

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: 24

Artikel: Der Einfluss von Plasmastrahlen und gasabgebenden Kammerwandmaterial auf die Lichtbogenverlängerung im Niederspannungs-Schaltgerät

Autor: Sudhölter, H.-W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915245>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

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

Der Einfluss von Plasmastrahlen und gasabgebendem Kammerwandmaterial auf die Lichtbogenverlängerung im Niederspannungs-Schaltgerät

Von H.-W. Sudhölter

621.3.064.4 : 621.316.54.027.2

Mit wachsender Stromhöhe wird es bei einem Niederspannungs-Schaltgerät zunehmend schwieriger, den Ausschaltlichtbogen rasch und vollständig so weit zu verlängern, dass die Löscheinrichtung wirksam werden kann. Der Lichtbogen nimmt die Konfiguration eines in Wanderungsrichtung ausgedehnten Bogenbandes an, innerhalb dessen Plasmastrahlen auftreten, die eine Verlängerung des Bogens behindern. Durch eine geeignete Formgebung der seitlichen Leitbleche und durch den Einsatz von gasabgebendem Kammerwandmaterial ist auch bei sehr grossen Strömen eine zügige Lichtbogenverlängerung möglich.

Lorsque l'intensité du courant augmente dans un disjoncteur basse tension, il devient de plus en plus difficile d'allonger l'arc de coupure rapidement et complètement, de façon que le dispositif de soufflage puisse agir efficacement. L'arc prend la configuration d'une bande arquée s'étendant dans le sens de déplacement, à l'intérieur de laquelle le rayonnement du plasma entrave l'allongement de l'arc. Par une forme appropriée des tôles de guidage latérales et par l'emploi d'une matière dégageant des gaz pour les parois de la chambre, on peut cependant obtenir un allongement aisé de l'arc, même dans le cas de courants de très forte intensité.

1. Einleitung

In einem Niederspannungs-Schaltgerät wird der beim Ausschaltvorgang zwischen den Kontaktstücken entstehende Lichtbogen durch eigenmagnetische Blasung auf Abbrandhörner und Leitbleche abgelenkt, um dann in ein Löschesystem einzuwandern. Die für eine erfolgreiche Löschung erforderliche Länge der Lichtbogensäule wird nur zu einem geringen Anteil durch die Öffnungsbewegung der Schaltglieder erzeugt; entscheidend ist die mit der Ablenkung des Lichtbogens zwischen den divergierenden Elektroden verknüpfte Verlängerung.

Die hier beschriebenen Untersuchungen, die im Rahmen einer grösseren Arbeit [1] ¹⁾ durchgeführt wurden, liefern einen Beitrag zu dem Vorgang des sich während seiner Wanderung verlängernden Lichtbogens. Der Strombereich erstreckt sich dabei bis $I = 90$ kA.

Es wird gezeigt, dass die Extrapolation von Erkenntnissen über die Verlängerung eines Lichtbogens bei kleineren Stromstärken nicht zulässig ist, da sich sowohl seine Konfiguration als auch sein Verhalten mit wachsender Stromhöhe stark verändern. Um auch bei sehr grossen Strömen wieder eine zügige Lichtbogenverlängerung zu erreichen, sind Massnahmen erforderlich, die diesen Veränderungen Rechnung tragen.

2. Versuchsanordnung

Der Versuchsschalter ist in Fig. 1 skizziert. In seinen Abmessungen und in der Formgebung des Kontaktsystems gleicht er entsprechenden Leistungsschaltern für Ausschaltströme bis 100 kA.

Der im Versuchsbetrieb erforderlichen hohen Schaltzahl unter reproduzierbaren Bedingungen dienen leicht auswechselbare Abbrandhörner und spezielle Kontaktstücke, die als Rundstäbe in Bohrungen geführt sind und nach jeder Schaltung zum Ausgleich des Abbrandes vorgeschoben werden. Die Kontakttrennung erfolgt mittels Rollenschloss und Pressluftantrieb zu einem bezüglich der Netzphasenlage frei wählbaren Zeitpunkt – bei den hier dargestellten Versuchen etwa 2,5 ms nach dem Beginn einer Stromhalbschwingung.

Der Lichtbogenraum ist seitlich durch Leitbleche und Asbest- bzw. Glaswände begrenzt. Oben ist die Kammer offen; ein dort sonst angeordnetes Löschblechpaket ist bei diesen Versuchen fortgelassen, da nur die Lichtbogenverlängerung, nicht die anschliessende Aufteilung betrachtet wird.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Das eine Leitblech ist im oberen Abschnitt aufgetrennt und durch ein Umlenkstück, das von einer Rogowskispule umschlungen ist, wieder verbunden. Deren integriertes Signal misst den oberhalb der Trennstelle befindlichen Lichtbogenstromanteil (i_L) und ermöglicht so eine Kontrolle darüber, wann der Lichtbogen die Enden der Leitbleche erreicht hat. Die Leitbleche sind – wie bei kommerziellen Schaltern üblich – nicht galvanisch mit den Abbrandhörnern verbunden. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine galvanische Verbindung das im folgenden beschriebene Lichtbogenverhalten nur unwesentlich ändert.

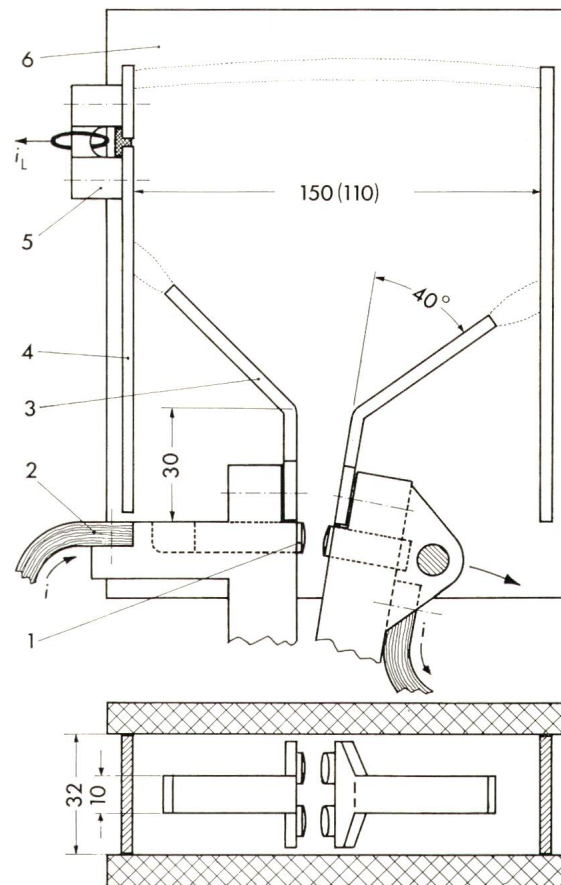


Fig. 1 Versuchsschalter (Masse in mm)

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| 1 Kontaktstück | 4 Leitblech |
| 2 Stromzuführung | 5 Umlenkstück mit Rogowskispule |
| 3 Abbrandhorn | 6 Kammerwand |
- i Gesamtstrom
 i_L Lichtbogenstrom am Ende der Leitbleche

3. Ergebnisse

Bevor der Lichtbogen mit seinen Fusspunkten die Kontaktstücke vollständig verlässt und auf die Abbrandhörner kommutiert ist, vergeht eine bestimmte, als Verharrungsdauer bezeichnete Zeit [2; 3], die u. a. vom Kontaktstückwerkstoff und der Trenngeschwindigkeit abhängig ist. In den Oszillogrammen der Fig. 2 und 4 entspricht sie dem Zeitraum bis etwa 2 ms nach der Kontaktstücktrennung und ist durch einen stetigen Anstieg der Lichtbogenspannung gekennzeichnet.

Im weiteren soll die Aufmerksamkeit auf das Lichtbogenverhalten nach dem Ende der Verharrungsdauer gelenkt werden.

3.1 Einfluss der Stromhöhe

Bei Strömen von $\hat{I} = 10...20$ kA gelangt der Lichtbogen nach der Verharrungsdauer innerhalb einer weiteren ms bis auf die Enden der Leitbleche. Zwei Reihen-Lichtbögen zwischen den Abbrandhörnern und den Leitblechen halten den Stromtransport zum Haupt-Lichtbogen aufrecht. In Fig. 1 ist diese Konfiguration der erfolgreich abgeschlossenen Licht-

bogenverlängerung angedeutet, und i_L ist mit dem Gesamtstrom i identisch.

Auch bei $\hat{I} = 40$ kA (Fig. 2a) ist nach einer Rückzündung noch eine schnelle Zunahme von i_L festzustellen, die mit dem Anstieg der Lichtbogenspannung u einhergeht. Vom Momentanwert $i = 30$ kA an gilt $i_L = i$; mithin ist damit die Verlagerung unter gleichzeitiger Verlängerung abgeschlossen.

Wird der Strom über $\hat{I} = 40$ kA erhöht, so tritt eine gravierende Änderung im Lichtbogenverhalten auf: der Lichtbogen verliert die Fähigkeit zu rascher und vollständiger Verlängerung. Fig. 2b gibt für $\hat{I} = 67$ kA und gegenüber Fig. 2a unveränderter Versuchsanordnung diesen Sachverhalt wieder:

Zum einen bleibt die Lichtbogenspannung gegenüber derjenigen in Fig. 2a relativ klein. Das ist bei der für grosse Ströme zutreffenden Voraussetzung einer positiv ansteigenden Lichtbogenkennlinie bereits ein indirekter Hinweis auf eine nur geringe Verlängerung der Lichtbogensäule. Ausserdem beweist der Verlauf von i_L , dass nur ein ganz geringer Lichtbogenstromanteil bis auf die Leitblechenden gelangt, und dass selbst im Zeitpunkt des Stromnulldurchgangs kein vollständig verlängerter Lichtbogen vorliegt.

3.2 Lichtbogenkonfiguration

Das Phänomen, dass der Schaltlichtbogen oberhalb einer bestimmten Stromhöhe nur noch schwer durch eigenmagnetische Blasung zu verlängern ist, deckt sich mit den Ergebnissen in [1] von starren V-Elektrodenanordnungen. Dort wie auch hier zeigen Stromverteilungsmessungen mit weiteren Rogowskispulen und Schnellkameraaufnahmen, dass sich zwar die Lichtbogenstirn weiterhin zügig verlängert, dass jedoch der Lichtbogenrücken im Bereich der Aufweitungsstelle der Abbrandhörner verharrt und erst mit zunehmender Öffnung des Kontaktsystems langsam nachfolgt. Der Lichtbogen ist zu einem in Wanderungsrichtung weit ausgedehnten Band geworden, das vom unteren Abschnitt der Abbrandhörner bis zu den Leitblechenden reicht.

Es brennen also Lichtbogenabschnitte bei gleicher Spannung parallel, deren Säulenlängen – und reziprok dazu deren Längsfeldstärken – um eine Grössenordnung unterschiedlich sind. Die physikalische Erklärung für die Existenzmöglichkeit eines solchen Bogenbandes geht einerseits von der Wechselwirkung zwischen Eigenmagnetfeld und Ladungsträgern des Plasmas aus, und andererseits vom Plasmtransport im Lichtbogenband, der vom Rücken zur Stirn hin erfolgt und die Energiebilanz der Lichtbogenabschnitte beeinflusst [1].

Während unter 3.5 gezeigt wird, wie der Lichtbogenrücken auch bei grossen Strömen zu einer raschen Verlagerung veranlasst werden kann, soll zunächst auf Plasmastrahlen eingegangen werden, die wesentlich an der Behinderung der Verlängerung beteiligt sind.

3.3 Plasmastrahlen

Von relativ zum Durchmesser einer Lichtbogensäule kontrahierten Fusspunktgebieten gehen Plasmastrahlen aus, welche das Resultat einer unvollständigen Kompensation des Überdrucks in der Säule durch die eigenmagnetische Kompression sind [4]. Diese bekannte Erscheinung tritt auch hier an zwei Stellen innerhalb des Lichtbogenraums auf: zum einen bei den Reihen-Lichtbögen mit einer Strömung von den Spitzen der Abbrandhörner in Richtung auf die Leit-

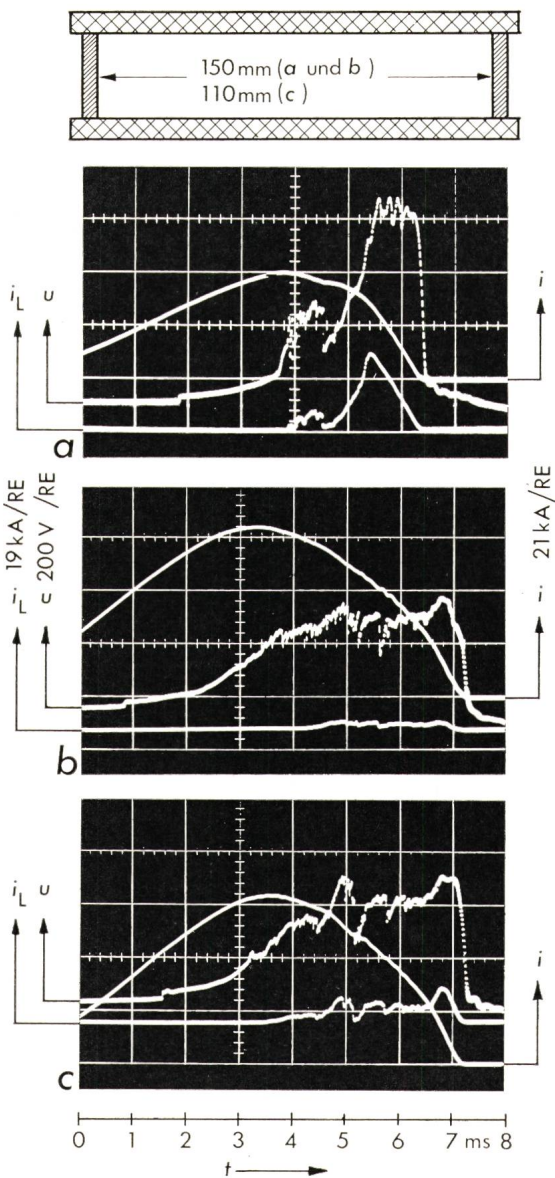


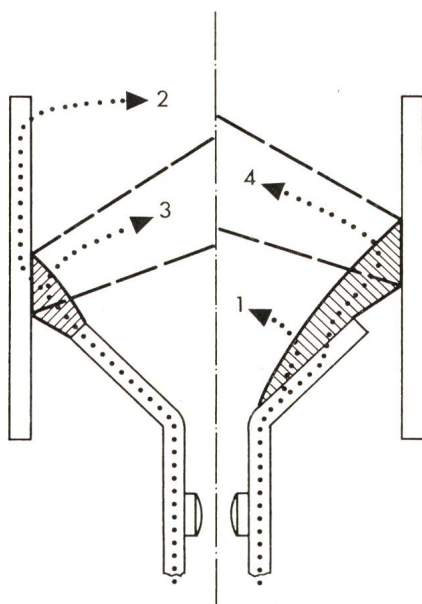
Fig. 2 Lichtbogenverlagerung bei planen Leitblechen (Kammerwandmaterial: Asbest)

bleche, und zum anderen von den Fusspunktgebieten des bei grossen Strömen verharrenden Lichtbogenrückens, die tangential zu den Abbrandhörnern gerichtet sind. In der schematischen Darstellung in Fig. 3 sind diese Plasmastrahlen schraffiert eingetragen.

Ohne die Beeinflussung durch die Plasmastrahlen würde der Stromtransport im Lichtbogenband nur entsprechend den in Fig. 3 eingetragenen Pfaden 1 (Bereich der Abbrandhörner) und 2 (Bereich der Leitbleche) erfolgen. Dadurch, dass die Plasmastrahlen an den Leitblechen reflektiert werden (gestrichelte Linien), bilden sich durch das reflektierte Plasma im Lichtbogenraum unmittelbar oberhalb der Abbrandhörner Bereiche hoher Leitfähigkeit aus. Das hat zur Folge, dass ein Teil des Lichtbogenstroms auch über die Pfade 3 und 4 fliesst.

Daraus resultiert wiederum, dass die Trennung des Haupt-Lichtbogens von den Reihen-Lichtbögen behindert wird. Und auch wenn sich der Lichtbogenrücken (Pfad 3) bis

Fig. 3
Strompfade im Lichtbogenplasma (Erläuterungen siehe Text)



zu den Hörnerenden hochgeschoben hat, kommt es bei kräftig ausgebildeten Plasmastrahlen nicht oder nur zögernd zum gewünschten alleinigen Stromfluss über den Pfad 2. Solange jedoch noch Strom über den Pfad 3 (bzw. 4) fliesst, bleibt das Löschesystem unwirksam, das einen vollständig über den Pfad 2 fließenden Strom voraussetzt.

3.4 Beeinflussung der Plasmaströmung

Durch eine Verringerung des Abstandes der Abbrandhörner von den Leitblechen, also durch verkürzte Reihen-Lichtbögen kann das aufgezeigte Problem nicht grundsätzlich gelöst werden, da die Plasmastrahlen weiterhin in den Lichtbogenraum reflektiert werden. In Fig. 2c ist dazu ein Versuch mit einer gegenüber Fig. 2b um 40 mm reduzierten Kammerweite dargestellt. Der auf die Leitblechenden verlagerte Lichtbogenstromanteil bleibt bei grossen Strommomentanwerten vergleichbar gering. Allerdings ist als Verbesserung zu erkennen, dass sich kurz vor dem Ende der Stromhalbschwingung der ganze Lichtbogen zwischen die Leitblechenden verlagert.

Nachdem die Reflexion der Plasmastrahlen als Behinderung der Lichtbogenverlängerung erkannt ist, kann versucht werden, diese Ursache auszuschliessen.

Die Elektroden-Skizze in Fig. 4 zeigt eine Möglichkeit: Durch U-förmig ausgebildete Leitbleche, in deren Hohlung die Enden der Abbrandhörner hineinragen, ist die von den Seiten-Lichtbögen zu überbrückende Distanz während der ganzen Ausschaltung gering, und das reflektierte Plasma – zusätzlich durch die seitlichen Metalloberflächen gekühlt – kann im wesentlichen innerhalb der kaminartigen U-Leitbleche abströmen. Fig. 4a bestätigt diese Überlegungen. Der Lichtbogenstromanteil i_L hat sich bei gegenüber Fig. 2b und 2c unveränderten Versuchsbedingungen durch Einsatz der U-Leitbleche erheblich vergrössert, und die vollständige Verlagerung auf deren Enden geschieht zu einem relativ frühen Zeitpunkt. Auch aus dem höhere Werte erreichenden Verlauf der Lichtbogenspannung wird der Einfluss ersichtlich.

Angemerkt sei, dass durch freie Ausblasquerschnitte in den U-Leitblechen in Höhe der Abbrandhörnerenden eine weitere Verbesserung erreicht wird, doch sind derartige, seitlich offene Kammern für die Praxis nicht relevant.

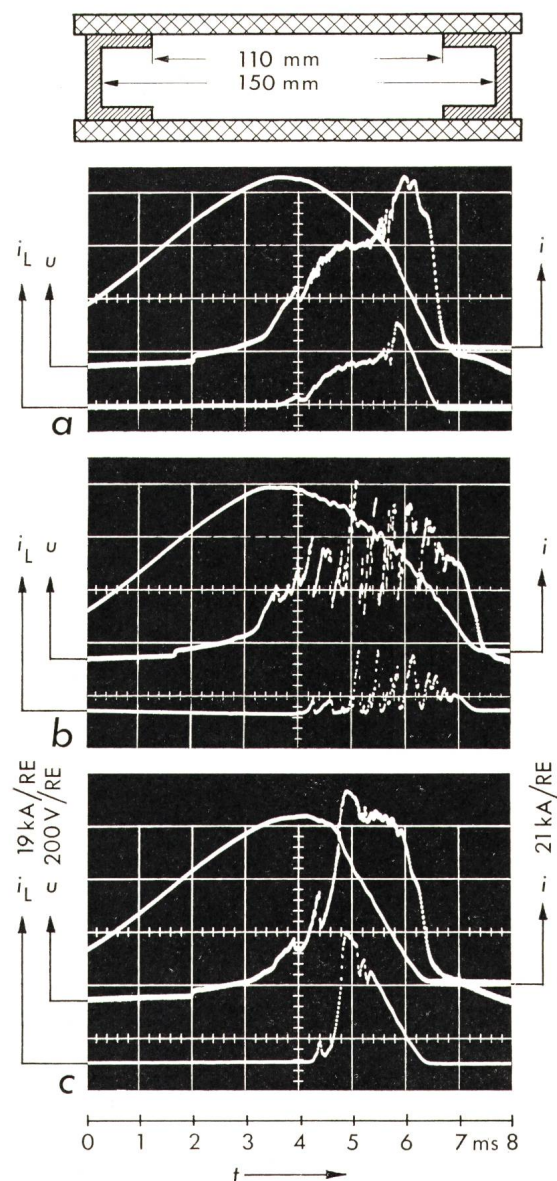


Fig. 4 Lichtbogenverlagerung bei U-förmigen Leitblechen

Kammerwandmaterial:

- a) Asbest
- b) Plexiglas
- c) Plexiglas nur bis Aufweitungsstelle der Abbrandhörner

3.5 Gasendes Kammerwandmaterial

Trotz der durch die U-Leitbleche geschaffenen besseren Voraussetzung für eine Trennung des Haupt-Lichtbogens von den Reihen-Lichtbögen bleibt das eingangs nachgewiesene Problem des Verharrens des Lichtbogenrückens im unteren Bereich der Abbrandhörner bestehen.

In [1] sind bei V-Elektroden zwei Möglichkeiten für eine Beschleunigung der Verlagerung des Lichtbogenrückens gefunden worden. Die eine Möglichkeit basiert auf der Formgebung der Abbrandhörner. Sie erfordert jedoch mindestens eine Verdoppelung der Bauhöhe gegenüber den hier eingesetzten, um voll wirksam zu werden. Dagegen ergibt die andere ohne konstruktive Änderungen nur durch Variation des Kammerwandmaterials eine beachtliche Verbesserung.

Kammerwände aus organischem Isolierstoff geben unter Lichtbogeneinwirkung gasförmige Zersetzungsprodukte frei. Diese haben u. a. durch Druckerhöhung, Verringerung der effektiven Kammerweite und erhöhten Energieentzug Rückwirkungen auf den Lichtbogen. In Fig. 4b ist ein entsprechender Versuch mit Kammerwänden, die vollständig aus Plexiglas bestehen, wiedergegeben. Sowohl der Spannungsverlauf als auch der von i_L weisen auf einen Lichtbogen hin, der zwar zu rascher Verlagerung fähig ist, jedoch keine bevorzugte Bewegungsrichtung zu den Leitblechenden hin hat. Das liegt an der bandförmig ausgedehnten Struktur des Lichtbogens, der im Bereich der Stirn und des Rückens in gleicher Weise durch das Plexiglas beeinflusst wird. Dadurch wird es jeweils zufällig, ob die Stirn nach unten oder der Rücken nach oben hin ausweicht.

Wird dagegen nur der untere Kammerraum bis zur Höhe der Aufweitungsstelle der Abbrandhörner mit Plexiglas ausgekleidet und die anderen Wandteile in Asbest belassen, so

resultiert daraus das äusserst zufriedenstellende, in Fig. 4c dargestellte Ergebnis. Der nunmehr nur im Bereich seines Rückens gezielt beeinflusste Lichtbogen wandert rasch und vollständig auf die Leitblechenden.

Der Vergleich der Oszillogramme 2b und 4d macht den erzielten Fortschritt bezüglich der Lichtbogenverlängerung im Bereich sehr grosser Ströme deutlich. Betont sei, dass nur die Kombination der beiden hier beschriebenen Massnahmen – Leitbleche U-förmig und gasabgebende Wände im unteren Kammerbereich – zu einer sowohl schnellen als auch rückzündungsarmen Lichtbogenverlängerung führt.

Der Abtrag des gasabgebenden Kammerwandmaterials (Plexiglas) während der Kurzschluss-Ausschaltungen erweist sich im Verhältnis zum Verschleiss der Kontaktstücke und der Abbrandhörner als vernachlässigbar gering. Die Wahl des organischen Isolierstoffes ist für den dargestellten Effekt unkritisch und kann entsprechend den weiteren mechanischen und elektrischen Anforderungen an die Kammer erfolgen.

Literatur

- [1] H.-W. Sudhölter: Über den zwischen divergierenden Elektroden wandernden Lichtbogen bei Strömen bis 90 000 A. Dissertation der Technischen Universität Braunschweig, 1975.
- [2] A. Erk und M. Schmelzle: Grundlagen der Schaltgerätektechnik. Kontaktglieder und Löscheinrichtungen elektrischer Schaltgeräte der Energietechnik. Berlin/Heidelberg, Springer Verlag, 1974.
- [3] H.-W. Sudhölter: Lichtbogenwanderung bei einer Erweiterungsstelle der Elektroden für Ströme bis 90 kA. ETZ-B 27(1975)9, S. 221...223.
- [4] H. Maecker: Plasmaströmungen in Lichtbögen infolge eigenmagnetischer Kompression. Zeitschrift für Physik 141(1955)1/2, S. 198...216.

Adresse des Autors

Dr.-Ing. Heinz-Wilhelm Sudhölter, ehem. wiss. Assistent am Institut für elektrische Energieanlagen der TU Braunschweig, Pockelstrasse 4, D-33 Braunschweig.