von 1,35 m mehr abschmolz, als der berechneten Länge, der geradlinigen Verbindung zwischen den beiden Netzaussenleitern (Phasen) S und T über das Blitzschutzseil hinweg (analog der galvanischen Überbrückung), entsprach. Die enormen Lichtwirkungen des Kurzschlusses sind aber innerhalb 440 ms schon weitgehend abgeebbt (Fig. 5). Aus der Aufnahme Fig. 4 kann man auch Teile der abgeschmolzenen Prüflitze (mit wellenförmigem Charakter) im versprü henden Zustand sowie die restlich verbliebene und zu Boden fallende Prüflitze deutlich erkennen. Man ersieht aus Fig. 5 (links) auch ganz deutlich die wellenförmigen Bewegungen



Fig. 5 Lichtwirkungen eines über eine Metallitze eingeleiteten, frei brennenden Kurzschluss-Lichtbogens gemäss Fig. 4; nach einer Zeit von 440 ms bereits weitgehend abgeebbt.

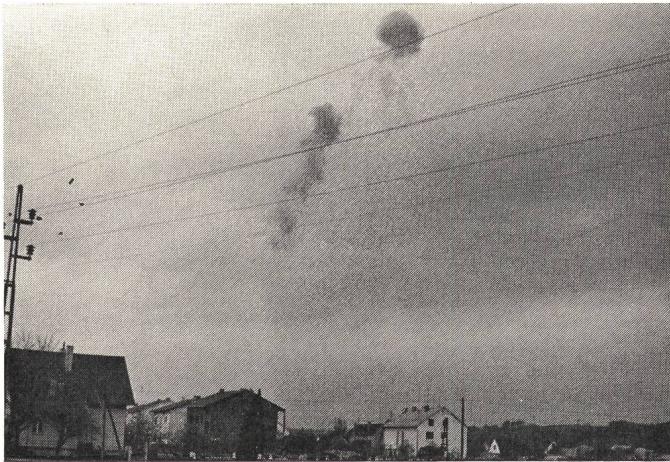


Fig. 6 Typischer Funkenregen, herührend von Werkstoffabtragungen an den Kupfer-Leiterseilen im Wege eines bewusst bei einer Wurf-Prüferdung herbeigeführten Kurzschlusses auf einer 45-kV-Leitung.

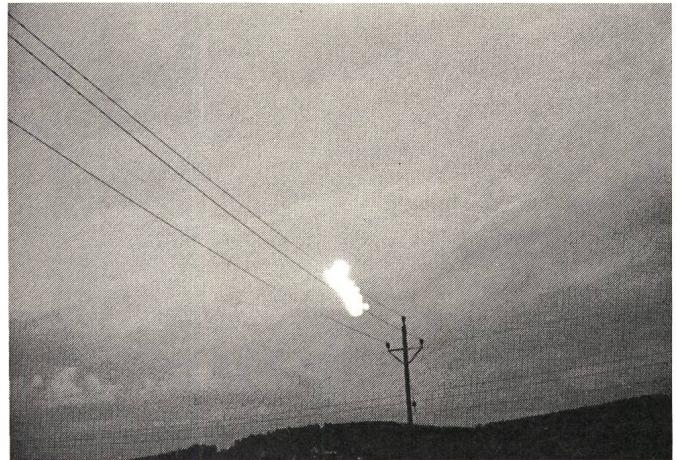


Fig. 7 Galvanischer Kurzschluss bei einem «scharfen» Wurf-Prüferdungs-Versuch auf einer 25-kV-Leitung, wie ihn das menschliche Auge (im Gegensatz zur Schnellbildkamera) wahrnimmt.
(Aufnahme mit geringer Vorbelichtung)

des vorerwähnten Leiters (Silizium-Bronze-Draht) der HT-Leitung, der später mit Schmelzkegeln an den Drahtenden abriß. Schliesslich zeigte der Funkenregen und in der Folge die Aufnahme (Fig. 6) nicht nur dem Betreiber des Netzes (der dies natürlich wissen musste), sondern jedem Uneingeweihten augenscheinlich, dass die Leiterseile aus dem Werkstoff Kupfer bestanden; aber auch das Zurück-schnellen des aufgetrennten und nunmehr zum Erdboden fallenden HT-Leitungsdrahtes lässt sich daraus gut verfolgen. Wie aber demgegenüber ein Kurzschlusslichtbogen vom menschlichen Auge tatsächlich gesehen wird, zeigt Fig. 7 am Beispiel eines gegenständlichen «scharfen» Versuches auf einer 25-kV-Freileitung.

In Übereinstimmung mit den von anderer Seite gemachten Erkenntnissen bei Kurzschlussversuchen in Schaltzellen (BBC) muss darauf hingewiesen werden, dass bei der Be-trachtung solcher Bilder zu beachten ist, dass der reine Lichtbogen seine Energie zu 70...80 % durch Strahlung an die Umgebung abgibt und dass damit der helle Feuerschein nicht immer den Lichtbogen selbst zeigt, sondern meist nur hell-leuchtende heisse Lichtbogengase und Metalldämpfe. Der Bereich, den diese einnehmen, ist ebenfalls grösser abgebil-det, als er in Wirklichkeit ist, da Filme die grossen Hellig-keitskontraste einer solchen Aufnahme nicht richtig wieder-geben können, sondern an den hellen Stellen überstrahlt wer-den. Es gelang erst nach vielen Bildausarbeiten, diesen unerwünschten Photoeffekt einigermassen auszuschalten. Man hatte daher auch bei Versuchen mit Lichtbogen grosser Leistung dessen Querschnitt mit grössenordnungsmässig nur 2 cm² angenommen. In ähnlicher Weise hatte man bereits in den dreissiger Jahren bei Studien über den Aufbau von Blitzkanälen (anhand von Lichtbildern und Strommarken) auf einen Aussendurchmesser von grössenordnungsmässig etwa 10...25 cm und einen Kerndurchmesser von grössenord-nungsmässig etwa 1...2 cm geschlossen.

Die Lichtbilddaunahmen stammen von Herrn HBV Ing. Erwin Strecha, dem früheren langjährigen Leiter der Zentralwerkstätte, des Hochspannungsprüffeldes sowie Nieder-spannungslaboratoriums des eingangs erwähnten Unterneh-mens; dem Verfasser ist es eine angenehme Pflicht, dem

Genannten für die bereitwillige Überlassung dieser seltenen Photos auch an dieser Stelle den besten Dank auszusprechen.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass die Beschreibung eines neuartigen «pneumatischen» Drahtschleudergewehrs (Type MF 160, Fabrikat CATU), dessen Erstauführung für eine wesentlich grössere Wurfhöhe (35 m) nunmehr vorliegt, einer späteren Darstellung vorbehalten bleibt. Dasselbe trifft auch für den Einsatz dieser Spannungsprüfharpune bei schwach angeeisten Leiterseilen von Mittelspannungsfreilei-tungen zu, weil es infolge der drei letzten, ausgesprochen milden Winter noch nicht möglich war, an der bereits erstellten Hochspannungsversuchsleitung die entsprechenden Ver-suche (Ermittlung der Höhe der elektrischen Durchbruchs-spannung von dünnen zusammenhängenden Rauhreifschichten sowie Beurteilung der mechanischen Durchtrennwirkung von auf Leiterseilen schleifenden Prüflitzen) durchzuführen [siehe hierzu auch Bull. SEV 63(1972)21, S. 1266...1268]. Im übrigen gelten ähnliche physikalische Überlegungen auch für andere feste Oberflächenfremdschichten auf Leiterseilen zu-folge der verschiedensten Fremdstoffe in der Luft nahe in-dustrieller Ballungszentren (beispielsweise Zementfabriken).

Literatur

- [1] G. Irresberger: Elektriker-Sicherheitsregeln, Hallwag-Verlag, Bern/Stutt-gart (1968), 84 S., 127 Fig., S. 36...39.
- [2] G. Irresberger: Gefahren elektrischer Natur durch landwirtschaftliche Beregnungsanlagen. Bull. SEV 48(1967)8, S. 398...403, 2 Fig.
- [3] G. Irresberger: Erden und Kurzschliessen – wirksamste elektrotechnische Arbeitsschutzmassnahme, Schweizer Maschinenmarkt 72(1972)38, 98 .. 101, 7 Fig.
- [4] G. Irresberger: Die Prüferdung bei Freileitungen – Der Einsatz einer Drahtschleuder in Mittelspannungsnetzen, Technische Rundschau 63 (1971)19, S. 33, 35, 37; 63(1971)21, S. 59, 61; 63(1971)23, S. 43, 45; 27 Fig.
- [5] G. Irresberger: Wurferdung mittels Drahtschleudergewehr, Praktisches Wissen 44(1970)7, S. 3...7; 44(1970)10, S. 9...11; 44(1970)11, S. 6...8, 9 Fig.
- [6] G. Irresberger: Heranziehung des werkseigenen Hochspannungsprüffeldes im Dienste der Unfallverhütung, Sicherheitsingenieur 2(1971)9, S. 28...31, 5 Fig.
- [7] G. Irresberger: 259 Schrifftum-Quellen zum arbeitsschutztechnischen The-ma «Wurf-Prüferdung in Mittelspannungsnetzen» unter Einbeziehung der Randprobleme (beim Verfasser erhältlich).

Adresse des Autors:

Ing. G. Irresberger, Direktionsassistent der OKA, Anton-Bruckner-Strasse 5, A-4810 Gmunden, Österreich.