

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 33 (1942)

**Heft:** 8

**Artikel:** Quecksilberdampf-Mutatoren mit Stahlgefäß und Edelgasfüllung

**Autor:** Gerecke, E.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061642>

#### **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:** 17.02.2026

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

## Quecksilberdampf-Mutatoren mit Stahlgefäß und Edelgasfüllung

Referat, gehalten an der Kurzvorträgeveranstaltung des SEV vom 21. Juni 1941, in Zürich.

Von E. Gerecke, Genf.

621.314.65.032.18

Die konstruktive Durchbildung pumpenloser Quecksilberdampf-Mutatoren mit Edelgasfüllung sowie die Beseitigung der mittel/frequenten Ueberspannungen durch Edelgase werden geschildert.

L'auteur décrit la construction des mutateurs à vapeur de mercure et à gaz rare sans pompes à vide et explique comment on est arrivé à supprimer les surtensions dangereuses par une atmosphère de gaz rare.

In Fig. 1 ist ein pumpenloser Quecksilberdampf-Mutator, Bauart Sécheron, dargestellt. Das stählerne Vakuumgefäß 3 trägt in seinem untern Teil sämtliche Elektrodeneinführungen, also die Einführungen für die Hauptanoden, für die Kathode, die Zündung und Erregung. Dadurch wird ein kleiner Lichtbogenweg und ein niedriger Spannungsabfall erzielt. Die Anoden befinden sich in

das Aeussere mit einem getränkten Stoff umkleidet, auf welchem sich Poren und Risse durch einen Farbumschlag abzeichnen. Die Empfindlichkeit dieses Verfahrens ist bis heute nicht übertroffen worden. Es können so kleine Poren aufgefunden werden, dass ein davon herührender Druckanstieg im Mutatorgefäß in einem Jahr nicht nachgewiesen werden kann. Zwecks Entgasung aller Teile

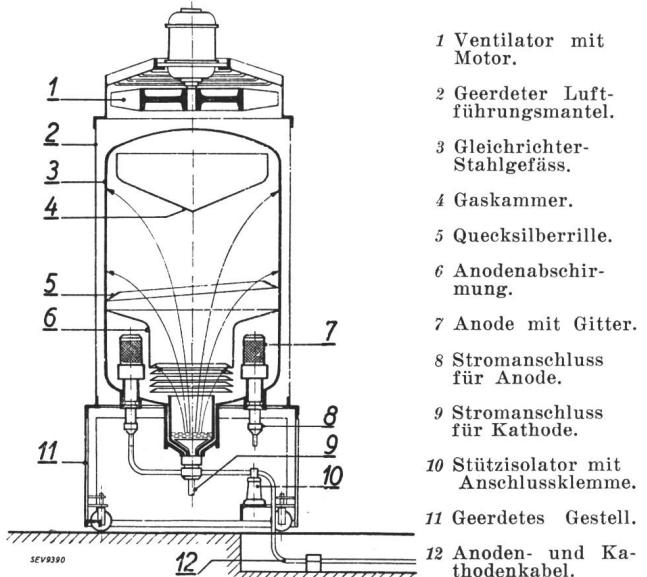


Fig. 1.

Pumpenloser Quecksilberdampfmutator.

der sogenannten Lichtbogenkammer 6, in welcher durch geeignete Schirme Quecksilberspritzer von den Anoden ferngehalten werden. Der von der Kathode aufsteigende Dampf kondensiert an den gekühlten Wänden 3. Das Kondensat läuft in der Rille 5 zusammen und wird durch ein Rohr zur Kathode zurückgeleitet. Im obern Teil befindet sich die Gaskammer. In dieser ist während des Betriebes Edelgas aufgespeichert. Bei kleiner Belastung hingegen füllt das Edelgas den ganzen Zylinder aus und ersetzt so den dann fehlenden Quecksilberdampf.

Die Kühlung erfolgt durch einen von unten nach oben gehenden Luftstrom, der Axial-Ventilator sitzt oben. Der Luftführungs Mantel ist geerdet und die ganze Konstruktion ist berührungssicher, indem die Anoden- und Kathodenanschlüsse in den Raum unterhalb des Kessels verlegt sind. Das Mutatorgestell ist fahrbar.

Die Gefässer sind vollkommen verschweisst und werden mit einem besondern Prüfverfahren auf Dichtigkeit geprüft. Hierzu wird das Innere des Gefässes mit Ammoniak unter Druck gefüllt und

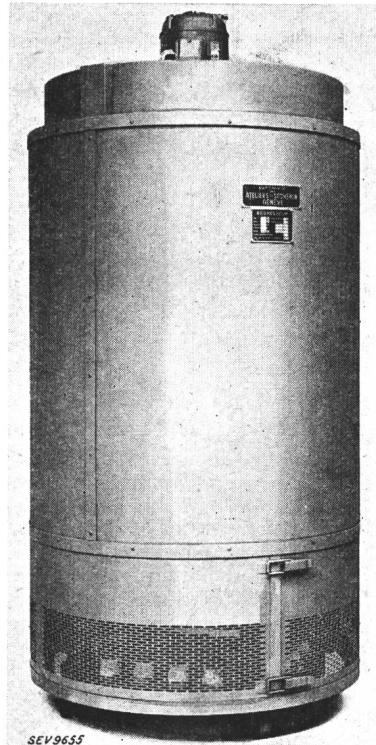


Fig. 2.

Ansicht des pumpenlosen Mutators nach Fig. 1.

werden die Gefässer auf 400...500 ° C unter Vakuum erwärmt und dabei die an den Wänden freiwerdenden Gase abgepumpt. Die aus Grafit bestehenden Anoden und Gitter werden durch eine anschliessende Stromformation bei einer Temperatur ent gast, die viele hundert Grad über deren Betriebstemperatur liegt. Bei diesen vollkommen dichten und gut entgasten Gefässen werden evtl. im Betrieb frei werdende Spuren von Gasen durch die enorm starke gasaufzehrende Wirkung des Lichtbogens chemisch mit der Eisenwand gebunden. In Zürich wurde seinerzeit festgestellt, dass aus dem Kühlwasser der Mutatoren Wasserstoff durch den Eisenmantel in das Vakuum übertritt, weshalb dann der Uebergang zur Luftkühlung vollzogen wurde. Wenn aus irgendeinem Grunde Wasserstoff im Innern des Gefässes frei wird, so wird

dieser durch den Lichtbogen ionisiert und alsdann durch die Eisenwandung in die Atmosphäre befördert.

Die Elektrodeneinführungen, die die Formations-temperatur von 400...500° C aushalten müssen, bestehen aus einem keramischen Rohr, Pos. 1 von Fig. 3, auf welches zwei Metallkragen 2 und 3 vakuumdicht aufgeschmolzen werden. Der äussere

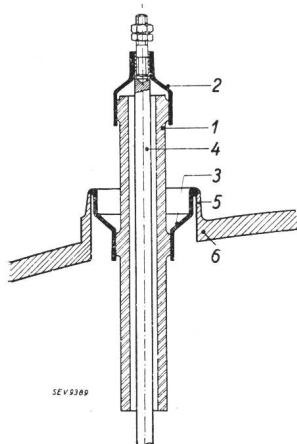


Fig. 3.

## Elektrodeneinführung.

- 1 Keramisches Rohr.
- 2, 3 Kappen aus legiertem Stahl.
- 4 Strombolzen.
- 5 Schweisskragen.
- 6 Gleichrichtergefäß.

Kragen wird mit einem Stutzen des Vakuumkessels, die Kappe mit dem stromführenden Leiter verschweisst. Von Wichtigkeit ist die Verbindung der Kappen mit dem keramischen Rohr, welche durch eine sehr dünne Glasschicht erzielt wird. Das keramische Rohr wird mit den zwei Kappen in der richtigen Lage in einem elektrischen Ofen erwärmt, wobei dann das zwischen beide eingelegte Glas schmilzt und den engen Zwischenraum infolge der Kapillarkräfte ausfüllt. Nach dem Abkühlen bilden die drei Stoffe Keramik, Glas und Metall eine innige und vollkommen dichte Verbindung. Wesentlich sind die Ausdehnungszahlen der drei Stoffe. Die Ausdehnung des Metalls wird etwas grösser als diejenige der Keramik gewählt, so dass nach dem Abkühlen das Metall auf dem Rohr aufgeschrumpft ist. Dadurch wird erreicht, dass selbst bei raschem Erwärmen im Betrieb, wobei im allgemeinen die Metallteile schneller warm werden als die Isolatoren, Zugspannungen in der Keramik vermieden werden. Dies ist deshalb erwünscht, weil die Zugfestigkeit keramischer Massen etwa 10...20-mal kleiner ist als deren Druckfestigkeit. Damit nun durch das Aufschrumpfen im Keramikrohr keine wesentlichen Zugspannungen entstehen können, ist dieses an den Verschmelzungsstellen mit Wulsten versehen, welche die Druckkräfte aufnehmen.

Die Temperaturwechselbeständigkeit derartiger Verbindungen von Keramik und Metall wurde durch vielfältiges Erwärmen auf 450° C und Abkühlen auf 20°, selbst bis auf -40° geprüft. Die anschliessend mit dem Ammoniakverfahren geprüften Stücke erwiesen sich als vollkommen dicht. Das Haften des Metalls auf der Keramik wurde dadurch untersucht, dass die Metallkappen unter einer Presse in axialer Richtung abgezogen wurden. Rechnet man die gemessenen Kräfte auf die Flächeneinheit der Verschmelzungs-

fläche um, so findet man Beanspruchungen, die gleich der Schubfestigkeit des Glases sind. Man muss also direkt das Glas abscheren.

Eine wesentliche Neuerung der pumpenlosen Mutatoren mit Stahlgefassen ist die Edelgasfüllung, die erst durch das Wegfallen der Pumpe möglich wurde und die eine neue, unerwartete Rechtfertigung für den pumpenlosen Mutator darstellt.

Wodurch ist der Quecksilberdampfdruck in einem Gleichrichtergefäß bestimmt? Bei kleiner Last durch die kälteste Stelle der Wandung; er entspricht dann deren Sättigungsdruck. Bei Belastung ist dies nicht mehr der Fall, der Druck im Gefäß muss über den Sättigungsdruck der Wand ansteigen, damit ein Transport von Quecksilber vom Dampfraum zur Wand eintreten kann. Der Dampfdruck kann dann auf das Doppelte bis Dreifache des Wandsättigungsdruckes ansteigen. Nun nimmt der Sättigungsdruck sehr rasch mit der Temperatur ab, wie einige Punkte aus der Dampfspannungskurve illustrieren mögen:

46° C	$p = 10$	mTor
17° C	$p = 1$	mTor
- 7° C	$p = 0,1$	mTor
-27° C	$p = 0,01$	mTor
1 mTor = 1 Millitor = 0,001 mm Hg-Säule.		

Es hat sich nun ergeben, dass, entgegen dem uns gewohnten Verhalten der Metalle, im Vakuum durch einen vorgegebenen Querschnitt bei einem gegebenen Druck nur ein bestimmter Strom, der sog. Grenzstrom, durchtreten kann. Der Grenzstrom wächst mit dem Druck. Ein grösserer Strom als der Grenzstrom kann nicht fliessen; statt dessen treten ein erhöhter Spannungsabfall sowie mittelfrequente Schwingungen auf. Der Mutator inklusive Transformator arbeitet dann als Schwingungs-erzeuger. Die Ueberspannungen können bis 40 kV betragen, weshalb man bei Mutatoranlagen an jede Anodenleitung einen Ueberspannungsableiter anschliesst. Das Oszillogramm des Lichtbogen-abfallen zwischen Anode und Kathode zeigt Schwingungen mit Frequenzen von 5 kHz an aufwärts. Mit diesen Ueberspannungen stehen die Eisblumen in den Hülsen der Eisengleichrichter, Schmelzperlen an Eisenanoden und das Abblättern von Glas im Innern der Glasarme von Glas-Mutatoren im Zusammenhang. Diese Ueberspannungen treten bei kalten Gefässen bereits bei weit unter der Nennlast liegenden Strömen auf, bei warmen Gefässen bei Ueberlast und im Kurzschluss.

Es ist einleuchtend, dass das Einfüllen von Edelgas von genügend hohem Druck die geschilderten Ueberspannungserscheinungen zum Verschwinden bringt. Daher ist es nun möglich, kalte Gleichrichter direkt mit Vollast und Ueberlast einzuschalten. Die im CEI-Entwurf 1939 vorgesehenen Ueberlasten gelten nur für den betriebswarmen Zustand des Gleichrichters mit Rücksicht darauf, dass ein genügend hoher Dampfdruck und damit eine ausreichende Leitfähigkeit die Voraussetzung hiefür sind. Die edelgasgefüllten Gleichrichter können diese Ueberlastungen auch vom kalten Zustand aus bewältigen.

Den Abschluss in dieser Entwicklungsreihe bildet der edelgasgefüllte Freiluft-Mutator.

### Diskussion

**Der Vorsitzende:** Ich möchte Herrn Gerecke für sein interessantes Referat danken. Es ist gar kein Zweifel, dass die Herren, um zu den schönen Resultaten zu kommen, die sie erreicht haben, ganz aussergewöhnliche Anstrengungen machen mussten und dass es einen starken persönlichen Einsatz brauchte, nicht zuletzt von Herrn Dr. Dällenbach und Herrn Gerecke. Wir können die Herren zu dem Resultat, das sie nach vieljähriger, zäher und mühevoller Arbeit erreicht haben, beglückwünschen. Ich möchte das ganz besonders von meiner Seite aus betonen, denn ich kenne das Gebiet sehr gut, und ich weiss daher die erreichten Resultate wohl zu würdigen.

Es besteht gar kein Zweifel, dass, wenn es möglich ist, Gleichrichter herzustellen mit Edelgasfüllung und absoluter Dichtigkeit, wir einen ganzen Schritt weitergekommen sind. Es ist ja vielleicht schwierig, auf diesem Wege weiterzuschreiten, wenn man in die ganz grossen Leistungen, in die ganz hohen Spannungen hineinkommt, wie die Zukunft es verlangt; aber ich bin überzeugt, dass man auch hier die Lösung finden wird, wenn man mit der Zähigkeit dahintergeht, die diese Herren aufgebracht haben.

Ich möchte Sie fragen, ob irgend jemand zum Vortrag von Herrn Gerecke Bemerkungen machen will. Herrn Gerecke möchte ich für seine Arbeit nochmals herzlich danken.

**Herr Ch. Ehrensperger, A.G. Brown, Boveri & Cie, Baden:** Vor allem möchte ich Herrn Gerecke und seine Mitarbeiter zu ihren Forschungen und den dabei erzielten Ergebnissen beglückwünschen. Wir waren in der Frage pumpenloser Mutatoren anfänglich eher etwas zurückhaltend. Wer aber in einer neuen Sache mitreden will, muss selber auf diesem Gebiete gearbeitet haben. Wir sind heute auf Grund unserer eigenen Erfahrung zur Ueberzeugung gekommen, dass das Weglassen der Pumpe, wenigstens für kleinere Einheiten, einen wirtschaftlichen Vorteil bedeutet. Für die nächste Zukunft ist es auch möglich, für höhere Stromstärken, wenn man die Mutatoren in einanodige Mutatoren aufteilt, pumpenlose Einheiten zu verwenden. Wir haben Versuche mit pumpenlosen Mutatoren durchgeführt und dabei unter anderem die Frage der Gasfüllung untersucht. Unsere Versuchsergebnisse haben die Resultate von Herrn Gerecke vollkommen bestätigt. In der Tat kann man durch die Gasfüllung Ueberspannungen in kaltem Betriebszustand vermeiden. Der Druck des Edelgases darf aber nicht zu hoch gewählt werden, sonst steigt die Rückzündungsgefahr. Die Bedeutung der Ueberspannungerscheinungen im kalten Zustand darf man nicht überschätzen. Es ist auch nicht notwendig, bei allen Mutatoren Ueberspannungsableiter anzu-

Entscheidend für die praktische Verwendbarkeit einer neuen Konstruktion ist ihre Bewährung im praktischen Betrieb. Fig. 1 zeigt das Belastungsdiagramm eines pumpenlosen Mutators, den wir in einem Bahnunterwerk aufgestellt haben. Man erkennt, wie leicht die Belastungsspitzen von diesem Mutator aufgenommen werden. Auf Grund dieser günstigen Betriebsergebnisse sind wir zur serienmässigen Herstellung von pumpenlosen Mutatoren übergegangen. Fig. 2 zeigt den 500-A-Typ L 06. Von dieser Serie haben wir bereits über 10 Stück verkauft.

Fig. 3 zeigt einen pumpenlosen Mutator für 1200 A, Typ L 36. Zum Vergleich zeigt Fig. 4 einen luftgekühlten Mutator mit Pumpe. Es ist dies der Typ AL 56 für 3000 A. Man erkennt den Ventilator für künstlichen Luftzug zur Kühlung des Mutators, die luft-

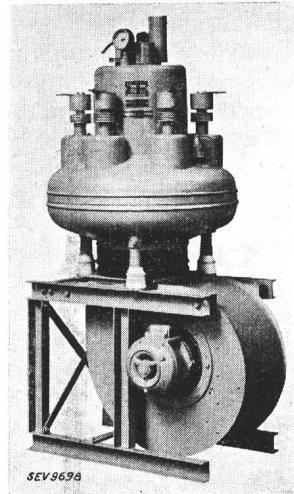


Fig. 2.  
Pumpenloser Mutator  
Typ L 06, für 500 A.

gekühlte Hochpumpe und die rotierende Vorvakuumpumpe. Wie Sie selber vergleichen können, zeigt das Verhältnis zwischen Abmessungen der Pumpe und den Abmessungen der ganzen Anlage, dass die Pumpe nur ein Nebenapparat ist. Ich glaube, dass für so grosse Einheiten der Fortfall der Pumpe nicht dieselbe Bedeutung hat, wie bei kleinen Einheiten. Es ist ferner zu beachten, dass bei allfälligen kleinen Reparaturen ein pumpenloser Mutator wegen des komplizierten Ausheizverfahrens nicht ohne weiteres auf der

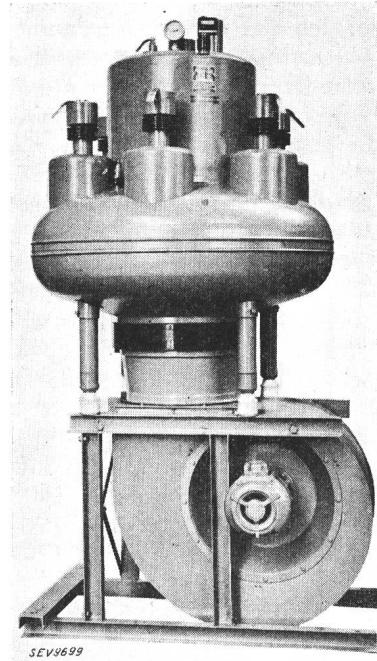


Fig. 3.  
Pumpenloser Mutator Typ L 36, für 1200 A.

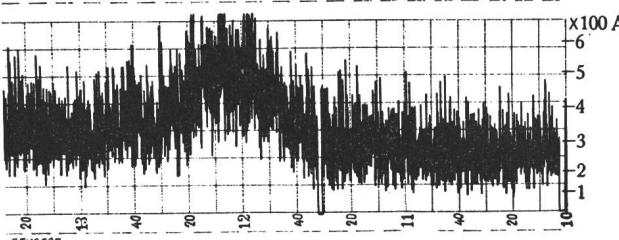


Fig. 1.  
Belastungsdiagramm eines pumpenlosen Mutators  
im Bahnbetrieb.

bringen. Auf Grund unserer grossen Erfahrung im Bau von Mutatoren — wir haben allein in unseren Badener Werkstätten im Mutatorgesäft bereits einen Umsatz von über 100 Millionen Fr. erreicht — kann ich Ihnen mitteilen, dass wir nur in ganz seltenen Fällen Störungen im kalten Zustand festgestellt haben, die auf Ueberspannungen zurückzuführen sind.

Anlage revidiert werden kann. Zur Reparatur muss ein pumpenloser Mutator in die Fabrik zurückgeschickt werden. Der Mutator mit Pumpe kann dagegen auf der Anlage geöffnet, revidiert, formiert und wieder in Betrieb gesetzt werden, ein Vorteil, der sicher nicht unterschätzt werden darf.

Wir sind zur Erkenntnis gekommen, dass für kleine Leistungen pumpenlose Mutatoren wirtschaftlich überlegen

sind. Für grössere Leistungen, bei welchen der Anschaffungspreis der Pumpe ohnehin nicht mehr stark ins Gewicht fällt, überwiegen die Vorteile des auf der Anlage leicht revisierbaren Mutators mit Pumpe.

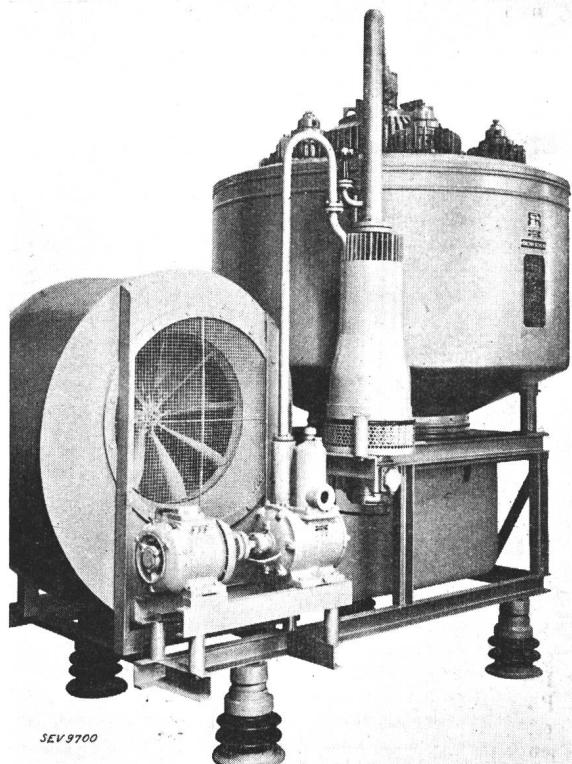


Fig. 4.

Luftgekühlter Mutator mit Pumpe, Typ AL 56, für 3000 A.

**Der Vorsitzende:** Ich danke Herrn Ehrensperger für seinen Diskussionsbeitrag. Herr Ehrensperger hätte in seinen Ausführungen vielleicht noch erwähnen können, warum Brown Boveri der Bedeutung des pumpenlosen Zylinders nicht so viel Aufmerksamkeit geschenkt hat, wie dies diese Aufgabe verdient. Der Grund liegt darin, dass Brown Boveri seit längerer Zeit mit besonderer Zähigkeit an der Entwicklung der nötigen Mutatoreinheiten von ca. 20 000...25 000 kW bei ca. 50 000 V für den Energietransport auf ganz grosse Distanzen arbeitet.

**Herr E. Kern, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden:** Ich möchte an Herrn Gerecke die Frage richten, ob solche Mutatoren mit Edelgasfüllung für Spannungen über 1000 V, für 1500 und 3000 V verwendbar sind und ob solche im Betrieb sind.

**Herr E. Gerecke, Referent:** Es ist durchaus möglich, mit der Spannung hinaufzugehen. Wir haben zunächst, wie das im Gleichrichterbau üblich ist, mit den kleineren Spannungen begonnen. Will man weiter hinaufgehen, so muss man sehen, wie die Gitter zu dimensionieren sind. Wir haben heute noch keine Anlage mit 1500 V im Betrieb, wir sind zunächst auf 600...900 V gegangen, was uns vorerst genügt hat. Wir sehen aber durchaus die Möglichkeit, zu höheren Spannungen vorzudringen.

**Herr Prof. Dr. K. Kuhlmann:** Die wissenschaftliche Leistung, die Herrn Gereckes Arbeit darstellt, steht ganz ausser allem Zweifel. Anderseits erhielt man aus den Ausführungen von Herrn Ehrensperger den Eindruck, dass über gewisse Leistungsgrenzen hinaus der pumpenlose Mutator nicht mehr angewendet werden soll. Kann uns Herr Gerecke hierüber Näheres aussagen?

**Herr E. Gerecke, Referent:** Es liegt in der Natur der Sache begründet, dass man pumpenlose Gleichrichter zunächst

für kleinere Leistungen gebaut hat und allmählich zu grösseren Leistungen fortschreitet. Die Entwicklung ist ja durchaus noch nicht abgeschlossen. Es zeichnen sich auch schon ganz bestimmte Fälle ab, wo man auch bei grossen Leistungen vom Edelgas Verwendung machen wird, z. B. bei den Freiluftanlagen und den damit verwandten Lokomotiven. Man kann sich vorstellen, dass man eine grössere Anzahl einanderiger Gefässer auf die Lokomotive setzt, welche die Umformung und einen Teil der Steuerung übernehmen<sup>1)</sup>. Dabei ist es natürlich sehr wichtig, dass man im kalten Zustand einschalten kann.

**Der Vorsitzende:** Es besteht gar kein Zweifel, dass die Füllung mit Edelgas, die nur beim pumpenlosen Zylinder möglich ist, einen sehr grossen Vorteil bedeutet, nicht zuletzt für das überspannungsfreie Einschalten bei sehr tiefen Temperaturen. Das Beispiel der Gleichrichterlokomotive, das Herr Gerecke dafür angeführt hat, scheint mir allerdings nicht sehr glücklich gewählt, da die Entwicklung dieser Lokomotivart nicht sehr grosse Aussichten haben dürfte. Diese Lokomotivart bedingt eine mehrfache Umformung der Energie auf der Lokomotive selbst und für die maximale Leistung derselben. Demgegenüber hat die reine Gleichstromlokomotive, gespiesen mit Gleichstrom vom Mutator-Unterwerk, den grossen Vorteil, dass die Umformung in einem Unterwerk stattfinden kann, das nur einem Bruchteil der Summenleistung aller Lokomotiven entspricht. Ich bin aber mit Herrn Gerecke ganz einverstanden, dass es grundsätzlich sehr viele Fälle gibt, wo das störungsfreie Einschalten im ganz kalten Zustand und sogar bei sehr tiefen Temperaturen ein unbedingtes Erfordernis ist.

**Herr Prof. M. Landolt, Technikum Winterthur:** Soweit ich orientiert bin, setzt die Beimischung von Edelgasen die Rückzündungsgrenze herab. Wie hat man diese Schwierigkeit gemeistert?

**Herr E. Gerecke, Referent:** Es gibt eine ganze Reihe von Edelgasen: Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon. Um nun die Auswahl richtig treffen zu können, haben wir eine grosse Reihe von Untersuchungen durchgeführt, und zwar bezüglich:

des Lichtbogenabfalles bei Vorwärtsstrom,  
der Spannungsfestigkeit während der Sperrperiode,  
der Grösse des nur Bruchteile von mA betragenden normalen  
Rückstromes (Entionisierungs- und Glimmstromes),  
und einiger weiterer hieher gehöriger Fragen.

Wir haben nun gefunden, dass es Edelgase gibt, die dem Quecksilberdampf sehr nahe kommen. Weiter ist die richtige Dimensionierung der Gitter und die Wahl des Fülldruckes von grosser Bedeutung.

**Herr Ch. Ehrensperger, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden:** Die Vergrösserung der Rückzündungsgefahr hängt mit dem Druck zusammen, mit welchem man das Edelgas einfüllt. Wenn man sehr viel Edelgas einfüllt, können Rückzündungen auftreten; bei wenig Edelgas wird die Rückzündungssicherheit nicht beeinträchtigt, und trotzdem verschwinden die Ueberspannungen.

**Schlusswort des Referenten:** Der pumpenlose Gleichrichter mit Stahlgefäß ist im Begriffe, ein Konstruktions-

<sup>1)</sup> Die Stromrichterlokomotive entstand aus dem Wunsche, zur Bahnspeisung das Landesnetz von 50 Hz zu verwenden. Grossversuche mit Stromrichterlokomotiven wurden bei der Höllentalbahn durchgeführt, wo dem Fahrdräht eine Spannung von 16...23 kV bei 50 Hz zugeführt wird und diese vermittelte Gleichrichter als Gleichspannung den Motoren zugeführt wird. Eine ähnliche Lokomotive wurde auch in Russland gebaut. Ein weiterer Vorschlag geht dahin, dem Fahrdräht die Energie bei einer Gleichspannung von 15 kV zuzuführen und diese vermittelte Mutatoren, insbesondere als niedriggespannten Gleichstrom, den Motoren zuzuführen. Diese Fragen sind behandelt in:

1. Neue Anwendungen des gesteuerten Grossgleichrichters. Erwin Kern, Bull. SEV 1931, S. 533, insbesondere die Zeichnung Fig. 17 der Versuchslokomotive BBC für 40...60 Hz.
2. Elektrische Ausrüstung der BBC-Gleichrichterlokomotive der Höllentalbahn. Herman Hutt, Elektrische Bahnen 1937, S. 68...76.
3. Die elektrische Ausrüstung der AEG-Stromrichterlokomotive für die Höllentalbahn. Elektr. Bahnen 1937, S. 59...68.
4. Lokomotivsysteme für hochgespannten Gleichstrom (15 kV). M. Stöhr, E. u. M. 1940, S. 389 und 396.

element der Starkstromtechnik zu werden. Es scheint heute durchaus möglich, auch grosse Leistungen (Elektrochemie) aus solchen Gefässen, insbesondere aus Einanodengefässen, aufzubauen. Diese Gefässen eignen sich wegen ihrer kleinen Zahl von Typen zur Reihenherstellung. Das Edelgas bringt noch besondere Vorteile. Physikalisch gesprochen, können bei jeder Gefässtemperatur, also bei kalten und warmen Zylindern, Ueberspannungen auftreten, insofern man den Strom

genügend steigert. Man muss daher die Dimensionierung so vornehmen, dass im kalten Zustand beim Kurzschluss keine Ueberspannungen auftreten, dann ist auch für alle andern Temperaturen vorgesorgt. Daraus folgt ein bestimmter minimaler Fülldruck.

Der **Vorsitzende** verdankt die Beiträge der Herren Diskussionsredner.

## Wirtschaftliche Mitteilungen — Communications de nature économique

### Energieversorgung und Kraftwerksbau

621.311(494)

*Vorbemerkung: An der diesjährigen Basler Mustermesse zeigt die «Elektrowirtschaft» im Einvernehmen mit der Arbeitsbeschaffungskommission des SEV und VSE eine reliefartige Darstellung der Bedeutung des Baues neuer Kraftwerke für unser Land. Das Folgende ist der Kommentar dazu, der in der Zeitschrift der Basler Mustermesse erschien und am Messestand abgegeben wird.*

Die heutige Zeit bringt jedem von uns die Bedeutung der Energieversorgung eindringlich zum Bewusstsein. Vor dem Krieg war es selbstverständlich, dass man Energie haben konnte, soviel man wollte und brauchte. Heute sind die Kohlen — mengenmässig der Hauptträger der Energie — rar und sehr teuer; Oel und Benzin ist noch schwieriger zu beschaffen und hat noch viel mehr aufgeschlagen; Brennholz wird keines eingeführt, und die Verteilung der einheimischen Produktion muss sorgfältig gelenkt werden. So stürzt sich das ganze Land auf die jüngste Energieform, die «unversiegliche» Elektrizität. Es ist deshalb kein Wunder, dass im vergangenen halben Jahr auch diese knapp wurde, um so mehr, als ein kalter, trockener Winter die Wasserführung der Flüsse in kritischen Wochen auf ein Minimum brachte.

Da der Bau von Kraftwerken drei bis vier Jahre dauert, vom Augenblick an, da alle Studien und die nötigen komplizierten Verhandlungen öffentlichrechtlicher und privatrechtlicher Natur abgeschlossen sind, und überdies sehr viel Geld kostet, ist es ein Ding der Unmöglichkeit, derart einmalige, sprunghafte Bedarfssteigerungen wie die des letzten Jahres restlos zu befriedigen.

Es wurde jetzt aber auch klar, was Energiemangel bedeutet: Er bedeutet nicht nur frieren, er bedeutet auch — was noch viel schlimmer ist — Arbeitslosigkeit. Ohne Kohle, ohne Oel, ohne Elektrizität stehen Fabriken und Gewerbebetriebe still, genau so, wie sie stillstehen, wenn Eisen und Baumwolle fehlen. Er bedeutet weiter Einschränkung des modernen Verkehrs, der auf Kohle, Oel und Elektrizität angewiesen ist, also Schwierigkeit der Güter-, besonders der Nahrungsmittelverteilung. Er bedeutet aber auch eine allgemeine Schwächung der Ernährungsgrundlage, weil ohne Energie Lebensmittel fast nicht konserviert werden können; ohne Energie kann man nicht kühlen, nicht dören, nicht sterilisieren. Energiemangel hat also Arbeitslosigkeit und im Winter Frieren und Hungern zur Folge; er erschüttert damit das ganze Land. Extremer Energiemangel ist ein Landesunglück.

Was kann man tun, um diese Gefahr abzuwenden? Die Behörden tun alles, um Kohle und Erdöl zu beschaffen. Wir bekommen davon aber nur soviel, als das Ausland uns gibt und geben kann, und zu Preisen, auf die wir praktisch wenig Einfluss haben. Die Kohlen- und Oelversorgung wird wohl auf Jahre hinaus ungenügend sein. Brennholz haben wir in unseren Wäldern sehr viel. Aber wir können die Wälder nicht unbeschränkt abholzen und als Brennholz benützen; ferner ist Holz für viele industrielle Zwecke als Energieträger nicht brauchbar. Als einzige wichtige Energiequelle bleibt uns somit die Wasserkraft. Es hängt allein von uns ab, ob wir sie weiter erschliessen wollen.

Im letzten Weltkrieg wurde die Energieversorgung des Landes zum erstenmal zu einem schwierigen Problem. Aus Kohlenmangel wurde der Bahnbetrieb in einem Masse eingeschränkt, das heute unvorstellbar ist; an Sonntagen standen die Bahnen überhaupt still. So brachte uns der erste

Weltkrieg die Elektrifizierung der Bahnen. Würde man heute den Bahnbetrieb im gleichen Umfange mit Dampf führen, so würde dieser 1,2 Millionen Tonnen Kohle pro Jahr erfordern. Was das heisst, wird klar, wenn man bedenkt, dass dies mehr als ein Drittel unserer gesamten jährlichen Kohleneinfuhr in Friedenszeiten ist. Ohne Elektrifizierung müsste unser Verkehr wahrscheinlich noch viel mehr eingeschränkt werden als im letzten Weltkrieg. Der heutige elektrische Bahnbetrieb ist ein grossartiger Zeuge der Leistungsfähigkeit der Elektrizität und unserer Industrie und der Bedeutung der Wasserkraft für unser Land, das weder Kohle noch Erdöl besitzt. Wir verdanken ihn der Initiative von weitsichtigen, tatkräftigen und furchtlosen Männern, die das grosse Werk gegen alle Widerstände durchgesetzt haben.

Wird uns die Not des zweiten Weltkrieges wieder eine so grosszügige, bedeutungsvolle Tat zur tiefgreifenden Verbesserung der Energieversorgung bringen?

Als im Frühling 1940 die wirtschaftlichen Grundlagen unseres Landes erschüttert wurden, prüften der Schweizerische Elektrotechnische Verein und der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke die Beiträge, die die Elektrizität zur Linderung der schweren Zeit, die kommen wird, leisten könnte. Es zeigte sich bald, dass der wichtigste Beitrag nicht in der direkten Beschaffung von Arbeit liegen konnte, sondern in der Beschaffung von Energie, deren Fehlen unsere gesamte Wirtschaft zum Stocken brächte. Im Rahmen eines allgemeinen Arbeitsbeschaffungsprogrammes wurde deshalb auf Grund umfassender Studien ein

### Kraftwerksbauprogramm

ausgearbeitet, dessen Durchführung etwa zehn Jahre beanspruchen wird. Der Bau von Grosskraftwerken, der 50, 100 oder mehrere Hundert Millionen Franken Kapitalaufwand erfordert, bedeutet für die Geldgeber ein beträchtliches Risiko. Da die Kraftwerke zum überwiegenden Teil aus öffentlichen Mitteln gebaut werden, müssen Kapitalfehlleitungen besonders sorgfältig vermieden werden.

Um wirklich plannmäßig Kraftwerke bauen zu können, müsste der Bedarf voraussehbar sein. Niemand kann aber über dessen Entwicklung Verbindliches aussagen. Der Elektrizitätsbedarf wird durch zu vielerlei Faktoren allgemein wirtschaftlicher Natur bedingt. Die Erfahrung der Fachleute und die Kenntnis gewisser Tatsachen gestatten jedoch, mit grosser Sicherheit auf Jahre hinaus eine genügend sichere Grundlage für den Bau grosser Kraftwerke zu schaffen. Man weiss z. B., dass die Industrie, wenn sie sich normal entwickelt, ständig mehr Elektrizität braucht. Grossne Industrien können sogar nur auf der Grundlage günstiger Bezugsmöglichkeiten der elektrischen Energie arbeiten. Hierzu gehört vor allem die chemische Industrie; allein die Aluminiumherstellung braucht vielleicht ein Zehntel der schweizerischen Elektrizitätserzeugung, und im Jahre 1938 absorbierten die ganz grossen chemischen, metallurgischen und thermischen Anwendungen einen Viertel der gesamten Elektrizitätsproduktion unseres Landes, wobei die Gross-Elektrokessel nicht einmal berücksichtigt sind. Jedes Vorhaben, in der Schweiz neue Produkte herzustellen, z. B. Zellwolle und Kunstseide, Holzzucker, Elektroisenen, Kunstdünger, Sprengstoffe, Fette, Benzin usw. steht und fällt mit der Möglichkeit, grosse Mengen elektrischer Energie zu günstigen Preisen zu beschaffen. Die künstliche Gastrocknung, die aus unserem Gras das heute aus dem Ausland nicht mehr erhältliche Kraftfutter erzeugt, wird Hunderte von Millionen Kilowattstunden absorbieren. Aber auch dann,