Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 27 (1936)

Heft: 24

Artikel: Fortschritte und Neuerungen im Bau und in der Anwendung von Mutatoren. Diskussionsbeitrag

Autor: Gaudenzi, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057547

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: 22.08.2025

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

Diskussionsbeitrag

von Herrn *A. Gaudenzi*,
Ingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden.

Gestatten Sie mir einige ergänzende Angaben zur Frage der Wasserstoffdiffusion und zu dem Mutator aus Metall ohne Pumpe. Ich beziehe mich dabei auf den Vortrag von Herrn Dr. Dällenbach, auf seine Veröffentlichung in der ETZ vom 25. Januar 1934 und auf unsere Versuchsresultate, veröffentlicht in den Brown-Boveri-Mitt. 1935, Nrn. 1/2, S. 63. Unsere Laboratoriumsversuche mit evakuierten, blanken Eisenrohren in destilliertem Wasser von 90° C (Diffusionskonstante $3100 \cdot 10^{-5} \frac{cm^3\ mm\ Hg}{cm^2\ h}$) stimmen ungefähr mit denjenigen von Herrn Dr. Dällenbach bei 95° C (Diff.-Konstante $27\,700 \cdot 10^{-5}$) überein, wenn man die starke Abhängigkeit der H-Diffusion von der Wassertemperatur berücksichtigt; d. h. wir haben diese sehr interessante Erscheinung nachträglich auch bestätigt gefunden. Betrachtet man aber unsere Diffusionskonstante von $156 \cdot 10^{-5}$ für blanke Stahlrohre in Leitungswasser von 60° C (max. Kühlwassertemperatur für Mutatoren), dann ist das nur 0,56 % von $27\,700 \cdot 10^{-5}$, also so wenig, dass ein normaler Mutator *selbst mit blanker, wasserbenetzter* Aussenoberfläche von dieser sehr geringen Wasserstoffdiffusion nichts Nachteiliges merkt, weil die Vakuumpumpe hoher Saugleistung das wenige, eindringende H-Gas sofort wegschafft. Alle von uns gelieferten Zylinder werden nun mit einem Rostschutzanstrich versehen. Dadurch wird die schon ohne Rostschutz ganz ungefährliche Wasserstoffdiffusion ganz bedeutungslos. Die Diffusionskonstante sinkt nämlich in diesem Fall für 60° C Kühlwassertemperatur von $156 \cdot 10^{-5}$ auf $0{,}6 \cdot 10^{-5}$ und bleibt auch bei 95° C auf diesem ausserordentlich tiefen Wert, d. h. der Anstrich dichtet vollkommen gegen Wasserstoff. Ein praktisches Beispiel soll dies noch eindringlicher zeigen. Auf unsere Veranlassung wurden auf einer Anlage die Hoch- und Vorpumpe eines ganz normalen Mutators (Hg- und Gummi-Dichtungen), der seit 1925 in Betrieb ist, während eines ganzen Jahres (1934/35) stillgesetzt. (Mittlere Kühlwassertemperatur 30° C, tägliche Lastdauer 18 Std.). Als Abschluss gegen die Atmosphäre war einzig der Hahn unter Oel in der Vorpumpe vorhanden und trotzdem stieg der Restgasdruck, am Hitzdrahtvakuummeter abgelesen, während dieses Jahres nicht höher als auf $5 \ldots 7 \cdot 10^{-3}$ mm Hg, ein Beweis für seine vorzügliche Dichtigkeit auch gegen Wasserstoff. Bestände eine Wasserstoffdiffusion, dann hätte der Restgasdruck im Zylinder in einem Jahr bei vollständig blanker Oberfläche auf folgende Werte ansteigen müssen:

Druckanstieg	Wassertemperatur	Diffusionskonstante	Nach Versuch von
210 mm Hg = 100%	95° [1])	$27700 \cdot 10^{-5}$	Dällenbach
0,35 mm Hg = 0,17%	30° [2])	$50 \cdot 10^{-5}$	Brown Boveri
Beobachtet wurde aber:			
0,007 mm Hg = 0,0035%	30° [2])	$0{,}6 \cdot 10^{-5}$	Brown Boveri

[1]) Destilliertes Wasser.
[2]) Leitungswasser.

Damit ist der praktische Beweis erbracht, dass mit dem üblichen Kühlwasser und mit Temperaturen unter 60° C die H-Diffusion minimal ist, selbst für blanke Kühloberflächen, und dass bei Anwendung des normalen gesunden Rostschutzanstriches auch noch nach 10 Jahren eine vollkommene Dichtigkeit gegen Wasserstoff besteht. Die von Herrn Dr. Dällenbach an blanken Eisenröhren in destilliertem Wasser festgestellte, an sich sehr interessante Erscheinung ist für unsere Mutatoren aus Eisen mit Pumpe ohne praktische Bedeutung. Das wird auch durch unsere sehr günstigen Betriebserfahrungen an einigen tausend Mutatoren nur bestätigt. In der ETZ vom 25. Januar 1934, S. 88, wird nämlich der in den Mutator eindringende Wasserstoff für einen Teil der Rückzündungen verantwortlich gemacht. Ohne auf die Erklärungen über die Aufnahme und Abgabe des Wasserstoffes besonders durch die Anoden und diese Rückzündungsursache näher einzutreten (wir sind über diesen Punkt verschiedener Meinung [1])) müssen wir betonen, dass unsere Beobachtungen und Erfahrungen den Annahmen von Herrn Dr. Dällenbach widersprechen. Dies gilt für alle Zylinderleistungen bis ca. 5500 kW und alle möglichen Belastungsarten, wie ununterbrochener Dauerbetrieb über Monate, oder kurzdauernde hohe Spitzenlasten und abwechselnd wochenlanger Dauerbetrieb mit anschliessenden monatelangen Betriebspausen.

Zu dem zugeschweissten Mutator ohne Pumpe ist ergänzend noch zu sagen: Bei den bescheidenen Leistungen des kleinsten Metalltyps für z. B. 600 A, 360 kW, lässt sich wohl verstehen, dass ein einigermassen sicherer Betrieb möglich erscheint. Vor einer ganz anderen Situation steht man aber bei den mittleren und grossen Typen mit mehr als 15facher Leistung, bestimmt für die verschiedensten Belastungsarten, wie schon oben angegeben. Selbst wenn ein Mutator an sich vollkommen jeder zulässigen normalen Dauer- und Ueberlast gewachsen wäre, kann es durch fehlerhafte Betriebsführung und Ueberwachung vorkommen, dass im Innern Ueberbeanspruchungen entstehen, die eine Ueberholung des Apparates nötig machen. Der Betriebsleiter steht dann vor der Tatsache, den Mutator nicht an Ort und Stelle reparieren zu können. Er muss ihn in die Fabrik schicken, denn nur dort sind die nötigen, teuren Spezialeinrichtungen (Heizöfen mit mehreren m³ Inhalt für 500° C und Pumpeneinrichtungen) vorhanden. Was das heisst, wenn die Anlage in Australien, Südafrika oder China ist, kann jeder ermessen. Ausserdem kann nur der Spezialist diese Mutatoren behandeln, während beim Mutator mit Pumpe jeder Arbeiter leicht lernt, wie auch eine grössere Ueberholung durchzuführen ist, ohne auf umfangreiche, teure Einrichtungen angewiesen zu sein. Aber auch beim kleinsten Metallmutator muss es für den Betriebsmann eigentlich sehr unangenehm sein, bei Störungen immer mit der Fabrik rechnen zu müssen. Beim Glasmutator ist es ganz anders, hier kennt man als Lösung nur den Ersatzkolben, weil eine Reparatur nicht möglich ist. Wollte man beim abgeschlossenen Metallmutator auch so vorgehen, dann müsste immer ein Reservezylinder vorhanden sein, was besonders bei Anlagen mit grossen Gefässen recht teuer ist. Die Praxis fordert deshalb unzweideutig, dass Mutatoren, die mittlere und grössere Leistungen umformen, an Ort und Stelle auch durch die Betriebsinhaber reparierbar sein müssen; deshalb sind die Pumpen nötig. Bei den kleinsten Metallmutatoren scheint eine wirtschaftliche Lösung ohne Pumpe möglich, doch bleibt bei Störungen die dauernde Abhängigkeit des Betriebsleiters von der Fabrik bestehen.

Herr **Dr. Dällenbach** nimmt dazu folgendermassen Stellung:

Aus den Aeusserungen des Herrn Gaudenzi geht hervor, dass die Firma Brown, Boveri die Erscheinung der Wasserstoffdiffusion durch Eisenwandungen nachträglich auch bestätigt gefunden hat. Herr Gaudenzi misst aber dieser Erscheinung keine praktische Bedeutung bei, da bei Erniedrigen der Temperatur (auf 60°, bzw. 20°) die diffundierende Menge stark absinke und durch Aufbringen eines Rostschutzanstriches weiter vermindert werden könne. Auf beide Einflüsse, sowohl der Temperatur als auch der Oberflächenbeschaffenheit, wurde in meiner ersten Veröffentlichung «Grossgleichrichter ohne Vakuumpumpe», erschienen in der ETZ, Bd. 55 (1934), S. 85, ausdrücklich aufmerksam gemacht.

In Fig. 1 sind zwei Messreihen, welche wir seinerzeit über die Temperaturabhängigkeit der Wasserstoffdiffusion durch Eisenwandungen aufgenommen haben, durch Kreise, bzw. Kreuze, die Messwerte von BBC (Brown, Boveri-Mitt. Januar/Februar 1934, S. 85) dagegen durch Quadrate dar-

[1]) Siehe Brown-Boveri-Mitt. 1935, Nr. 1/2, S. 63.

gestellt. Die ausgezogene Kurve veranschaulicht die dem Landolt-Börnstein entnommene Temperaturabhängigkeit der Wasserstoffionen-Konzentration in destilliertem Wasser. Sowohl unsere als auch die BBC-Werte sind in Maßstäben aufgetragen, dass die Punkte für 90° C auf die ausgezogene Kurve zu liegen kommen, um die Unterschiede in der Temperaturabhängigkeit möglichst klar hervortreten zu lassen. Unsere Messwerte befolgen angenähert dieselbe Temperaturabhängigkeit wie die dem Landolt-Börnstein entnommene Wasserstoffionen-Konzentration in destilliertem Wasser. Die BBC-Werte für 60° und 20° dagegen liegen viel tiefer. Woher das kommt, entzieht sich meiner Beurteilung. Ich bin gerne bereit, über alle Einzelheiten unserer Versuche an Hand ausführlicher Versuchsprotokolle Auskunft zu geben.

Gestützt auf wenige Messpunkte spricht nun Herr Gaudenzi in seinem Votum unserem viel reicheren und von seinen Ergebnissen abweichenden Beobachtungsmaterial (Fig. 1) erneut die praktische Bedeutung ab. Ich beschränke mich darauf, die folgenden Gründe anzugeben, welche *für* die praktische Bedeutung der Wasserstoffdiffusion sprechen.

1. Je niedriger die Temperatur des Gleichrichters, um so niedriger die Wasserstoffdiffusion, um so niedriger aber auch die Ueberlastbarkeit (Grenzstrom) des Apparates (vgl. mein vorausgehendes Referat). Es gibt Firmen, welche mit Rücksicht auf hohe Ueberlastbarkeit des Apparates hohe Betriebstemperaturen, über 90° C, anwenden.

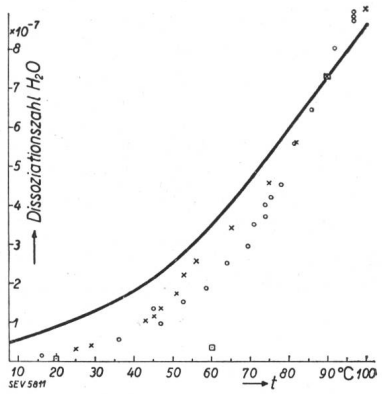

Fig. 1.

2. Es sind zahlreiche Grossgleichrichteranlagen ohne Rostschutz in Betrieb. Erst meine Veröffentlichung (ETZ, Bd. 55 [1934], S. 85) hat zum erstenmal auf den unerwarteten Zusammenhang zwischen Rostschutz und Vakuumhaltung hingewiesen.

3. Pumpenloser Betrieb von Grossgleichrichtern lässt sich nur erreichen, wenn die von mir angegebenen Massnahmen beachtet werden, nämlich:

a) ein Kühlmedium, welches keine freien Wasserstoffionen enthält, oder

b) ein Wandmaterial, welches keine Wasserstoffionen aufnimmt, oder

c) ein dichter Ueberzug der Wand mit einem Material, welches keine Wasserstoffionen aufnimmt.

Herr Gaudenzi führt aus, dass ein normaler Mutator selbst mit blanker, wasserbenetzter Aussenoberfläche von der von BBC gemessenen, sehr geringen Wasserstoffdiffusion nichts Nachteiliges merke, weil die Vakuumpumpe hoher Saugleistung das wenige eindringende H-Gas sofort wegschaffe, und erwähnt Beobachtungen an einem bei 30° C mittlerer Gefässtemperatur im Betrieb befindlichen Grossgleichrichter, dessen Restgasdruck im Zylinder in einem Jahr bei vollständig blanker Oberfläche auf die von Herrn Gaudenzi in der Tabelle angegebenen Werte hätte ansteigen müssen.

Diesen Behauptungen liegt die irrige Auffassung zugrunde, der Wasserstoff könne sich auch bei in Betrieb befindlichem Zylinder im Entladungsraum anreichern und das Vakuum verschlechtern. Ich habe bereits in meiner ersten Veröffentlichung betont:

«Diese Gasabgabe macht sich allerdings so lange nicht bemerkbar, wie der Lichtbogen brennt, dagegen wird sofort nach Abschalten des Lichtbogens eine um so grössere Gasmenge frei, je längere Zeit das Gleichrichtergefäss sich seit dem letzten Pumpen in Betrieb befunden hat.»

«Diese Diffusion von Wasserstoff ins Innere des Vakuumgefässes macht sich, solange der Lichtbogen brennt, am Vakuummeter nicht bemerkbar, indem der von den Wandungen abgegebene und zu Molekülen rekombinierte Wasserstoff durch den Lichtbogen wieder in Ionen umgewandelt und in die Metallwandungen und Elektroden zurückgetrieben wird.»

Herr Gaudenzi geht also in der von ihm angegebenen Tabelle von falschen Voraussetzungen aus. Der Wasserstoff kann sich gar nicht im Vakuum anreichern, sondern wird in die Wände und Elektroden hineingetrieben und führt im Innern der Wände und Elektroden zu Gasaufladungen von viel grösserer Konzentration als bei Austritt ins Vakuum. Die Vakuumpumpe hat also, solange der Lichtbogen brennt, keine Möglichkeit, den Wasserstoff wegzuschaffen, um so mehr, als bei gutem Vakuum und automatischer Ueberwachung des Restgasdruckes die Pumpanlage ausser Betrieb bleibt.

Aus dem letzten Abschnitt der Ausführungen von Herrn Gaudenzi muss entnommen werden, dass die Gleichrichter im praktischen Betrieb Störungen zeigen, die ein gelegentliches Ueberholen nötig machen. Ob diese Störungen auf die fehlerhafte Bedienung durch den Kunden — der dann anderseits ohne Spezialkenntnisse und ohne Spezialeinrichtungen auch grössere Ueberholungen selber soll durchführen können, wie Herr Gaudenzi annimmt — zurückzuführen seien, bleibe dahingestellt. Dagegen können folgende Gründe für Betriebsstörungen angegeben werden:

1. Korrodierende Wirkung des Kühlwassers.
2. Ueberspannungen und Rückzündungen bei Ueberlast oder bei Betrieb mit kaltem Zylinder.
3. Verschmutzen und Verschlammen des Quecksilbers infolge schlechten Vakuums.
4. Schlechtes Vakuum infolge Fehlanzeige des Hitzdrahtvakuummeters oder Versagens der Vakuumpumpe, bzw. ihrer Automatik.
5. Störungen am Hahn in der Hochvakuumleitung.
6. Rückzündungen infolge Aufladung der Elektroden mit Wasserstoff.

Herr Gaudenzi scheint der Ansicht zu sein, dass alle diese Störungsmöglichkeiten nicht mehr bestehen und höchstens «fehlerhafte Betriebsführung und Ueberwachung» Ueberholungen und damit die Vakuumpumpanlage nötig machen. Ich begnüge mich in diesem Zusammenhang, auf die zahllosen Patente hinzuweisen, zu denen sich jedes Jahr neue gesellen, welche gegen die erwähnten Störungsmöglichkeiten Abhilfen vorschlagen. Sind diese Störungsmöglichkeiten vorhanden und sind die Gleichrichter gegen Fehler in der Wartung empfindlich, so kann man allerdings nicht riskieren, die Vakuumpumpe wegzulassen. Es gibt aber einen Weg, die sämtlichen angeführten Störungen mit Sicherheit auszuschliessen und Apparate herzustellen, welche ausser dem alljährlich einmaligen Schmieren des Ventilatormotors keine Wartung benötigen. Diesen Weg habe ich mit meiner Gleichrichterkonstruktion eingeschlagen, nämlich die von den Glühlampen und den Radioröhren her bekannte Vakuumtechnik auf die grossen Leistungen zu übertragen. Glühlampen und Radioröhren waren ursprünglich sehr unzuverlässige und launische Objekte, und erst, als es gelang, vollkommen dichte Stromeinführungen herzustellen und hochwertige Evakuierungsmethoden anzuwenden, ergaben sich die modernen, in ihren Leistungen gleichmässigen Fabrikate, denen z. B. im Sicherheits- und Nachrichtenwesen verantwortungsvolle Aufgaben anvertraut werden. Man muss erwarten, dass die Anwendung eben dieser Herstellungsmethoden auf dem Gebiete der Grossgleichrichter entsprechende Fortschritte zeitigt.

Zum Schluss noch folgendes: Ich teile vorläufig auch die Bedenken von Herrn Gaudenzi, ganz grosse Gleichrichter ohne Vakuumpumpe herzustellen. Aber vielleicht sind an Stelle davon zwei oder drei kleinere pumpenlose Gross-

gleichrichter einfacher, zuverlässiger und auch billiger als ein einziger Mammutzylinder mit 24 Anoden und zwei Vakuumpumpanlagen. Es gibt sicher viele Betriebsleiter, welche einem einzigen derartigen Zylinder mehrere pumpenlose Grossgleichrichter kleinerer Leistung vorziehen, ähnlich wie es heute Kunden gibt, die gegenüber einem Grossgleichrichter mit Vakuumpumpe mehrere Glaskolben kleinerer Leistung bevorzugen. Dass bei einer derartigen Unterteilung der ganz grossen Leistungen, die übrigens seit einigen Jahren auch für Gleichrichter mit Vakuumpumpe eingesetzt hat, die Bedenken des Herrn Gaudenzi bezüglich Lagerhaltung von Ersatzkolben verschwinden, ist selbstverständlich.

Referat

von

Herrn Dr. Ing. *Alfred Siemens*, Ingenieur der Siemens-Schuckert-Werke, Berlin,

über

Fortschritte und Erfahrungen im Stromrichterbau.[1])

Es wird besonders die konstruktive und technologische Seite des Stromrichterbaus unter Berücksichtigung der verschiedenen Typen behandelt, wobei die wärmetechnischen und dielektrischen Fragen im Vordergrund stehen. Es wird auf die Abgrenzung des Anwendungsgebietes von Eisen- und Glas-Stromrichtern eingegangen.

L'auteur examine surtout le côté constructif et technologique des redresseurs et onduleurs, en tenant compte des différents types; les questions touchant à l'échauffement et à la rigidité diélectrique occupent une place prépondérante dans cet exposé, qui se termine par une délimitation du champ d'application des redresseurs à cuve métallique d'une part et de ceux à ampoule de verre d'autre part.

In einem kurzen Ueberblick lassen sich die Erfahrungen und Fortschritte im Stromrichterbau nach folgenden Gesichtspunkten zusammenfassen:

Man beschäftigte sich in den letzten Jahren zunächst damit, die Steuerfähigkeit der Stromrichter jeder Art zu untersuchen, wobei die Schwierigkeiten erwartungsgemäss mit der Grösse der zu steuernden Apparate zunahmen. Anschliessend hieran waren die Hochstromapparate für die hohen Beanspruchungen bei gleichmässiger, insbesondere chemischer Dauerlast durchzubilden, deren Folgeerscheinungen in ihrer Eigenart kennzeichnend für die Vakuumtechnik sind. Es handelt sich im wesentlichen um Werkstoff- und Fertigungsfragen, die hierbei auftreten und auf deren Verfolgung und Anwendung zum guten Teil die Fortschritte im Stromrichterbau beruhen. Weiter erforderten Aufgaben, die sich durch die Ausbreitung von Senderbetrieben ergaben, eine Anpassung an dieses recht ausgedehnte Sondergebiet, und man baute Hochspannungsstromrichter mit Quecksilber- und Glühkathoden, bei denen auch wieder die Beherrschung des Werkstoffes neben den Erkenntnissen der Gasentladungstechnik zum Erfolg führte. Eine besondere Beachtung fand schliesslich noch das Gebiet der mittleren Ströme, vor allem das Grenzgebiet zwischen Eisen- und Glasstromrichtern, in dem man sich Klarheit über die besten Ausführungsformen verschaffte, und schliesslich die Arbeiten am pumpenlosen Eisenstromrichter, bei dem wieder die Werkstoff-Fragen im Vordergrund stehen. Der augenblickliche Entwicklungsstand lässt sich dahingehend kennzeichnen, dass man auf Grund von praktischen Erfahrungen und von wissenschaftlichen Untersuchungen sich einen solchen Ueberblick über die Grundgesetze geschaffen hat, dass man einmal ein gewisses Gefühl für neue Formgebungsmöglichkeiten mit dem Ziel höherer Ausnutzung bekommen hat, und dass man zum andern durch eingehende Beschäftigung mit den Werkstoff-Fragen den bei höherer Ausnutzung auftretenden höheren Beanspruchungen gewachsen ist.

Im einzelnen seien nun einige Beispiele für die Arbeiten angegeben: Die Untersuchung der Steuerfähigkeit läuft im wesentlichen darauf hinaus, einen Maßstab für die Wirksamkeit der Steuergitter bei hohen Beanspruchungen schon während der Prüffeldprobe zu bekommen. Neben Dauerversuchen mit niedriger Aussteuerung, die für das Netzhochfahren wichtig sind, geben Kurzschlussabschaltversuche einen guten Aufschluss. Trotz der bei Kurzschlüssen auftretenden starken Ionisierung dürfen

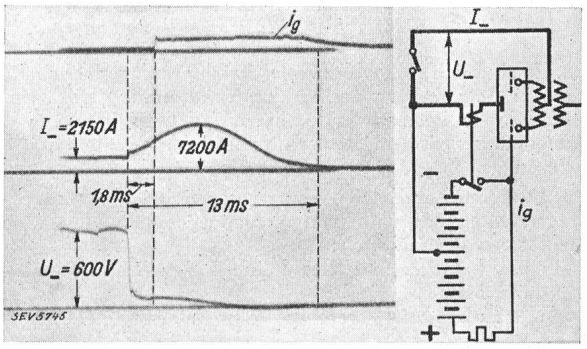

Fig. 1.
Stromrichter, 5000 A, 600 V.
Oszillogramm einer Kurzschlussabschaltung.

die negativ beaufschlagten Gitter eine Zündung, bzw. Wiederzündung der einzelnen Anoden nicht zulassen. Die negative Spannung wird abhängig vom Kurzschlußstrom in bekannter Weise über geeignet bemessene Vorwiderstände mit Schnellrelais an die Gitter gelegt. In Fig. 1 ist ein Oszillogramm einer Kurzschlussabschaltung gezeigt, bei der die gerade brennende Anode ausbrennt und weitere Anoden nicht zünden, so dass nur ein geringer Anstieg des Kurzschlußstromes stattfindet. Die Gitterform, mit der man einen ähnlich kurzen Verlauf am sichersten erreicht, ist demnach als die günstigste zu bezeichnen. Die gesamte Apparatur von tech-

[1]) Auf ausdrücklichen Wunsch des Autors «Stromrichter» statt «Mutator», siehe Einleitung, Seite 585.