

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

Rubrik: Diskussion

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: 03.04.2026

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

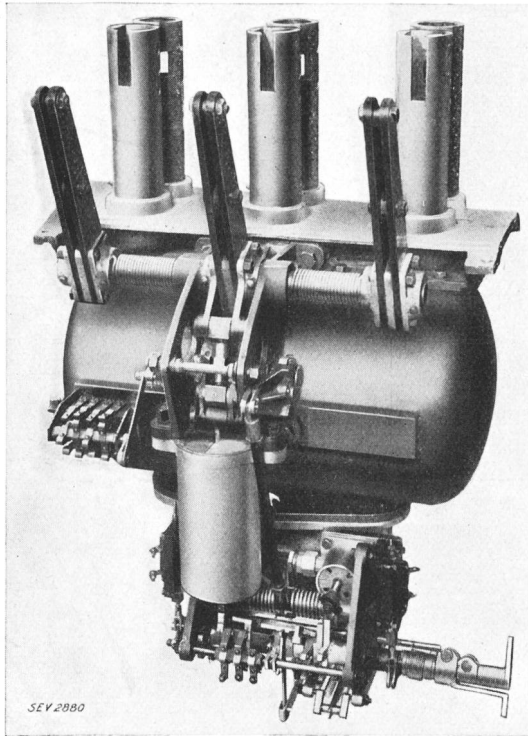


Fig. 12.

Mechanischer Teil des Luftschalters Fig. 13: Luftkammer, Antrieb und Ventile.

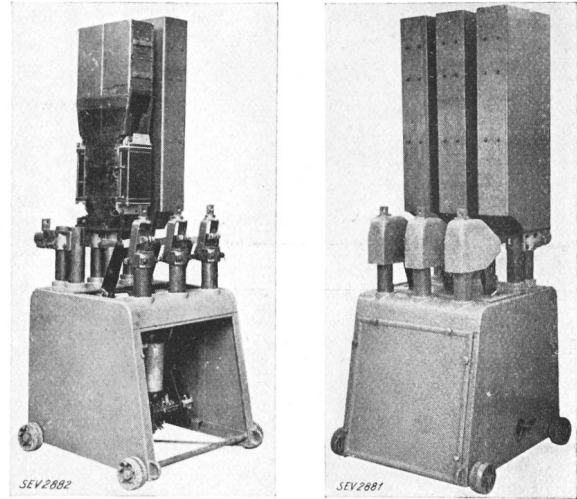


Fig. 13.

Druckluftschalter für 15 kV Nennspannung, 500 A Normalstrom und 300 MVA Abschaltleistung, a teilweise geöffnet, b im Betriebszustand.

Diskussion.

(Unter Mitwirkung der Diskussionsredner zusammengetellt von F. G. Ruegg, Dipl.-Ing., Assistent an der ETH, Zürich).

Prof. Dr. B. Bauer dankt den Referenten für die sehr interessanten und aufschlussreichen Ausführungen im Namen aller Anwesenden und besonders im Namen der elektrotechnischen Abteilung der Eidgenössischen Technischen Hochschule und eröffnet die allgemeine Diskussion.

1. Votum Dr. K. Berger, Ingenieur beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein.

Wenn ich in Ihrer akademischen Diskussionsversammlung das Wort ergreife, so ist es, um nach den interessanten, reichlich theoretischen Erörterungen die Diskussion überzuleiten auf die in elektrischen Anlagen gewonnenen Erfahrungen mit Oelschaltern. In den Referaten wurde uns mitgeteilt, dass die Gefahr des Neuzündens des Schalterlichtbogens darin begründet ist, dass die an den Schalterpolen wiederkehrende Spannung rascher ansteigt, als die beim Stromnulldurchgang erloschene Lichtbogenstrecke ihre elektrische Festigkeit wieder gewinnt. Der Wettlauf der Wiedergewinnung der elektrischen Festigkeit des sich abkühlenden oder entionisierenden Lichtbogens mit der wiederkehrenden Netzspannung entscheidet darüber, ob der beim Nulldurchgang des Schalterstromes verschwindende Lichtbogen definitiv gelöscht bleibt oder ob er neu zündet. Im letzten Fall kommt es zu verlängerter Lichtbogendauer, grösserer Schalterarbeit und allen Folgeerscheinungen. Bei gleichem Abschaltstrom und gleicher Abschaltspannung ist die Abschaltung um so schwieriger, je rascher die Spannung an den Schalterpolen wiederkehrt. Da im kritischen Moment stets die Eigenschwingung des Netzes entsteht, kommt es vor allem auf die Eigenfrequenz der Stromkreise auf beiden Schalterseiten an. Am gefährlichsten ist nach Fig. 1, S. 619, wenn der Schalter unmittelbar bei den Generatorklemmen steht, weil sich für den Generator mit den kleinen Zuleitungskapazitäten bis zum Schalter eine sehr hohe Eigenfrequenz ergibt. Dieser

Fall ist zugleich der in den Schalterprüffeldern nachgeahmte. Am wenigsten gefährlich ist nach derselben Figur die Abschaltung eines Kurzschlusses durch einen Schalter am Ende der Leitung, weil der Generator mit der gesamten Leitungskapazität nur langsam schwingt und demgemäss die Spannung an den Schalterpolen langsam wiederkehrt.

Ich möchte Ihnen nun einige mit dem Kathodenstrahl-oszillographen gewonnene Oszillogramme zeigen, die bei diesem für die Abschaltung als günstig bezeichneten Schema im 132-kV-Netz der Schweizerischen Bundesbahnen aufgenommen wurden. Bei Kurzschlussversuchen, die Herr Ing. Habich in diesem Netz durchführte, hatten sich unerwartete Ueberspannungen ergeben, die mit dem Schleifenoszillographen nicht erfasst und nicht erklärt werden konnten. Der Kathodenstrahl-oszillograph zeigte, dass im Verlaufe der Kurzschlussabschaltung durch den Versuchsschalter am Leitungsende des Netzes (siehe Schema der Versuchsanlage im Bull. SEV 1929, Nr. 20, S. 682, Fig. 1) sehr steile Spannungssprünge auftraten, welche in bestimmter Weise das Netz auf unerträgliche Ueberspannungen aufschaukelten, bis irgendwo Ueberschläge entstanden. Einige Beispiele von Oszillogrammen mögen Ihnen Höhe und Steilheit dieser Spannungssprünge am Schalter illustrieren (Fig. 1 bis 4).

Daraus ist ersichtlich, dass die quasi-stationäre Eigenschwingung des Netzes beim Versuch sehr tiefe Eigenfrequenz von der Grössenordnung 100 Per./s aufwies. Im Verlauf der Abschaltung traten aber innerhalb jeder Halbwelle der Betriebsfrequenz mehrfache Unterbrechungen und neue Zündungen des Schalterlichtbogens auf, wobei die letzteren deutlich durch steile Spannungsstösse verursacht sind. Die nähere Untersuchung an Hand der Oszillogramme ergab, dass der Kurzschlußstrom und der wellenmässige Entladestrom der Leitung gleicher Grössenordnung sind. Das begünstigt ein frühzeitiges Löschen des Schalterlichtbogens.

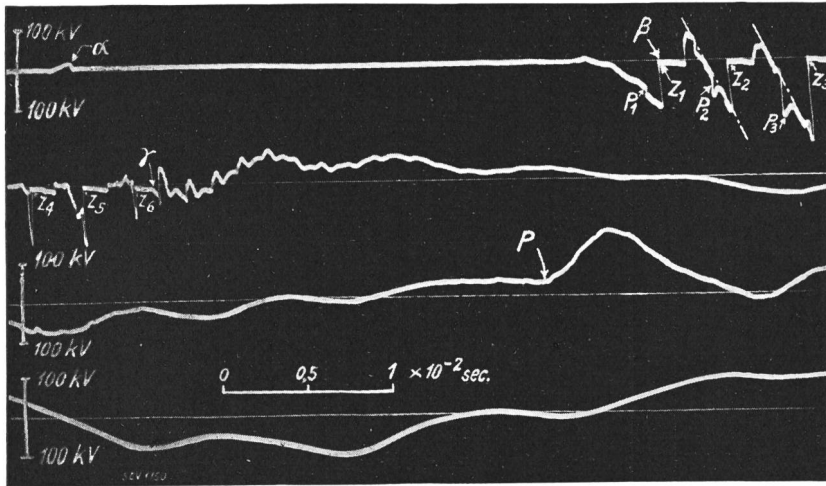


Fig. 1.
Abschalten eines
zweipoligen Kurz-
schlusses nach Erde.
Kathodenstrahl-
oszillogramm

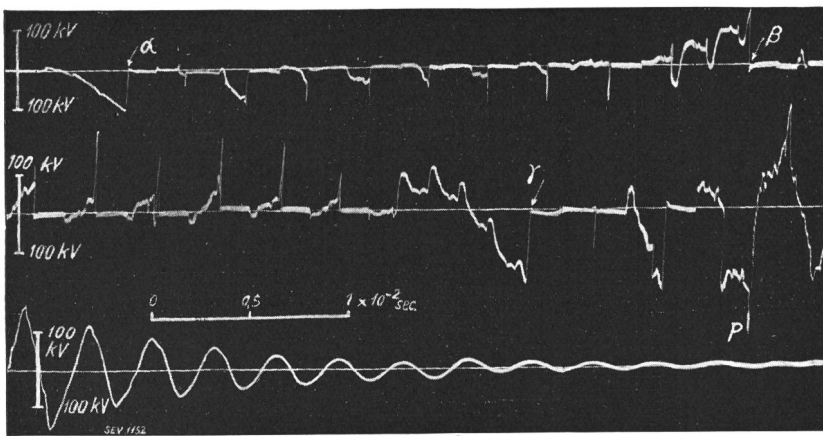


Fig. 2.
Abschalten eines
zweipoligen Kurz-
schlusses nach Erde.
Kathodenstrahl-
oszillogramm.

Fig. 3.
Abschalten eines
zweipoligen Kurz-
schlusses ohne Erde.
Kathodenstrahl-
oszillogramm.

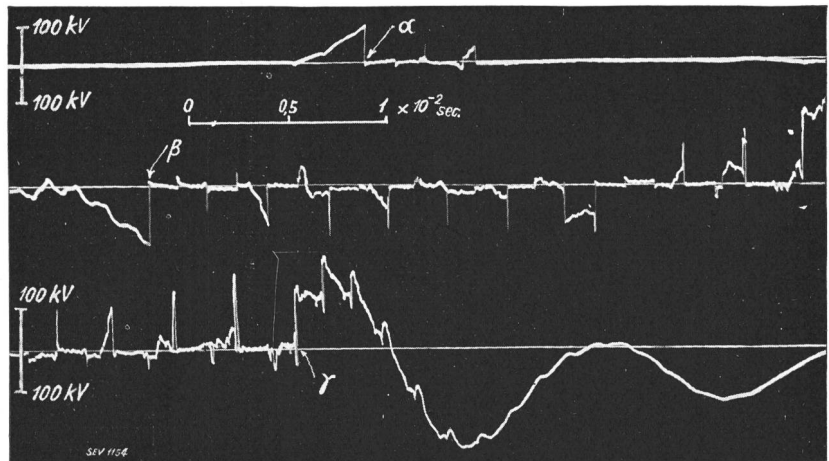
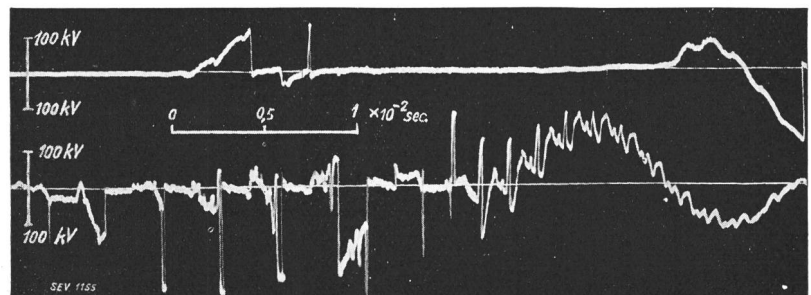


Fig. 4.
Abschalten eines
zweipoligen Kurz-
schlusses ohne Erde.
Kathodenstrahl-
oszillogramm.



Weil sich nämlich der Schalterstrom aus dem Wellenstrom und einem Anteil des am Leitungsanfang aufgedrückten Transformatorstroms zusammensetzt, so kann er kurz nach einer erfolgten Rückzündung wieder zu Null werden, wodurch der Lichtbogen verschwindet. Nach doppelter Laufzeit der Löschwelle über die Leitung tritt dann am Schalter die stets ersichtliche steile Spannungswelle auf, welche oft dessen Rückzündung veranlasst. Die Wiederholung dieses Vorganges ist schuld an den sich aufschaukelnden Ueberspannungen und den Ueberschlägen der Anlagen längs der Leitung. Die Erscheinung lässt sich vergleichen mit den «Wasserschlägen» in einer elastischen Druckleitung, die am Anfang aus einer trägen Druckleitung (Transformator) gespeist wird und die sich am Ende durch ein Spezialventil (Schalter) entleeren kann, wobei letzteres schlagartig entweder sich öffnet oder vollständig schliesst.

Mit diesem Betriebsbeispiel möchte ich zeigen, dass es stets schwierig ist, Prüffeldversuche zu verallgemeinern. In den Anlagen und Netzen können unvorhergesehene Ausgleichsvorgänge vorkommen, die sogar mit dem Schleifoszillographen, auch wo dieser bei Netzversuchen bereits angewendet wurde, nicht sicher erfasst werden können. Gerade in dem als harmlos zu erwartenden Fall traten die beschriebenen Schwierigkeiten auf. Diese bestanden, wie sich auch aus dem Vergleich mit entsprechenden im Prüffeld gewonnenen Werten ergab, nicht in abnormal grossen Lichtbogenlängen und Schalterarbeiten, sondern in der Erzeugung unzulässig hoher Ueberspannungen durch den Abschaltvorgang. Die Herren aus den Schalterprüffeldern werden vielleicht sagen, das Netz sei an den Ueberspannungen schuld und der Schalter selber sei gar nicht überbeansprucht worden. Nun, es ist eine wertlose Frage, ob Schalter oder Netz an den Ueberspannungen schuld sind, denn es gehören beide dazu. Dem Betriebsleiter ist damit nicht gedient, dass wohl der Schalter für sich heil aus der Abschaltung hervorgeht, der Ueberschlag aber an einer anderen Netzstelle auftritt, auch damit nicht, dass gesagt wird, es handle sich um einen Spezialfall. Der Betriebsleiter möchte, dass das ganze Netz durch die Abschaltung nicht übermässig beansprucht wird. Damit das nicht eintritt, ist aus den Versuchen als zweite Folgerung ersichtlich, dass die möglichst rasche Wiedergewinnung der elektrischen Festigkeit der Durchschlagsstrecke im Schalter, sei es nun infolge der Entionisierung oder, nach O. Mayr, infolge Abkühlens, in gewissen Fällen auch für Anlagenteile ausser dem Schalter von direktem praktischen Interesse sein kann.

2. Votum Dr. Kopeliowitsch, BBC.

Die für die Schalter ungünstige Netzkonfiguration, wenn ein Kraftwerk nur eine abgehende Leitung besitzt, wie auch Dr. A. Roth erläuterte, muss eine besondere Beachtung finden. Es ist aber nicht anzunehmen, dass ein leistungsfähiges Kraftwerk von einigen 100 MW über eine oder zwei Leitungen mit dem Netz verbunden sein wird. Ist dagegen die Kraftwerksleistung nicht so gross, dann hat meistens die Eigenfrequenz des Kurzschlusskreises auch im ungünstigsten Falle einer einzigen abgehenden Leitung nur mässige Werte. Bei der Wahl des Schalters und bei der Festlegung der Bedingungen, welche er zu erfüllen hat, darf die wirtschaftliche Seite des Problem nicht ausser acht gelassen werden: übertriebene Anforderungen bei den Prüfungen müssen unvermeidlich zu unnützligen Mehrausgaben führen.

Die von Dr. K. Berger angeführte Untersuchung an einer 216 km langen 132-kV-Freileitung, welche beim Abschalten von Kurzschlüssen am Ende der Leitung zu hohen Ueberspannungen Veranlassung gegeben hat, zeigt nur, dass die Wanderwellenvorgänge verwickelter sein können, als man es allgemein auf Grund vereinfachter Schwingungskreise und einfacher Ueberlegungen annimmt. Auch in verzweigten Netzen liegen die Bedingungen für die Ausgleichsschwingungen nicht so eindeutig vor, dass man nur eine bestimmte Eigenfrequenz erwarten darf. Das Kathodenstrahloszillogramm (Fig. 5) zeigt die wiederkehrende Spannung an einer letztlöschenden Phase beim Abschalten des dreiphasigen Kurzschlusses im 8-kV-Fabriknetz in Baden, die zwei Schwingungen gleichzeitig mit Frequenzen von 1900 Per./s und 3800 Per./s aufweist. Ähnlich sind die Feststellungen,

welche auch bei andern Netzversuchen, z. B. im Kraftwerk Philo, gemacht wurden. Diese Netzversuche bestätigen aber die in meinem Vortrag niedergelegten Schlussfolgerungen. Bei den von Dr. Berger geschilderten Abschaltungen waren die Lichtbogenlängen in Schaltern, infolge tiefer Eigenfrequenz der Ausgleichsschwingungen, kleiner als im Prüffeld, und dies trotz der hohen Ueberspannungen, worauf seinerzeit im Bull. SEV 1930, S. 152, in einem Briefwechsel hingewiesen wurde. Die dabei festgestellten Ueberschläge an den Freileitungsisolatoren zeigen, dass es wichtig und zweckmässig ist, den Isolationsgrad des Schalters höher als denjenigen des Netzes zu wählen. Im übrigen muss man auch diese Frage von der wirtschaftlichen Seite aus betrachten.

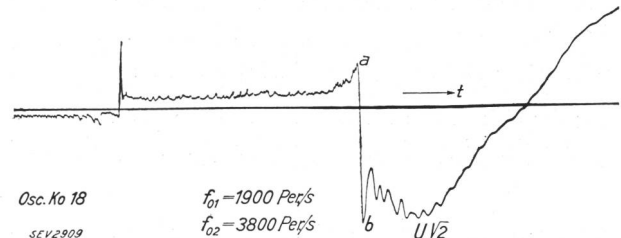


Fig. 5.

Die Forderung einer höheren Prüfspannung, als die Normen sonst vorschreiben, mit Rücksicht auf die Isolation des übrigen Netzes, kann beispielsweise dadurch entbehrlich gemacht werden, dass, zur Vermeidung von Ueberschlägen an Schalterklemmen, schwache Stellen an benachbarten, gegen die Wirkungen des Lichtbogens mit Schutzarmaturen versehenen Isolatoren geschaffen werden. Die Betriebssicherheit wird durch diese Massnahme, die öfters ebenfalls zum Schutze der Schaltanlagen gegen Ueberspannungen angewendet wird, nicht geschwächt, eher umgekehrt.

Zu den Ausführungen von Prof. Biermanns, wonach die Eigenfrequenz der Reaktanzspulen ausserordentlich hohe Werte erreicht und im Betriebe die Wirkungsweise der Schalter gefährden kann, ist zu bemerken, dass auch bei BBC an einer Reaktanzspule von 1,4 Ohm bei 50 Per./s eine Eigenschwingungszahl von 120 000 Per./s bereits vor einigen Jahren mit dem Kathodenstrahloszillographen festgestellt wurde. Es hat sich aber gezeigt, dass schon ein sehr kurzer Leiter, angeschlossen an den Klemmen der Spule, was ja in der Praxis fast immer der Fall ist, die Eigenfrequenz stark herabsetzt. Eine Ausnahme bilden in dieser Beziehung Fälle, wo die Schalter unmittelbar vor den Klemmen der Wicklungen angeordnet sind, Fälle, die beim zweckmässigen Projektieren der Schaltanlagen leicht vermieden werden können, wenn man zum vorneherein weiss, dass diese Disposition beim Abschalten der Kurzschlüsse unter Umständen sich ungünstig auswirkt. Schematisch dargestellt, muss der Kreis, bestehend aus L und c der Fig. 11, Seite 573, durch beidseitigen Anschluss der Anlagekapazität C (Kabel, Sammelschienen) so weit belastet werden, dass die Eigenfrequenz des Kreises auf einen kleinen Bruchteil des ursprünglichen Wertes sinkt. Da die Wicklungskapazität c ganz besonders bei Luftdrosselspulen sehr kleine Werte hat, wirken sich bereits kurze Kabelabschnitte sehr stark aus, und zwar um so stärker, je grösser die Induktivität L ist. Auf die Bemerkung von Prof. Biermanns, dass aus diesem Grunde die Schalter bei der Prüfung nicht über ein Kabel gespeist werden sollten, um den Abschaltvorgang nicht im günstigen Sinne zu beeinflussen, muss betont werden, dass z. B. in der BBC-Versuchsanlage diese Erscheinung nicht zum Vorschein kam, da bei 11-kV-Schaltung, trotz der Speisung über Kabel, eine Eigenfrequenz von über 25 000 Per./s gemessen wurde. Nach den vorliegenden Veröffentlichungen gibt es gegenwärtig kein anderes Prüffeld, in dem die Beanspruchung der Schalter bezüglich des Spannungsanstieges $\frac{du}{dt}$ grösser wäre. Dies gilt für die Anlagen von SSW, ACED, Reyrolle usw.; in der AEG-Anlage ist es bestimmt nicht anders, wofür verschiedene Versuche sprechen.

Zu dem von Ing. O. Mayr vertretenen Standpunkt über die Bedeutung der thermischen Ionisation für die Leit-

fähigkeit der Gase im Kern des Lichtbogens ist zu bemerken, dass die Berechnung des Ionisationsgrades nach der Sahaschen Formel beispielsweise für Wasserstoff ($U = 15,9$ V) für 7000°K nur ein ionisiertes Teilchen auf hunderttausend neutraler Atome ergibt. Die Metaldämpfe bilden ihrerseits nur einen Bruchteil der Lichtbogenatmosphäre, höchstens etwa 5 bis 10 %, und 7 % der Atome wären thermisch, d. h. durch Anprall von Atomen, in ionisierten Zustand versetzt, was in beiden Fällen zur Erklärung der hohen Leitfähigkeit der Lichtbogengase nicht ausreicht, es sei denn, dass man mit noch bedeutend höheren Temperaturen im Lichtbogen rechnet¹⁾. Zu dieser Annahme fehlen allerdings noch experimentelle Anhaltspunkte. Die grössere Elektronenausbeute scheint durch Elektronenstoss (Stossionisation) möglich zu sein.

Die Betrachtung von Ing. O. Mayr, welche als Ausgangspunkt seiner Erörterungen in ETZ²⁾ dient, ist nicht ohne weiteres annehmbar. Darnach sollte die unter der Einwirkung des elektrischen Feldes im Lichtbogen (30 V/cm) von einem Elektron über eine mittlere freie Weglänge aufgespeicherte Energie (0,036 V) gegenüber derjenigen, welche infolge der hohen Temperatur (6000°K) jedem Teilchen im Mittel zugeordnet werden muss (0,75 V), so klein sein, dass auch ihre Auswirkung im Ionisationsvorgang nur eine untergeordnete Rolle spielen könnte.

Diese beiden Werte dürfen jedoch miteinander nicht verglichen werden und lassen die angeführte Schlussfolgerung nicht zu. Denn ein Ladungsträger wird im elektrischen Feld fortwährend und über mehrere freie Weglängen auf immer grössere Geschwindigkeit gebracht, solange die Zusammenstösse elastisch, d. h. nicht anregend und nicht ionisierend bleiben, bis die im Elektron aufgespeicherte Energie für einen anregenden oder für einen ionisierenden Stoss ausreicht. Erst dann verliert das Elektron seine Energie, welche zur Anregung bzw. Ionisierung des neutralen angestossenen Teilchens verwendet wird. Die gaskinetische Temperaturgeschwindigkeit erhält dagegen keine Zunahme, während ein neutrales Teilchen eine freie Weglänge durchheilt, und eine Akkumulierung der Energie bis zur Ionisationsenergie bei nacheinanderfolgenden Stössen ist weniger wahrscheinlich, wie dies die Sahasche Formel zeigt. Im übrigen, auch bei einem Durchschlag in kalter Luft unter Atmosphärendruck, hat man im homogenen Feld einen Gradienten von 30 kV/cm und pro mittlere freie Weglänge ($0,6 \cdot 10^{-4}$ cm) eine Spannung von 1,8 V, bei einer Glimmentladung z. B. im Vakuum noch bedeutend weniger (etwa 0,2 V). In beiden Fällen wird der Durchschlag nach den heute noch gültigen Anschauungen auf die Stossionisation zurückgeführt, trotzdem man, wenn mit der mittleren freien Weglänge gerechnet wird, scheinbar weit von der Ionisationsspannung entfernt bleibt. Die Erklärung dieser Diskrepanz muss einerseits in der starken Abweichung der berechneten mittleren freien Weglänge von den einzelnen tatsächlich auftretenden Weglängen und andererseits in der bereits erläuterten, über mehrere freie Weglängen andauernden Akkumulierung der Energie, unter Einwirkung des elektrischen Feldes liegen.

3. *Votum Ing. O. Mayr, AEG.*

Zu den Ausführungen von Dr. Kopeliowitsch habe ich folgendes zu erwidern: Zur Erklärung der im Lichtbogen beobachteten elektrischen Leitfähigkeit muss, wie auch Herr Dr. Kesselring richtig festgestellt hat, unter je 10 000 neutralen Molekülen rund ein freies Elektron vorhanden sein. Nimmt man, wie auch Herr Dr. Kopeliowitsch angibt, an, dass bei etwa 6000°K 7 % der vorhandenen Metallatome ionisiert sind, so genügt es, wenn die Metaldämpfe ihrerseits nur 0,14 Volumprozent ausmachen, d. i. ein Wert, der weit unter den 5 bis 10 % liegt, die auch Herr Dr. Kopeliowitsch für möglich hält.

Zu den Ueberlegungen über die längs einer freien Weglänge durchlaufenen Spannung ist zu sagen, dass denn doch der für den Lichtbogen geltende Wert von 0,036 V von der Ionisierungsspannung 50mal mehr abweicht als der für den

elektrischen Durchschlag in kalter Luft zutreffende Wert von 1,8 V und dass diese grosse Abweichung doch auch irgendwie erklärt werden müsste. Die von Herrn Dr. Kopeliowitsch angeführten Faktoren machen sich, selbst wenn man sie als richtig unterstellt, im Lichtbogen und beim Durchschlag gleich stark bemerkbar. Der für Glimmentladungen genannte Wert von 0,2 Volt pro freie Weglänge kann wohl nur für Edelgase zutreffen.

4. *Votum Ing. Risch, BBC.*

Wenn man darüber spricht, ob irgendwo thermische oder elektrische Ionisation auftritt, so muss man sich vor allem darüber klar sein, was man unter thermischer und was man unter elektrischer Ionisation zu verstehen hat.

Die Ionisierung eines Gases ist eine Abspaltung von Elektronen von Molekülen. Bei beiden Ionisationsarten erfolgt eine solche Abspaltung bei einem genügend heftigen Zusammenstoss eines Moleküls mit einem anderen Partikel. Sie unterscheiden sich jedoch voneinander dadurch, dass bei der thermischen Ionisation diese andern Partikel andere Moleküle und bei der elektrischen Ionisation Elektronen sind.

Es gibt nun zwei Gründe, die dafür sprechen, dass in einem Lichtbogen die Ionisation hauptsächlich durch Elektronenstösse und nicht durch Molekülstösse hervorgerufen wird.

Erstens wird in Bögen stets gefunden, dass die Energie der translatorischen Bewegung, d. h. die Temperatur der Elektronen, viel höher ist als diejenige der Moleküle. Auf Grund der bis jetzt veröffentlichten Messungen muss die Energie der Elektronen in einem Bogen in Luft bei Atmosphärendruck auf rund 20 000° geschätzt werden. Die grosse Ubertemperatur der Elektronen in einem Lichtbogen gegenüber dem Gas kommt dadurch zustande, dass die Elektronen durch das elektrische Feld beschleunigt, d. h. erwärmt werden, ihrerseits jedoch die Moleküle bei Zusammenstössen mit diesen nur sehr wenig erwärmen. Die Temperaturübertragung von Elektronen auf die Moleküle erfolgt nämlich vermittels elastischer Stösse, und bei solchen wird wegen der Kleinheit der Masse der Elektronen im Vergleich zu derjenigen der Moleküle ein nur sehr kleiner Teil der Energie des Elektrons auf das Molekül übertragen. Der Bruchteil der übertragenen Energie ist gleich dem Doppelten des Verhältnisses der Masse des Elektrons zu derjenigen des Moleküls, d. h. gleich 1 zu einigen Tausend. Wegen der viel grösseren Masse der Moleküle prallen die Elektronen bei elastischen Zusammenstössen mit Molekülen an diesen fast ohne Energieverlust wie an einer festen Wand ab. Die höhere Temperatur der Elektronen macht nun aber die Elektronen für die Ionisierung geeigneter als die Moleküle, weil ein ionisierender Stoss im allgemeinen um so leichter zustande kommt, je grösser die Energie des stossenden Teilchens ist.

Zweitens ist bekannt, dass sogar bei der gleichen Energie die Elektronen viel besser ionisieren als die Moleküle und die ionisierende Wirkung der Moleküle erst dann mit derjenigen der Elektronen vergleichbar wird, wenn ihre Geschwindigkeit gleich derjenigen der Elektronen wird. Da jedoch die Energie der translatorischen Bewegung proportional der Masse und proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit ist und die Masse bei Molekülen viele tausend Mal grösser ist als bei den Elektronen, so folgt aus der ungefähren Gleichheit der Geschwindigkeiten bei der gleichen ionisierenden Wirkung, dass die Moleküle eine viele tausend Mal grössere Energie besitzen müssen als die Elektronen, um gleich gut ionisieren zu können. Im Lichtbogen ist aber, wie oben gesagt, gerade das Umgekehrte der Fall: die Moleküle sind kälter als die Elektronen. Die charakteristische Eigenschaft der Elektronen als stossende Teilchen ist eben im Gegensatz zu den Molekülen die, dass sie Gase gut ionisieren und schlecht erwärmen.

Ich möchte noch eine Bemerkung machen zu den Ausführungen von Ing. O. Mayr über die Beschleunigung der Abkühlung des Gases nach Erlöschen des Bogens durch die Dissoziation des Gases. Die für die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit hauptsächlich in Frage kommende Wirkung der Dissoziation ist die Erhöhung der Energie, die pro Molekül aus der alten Lichtbogenstrecke in die umgebenden kälteren

¹⁾ Bei 2000 bis 3000 A/cm² und 15 V/cm Spannungsabfall müssen aber nach überschlägiger Rechnung 5 bis 7 auf 100 Teilchen ionisiert werden und nicht 1 auf 10000 wie Dr. Kesselring allerdings für andere Verhältnisse angibt.

²⁾ ETZ 1932, S. 76.

Gebiete übertragen wird. Ausser der kinetischen Energie (Temperaturenergie) wird pro Molekül auch noch die Dissoziationsenergie übertragen. Die im Lichtbogen enthaltene Energie ist aber mit Dissoziation ebenfalls höher als ohne Dissoziation, und zwar um ebensoviele, wie die Leitfähigkeit durch die Dissoziation vergrössert wird. Ausser der kinetischen Energie ist auch hier noch die Dissoziationsenergie enthalten. Die abzuführende Wärme wird somit durch die Dissoziation in gleicher Masse vergrössert wie die Wärmeleitfähigkeit. Dadurch wird der Einfluss der Dissoziation auf die Geschwindigkeit der Abkühlung des Bogens, roh betrachtet, aufgehoben. Eine genauere Betrachtung zeigt, dass oberhalb des oberen Knies der Dissoziationskurve die Dissoziation die Abkühlung tatsächlich beschleunigt, unterhalb des Knies jedoch im Gegenteil verlangsamt.

5. *Votum Ing. O. Mayr, AEG.*

Zum *Votum* von Ing. Risch ist folgendes zu sagen: Der Begriff der Thermoionisierung hat sich für den bei hohen Temperaturen vorhandenen Zerfall der Moleküle in positive Ionen und freie Elektronen eingeführt, welcher sich analog der Dissoziation der Gase mit Hilfe des Nernstschen Wärmethorems berechnen lässt. Dieser Begriff enthält keinerlei Festlegung auf die molekularen Vorgänge und schliesst nicht aus, dass lediglich die freien Elektronen die Ionisierung aufrecht erhalten. Ich bin selbst auch der Ansicht, dass die Ionisierung vor allem durch Elektronenstösse erfolgt. Wesentlich ist, dass die Elektronen nicht wie im Vakuum oder beim Durchschlagen in kalter Luft ihre Geschwindigkeit während des Durchfallens einer oder mehrerer Weglängen in Richtung des elektrischen Feldes erhalten, sondern dass vielmehr die Richtung der Elektronenbewegung gänzlich ungeordnet ist.

Meine Ansicht hinsichtlich der verstärkten Abkühlung des Lichtbogens unter dem Einfluss der Dissoziation geht dahin, dass sich das Schicksal des Lichtbogens bei der Temperatur entscheidet, wo die Ionisierung der Metaldämpfe aufhört. Diese liegt bei allen Gasen mit Ausnahme des Stickstoffes über dem oberen Knie der Dissoziationskurve. Die Erhöhung der im Lichtbogen enthaltenen Energie macht bei Ueberschreitung der Dissoziationsgrenze das 3- bis 10fache der unterhalb der Dissoziationsgrenze vorhandenen Energie aus, während die Wärmeleitfähigkeit auf das 30- bis 100fache derjenigen an der unteren Dissoziationsgrenze ansteigt und demzufolge die durch die Dissoziation bedingte scheinbare Erhöhung der Wärmekapazität des Lichtbogens weit überwiegt.

6. *Votum Dir. W. Trüb, EWZ.*

Nachdem nun heute so viel theoretisch-wissenschaftliche Fragen erörtert wurden, interessiert nun vor allem den Betriebsmann die wirtschaftliche Seite, d. h. die Frage, unter welchen Bedingungen der öllose Schalter mit dem Oelschalter in Konkurrenz treten kann. Dabei ist es wohl unnötig, zu sagen, wie sehr die Praxis den einfachen, betriebssicheren,

öllosen Schalter für den Bau und Betrieb elektrischer Schaltanlagen erwartet.

7. *Votum Dr. F. Kesselring, SSW.*

Als die SSW mit dem Bau des öllosen Schalters begannen, glaubte man zunächst, dass dieser in fabrikatorischer Hinsicht im Gestehtungspreis wesentlich billiger gegenüber dem Oelschalter sein werde. Die Erfahrung lehrte nun aber, dass dem nicht so sei. Es ist aber zu hoffen, dass mit der weiteren Entwicklung des öllosen Schalters und seiner steigenden Verwendung in elektrischen Schaltanlagen dennoch der öllose Schalter im Fabrikationspreis gleich oder billiger als der Oelschalter gehalten werden kann.

8. *Votum Dr. A. Roth, ACED.*

Was die wirtschaftliche Seite der Frage der neuen Schalterkonstruktionen anbelangt, so möchte ich darauf hinweisen, dass die vollständige Gefährlosigkeit gewisser neuer Schalterysteme einen grossen Einfluss haben kann.

Die Gefährlichkeit der modernen, d. h. vervollkommenen Oelschalter besteht hauptsächlich noch darin, dass durch unvorhergesehene Netzerweiterungen oder Kupplungen die garantierte Abschaltleistung überschritten wird, und das oft um sehr erhebliche Beträge. Von diesem Moment an wird also ein Gefahrfaktor in die Anlage eingeführt.

Zum Verständnis der folgenden Ausführungen muss man sich vergegenwärtigen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Kurzschlüssen, welche die für den betreffenden Ort errechnete Maximalleistung erreichen, ganz ausserordentlich gering ist. Tatsächlich müssen ja, wenn diese Maximalleistung auftreten soll, eine ganze Reihe von Faktoren zusammenwirken: alle Generatoren im Betriebe, Kurzschluss in Schalternähe, alle Transformatoren im Betriebe, kurze Auslösezeit der Relais usw. Daher rührt es, dass bei errechneter ungenügender Schaltleistung der Apparate schwerste Explosionen wohl vorkommen, aber nicht häufig sind.

Die Auswirkungen dieses Gefahrfaktors sind aber vollständig verschieden für Oelschalter einerseits, für die gefahrlosen modernen Schalter andererseits.

Für die Oelschalter sind die Folgen einer eventuellen Fehlschaltung, begleitet von Explosion und Feuersbrunst, so schwer, dass sie trotz der geringen Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens nicht mehr in Kauf genommen werden können.

Bei der neuen Art von Schaltern sind dagegen die Folgen einer Fehlschaltung infolge überschrittener Garantieleistung wohl unangenehm, sie bergen aber keinerlei Gefahren für das Personal oder für die Anlage in sich. Infolgedessen kann eher die sehr kleine Wahrscheinlichkeit des Ueberschreitens der garantierten Schalterleistung in Kauf genommen werden. Ein beschädigter Schalter kann ausserdem in kürzester Zeit durch einen Ersatzapparat ausgewechselt werden.

Entladungsröhren als Lichtquellen.

Bei Anlass der ersten Zürcher Lichtwoche (1. bis 9. Oktober 1932) wurde zwischen Schlieren und Altstetten ein etwa 1 km langes Strassenstück mit einer Ueberlandstrassenbeleuchtung ausgerüstet, die Entladungslampen mit Natriumdampf füllung als Lichtquellen benützt. Diese neue Beleuchtung fand grosse Beachtung, weshalb wir die ausführende Firma, die Philips-Lampen-A.-G., Zürich, um eine Beschreibung dieser Anlage ersuchten. Im folgenden veröffentlichen wir diese Beschreibung, die auch auf grundsätzliche Fragen des Natriumdampflichtes eingeht.

Anschliessend geben wir einem Artikel von anderer Seite (Osram A.-G.) Raum, der allgemein den technischen Stand der verschiedenen Entladungslampen als praktisch brauchbare Lichtquellen behandelt. (Red.)

A l'occasion de la première semaine de la lumière zurichoise, un tronçon de route de 1 km environ, entre Schlieren et Altstetten, fut muni d'un système d'éclairage utilisant comme sources lumineuses des lampes à décharge à remplissage de vapeur de sodium. Ce nouveau système fut fortement remarqué, ce qui nous engagea à en demander une description à la maison Philips-Lampes A.-G., à Zurich, qui a exécuté l'installation. Nous publions ci-dessous cette description qui contient également une étude des questions fondamentales touchant la lumière produite par la vapeur de sodium.

Immédiatement après, nous publions une étude d'une autre maison (Osram S.A.) qui traite en général de l'état actuel des diverses lampes à décharge en tant que sources lumineuses pratiquement utilisables. (Réd.)