

## Gleitentladungen in Spalten

Von W. CLAUSNITZER

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt  
(Z. Naturforsch. 18 a, 1146–1147 [1963]; eingeg. am 14. September 1963)

Gleitentladungen an Isolierstoffoberflächen sind seit ihrer Entdeckung durch LICHENBERG im Jahre 1777 in einer großen Zahl von Veröffentlichungen immer wieder behandelt worden, nicht nur, weil es sich dabei um ein physikalisch interessantes Entladungsphänomen handelt, sondern auch wegen eines spezifisch technischen Interesses. Einerseits ist ihr Auftreten bei Hochspannungskonstruktionen unerwünscht und muß verhindert werden; andererseits bedient man sich ihrer auch als Mittel zum Nachweis etwaiger Überspannungen stoßartigen Verlaufs in Hochspannungsanlagen. Ihre Gesetzmäßigkeiten sind, soweit es die Ausbildung in einer oberflächennahen Schicht eines isotropen gasförmigen oder flüssigen Mediums größeren Volumens über der Isolierstoffoberfläche angeht, durch TOEPLER und andere weitgehend erforscht. — Gleitentladungen zwischen zwei Isolierstoffoberflächen, wenn also der Entladungsraum nach zwei Seiten begrenzt ist, sind dagegen noch nicht näher untersucht worden, obschon auch die Frage nach dem Gleitentladungsverhalten in Spalten in physikalischer und technischer Hinsicht bedeutsam ist. Von anderen Effekten abgesehen, erwartet man eine behinderte Gleitentladung, wenn die Spaltweite enger ist als der im freien Raum erreichte Durchmesser einer Entladungsbahn (Elektronenlawine, Funkenkanal), ähnlich der beim Durchschlag durch Poren und Kanäle in heterogenen festen Isolierstoffen wie Papier festgestellten Behinderung des Entladungsaufbaus. Möglicherweise bedingt aber umgekehrt ein enger Spalt aus anderen Gründen, z. B. infolge in ihm erhöhter Feldstärke, Aufladungserscheinungen an den beiderseitigen Grenzflächen, Photo- und Sekundärelektronenemission aus diesen, eine überwiegende Begünstigung der Gleitentladung. Praktische Konsequenzen für die Elektrotechnik hat das Gleitentladungsverhalten in Spalten, über das sich wegen der Verknüpfung verschiedener, im einzelnen nicht übersehbarer Faktoren keine Voraussage machen läßt, vor allem wegen der vielseitigen Verwendung von Isoliermaterialien mit Schichtstruktur, z. B. Hartpapier, und von geschichteten Isolierungen, z. B. sogenannten Weichpapier- und Kabelisolierungen. Es genügt der Hinweis auf das im inhomogenen Feld bei verschiedenartiger Spannungsbeanspruchung beobachtete Durchschlagsverhalten, das durch Ausbildung eines partiellen Durchschlagskanals senkrecht zur Schichtung und durch dessen schichtparallele Fortsetzung nach Art LICHENBERGScher Figuren gekennzeichnet ist; ein Verhalten, das auf Grund der Vorstellung verständlich ist, daß der leitfähige Durchschlagskanal, das nicht durchschlagene Dielektrikum und die Gegenelektrode eine Gleitanordnung mit dem Durchschlagskanal als Gleitpol bilden.

Eine für die notwendige experimentelle Klärung geeignete Versuchsanordnung zeigt im Prinzip Abb. 1. Sie unterscheidet sich von einer gewöhnlichen Gleitanordnung durch eine zusätzliche Abdeckung der einen

Hälfte des Gleitisolators auf der Seite der kleinen kreisförmigen Gleitpolelektrode. Die Dicke des Spaltes zwischen Gleit- und Abdeckisolator (beide aus Glas) sowie deren Plattendicke wurden variiert. Gleit- und Abdeckisolator waren meistens Photoplaten mit einander zugekehrten Photoschichten, gegebenenfalls bei größeren Isolatorstärken zusammengelegt mit anderen Glasplatten praktisch gleicher Dielektrizitätskonstanten. Zweck dieser zunächst nur in Luft verwendeten Versuchsanordnung war, im Falle von Stoßspannung zwischen den Elektroden zum Vergleich die an der freien und an der abgedeckten Hälfte des Gleitisolators entstehenden Gleitentladungen gleichzeitig photographisch zu registrieren, außerdem auf der abgedeckten Seite ihre Spuren unterseitig der Abdeckung. Die verwendeten Stoßspannungen, positiv oder negativ bezüglich Gleitpolelektrode, hatten die Form  $1/50 \mu s$  und  $1/\infty \mu s$ , d. h. letzterenfalls einen in praktisch unendlich langer Zeit wieder abklingenden Spannungsverlauf. Auch abgeschnittene Stoßspannungen wurden benutzt. Von größtem Interesse waren Spannungen solcher Höhe, daß die Gleitentladungen die typische Form sogenannter Gleitstielbüschel hatten.

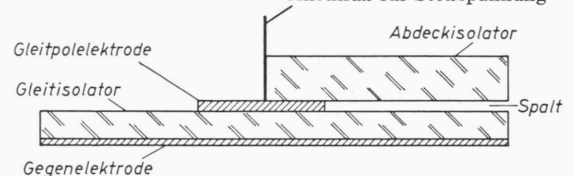


Abb. 1. Gleitanordnung zur Hälfte normal ohne und zur Hälfte mit Abdeckung des Gleitisolators durch eine Isolierplatte zur Herstellung eines eingegengten, spaltförmigen Entladungsraumes (schematisch).

Im Spannungsbereich der Gleitstielbüschel hatten nämlich die Versuche bei einer Spaltdicke von 0,05 mm und größer und bei einer Dicke der Abdeckung von 1,3 mm (gleich einer Photoplatte) bis zu 50 mm das völlig unerwartete Ergebnis, daß die Reichweite der positiven Entladungen im Spalt kleiner als an einer freien Isolatoroberfläche (etwa 20%), dagegen die der negativen Entladungen beträchtlich größer (ungefähr 2,5-fach) war. Während bei einer gewöhnlichen Gleitanordnung ohne Abdeckung des Gleitisolators an Luft sich eine erheblich größere Reichweite der positiven Gleitentladungen als die der negativen ergibt, kehrte sich das Reichweitenverhältnis bei Entladungen im Spalt um. Hervorzuheben ist, daß dieser Effekt nicht nur bei den kleinsten Spaltdicken auftrat, sondern auch bei Spaltdicken in der Größenordnung von Millimetern, wenn auch mit geänderten Reichweiten der positiven und negativen Gleitstielbüschel, noch festzustellen war.

Die Abnahme der Reichweite der positiven Gleitstielbüschel kann deshalb nicht auf Grund einer etwaigen Behinderung des Entladungsaufbaus in einem engen Spalt verstanden werden. Außerdem wäre in diesem Falle auch nicht verständlich, warum nicht eine ähnliche, eventuell sogar noch größere Abnahme der Reichweite der negativen Gleitstielbüschel hätte stattfinden sollen, zumal die Entwicklungsrichtung der Elektronenlawinen bei negativem Gleitpol von diesem weg in ein



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

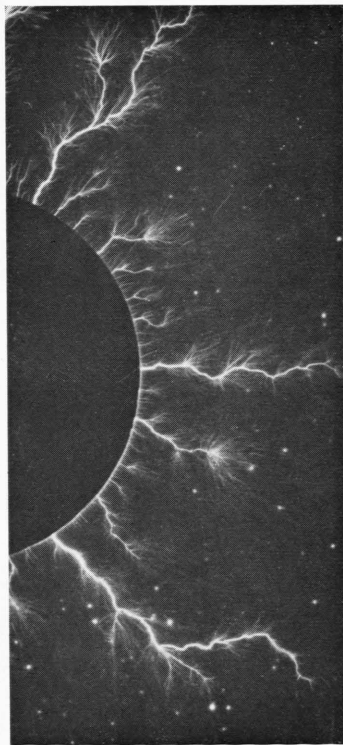
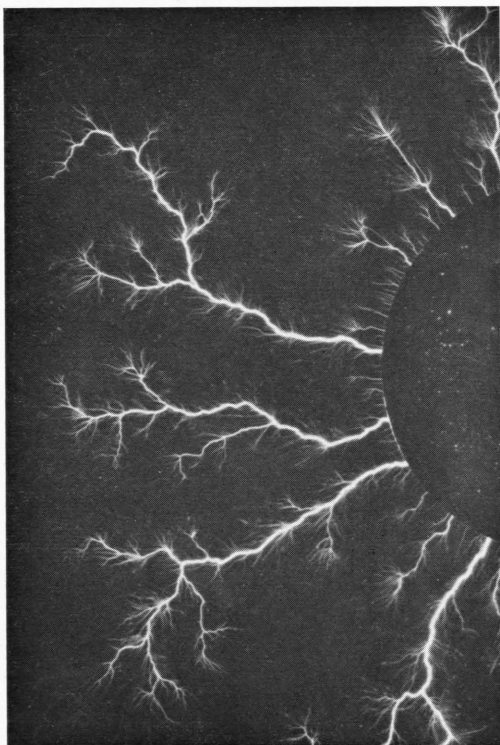
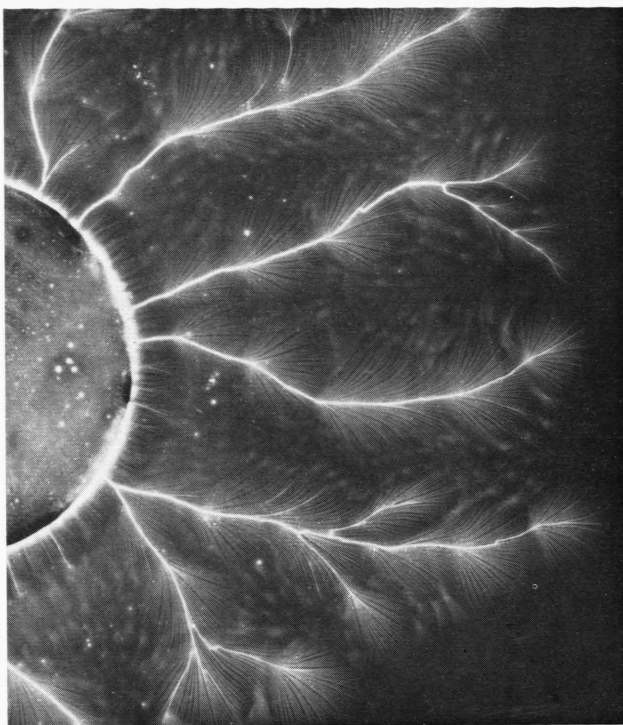
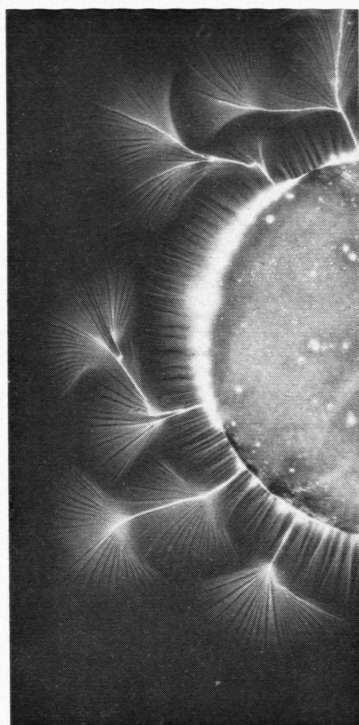


Abb. 2. Gleitfiguren positiver Gleitstielbüschel mit Stoßspannung  $1/\infty \mu s$ ; oben: normal an Luft; unten: bei abgedecktem Gleitisolator in einem Luftspalt von 0,1 mm.

Abb. 3. Gleitfiguren negativer Gleitstielbüschel, sonst wie Abb. 2.



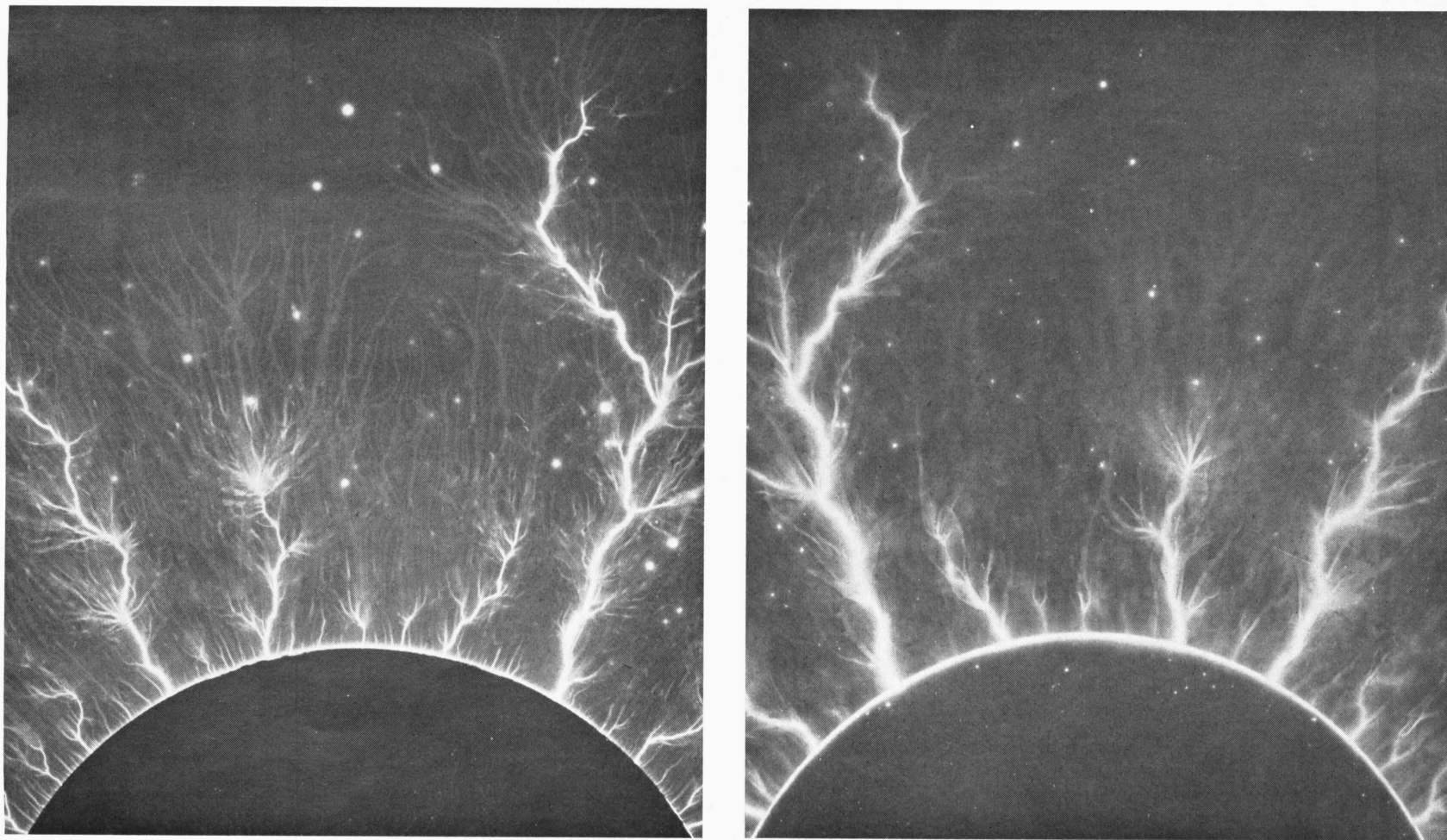


Abb. 4. Gleitfiguren positiver Gleitstielbüschel in einem Luftspalt von 0,1 mm mit Stoßspannung  $1/\infty \mu\text{s}$ ; links: an der Oberfläche des Gleitisolators; rechts: an der diesem zugewendeten Seite des Abdeckisolators. Ungefähr 2,4-fach vergrößert.

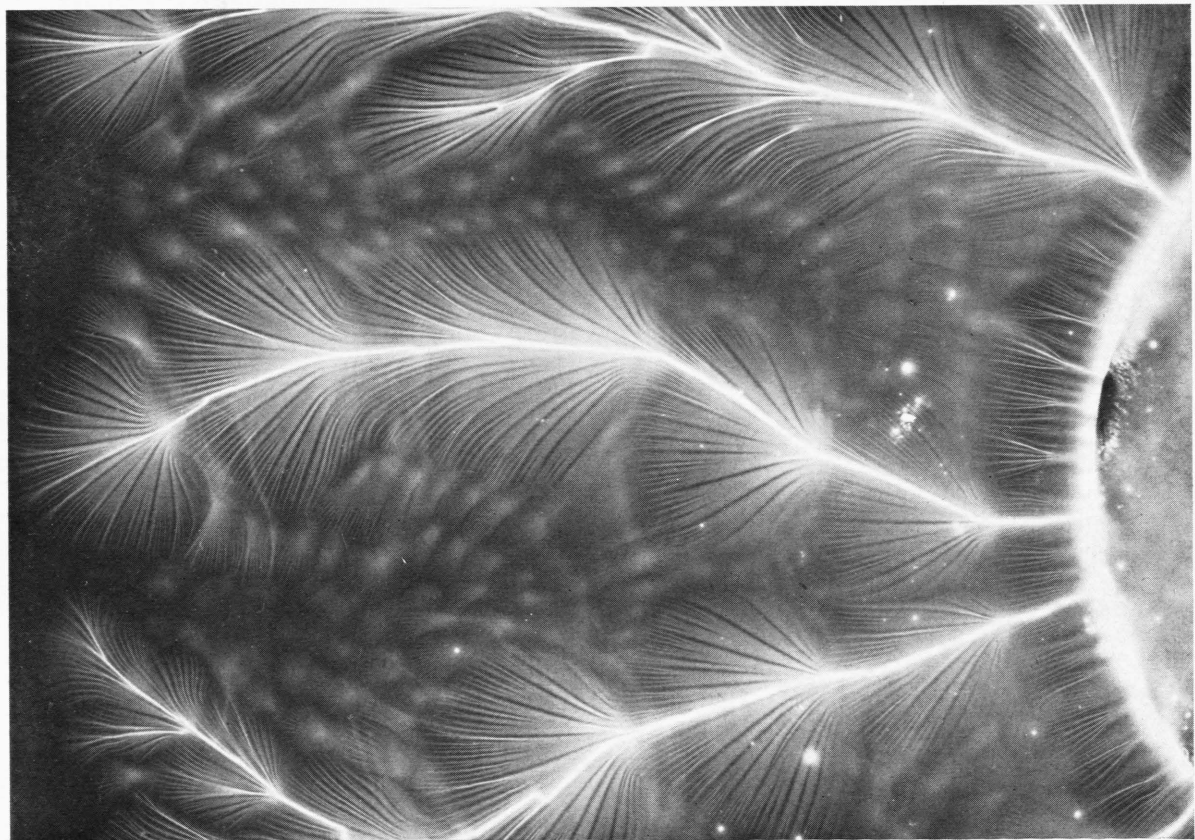
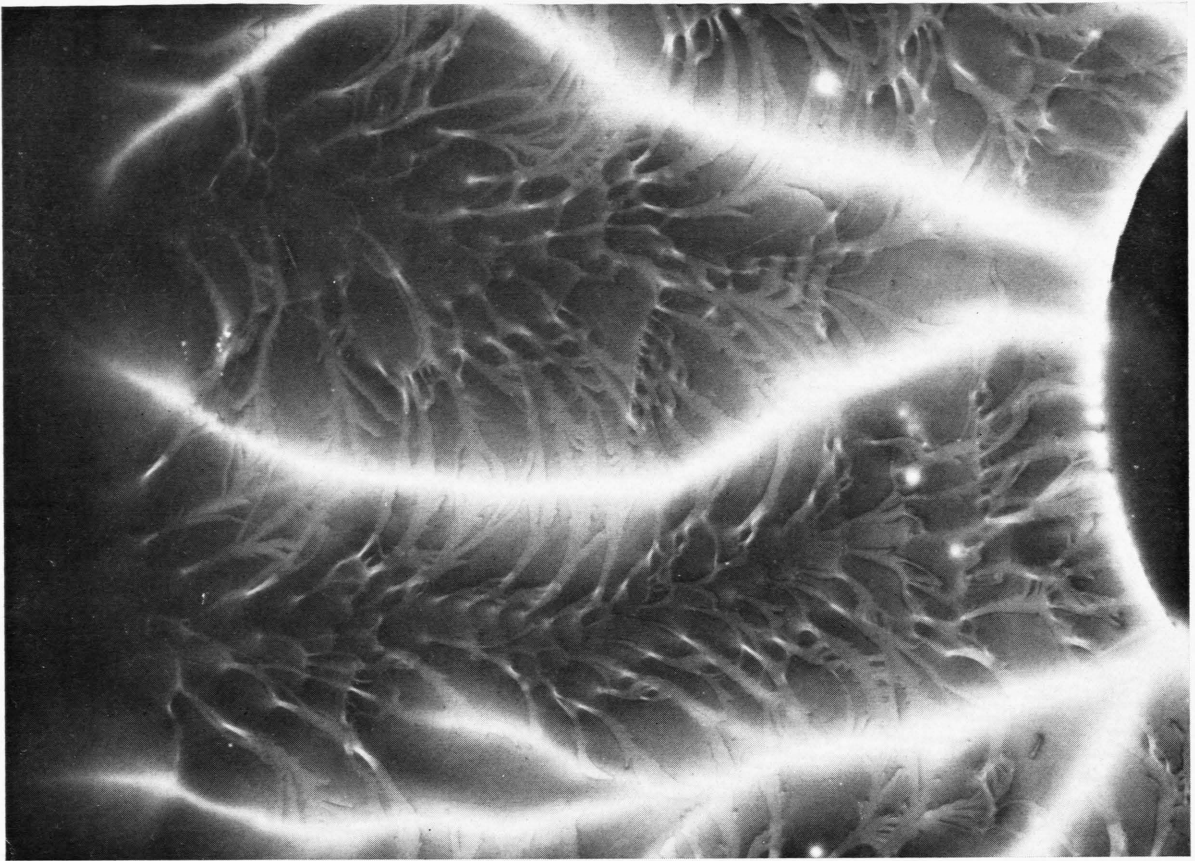


Abb. 5. Gleitfiguren negativer Gleitstielbüschel, sonst wie Abb. 4.



radial abfallendes Feld eine Querschnittsvergrößerung der Lawinen begünstigt, umgekehrt die Entwicklung der Elektronenlawinen bei positivem Gleitpol auf diesen zu in ein ansteigendes Feld einen stärkeren Zusammenhalt bedingt. Macht man die im Spalt erhöhte Feldstärke für die große Zunahme der Reichweite der negativen Gleitstielbüschel verantwortlich, so ist wiederum nicht einzusehen, warum dann trotz genauso verstärktem elektrischen Feld (entsprechend umgekehrtem Verhältnis der Dielektrizitätskonstanten von Luft und Glas) nicht auch die Reichweite der positiven Gleitstielbüschel zugenommen haben sollte. Es müssen also noch andere Einflußfaktoren mitspielen, die je nach Polarität mehr oder weniger stark in verschiedenem Sinne wirksam sind.

Vermutet wird, daß Aufladungserscheinungen an den Grenzflächen des Spaltes, insbesondere der oberen Spaltwand, eine wesentliche Rolle hinsichtlich der veränderten Ausdehnung der Gleitentladungen spielen. Diese Vermutung wird gestützt durch das Aussehen der photographisch aufgenommenen Gleitfiguren an der freien und an der abgedeckten Oberfläche des Gleitisolators und zu beiden Seiten des Spaltes. In Abb. 2 und 3\* sind Gleitfiguren-Aufnahmen auf der als Gleitisolator dienenden Photoplatte mit positiver und negativer Stoßspannung  $1/\infty \mu\text{s}$  von nahezu gleichem Scheitelpunkt von +21,5 bzw. -23,5 kV wiedergegeben, oben jeweils ohne, unten mit Abdeckung durch eine zweite Photoplatte bei einem Spalt von 0,1 mm. Diese Aufnahmenbeispiele in Originalgröße zeigen nicht nur die schon behandelten Reichweitenunterschiede, sondern lassen auch auffällige Veränderungen in der Figurenausbildung durch Abdecken des Gleitisolators vor allem bei negativer Polarität erkennen. In diesem Falle erscheinen in den Zwischenräumen zwischen den Hauptästen, die sich in deutlichen Ruckstufen gebildet haben, zahlreiche kleine „elektrodenlose“ Gleitbüschelchen. Besonders diese scheinen für eine stark begünstigte Ausbildung negativer Gleitstielbüschel in Spalten nicht zu großer Dicke wichtig zu sein. Fraglich ist nur, ob sie Ursache oder Folge einer aus anderen Gründen begünstigten Ausbildung sind.

Ausschnittvergrößerungen des unteren Teils von Abb. 2 und 3 sind zusammen mit entsprechend vergrößerten Ausschnitten der zugehörigen Gleitfiguren-Aufnahmen durch die als Abdeckung benutzte Photoplatte jeweils nebeneinander in Abb. 4 und 5 wiedergegeben. Nach ihrer Entstehungsweise sind die an der oberen und unteren Spaltwand gewonnenen Gleitfiguren wie Spiegelbilder zu betrachten.

Im Falle der positiven Gleitstielbüschel erscheint die Gleitfiguren-Aufnahme an der Abdeck-Photoplatte wie eine verwaschene spiegelbildliche Kopie der Aufnahme mit der Gleitisolator-Photoplatte. Hieraus kann man schließen, daß sich die positive Gleitentladung in unmittelbarem Kontakt mit der Oberfläche des Gleitisolators entwickelt und daß dadurch das Entladungslicht die Abdeckplatte diffus getroffen und belichtet hat. Man beachte vor allem die nebelhaft verschwommenen Leuchtfäden. Doch sprechen einige schärfer gezeichnete,

diesen überlagerte Figurenelemente an den Gleitstielen dafür, daß später auch Oberflächenentladungen an der Abdeckplatte stattgefunden haben. Auf Grund der Feldrichtung und der dadurch möglichen Bewegung negativer Ladungsträger vom Gleitisolator zur Abdeckung können als ihr Ursprung Bereiche negativer Aufladung angenommen werden, von denen aus dann der Ladungsausgleich in Richtung auf den Gleitstiel mit praktisch demselben positiven Potential wie der Gleitpol eingetreten ist. Offenbar ist aber ein solcher Vorgang nur von geringer Wirkung auf die Reichweite positiver Gleitstielbüschel innerhalb von Spalten.

Vergleicht man die im Falle negativer Gleitstielbüschel an der oberen und unteren Spaltwand hervorgerufenen Gleitfiguren, so findet man auch hier oben ein verwaschenes Abbild der unteren Gleitfiguren — besonders deutlich bei den Gleitstielen —, dem aber in bedeutend stärkerem Maße ausgeprägte, anscheinend später entstandene und netzwerkartig den ganzen Zwischenraum zwischen den Gleitstielen ausfüllende Figuren überlagert sind. Infolge der hier umgekehrten Feldrichtung und der alleinigen Möglichkeit einer Bewegung positiver Ladungsträger vom Gleitisolator zur Abdeckung muß man eine positive Aufladung der oberen Spaltwand annehmen, wogegen sich negative Ladungsträger (Elektronen) über die Flächenbereiche zwischen den Stielbüscheln an der unteren Spaltwand verbreitet haben. Da die Spur der Gleitstiele an der oberen Spaltwand nahe negatives Gleitpolpotential hat, ist von hier aus eine Gleitentladung zu den davon entfernten positiv aufgeladenen Bezirken und in diesen eine Potentialänderung im Sinne eines negativeren Potentials eingetreten, mit dem Ergebnis eines „elektrodenlosen“ Durchschlags durch den Spalt und einer Fortsetzung der Entladung entlang der unteren Spaltwand in Form von kleinen Gleitbüscheln in Richtung des abfallenden Feldes, im allgemeinen radial nach außen. Bei sorgfältiger Betrachtung der Gleitfiguren-Aufnahmen beider Spaltwände läßt sich einwandfrei feststellen, daß zu jedem Gleitbüschelchen ein Funkenkanal im Spalt und eine positive Gleitfigur an der oberen Spaltwand gehört. Der Funkenkanal stellt das Verbindungsstück einer bipolaren „elektrodenlosen“ Gleitentladung mit einem positiven und einem negativen Ende an verschiedenen Seiten des Spaltes dar.

In ihrem Auftreten dürfte der Grund für die in Spalten erreichten großen Reichweiten negativer Gleitstielbüschel zu suchen sein. Denn sie gleichen die Potentialverteilung zwischen benachbarten Ästen eines negativen Gleitstielbüschels aus, so daß das Gleitpolpotential nicht nur vermittelt der Gleitstiele in elektrodenfernen Bereichen, sondern auf ganzer Fläche und in breiter Front wirksam wird. Dadurch entsteht eine ähnlich gleichmäßige Potentialverteilung, wie sie wohl bei positiven Gleitentladungen im Falle einer Gleitanordnung ohne wie auch mit Abdeckung des Gleitisolators von vornherein infolge dicht nebeneinander liegender, die ganze Fläche um den Gleitpol einnehmender Leuchtfäden besteht. Ob diese hypothetische Erklärung zutrifft, werden eingehende Untersuchungen, die bereits im Gange sind, noch zeigen müssen.

\* Abb. 2—5 auf Tafel S. 1146 a—c.