

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 4

Artikel: Elektrische Festigkeit von Luftisolierstrecken bei hohen Schaltspannungen

Autor: Gänger, B.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915802>

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: 13.01.2026

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

Elektrische Festigkeit von Luftisolierstrecken bei hohen Schaltspannungen¹⁾

Von B. Gänger, Baden

621.315.618.2

Es ist eine neuere Erkenntnis, dass unter den in Höchstspannungsnetzen vorkommenden Schaltüberspannungen die elektrische Festigkeit von Luftisolationen viel kleiner als erwartet sein mag und die Netzauslegung dem Rechnung tragen muss. Über den heutigen technischen Stand wie auch über die Forschungstätigkeit, mit dem Ziel eines besseren Verständnisses des Überschlagverhaltens, wird berichtet.

On vient d'apprendre assez récemment, que dans les surtensions de commutation pouvant se produire dans les réseaux à très haute tension, la rigidité diélectrique à l'air peut être bien plus faible qu'on l'avait présumé et qu'il faudra retenir ce fait lors de l'aménagement des réseaux. L'article rapporte l'état technique actuel et les études se rapportant à ce sujet afin de faciliter la compréhension du comportement au contournement.

1. Bedeutung der Schaltspannungen

Die Hochspannungs-Energieübertragungsanlagen unterliegen einerseits der Einwirkung der ständig anstehenden Betriebsspannung, dann aber auch gelegentlichen kurzzeitigen Überhöhungen der Spannung. Diese mögen von atmosphärischen Störungen (Blitzentladungen) oder von den Einschalt- und Ausgleichsvorgängen, generell von jeder Störung des Systemgleichgewichts herrühren; daneben kommt es vielleicht auch noch zu Spannungsanhebungen mehr stationärer Art bei gewissen unerwünschten Schaltzuständen des Netzes. Den von gewollten oder ungewollten Schalthandlungen herrührenden Überspannungen, sie seien im weiteren kurz als «Schaltspannungen» bezeichnet, gilt die vorliegende Betrachtung. Offensichtlich nimmt ihre Höhe mit der Netzspannung zu — solange keine besonderen Massnahmen zur Begrenzung getroffen werden —, womit aber die Schaltspannungen für die Höchstspannungsnetze ausserordentliche Bedeutung erlangen, während dagegen die atmosphärischen Überspannungen, die ja von aussen zum System stossen und damit zunächst in keiner Relation zur Betriebsspannung stehen und ausserdem dort ein hochentwickeltes und heute sehr sicheres Schutzsystem vorfinden, ihre frühere besondere Gefährlichkeit weitgehend eingebüßt haben.

Mit dem Verhalten der Isolierungen unter hohen betriebsfrequenten Spannungen und bei blitzähnlichen Vorgängen haben sich die Hochspannungsfachleute in den vergangenen Jahrzehnten viel beschäftigt, kaum aber mit den Schaltspannungen und dem Verhalten der Isolieranordnungen dabei, und dies obwohl in einem 1940 erschienenen Artikel [1]²⁾ bereits erste Hinweise über ein nicht erwartungsgemässes Verhalten von Überschlagstrecken unter solchen Bedingungen enthalten waren. Die Zeit war damals wohl wenig dazu angetan, Hinweisen dieser Art grössere Beachtung zu schenken, auch lagen die Übertragungsspannungen alle noch unter 300 kV und es erlangte daher vom Netzbetrieb her des rechten Interesses an solchen Besonderheiten. Dies änderte sich bei den höheren Übertragungsspannungen schlagartig, als vor nunmehr genau zehn Jahren in einer russischen Fachzeitschrift [2] von einem starken und nicht vermuteten Rückgang der elektrischen Festigkeit von Luftstrecken unter Schaltspannungsbeanspru-

chung berichtet wurde und bald darauf ähnliche Feststellungen auch anderswo gemacht wurden [3]. Nun setzte, beflügelt durch Planung und Errichtung von 500- und 700-kV-Übertragungen und heute nun durch die erkennbare Notwendigkeit zum Übergang zu einem noch höheren Spannungsniveau, oberhalb von 1000 kV, eine weltweite Aktivität zur Erforschung des bisher so vernachlässigten Gebietes ein.

Natürlich vermögen die Hochspannungsexperten gewichtige Gründe für dieses Nichtbeachten eines so wichtigen Teilgebietes vorzubringen: zunächst den, dass bei den niedrigeren Spannungen die auftretenden Effekte vom vorhandenen Wissen her gut erklärbar waren, und dann auch, dass man des Glaubens war, von den sehr rasch verlaufenden Blitzvorgängen bis hin zu den betriebsfrequenten Dauerspannungen würde die elektrische Festigkeit monoton absinken, und überdies bei Vergrösserung der Schlagweite annähernd linear zunehmen; für die als Impulsvorgang zu wertenden Schaltspannungen durfte danach ein den Blitzspannungen ähnliches Verhalten erwartet werden. Schliesslich mussten aber auch die Einrichtungen zum Erzeugen von Schaltspannungen in Laboratorium und Prüffeld erst geschaffen werden, und nur bei einem gewissen Vorgehen, bei dem dann auch die Anstiegsgeschwindigkeit der Versuchsspannung nach Belieben eingestellt werden kann, ergeben sich all die Besonderheiten, auf die noch zu kommen ist.

2. Formen von Schaltspannungen

Typische Schaltspannungsverläufe sind in Fig. 1 dargestellt. In der Mehrzahl der Fälle arbeitet man heute mit Unipolarstössen aus überkritisch gedämpften Stosskreisen gemäss Fig. 1c wegen der leicht definierbaren Stossform und der, bei Verwendung vielstufiger Stossgeneratoren, fast beliebigen Höhe der erzeugbaren Spannung. Der Rückendauer T_r , wenn sie nur nicht zu kurz ist, kommt keine grössere Bedeutung zu. Die Stossform wird üblicherweise durch Front- und Rückendauer definiert, so z. B. durch die Angabe 100/4000 bei $T_f = 100 \mu s$ und $T_r = 4000 \mu s$.

Die im Betrieb unter dem Zusammenwirken von linearen und nichtlinearen Netzelementen auftretenden Schaltspannungen sind von grösster Vielfalt und nicht leicht in die angeführten Grundformen einzuordnen. Auch fehlt noch eine umfassende Übersicht über die vorkommenden Hauptformen von Schaltspannungen mit Angabe ihrer Häufigkeit und der Ampli-

¹⁾ Ergänzte Fassung eines im November 1970 an der ETH im Rahmen des Kolloquiums «Moderne Probleme der theoretischen und angewandten Elektrotechnik» gehaltenen Vortrages.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

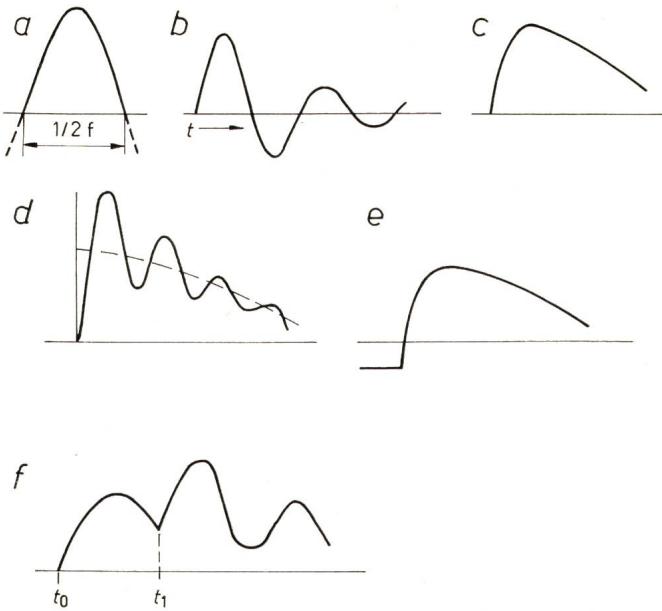


Fig. 1
Prüf-Schaltspannungen

- a aus Sinus-Wechselspannung der Frequenz f herausgeschnittene Halbwelle
- b gedämpftes Ausschwingen eines LC-Kreises
- c Unipolarstoss mit Frontdauer T_f und Halbwertdauer T_r
- d oszillierend abklingender Unipolarstoss
- e einer (negativen) Gleich-Vorspannung überlagerter (positiver) Unipolarstoss
- f aus Spannungsüberlagerung zweier zu den Zeiten t_0 und t_1 zugeschalteten Prüftransformatoren

tude. Nur dies ist bekannt, dass zwar die Anstiegdauer der transienten Vorgänge vielfach bei recht langen Zeiten, bis hin zu Millisekunden, liegt, dass aber auch kürzere Vorgänge möglich sind und daher berücksichtigt werden müssen.

3. Messresultate für die Stab-Plattenfunkentstrecke

Eines der Hauptanliegen der letzten Jahre war nun, die Auswirkung der Frontdauer auf das Isolationsvermögen zu studieren, und zwar in erster Linie bei Luftstrecken; so z. B. bei Freileitungen im Raum zwischen Leiterseil und Mast nahe den Abspans- oder Hängeketten, oder die Überschlagstrecke von Wand- oder Transformatordurchführungen, von Stützern, der Isolierungen von Schaltern, Trennern oder Messwandlern usw. Um vom Einzelfall loszukommen, werden vielfach einfache Modellanordnungen zum Versuch gebracht, so die Stab-Platte- oder die Stab-Stab-Funkentstrecke. Mit der ersteren erhält man auch generell die tiefstmöglichen Durchschlagswerte, so dass sie als Prototyp ungünstigster Verhältnisse vielfach angezogen wird. Mit der symmetrischen Stab-Stabkonfiguration ergeben sich rd. 10...20 % höhere Werte. In Luft findet man überdies für die unsymmetrische Stab-Platteanordnung einen ausgesprochenen Polaritätseffekt derart, dass bei negativer Polarität der scharfkantigen Elektrode die Festigkeit weit höher liegt; positive Polung der Spitze ist somit als der ungünstigere Fall der weit wichtigere für die Praxis.

Für mehrere Schlagweiten der Stab-Plattenfunkentstrecke sind in Fig. 2 die jeweiligen Durchschlagbereiche über der Frontdauer der unipolaren, positiven Prüfspannung schraffiert angegeben. Augenfällig ist die mit grösserer Schlagweite — höhere Spannung — zunehmende Ausprägung eines Minimums; im Bereich von 100...200 μ s durchläuft die elektrische Festigkeit einen Kleinstwert. Aus diesem Grund werden, so-

weit heute schon Prüfungen dieser Art auszuführen sind, dann auch Frontdauern dieser kritischen Grösse vorgeschrieben. Verglichen mit den am rechten Rand der Fig. 2 noch eingetragenen und bisher als niedrigst erachteten Werten (Scheitelwerte) der betriebsfrequenten Spannung ist im Minimumbereich die Festigkeit teils ganz erheblich geringer, und zwar um so mehr je grösser die Schlagweite ist. Während es bisher als Regel galt, dass mit Vergrösserung des Elektrodenabstandes die Durchschlagsspannung bei Gleichspannung, bei positiver oder negativer Stoßspannung und annähernd auch noch bei Wechselspannung recht gut linear zunehme und demnach schon bei gut ausführbaren Distanzen recht hohe Spannungen beherrscht werden können, findet man nun, dass bei Schaltspannung der Zuwachs an Festigkeit immer geringer wird.

4. Statistische Behandlung der Messwerte

Ein weiteres kommt hinzu: die beträchtliche Streuung der Messwerte. Bei Durchschlagmessungen unter wohldefinierten Umständen (d.h. ungeänderte geometrische Konfiguration, gleichbleibender Druck, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft) findet man stets ein gewisses regelloses Schwanken der Messwerte, doch bleibt dies bei den Nicht-Schaltspannungen in engen Grenzen; innerhalb einer Versuchsreihe mögen die Standardabweichungen 1 oder auch 2 % erreichen. Bei den Schaltspannungen hingegen jedoch kommt man auf 5...6 %, gelegentlich vielleicht auch noch auf mehr.

Dies nun zwingt dazu, nicht nur die Messungen nach statistischen Gesetzmässigkeiten auszuwerten, sondern auch den Versuchsablauf in ganz bestimmter Weise anzulegen. Hier ist auch darauf zu verweisen, dass das Interesse zumeist auf den Halte- und weniger auf den Durchschlagswert gerichtet ist. Jener aber lässt sich wegen der grossen Schwankungen und bei der notwendigerweise beschränkten Zahl von Stössen kaum mehr direkt bestimmen; besser wird er aus der Gesamtheit der

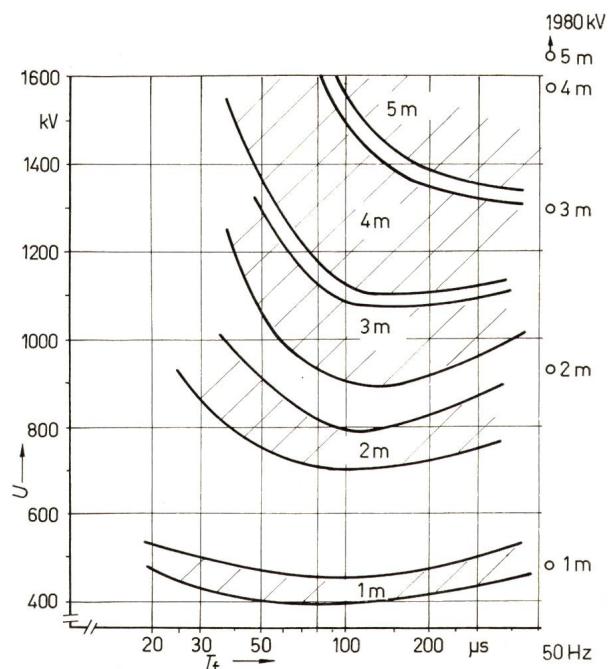


Fig. 2
Durchschlagsbereiche der Stab-Plattenfunkentstrecke bei positiver Schaltspannung variabler Frontdauer T_f sowie zugehörige Wechsel-Durchschlagsspannungen (Scheitelwerte)
U Durchschlagsspannung

Einzelmessungen mit angebbarer Sicherheit der Aussage rechnerisch ermittelt. Hierzu bedarf es allerdings einer Vorstellung über das obwaltende Verteilungsgesetz; der Natur des betrachteten Vorganges angepasste Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen werden zu ihm führen.

Das Objekt könnte dazu als aus vielen Elementarzellen aufgebaut gedacht sein, mit statistisch schwankenden Eigenschaften der einzelnen, und wobei der Durchschlag einer Zelle für sich bereits den Durchschlag der gesamten Anordnung nach sich zieht. Oder sein Aufbau entspreche dem einer Kette, wo die Festigkeit eines Kettengliedes das Widerstandsverhalten der ganzen Kette bestimmt. Die mathematische Behandlung der physikalischen Vorstellungen führt auf die sog. Extremwertfunktionen. In allen praktischen Fällen, wenn nicht gerade an überraschend kleine und durch den Versuch sowieso kaum nachprüfbare Wahrscheinlichkeiten gedacht ist, können diese aber durch die einfachere und wohlbekannte Gauss-Verteilung ersetzt werden. Nach dieser hängt die Wahrscheinlichkeit für das

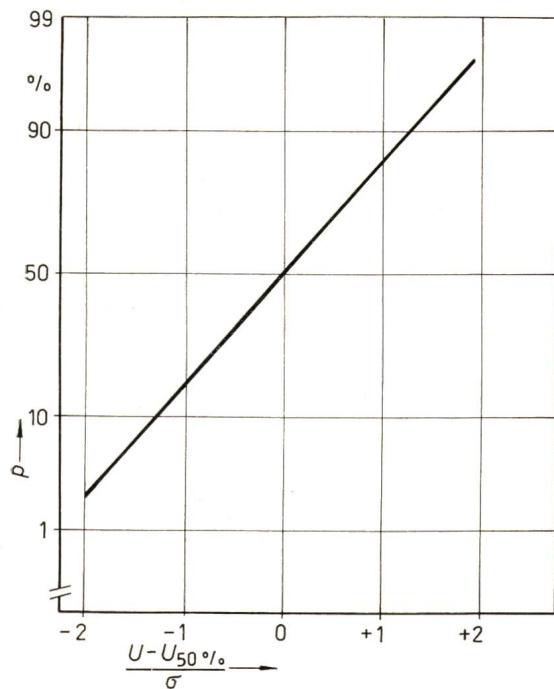


Fig. 3

Wahrscheinlichkeitsdarstellung mit Regressionsgerade

p Durchschlagswahrscheinlichkeit; U Versuchsspannung; σ Standardabweichung

Eintreten des betrachteten Ereignisses allein von $(U - U_{50\%}) / \sigma$ ab. $U_{50\%}$ ist hierbei die Spannung, bei der im Mittel gerade die Hälfte der Spannungsanwendungen zum Überschlag führt, σ die Standardabweichung. In Wahrscheinlichkeitskoordinaten (Fig. 3) erhält man mit einer ausreichend grossen Zahl von Versuchen eine Gerade als Ausdruck für $p = f(U)$.

Wird beispielsweise verlangt, der gesuchte Haltewert sei so festzulegen, dass bei 100 Beanspruchungen im Mittel nur mit 1 Durchschlag zu rechnen ist ($p = 1\%$), so wird dieser Wert über die Neigung der Regressionsgeraden so bestimmt:

$$U_{H(p=1\%)} = U_{50\%} - 2,33 \sigma$$

Oder bei nur 1 % Durchschlagserwartung gilt:

$$U_{H(p=1\%)} = U_{50\%} - 3,09 \sigma$$

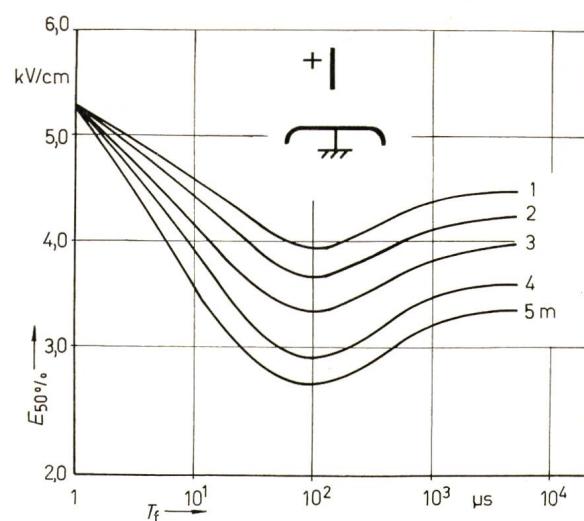


Fig. 4

Mittlere Durchbruchfeldstärke $E_{50\%}$ der Stab-Plattefunkentstrecke bei

positiver Impulsspannung

T_f Frontdauer

5. Weitere Messergebnisse

In Fig. 1 waren die Streubereiche mit unterer und oberer Begrenzung durch die Halte- und die Fast-100-%-Durchschlagskurven mit der Frontdauer als Variable dargestellt. Werden statt dessen die $U_{50\%}$ -Werte genommen und errechnet man daraus die (räumlich und statistisch) mittlere Durchbruchfeldstärke $E_{50\%}/d$, so kommt man zu der Darstellung von Fig. 4. Sehr eindrücklich geht daraus hervor, wie stark der Rückgang der Luftfestigkeit vom Blitzstoss bis hin zum Minimalwert sein kann.

Für noch grössere Elektrodenabstände sind die Absenkungen noch grösser. Dies mögen neueste Angaben aus einer amerikanischen Veröffentlichung bei Schlagweiten bis zu 29 m belegen (Fig. 5). Die Vergrösserung des Abstandes zur Erde eines an Hochspannung liegenden scharfkantigen Leiters von z. B. 20 auf 30 m brächte demnach nur eine Erhöhung der

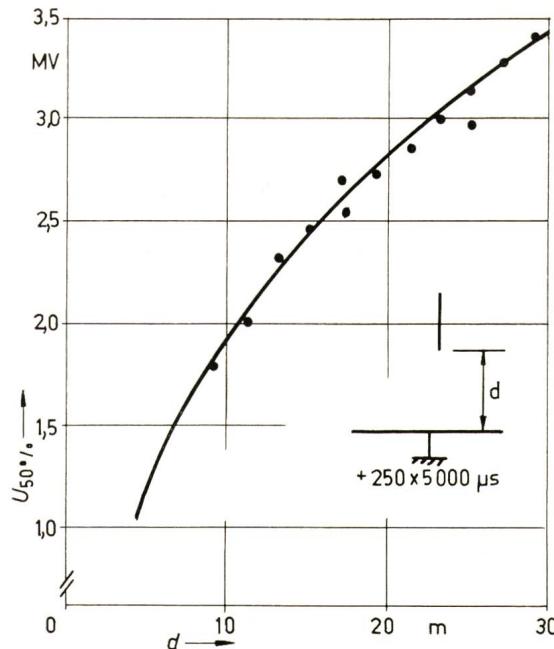


Fig. 5

50-%-Durchschlagsspannung $U_{50\%}$ der Stab-Plattefunkentstrecke bei sehr grossen Schlagweiten d nach [4]

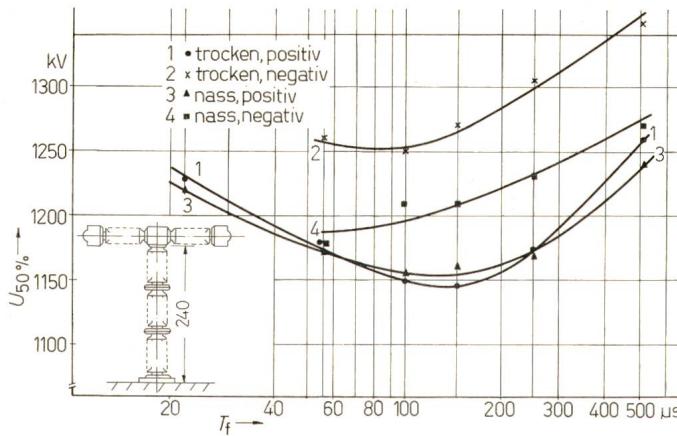


Fig. 6

50%-Überschlagspannungen der Erdisolierung $U_{50\%}$ eines Schalterpoles bei variabler Frontdauer T_f der Schaltspannung

Durchschlagspannung um rd. 700 kV (weniger als 1 kV/cm). Gemessen an den bisher allgemein als gültig angenommenen 5 kV/cm für den Zuwachs ist dies eine enorme Reduktion, und ganz sicherlich liegt hierin ein ernstes Hindernis auf dem Weg zur Durchbildung von Ultrahochspannungs-Übertragungssystemen.

Dass nicht allein die Stabfunkentstrecke ein solches Verhalten aufweist, sondern recht gleichartige Zusammenhänge auch bei anderer Elektrodengestaltung bestehen, möge Fig. 6 zeigen. Es wurde ein Pol eines Druckluftschalters, im wesentlichen bestehend aus Stützersäule mit aufgebauten Schaltkammern, mit seiner Erdisolierung geprüft, und zwar nicht nur in trockenem Zustand der Anordnung, sondern auch unter künstlicher Berechnung, wie dies vielfach gefordert wird und ja auch den im Betrieb vorkommenden Umständen entspricht.

Ähnliche Messungen an all den wichtigen Elementen einer Höchstspannungsübertragung, so natürlich vor allem an den Aufhängungen der Leiterseile an den Masten bei verschiedenartigen Isolierketten und Mastkopfformen sowie an den Stationsapparaten, sind in vielen Einzeluntersuchungen der letzten Jahre ausgeführt und beschrieben worden. Es ist bereits ein schwer übersehbares Tatsachenmaterial zusammengetragen worden im Bestreben, die günstigsten Anordnungen herauszufinden und die Spannungswerte angeben zu können, die unter den jeweiligen Bedingungen erreichbar sind. Ein besonderes Kapitel stellen die Korrekturfaktoren für Luftdichte und -feuchtigkeit dar, deren zahlenmässige Erfassung sich gerade wegen der grossen Einzelstreuungen als sehr schwierig erwies und wohl nur durch eine bisher unbekannte Grosszahl von Messungen erreicht werden kann.

Anderseits, im homogenen oder quasi-homogenen Feld wie etwa zwischen nahen Plattenelektroden, Kugeln von Messfunkentstrecken u.ä. findet man auch für Schaltspannung Durchschlagwerte, die recht nahe bei denen für Stoß-, Gleich- oder Wechselspannung liegen und recht genau ausmessbar sind. Dies bedeutet aber, dass immer dann, wenn sich der Durchschlag abrupt, ohne die Vorstufen vorausgegangener Entladungen entwickelt, er nicht die besonderen Kennzeichen aufweist, die uns hier beschäftigen.

6. Grundsätzliche Betrachtungen über den Entladungsaufbau

Hier sei auf die physikalischen Sachverhalte bei den Vorprozessen etwas eingegangen. Wird an eine scharfkantige

Elektrode eine genügend hohe Spannung z. B. gegen Erde angelegt, so ist oberhalb der Einsatzspannung direkt vor der Kante (Spitze) eine schwach bläulich leuchtende Entladung zu bemerken, die sich bei weiter steigender Spannung verstärkt, mit feinen Lichtfädern oder dann auch heller leuchtenden Kanälen zur Gegenelektrode vorwächst und dabei auch zum Durchschlag führen mag. Wird eine lichtempfindliche Schicht in eine Entladungsebene hineingebracht, so zeichnet sich eine strahlige Figur mit fein verästelten Kanälen und von grossem Formenreichtum in dieser ab. Es handelt sich um ein begrenztes, durch Ionisationsvorgänge ausgelöstes Leitendwerden auf gewissen Bahnen im Raum zwischen den Elektroden.

An geeigneter Stelle befindliche freie oder auch erst durch Ablösung von negativen Ionen entstandene Elektronen werden bekanntlich zur Anode hingetrieben und erzeugen durch Stossionisation in einem Townsend-Lawinenauflauf viele weitere Elektronen und außerdem eine träge Raumladung von positiven Ionen. Im Masse der Trägervermehrung werden auch durch Emission an der Kathode oder durch Photoionisierung im Gasraum Nachlieferungselektronen erzeugt, die den Prozess der Trägerbildung und -verschiebung in Gang halten. Sobald an einer Stelle, sei dies in einem einzigen Lawinenauflauf oder auch über mehrere Lawinengenerationen, rd. 10^8 Ladungsträger geschaffen wurden, wird, wie von H. Raether nachgewiesen wurde, die Entladung selbständig und ist für ihren Weiterbestand nicht mehr auf von aussen kommende Anfangselektronen angewiesen. Weil somit nur die Elektronen dank ihrer außerordentlichen Mobilität es vermögen, bei unelastischen Stößen neue Träger entstehen zu lassen, und die Ausbeute dabei sehr von der Feldänderung beeinflusst wird, ist auch die Durchschlagsspannung klein oder gross je nachdem die Spitze positive oder negative Polarität hat.

Die mit rd. 10^8 cm/s vorstossende Elektronenlawine bewirkt im selben Aufbau auch eine praktisch am Entstehungsort verweilende Raumladungswolke aus positiven Trägerteilchen. Das bisher rein elektrostatische Feld erfährt dadurch eine Verzerrung: unmittelbar vor der Spitze wird der Gradient erniedrigt, vor dem Lawinenkopf hingegen verstärkt. Dieses Hinausschieben des Ionisationszentrums von der Spitze weg in den Entladungsraum hinein stellt natürlich eine wesentliche Begründigung der Entladungsentwicklung dar. Der Vorgang lässt sich auch so auffassen, als ob längs der vorstossenden Entladungsbahn eine Potentialwelle liefe und sich die weiteren Ionisationsprozesse an deren Front abspielten.

Im Entladungsschlauch, im deutschen als «Leuchtfaden», im englischen als «streamer» (primary streamer) bezeichnet, herrscht immer noch ein hohes Feld von 4...5 kV/cm. Dieser kann aufgefasst werden als eine «galvanisch» leitende Strombahn von hohem Innenwiderstand. Die Energie zum Vorwachsen muss über den Leuchtfaden nachgeliefert werden, doch wird ein Teil davon in ihm aufgebraucht und erhöht seine Temperatur. Wie es die Saha-Gleichung beschreibt, mag es dabei zu Thermoionisation und damit zu einer Bereitstellung der Ladungsträger im Plasmeschlauch durch einen energetisch viel ergiebigeren Prozess als den der Stossionisation im elektrischen Feld kommen. Die Farbe des Kanals schlägt in ein helles Weiss von Funkencharakter um, auch hat der Kanal jetzt eine negative Strom-Spannungscharakteristik bei nur noch kleinem Längsgradienten. Ein solcher Kanal wird im englischen Sprachgebrauch als «leader» bezeichnet. Wie noch zu zeigen ist, voll-

zieht sich in ihm der Ladungsfluss nicht stetig, sondern absatzweise; in jeder Rückstufe wird über den ganzen rückwärtigen Pfad Ladung nachgeschoben und der vorderste Leuchtfaden- teil dabei ebenfalls zum leader umgeformt.

Der Mechanismus der Durchschlagentwicklung ist somit nicht gerade ein einfacher. Dabei blieb bisher noch unberücksichtigt, dass die in jedem Kanal vorhandenen Raumentladungswolken, die im Ionisierungszentrum an der Front wie auch die Überschussladung im rückwärtigen Kanal, nur bei ganz raschen Vorgängen als unbeweglich angesehen werden können. Sobald sich jedoch die Spannung an den Elektroden nur langsam aufbaut und damit die Stufen der Entladung in allmählicher Folge durchlaufen werden, verschieben sich auch die Raumladungen merklich und wirken dann je nach ihrem augenblicklichen Standort auf das weitere Geschehen in der Entladung ein. Noch in einer weiteren Weise ist die Schnelligkeit des Spannungsanstieges von Belang: Weil überall im Kreis und somit auch im Luftraum zwischen den Elektroden der Strom von gleicher Grösse sein muss und der Konvektionsstrom in leader und streamer seine Weiterführung durch einen dielektrischen Verschiebungsstrom im noch trägerfreien Teil zwischen Entladungsfront und Gegenelektrode finden muss (Fig. 7) und etwa bei langsamem Spannungsanstieg du/dt auch der Verschiebungsstrom dort nur klein ist und die weitere Entladungsentwicklung hemmt, sind hier schwer übersehbare Abläufe je nach den jeweiligen Umständen zu erwarten. So werden die schnell ansteigenden Blitzspannungen dank des kleinen kapazitiven Widerstandes im vorderen Teil eine Stossfront hoher Aktivität und Intensität ermöglichen, doch wird es nur zu einem einzigen starken Ladungsimpuls kommen, und es fehlt die Folge weiterer Ladungsgüsse, die den Kanal stärker aufheizen und besser forschreiten lassen. Bei langsamem Anstieg hingegen vermögen beim Abwandern der positiven Raumladungen zur Gegenelektrode hin und auch wegen der nun mehrfachen Ladungsausgiessungen die Entladungsfäden und -kanäle besonders weit in den Raum vorzugreifen. Bei mittleren Frontdauern sind somit besonders günstige Bedingungen für den Entladungsaufbau, d.h. eine minimale Durchschlagsspannung zu erwarten.

Es kann nur ein sehr vorläufiges und ungefähres Bild von diesem komplexen Zusammenwirken zahlreicher Einzelprozesse und Abhängigkeiten gezeichnet werden, um zu einem ersten Verständnis der Vorgänge zu kommen. Wohl sind uns die Elementarprozesse recht gut, auch quantitativ bekannt, doch wissen wir über die Vorgänge im weiteren Entladungs-

I Leuchtkanal
II Büschel der Lichtfäden

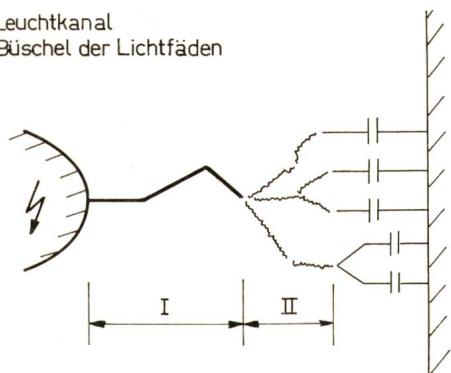


Fig. 7

Schematische Darstellung vom Vorwachsen der Entladung sowie der Raumkapazitäten

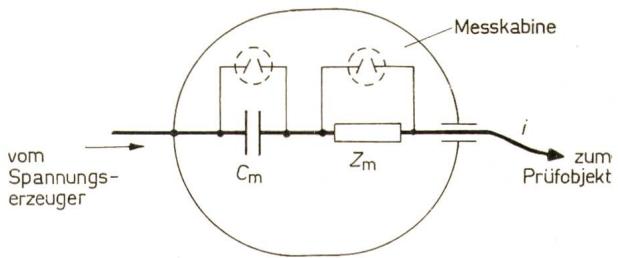


Fig. 8
Messkabine mit Messzeitwiderstand Z_m zur Messung des Stoßstromes i und mit Messkondensator C_m zur Messung von $\frac{1}{C_m} \int i dt$

aufbau erst wenig und sind noch in manchem auf Spekulationen angewiesen. Angesichts dieser Sachlage sollten eigene Versuche zur weiteren Klärung beitragen, dies allerdings mit Blick auf die technischen Belange, um dabei möglichst auch die Technik der Höchstspannungsapparate zu fördern.

7. Versuchsaufbau

Die Aufgabe bestand darin, an einem Objekt der Praxis durch Messung aller wesentlichen Grössen und Vorgänge die grundsätzlichen Vorstellungen zu vertiefen und vielleicht auch zu Konstruktionsverbesserungen zu kommen. Dazu wurde ausser dem Verlauf der Hochspannung auch noch der Impulstrom auf der Hochspannungsseite unter Verwendung einer speziellen Messkabine erfasst. Gemäss der Schemadarstellung von Fig. 8 sind die Spannungsabfälle am Messwiderstand Z_m bzw. am Kondensator C_m dem Strom bzw. der durchgeflossenen Ladung $\int i dt$ proportional. Nach einem Vorschlag von Baller [4] lässt sich der störende Verschiebungsstrom über die Raumkapazität des Objekts durch eine Kompensationsbrückenschaltung eliminieren. (Von der sonst üblichen Erfassung der interessierenden Grössen auf der Erdseite wurde abgesehen, weil dies nur zu unbekannten und dazu von Entladung zu Entladung veränderlichen Anteilen möglich wäre.) Ferner wurden die Lichtphänomene der Vorentladungen mit normalen Kameras von mehreren Stellen des Raumes aus sowie zeitlich aufgelöst mittels elektronischem Bildwandler und gewischem Bild aufgenommen. Beim Bildwandler wird der Vorgang auf eine flächenhafte Photokathode abgebildet und dort in Helligkeitsproportionale Elektronenströme umgesetzt, die im Röhreninnern durch elektrostatische Linsensysteme beeinflusst und senkrecht zur Vorgangsbewegung abgelenkt werden können. Auf einem Leuchtschirm erzeugen die Elektronen schliesslich ein optisches und auch abphotographierbares Bild. Bei gleichförmiger Wischbewegung erhält man ein fortlaufend verschobenes, in Zwischenphasen aufgelöstes Bild.

8. Messungen

Das Objekt der Versuche, ein Hochspannungsscherentrenner, ist in Fig. 9 dargestellt: auf eine Dreibeinisolatorsäule mit zusätzlichem Unterbau ist das Scherengestänge montiert; beim Einschalten stellen sich die Scherenkontakte senkrecht und legen sich fest an den starr aufgehängten Bügel des Gegenpols an. Der Trenner hat somit eine Erdisolierung wie auch im offenen Zustand eine Trennstrecke, deren elektrische Festigkeitswerte zur Beurteilung des Betriebsverhaltens bekannt sein müssen.

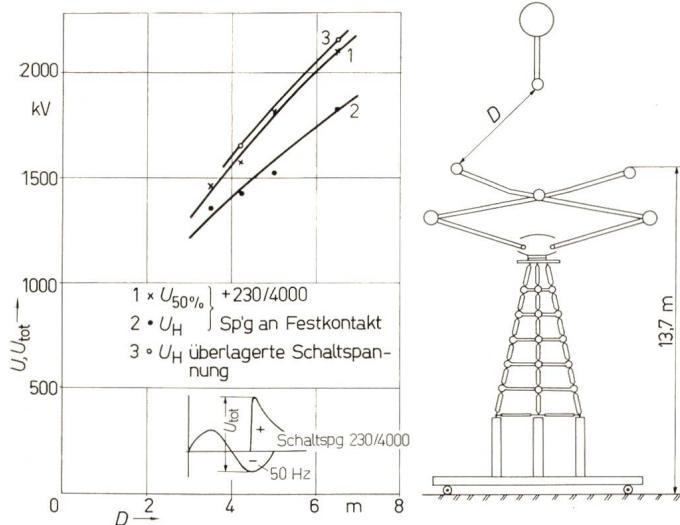


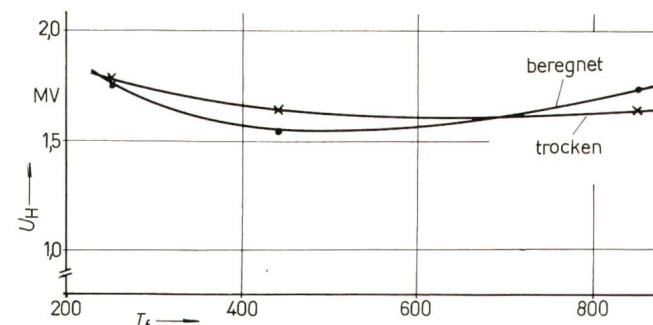
Fig. 9

Scherentrenner und einige der ermittelten Beziehungen für die Festigkeit der Trennstrecke

- 1 50-%-Durchschlagsspannung bei positiver Schaltspannung am Festkontakt
- 2 aus Kurve 1 gemäss $U_H = U_{50\%} - 2\sigma$ errechneter Haltespannungsverlauf
- 3 Haltespannung unter kombinierter Spannungseinwirkung
D kleinster Abstand zwischen festem und beweglichem Kontakt;
 U_{tot} Summenspannung

Einige der ausgemessenen Abhängigkeiten für die Trennstreckenfestigkeit sind im Diagramm (Fig. 9) dargestellt. So gibt Kurve 1 die Zunahme der 50-%-Durchschlagsspannung mit dem Elektrodenabstand bei positiver Schaltspannung 230/4000 am Festkontakt und geerdeter Schere, Kurve 2 die daraus und mittels der Streuung abgeleitete Haltespannung; Kurve 3 schliesslich gibt den Festigkeitsverlauf bei einer im Betrieb möglichen kombinierten Beanspruchung, im vorliegenden für den Fall, dass am Festkontakt die Betriebsspannung ansteht und an der anderen Seite eine Schaltspannung. Ereignet sich z. B. gemäss Darstellung eine positive Überspannung gerade im Scheitel der negativen Halbwelle der Betriebsspannung, so ist offensichtlich die Beanspruchung der Isolierstrecke am grössten. Diese Summenspannung, bei der auch gerade noch kein Durchschlag eintritt, ist durch Kurve 3 gegeben.

Im weiteren sei jedoch vorzugsweise auf das Verhalten der Erdisolation eingegangen. In Fig. 10 sind die ausgemessenen Haltestrukturen dargestellt. Für die rd. 7 m lange Überschlagdistanz erhielt man Werte etwas oberhalb von 1500 kV, sowohl im trockenen Zustand als auch unter Regen. Das Minimum ist nunmehr zu etwas längeren Frontdauern, zu solchen von etwa



Haltestrukturen der Erdisolation des Trenners U_H (3 Säulen à 6 Langstabisolatoren) bei positiver Schaltspannung unterschiedlicher Frontdauer T_f , im trockenen und im beregneten Zustand

über 400 μ s, verschoben. Ob die Entladung als Überschlag längs der Stützersäule verlief oder etwa den Weg zur gut 10 m entfernten Wand vom nächstliegenden Scherengelenk aus wählte, hing wesentlich von der eingestellten Frontdauer ab; bei kürzeren Zeiten (steilerem Spannungsanstieg) war der Anteil der Wandüberschläge weit grösser.

Fig. 11 gibt eine Aufnahme mit den von verschiedenen Stellen des Objekts ausgehenden Stielentladungen, die alle frei im Raum endigen. Vom Aussehen der Überschläge gibt Fig. 12 eine Vorstellung. Die Bahnen sind vielfach gewunden und alle von der «anomalen» Art, weil sie nicht einfach im wesentlichen längs einer Feldlinie verlaufen und auf kurzem Weg zur Erdungsstelle führen, sondern über oft überraschend weite Distanzen zu ganz unerwarteten Stellen gelangen. Solche Weitüberschläge würden natürlich den Betrieb in einer Hochspannungsstation sehr behindern, weil sie eine Gefahr für das Personal darstellen und zu viel aufwendiger Bauweise zwingen könnten.

Einzelheiten vom zeitlichen Ablauf der Ladungsergießung wie auch der Vorentladungs-Lichterscheinungen sind für einen Fall in Fig. 13 festgehalten. Die Spannung steigt in wenigen 100 μ s auf ihren Höchstwert und fällt dann langsam wieder ab. Sobald an den vorragenden Kanten der Hochspannungsarmar-



Fig. 11
Vom Scherengestänge ausgehende Stielentladungen

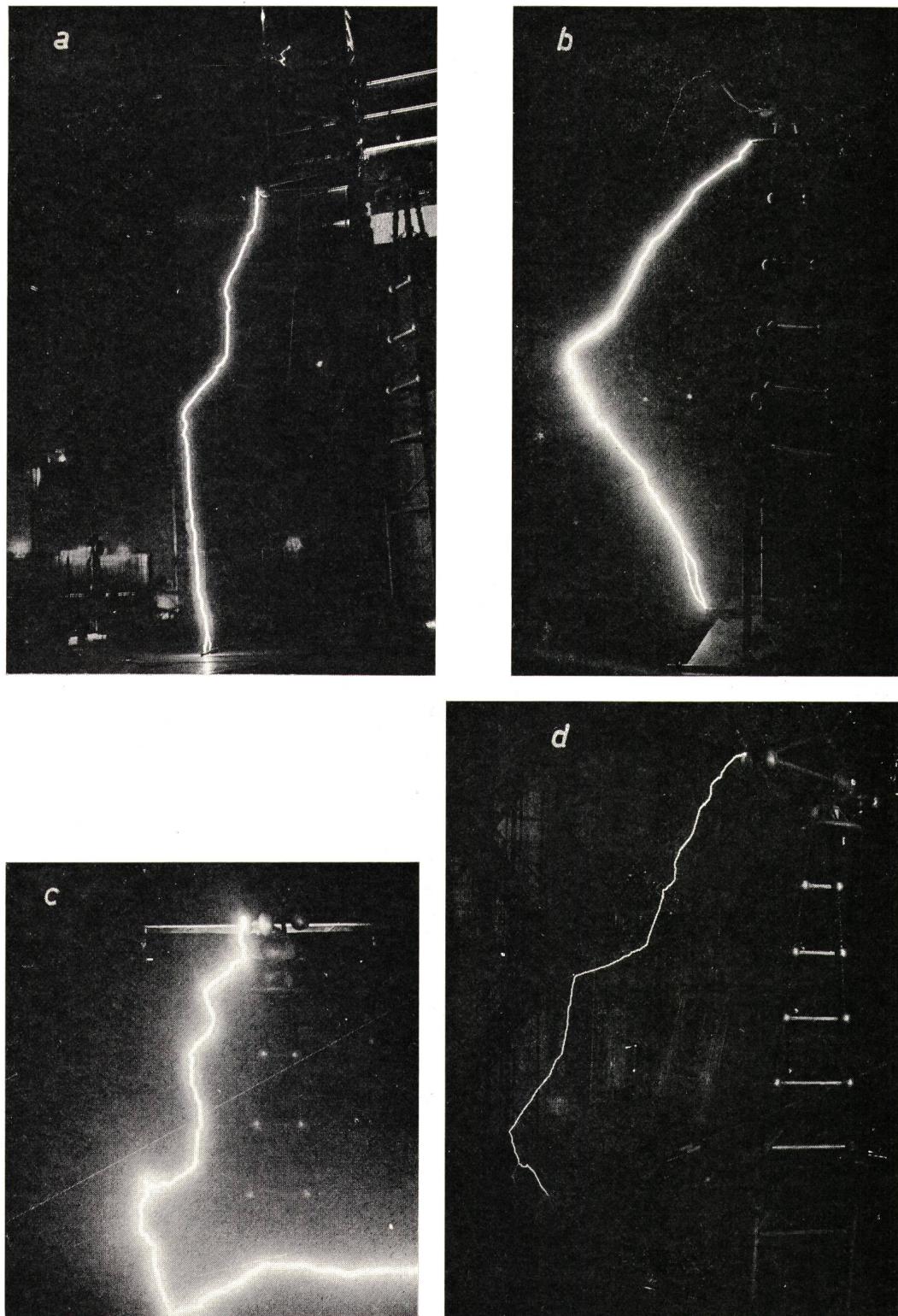
Man beachte die Lichtbüschel der Entladungs-Zwischenstufen. (Der waagrechte Lichtstrich in Scherenhöhe hat nichts mit den Vorgängen zu tun; er röhrt von ungenügender Verdunkelung des Raumes her)

turen gewisse kritische Feldstärkewerte überschritten werden (ab rd. 800 kV), setzt an diesen Stellen eine Entladung ein, die sich in den Raum vorbohrt und bei ausreichend hoher Spannung sogar zum Volldurchschlag führen wird. Ruhebild d hält eine annähernd lotrecht nach unten gerichtete Entladung von mehreren Metern Länge fest; vom gleichen Ausgangsort stösst auch seitlich eine Entladung weit vor. Bei genauerem Betrachten sind Einzelheiten erkennbar: die Entladung setzt sich offensichtlich aus Rückstufen bei jeweils recht willkürlichen Abwinkelungen zusammen; jede Rückstufe endigte in einem Leuchtfadenbüschel. Der Bildwandler enthüllt die zeitliche Entwicklung. (Zur Beachtung: Das Bild wurde stetig von rechts nach links verschoben, weshalb auch die in der selben Richtung

Fig. 12

4 Aufnahmen von «anomalen» Überschlägen

(bei Aufnahme *d* brach allerdings die treibende Spannung durch einen Überschlag an anderer Stelle vorzeitig zusammen, so dass zwar die Vorentladung bis kurz vor Erdberührung vorgewachsen war, ohne jedoch durch eine rückwärtslaufende Potentialwelle den Durchschlagsfunken zu bewirken und dadurch den Übergang zur Lichtbogenentladung einzuleiten). Man beachte die Gabelung der Funkenbahn bei den Aufnahmen *a* und *b* kurz vor Erdberührung; dies wird als Beweis für die Existenz vom Boden entgegenwachsender «Fangentladungen» angesehen



verlaufende weitere Vorentladung nicht aufgelöst wurde; sie wird hier nicht weiter verfolgt). Ein erster Leuchtkanal von ca. 2 m Länge zeichnet sich 105 μ s nach Stossbeginn ab; die zuvor liegenden Entladungshänen blieben zu lichtschwach, als dass sie hätten aufgenommen werden können. Ihm folgt eine lichtlose Pause von 30 μ s Dauer. Danach blitzt der um eine weitere Ruckstufe verlängerte Kanal neuerdings auf. Alle Folgeergüsse verlaufen in der so vorbereiteten Bahn. In beiden Fällen kann die starke Lichtabstrahlung höchstens ca. 1 μ s gedauert haben, da ein scharf begrenztes Bild trotz der raschen Wischbewegung entstand. Wiederum nach gleich langer Pause folgt noch ein 3. und 4. Aufblitzen, diesmal von längerer

Leuchtdauer. Die Entladung hatte so ca. 7 m Länge erreicht, ohne zum Durchschlag zu führen. Weil Bildwandler und Ruhekamera nahe beieinander aufgestellt waren, decken sich auch die so unterschiedlich gewonnenen Aufnahmen fast vollkommen.

Das Ladungsoszillogramm *b* gibt Einblick in den unmittelbaren elektrischen Ablauf. Schon in den lichtlosen Vorstadien wurde fast kontinuierlich Ladung im Schlagraum abgelagert, die Ruckstufen bei 105, 136, 162 und 190 μ s (die bei 113 μ s röhrt vom Vorwachsen der störenden waagerechten Entladung her) sind Ausdruck einer momentanen Zunahme der aus dem Stosskreis zugeflossenen Ladungsmengen. Nach dem Scheitel

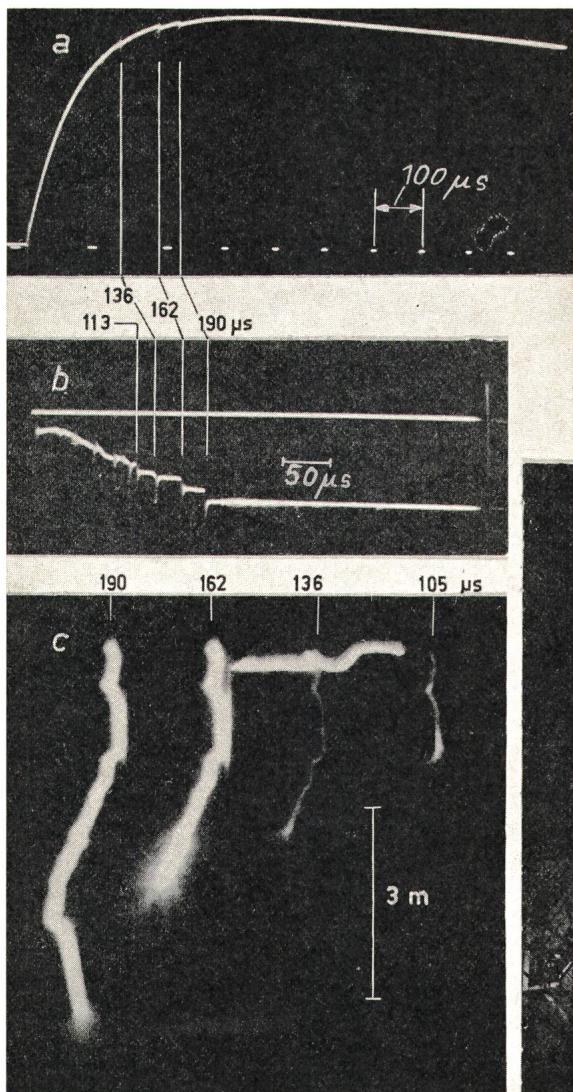


Fig. 13
Verschiedene Registrierungen desselben Vorganges

- a Spannungsablauf
- b zeitliche Zunahme der im Entladungsraum abgelagerten Ladung
- c Bildwandleraufnahme bei stetiger Wischbewegung von rechts nach links
- d Ruheaufnahme vom praktisch gleichen Blickpunkt aus wie der des Bildwandlers

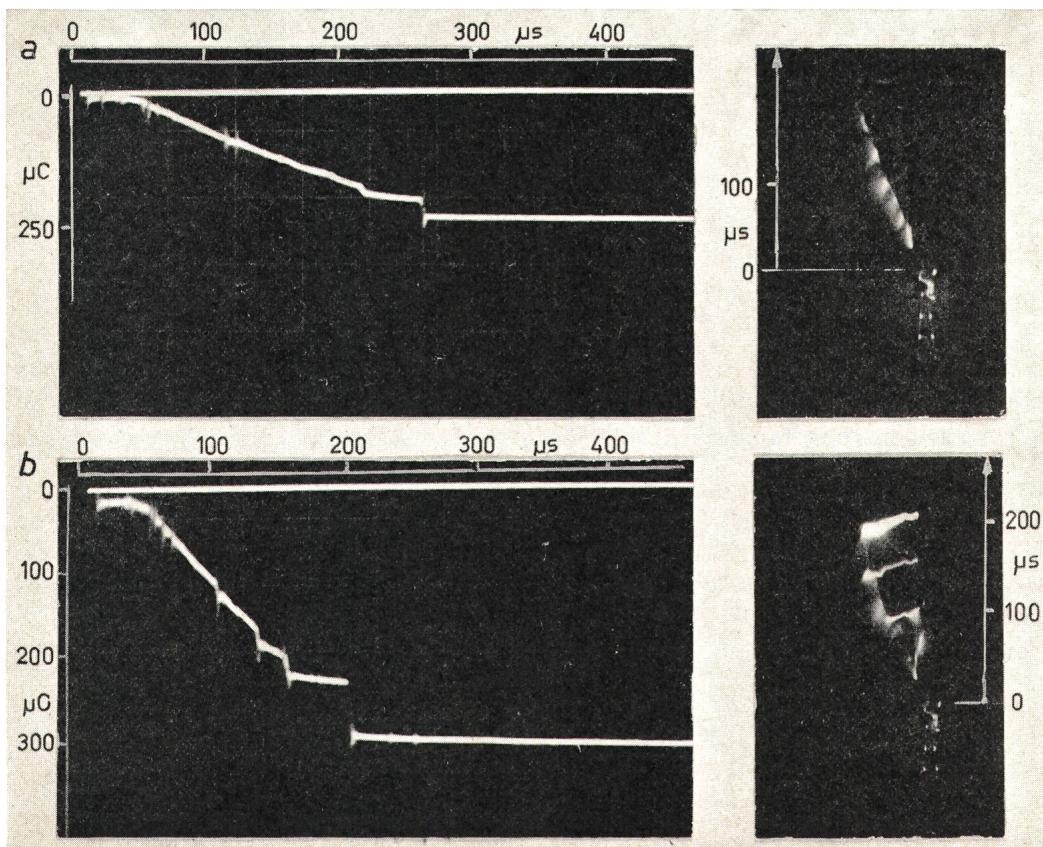


Fig. 14
2 gleichartige, vom Trennerkopf ausgehende Vorentladungen bei 1900 kV positiver Schaltspannung
links: Ladungsszillogramme
rechts: Wischbilder (Wischbewegung ging in der Vertikalen nach oben)

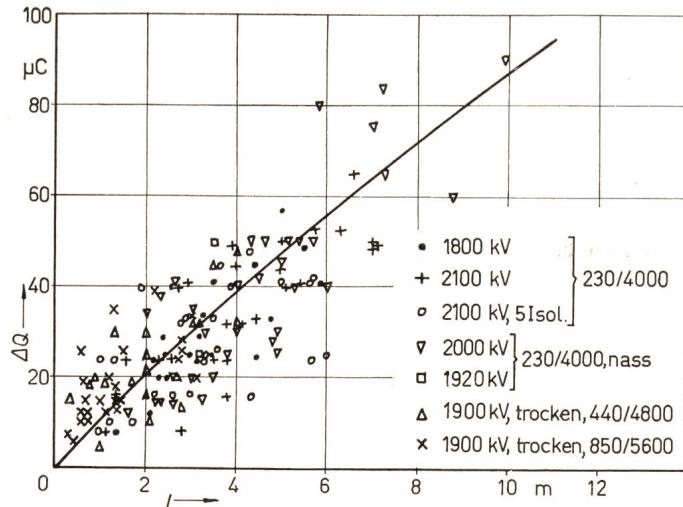


Fig. 15

Beziehung zwischen Ladungssprung ΔQ der Rückstufe und der gleichzeitigen Verlängerung l des Leuchtenkanals unter varierten Versuchsbedingungen

der Spannung kommt es zu keiner nennenswerten Ladungsverschiebung mehr. Ein Durch- oder Überschlag würde sich im Oszilloskopogramm durch einen rapiden Anstieg auf überaus grosse Werte abzeichnen. Die stossweise Energieentnahme aus dem Generator verrät sich durch kleine Einbrüche im Spannungsoszilloskopogramm vor allem bei den beiden letzten Rückstufen. Im Netzbetrieb führen die Koronavorgänge bei hohen Überspannungen, speziell bei solchen wenig unterhalb der Durchschlagsspannung, sicherlich zu ins Gewicht fallender Dämpfung der Überspannungen.

Zwei weitere Abläufe bei vom Trennerkopf nach links leicht schräg nach unten vorstossenden Entladungen sind in Fig. 14a und b jeweils mit Wischaufnahme und Ladungoszilloskopogramm festgehalten. Im oberen (Fig. 14a) steigt die aufsummierte Ladung ab ca. 30 μs nach Stossbeginn als Anzeichen eines steigen Vorrachsens recht gleichmässig an. Erst im Schlussstadium kommt es zu schwächeren Stufen, die sich auch im gewischt Bild durch gerade noch erkennbare schwache Leuchtkanäle anzeigen. (Die letzte Rückstufe ist allerdings in der Bildwandleraufnahme nicht mehr niedergeschrieben wegen vorzeitigem Schliessen des Verschlusses.) Auch in den Leuchtfadenbüscheln der Entladungsfront folgen leuchthelle Phasen fast lichtlosen.

Im darunter festgehaltenen Vorgang (b) war der Verlauf recht gleichartig. In beiden Fällen war die total ausgeschüttete Ladung ungefähr gleich gross, bei allerdings etwas rascherem Anstieg in Fig. 14b. Nunmehr leuchten die Kanäle sehr viel heller. (Die drittletzte Rückstufe im Ladungoszilloskopogramm röhrt von einer im Bildwandlerbild sichtbaren senkrecht nach oben verlaufenden weiteren Entladung).

Aus den bisher vorliegenden auswertbaren Aufnahmen dieser Art wurde versucht, allgemeine Gesetzmässigkeiten abzuleiten. Die Länge des Leuchtkanals wurde in eine Beziehung zur Grösse des jeweiligen Ladungssprungs gesetzt (Fig. 15). Die unter recht unterschiedlichen Bedingungen (verschiedene Formen der Stoßspannung, trocken/beregnet, um eine Einheit verkürzte Säulenlänge) ausgemessenen Werte, dürften sich angenähert durch eine Gerade mit einem Anstieg von ca. 10 μC/m darstellen lassen. Rückstufen von 1...4 m Länge überwiegen, doch kommen auch noch längere Stufen mit Ladungsergüssen bis über 80 μC vor.

Für die untersuchte Anordnung nahm die schliesslich erreichte Kanallänge zu langen Frontdauern der Spannung hin ab (Fig. 16b); da gleiches auch für kurze Frontdauern gelten muss, dürfte ein Maximum irgendwo im Bereich um 300 μs vorliegen, im gleichen Bereich somit, in dem auch die Festigkeit minimal ist. Geringste elektrische Festigkeit ist daher gleichbedeutend mit besonders günstigen Ausbildungsbedingungen für die Kanalentladung.

Die mittlere Vorrachsgeschwindigkeit erreicht ebenfalls im kritischen Bereich ihren Grösstwert von einigen cm/μs und fällt zu längeren Frontdauern hin stark ab.

Die angelaufenen Versuche haben es somit erstmals ermöglicht, frei im Raum verlaufende Funkenentladungen aus der gebotenen grossen Entfernung in ihren elektrischen und optischen Erscheinungsweisen bis hin zum Durchschlag zu verfolgen und einige Gesichtspunkte zum besseren Verständnis der Entladungsentwicklung zu gewinnen. Sie werden zur zweckmässigen Gestaltung der im zukünftigen Ultrahochspannungsbereich oberhalb 1000 kV benötigten Apparate und Einrichtungen beitragen.

Dank schuldet der Verfasser für tatkräftige und verständnisvolle Mitarbeit den leitenden Ingenieuren und dem Personal des Höchstspannungslaboratoriums von CESI, Mailand, wo die Versuche am Höchstspannungstrenner durchgeführt wurden, Dipl.-Ing. Schmitter und Hohenöcker vom Institut für

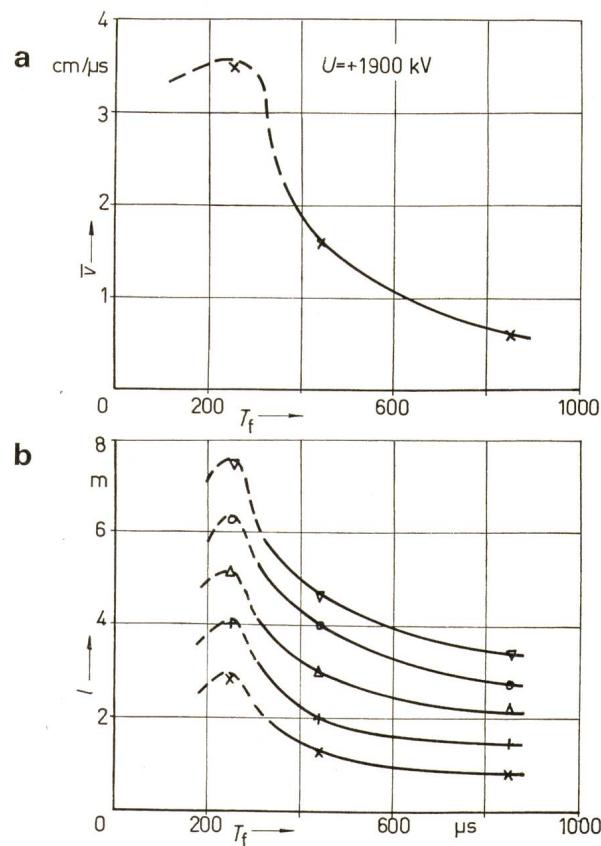


Fig. 16
Vorrachsgeschwindigkeit v der Entladung a und Länge des Leuchtkanals b in Abhängigkeit von der Frontdauer T_f des Spannungsstosses

a Vorrachsgeschwindigkeit der Entladung

b Länge des Leuchtkanals

In Abhängigkeit von der Frontdauer T_f des Spannungsstosses

Plasmaphysik Garching bei München für die Bereitstellung des Bildwandlers sowie ganz besonders seinem Mitarbeiter *G. Maier*.

Literatur

- [1] *W. Wanger und W. Huber*: Überschlagsspannung von Isolatoren und Funkenstrecken im Gebiet zwischen Stoß-Spannungsprüfung und betriebsfrequenter Spannungsprüfung. *Brown Boveri Mitt.* 27(1940)12, S. 231...243.
- [2] *E. M. Bazelyan, E. N. Brago and I. S. Stekolnikov*: The large reduction in mean breakdown gradients in long discharge gaps with an oblique-

sloping voltage wave. *Soviet Physics Doklady* 5(1961)4, p. 794...796. Translation from: *Doklady Akademii Nauk SSSR* 133(1960)–, p. 550...553)

- [3] *A. F. Rohlfs, H. E. Fliegel and J. G. Anderson*: The flashover of extra-high-voltage line and station insulation. *Trans. AIEE Power Apparatus and Systems* 80(1961)55, p. 463...471.
- [4] *G. Baller*: Vorentladungen bei Stoßspannungen verschiedener Stirnsteilheiten an einer Stabfunkentstrecke in Luft. *Dissertation Technische Hochschule Stuttgart*, 1968.

Adresse des Autors:

Dr.-Ing. habil. *B. Gänger*, AG Brown, Boveri & Cie., Abt. UTY, 5400 Baden.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des SC 15C, Spécification, Matériaux Isolants, vom 23. bis 26. November 1970 in Kopenhagen

Im Anschluss an die Sitzungen vom 18. bis 20. Mai 1970 in Washington wurden die Arbeiten des SC 15C unter dem Vorsitz von *W. H. Devenish* in Kopenhagen weitergeführt.

Über mehrere unter der 6-Monate-Regel zirkulierte Dokumente lagen die Abstimmungsergebnisse vor: Die Spezifikationen für Lackgewebe: *15C(Bureau Central)8*, Teil 1: Definitionen und Allgemeine Anforderungen; *15C(Bureau Central)9*, Teil 2: Prüfmethoden; *15C(Bureau Central)10*, Teil 3, Blatt 1: Spezifikation für Öllack-Baumwollgewebe werden nochmals unter dem 2-Monate-Verfahren zirkuliert. Die Prüfmethoden für Isolierklebebänder, Dokument *15C(Bureau Central)11*, wurden von 5 Ländern, darunter auch der Schweiz, abgelehnt und sollen deshalb nochmals als Sekretariatsdokument zur Stellungnahme unterbreitet werden. Dagegen werden die Prüfmethoden für lösungsmittelhaltige Isolierlacke, Dokument *15C(Bureau Central)13*, unter dem 2-Monate-Verfahren nochmals verteilt. Die in Washington gebildete Arbeitsgruppe zur Ausarbeitung von Materialspezifikationen für weitere Typen von Lackgeweben trat erst in Kopenhagen zusammen, wobei sich zeigte, dass für die Festlegung bestimmter Anforderungen noch Rücksprachen in einzelnen Nationalkomitees notwendig sind.

Bei der Behandlung der Prüfmethoden für Isolierpapier, Dokument *15C(Secretariat)30*, wurde wie bei früheren Entwürfen beschlossen, Vorschriften über die Probenahme wegzulassen. Den schweizerischen Vorschlägen betreffend Leitfähigkeit des wässrigen Auszuges, der Luftdurchlässigkeit, der Saughöhe und der Spannungsprüfung wurde weitgehend Rechnung getragen. Zum Abschnitt Wärmebeständigkeit soll eine Bemerkung aufgenommen werden mit dem Hinweis auf die von einem CIGRE-Studienkomitee empfohlene Erfassung der Alterung durch den viskosimetrisch ermittelten Polymerisationsgrad der Cellulose. Allgemein wurde entschieden, dass die von ISO-Empfehlungen übernommenen Methoden inhaltlich wiedergegeben und nicht bloss zitiert werden sollen. Der Entwurf soll der vielen Änderungen wegen nochmals als Sekretariatsdokument verteilt werden. Zu den Spezifikationen für Isolierklebebänder, deren Teil 2: Prüfmethoden, schon seit längerer Zeit zur Diskussion steht, liegt ein 1. Entwurf für Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Dokument *15C(Secretariat)29*, zur Stellungnahme vor. Als Klassifikationsmerkmal wurde wie bei den Lackgeweben die «maximum working temperature» durch einen Temperaturindex ersetzt. Zur Be-

zeichnung der Typen soll ein Kurzzeichen-Code aufgestellt werden. Der bereinigte Entwurf wurde bereits der Zirkulation unter der 6-Monate-Regel unterstellt. Als Entwurf für die Lieferspezifikationen für Isolierklebebänder (Teil 3) wurde ein englischer Vorschlag, *Dokument 15C(United Kingdom)29*, behandelt. Das Sekretariat wurde beauftragt, als erstes ein Blatt für Weich-PVC-Klebebänder nach einer festgelegten Liste von Eigenschaften aufzustellen. Dazu wird noch eine Prüfmethode für die Eignung bei tiefen Temperaturen benötigt.

Zu den Spezifikationen für lösungsmittelfreie, polymerisierbare Harzmischungen stand ein 2. Entwurf für die Prüfmethoden, *Dokument 15C(Secretariat)31*, zur Diskussion. Es wurde beschlossen, für die Beschichtungspulver, welche in Teil 1 mitberücksichtigt sind, ein separates Prüfmethodenblatt aufzustellen. Bei der Verschiedenartigkeit der zu erfassenden Produkte bereitet es, selbst nach Weglassen der Pulver, ziemliche Schwierigkeiten, zu einer zufriedenstellenden Sammlung von Prüfmethoden zu gelangen. Für die Charakterisierung der Härtung in dicken Schichten sollen noch weitere Methoden vorgeschlagen werden. Für starre Harze ist vorläufig die Formbeständigkeit in der Wärme, für weichelastische die Shore-Härte als Kriterium vorgesehen. Für die Bestimmung der Volumschwindung beim Härteten werden weitere Vorschläge erwartet. Unklarheit besteht ferner noch über die Herstellung von Prüfkörpern zur Untersuchung der Harze im gehärteten Zustand. Als weitere Prüfungen wurden noch gefordert: Thermische Beständigkeit, Glimmbeständigkeit, Zugfestigkeit, Schlagzähigkeit. Die neuen Vorschläge sollen in einem weiteren Sekretariatsdokument zur Diskussion gestellt werden.

Die Behandlung der Entwürfe zu Spezifikationen von Vulkanfiber, *Dok. 15C(USA)26, 27 und 29*, wurden zurückgestellt in der Absicht, vorerst die Spezifikationen für Isolierpapier und Pressspan, welche auch für Vulkanfiber weitgehend die Grundlage bieten, weiter zu fördern.

Für die Weiterführung der Arbeiten soll durch einen Fragebogen bei den Nationalkomitees die Dringlichkeit der Aufgaben neu abgeklärt werden, um zu vermeiden, dass zuviele Arbeiten parallel geführt werden. Die nächsten Sitzungen des SC 15C sind vorgesehen im Herbst 1971 in Wien, gemeinsam mit CE 15, SC 15A und 15B, und weiter im Sommer 1972 im Rahmen der Réunion Générale der CEI in Jugoslawien.

K. Michel