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: 67 (1976)

Heft: 22

Artikel: Verhalten von Verbindern und Trennfunkstrecken für Blitzschutzanlagen unter simulierten Blitzströmen

Autor: Wiesinger, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915238

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: 14.07.2025

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

Verhalten von Verbindern und Trennfunkenstrecken für Blitzschutzanlagen unter simulierten Blitzströmen

Von J. Wiesinger

621.316.93

Es wird ein Verfahren zur Prüfung von Verbindern und Trennfunkenstrecken für den Einsatz in Blitzschutzanlagen aufgezeigt. Aus der Prüfung grundsätzlicher geschraubter und genieteter Verbinder konnten zu verallgemeinernde Mindestanforderungen festgelegt werden. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass zylindrische Funkenstrecken mit Wolfram/Kupfer-Elektroden und Glimmerisolation als Trennfunkenstrecken sehr gut geeignet sind.

L'auteur décrit un procédé pour l'essai de serre-fils et d'éclateurs de sectionnement destinés à des installations de protection contre la foudre. D'après l'essai de serre-fils vissés ou rivés, on a pu constater que des exigences minimales peuvent être généralisées. De même on montre que des éclateurs cylindriques à électrodes de tungstène et cuivre, avec isolation en mica, conviennent très bien pour le sectionnement.

1. Einführung

Den Verbindungselementen, d. h. geschraubten, genieteten oder gepressten Verbindern sowie Trennfunkenstrecken, kommt heute in der Blitzschutztechnik für Gebäude und technische Anlagen durch die Forderung nach einem umfassenden Potentialausgleich zwischen allen metallischen Installationen eine besondere Bedeutung zu. Während die Querschnitte von Blitzableiterdrähten rechnerisch eindeutig so festgelegt werden können, dass sie den zu erwartenden Blitzströmen standhalten [1] [1]), lassen sich für die Verbindungselemente bisher keine blitzstromspezifischen Dimensionierungskriterien angeben. Da aber auch für diese Teile einer Blitzschutzanlage eine Aussage über das Stromführungsvermögen erwünscht ist, sich die durch elektrodynamische Kräfte, Erwärmungen und Lichtbogeneinwirkungen bedingten Beanspruchungen jedoch einer durchschaubaren rechnerischen Betrachtung entziehen, wurde für die Verbindungselemente ein Prüfverfahren auf der Basis laborsimulierter Blitzströme entwickelt [2; 3].

Für die Beanspruchung von Verbindungselementen sind folgende Blitzstromparameter als massgebend anzusehen:

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

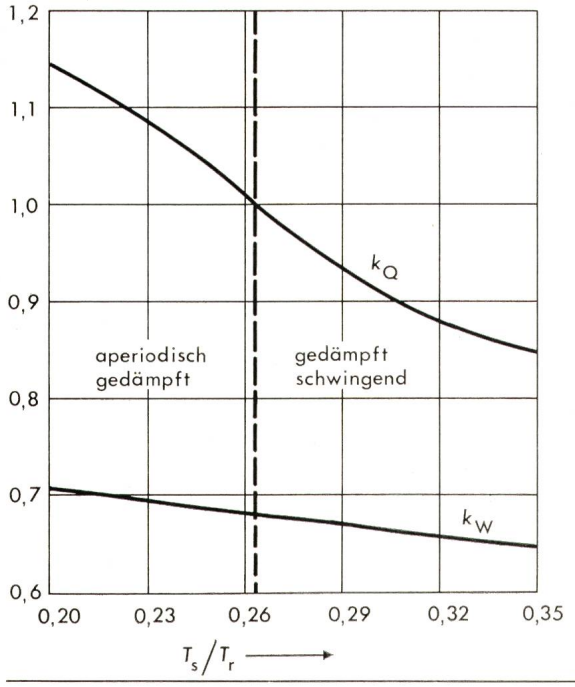

Fig. 1 Kennwerte zur Bestimmung der Stromimpuls- und Stromquadratimpulswerte von Stoßströmen

k_Q Stromimpuls–Konstante
k_W Stromquadratimpuls–Konstante
T_s Stirnzeit
T_r Rückenhalbwertzeit

1. Der Stromimpuls $\int i \cdot dt$. Er ist verantwortlich für den Energieumsatz und damit die Erhitzungs- und Schmelzwirkungen an Lichtbogenfusspunkten und somit von dominanter Bedeutung für die Elektrodenkorrosion in Trennfunkenstrekken. Er ist aber auch massgebend für die Schmelzungen infolge partieller Überschläge an schlechten Kontaktstellen von Verbindern.

2. Der Stromquadratimpuls $\int i^2 \cdot dt$. Er ist massgebend für den Energieumsatz in ohmschen Widerständen und für die elektromechanischen Kraftimpulswirkungen.

Fang- und Ableitungen müssen so dimensioniert werden, dass sie auch bei den stärksten zu erwartenden Blitzen nicht schmelzen oder gar verdampfen, da sie sonst über die gesamte Länge Spreng- und Brandgefahren hervorrufen. Diese Forderung gilt als sicher gewährleistet, wenn Kupferquerschnitte von mindestens 16 mm², Aluminiumquerschnitte von mindestens 25 mm² und Eisenquerschnitte von mindestens 50 mm² verwendet werden. Dagegen erscheint es nicht notwendig, die Verbindungselemente generell für extreme Blitzströme zu dimensionieren, da bei Überbeanspruchungen nur örtlich begrenzte Beschädigungen auftreten und da sie innerhalb der Gebäude zum Potentialausgleich in aller Regel an Stellen eingesetzt werden, an denen sie nur noch von Bruchteilen des gesamten Blitzstromes durchflossen werden. Weiterhin ist zu bedenken, dass eine Auslegung der Verbindungselemente für die stärksten Blitzströme zu sehr aufwendigen Konstruktionen führen würde, die bei der Vielzahl der in einer Blitzschutzanlage eingesetzten Verbinder und in zunehmenden Masse auch Trennfunkenstrecken eine sehr wesentliche Verteuerung gegenüber den bisherigen Anlagen bedingen würden. Vielmehr erscheint es ausreichend, die Verbindungselemente – allerdings unter Berücksichtigung der Alterung – so zu bemessen, dass sie zumindest die durchschnittlichen Blitzströme mehrmals ohne jede Beschädigung und Einbusse an Funktionstüchtigkeit führen können. Unter dieser Voraussetzung ist die Einrichtung von Hochstromprüfanlagen für die Verbindungslemente in einer Reihe von Stoßstromlaboratorien möglich, die zur Prüfung und Entwicklung von Überspannungsableitern bereits zur Verfügung stehen. Dagegen können extreme Blitzprüfströme, wie sie für Blitzstromuntersuchungen an Flugzeugen erzeugt werden, wegen des enormen Aufwands nur in einmaligen Anlagen realisiert werden [4].

Ein Prüfverfahren mit simulierten Blitzströmen erlaubt auch – angewendet auf grundsätzliche Verbindungen zum Zusammenschluss von Drähten und Blechen – fundierte Aussagen über die Anforderungen, die an geschraubte oder genietete, vor Ort von den Errichtern der Blitzschutzanlagen hergestellte Verbindungen gestellt werden müssen.

2. Festlegen des Prüfstromes

Prinzipiell besteht ein Blitzstrom aus einer Stoßstromkomponente (mit einem oder mehreren Teilstoßströmen von einigen 10 kA Scheitelwert und einigen 10 µs Rückenhalbwertzeit) sowie vielfach aus einer Langstromkomponente (mit einem annähernd konstanten Strom von einigen 100 A und einer Dauer von einigen 10 ms) [5]. Wegen der grossen Streuung der Blitzstromparameter und der z. T. unterschiedlichen Messergebnisse auf den verschiedenen Meßstationen [5; 6] ist es sinnvoll, für einen Prüfstrom gerundete Nennwerte festzulegen. Wie in [2] dargelegt ist und durch die neuesten Messergebnisse in [6] bestätigt wird, wird bei einem durchschnittlichen Blitz ein Stromimpuls von 10 As und ein Stromquadratimpuls von 10^5 A^2s sicherlich nicht überschritten, wobei der Stromquadratimpuls praktisch nur durch die Stoßstromkomponente des Blitzes bestimmt wird.

Auf der diesjährigen 13. Internationalen Blitzschutzkonferenz wurde ein von einer Kommission des Ausschusses für Blitzableiterbau e. V. festgelegter Prüfstrom, der sich aus einer Stoßstrom- und einer sich unmittelbar anschliessenden Langstromkomponente zusammensetzt, zur Diskussion gestellt. Dieser Prüfstrom weist folgende Parameter auf:

Stoßstromkomponente: $\int i^2 \cdot dt = 10^5 + 0{,}7 \cdot 10^5\ A^2s$,

$\int i \cdot dt = 2{,}5 + 1\ As$.

Langstromkomponente: $\int i \cdot dt = 7{,}5 + 3\ As$.

Die zulässigen positiven Abweichungen ergeben sich hierbei aus Toleranzen von jeweils ca. + 20% für die Strom- und Zeitwerte.

Der Stoßstrom soll dem aperiodischen Grenzfall entsprechen mit bestimmten zulässigen Abweichungen in den aperiodisch gedämpften bzw. stark gedämpft schwingenden Bereich hinein. Deshalb werden unter der Voraussetzung, dass die Stoßströme aus einem kapazitiven Speicher über *L-R*-Elemente auf die zu untersuchenden Verbindungselemente geschaltet werden, Stirnzeit-Rückenhalbwertzeitverhältnisse T_s/T_r von 0,20 bis 0,35 gefordert (im aperiodischen Grenzfall ist $T_s/T_r = 0{,}263$). Allerdings wird bei den stark gedämpft schwingenden Stoßströmen nur die erste Halbwelle für die Bestimmung der Stromparameter berücksichtigt. Werden die beiden geforderten Stoßstromparameter $\int i^2 \cdot dt$ und $\int i \cdot dt$ gleichzeitig erfüllt, ist gewährleistet, dass der Scheitelwert des Stoßstromes immer über dem Wert durchschnittlicher Blitzströme von 30 kA liegt.

Wird der Stoßstrom mit Hilfe eines *C-L-R*-Kreises mit linearen Elementen erzeugt, können die Stoßstromparameter in einfacher Weise unter Heranziehung des Diagrammes in Fig. 1 ermittelt werden: Wenn aus einem Stromoszillogramm T_s, T_r und der Scheitelwert $\hat{I}$ gemäss den Anweisungen in VDE 0675/5.72 entnommen werden und das Verhältnis T_s/T_r gebildet wird, ergeben sich die Konstanten k_Q und k_W; der Stromimpuls errechnet sich zu $k_Q \cdot \hat{I} \cdot T_r$, der Stromquadratimpuls zu $k_W \cdot \hat{I}^2 \cdot T_r$.

Der Langstrom wird durch einen netzfrequenten sinusförmigen Halbwellenstrom, z. B. aus einem Niederspannungs-Ableitertransformator, realisiert. Die Halbwellendauer T_h soll 10 – 2 ms betragen. Werden aus einem Stromoszillogramm T_h und $\hat{I}$ entnommen, errechnet sich der Stromimpuls zu $\frac{2}{\pi} \cdot \hat{I} \cdot T_h$.

3. Aufbau eines Prüfstromgenerators

Den Aufbau eines am Hochspannungslaboratorium der Technischen Universität München erstellten Generators, mit dem der definierte Prüfstrom erzeugt werden kann, zeigt Fig. 2 [2]. Die Prinzipschaltung ist in Fig. 3 angegeben. Der

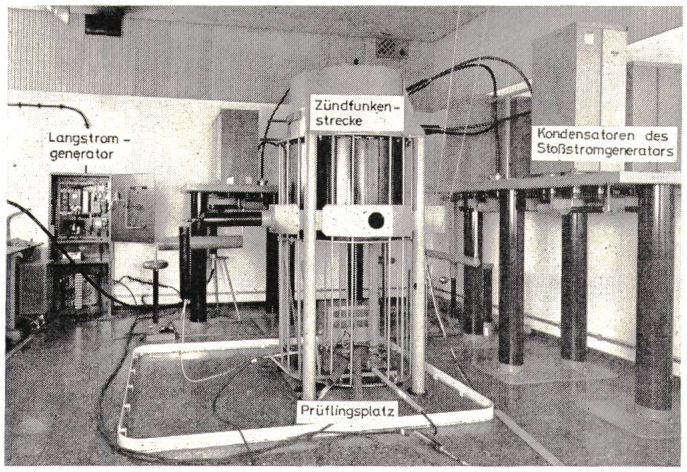

Fig. 2 Prüfstromgenerator

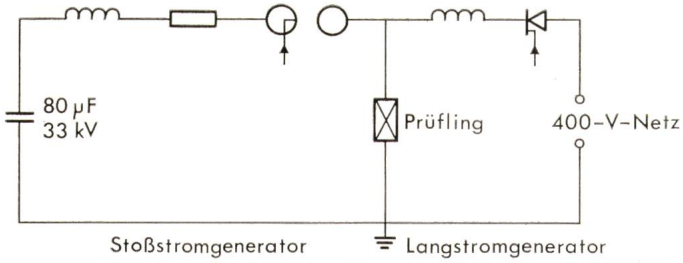

Fig. 3 Prinzipschaltung des Prüfstromgenerators

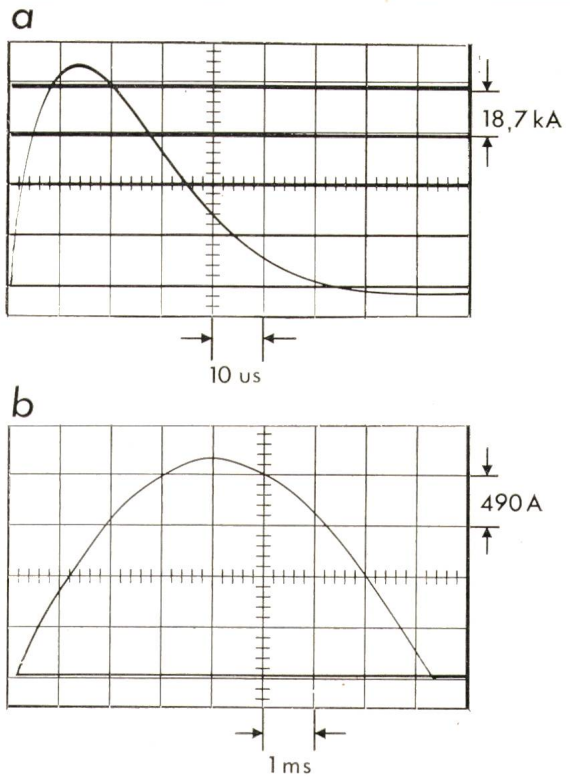

Fig. 4 Komponenten des Prüfstromes
a Stoßstrom, b Langstrom

Dämpfungswiderstand im Stoßstromkreis beträgt einige $^1/_{10}\ \Omega$, die Induktivität einige µH. Die Induktivität des Langstromkreises hat einen Wert um 1 mH.

In Fig. 4 sind die beiden Komponenten des erhaltenen Prüfstromes aufgezeichnet. Aus dem Oszillogramm des Stoßstromes folgt $\hat{I} = 83$ kA, $T_s = 10$ µs, $T_r = 35$ µs. Mit $T_s/T_r = 0{,}286$ ergeben sich aus Fig. 1 $k_Q = 0{,}935$ und $k_W = 0{,}670$. Damit ist $\int i \cdot dt = 2{,}7$ As und $\int i^2 \cdot dt = 1{,}6 \cdot 10^5\ A^2s$. Aus dem Oszillogramm des Langstromes entnimmt man: $\hat{I} = 2{,}06$ kA und $T_h = 8{,}0$ ms. Damit ist $\int i \cdot dt = 10{,}4$ As.

4. Prüfverfahren

In einer Kommission des Ausschusses für Blitzableiterbau e.V. wurden auf Grund eingehender experimenteller Untersuchungen des Verfassers für Verbinder und Trennfunkenstrecken detaillierte Prüfverfahren erarbeitet, die in den Fig. 5 und 6 dargestellt sind.

Da der Prüfstrom in seinen Parametern nur einem durchschnittlichen Blitzstrom entspricht, kann er auch nur als «Nennstrom» für die Verbindungselemente angesehen werden. Unter diesem Aspekt werden in Anlehnung an die VDE-Vorschrift 0675/5.72 zwanzig Prüfstrom-Beanspruchungen gewählt, eine Anzahl, die bei der Prüfung mit dem «Nennableitstrom» für Überspannungsleiter festgelegt ist.

Von den Verbindern wird erwartet, dass durch die simulierten Blitzströme keine für die Funktion bedeutsamen Teile abgesprengt werden, dass der Übergangswiderstand ausreichend niedrig ist und dass sich bei geschraubten Verbindern die Schrauben einerseits nicht zu stark gelockert haben und anderseits noch lösbar sind. Der Witterungseinfluss auf die Funktionstüchtigkeit wird durch eine künstliche Alterung erfasst. Hierbei hat sich eine Zehn-Zyklen-Beanspruchung in einem Schwitzwasser-Wechselklima mit schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre nach einem DIN-Verfahren [7] sehr gut bewährt.

Von den Trennfunkenstrecken wird erwartet, dass ihre Stossansprechspannung während und nach den Blitzstrombeanspruchungen innerhalb eines bestimmten Bereiches verbleibt und dass bei einer anliegenden Wechselspannung von 280 V ein ausreichendes Isolationsvermögen gewährleistet ist.

In bestimmten Einsatzbereichen von Verbindern und Trennfunkenstrecken ist eine absolute Zündfunkenfreiheit während eines Blitzstromdurchflusses gefordert, z. B. bei Potentialausgleichsverbindungen innerhalb von Gebäuden mit explosiver Atmosphäre. Zum Nachweis der Zündfreiheit werden diese Verbindungselemente während der Beanspruchung durch die Prüfströme vorzugsweise mit einem hochexplosiven Wasserstoff/Luft-Gemisch (21 ± 3 Vol.-% H_2) umgeben; zur Entzündung dieses Gemisches ist schon eine Funkenenergie von einigen 10 µJ ausreichend. Fig. 7 zeigt ein Gefäss mit einem Aussendurchmesser von 10 cm zur Prüfung von Verbindern in explosiver Atmosphäre; bei einer möglichen Explosion wird eine gasdicht über die ovalen Öffnungen geklebte Folie aufgerissen.

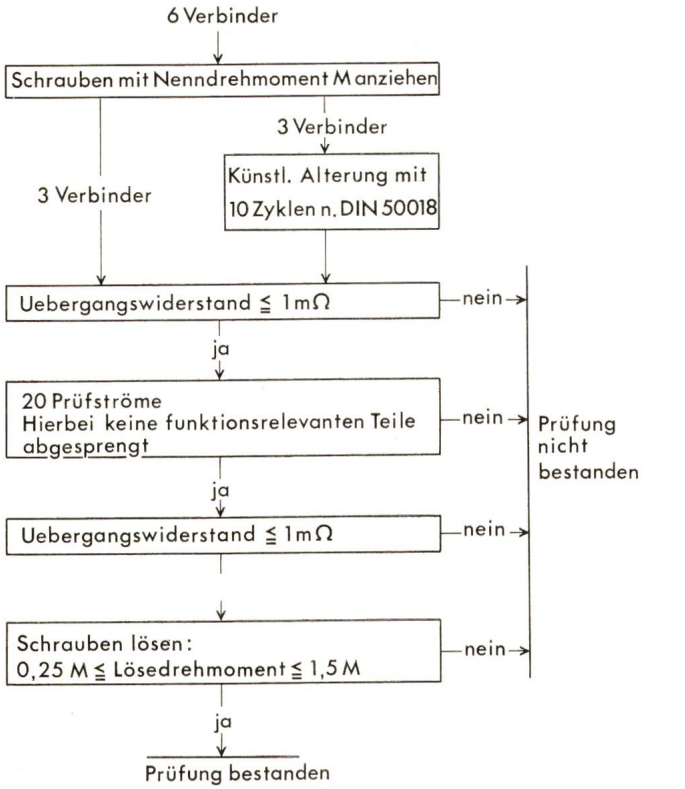

Fig. 5 Prüfverfahren für Verbinder

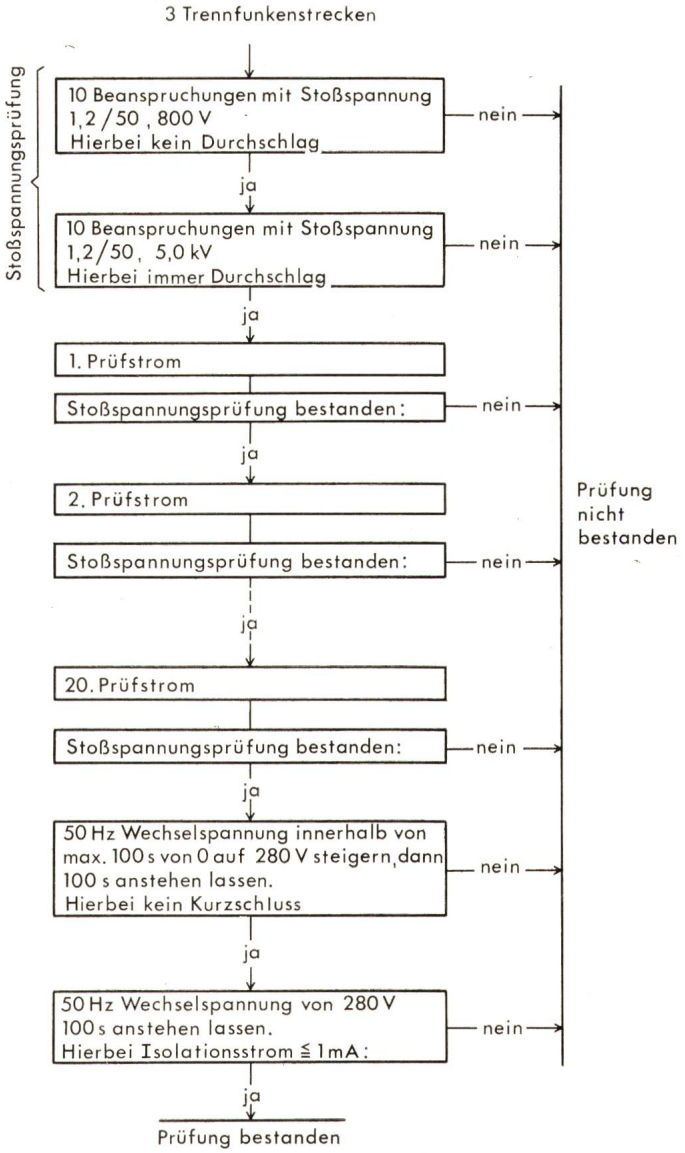

Fig. 6 Prüfverfahren für Trennfunkenstrecken

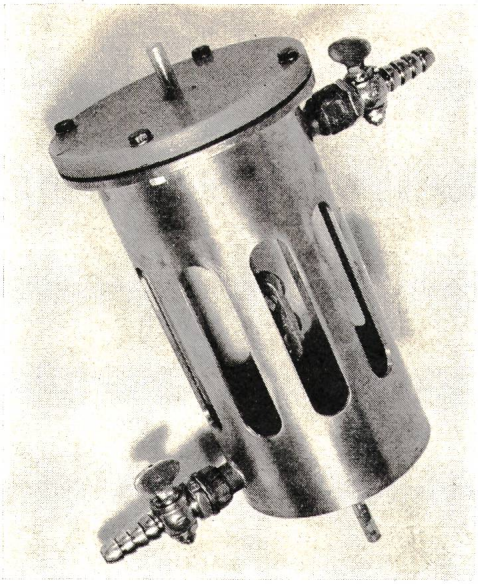

Fig. 7
Gefäss zur Prüfung von Verbindern in explosibler Atmosphäre

Kombinationen von Verbindern nach Fig. 8, die die Prüfung bestanden haben

Tabelle I

	Feuerverzinkter Stahl	Kupfer	Aluminium
Blechschrauben 6,3 mm	Typ 2	Typ 2	Typ 2
Schrauben mit Muttern	Typ 2/M6 Typ 1/M8	Typ 1/M6	Typ 1/M6
Hohlnieten 4,3 mm	Typ 1	Typ 2	Typ 1

Kombinationen von Verbindern nach Fig. 9, die die Prüfung bestanden haben

Tabelle II

	Feuerverzinkter Stahl	Kupfer
Schrauben mit Muttern	Typ 2/M6	Typ 1/M6

5. Untersuchungen an grundsätzlichen Verbindungen

Nach einer eingehenden Erprobung des Prüfverfahrens gemäss Fig. 5 an Verbindern nach DIN 48837, 48843 und 48845 – mit in aller Regel positivem Prüfergebnis – wurden zunächst zwei Typen grundsätzlicher geschraubter und genieteter Verbindungen gemäss Fig. 8 zum Zusammenschluss von Kupfer-, Aluminium- und feuerverzinkten Stahlflachbändern dem Prüfverfahren unterzogen. Schrauben M6 wurden generell mit einem Drehmoment von 4 Nm, Schrauben M8 mit 10 Nm angezogen. In Tabelle I ist angegeben, welche Verbindungstypen die Prüfung noch bestanden haben; damit sind auch die Mindestanforderungen für diese Art von Verbindungen fixiert.

Zum Anschluss von Drähten an Bleche oder auch zum Zusammenschluss von zwei Drahtstücken können geschraubte Verbindungen gemäss Fig. 9 dienen. Untersucht wurden Verbindungen aus Kupfer (Drahtdruckmesser 4,5 mm) und verzinktem Stahl (8 mm); die Verbindungstypen, die die Prüfung noch bestanden haben, sind in Tabelle II zusammengestellt. Um einen Eindruck von den Prüfstromwirkungen zu vermitteln, ist in Fig. 10 eine künstlich gealterte, nach der Prüfung demontierte Doppelklemme aus feuerverzinktem Stahl gezeigt. Bei dieser Verbindung haben sich die M6-Schrauben gelockert, die Prüfung wurde nicht bestanden.

6. Untersuchungen an zylindrischen Trennfunkenstrecken

Wie orientierende Untersuchungen an einer Reihe heute in Blitzschutzanlagen eingesetzter Trennfunkenstreckentypen gezeigt haben, wurde die in Fig. 6 fixierte Prüfung in der Regel nicht bestanden. Deshalb wurden einige prinzipielle Funkenstreckenkonfigurationen der Prüfung unterworfen; hierbei hat sich eine zylindrische Funkenstrecke gemäss Fig. 11 mit einem ausreichend abbrandfesten Elektrodenmaterial und Glimmerisolation als den Prüfbedingungen gewachsen erwiesen. Bei diesem Trennfunkenstreckentyp kann der durch einen Aussen-

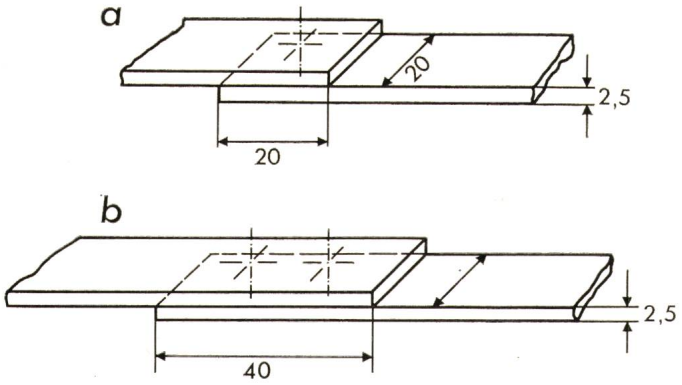

Fig. 8 Grundsätzliche Verbindungen zum Zusammenschluss von Flachbändern
a Typ 1, b Typ 2

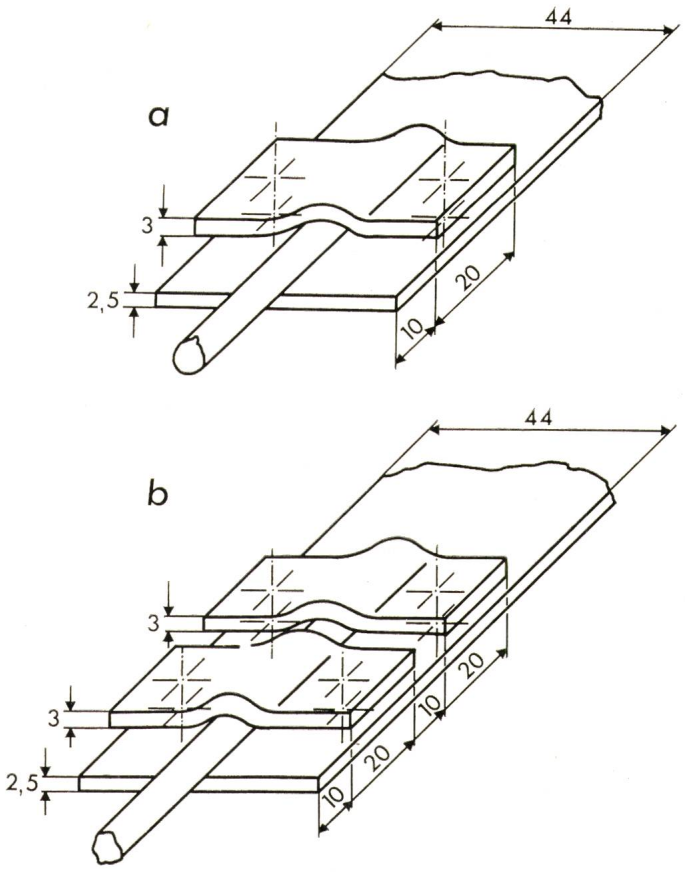

Fig. 9 Grundsätzliche Verbindungen zum Anschluss von Drähten an Bleche
a Typ 1, b Typ 2

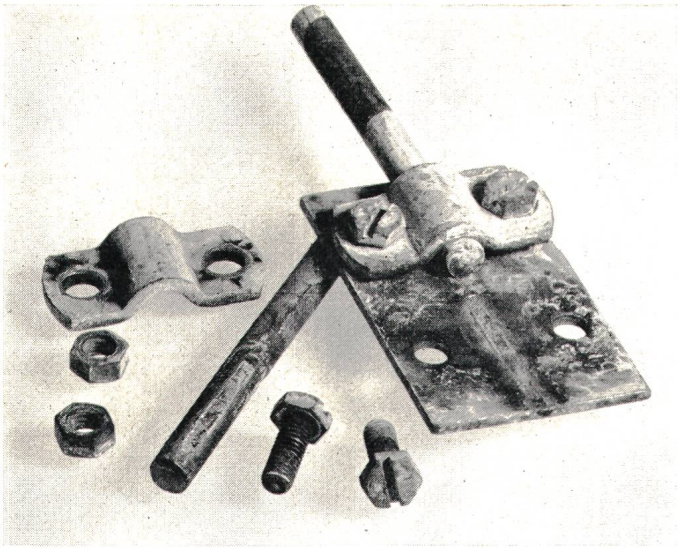

Fig. 10 Künstlich gealterte Stahlverbindung des Typs 1 der Fig. 9 nach der Prüfstrombeanspruchung

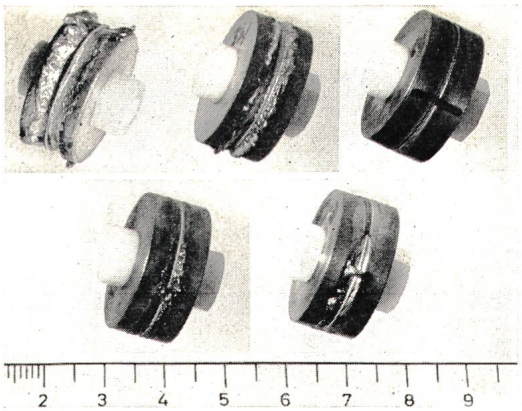

Fig. 12 Zylindrische Trennfunkenstrecken

links oben: Aluminium
Mitte oben: Messing
rechts oben: Wolfram/Kupfer 80/20
links unten: Remanid
rechts unten: Kupfer
Maßstab: cm

überschlag gezündete Lichtbogen frei brennen und das Plasma ungehindert expandieren; damit werden die Lichtbogenkräfte und die Elektrodenkorrosion beherrschbar. Da bei jedem Prüfstrom das Elektrodenmaterial an der Überschlagstelle etwas abbrennt und verrundet, wandert der Ansprechpunkt bei einer erneuten Beanspruchung zu einer noch nicht überschlagenen Stelle; damit wird ein gleichmässiger Abbrand über den Umfang der Funkenstrecke erreicht.

Aus Fig. 12 ist der Einfluss des Elektrodenmaterials auf die Elektrodenkorrosion bei der Prüfung gemäss Fig. 6 zu ersehen. Die Funkenstrecken mit Aluminiumelektroden bestanden zwar die Prüfung, zeigten aber erwartungsgemäss eine sehr starke Korrosion. Die Stossansprechspannung lag während der Prüfstromserie zwischen 1,3 und 3,1 kV. Auch die Messing-Funkenstrecken zeigten sich – mit einer gegenüber den Aluminiumelektroden deutlich verminderten Korrosion – der Prüfung gewachsen, wobei die Stossansprechspannung zwischen 1,3 und 2,6 kV variierte. Als optimales Elektrodenmaterial erwies sich Wolfram/Kupfer 80/20: Bei sehr geringer Korrosion und sehr gleichmässigem Elektrodenabbrand lag hier die Stossansprechspannung ebenfalls zwischen 1,3 und 2,6 kV. Bei den

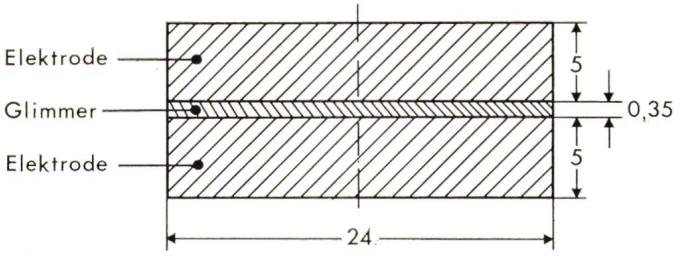

Fig. 11 Zylindrische Trennfunkenstrecke

Remanid- und Kupfer-Funkenstrecken musste die Prüfung vorzeitig abgebrochen werden, da sich im Verlauf der Prüfung metallische Brücken bildeten. Es hat sich gezeigt, dass für die Elektrodenverschweissungen die Langstromkomponente des Prüfstromes verantwortlich ist. Als Zeichen für die Praxisnähe des Prüfverfahrens kann sicherlich die Tatsache angesehen werden, dass bei einer Reihe von Trennfunkenstrecken mit Remanidelektroden, die zum Potentialausgleich in Pipelinesystemen eingesetzt wurden, ebenfalls Verschweissungen auftraten [2].

Die Forschungsarbeiten wurden von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft gefördert.

Literatur

[1] *H. Steinbigler:* Stromdichteverteilung in Blitzableitern aus ferromagnetischem Material. Referat der 13. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Venedig, 1976.

[2] *J. Wiesinger:* Blitzstromprüfverfahren für Bauteile der Gebäudeblitzschutztechnik. STZ 73(1976)11/12, S. 313...317.

[3] *J. Wiesinger:* Hochstrom-Prüfverfahren für Verbindungselemente in Blitzschutzanlagen. Referat der 13. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Venedig, 1976.

[4] *H. Prinz:* Culham-Konferenz über Blitz- und Statikelektrizität. STZ 72(1975)50/51, S. 1193...1199.

[5] *K. Berger:* Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963...1971. Bull. SEV 63(1972)24, S. 1403...1422. Oszillographische Messungen des Feldverlaufs in der Nähe des Blitzeinschlags auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 64(1973)3, S. 120...136. Sonderdruck. Zürich, SEV, 1973.

[6] *E. Garbagnati* u. a.: Bemerkungen über die Charakteristiken der Blitzschläge in Italien. Ergebnisse der Jahre 1970...1975. Referat der 13. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Venedig, 1976.

[7] Werkstoff-, Bauelemente- und Geräteprüfung: Beanspruchung im Schwitzwasser-Wechselklima mit schwefeldioxydhaltiger Atmosphäre (Gerät nach Kesternich). DIN-Blatt 50018/12.63.

Adresse des Autors

Prof. Dr.-Ing. *Johannes Wiesinger,* Hochschule der Bundeswehr München, Fachbereich Elektrotechnik, D-8014 Neubiberg.