

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 23 (1932)
Heft: 23

Artikel: III. Referat
Autor: Mayr, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059349>

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: 16.02.2026

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich 4
Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXIII. Jahrgang

N^o 23

Mittwoch, 9. November 1932

Die Resultate neuerer Forschungen über den Abschaltvorgang im Wechselstromlichtbogen und ihre Anwendung im Schalterbau (Oelschalter, Druckluftschalter, Expansionsschalter).

Bericht über den 8. akademischen Diskussionsvortrag,

veranstaltet von der Elektrotechnischen Abteilung der Eidgenössischen Technischen Hochschule
Samstag, den 13. Februar 1932, in der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.

(Referate gesammelt von F. G. Ruegg, dipl. Ing., Assistent an der ETH, Zürich.)

(Fortsetzung von S. 592 und Schluss.)

III. Referat

gehalten von O. Mayr, Ingenieur der

Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin (AEG).

Es wird auf die physikalischen Grundlagen des Unterbrechungsvorganges in Hochleistungsschaltern eingegangen und der Standpunkt vertreten, dass die durch die Gasströmung bewirkte Abkühlung und Regenierung des Lichtbogenweges unter vielen Faktoren derjenige ist, auf den es vor allen anderen ankommt.

L'auteur approfondit les phénomènes physiques sur lesquels repose la rupture dans les interrupteurs à haute puissance et est d'avis que, parmi les facteurs qui entrent en cause, le refroidissement et la régénération de la distance disruptive provoqués par les courants de gaz jouent le rôle principal.

Im Grunde genommen kann die Theorie unserer Schalter nichts anderes sein als die Beantwortung zweier Fragen. Die erste lautet: Was ist ein Lichtbogen? und die zweite: Wie können wir die Vorgänge im Lichtbogen von aussen her beeinflussen? Ich will versuchen, möglichst kurz und klar darüber zu berichten, wieweit wir diese Fragen dem heutigen Stand der physikalischen Erkenntnis entsprechend beantworten können.

Wir wollen uns zunächst an einem Schnitt durch den Lichtbogen die Vorgänge in seinem Kern und seiner Umgebung näher betrachten. Sie sehen in Fig. 1 eine Kurve, welche den Temperaturverlauf im Lichtbogen von seiner Achse radial nach aussen schematisch darstellt. Für die Temperatur im Kern des Lichtbogens wurden im vergangenen Jahre an zwei verschiedenen Stellen mit verschiedenen Methoden Werte gefunden, welche zwischen 5000 und 7000° K lagen. Die Kernzone I des Lichtbogens umschliesst eine Randzone, welche durch ein ungewöhnlich hohes Temperaturgefälle charakterisiert ist und die Bereiche II und III umfasst. Die hohe Temperatur im Lichtbogen bedingt bereits einen starken Zerfall der Moleküle und eine Aufspaltung der Atome in positive Ionen und freie Elektronen. Wir wollen diesen Vorgang unter der Annahme,

dass der Lichtbogen im Wasserdampf brennt, etwas genauer verfolgen. Wenn wir ganz aussen beginnen,

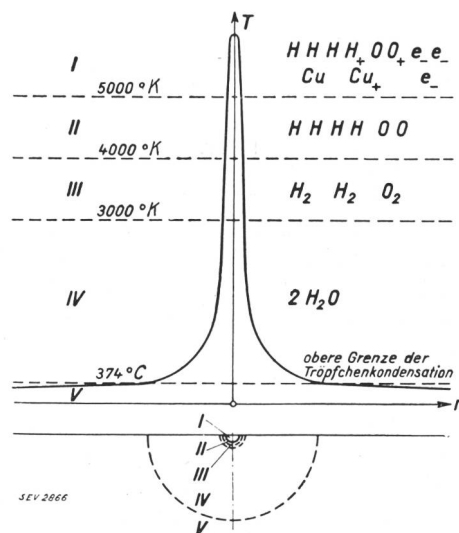


Fig. 1.

Temperaturverlauf im Wasserdampflichtbogen.

finden wir zunächst Zone V, in welcher die Temperatur unter 374° C, d. h. unter der kritischen

Temperatur des Wasserdampfes liegt. In dieser Zone kann, günstige Umstände vorausgesetzt, Tröpfchenkondensation erfolgen bzw. auch nasser Dampf vorhanden sein. In der Zone IV dagegen kann Wasser im flüssigen Aggregatzustand unter gar keinen Umständen mehr vorhanden sein. Wir haben hier in jedem Falle trockenen Wasserdampf vor uns, dessen Moleküle dann bei den höheren Temperaturen der Zonen III und II in die Moleküle H_2 und O_2 und schliesslich in ihre Atome aufgespalten werden. In Zone I, d. h. im Kern, ist die Temperatur und die Wärmebewegung der Atome so gross, dass bei ihrem Zusammenprall ein Teil derselben in positive Ionen und freie Elektronen aufgespalten wird. Von den hocherhitzten Elektroden her werden im Lichtbogen auch Metaldämpfe z. B. von Kupfer vorhanden sein, welche wegen ihrer kleineren Ionisierungsenergie von diesem Vorgang besonders stark betroffen werden. Die durch diesen Prozess entstandenen Elektronen sind die eigentlichen Träger des elektrischen Stromes im Lichtbogen.

Der oben schematisierte Zerfall der Wasserdampfmoleküle in einatomige Gase und Elektronen geht in Wirklichkeit stetig vor sich und kann thermodynamisch mit Hilfe des Nernstschen Wärme-

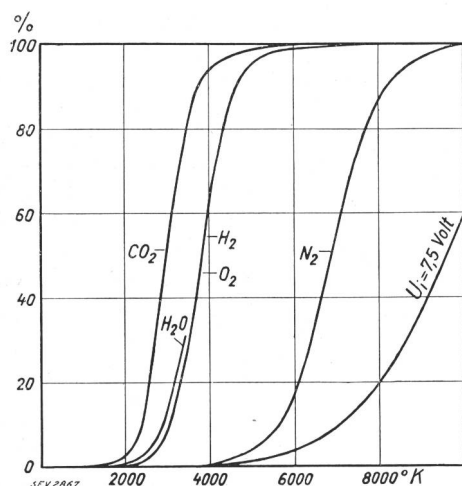


Fig. 2.
Beziehungen zwischen Lichtbogentemperatur und Dissoziation des Löschmittels.

theorems genau berechnet werden. Fig. 2 zeigt, wie dieser Vorgang bei verschiedenen Gasen abhängig von der Temperatur verläuft. Soweit es sich um den Zerfall der Moleküle in einfachere Moleküle oder Atome handelt, spricht man von einer Dissoziation der Gase. Die Aufspaltung in positive Ionen und Elektronen ohne elektrisches Feld durch hohe Temperaturen bezeichnet man als Thermoionisierung. Aus Fig. 2 ist zu ersehen, wie verschiedene Gase nacheinander dissoziieren. Auf der Abszissenachse ist die absolute Temperatur in Grad Kelvin aufgetragen, auf der Ordinate der sogenannte Dissoziationsgrad bzw. der Ionisationsgrad, welcher angibt, wieviel Prozent der ursprünglich vorhandenen Moleküle aufgespalten sind. Man erkennt, dass z. B. bei 2000° K die Kohlensäure zu dissoziieren

beginnt, etwas später der Wasserdampf, der Wasserstoff und der Sauerstoff und dass bei etwa 5000° K diese Gase praktisch alle in ihre Atome zerfallen sein müssen. Eine Ausnahme unter den für die Praxis in Frage kommenden Gasen nimmt der Stickstoff ein, bei welchem die entsprechenden Grenztemperaturen rund doppelt so hoch liegen und der infolgedessen im Lichtbogen nur zum Teil dissoziiert ist. Eine weitere Kurve, welche mit $U_i = 7,5$ V, d. h. mit der Ionisierungsspannung der Kupferdämpfe bezeichnet ist, gibt für diese den Grad der Thermoionisierung an. Um nicht falsch verstanden zu werden, sei festgestellt, ohne auf die Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit im Lichtbogen aus dieser Kurve näher einzugehen, dass schon ganz geringe Spuren von Metaldämpfen und ganz kleine Ionisierungsgrade genügen, um die an Hochleistungslichtbögen gemessenen Leitfähigkeitswerte zu erklären und dass auch ohne die Anwesenheit von Metaldämpfen bei 6000 bis 7000° K genügend freie Elektronen vorhanden sind, um einen Lichtbogen, allerdings mit etwas höherer Lichtbogenspannung, zu unterhalten.

Einer einfachen und exakten Berechnung der elektrischen Grössen im Lichtbogen aus der Temperatur stehen noch gewisse Schwierigkeiten im Wege. Insbesondere fehlen noch Messungen der praktisch nicht zu vernachlässigenden, die Leitfähigkeit sehr stark beeinflussenden Konzentration der Metaldämpfe. Wie genau die thermodynamische Berechnung der Ionisierung an sich ist, zei-

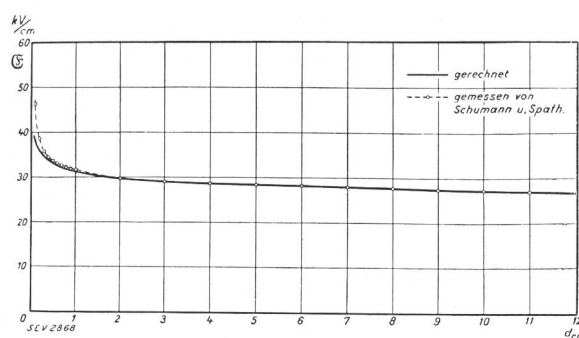


Fig. 3.
Durchbruchfeldstärken von Luft für $p = 760$ mm.

gen die grossen Erfolge, welche die astronomische Physik in der Berechnung der Fixsterntemperaturen aufweisen kann. Dass aber auch für die Theorie der Gasentladungen hier noch ein fruchtbares Gebiet vor uns liegt, zeigt die Kurve Fig. 3, welche das Ergebnis einer Anwendung der Theorie der Thermoionisierung auf den Durchschlag von Luft ist¹⁾. Hier können wegen des raschen Verlaufes eines solchen Durchbruches sowohl die Metaldämpfe als auch die Wärmeableitung vernachlässigt werden mit dem Erfolg, dass sich aus altbekannten physikalischen Daten der Gasmoleküle die elektrische Durchbruchfeldstärke heute ihrem absoluten Wert nach theoretisch mit grosser Genauigkeit berechnen lässt.

¹⁾ A. f. E. 1932, Bd. 26, Nr. 5, S. 365.

Letzten Endes ergibt sich auch hieraus eine Bestätigung für die Vorstellung, welche wir auf Grund der Thermoionisierung von der Stromübertragung im Lichtbogen gewonnen haben.

Wenn wir damit als wichtigste Faktoren für den Hochleistungslichtbogen hohe Temperaturen und die Anwesenheit von Metaldämpfen festgestellt haben, so sehen wir auch schon als wichtigste Mittel zur Löschung solcher Lichtbögen eine kräftige Abkühlung und eine starke Zerstreuung oder Verdünnung der von den Elektroden herrührenden Metaldämpfe. Es ist leicht einzusehen, dass ein vorzügliches Mittel hierfür die Zuleitung frischen, möglichst kalten Gases ist, ein Weg, der von der Praxis, wie Herr Prof. Biermanns²⁾ eben gezeigt hat, tatsächlich auf der ganzen Linie beschritten wird. Wir wollen demgemäss im folgenden voraussetzen, dass der Lichtbogen in einem Gase brennt,

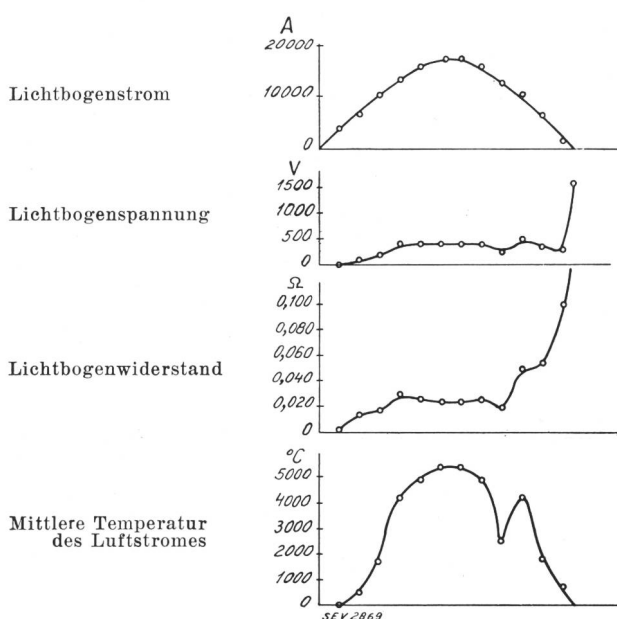


Fig. 4.

Physikalische Grössen des Unterbrechungslichtbogens beim Druckgasschalter.

welches mit hoher Geschwindigkeit durch eine Druckgasschaltdüse, eine Löschkammermündung oder dergleichen strömt, und können dann behaupten, dass die Temperatur in der weiteren Umgebung des Lichtbogens während des Strom-Nulldurchganges 1000°K nicht überschreitet. Als Beispiel zeigt Fig. 4 eine Zusammenstellung der wichtigsten Momentanwerte während einer Löschhalbperiode beim Druckgasschalter. Sie sehen, dass sich wohl während des Strommaximums eine ziemlich hohe Temperatur des Luftstromes einstellt, dass aber beim Nulldurchgang die heissen Gase längst durch frisches, kaltes Gas ersetzt sind. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Löschkammer-Oelschalter und beim Wasserschalter, wo ja die Temperatur der ausströmenden Dämpfe im Mittel durch die Siedetemperatur des Oeles oder Wassers und nicht

durch die Lichtbogentemperatur bestimmt ist. Dasselbe gilt auch für Blassicherungen. Wie auch hier die Meinung Slepian's mit der unseren übereinstimmt, zeigt ein Beitrag über Sicherungen, den Slepian im vergangenen Oktober dem AIEE geliefert hat, wo er wörtlich erwähnt, dass vielfach mit losen und unzulänglichen Beschreibungen, wie z. B. dem Modus operandi einer plötzlichen Expansion gearbeitet wird, welche den Lichtbogen zum Erlöschen bringen soll. Nach einer sachlichen aber ablehnenden Diskussion über diese Ansicht bringt Slepian zum Ausdruck, dass er die Durchwirbelung des Lichtbogens mit frischerzeugtem, unionisiertem Gas als Ursache für die Löschung betrachtet.

Wenden wir uns wieder der Fig. 1 zu, um auch den Wärmeaustausch zwischen dem Lichtbogen und dem ihn umgebenden Gas zu diskutieren. Wir hatten hier die heisse Kernzone I, in welcher die dem Lichtbogen zugeführte elektrische Energie in Form von Wärme frei wird. Diese heisse Zone mit sehr kleiner Wärmekapazität wird von einer grossen Menge relativ kalten Gases umgeben. Zwischen beiden finden wir eine Grenzzone, welche durch ein starkes räumliches Temperaturgefälle und eine lebhaft Dissoziation gekennzeichnet ist.

Es soll nun gezeigt werden, dass unter diesen Umständen die unter dem Einfluss der Dissoziation verstärkte reine Wärmeleitfähigkeit der Gase genügt, um den zur Abkühlung und Unterbrechung des Lichtbogens erforderlichen radialen Wärmetransport aus der Kernzone in das umgebende Gas zu erklären. Die Wärmeleitung der Gase ist ja nichts anderes als ein Ausgleich des Temperaturgefälles durch die Diffusion von heissen Molekülen, d. h. von Molekülen mit hoher kinetischer Energie in kältere Zonen und umgekehrt. Dieser Vorgang wird nun in dem Temperaturbereich, wo Dissoziation stattfindet, verstärkt durch die bei der Dissoziation umgesetzte Dissoziationsenergie. Man kann sich von diesen Vorgängen am besten beim Wasserdampf ein Bild machen. Die Dissoziation von Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff ist ja die Umkehrung der Verbrennung von Knallgas zu Wasserdampf und dem entspricht auch die dabei umgesetzte Wärmeenergie. Bei der Dissoziation von H_2 und O_2 in einatomigen Wasserstoff und einatomigen Sauerstoff wird nochmals fast genau dieselbe Energie umgesetzt.

Wir haben gesehen, dass die Dissoziation bei hoher Temperatur weiter fortgeschritten ist als bei kleiner Temperatur. Die Folge ist, dass nicht dissoziierte Moleküle, welche infolge der ungeordneten Wärmebewegung in den Lichtbogen hineindiffundieren, sich dort spalten. Umgekehrt werden Dissoziationsprodukte aus dem Lichtbogen herausdiffundieren und sich in der Umgebung des Lichtbogens in ihren früheren Zustand zurückbilden. Da nun aber die Dissoziation mit Wärmeabsorption und die Rückbildung in nicht dissoziierte Moleküle mit Wärmeentwicklung verbunden ist, so wird der beschriebene Vorgang den Wärmeausgleich und

²⁾ Siehe letzte Nummer.

also auch die Wärmeleitung ausserordentlich steigern.

Die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit unter dem Einfluss der Dissoziation nach einer von Nernst angegebenen Methode ergibt nun für verschiedene Gase die in Fig. 5 gezeigten Kurven. Man sieht dort, wie die Wärmeleitung von unscheinbaren Werten im Dissoziationsbereich zu einem Maximum ansteigt und dann wieder abfällt. Oberhalb der Dissoziation bleibt jedoch ein Zuwachs, der dadurch entsteht, dass die einatomigen Gase wegen ihres kleineren Molekulargewichtes bessere Wärmeleiter sind. Ganz besonders wirkt sich das beim Wasserdampf aus, wo anstelle der schweren Wasserdampfmoleküle ein Gemisch von $\frac{2}{3}$ einatomigem Wasserstoff und $\frac{1}{3}$ einatomigem Sauerstoff tritt. Dieses Gemisch hat im übrigen noch eine weitere Merkwürdigkeit aufzuweisen. Die

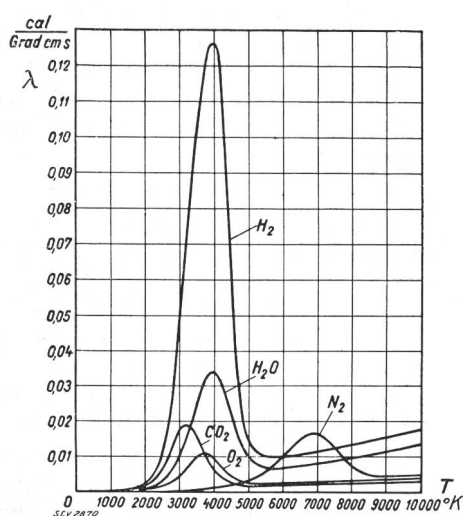


Fig. 5.

Wärmeleitfähigkeit von Gasen bei hohen Temperaturen.

Wasserstoffatome diffundieren nämlich vermöge ihres kleineren Gewichtes und Durchmessers etwa viermal so rasch bzw. viermal so stark aus dem Lichtbogen heraus als die Sauerstoffatome. Die Sauerstoffatome pflegen sich dann an den Metalldämpfen schadlos zu halten, so dass ausserhalb des Lichtbogens eine geringe Menge freien Wasserstoffes entsteht, die z. B. beim Wasserschalter leicht zu beobachten ist, da sie an der Löschkammeröffnung häufig erst nachträglich mit einem kleinen, einige Sekunden anhaltenden Flämmchen verbrennt. Diese sonst belanglose Erscheinung sei vor allem angeführt, weil sie die ganzen hier am Werk befindlichen Dissoziations- und Diffusionsvorgänge, die uns ja sonst nur theoretisch zugänglich sind, sehr deutlich dokumentiert. Ich werde später Versuchsergebnisse mit den hier angeführten Gasen bringen und bitte deshalb, die Reihenfolge der Gase hinsichtlich der Höhe ihrer Wärmeleitfähigkeit genau zu verfolgen. Vom Stickstoff abgesehen, ist die Reihenfolge Sauerstoff, Kohlensäure, Wasserdampf und Wasserstoff. Der Stickstoff nimmt

wieder wegen seiner höheren Dissoziationstemperatur eine Sonderstellung ein. Unterhalb der Lichtbogentemperatur von 6000° K leitet er die Wärme noch schlechter als Sauerstoff. Neben dieser Reihenfolge sind auch die absoluten Werte sehr interessant. Bei Wasserstoff finden wir einen höchsten Wert von $\lambda = 0,125$. Auch der Mittelwert zwischen 0 und 6000° K beträgt noch $\lambda = 0,03$. Die Lichtbogencharakteristik ist bei kleinen Strömen angenähert eine gleichseitige Hyperbel, was bedeutet, dass das Produkt aus Strom und Spannung in der Nähe des Strom-Nulldurchganges angenähert konstant und z. B. bei Wasserstoff gleich 1000 W pro cm Lichtbogenlänge ist. 1000 W sind jedoch gleich 240 cal/s. Wenn wir annehmen, dass die Oberfläche eines Lichtbogenelementes von 1 cm Länge und 3 mm Durchmesser gleich 1 cm² ist, wie die Zeitlupenaufnahmen von Hrn. Prof. Biermanns gezeigt haben, so haben wir entsprechend dem Mittelwert $\lambda = 0,03$ ein Temperaturgefälle von $\frac{240 \text{ cal}}{0,03} = 7200 \frac{\text{Grad}}{\text{cm}}$ nötig, um diese Wärme abzuleiten. Es ist das ein Wert, der mit Temperaturmessungen in der Randzone vom Lichtbogen gut im Einklang steht.

Wir haben eben, indem wir die im Lichtbogen entwickelte Wärme der abgeleiteten Wärme gegenübergestellt haben, bereits die Frage der Wärmebilanz des Lichtbogens angeschnitten, welche die Existenz des Lichtbogens und damit auch die Unterbrechung desselben bestimmt. Nehmen wir an, der Lichtbogen brenne während des Strommaximums mit einer bestimmten, die nötige Thermoionisierung gewährleistenden Temperatur. Um diese insbesondere beim Strom-Nulldurchgang herabzusetzen, muss zum mindesten verlangt werden, dass die dem Lichtbogen entzogene Wärmeleistung grösser ist als die jeweils in Wärme umgesetzte neu zugeführte elektrische Energie. Bei dieser Anschauung ist es durchaus nicht nötig, einen scharfen Schnitt zwischen der Zeit vor und nach dem Strom-Nulldurchgang zu machen. Die Abkühlung kann schon vor dem Nulldurchgang einsetzen. Der beste Beweis hierfür ist der Umstand, dass mit dem Druckgaschalter bei 15 000 V Gleichspannung noch einige tausend Ampère abgeschaltet werden konnten, woraus einwandfrei hervorgeht, dass bei diesen Stromstärken die Wärmeableitung aus dem Lichtbogen bereits grösser sein muss als die elektrisch zugeführte Wärme. Ist die Abkühlung bis zum Nulldurchgang noch nicht weit genug fortgeschritten, so steht, da ja die wiederkehrende Spannung nicht plötzlich erscheint, noch die sogenannte Spannungs-Rückkehrzeit zur Verfügung. Je grösser diese ist, desto grösser durfte der vorausgegangene Strom sein und desto grösser wird also, wie ja die Erfahrung zeigt, die maximal erreichbare Abschaltleistung.

Wenn alle diese Ueberlegungen richtig sind, d. h. wenn die Abkühlung und Löschung des Lichtbogens so vor sich geht, dass die im Lichtbogen entwickelte Wärme zunächst durch reine Wärme-

leitung radial aus dem Lichtbogen heraustransportiert und von dort durch die achsiale Gasströmung weitergeführt wird, dann muss, da während des Strom-Nulldurchganges die achsiale Gasbewegung nur wenig fortschreitet, die Wärmeleitfähigkeit des Löschmittels auf den Abschaltvorgang und die Abschaltleistung von hervorragendem Einfluss sein. Ein Vergleich der mit verschiedenen Löschmitteln im Hochleistungsversuchsfeld der AEG erzielten Abschaltleistungen lässt den Zusammenhang zwischen Wärmeleitung und Abschaltleistung deutlicher und überzeugender als eine umständliche quantitative Berechnung erkennen.

Tabelle I.

Nr.	Löschmittel		Luft	Stickstoff	Sauerstoff	Kohlensäure	Wasserdampf	Wasserstoff
1	Mol.Gewicht M	g	29	28	31	44	18	2
2	Mol.Wärme $M \cdot c_v$	cal	4,98	4,99	4,98	6,86	6,11	4,88
3	$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$	—	1,41	1,41	1,41	1,30	1,135	1,41
4	Schallgeschwindigkeit v (für Wasserdampf bei 100°)	$\frac{m}{s}$	340	348	323	264	470	1276
5	Wärmeleitfähigkeit λ Mittelwert zwischen 0 und 6000° K	Luft = 1	1	0,8	1,8	2,5	5	17
6	Expansionskonstante k	Luft = 1	1	1,02	0,96	0,85	0,71	3,7
7	Elektr.Feldstärke im Lichtbogen bei 3 A	Luft = 1	1	1	2,3	1,7	4,4	13,5
8	Gemessene Abschaltleistung	Luft = 1	1	1	1,8	2,6	3,8	7,5

In der Tabelle I sind neben anderen Daten in Reihe 5 die mittleren Wärmeleitfähigkeiten der Randzone des Lichtbogens, in Reihe 7 die elektrischen Feldstärken des Gleichstromlichtbogens und in Reihe 8 die mit einem Druckgasschalter bei sonst gleichen Verhältnissen, d. h. gleichem Blasdruck, gleicher Schaltung der Versuchsanlage, gleicher Betriebsspannung usw. gefundenen Abschaltleistungen eingetragen. Ein Vergleich der Zahlen in Reihe 5 und 8 lässt den Zusammenhang zwischen Wärmeleitung und Abschaltleistung deutlich erkennen. Soweit quantitative Differenzen bestehen, wie z. B. beim Wasserstoff, der die 17fache Wärmeleitfähigkeit, aber nur die 7,5fache Abschaltleistung von Luft hat, sind weitere Faktoren zu berücksichtigen, wie die Durchbruchfeldstärke, die bei Wasserstoff 40 % geringer ist als bei den anderen Gasen, wo sie nur um ± 10 % variiert.

Ich habe kürzlich in einem Aufsatz in der ETZ³⁾ auch die Eignung der verschiedenen Gase

hinsichtlich der durch die adiabatische Expansion in der Schaltdüse entstehenden Lichtbogenkühlung untersucht. Abgesehen von dem quantitativ kleineren Wert, der sich hierfür ergibt, müsste die Reihenfolge der Abschaltleistungen dann der in Reihe 6 eingetragenen Expansionskonstante k entsprechen, in welcher die für die Abkühlung durch adiabatische Expansion massgebenden physikalischen Konstanten enthalten sind. Sie sehen, dass hier kein systematischer Zusammenhang mit der Abschaltleistung zu finden ist. Ein solcher lässt sich auch durch Zuhilfenahme der Tröpfchenkondensation nicht konstruieren, da dann alle anderen Gase dem Wasserdampf gegenüber stark zurückfallen müssten, während tatsächlich auch mit den nicht kondensierenden Gasen beträchtliche Abschaltleistungen, mit Wasserstoff sogar noch höhere Werte als mit Wasserdampf erreicht wurden. Bemerkenswert ist, dass auch die elektrische Feldstärke im Gleichstromlichtbogen mit den Wärmeleitzahlen im grossen und ganzen übereinstimmt. Sie ist aber nichts anderes als die Spannung bzw. die elektrische Leistung, die sich automatisch einstellt, um den durch Wärmeleitung entstehenden Energieverlust zu decken.

Es ist ein guter Brauch der Elektrotechniker, zur Erklärung vieler Erscheinungen, denen die unmittelbare Anschaulichkeit fehlt, analoge Vorgänge aus der Mechanik oder Hydraulik zu zitieren. Für den Anfang, und was die Theorie unserer Schalter betrifft, sind wir ja alle erst am Anfang, ist ein solches Analogon oft mehr wert als ein Durcheinander aller möglichen Vorstellungen.

Nach dem, was ich Ihnen eben berichtet habe, müssen wir dann den Elektrizitätsdurchgang im Lichtbogen mit einer Wasserleitung durch die Atmosphäre vergleichen. Der Strom frischen, kalten Gases bedeutet für den Lichtbogen dasselbe, was ein kalter Nordwind im Winter für die Wasserleitung bedeutet. Solange Wasser fliesst und genügend Wärmeenergie mitführt, um den andauernden Wärmeentzug zu kompensieren, wird sich nichts ereignen. Wenn das Wasser aber immer langsamer fliesst oder wenn der Wasserstrom gar kurze Zeit ganz aussetzt, kann jedoch eine Katastrophe eintreten, die jedem weiteren Transport des Wassers durch dessen Festfrieren ein Ende macht.

Eine solche Vorstellung kann natürlich nur eine Brücke sein und jenseits dieser Brücke müssen wir uns den Weg noch durch manches Hindernis weiterbauen. Wir stehen jedoch innerhalb der AEG seit vielen Jahren einmütig auf dem Standpunkt, dass die von der Gasströmung bewirkte Abkühlung und Regenerierung des Lichtbogens unter vielen Faktoren derjenige ist, auf welchen es vor allen anderen ankommt. Insbesondere die Aeusserungen Slepian zeigen, dass wir mit dieser Ansicht in der Fachwelt nicht allein stehen. Wenn auch die Worte der Formulierung nicht durchwegs dieselben sind, so sind wir doch sachlich einer Meinung.

³⁾ ETZ 1932, Nr. 4, S. 75.