

# Elektrische Gleichrichter und Ventile

Von

A. Güntherschulze

Zweite Auflage

# Elektrische Gleichrichter und Ventile

Von

Professor Dr.-Ing. **A. Güntherschulze**

Zweite  
erweiterte und verbesserte Auflage

Mit 305 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1929

ISBN 978-3-662-40917-6

ISBN 978-3-662-41401-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-41401-9

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1929 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1929

Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1929

## Vorwort.

Die vorliegende zweite Auflage meines Buches über elektrische Gleichrichter und Ventile geht über die erste so weit hinaus, daß fast ein neues Buch entstanden ist. Abschnitte über Form und Analyse von Strom und Spannungskurven, über rotierende Maschinen zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom, über Meßtechnisches, Gleichstromtransformierung und Berechnung der Gleichrichter habe ich neu eingefügt. Den letztgenannten Abschnitt sehr kurz, weil in zwischen der zweite Band des Buches „Der Quecksilberdampfgleichrichter“ von Kurt E. Müller-Lübeck<sup>1</sup> erschienen ist, in dem dieses Problem erschöpfend behandelt worden ist. Bei den übrigen Abschnitten habe ich, z. T. unter erheblicher Umarbeitung, die letzten Fortschritte bis Ende 1928 berücksichtigt. Die meiste Sorge machten dabei die Gesetze der Gasentladungen und der Trockenplattengleichrichter, da auf beiden Gebieten unsere Kenntnisse trotz aller Forschung immer noch lückenhaft und unsicher sind.

Durch das Entgegenkommen von Professor Hartmann, Kopenhagen, wurde es mir möglich, den so außerordentlich interessanten Wellenstahlgleichrichter ausführlich zu behandeln.

Zum Schluß habe ich eine kurze Übersicht über sämtliche in Frage kommenden deutschen Patente gegeben, weil ich der Ansicht bin, daß die große Menge wertvollen Materials, die in diesen Patenten zusammengetragen ist, in der Regel in der Literatur viel zu stiefmütterlich behandelt wird.

Bei dem ebenso nötigen wie unbeliebten Korrekturlesen war mir mein zweiter Sohn stud. jur. Ruprecht Güntherschulze eine sehr wertvolle Hilfe.

Mit Abbildungsmaterial und nützlichen Informationen bin ich durch die gleichrichterbauenden Firmen, insbesondere durch die AEG, die Akkumulatorenfabrik A. G., Bergmann, die Gleichrichter-G. m. b. H., die Osram Kommanditgesellschaft, die Firma Dr. Georg Seibt, Siemens & Halske, die Siemens-Schuckertwerke und andere in sehr bereitwilliger und großzügiger Weise unterstützt worden, wofür ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank sagen möchte.

Ebenso bin ich der Verlagsbuchhandlung Julius Springer zu großem Dank verpflichtet, nicht nur für die mustergültige Ausstattung des Buches, sondern vor allem dafür, daß sie den Verlag dieser zweiten Auflage trotz beträchtlicher entgegenstehender Schwierigkeiten übernahm und meine Wünsche in jeder Beziehung erfüllte.

Berlin, im Mai 1929.

**A. Güntherschulze.**

---

<sup>1</sup> Müller-Lübeck, Kurt E.: Quecksilberdampfgleichrichter II. 350 S. Berlin: Julius Springer 1929.

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einführung. Die Verwendungsgebiete der elektrischen Gleichrichter . . .	1
I. Die physikalischen Grundlagen der Ventile . . . . .	3
A. Die verschiedenen Ventilklassen . . . . .	3
B. Die Grenze Metall — Metall . . . . .	5
C. Die Grenze Metall — freier (leerer oder gasgefüllter) Raum (Elektronenleitung — Raumleitung) . . . . .	14
a) Die Elektronen- und Ionenerzeugung . . . . .	14
b) Die Elektronen- und Ionenströmung . . . . .	31
c) Die einzelnen Entladungsformen und Ventile . . . . .	40
d) Die glühelektrischen Ventile . . . . .	40
e) Die Glimmentladungsventile . . . . .	45
f) Die Lichtbogenventile . . . . .	63
g) Die Vorgänge in der Lichtbogengasstrecke . . . . .	66
h) Die Funkenventile . . . . .	91
D. Die Grenze Metall — Elektrolyt . . . . .	92
E. Die Grenze Gas — Elektrolyt. Die sog. Elektrolytgleichrichter . . .	93
II. Die Technik der Gleichrichtung . . . . .	102
A. Form und Analyse der Strom- und Spannungskurven . . . . .	102
B. Meßtechnisches . . . . .	113
C. Die Gleichrichterschaltungen . . . . .	115
D. Die Berechnung der Gleichrichter . . . . .	121
E. Besondere Eigentümlichkeiten der Gleichrichtung . . . . .	131
III. Die einzelnen Gleichrichtertypen . . . . .	143
A. Die mechanische Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom . . . .	143
B. Elektrolytgleichrichter . . . . .	165
C. Glühkathodengleichrichter . . . . .	168
a) mit Vakuum . . . . .	168
b) mit Gasfüllung . . . . .	176
D. Die Trockenplattengleichrichter . . . . .	191
E. Die Lichtbogengleichrichter . . . . .	200
F. Gleichrichteranlagen . . . . .	225
IV. Die Verwendung der Ventile zu Meßzwecken . . . . .	244
V. Die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom . . . . .	251
VI. Die Gleichrichterpatente . . . . .	254
VII. Die deutschen Patente . . . . .	254
A. Klasse 21 g Gruppe 11 . . . . .	254
B. Klasse 21 g Gruppe 12 . . . . .	258
C. Klasse 21 g Gruppe 13 . . . . .	265
D. Klasse 21 g Gruppe 14 . . . . .	274
E. Klasse 21 g Gruppe 15 . . . . .	309
Literaturverzeichnis . . . . .	320
Sachverzeichnis. . . . .	329

# Einführung.

**1. Verwendungsgebiete der elektrischen Gleichrichter.** Die Wichtigkeit der elektrischen Gleichrichter nimmt auf verschiedenen, zum Teil weit voneinander entfernt liegenden Gebieten der Technik schnell zu, denn sie sind das Bindeglied zwischen dem für Fernleitung unerläßlichen Wechselstrom und dem für den Verbrauch viel günstigeren Gleichstrom.

Die Wirtschaft verlangt die Umwandlung der Energie der Kohle oder des Wassers in elektrische Energie am Fundorte selbst und ihre Verteilung über das gesamte Land unter möglichst geringen Verlusten. Hierfür kommt zur Zeit nur der Drehstrom möglichst hoher Spannung in Frage.

Dagegen ist der Gleichstrom in vielen Betrieben unerläßlich, in anderen erwünscht, in kaum einem nachteilig. Die elektrochemische Industrie verbraucht gewaltige Mengen Gleichstromenergie in ihren elektrolytischen Betrieben. Alle Sicherungsanlagen, die beim Ausbleiben der ferngelieferten Drehstromenergie betriebsbereit bleiben sollen, müssen Akkumulatorenbatterien und damit Gleichstrom als Energiequellen verwenden; selbst in den Überlandzentralen wird für derartige Zwecke Gleichstrom benutzt.

In der Radioindustrie nimmt der Bedarf sowohl an Heiz- wie an Anodenbatterien sehr schnell zu, und wenn auch die indirekt beheizten Röhren die Heizbatterie ersetzen, so ist doch fraglich, ob sie sich so billig herstellen lassen werden, daß sie die gewöhnlichen Röhren mit Heizbatterie zu verdrängen vermögen. Dagegen muß die Anodenspannung unbedingt eine Gleichspannung sein. Beide Batterien können jedoch vorteilhaft durch Gleichrichter ersetzt werden, die die erforderliche Gleichspannung unmittelbar der Röhre zuführen. Da in dieser Gleichspannung keine Pulsationen vorhanden sein dürfen, muß die von den Gleichrichtern gelieferte stark pulsierende Spannung durch Siebketten geglättet werden, was den Konstrukteur vor neue interessante Probleme stellt.

Auch im Forschungs- und Prüflaboratorium ist der Gleichstrom unerläßlich, da er die Empfindlichkeit der Meßmethoden weit höher zu treiben erlaubt als der Wechselstrom.

So bilden sich zwei große getrennte Gleichrichtergebiete aus. Das der großen Gleichrichter, die ganze Städte mit Gleichstrom versorgen, den sie durch Gleichrichtung des unmittelbar von den Großzentralen bezogenen Drehstroms erzeugen, wobei eine einzige Gleichrichtereinheit Energien von der Größenordnung 1000 kW gleichzurichten vermag, und das der kleinen Gleichrichter für den Rundfunk, die Ladung von Zündbatterien der Automobile und ähnliche Zwecke, wobei es sich um Energien von der Größenordnung einiger Watt handelt.

Zwischen beiden Gebieten behaupten die Gleichrichter für mittlere Leistungen überall da ihr Feld, wo sich die Energieverteilung noch des Drehstromes bedient, und das ist vorläufig noch in der überwiegenden Mehrzahl der Städte der Fall.

Ein imponantes Beispiel für den gewaltigen Umfang von Großgleichrichteranlagen ist die Elektrisierung der Berliner Stadt- und Ringbahn. Hier sind im ganzen 115 Großgleichrichter mit 140000 kW Leistung aufgestellt, zweifellos die größte Gleichrichteranlage der Welt.

Zu diesen beiden Hauptgebieten wird in Zukunft vielleicht ein drittes treten und eine ganz außerordentliche Bedeutung erlangen, nämlich die Gleichrichtung höchster Spannungen. Für die Fernleitung der elektrischen Energie über große Entfernungen bietet die Gleichspannung eine Anzahl entscheidender Vorteile gegenüber der Wechselspannung. Es sei nur an das Fehlen der zahlreichen kapazitiven Störungen, die außerordentlich viel geringeren Koronaverluste und die bessere Leitungsausnutzung erinnert.

Die unmittelbare Erzeugung großer Energiemengen in Form von Gleichstrom höchster Spannung erscheint jedoch zur Zeit unmöglich. Es bleibt also als Lösung die Erzeugung von Drehstromenergie höchster Spannung, ihre Verwandlung in Gleichstrom durch Höchstspannungsgleichrichter, ihre Fernleitung und Rückverwandlung in Gleichstromenergie geringer Spannung für den Verbrauch. Hoffnungsvolle Anfänge liegen in den Glühkathoden-Hochspannungsgleichrichtern für Röntgenröhren vor, aber bis zu den Höchstspannungsgleichrichtern für große Leistungen ist noch ein weiter Weg.

Es dürfte kaum ein zweites Gebiet der Elektrotechnik geben, auf dem ein Ziel auf eine so mannigfaltige und physikalisch interessante Weise erreicht werden kann wie auf dem Gebiete der elektrischen Ventile. Soll beispielsweise eine Wechselenergie von 5 Amp. und 110 V in eine Gleichstromenergie verwandelt werden, so kann das geschehen:

1. durch einen Kontaktgleichrichter,
2. durch einen Elektrolytgleichrichter,
3. durch einen Trockenplattengleichrichter,
4. durch einen Quecksilberdampfgleichrichter,
5. durch einen Glühkathodengleichrichter.

Bei jedem Verfahren beruht die Gleichrichtung auf anderen physikalischen Eigentümlichkeiten der als Ventile wirkenden Gebilde.

Es muß deshalb sowohl der Konstrukteur von Gleichrichtern als auch der Betriebsingenieur, der mit Gleichrichtern zu tun hat, nicht nur über gründliche elektrotechnische Kenntnisse, sondern auch über umfangreiche physikalische, ja sogar ein gut Teil chemischer Kenntnisse verfügen.

Diese zu vermitteln, ist einer der Zwecke dieses Buches, und zwar wird der erste Hauptteil von den physikalischen und chemischen Grundlagen der Gleichrichter, der zweite von den elektrotechnischen, der dritte von den Gleichrichtern selbst handeln.

Das Element, aus dem jeder echte Gleichrichter (zu denen die mechanischen Gleichrichter und die Umformer nicht gehören) aufgebaut ist, ist das elektrische Ventil, dessen Durchlässigkeit von der Stromrichtung abhängt. Deshalb befaßt sich der erste Teil mit den physikalischen und chemischen Grundlagen der elektrischen Ventile.

# I. Die physikalischen Grundlagen der Ventile.

## A. Die verschiedenen Ventilklassen.

**2. Definition und Einteilung der Ventile.** Ein elektrisches Ventil ist ein den elektrischen Strom leitendes Gebilde von solcher physikalischer Beschaffenheit, daß seine  $e, i$ -Kurve, die sogenannte Charakteristik, von der Stromrichtung abhängig ist. Die Erscheinung wird auch Unipolarität genannt. Ein elektrisches Ventil hat demnach die Eigenschaft, bei gegebener Spannung in der einen Richtung einen anderen Strom

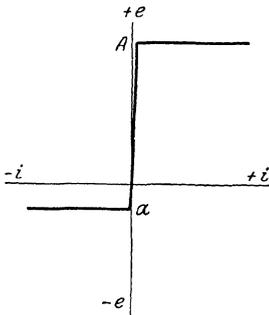


Abb. 1. Schema der Charakteristik eines selbständigen Ventils.

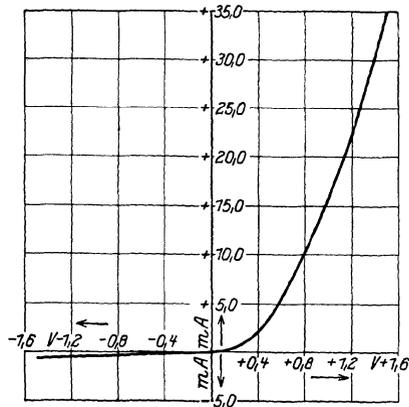


Abb. 2. Schema einer gekrümmten Charakteristik eines selbständigen Ventils.

fließen zu lassen als in der anderen. Apparate, die dieses durch bewegte Teile, wie Schalter, schwingende Kontaktfedern oder rotierende Kollektoren erreichen, gehören nach der Definition nicht zu den elektrischen Ventilen.

Hat beispielsweise ein Gebilde die Charakteristik der Abb. 1, so läßt es im positiven Quadranten nur einen verschwindend geringen Strom fließen, solange die Spannung unter dem Betrage  $A$  bleibt, während im negativen Quadranten jede beliebige Stromstärke hindurchgelassen wird, sofern nur die Spannung den Betrag  $\alpha$  übersteigt.

Liegt die Charakteristik der Abb. 2 vor, so wird beispielsweise in der einen Richtung bei 1 V ein Strom von 16 mA, in der anderen bei der gleichen Spannung nur ein Strom von 0,3 mA durchgelassen. Der zur Nulllinie symmetrische Wechselstrom wird also durch das Ventil in einen zur Nulllinie unsymmetrischen Strom verwandelt, der sich gemäß

Abb. 3 in einen zur Nulllinie symmetrischen Wechselstrom und einen darüber gelagerten Gleichstrom zerlegen läßt. Durch Kombination mehrerer Ventile läßt sich diese Zerlegung praktisch durchführen und aus dem Wechselstrom Gleichstrom gewinnen.

Aber auch ein Gebilde, das nach Abb. 4 eine in beiden Quadranten gleiche, gekrümmte Charakteristik hat, läßt sich zu einem Ventil machen,

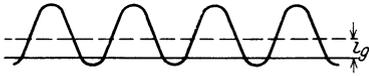


Abb. 3. Vom Ventil mit der Charakteristik der Abb. 2 hindurchgelassener Wechselstrom und seine Gleichstromkomponente  $i_0$ .

wenn man den Nullpunkt der Charakteristik durch einen Hilfsstrom aus seiner symmetrischen Lage verschiebt. Schickt man z. B. durch das Gebilde der Abb. 4 einen konstanten Hilfsstrom vom Betrage  $i_0$ , so daß die Spannung am Gebilde gleich  $e_0$  ist, und lagert über diesen Hilfsstrom

eine Wechselfspannung  $\mathcal{E} \sin \omega t$ , so bleibt  $e_0$  der Mittelwert der Spannung. Der Mittelwert des Stromes dagegen wird, wie Abb. 4 ohne weiteres erkennen läßt, infolge der Krümmung der Charakteristik gleich  $i_1 < i_0$ . Ferner leuchtet ohne weiteres ein, daß in der Abb. 4  $i_1 > i_0$

sein würde, wenn die  $e, i$ -Kurve nach oben konvex wäre.

Man hat also zwischen echten oder selbständigen und unselbständigen oder Ventilen mit Hilfsspannung zu unterscheiden.

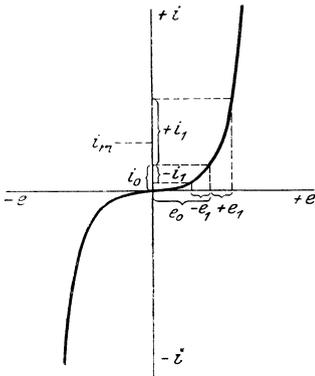


Abb. 4. Schema der Charakteristik eines unselbständigen Ventils mit Hilfsspannung.

Da der elektrische Strom ein Elektrizitätstransport durch Elektronen oder Ionen ist, läßt sich das echte Ventil auch als Vorrichtung definieren, die den Elektronen oder Ionen in der einen Richtung ein anderes Hindernis bietet als in der anderen. Das ist in einem homogenen Körper nicht denkbar. Also ist das Charakteristikum eines echten Ventiles die Grenze zwischen zwei verschiedenen Körpern, in denen sich die Elektronen

oder Ionen in verschiedener Weise bewegen. Es sind so viel Gruppen von Ventilen denkbar, wie es Arten von Grenzen gibt. Daraus ergibt sich ohne weiteres die Einteilung der echten Ventile nach den Grenzen, auf denen sie beruhen.

Durch Kombination der vier typisch verschiedenen Arten der elektrischen Leitung, der metallischen Leitung (Elektronenleitung), der elektrolytischen Leitung (Ionenleitung), der Gasleitung (Mischleitung) und der Leitung im leeren Raum (Elektronenraumleitung) ergeben sich rein rechnerisch zwölf Grenzen und damit zwölf Ventilklassen. Von diesen kommen praktisch jedoch nur die Grenzen

1. Metall — Metall oder besser Elektronenleitung — Elektronenleitung,
2. Metall — Elektrolyt oder besser Elektronenleitung — elektrolytische Leitung,

3. Metall — Gas oder besser Elektronenleitung — Gasleitung,

4. Metall — leerer Raum oder besser Elektronenleitung — Elektronenraumleitung

in Frage. Von diesen werden aus praktischen Gründen die Grenzen 3. und 4. zu einer Grenze:

Elektronenleitung im festen Körper — Leitung im freien leeren oder gasgefüllten Raum  
zusammengefaßt, da sich zwischen 3. und 4. kontinuierliche Übergänge finden.

## B. Die Grenze Metall — Metall.

**3. Ventile durch Thermokräfte.** Bringt man zwei Berührungsstellen eines Metalles mit einem zweiten Metall auf verschiedene Temperaturen, so entsteht eine Thermospannung zwischen den Berührungsstellen; läßt man die verschiedenen Temperaturen durch den gleichzurichtenden Wechselstrom erzeugen, indem man der einen Berührungsstelle einen großen Querschnitt gibt, so daß sie kalt bleibt, der anderen einen sehr geringen, so daß sie sich erhitzt, so erzeugt der Wechselstrom einen Thermogleichstrom. Doch darf hier von einer eigentlichen „Gleichrichtung“ des Wechselstromes nicht gesprochen werden, denn es besteht weder irgend eine Beziehung zwischen der Kurvenform des Gleichstromes und des Wechselstromes, noch ein Unterschied zwischen Fluß- und Sperrichtung. Der Wechselstrom bleibt symmetrisch. Der Thermostrom lagert sich über ihn. Erst durch Verwendung von Kapazitäten und Induktivitäten oder durch Kombination mehrerer Ventile lassen sich beide Ströme trennen.

Die Erscheinung ist zur Messung geringer Wechselströme mit Hilfe ihrer Verwandlung in Gleichstrom von verschiedenen Autoren verwandt worden. Näheres siehe im technischen Teil.

**4. Die Ventildetektoren.** Die Ventil- oder Kristalldetektoren bestehen aus Kombinationen von Kristallen, in der Regel aus der Gruppe der Sulfide der Schwermetalle, mit einem Metall. Meistens wird der Kristall auf der einen Seite durch Lötung oder Einbetten in eine leicht schmelzbare Legierung (Woodsche Legierung) innig mit einer Metallfassung verbunden, die zur Stromzuführung dient, während auf der anderen Seite eine Spitze eines geeigneten Metalles auf ihm ruht. Doch wird auch vielfach die umgekehrte Berührungsart gewählt. Eine durch Absplittern eines Kristallstückes entstandene Spitze ruht auf einer Metallfläche. In beiden Fällen ist in der Berührungsstelle zwischen beiden der Sitz der Ventilwirkung. Als Kristalle werden Psilomelan, Bleiglanz, Eisenkies, Mangansuperoxyd, Karborund, Anatas, Molybdän- glanz, Kupferkies, Kupferglanz, ferner bei Berührung zweier Kristalle Rotzinkerz—Kupferkies, Zinkit—Chalkopyrit (Perikon-Detektor) verwendet.

Das Material der Metallelektrode ist ziemlich beliebig.

Nachdem die Kristalldetektoren durch die Elektronenröhren weitgehend verdrängt waren, sind sie durch den Rundfunk wieder in steigen-

dem Umfang in Gebrauch gekommen, da es sich bei diesem darum handelte, möglichst billige, einfach zu handhabende Apparate zu verwenden.

Versuche mit künstlichen Detektoren, die durch Fällen chemisch reiner Sulfide, Chloride, Jodide und Zusammenpressen zu harten Pastillen hergestellt werden, sind von Frey<sup>1</sup> ausgeführt worden.

Hinsichtlich der Wirkungsweise herrscht eine ziemlich Mannigfaltigkeit. Bei manchen Kombinationen kommt es darauf an, daß eine möglichst feine Spitze des einen Materials mit dem anderen in Berührung steht, wobei die Anordnung dann gegen Änderungen des Auflagedruckes sehr empfindlich ist und bei einem ganz bestimmten Berührungsdruk ein Maximum an Ventilwirkung entfaltet. Bei anderen Kombinationen ist der Druck oberhalb eines bestimmten Mindestwertes ziemlich gleichgültig.

Im allgemeinen scheint eine bestimmte Mindeststromdichte an der Berührungsstelle für die Ventilwirkung nötig zu sein, so daß die Berührungsfläche um so kleiner sein muß, je kleiner die gleichzurichtenden Stromstärken sind.

Die Kristalldetektoren sind Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Abb. 2 wurde an einem Rotzinkerz-Kupferkies-Detektor aufgenommen. Abb. 5 gibt eine von Ettenreich<sup>2</sup> an einem Bleiglanz-Nickelin-Detektor aufgenommene Kurve wieder. Der Detektor bestand aus einem zugespitzten Nickelindraht von 6,8 mm Durchmesser, der mit einem Auflagedruck von 6 g auf eine Spaltfläche eines gut würfelförmigen

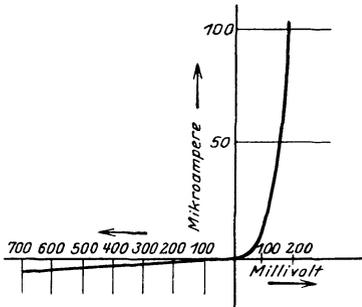


Abb. 5. Strom-Spannungskurve eines Bleiglanz-Nickelin-Detektors (nach Ettenreich).

Bleiglanzkristalles aufgesetzt war. Die Abbildung ist für Kristalldetektoren typisch. Sie zeigt, daß in der einen Richtung bei geringen Spannungen schon ein recht beträchtlicher Strom durch das Ventil fließt, während in der entgegengesetzten Richtung bei viel höheren Spannungen noch fast nichts hindurchgelassen wird.

Bei einem großen Teil der Versuche über Detektoren wurde der Fehler gemacht, daß Erscheinungen, die sich bei kommutiertem Gleichstrom oder niederfrequentem Wechselstrom zeigten, ohne weiteres auf die Hochfrequenzventilwirkung übertragen wurden. Denn bei Detektoren interessiert nur ihre Ventilwirkung gegenüber Hochfrequenz, da sie wohl ausschließlich in der drahtlosen Telegraphie und Telephonie verwandt werden.

Ausgehend von der Schlömilchzelle, in der die elektrolytische Ventilwirkung selbstverständlich zu sein scheint, nahm man bis vor kurzem für die meisten Kristalldetektoren ebenfalls elektrolytische Ventil-

<sup>1</sup> Frey, F.: Phys. Z. Bd. 26, S. 849. 1925.

<sup>2</sup> Ettenreich, R.: Wiener Ber. Bd. 128, S. 1169. 1919.

wirkung, teils der Kristalle selbst, teils in den auf ihnen haftenden Wasserhäuten an. In den Fällen, in denen zweifellos keine Elektrolyse vorhanden war, wurde die thermoelektrische Wirkung zur Erklärung herangezogen.

Die Theorie der elektrolytischen Ventilwirkung erhielt eine Stütze durch die Versuche von Huizinga<sup>1</sup>, der elektrolytische Vorgänge an der Kontaktstelle unmittelbar mit dem Auge beobachtete. Und doch sind beide Ansichten falsch. Nicht einmal die Wirksamkeit der Schlömilchzelle beruht auf elektrolytischer Ventilwirkung.

Die Theorie der elektrolytischen Ventilwirkung der Detektoren ist leicht zu widerlegen. Ein elektrolytisches Ventil entsteht dadurch, daß die in einem Elektrolyten wandernden Ionen an eine Grenze gelangen, an der sie sich abscheiden und dabei die Grenze in der Weise verändern, daß eine elektromotorische Gegenkraft entsteht. Wird beispielsweise eine große und eine kleine Platinelektrode in Schwefelsäure getaucht, wie bei der Schlömilchzelle, so wird an der kleinen Elektrode in der einen Stromrichtung Wasserstoff, in der andern Sauerstoff gasförmig abgeschieden, während es an der großen Elektrode infolge der äußerst geringen Stromdichte nicht zu einer merklichen Polarisation kommt. Da nun das Potential der Wasserstoffabscheidung in Schwefelsäure  $+ 0,274$  V, das der Sauerstoffabscheidung  $- 0,86$  V beträgt, bleibt eine einseitige Potentialdifferenz von  $- 0,586$  V übrig.

Hiernach kann ein elektrolytisches Ventil immer erst dann wirksam werden, wenn in jeder Stromrichtung die erforderliche Menge Ionen abgeschieden, wenn also eine Zeitlang Strom geflossen oder eine bestimmte Elektrizitätsmenge verbraucht ist. Und zwar muß zuerst die von der vorhergehenden Richtung gebildete Schicht beseitigt, dann die der Stromrichtung entsprechende Schicht gebildet werden. Nun zeigt ein guter Detektor Hochfrequenzströme von  $10^{-8}$  Amp. bei einer Frequenz von  $10^6$  Perioden in der Sekunde noch gut an. Also steht für die Ionenabscheidung in jeder Richtung nur eine Elektrizitätsmenge zur Verfügung, die klein gegen  $0,5 \cdot 10^{-14}$  Coul., also schätzungsweise  $10^{-15}$  Coul. ist. Eine derartige Elektrizitätsmenge scheidet  $10^{-20}$  g Wasserstoff ab.

Hierzu kommt noch, daß die Ionenabscheidung an sich schon ein Prozeß ist, der nicht mit beliebiger Geschwindigkeit vor sich geht. Es dürfte deshalb einleuchten, daß die Ionenventilwirkung für Hochfrequenz überhaupt nicht in Frage kommt. Alle Hochfrequenzventile sind ohne Ausnahme Elektronenventile, die Schlömilchzelle so gut wie die Kristalldetektoren.

Daß von Huizinga elektrolytische Vorgänge an der Kontaktstelle beobachtet worden sind, steht hiermit durchaus nicht im Widerspruch. Bekanntlich berühren sich zwei aufeinandergelegte Körper unmittelbar nur in wenigen Punkten. Schon bei einem geringen Berührungsdruck wird der Flächendruck an diesen Punkten so groß, daß eine die Oberfläche überziehende Wasserhaut beiseite gequetscht wird. Es liegen

---

<sup>1</sup> Huizinga, M. J.: Phys. Z. Bd. 21, S. 91. 1920.

dann die Verhältnisse der Abb. 6 vor. Haben die den Kontakt bildenden verschiedenartigen beiden Körper metallische Leitfähigkeit, so bilden sie mit der Wasserhaut ein kurz geschlossenes Element, in dem Elektrolyse stattfindet. Sind die beiden Körper an ihrer Berührungs-

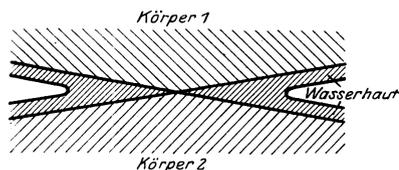


Abb. 6. Schematische Darstellung der Lage der Wasserhaut zwischen zwei sich berührenden Körpern.

stelle durch eine ihnen angehörende schlecht leitende Schicht getrennt (z. B. bei Bleiglanz durch eine Schicht Schwefelatome), so bilden sie mit der Wasserhaut ein offenes Element, das eine bestimmte elektromotorische Kraft besitzt. Beide Erscheinungen haben mit der Ventilwirkung der Elektronenberührungsstelle nichts zu tun.

Die wirklichen Vorgänge bei der Ventilwirkung der Kontaktdetektoren sind erst in den letzten Jahren durch die Arbeiten von Szekely<sup>1</sup>, Ettenreich<sup>2</sup>, Hoffmann<sup>3</sup> und Rother<sup>4</sup> geklärt und vor kurzem von Schottky<sup>5</sup> in einer sehr anschaulichen Darstellung behandelt worden. Schottky geht von folgenden Vorstellungen aus: Das Innere jedes metallischen Leiters ist mit einer sehr großen Menge lose gebundener Elektronen erfüllt, die sich ähnlich wie die Atome eines idealen Gases verhalten. Sobald die Elektronen durch die Oberfläche eines Leiters hindurchtreten und in den umgebenden Raum gelangen, wirkt auf sie eine von der Art des Metalles abhängige elektrische Kraft von einigen Volt, die sie wieder zum Metall zurückzieht. Nur diejenigen Elektronen, die zufällig eine abnorme Geschwindigkeit haben, vermögen diese Kraft zu überwinden und das Metall zu verlassen. Die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen bei Zimmertemperatur entspricht einer elektrischen Spannung von 0,025 V, so daß bei Zimmertemperatur praktisch überhaupt keine Elektronen das Metall verlassen können.

Schottky stellt diese Verhältnisse sehr anschaulich durch das Bild eines flachen Napfes mit hochgebogenen Rändern dar (Abb. 7). Auf dem Boden dieses Napfes vermögen elastische Kugeln (die Elektronen) ungestört hin- und herzurollen. Sobald sie aber den Napf verlassen wollen, müssen sie eine so große Geschwindigkeit haben, daß sie den Rand hinaufzulaufen vermögen (Überwindung der Anziehungskraft des Metalles). Die Höhe des Randes entspricht der gesamten, beim Verlassen des Napfes zu überwindenden Spannung, die Steilheit des Randes dem Spannungsfälle.

Nun kann man versuchen, das Bestreben der Elektronen, das Metall zu verlassen, dadurch zu unterstützen, daß man ein äußeres Feld an das Metall legt, das die Elektronen heraufzieht. Im Bild der Abb. 7 bedeutet das, daß der Rand des Napfes herabgebogen und dadurch nie-

<sup>1</sup> Szekely, A.: Wiener Ber. Bd. 127, S. 719. 1918.

<sup>2</sup> Ettenreich, R.: Wiener Ber. Bd. 128, S. 1169. 1919.

<sup>3</sup> Hoffmann, G.: Phys. Z. Bd. 24, S. 109. 1922.

<sup>4</sup> Rother, F.: Phys. Z. Bd. 23, S. 423. 1922.

<sup>5</sup> Schottky, W.: Phys. Z. Bd. 14, S. 63. 1923.

driger wird, und es fragt sich, welches Potentialgefälle hierzu nötig ist. Auf Grund einer Berechnung, deren Wiedergabe hier zu weit führen würde, kommt Schottky zu dem Schluß, daß das maximale Potentialgefälle, d. i. die Steilheit des Randes, an einer vollkommen ebenen Fläche — bei Wolfram  $1,4 \cdot 10^8$  V pro cm und bei Natrium  $0,28 \cdot 10^8$  V pro cm — beträgt.

Für das Anlegen des äußeren Feldes kommt aber noch eine sehr wichtige Erscheinung in Betracht. Die Unebenheiten, die man an einer Oberfläche mit dem Mikroskop beobachten kann, sind größer als  $10^{-5}$  cm. Unebenheiten von  $10^{-6}$  cm und kleinere sind aber überall anzunehmen. Denkt man sich auf eine ebene Fläche einen Halbzylinder gelegt, so wird der Potentialgradient über dem Zylinder verdoppelt. Legt man auf den Zylinder einen zweiten vom halben Durchmesser, so findet über diesem eine weitere Verdoppelung des Potentialgradienten

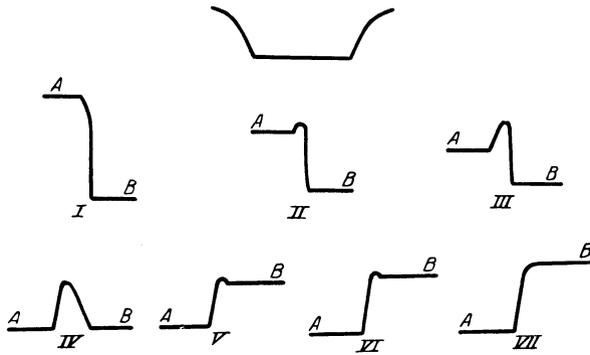


Abb. 7. Verschiedene Ausbildung der Ränder zweier sich berührender Elektronen-Näpfe bei verschiedenen Spannungen (nach Schottky).

statt. Eine Übersichtsrechnung dieser Erscheinung ergibt, daß bei Flächen, die keine sichtbaren Unebenheiten aufweisen, die wahre Feldstärke an den exponierten Punkten ungefähr eine Zehnerpotenz größer ist als die aus der makroskopischen Oberflächengestalt folgende. Also beherrscht von einem bestimmten angelegten Potential an nicht nur die bloße Steigerung des mittleren äußeren Feldes, sondern eine lokale Übersteigerung des mittleren Potentialgradienten, eine elektronische Spitzenwirkung, die Erscheinungen. Die infolge des Vorhandenseins dieser Spitzen zur Einleitung der kalten Elektronenentladung erforderliche Feldstärke beträgt demnach für Wolfram  $1,8 \cdot 10^7$  V pro cm.

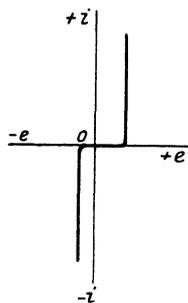
Diese Erscheinungen sind die Grundlage für die Erklärung der Vorgänge des Stromüberganges bei kurzen Trennstrecken. Rother und Hoffmann<sup>1</sup> haben die dabei auftretenden Erscheinungen näher untersucht. Hoffmann findet als kritische Feldstärke, bei der der Übergang der Elektronen beginnt, für Platiniridium  $4,8 \cdot 10^6$ , Cu  $3,5 \cdot 10^6$ , Al  $3,4 \cdot 10^6$ , Zn  $2,7 \cdot 10^6$ , Pb  $2,2 \cdot 10^6$  V pro cm. Rother fand bei

<sup>1</sup> l. c.

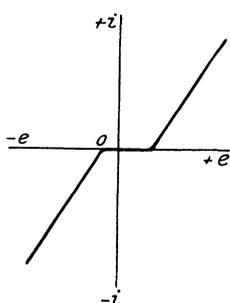
Platin  $7,6 \cdot 10^6$  V pro cm. Diese experimentell ermittelten und wahrscheinlich noch zu kleinen Zahlen nähern sich den von der Theorie geforderten schon sehr.

Die Wirkungsweise der Kontaktdetektoren erklärt Schottky mit Hilfe der auseinandergesetzten Gedankengänge folgendermaßen. In dem von ihm gebrauchten Bilde stoßen bei Kontaktdetektoren zwei Elektronennäpfe so nahe aneinander, daß ihre Ränder ineinanderfließen. Das Niveau des Bodens der Elektronennäpfe entspricht der freien Energie der Elektronen in den beiden Leitern, und zwar der totalen Energie, und ist demnach bei thermischem Gleichgewicht und ohne angelegtes Feld in beiden Leitern gleich. Auch bei gleichem Niveau der Höhen hängt aber die Gestalt des zusammenfließenden Randes nicht nur von den Ionenfeldern, sondern auch von dem äußeren Feld ab, das durch die Ansammlung entgegengesetzter Ladungen an den Oberflächen der beiden Körper hervorgerufen wird und das dazu dient, den durch die inneren Felder bedingten Potentialverlauf zwischen den Körpern so zu korrigieren, daß gerade der durch einen äußeren Kontakt ausgeprägte Niveauunterschied zwischen den beiden Böden herauskommt. Bei genügender Entfernung der beiden Körper voneinander und äußerer Berührung ist der Potentialunterschied gleich der Voltadifferenz im Vakuum.

Werden nun zwei Elektronennäpfe in konstanter kleiner Entfernung nebeneinander gestellt und der Boden des einen gegen den des anderen gehoben oder gesenkt, so ergeben sich, wenn  $A$  einen bedeutend höheren und steileren Rand hat als  $B$  die in Abb. 7 dargestellten Verhältnisse. Bei genügend starkem Potentialunterschied verschwindet der Rand sowohl wenn  $A$  negativ gegen  $B$ , als auch wenn  $B$  negativ gegen  $A$  ist,



Bei geringem inneren Widerstand (Metall-Leiter).



Bei großem inneren Widerstand (Halb-Leiter).

Abb. 8 und 9. Schematische Stromspannungskurve eines Detektors (nach Schottky).

aber die dazu erforderlichen Potentialunterschiede sind für beide Fälle verschieden. Infolgedessen wird die Stromspannungskurve unsymmetrisch, indem ein Elektronenstrom von  $B$  nach  $A$  bereits bei viel kleineren Spannungen fließt als bei Umkehr der Spannung von  $A$  nach  $B$ . Das heißt, es muß die Stromspannungscharakteristik der Abb. 8

entstehen, wobei  $e$  die Spannung an der Berührungsstelle ist. Nimmt man statt ihrer die Spannungen an den äußeren Enden der beiden, in kleiner Entfernung voneinander befindlichen Kristalle, so kommt noch der Spannungsverlust in ihnen hinzu, und es ergibt sich die Kennlinie der Abb. 9. Das ist aber vollständig der Typus der Kurve, wie sie beispielsweise Huizinga bei seinen vermeintlichen elektrolytischen Detek-

toren gefunden hat. Auch die Annahme Huizingas, daß erst nach Überwindung einer Polarisationsgegenkraft, die in beiden Richtungen verschieden sei, ein Strom einsetze, entspricht durchaus den Verhältnissen der Abb. 9.

Damit ist es klar erwiesen, daß es sich bei den Detektoren stets um Elektronenventilwirkung handelt. Die Einzelheiten der Theorie sind noch aufzuklären. Unter Umständen liegen sehr verwickelte Erscheinungen vor. Beispielsweise können von den verschiedenen Berührungspunkten der beiden Körper der eine eine vollständige Berührung ohne Trennschicht, der zweite eine Berührung mit dazwischenliegender isolierender fester Trennschicht molekularer Dicke, der dritte ein Sichnähern bis auf einen sehr geringen luftgefüllten Abstand sein. Alle drei Stellen liegen elektrisch einander parallel und liefern ihren Anteil zur  $e$ -,  $i$ -Kurve. Aus der Theorie wird auch verständlich, welche Rolle die Elektrolyse bei den Detektoren spielt, bei denen sie tatsächlich nötig ist, wie die Schlömilchzelle. Sie dient lediglich dazu, die erforderliche Trennschicht zu erzeugen und aufrecht zu erhalten. Ebenso kann unter Umständen die Gleichstromkomponente, die der mit Hochfrequenzwechselstrom belastete Detektor infolge seiner Ventilwirkung erhält, ihn sekundär polarisieren und dadurch den Wirkungsgrad der Gleichrichtung weit über den Anfangswert hinaus erhöhen. Die dazu erforderliche Zeit ist sehr groß gegen die Dauer einer Hochfrequenzschwingung und sehr klein gegen die Beobachtungsdauer.

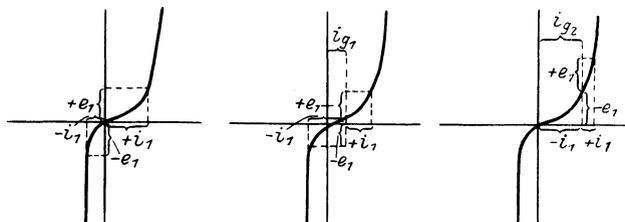
Eine weitere Entwicklung der Schottkyschen Theorie ist neuerdings durch Stransky<sup>1</sup> versucht worden. Stransky geht davon aus, daß die in vielen Fällen zweifellos richtige Schottkysche Theorie nicht erklären kann, weshalb bei fast jedem Kristalldetektor Stellen aufzufinden sind, bei denen der gleichgerichtete Strom die entgegengesetzte Richtung des normalen hat, und daß ein Detektor, der aus einem PbS-Metall mit aufgesetzter Pb-Spitze besteht, oder sogar ein Detektor aus PbS-Kristall mit PbS-Spitze anspricht. Stransky zieht zur Erklärung dieser Erscheinung die Atomdeformation mit heran. Durch den Berührungsdruck, der bei geringer Auflagefläche sehr groß werden kann, gehen die heteropolaren Verbindungen durch Deformationen, vorzugsweise des Anions, in homöopolare über. Im homöopolaren Zustand sind aber geringere Kräfte zur Elektronenemission erforderlich als im heteropolaren. Oder grob anschaulich gesprochen: Die Elektronen, die bei ungestörten Atomen von dem Atomkern so fest angezogen werden, daß sie ihm von einem anderen benachbarten Atom nicht entzogen werden können, werden durch das Aneinanderdrücken beider Atome dem Kern des zweiten Atomes so weit genähert, daß sie ohne Anwendung großer Kräfte auf das zweite Atom übergehen und von da an weiterwandern können, also frei beweglich werden. Also ist zur Erzielung der Ventilwirkung nach Stransky erstens eine heteropolare leicht deformierbare Verbindung und zweitens ein hinreichender Aufgedruck erforderlich.

---

<sup>1</sup> Stransky, J.: Z. phys. Chem. Bd. 113, S. 131. 1925.

**5. Ventile mit Hilfsspannung.** Der Vorzug der Ventile mit Hilfsspannung besteht darin, daß sie gegen Erschütterungen sehr viel unempfindlicher sind als die ohne Hilfsspannung arbeitenden Detektoren. Sie erfreuten sich deshalb während des Krieges großer Beliebtheit.

Eine allgemeine formale Theorie dieser Ventile ist von Brandes<sup>1</sup> aufgestellt worden. Abb. 10 gibt die verschiedenen Möglichkeiten ihrer Verwendung. Aus ihr läßt sich folgendes unmittelbar ablesen:



Ohne Hilfsspannung. Geringe Hilfsspannung. Größere Hilfsspannung.

Abb. 10. Einfluß der Hilfsspannung auf die Gleichrichterwirkung unselbständiger Ventile.

1. Belastet man das Ventil mit einem konstanten Gleichstrom  $i_{g1}$  und lagert über diesen die Wechselfspannung  $\pm e_1$ , so sind die durch diese Wechselfspannung bedingten Stromänderungen  $\pm i_1$  einander gleich. Eine Veränderung des Gleichstromes  $i_{g1}$  oder eine Ventilwirkung auf den Wechselstrom findet nicht statt.

2. Belastet man das Ventil mit dem größeren Gleichstrom  $i_{g2}$  und der Wechselfspannung  $\pm e_1$ , so ist der durch sie bedingte Strom  $-i_1$  größer als der Strom  $+i_1$ . Es ergibt sich also eine Schwächung des Stromes  $i_{g2}$  oder eine Gleichrichtung des Wechselstromes im negativen Sinne.

3. Analog erfolgt eine Gleichrichtung des Wechselstromes im positiven Sinne, wenn der Gleichstrom kleiner ist als  $i_{g1}$  (z. B. Null).

Man kann also die ursprünglich vorhandene Ventilwirkung durch zunehmende Belastung des Ventils mit Gleichstrom schwächen, vernichten und in ihr Gegenteil umkehren. Die Gleichrichterwirkung wird um so kräftiger, je stärker die Krümmung der Charakteristik an der dem eingeschalteten Gleichstrom entsprechenden Stelle ist.

Zur Veranschaulichung diene die folgende von Leimbach<sup>2</sup> ermittelte Tabelle 1, die sich auf einen Tellur-Silizium-Detektor bezieht.

Tabelle 1.

Hilfsspannung Volt	Gleichstrom $i_g$ Amp.	Durch die Hochfrequenzschwingungen ausgelöster Gleichstrom Amp.
0	0	$- 80 \cdot 10^{-8}$
0,082	$1 \cdot 10^{-8}$	$- 78 \cdot 10^{-8}$
0,615	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$- 39 \cdot 10^{-8}$
0,820	$10,5 \cdot 10^{-8}$	$+ 2 \cdot 10^{-8}$
1,050	$17,0 \cdot 10^{-8}$	$+ 135 \cdot 10^{-8}$
2,10	$84,0 \cdot 10^{-8}$	$+ 5040 \cdot 10^{-8}$
2,94	$864,0 \cdot 10^{-8}$	$+ 18240 \cdot 10^{-8}$

<sup>1</sup> Brandes, H.: ETZ Bd. 27, S. 1015. 1906.

<sup>2</sup> Leimbach, G.: Phys. Z. Bd. 12, S. 229. 1911.

Außer den Kristalldetektoren verwendet man die bereits besprochene Schlömilchzelle und neuerdings vor allem die Elektronenröhren mit Hilfsspannung. Diese letzteren übertreffen alle anderen Detektoren derart an Leistungsfähigkeit, daß sie voraussichtlich in dem Wettkampf allein übrig bleiben werden.

**6. Die Trockenplattenventile.** Die Trockenplattengleichrichter haben sich aus den Detektoren entwickelt. Sie sind gewissermaßen die Übersetzung der Detektoren aus dem Gebiete der Milliampere in das der Ampere. Die Folge war, daß das Prinzip Spitze—Platte aufgegeben und große Berührungsflächen zugelassen werden mußten, und es zeigte sich, daß das gut ging.

Man unterscheidet trockene und nasse Trockenplattengleichrichter und bei den trockenen wieder zwei typisch verschiedene Arten.

Bei denen der ersten Art wird nach dem Verfahren von Frey irgend ein chemisch gewonnenes geeignetes pulverförmiges Material, beispielsweise Kupfersulfür, Zinksulfür, Kupferjodür u. a., durch sehr hohen Druck zu flachen harten Scheiben von etwa einem bis einigen Zentimetern Durchmesser gepreßt. Gegen diese Scheiben werden von der einen Seite ein edleres Metall, etwa Kupfer, von der anderen Seite ein unedleres, etwa Magnesium, unter ziemlich hohem Druck gepreßt. Ein solches Aggregat hat, in das Gebiet der Ampere übertragen, eine ganz ähnliche Charakteristik wie der Bleiglanzdetektor der Abb. 5 im Gebiete der Milliampere. Er hat also in beiden Richtungen Verluste. In der undurchlässigen, weil er nicht vollständig absperrt, in der durchlässigen, weil er einen ziemlich großen Ohmschen Widerstand hat. Dieser ist um so größer, je größer die Dicke der Trockenplatte ist. Gleichzeitig steigt mit ihrer Dicke die Sicherheit gegen Durchschlag. Die gewählte Plattendicke ist also ein Kompromiß zwischen Durchschlagssicherheit und Wirkungsgrad.

Die Theorie dieser Trockenplatten-Gleichrichter ist ganz die gleiche wie die der Kristalldetektoren.

Zu den Trockenplatten-Gleichrichtern dieser Art gehören der Elkongleichrichter, der Marathongleichrichter, der Jodürgleichrichter.

Bei der zweiten Art der Trockenplattenventile wird nicht eine besonders hergestellte Scheibe zwischen die Metallplatten gelegt, sondern man läßt die wirksame Schicht aus der einen Metallplatte durch chemische Behandlung unmittelbar entstehen. Ein typisches Beispiel der Gleichrichter dieser Art ist der Cuproxgleichrichter. Bei diesem wird auf einer Kupferscheibe eine Schicht Kupferoxydul thermisch-chemisch erzeugt. Sie ist hart, sehr dünn und hängt mit der Unterlage, aus der sie gewachsen ist, lückenlos zusammen. Gegen sie wird von der anderen Seite eine Scheibe eines zweiten möglichst weichen Metalles gepreßt, das sich gut an die wirksame Fläche anschmiegt. Beliebt ist Blei für diesen Zweck.

Der große Vorteil dieser Anordnung ist der geringe Ohmsche Widerstand der sehr dünnen wirksamen Schicht und ihr dadurch bedingter hoher Wirkungsgrad, ferner ein vollkommen konstantes ruhiges Arbeiten des Ventiles, der Nachteil die weit größere Durchschlagsgefahr.

Ein anderes sehr interessantes Beispiel eines Ventiles dieser Art wird im Rectroxgleichrichter angewandt. Bei ihm wird ebenfalls eine Kupferscheibe thermisch-chemisch mit einer Kupferoxydulschicht überzogen, dann aber die Oberfläche dieser Schicht wieder hauchdünn zu metallischem Kupfer reduziert, so daß die kontaktgebende zweite Scheibe lose aufgelegt werden kann. Das Ventil besteht also aus den drei Teilen: Kupfer — Kupferoxydul — Kupfer.

Die Anwendung der Schotkyschen Theorie der Detektoren stößt hier auf Schwierigkeiten. Vielleicht ist mit Stransky anzunehmen, daß bei den Atomen der massiven Kupferscheibe eine andere Struktur vorliegt als bei den reduzierten Atomen auf der Oberfläche der Oxydulschicht.

**7. Der Kolloidgleichrichter.** Der nasse Trockenplattengleichrichter ist von André in Paris angegeben worden. Er wird auch Kolloidgleichrichter genannt. André zeigte, daß Metallkolloide in Verbindung mit den Elektroden besondere Eigenschaften haben. Er gab folgendes Verfahren zur Herstellung von kolloidalem Silber an: In ein U-Rohr mit konzentrierter Schwefelsäure oder Phosphorsäure werden zwei gleiche Silberelektroden eingetaucht und durch das Ganze Gleichstrom hindurchgeschickt. Dann setzt bei anfangs ziemlich hohem Widerstand der Zelle eine kräftige Elektrolyse ein, während der Widerstand der Zelle alsbald auf  $\frac{1}{4}$  seines Anfangswertes sinkt und die Säure sich gelblichbraun färbt. Im Ultramikroskop zeigen sich Kolloidteilchen. Wird der Strom während der Elektrolyse umgekehrt, so wird die Kolloidbildung viel stärker, das Elektrodenmetall aber auch in größeren Stücken losgelöst. Verlängert man den Versuch der Stromumkehr, so beobachtet man Koagulationen in der Nähe der Kathode, und wenn die koagulierte Masse die Anode erreicht, tritt metallische Leitfähigkeit an die Stelle der elektrolytischen. Dieses so gebildete Silberkolloid zeigt nun erstaunliche Gleichrichterwirkung. André führt folgenden Versuch an: Eine Silberanode und eine Nickelkathode werden nebeneinander, so daß sie sich leicht berühren, auf eine saubere getrocknete Bimssteinplatte gesetzt, so daß die Säure kapillar zwischen den Elektroden in die Höhe steigt. Einige Sekunden nach Stromschluß wird der Kontaktwiderstand in der einen Richtung Null und die Gleichrichtung vollkommen.

## C. Die Grenze Metall — freier (leerer oder gasgefüllter) Raum (Elektronenleitung — Raumleitung).

### a) Die Elektronen- und Ionenerzeugung.

**8. Elektronen- und Ionenerzeugung bei der Raumleitung.** Der freie leere oder gasgefüllte Raum unterscheidet sich dadurch grundsätzlich vom Metall- und Elektrolytraum, daß in ihm normalerweise niemals freie Ionen oder Elektronen vorhanden sind. Im leeren Raum nicht, weil ihm die Materie überhaupt fehlt; im gasgefüllten auch nicht, weil Gas keine freien Ladungen hat. Soll also der freie Raum zur Schaffung eines Ventiles herangezogen werden, so entsteht zunächst

eine Aufgabe, die es bei Metallen und Elektrolyten nicht gibt, nämlich die Aufgabe, die freien Elektronen und Ionen zu schaffen, die die Leitung des elektrischen Stromes im Raume übernehmen sollen.

Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Die Elektronen und Ionen können durch hohe Temperatur oder außerordentlich große elektrische Feldstärken aus den Elektroden ausgetrieben werden. Sie können durch auf die kalten Elektroden auffallendes Licht oder durch den Stoß aufprallender Elektronen oder Ionen von ihnen abgelöst werden oder sie können endlich im Raume selbst, sofern er Gase enthält, durch Stoß von Atomen, Molekülen, Ionen, Elektronen auf die Gasmoleküle oder auch durch Einstrahlung geeigneten Lichtes geschaffen werden. Die dabei auftretenden Erscheinungen haben wir zunächst zu betrachten.

**9. Die glühelektrische Elektronenerzeugung.** Zum Verständnis der glühelektrischen Elektronenemission aus einer Metalloberfläche macht man sich am besten das Bild, daß die Elektronen in dem metallischen Leiter wie ein sehr feines, frei bewegliches Gas enthalten sind. Wäre dieses Gas ein gewöhnliches Gas, so würde es bei jeder Temperatur einen ganz bestimmten Dampfdruck haben. Würde man den gashaltigen Körper in einen geschlossenen Raum bringen, so würde Gleichgewicht erst vorhanden sein, wenn so viel Gas in den Raum hinein verdampft wäre, daß der Raum von dem Gas mit dem der herrschenden Temperatur entsprechenden Dampfdruck erfüllt wäre.

Bei dem Elektronengas liegen die Verhältnisse jedoch wesentlich anders, weil es aus lauter negativ geladenen Teilchen besteht, die sich in einem aus lauter positiven Teilchen, den Metallionen, aufgebauten Körper befinden. Sobald also ein Elektron mit Hilfe seiner kinetischen Energie, die im Mittel der Temperatur des Metalles entspricht, durch die Metalloberfläche in den Raum hineinfliegt, entsteht eine Anziehungskraft zwischen ihm und den positiven Metallionen an der Austrittsstelle. In Freiheit gelangen kann das Elektron nur dann, wenn seine kinetische Energie größer ist als die Kraft, mit der es zum Metall zurückgezogen wird. Diese Kraft ist eine Materialkonstante, die für die meisten Metalle bekannt ist. Sie heißt die Ablösearbeit oder auch seine Wirkungsfunktion  $\varphi$ .

Hat nun ein Metall eine bestimmte Temperatur  $T$ , so haben nicht alle Elektronen die dieser Temperatur entsprechende kinetische Energie, sondern es kommen alle kinetischen Energien von den kleinsten bis zu den größten vor, wobei die der Temperatur entsprechenden die häufigsten sind und die Zahl der mit einer bestimmten größeren oder kleineren Energie behafteten um so kleiner wird, je mehr sich ihre kinetische Energie von der mittleren unterscheidet. Es sind also stets, auch bei niedriger Temperatur, Elektronen vorhanden, deren Energie zum Verlassen des Metalles ausreicht, aber ihre Zahl ist ganz außerordentlich gering. Mit steigender Temperatur steigt sie jedoch zunächst ganz außerordentlich schnell an. Es ist also jedes Metall im leeren Raum von einer Zone bedeckt, in welche die Elektronen von Metall aus hineinschießen, worauf die ganz überwiegende Mehrzahl von ihnen zum Metall

zurückfällt, weil ihre Energie zur Überwindung der Ablösearbeit nicht ausreicht, während ganz wenige endgültig zu entweichen vermögen.

Hier liegt der Gedanke nahe, die Elektronen, sobald sie die Oberfläche verlassen, durch ein äußeres elektrisches Feld zu unterstützen und ihnen so viel zusätzliche Energie zuzuführen, daß sie das Metall verlassen können. Die Ablösearbeit  $\varphi$  ist gleich der Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer elektrischen Spannung von etwa 4 Volt erreicht. Also muß das elektrische Feld so groß sein, daß diese Spannung in der kritischen Zone durchlaufen wird. Nun ergeben aber der Versuch und die Theorie übereinstimmend, daß die Dicke der Zone, in der die Elektronen zum Metall zurückgeholt werden, nur  $10^{-6}$  cm beträgt. Also sind elektrische Felder von  $10^6$  V/cm nötig, um aus einer kalten Elektrode die Elektronen auf diese Weise herauszuziehen.

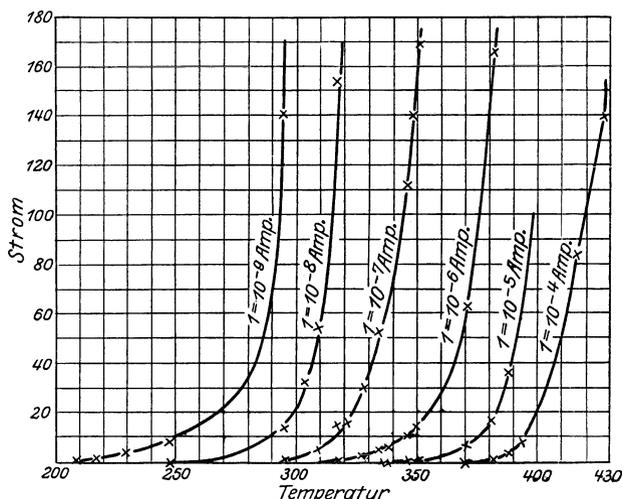


Abb. 11. Thermische Elektronenemission von Natrium in Abhängigkeit von der Temperatur.

Es ist gelungen, solche Felder herzustellen und damit Elektronen aus kalten Metallen herauszuziehen, vgl. Abschnitt 12. Bei der Glühelktronenemission sind dagegen die vorkommenden äußeren Felder so gering, daß sie die Elektronenemission nicht merklich unterstützen.

Wir haben uns noch nicht mit den Elektronen beschäftigt, denen es gelungen ist, mit Hilfe ihrer großen kinetischen Energie das Metall zu verlassen. Offenbar laden sie den Raum, in den sie hineingeflogen sind, negativ auf. Diese Ladung nimmt dauernd zu, bis so viel Elektronen durch sie zum Metall zurückgedrückt werden wie sie verlassen, der Elektronenstrom also Null geworden ist. Wollen wir also einen dauernden Elektronenstrom aufrecht erhalten, so müssen wir die in den Raum gelangenden Elektronen dauernd aus diesem entfernen, indem wir eine zweite positiv geladene Elektrode in den Raum bringen, die sie anzieht. Ist diese Anziehung so groß, daß jedes die kritische Zone

überwindende Elektron sogleich aus dem Raum wieder entfernt wird, so hat man den maximal möglichen Strom erreicht. Eine weitere Vergrößerung der die Elektronen entfernenden Feldstärke vergrößert den Strom nicht. Denn die hierzu nötigen Feldstärken sind gegenüber den Feldstärken, die zur Beeinflussung der kritischen Zone selbst nötig sind, verschwindend klein, so daß diese noch nicht praktisch beeinflußt wird. Der Elektronenstrom, der in diesem Falle erreicht wird, heißt Sättigungsstrom. Seine Größe ist nur von der Art, Temperatur und Oberflächengröße des emittierenden Metalles abhängig.

Die grundlegenden Versuche über diese Abhängigkeit wurden von Richardson ausgeführt. Die nebenstehende Abb. 11 gibt eine von ihm gemessene Strom-Temperaturkurve wieder. Und zwar handelt es sich hier um eine Na-Kathode zwischen 200 und 430° C. Richardson fand auch zunächst empirisch die Gleichung der Temperatur-Emissionskurve

$$j = A \cdot T^\alpha \cdot e^{-\frac{b}{T}}. \quad (1)$$

Darin ist  $j$  die Sättigungsstromdichte in Ampere pro cm<sup>2</sup> Oberfläche,  $T$  die absolute Temperatur,  $A$ ,  $\alpha$ ,  $b$  Konstanten,  $e$  die Basis der natürlichen Logarithmen.  $A$  ist nach der Theorie der Glühelektronenemission, auf die näher einzugehen hier zu weit führen würde, für reine, aus einem einzigen Stoffe bestehende Oberflächen eine universelle Konstante, die sich je nach der angewandten Theorie zu 60,2 oder 51,2 Amp./cm<sup>2</sup> Grad<sup>2</sup> berechnet.  $\alpha$  wurde von Richardson zu  $\frac{1}{2}$  angenommen. Die übliche Theorie verlangt den Wert 2, doch lassen sich auch der Wert  $\frac{1}{2}$  und alle zwischen 2 und  $\frac{1}{2}$  liegenden Werte, je nach den Annahmen, theoretisch vertreten und es liegt in der Eigentümlichkeit der Kurve begründet, daß sie sich mit zwei so verschiedenen Exponenten mit nur geringer Änderung der Werte der Konstanten gleich gut darstellen läßt, so daß sich eine experimentelle Entscheidung noch nicht hat herbeiführen lassen. Die Größe  $b$  ist eine Materialkonstante von der Größenordnung  $5 \cdot 10^4$ , die in direkter Beziehung zu der Arbeit  $\varphi$  steht, die ein Elektron leisten muß, um ins Vakuum zu verdampfen. Ferner ist  $b = b_0 + \frac{3}{2} T$ , wo  $b_0$  die beim absoluten Nullpunkt geltende Konstante ist. Da  $\frac{3}{2} T$  sehr klein gegen  $b_0$  ist, ändert sich  $b$  mit der Temperatur nur verschwindend wenig. Endlich ist

$$\varphi_0 = 8,62 \cdot 10^{-5} b_0 \text{ V} \quad (2)$$

und

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{3}{2} k/e \cdot T, \quad (3)$$

wo  $k$  die sog. Boltzmannsche Konstante

$$k = 1,372 \cdot 10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{grad}^{-1} \text{ ist}$$

Hiernach ist auch  $\varphi$  nur sehr wenig mit der Temperatur veränderlich.

Da die Größen  $\varphi$  oder  $b$  im Exponenten stehen, hängt die Elektronenemission von ihnen in außerordentlich hohem Maße ab. Eine geringfügige Änderung von  $\varphi$  oder  $b$  bedingt eine große Änderung des Emissionsstromes. In der folgenden Tabelle 2 sind die Ablösearbeiten, die bisher mit einiger Sicherheit gemessen wurden, zusammengestellt. Die

niedrigste von allen hat Cs, die höchste Pt. Die großen Schwankungen bei den von verschiedenen Forschern gemessenen Werten mahnen zur Vorsicht bei der Benutzung der angegebenen Werte. Die technische Brauchbarkeit eines Materials hängt nicht davon ab, daß es schon bei möglichst niedriger Temperatur hinreichend emittiert, sondern davon, daß es bei der Temperatur, bei der es bereits stark emittiert, noch nicht merklich verdampft. Während man anfangs fast ausschließlich mit Wolfram arbeitete, das erst bei Temperaturen über 2000° C eine hinreichende Emission hat, ist man später mehr und mehr zu den Erdalkalien übergegangen, die bereits bei sehr viel niedriger Temperatur, bei dunkler Rotglut, starke Emission haben.

Tabelle 2. Thermische Elektronenablösearbeiten in Volt.

Gruppe I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Na 1,82	Be 3,5	B 4,2	C 4,3	Ta 4,2	Mo 4,3	—	Fe 4,0
K 0,7—1,6	Mg 3,0	Al 3,0	Si 4,8		W 4,5		Co 4,3
Cu 3,9	Ca 2,4	Se 3,6	Ti 4,0		Ur 3,3		Ni 4,4
Rb 1,45	Zn 3,0	Y 3,1	Zr 3,3—3,6				
Ag 4,1	Sr 1,8—2,2	La 3,3	Th 2,7—3,2				Os 4,7
Cs 0,7—1,4	Cd 2,6	Ce 3,1					Pt 5,1
	Ba 1,6—1,9						

Alle vorstehenden Zahlen und Angaben gelten zunächst nur für höchstes Vakuum, denn nur dann liegen reine Glühelektroden vor. Ist Gas zugegen, so bedecken sie sich mehr oder weniger mit einer Gas-schicht, die die Emission stark beeinflusst.

Ein schlechtes Vakuum erkennt man daran, daß der Gasinhalt beim Anlegen einer hohen Spannung infolge der Gasentladung aufleuchtet. Als ein gutes Vakuum wird für Elektronenröhren ein Vakuum von mindestens  $10^{-6}$  mm Quecksilber oder  $10^{-9}$  atm angesehen. Bei Röhren mit schlechtem Vakuum verbessert sich durch Einschalten der Entladung das Vakuum allmählig.

Die Heizung des Glühdrahtes erfolgt in der Regel direkt oder indirekt durch den elektrischen Strom. Dann ist der Elektronenstrom durch die Heizstromstärke bestimmt. Zur Veranschaulichung diene die Angabe, daß sich der Elektronenstrom in dem Temperaturgebiet von etwa 2300° C, in dem bei reinen Wolframdrähten gearbeitet wird, stets verdoppelt, wenn der Heizstrom um 5% steigt. Eine kleine Änderung des Heizstromes bedingt also eine etwa 14 mal so große Änderung des Emissionsstromes.

Bei der Messung des Heizstromes ist zu beachten, daß auch der Elektronenstrom zum Teil durch den Heizdraht fließt. Eine vorgeschriebene Maximalheizstromstärke ist stets am negativen Ende des Heizdrahtes zu messen, wenn mit Gleichstrom geheizt wird.

Bei größeren Senderöhren wird oft der Glühdraht rückwärts durch die durch den Elektronenstrom zum Glühen gebrachten Anoden geheizt. Die Sättigungsstromstärke nimmt dann scheinbar mit der Anodenspannung zu, weil die Anodentemperatur mit der Anodenspannung zunimmt.

**10. Raumladungserscheinungen.** Bisher war angenommen, daß sich vor der Glühkathode ein sehr starkes Feld befindet, so daß jedes entweichende Elektron sogleich aus dem Raume entfernt wird, also die größtmögliche Stromstärke vorhanden ist. Es war bereits erwähnt, daß die Stromstärke sinkt, wenn das Feld verringert wird, bis sie zugleich mit dem angelegten Felde Null wird. Der gesetzmäßige Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung zwischen den Elektroden läßt sich leicht ableiten. Ist die Glühkathode ein zylindrischer Draht in der

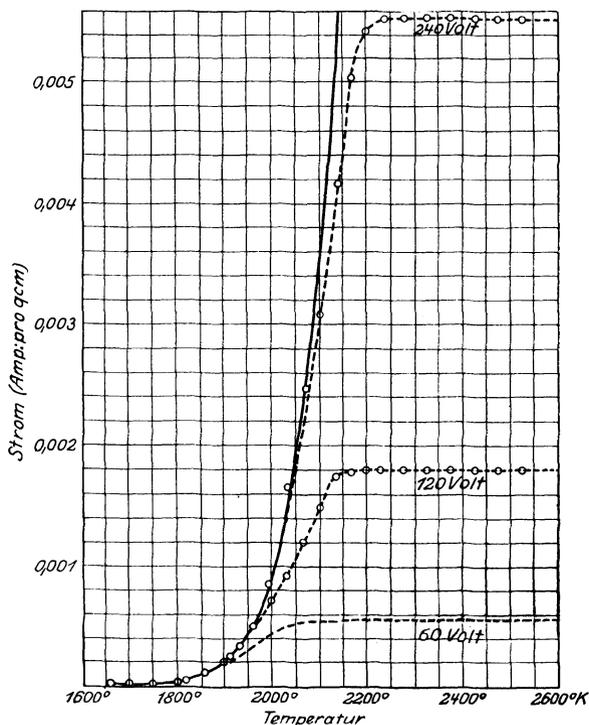


Abb. 12. Elektronenstromdichten von Glühkathoden im Raumladungsgebiet.

Achse einer zylinderförmigen, ihn umhüllenden Anode (Zylinderkondensator), so ist

$$j = \frac{2 \sqrt{2 \frac{e}{m}}}{9 r_0 \beta^2} V^{3/2} \cdot \frac{\text{Amp.}}{\text{cm Drahtlänge}} \quad (4)$$

Dabei ist  $\frac{e}{m}$  das Verhältnis von Ladung zu Masse des Elektrons,  $r_0$  der Radius der Anode,  $V$  die Spannung zwischen Anode und Kathode und  $\beta = f(r_0/r_1)$ , eine Funktion, die von Langmuir und Blodgett ausgewertet und tabellarisch angegeben ist. Abb. 12 zeigt Raumladungsströme bei drei verschiedenen Spannungen nach Langmuir. Abb. 13 die Abhängigkeit der Werte von  $\beta$  von dem Verhältnis  $\frac{\text{Anodenradius}}{\text{Glühdrahtradius}}$ .

Die genauere Theorie unter Berücksichtigung der Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen bei ihrem Austritt aus der Metalloberfläche ergibt wesentlich kompliziertere Formeln.

Bei Einsetzen der Zahlenwerte wird

$$j = 1,468 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{V^{3/2}}{r_0 \beta^2} \frac{\text{Amp.}}{\text{cm Drahtlänge}} \quad (5)$$

Für den Kugelkondensator gilt

$$j = 2,936 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{V^{3/2}}{\alpha^2} \frac{\text{Amp.}}{\text{cm Drahtlänge}}, \quad (6)$$

wo  $\alpha = f(r_0/r_1)$  ebenfalls aus Tabellen zu entnehmen ist.

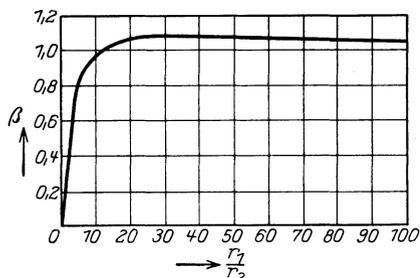


Abb. 13. Werte des Koeffizienten  $\beta$  in Abhängigkeit von dem Verhältnis  
 $\frac{\text{Anodenradius}}{\text{Glühdrahtradius}} = \frac{r_1}{r_2}$ .

Sämtliche bisher abgeleiteten Gleichungen berücksichtigen zwei Umstände nicht, die die Form der Charakteristik nicht unwesentlich verändern. Der erste ist, daß der Glühdraht durch den ihn durchfließenden Heizstrom mit einem Magnetfelde umhüllt wird. Dieses sucht die radial herausliegenden Elektronen in einem Halbkreis wieder zum Draht zurückzutreiben, erhöht dadurch die Raumladung und verflacht die Charakteristik (Näheres siehe S. 43).

Der zweite Umstand ist, daß wegen des gleichen Heizstromes nicht von einer Spannung  $V$  zwischen Anode und Glühdraht gesprochen werden kann, weil im Glühdraht selbst ein Spannungsgefälle vorhanden ist. Es ist üblich,  $V$  rechnerisch auf das negative Ende des Heizdrahtes zu beziehen. Dann ist die Spannung der Anode gegen das positive Drahtende um den Spannungsverlust im Heizdraht kleiner.

Die Gesamtcharakteristik kann man sich dann als durch Integration von lauter Teilcharakteristiken mit verschiedenen Spannungen zusammengesetzt denken. Dabei ergibt sich, wie Abb. 14 zeigt, eine wesentlich flachere Charakteristik als die Formeln erwarten lassen. In ähnlicher Weise wie der Spannungsabfall im Heizdraht wirken endlich noch die verschiedenen Anfangsgeschwindigkeiten der austretenden Elektronen. Auch sie vermindern die Steilheit der Charakteristik. Doch ist dieser Einfluß relativ gering, da die mittlere Austrittsgeschwindigkeit der Elektronen bei Weißglut nur 0,2 V entspricht.

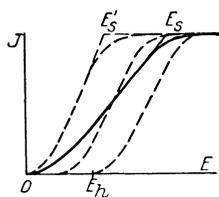


Abb. 14. Verflachung der Charakteristik einer Elektronenröhre durch die Heizspannung  $E_h$  des Glühdrahtes.

**11. Die Emission positiver Ionen von glühenden Oberflächen.** In der Gleichrichtertechnik spielt die Glühemission positiver Ionen bis jetzt keine Rolle. Bis vor kurzem gelang es nur bei glühenden schlecht ent-

gasten Metallen vorübergehend eine Emission positiver Ionen, in der Hauptsache von Wasserstoffionen, zu erhalten, die mit fortschreitender Entgasung verschwand.

Vor einigen Jahren fanden jedoch amerikanische Forscher eine Legierung aus Eisenoxyd, dem etwa 1% eines Alkali- oder Erdalkalioxydes und 1%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zugesetzt ist, die im Bereich von  $400^\circ$  bis  $1100^\circ$  C eine sehr konstante Quelle positiver Ionen ist. Und zwar wird das Ion desjenigen Alkali- oder Erdalkalimetalles emittiert, dessen Oxyd der Legierung zugesetzt ist. Die Emission folgt dem Richardsonschen Gesetz. Es lassen sich also sämtliche unter 10 gegebenen Formeln auf diesen Fall ohne weiteres anwenden, wenn an die Stelle der Elektronenmasse die des betreffenden Ions gesetzt wird.

## 12. Elektronenemission durch hohe Feldstärke.

Abb. 15 veranschaulicht die Verhältnisse beim Vorhandensein eines merklichen äußeren Feldes an der Oberfläche des emittierenden Metalles. Das Metall hat das Potential  $+\varphi$ . Außerhalb des Metalles nimmt dieses Potential in der Kurve  $E_i$  sehr schnell auf Null ab.  $E_a$  ist das darüber gelagerte äußere Potential, dessen Gradient konstant ist.  $E$ , das resultierende Potential, erreicht jetzt nicht mehr den Wert Null, sondern steigt nach Durchlaufen eines Minimums  $E_m$  wieder an. Ein Elektron braucht jetzt also nur noch die Gegenspannung  $\varphi - E_m$  zu überwinden, um das Metall verlassen zu können. Daraus folgt die Emissionsgleichung

$$j = j_s \cdot e^{\frac{4 \cdot 3 q}{\tau}} \sqrt{\frac{dE_a}{dx}} \text{ Amp./cm}^2. \quad (7)$$

Den Potentialgradienten  $\frac{dE_a}{dx}$  zu ermitteln, ist sehr schwierig.

Eine Fläche, die selbst im Mikroskop vollkommen glatt erscheint, kann in der Größenordnung  $10^{-5}$  cm und erst recht in  $10^{-7}$  bis  $10^{-8}$  cm die willkürlichsten Gebirge und Täler haben. Als die Folge dieser Rauigkeit ergibt sich, daß die wahre Feldstärke an den exponiertesten Punkten der Oberfläche ungefähr eine Zehnerpotenz größer ist als die aus der mikroskopischen Oberflächengestalt berechnete. Es liegt hier also eine Elektronenspitzenwirkung vor.

Nach dieser Theorie müßte eine kalte Elektronenentladung ( $T = 300^\circ$  abs.) von  $10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup> bei Na etwa bei Feldstärken von 0,5 bis  $1 \cdot 10^6$  V/cm und bei W bei  $10 \cdot 10^6$  V/cm zu beobachten sein.

Die von verschiedenen Forschern angestellten Versuche ergaben eine in Anbetracht der Schwierigkeiten befriedigende Übereinstimmung mit der Theorie. Es ist also in der Tat möglich, auch aus kalten Elek-

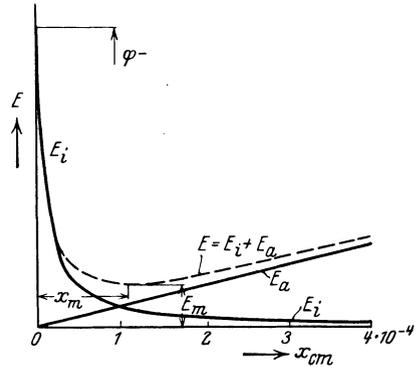


Abb. 15. Zusammenwirken von äußerem Feld und Oberflächenfeld bei der kalten Elektronenentladung.

troden im Höchstvakuum durch sehr große Feldstärken Elektronen herauszuziehen.

Eine praktische Anwendung hat das Verfahren für Gleichrichter noch nicht gefunden.

**13. Lichtelektrische Elektronenemission.** Anstatt durch erhöhte Temperatur kann von den Elektronen eines Metalles auch durch auffallendes Licht die Energie zugeführt werden, deren sie zum Verlassen des Metalles bedürfen. Nach der Quantentheorie strömt das Licht in Form einzelner punktförmiger Energiequanten durch den Raum. Der Energiegehalt eines Lichtquants ist um so größer, je kleiner seine Wellenlänge, je größer seine Schwingungsfrequenz ist.

Durchfällt ein Elektron ein elektrisches Feld von der Größe  $\varphi$  frei, so wird ihm von diesem Feld die Energie  $\varepsilon \cdot \varphi$  mitgeteilt, wo  $\varepsilon$  die Ladung des Elektrons ist. Die gleiche Energie erhält ein Elektron, wenn es ein Lichtquant von der Frequenz  $\nu$  oder der Wellenlänge  $\lambda$  aufnimmt, wenn

$$\varepsilon \cdot \varphi = h \cdot \nu, \quad (8)$$

also

$$\frac{c}{\lambda} = \nu = \frac{\varepsilon \cdot \varphi}{h} \quad (9)$$

ist. Dabei ist  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum  $h = 6,55 \cdot 10^{-22}$  erg sec

$$\varphi = \frac{1,233}{\lambda}, \quad (10)$$

wenn  $\lambda$  die Lichtwellenlänge in  $\mu$  ist.

Nun sind in Tabelle 2 die  $\varphi$ -Werte enthalten, die bei den verschiedenen Metallen nötig sind, um ein Elektron abzulösen. Also ergibt sich aus Gleichung (10), von welcher Wellenlänge an Licht imstande ist, aus einzelnen Metallen Elektronen zu befreien.

Für die wichtigsten Metalle sind diese Werte in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß bei den edleren Metallen erst ultraviolettes Licht Elektronen abzulösen vermag, während bei den Alkalimetallen bereits rotes Licht genügt.

Tabelle 3. Grenzwellenlängen des Lichtes für die lichtelektrische Elektronenablösung in  $\mu$ .

Gruppe I	II	III	IV	VI	VII	VIII
Na 0,68	Mg 0,41	Al 0,31 (?)	Si 0,26	Ta 0,29	—	Fe 0,31
K 1,8—0,77	Ca 0,51					Co 0,29
	Cu 0,32					Ni 0,28
Rb 0,85	Sr 0,56—0,68					Os 0,26
	Ag 0,30					Pt 0,24
Cs 1,8—0,88	Ba 0,65—0,77					

Da die Elektronen nur aus der Oberflächenschicht selbst ausgesandt werden, kommt es lediglich auf diese Oberflächenschicht, nicht auf die innere Masse des Metalles an.

Der Ablöseprozeß vollzieht sich mit einem bestimmten, wesentlich unter 1 liegenden Wirkungsgrad. Nicht jedes auf die Oberfläche

treffende Quant löst ein Elektron ab. Doch ist die Zahl der ausgelösten Elektronen der Intensität des erregenden Lichtes innerhalb sehr weiter Grenzen proportional.

Ist die Energie, die das auffallende Quant hat, größer als die zur Ablösung der Elektronen erforderliche Energie, so wird der Überschuß zum Teil dazu verwandt, das Elektron mit einer bestimmten Geschwindigkeit aus der Metalloberfläche austreten zu lassen. Bei ultraviolettem Licht und einer Alkalimetalloberfläche entspricht diese Geschwindigkeit einer durchlaufenen Spannung von etwa 4 V.

Die Stromstärken, die sich auf diese Weise erzielen lassen, sind sehr gering. In der Starkstromtechnik spielen lichtelektrische Ventile keine Rolle. Das Hauptanwendungsgebiet der Photozellen ist nicht die Gleichrichtung, sondern die Lichtmessung und die Umsetzung von Lichtzeichen in elektrische.

**14. Elektronenablösung von festen Oberflächen durch Elektronen- oder Ionenstoß.** Eine andere Art, den Elektronen in einer Metalloberfläche die Energie zuzuführen, deren sie zum Verlassen des Metalles bedürfen, besteht darin, Teilchen von gleicher oder geringerer Größe wie die Atome mit solcher Geschwindigkeit auf die Oberfläche aufprallen zu lassen, daß ihre kinetische Energie den erforderlichen Betrag erreicht. Die Teilchen brauchen nicht geladen zu sein. Praktisch sind sie es fast stets, weil es kaum möglich ist, ungeladenen Teilchen solche Geschwindigkeiten zu erteilen.

Die durch Elektronenaufprall auf eine feste Oberfläche ausgelösten Elektronen heißen Sekundärelektronen. Ihre Menge ist stark von der Geschwindigkeit und der Richtung abhängig, mit der die Primärelektronen auf die Metalloberfläche auftreffen. Bei höheren Elektronengeschwindigkeiten werden die meisten Sekundärelektronen bei streifendem Einfall der Primärelektronen gebildet, da diese bei senkrechtem Einfall zu tief in das Metall eindringen, so daß die gebildeten Sekundärelektronen im Metall wieder abgebremst werden.

Die Sekundärelektronenbildung beginnt bei einer Primärelektronengeschwindigkeit von 10 bis 20 V merklich zu werden. Bei 500 V werden in vielen Metallen mehr Sekundärelektronen gebildet als Primärelektronen auftreffen. Bei noch größeren Primärgeschwindigkeiten sinkt bei senkrechtem Auftreffen die Zahl der Sekundärelektronen im allgemeinen wieder etwas.

Ihre Austrittsgeschwindigkeit ist nach dem Wahrscheinlichkeitsgesetz um einen mittleren Wert verteilt, der stets beträchtlich kleiner ist, als die Geschwindigkeit der Primärelektronen. Bei 100 bis 600 V Primärelektronengeschwindigkeit liegt sie zwischen 5 und 10 V. Gegen eine Spannung von 20 bis 40 können nur noch verschwindend wenige Sekundärelektronen anlaufen.

Der größte Teil der Energie der aufprallenden Elektronen wird in Wärme verwandelt, die das getroffene Metall erhitzt.

Beim Aufprall positiver Ionen auf eine Metalloberfläche ergeben sich ganz ähnliche Verhältnisse. Infolge großer experimenteller Schwierigkeiten sind die sich in diesem Falle abspielenden Vorgänge noch nicht

hinreichend erforscht. Es scheint, als ob auch beim Aufprall positiver Ionen die Elektronenablösung bei Primärgeschwindigkeiten von etwa 20 V merklich zu werden beginnt und mit steigender Geschwindigkeit erst rasch, dann langsamer ansteigt. Ferner hängt die Elektronenmenge von der Art des positiven Ions ab. Bei Wasserstoffionen (Protonen) und Messing werden bei 300 V von einem Proton etwa 2, bei 20000 V etwa 5 Elektronen, nach anderen Versuchen jedoch bedeutend mehr, abgelöst. Zugleich mit der Elektronenablösung werden auch neutrale Metallatome in ziemlich großen Mengen losgelöst, eine Erscheinung, die unter dem Namen *Kathodenzerstäubung* in der Technik der Gasentladungen vielfach eine sehr unangenehm störende Rolle spielt.

**15. Die freie Weglänge.** Für das Verständnis des Verhaltens von Elektronen und Ionen in Gasen ist der Begriff der freien Weglänge von größter Wichtigkeit. Die durcheinander fliegenden Atome oder Moleküle eines Gases prallen immer wieder miteinander zusammen. Die Moleküle beschreiben also zickzackförmige Bahnen und wechseln bei jedem Zusammenstoß Richtung und Geschwindigkeit. Die Strecke, die sie zwischen 2 Zusammenstößen durchlaufen, heißt die freie Weglänge. Wären die Moleküle feste elastische Kugeln von einem gegebenen Radius  $\rho$ , so ließe sich ohne weiteres aus den Bahnen zweier Moleküle angeben, ob sie zusammenstoßen oder nicht. In Wirklichkeit sind die Moleküle jedoch Zentren elektrischer Anziehungs- und Abstoßungskräfte. Es kann infolgedessen nicht von Zusammenstoß, sondern nur von gegenseitiger Beeinflussung dieser Kräfte gesprochen werden. Null wird diese Beeinflussung erst bei unendlichem Abstand der Moleküle. Will man auf dieser Basis von einem Zusammenstoß reden, so muß man definieren: Ein Zusammenstoß hat stattgefunden, wenn die Moleküle um so und so viel Grad aus ihrer Bahn abgelenkt worden sind. Um diese Willkür zu umgehen und den Begriff Zusammenstoß und mittlere freie Weglänge zu retten, sieht die kinetische Gastheorie die Moleküle entgegen der Erfahrung als starre elastische Kugeln an. Eine gewisse Berechtigung dazu erblickt sie in der Tatsache, daß die elektrischen

Kräfte von einem bestimmten Moleküldurchmesser an mit einer höheren Potenz des Durchmessers, also sehr schnell, abnehmen.

Die Folge dieser vereinfachenden Annahme ist, daß der Begriff des Zusammenstoßes und der freien Weglänge zwar in der kinetischen Gastheorie ganz gut brauchbar ist, in der Theorie der Gasentladungen jedoch, wo es sich sehr oft um Betrachtung von Einzelstößen handelt, mit größter Vorsicht

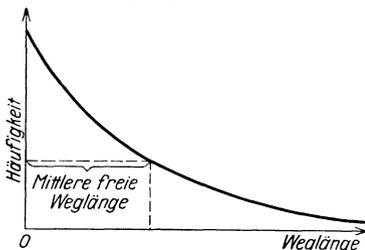


Abb. 16. Zusammenhang zwischen der Häufigkeit und der Größe der freien Weglängen der Moleküle.

anzuwenden ist und sehr oft völlig versagt.

Bei den Zusammenstößen kommen alle möglichen freien Weglängen und alle möglichen Geschwindigkeiten vor. Eine einfache Überlegung zeigt, daß die Weglängen um so häufiger sind, je kürzer sie sind. Abb. 16

gibt die Häufigkeit der Weglängen als Funktion ihrer Länge. Mittelt man alle vorkommenden Weglängen, so erhält man die mittlere freie Weglänge. Sie ist in Abb. 16 eingetragen. Die Abb. 16 zeigt, daß diese mittlere freie Weglänge lediglich ein rechnerischer Begriff ist, und daß sie durchaus nicht häufiger vorkommt als andere Weglängen. Anders liegt es bei den Geschwindigkeiten. Diese gruppieren sich in der Tat um einen Mittelwert, wie Abb. 17 zeigt, die die sog. Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle enthält.

Die mittlere Weglänge berechnet sich nach der Formel

$$L = \frac{\lambda^3}{\frac{4}{3} \pi s^2} \quad (11)$$

Dabei ist  $\lambda$  der mittlere Abstand der Mittelpunkte der kugelförmig gedachten Moleküle, also ein Maß der Gasdichte,  $s$  der Abstand der Mittelpunkte der Moleküle beim Stoß oder die kleinste Entfernung, auf die sie sich überhaupt nähern können, bei 2 gleichen Molekülen also ihr Durchmesser, nach dem Vorstehenden ein rein fiktiver Begriff. Nach Formel (11) ist die mittlere Weglänge der Gasdichte umgekehrt proportional.

Für die positiven Ionen nimmt man der Einfachheit halber die gleiche Weglänge an, wie für die Atome oder Moleküle, aus denen sie entstanden sind.

Bei den Elektronen wird der Begriff der freien Weglänge noch bedenklicher, weil ihre Abmessungen gegenüber der der Atome verschwindend gering sind. Nach der Formel (11) ergibt sich für Elektronen die vierfache freie Weglänge der Moleküle, zwischen denen sie sich befinden. Ist die Geschwindigkeit der Elektronen groß gegen die der Moleküle, so kommt nach der Theorie noch der Faktor  $\sqrt{2}$  hinzu, so daß sie dann die 5,66fache freie Weglänge haben.

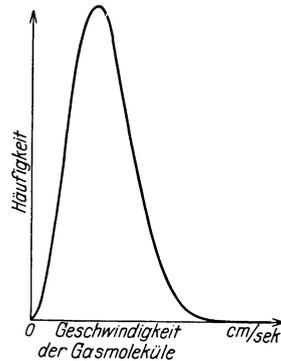


Abb. 17. Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilungskurve der Gasmoleküle.

Tabelle 4. Mittlere Weglängen der Gasmoleküle bei 0°C, 1 mm Druck in Tausendstel Millimetern ( $\mu$ ).

Gas	Symbol	Weglänge	Gas	Symbol	Weglänge
Ammoniak . . .	NH <sub>3</sub>	33,5 $\mu$	Luft . . . . .	—	21,9 $\mu$
Argon . . . . .	Ar	48,2 $\mu$	Neon . . . . .	Ne	95,7 $\mu$
Chlor . . . . .	Cl	46,1 $\mu$	Quecksilber . . .	Hg	21,7 $\mu$ <sup>1</sup>
Salzsäure . . . .	HCl	30,7 $\mu$	Sauerstoff . . . .	O <sub>2</sub>	49,1 $\mu$
Helium . . . . .	He	136,6 $\mu$	Stickstoff . . . .	N <sub>2</sub>	45,5 $\mu$
Kohlensäure . . .	CO <sub>2</sub>	33,6 $\mu$	Wasserstoff . . . .	H <sub>2</sub> O	30,7 $\mu$
Kohlenoxyd . . .	CO	22,9 $\mu$	Wasserdampf . . .	H <sub>2</sub>	85,4 $\mu$
Krypton . . . . .	Kr	27,4 $\mu$	Xenon . . . . .	X	26,6 $\mu$

<sup>1</sup> bei 300°C.

Es sei aber noch einmal betont, daß der Begriff der freien Weglänge bei Elektronen nur als roher Anhaltspunkt dienen kann. In der Tat haben die Versuche ergeben, daß die freie Weglänge der Elektronen auch außerhalb des Faktors  $4\sqrt{2}$  eine stark veränderliche Funktion der Elektronengeschwindigkeit ist.

Die Tabelle 4 enthält die mittleren Weglängen der Gase für eine Temperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  bei der einem Druck von 1 mm Hg entsprechenden Dichte in Tausendstel Millimeter.

**16. Erzeugung von Elektronen und Ionen im Gasraum.** Befindet sich ein Atom im Gaszustande, so müssen ihm bedeutend größere Energien zugeführt werden, um ein Elektron von ihm abzulösen, als wenn das gleiche Atom ein Teil einer festen oder flüssigen Oberfläche ist. Beim Quecksilber ist beispielsweise die erstere Energie fast das Dreifache der letzteren.

Während also die Elektronenablösung durch hohe Temperatur bei den Alkalimetallen schon bei Rotglut beträchtlich ist und selbst bei den edelsten Metallen bei etwa  $2500^{\circ}$  reichlich vor sich geht, sind bei Gasen Temperaturen von der Größenordnung  $10000^{\circ}$  und mehr erforderlich.

Thermische Gasionisierung scheidet also praktisch aus. Das gleiche gilt praktisch für Ionisierung durch Bestrahlung, die wissenschaftlich eine große Rolle spielt. Hier wird nur vom äußersten Ultraviolett und von Röntgenstrahlen die erforderliche Energie geliefert.

Es bleibt praktisch nur die Gasionisierung durch Stoß übrig.

Wir betrachten zuerst die Ionisierung durch Elektronenstoß. Die Erscheinungen sind hier recht mannigfaltig. Die getroffenen Gase lassen sich nach ihrem Verhalten in 2 Gruppen, die der einatomigen Gase (Edelgase und Metaldämpfe) und die der mehratomigen Gase, wie z. B.  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{J}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  usw., einteilen.

**17. Stoßionisierung einatomiger Gase.** Am übersichtlichsten liegen die Verhältnisse bei den einatomigen Gasen.

1. Haben die Elektronen sehr geringe Geschwindigkeiten unter einem Volt, so gehen sie bei bestimmten Stoßrichtungen vielfach durch die Atome hindurch, als ob diese nicht vorhanden wären. Anders ausgedrückt: Die Elektronen haben eine abnorm große freie Weglänge.

2. Liegen solche günstigen Stoßrichtungen nicht vor oder ist die Elektronengeschwindigkeit etwas größer, so werden die Elektronen vollkommen elastisch nach den Stoßgesetzen reflektiert. Nun ist die bei einem elastischen Stoß von dem stoßenden Elektron an das gestoßene, vor dem Stoß ruhende Teilchen im Mittel abgegebene Energie

$$\alpha = 2 \cdot \frac{m}{m_1}, \quad (12)$$

wo  $m$  die Masse des Elektrons und  $m_1$  die Masse des Atoms ist. Setzt man  $m = 8,98 \cdot 10^{-28}$  g und  $m_1 = 1,65 \cdot M \cdot 10^{-24}$  g ( $M = \text{Atomgewicht}$ ), so wird

$$\alpha = \frac{1,088 \cdot 10^{-3}}{M}. \quad (13)$$

Berücksichtigt man die Wärmebewegung der Atome, so wird nach K. T. Compton<sup>1</sup>

$$\alpha = 2 \frac{m}{m_i} \left( 1 - \frac{\Omega}{U} \right), \tag{14}$$

wo  $\Omega$  die mittlere kinetische Energie der Atome und  $U$  die der Elektronen ist.

Bei Zimmertemperatur liegt  $\left( 1 - \frac{\Omega}{U} \right)$  zwischen 0,98 und 1, so daß diese Korrektur vernachlässigt werden kann.

Es berechnet sich dann für den rein elastischen Stoßverlust:

Tabelle 5.

Gas . . . . .	$10^4 \cdot \alpha$	H <sub>2</sub> . . . . .	5,40
He . . . . .	2,72	O <sub>2</sub> . . . . .	0,314
Ne . . . . .	0,539	H <sub>2</sub> O . . . . .	0,604
Ar . . . . .	0,273	Hg . . . . .	0,0543
N <sub>2</sub> . . . . .	0,389		

Dieses alles gilt jedoch nur, solange die Geschwindigkeit der Elektronen eine bestimmte kritische Grenze nicht erreicht.

**18. Die „Voltgeschwindigkeit“.** Als Maß der Elektronengeschwindigkeit hat sich eine logisch nicht ganz korrekte, aber sehr bequeme Ausdrucksweise eingebürgert. In einem elektrischen Felde hängt die Geschwindigkeit, die ein Elektron erlangt, von der Spannung ab, die es ohne Energieabgabe durchlaufen hat. Auch die im Felde aufgenommene Energie ist durch das Produkt  $\varepsilon \cdot V$  aus der Ladung  $\varepsilon$  und der durchlaufenen Spannung  $V$  gegeben. Man spricht deshalb kurzerhand von einer Geschwindigkeit der Elektronen von  $V$  Volt und meint damit die Geschwindigkeit, die das Elektron nach verlustlosem Durchlaufen einer Spannung von  $V$  Volt erreicht. Es ist zu beachten, daß, wenn ein Elektron die doppelte Spannung durchläuft, die aufgenommene Energie  $\frac{1}{2} m v^2$  auf das Doppelte, seine wirkliche Geschwindigkeit also nur auf das  $\sqrt{2}$ fache steigt. Die wirklichen Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Wurzeln aus den „Voltgeschwindigkeiten“.

**19. Die Anregungsspannung.** Zum Verständnis dessen, was bei dem Erreichen der kritischen Grenze geschieht, ist ein kurzes Eingehen auf die heutige Atomtheorie erforderlich. Bekanntlich besteht nach der heutigen Anschauung jedes Atom aus einem positiv geladenen Kern von etwa  $10^{-12}$  cm Durchmesser und einer Anzahl diesen Kern umkreisender Elektronen. Diese Elektronen umhüllen den Kern in einzelnen Gruppen oder Schalen. Die Gesamtzahl der Elektronen ist gleich der chemischen Ordnungszahl des betreffenden Elementes. Ebensogroß ist die Zahl der positiven Ladungseinheiten des Kernes, so daß das Atom im Normalzustand nach außen elektrisch neutral ist. Jedes Elektron läuft in einer ganz bestimmten Normalbahn um den Kern. Die Energie, die nötig ist, um es von dieser Normalbahn aus völlig vom Atom zu entfernen, ist um so größer, je näher die Schale, der es angehört, sich dem Kerne

<sup>1</sup> Compton, K. T.: Phys. Rev. Bd. 21, S. 717. 1923.

befindet. Während bei den Elektronen der äußersten Schale Energien von der Größenordnung 10 V genügen, sind bei den Atomen mit mehreren Schalen für die innerste Schale Hunderte bis Tausende von Volt erforderlich. Es kommt hier deshalb zunächst nur das Verhalten eines Elektrons der äußersten Schale in Frage und wir können uns mit dem Bilde des einfachsten Atomes, des Wasserstoffatoms, dessen Kern von einem einzigen Elektron umkreist wird, begnügen.

Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß jedes Elektron seinen Kern nicht nur in der Normalbahn, sondern in einer Anzahl weiterer Bahnen umkreisen kann, deren Durchmesser nach ganz bestimmten Gesetzen zunehmen. In Abb. 18 sind die verschiedenen Elektronenbahnen des

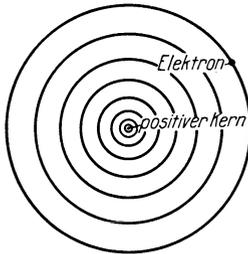


Abb. 18. Die 8 innersten Bahnen des Wasserstoffelektrons.

Wasserstoffes schematisch dargestellt. Der innerste Kreis ist die Normalbahn. Jeder Bahn entspricht ein ganz bestimmtes Potential  $V$ . Das Elektron springt aus der innersten in die nächste Bahn über, wenn ihm auf irgend eine Weise die Energie  $e(V_1 - V_2) = eV_a$  zugeführt wird, wobei  $V_1$  und  $V_2$  die den beiden Bahnen zugehörigen Potentiale und  $e$  die Ladung des Elektrons ist. Ein Atom, das ein solches in einer gehobenen Bahn befindliche Elektron hat, heißt ein „angeregtes“ Atom. In der Regel fällt das Elektron innerhalb von  $10^{-8}$  sec nach der erfolg-

ten Anregung wieder in die Normalbahn zurück, wobei es die dabei wieder freiwerdende Energie in Form von Lichtstrahlung der dieser Energie entsprechenden Wellenlänge aussendet.

Bei Atomen mit mehreren Elektronen gibt es jedoch auch Bahnen, aus denen das Elektron nicht ohne weiteres in die Normalbahn zurückfallen kann, sondern nur dann, wenn es zunächst durch weitere Energiezufuhr auf eine noch höhere Bahn gehoben wird. Diese Bahnen, eine Art Sackgassen für die Elektronen, heißen metastabile Bahnen.

Nun lehrt die Erfahrung, daß einem Elektron eines Atomes die zur Hebung in eine weitere Bahn erforderliche Energie auch dadurch zugeführt werden kann, daß ein auf das Atom auftreffendes Elektron, das zuvor in einem elektrischen Felde mindestens die erforderliche Energie als kinetische Energie aufgenommen hat, diese durch Stoß an das Elektron abgibt. Die geringste Energie, bei der dieses vor sich gehen kann, entspricht der vorher erwähnten kritischen Grenze der Elektronengeschwindigkeit. Sobald diese erreicht ist, verlaufen die Elektronenstöße nicht mehr elastisch, sondern es kommt zur Abgabe der gesamten Elektronenenergie.

Diese Energieabgabe findet jedoch durchaus nicht bei jedem mit der erforderlichen Energie erfolgenden Zusammenstoße statt, was nicht erstaunlich ist, da der Querschnitt des getroffenen Atomes sehr viel größer ist als die Bahnlinie des Elektrons, auf das die Energie übertragen werden soll.

Der Prozentsatz der Stöße hinreichender Energie, der zur Energieabgabe führt, ist von der Geschwindigkeit des Elektrons abhängig.

Der Zusammenhang beider Größen heißt die Anregungsfunktion. Sie ist für jedes Elektron und jede Bahn, also jede Spektrallinie, eine andere.

Bei manchen Spektrallinien schnell die Anregungsfunktion unmittelbar nach dem Erreichen der kritischen Geschwindigkeit auf ein steiles Maximum, um sofort wieder auf geringe Werte zu sinken. Das heißt, sobald das stoßende Elektron die kritische Geschwindigkeit ein wenig überschritten hat, kommt es praktisch nicht mehr zur Anregung der betreffenden Linie. Die Anregungsspannungen  $V_a$  sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6. Die Anregungsspannungen  $V_a$  und Ionisierungsspannungen  $V_i$  der Gase in Volt.

Gas	$V_a$ V	$V_i$ V	Gas	$V_a$ V	$V_i$ V
Cs	1,48	3,87	Ar	12,0	15,3
K	1,55	4,32	Kr	—	13,3
Na	2,12	5,12	X	—	11,5
Mg	2,70	7,61	H	—	13,9
Ba	1,56	5,19	H <sub>2</sub>	10,1	15,9
Zn	4,02	9,35	N <sub>2</sub>	8,2	16,9
Cd	3,78	8,96	O <sub>2</sub>	7,9	15,5
Hg	4,86	10,39	Cl <sub>2</sub>	—	8,2
He	20,5	24,5	Br <sub>2</sub>	—	10,0
Ne	16,6	21,8	J <sub>2</sub>	2,34	10,1

**20. Die Ionisierungsspannung.** Der Energiebetrag, den das stoßende Elektron abgeben muß, ist um so größer, je größer der Durchmesser der Bahn ist, in die das getroffene Elektron springt, bis schließlich bei der Ionisierungsenergie, die der durchlaufenen Spannung  $V_i$  entspricht, das Elektron völlig vom Atom losgelöst wird.

Auch bei der Ionisierung führt längst nicht jeder Stoß zum Erfolg. Der Zusammenhang zwischen Ionisierungsausbeute und Elektronengeschwindigkeit, die sog. Ionisierungsfunktion, ist bekannt. Sie findet sich in den Abb. 19 und 20 nach den Untersuchungen von Hughes und Klein<sup>1</sup>.

Die Abb. 19 u. 20 zeigen, daß die Ionisierungsausbeute bei einer bestimmten zwischen 60 und 200 V liegenden Elektronengeschwindigkeit ein Maximum hat und dann wieder sinkt, um bei sehr hohen Elektronengeschwindigkeiten sehr gering zu werden.

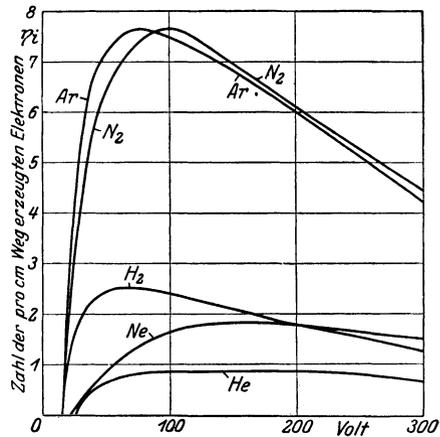


Abb. 19. Zusammenhang zwischen Elektronenstoßgeschwindigkeit und Zahl der erzeugten Elektronen.

<sup>1</sup> Hughes, A. H. und Elias Klein: Phys. Rev. Bd. 23, S. 450. 1924.

Die Ionisierungsspannungen sind ebenfalls in Tabelle 6 zusammengestellt.

Hiernach lautet das Rezept zur Herstellung eines gut leitenden Gases: Man nehme Elektronen und beschleunige sie in einem elektrischen Felde

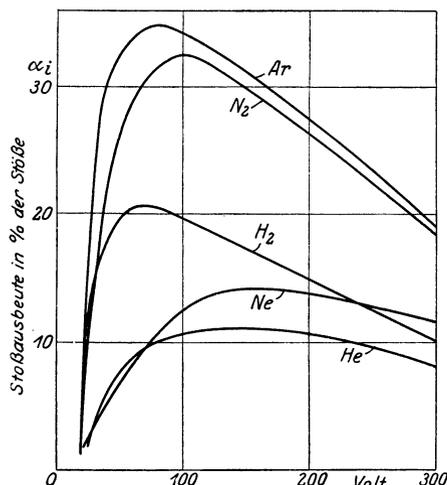


Abb. 20. Zusammenhang zwischen prozentualer Ionisierungsausbeute und Geschwindigkeit der stoßenden Elektronen.

auf die Geschwindigkeiten der Tabelle 6, wobei möglichst darauf zu achten ist, daß sie diese Geschwindigkeit erreichen, ohne vorher öfter mit den Atomen zusammenzustoßen, da sie sonst ihre Energie zur Anregung abgeben. Doch sind diese Stöße nicht so gefährlich, da — wie wir gesehen haben — die Anregungsstoß-Ausbeute recht gering ist.

Welche Komplikationen sich dabei im einzelnen ergeben, wird in dem Abschnitte über die elektrische Strömung in Gasen auseinandergesetzt werden.

**21. Die Ionisierung mehratomiger Gase.** Bisher war von einatomigen Gasen die Rede. Bei den mehratomigen kommen zwei

neue Erscheinungen hinzu. Erstens werden in diesem Falle die Atome, aus denen die Moleküle bestehen, durch die Elektronenstöße veranlaßt, um eine gemeinsame Achse zu rotieren, wobei sie den Elektronen auch die hierfür erforderliche Energie entziehen. Die Stoßverluste sind in mehratomigen Gasen also größer, als der Formel (13) entspricht. Zweitens üben eine Anzahl Gase eine solche Anziehungskraft auf die Elektronen aus, daß sie sie einfangen und mit ihrer Hilfe ein negatives Ion bilden. Die Elektronengeschwindigkeit, bis zu der ihnen dieses Einfangen gelingt, liegt um so höher, je elektronengieriger die Gase sind. Nach zunehmender Elektronengier geordnet ergibt sich die Reihe (H<sub>2</sub>), (N<sub>2</sub>), O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>, J<sub>2</sub>.

H<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> sind nicht imstande, Elektronen merklich zu binden.

In ähnlicher Weise wie die Elektronen vermögen auch die positiven Ionen die Atome oder Moleküle durch Stoß anzuregen und zu ionisieren. Auch sie stoßen unterhalb der Anregungsgeschwindigkeit rein elastisch mit den Atomen zusammen. Da aber ihre Masse in der Regel ebenso groß ist wie die der getroffenen Atome, verlieren sie im Mittel bei jedem Stoß  $\frac{1}{4}$  ihrer Energie, so daß sie nur sehr schwer größere Geschwindigkeiten erreichen können. Sie spielen infolgedessen bei den Ionisierungsvorgängen in der Regel keine Rolle.

**22. Die Molisierung (Rekombination).** Der entgegengesetzte Vorgang der Ionisierung, der Zusammentritt eines Elektrons und eines positiven Ions zu einem neutralen Atom, heißt „Molisierung“. Die bei dem

Zusammentritt wieder freiwerdende Ionisierungsenergie wird als Licht diskreter Wellenlängen ausgestrahlt. Für Atome gleicher Art ist sie Resonanzstrahlung, d. h. sie kann von dem nächsten Atom wieder absorbiert werden und wieder zur Ionisierung führen, so daß dieses Spiel zwischen Ionisierung und Strahlung im Gase hin und her geht.

Die Molisierung ist dem Quadrat der Ionenkonzentration proportional und bewirkt, daß bei andauernder Ionisierung doch nicht schließlich sämtliche Moleküle in Ionen verwandelt werden, sondern sich ein Gleichgewicht zwischen neu entstehenden und wieder verschwindenden Ionen herstellt. Die Molisierung ist um so größer, je geringer die Ionen- geschwindigkeit ist. In den meisten Fällen kann sie vernachlässigt werden.

## b) Die Elektronen- und Ionenströmung.

**23. Die Elektronenströmung.** Bei geringen Drucken sind die negativen Ionen größtenteils Elektronen, so daß, wenn in einem Raume gleichviel positive Ionen und Elektronen vorhanden sind, der Strom fast ausschließlich von den sehr viel schnelleren Elektronen transportiert wird.

Daher rührt auch die Ähnlichkeit der elektrischen Strömung in langen Leuchtröhren und in Metalldrähten. Bei den Metalldrähten liegen die positiven Ionen vollständig fest, bei den Leuchtröhren praktisch ebenfalls. Trotzdem sind bei beiden die positiven Ionen unentbehrlich, denn wenn sie fehlten, würde eine ungeheure Raumladung vorhanden sein, die keinen merklichen Strom zustande kommen ließe. Die positiven Ionen neutralisieren diese Raumladung.

Bei der selbständigen Entladung in Gasen ist die Zahl der von den Elektroden zur Verfügung gestellten Ionen der Stromstärke proportional. Es ist also der Spannungsverlust sowohl von der Stromstärke als auch vom Querschnitt unabhängig. Dem Druck ist er proportional. Es folgt das einfache Gesetz:

$$e = \sigma_g \cdot l \cdot p \text{ Volt,} \quad (15)$$

wenn  $l$  die Länge der Gasstrecke und  $p$  der Gasdruck in mm Hg ist.  $\sigma_g$ , das Potentialgefälle auf einem cm Weglänge bei einem Druck von 1 mm Hg und einer zugrunde gelegten Temperatur von 27° (300° abs.), heißt „Normalgradient“.

Es ist also hiernach, von den durch Temperaturänderung bedingten Änderungen abgesehen, nicht möglich, den Spannungsverlust in einer Gasstrecke durch Änderung der Stromstärke zu ändern, wie es jedem beim Spannungsverlust in Drähten geläufig ist.

Natürlich setzt das Gesetz ebensogut die Konstanz aller übrigen Parameter, insbesondere der Temperatur, voraus, wie z. B. das Ohmsche Gesetz. Wird durch den Strom das durchströmende Gas erwärmt, so ändert sich  $\sigma_g$  ebensogut wie sich die spezifische Leitfähigkeit des Ohmschen Gesetzes mit der Temperatur ändert.

Um nun die Strömung der Elektronen durch ein Gas bei einer derartigen vollständigen Entladung (Glimmentladung oder Lichtbogen) zu verdeutlichen, seien folgende einfachen Annahmen gemacht:

1. Die Elektronen mögen von einer ebenen Kathode ausgehen und zu einer ihr parallelen Anode hinströmen.

2. Die Entfernung beider Elektroden sei groß gegen die mittlere freie Weglänge der Elektronen.

3. Überall seien in der Raumeinheit ebenso viele positive Ionen wie Elektronen vorhanden, so daß keine räumlichen Ladungen bestehen.

4. Die Molisierung ist zu vernachlässigen. Dieses trifft in der Regel bei der elektrischen Strömung in Gasen mit hinreichender Genauigkeit zu. Die Molisierung ist ein im Innern der Gase äußerst seltener Vorgang. Ganz anders liegen die Verhältnisse an den Gefäßwänden, worauf später eingegangen wird.

Dann liegt die Strömung der Elektronen zwischen zwei extremen Fällen.

Extrem 1: Die Elektronen stoßen mit den Gasmolekülen verlustlos zusammen. Dann werden sie von den Gasmolekülen nach allen Richtungen mit der gleichen Geschwindigkeit reflektiert, mit der sie auftreffen. Wird die Geschwindigkeit der Elektronen unterhalb des Wertes gehalten, bei dem die Anregung beginnt, so bewegen sich die Elektronen gleichmäßig nach allen Richtungen. Wir haben das Bild einer vollendeten Diffusion. Wie viele von den Elektronen die Anode erreichen, hängt von dem Verhältnis der Anodenoberfläche zu den gesamten übrigen, den Raum begrenzenden Flächen ab. Es sind also in diesem Falle die Gefäßwände von ausschlaggebender Bedeutung, einerlei, wie weit sie von den beiden Elektroden entfernt sind.

Sehen wir uns die Diffusionsströmung der Elektronen etwas genauer an. Denken wir uns parallel zu den Elektroden einen Querschnitt durch das Gas gelegt, so bilden alle diesen Querschnitt von links nach rechts durchsetzenden Elektronen den zur Anode fließenden Strom  $i_a$  und die ihn von rechts nach links durchsetzenden den zur Kathode fließenden Strom  $i_k$ . Der durch die Differenz  $i_a$  bis  $i_k$  gebildete gemessene Strom  $i$  zur Anode ist sehr klein gegen  $i_a$  und  $i_k$ . Jedes Elektron beschreibt eine wirre Zickzackbahn, die sich nur langsam der Anode nähert, falls es überhaupt zu dieser gelangt. Es erleidet dabei außerordentlich viel mehr Zusammenstöße als der Abstand zwischen Kathode und Anode freie Weglängen umfaßt.

Wir gehen nunmehr zu dem anderen Extrem über.

Extrem 2: Die Elektronen verlieren bei jedem Zusammenstoß mit den Gasmolekülen ihre gesamte Feldenergie. Dann strömen sie, wenn die auf einer freien Weglänge gewonnene Feldenergie groß gegen die Energie der Wärmebewegung ist, nur in der Richtung der Feldlinien. Eine seitliche Diffusion fehlt völlig. Der Strom geht in konstanter, durch die Austrittsstelle der Elektronen aus der Elektrode bestimmter Breite von der Kathode zur Anode. Es ist  $i = i_a$ . Der Strom  $i_k$  fehlt völlig.

Dem ersten Extrem nähern sich die einatomigen Gase um so mehr, je größer ihr Atomgewicht ist, denn um so kleiner sind die Stoßverluste. Doch wird das Extrem nicht entfernt erreicht. Denn infolge der außerordentlich großen Zahl der Zusammenstöße auf der Zickzackbahn der

Elektronen erreichen die Stoßverluste auf die Dauer doch recht merkliche Beträge. Es bildet sich ein stationärer Zustand aus, wenn das Feld so groß ist, daß den Elektronen im Mittel auf einer gegebenen Strecke so viel Energie zugeführt wird, wie durch Stoßverluste verloren geht.

**24. Die Elektronenströmung im Magnetfeld.** Ein Magnetfeld übt auf eine sich bewegende elektrische Ladung eine Kraft aus, die senkrecht auf der Bewegungsrichtung und den elektrischen Kraftlinien steht. Diese Kraft lenkt also das Teilchen aus seiner Richtung ab, ohne seine Energie zu ändern. Ist  $v$  die Geschwindigkeit des Elektrizitätsträgers in m/sec,  $N$  die Anzahl Elementarladungen, die er enthält,  $H$  die Stärke des Magnetfeldes in Gauß und  $\alpha$  der Winkel zwischen der Richtung von  $v$  und  $H$ , so ist die ablenkende Kraft  $K = 1,56 \cdot 10^{-20} N \cdot v \cdot H \sin \alpha$  Dyn. Der Krümmungsradius der entstehenden schraubenförmigen (für  $\alpha = 90^\circ$  kreisförmigen) Bahnlinie ist

$$\varrho = \frac{mv}{1,56 \cdot 10^{-20} H N \sin \alpha} \text{ cm.} \quad (16)$$

Für ein Elektron und  $\alpha = 90^\circ$  ergibt sich

$$\varrho_{\text{el}} = \dots \frac{v}{H} \text{ cm.} \quad (17)$$

Nach Gl. (16) ist der Krümmungsradius  $\varrho$  um so größer, die Bahn also um so gestreckter, je größer  $m$  und  $v$  sind. Werden die Bahnkrümmungen eines Elektrons und eines positiven Ions, z. B. des Argonions verglichen, die beide im gleichen elektrischen Felde die gleiche Energie aufgenommen haben, so daß

$$\frac{1}{2} m_{\text{el}} v_{\text{el}}^2 = \frac{1}{2} m_{\text{Ar}} v_{\text{Ar}}^2 \quad (18)$$

ist, so berechnet sich aus Gl. (18)

$$\varrho_{\text{Ar}} = 272 \varrho_{\text{el}}. \quad (19)$$

Obwohl also  $v_{\text{el}}$  in diesem Falle viel größer als  $v_{\text{Ar}}$  ist, überwiegt doch der Einfluß der größeren Masse des Argonions. Große Ablenkungen, so kleine  $\varrho$ , lassen sich bei mäßigen Magnetfeldern nur mit Elektronen erzielen.

Hiernach läßt sich die Bahn eines Elektrons durch ein zunehmendes Magnetfeld immer mehr krümmen, bis dem Elektron das Erreichen einer zweiten Elektrode unmöglich gemacht und damit der Strom unterbrochen wird. Auch diese Eigenschaft der Elektronen wird gelegentlich zu Ventilwirkungen herangezogen. Sie ist in reiner Form jedoch nur in reiner Elektronenströmung im Vakuum anwendbar. Stören die Elektronen in einem Gase, so werden die Bahnen durch die Zusammenstöße dauernd gestört. Eine Abschneidung des Stromes ist nicht mehr möglich. Sind zur Beseitigung der Raumladung positive Ionen zugegen, so müssen diese von den abgelenkten Elektronen mitgeschleppt werden. Die mitschleppende Kraft entsteht durch die Raumladung der voraus-eilenden Elektronen.

Ist  $\sin \alpha$  in Gl. (16) klein, so bilden die Elektronenbahnen enge Schraubenlinien um die magnetischen Kraftlinien, denen sie folgen.

Werden von der Kathode genügend Elektronen geliefert, so vermögen diese den gewünschten Strom zu bilden, ohne daß ihre Geschwindigkeit den zur Anregung erforderlichen Wert erreicht. Die Strömung durch das Gas ist dann vollkommen lichtlos.

**25. Die Kationenströmung.** Die Zusammenstöße der Kationen mit den Molekülen des Gases vollziehen sich zwischen gleichschweren Gebilden. Ist der Stoß zentral, so verliert das stoßende Kation seine gesamte Geschwindigkeit. Erfolgt er tangential, so ist die Richtungsänderung gering. In summa läßt sich also ohne nähere Analyse sagen: Die Abweichung der Kationen von der Richtung der Feldlinien infolge der Zusammenstöße ist sehr viel geringer als die der Elektronen im Extrem 1. Hierzu kommt noch, daß ihr Diffusionskoeffizient infolge ihrer sehr viel größeren Masse sehr viel geringer ist als der der Elektronen. Aus beidem folgt, daß die Diffusion senkrecht zu den Feldlinien bei den Kationen sehr viel geringer ist als bei den Elektronen.

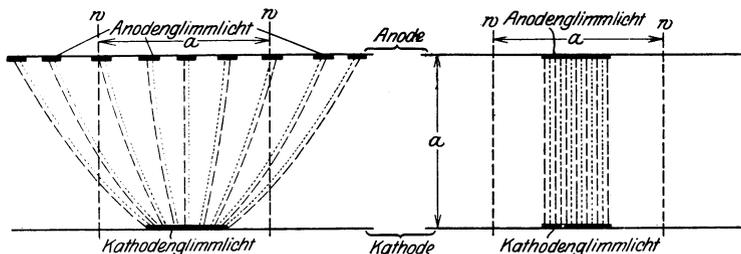


Abb. 21. Strömung der Elektronen (.....) und positiven Ionen (---), links bei rein elastischen, rechts bei vollkommen unelastischen Stößen.  $w, w$  eingeschoben gedachte Gefäßwände.

Die Kationen gehen vorwiegend als Strom konstanten Querschnittes von der Anode zur Kathode.

**26. Die resultierende wirkliche Strömung.** Sobald nun aber die Elektronen sich über den Querschnitt der Kationenströmung hinaus seitlich ausbreiten, entsteht rund um ihn herum eine negative Raumladung, die die Elektronen bremst, die Kationen beschleunigt, bis beide gleich schnell, und zwar sehr viel langsamer wandern als die Elektronen allein.

Die Betrachtung ergibt Ionenverteilungen, wie sie in Abb. 21 schematisch dargestellt sind.

Wird nun die Entladung wie üblich durch Seitenwände  $w$  eingeschlossen, so geraten die von der Kathode ausgehenden Elektronen sehr bald an diese Seitenwände. Denn der Fall der sehr großen Stoßverluste ohne seitliche Diffusion kommt praktisch überhaupt nicht vor. Die Seitenwände halten die Elektronen fest und laden sich negativ auf. Die negativen Ladungen ziehen die positiven Ionen an. Diese neutralisieren die Elektronen und schaffen für neue Elektronen Platz. Die Folge ist, daß die Zahl der Elektronen von der Kathode zur Anode hin dauernd abnimmt. Folglich muß, da die Stromstärke überall die gleiche ist, ihre Geschwindigkeit dauernd zunehmen. Die Anregungsgeschwindigkeit wird überschritten, das Gas beginnt zu leuchten. Die

Geschwindigkeit steigt weiter, die Ionisierungsgeschwindigkeit wird überschritten, es werden neue Ionen und Elektronen gebildet. Die Geschwindigkeit steigt weiter, bis pro cm ebensoviel Elektronen und Ionen durch Stoß neugebildet werden, wie an den Gefäßwänden durch Neutralisierung verloren gehen. Die Vergrößerung der Geschwindigkeit wird durch die Vergrößerung der Feldstärke, also der Spannung erreicht. Die Gefäßwände treiben die Spannung der Gasstrecke in die Höhe. Hiernach beeinflussen die Gefäßwände die Strömung der positiven Ionen und Elektronen in ganz verschiedenem Maße. Die relativ wenigen positiven Ionen, die in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt des Entladungsrohres wandern, werden nicht durch Diffusion, sondern nur durch elektrische Anziehung den Gefäßwänden zugeführt. Sie enden infolgedessen fast sämtlich an den Gefäßwänden. Es kommt kaum vor, daß ein positives Ion von der Anode bis zur Kathode gelangt. Die relativ sehr vielen Elektronen, die in der Zeiteinheit durch den gleichen Querschnitt wandern, werden von den negativ geladenen Gefäßwänden abgestoßen, so daß nur die schnellsten an die Gefäßwände gelangen und die wenigen dorthin gelangten positiven Ionen neutralisieren. Die Elektronen strömen also gleichsam in einem nicht ganz undurchlässigen Flußbett von der Kathode zur Anode und legen in der Regel diese ganze Strecke zurück.

Wir lernen aus den erwähnten Erscheinungen der wirklich resultierenden Störung folgendes:

1. In einer vom Strom durchflossenen Gasstrecke, die nicht leuchtet, erreichen die Elektronen nicht die Anregungsgeschwindigkeit.
2. An derjenigen Stelle, an der eine Gasstrecke zu leuchten beginnt, wird von den Elektronen gerade die Anregungsgeschwindigkeit erreicht.
3. Leuchtet eine Gasstrecke nur sehr schwach, so kann dieses zwei Ursachen haben. a) Es erreichen nur wenige Elektronen die Anregungsgeschwindigkeit, die übrigen sind zu langsam. b) Die Elektronengeschwindigkeiten sind so viel größer als die Anregungsgeschwindigkeit, daß die Anregungsfunktion bereits wieder sehr klein geworden ist, so daß nur noch wenig Anregung erfolgt. Welcher von beiden Fällen vorliegt, kann in der Regel unschwer entschieden werden. Der zweite liegt z. B. im sog. Dunkelraum der Glimmentladung vor.
4. Ohne Gefäßwände kein Gasleuchten. Stets wird das Leuchten durch den Elektronen- und Ionenfang durch die Gefäßwände verursacht (von den praktisch nicht verwandten elektronegativen Gasen wie Cl, Br usw. abgesehen). Im Abschnitt über den Lichtbogen wird gezeigt werden, daß bei dem frei in Luft brennenden Bogen der umhüllende Mantel kalter Luft die Gefäßwand bildet.

**27. Die niedervoltige Strömung.** Aus den vorhergehenden Abschnitten ergibt sich die anscheinend selbstverständliche Folgerung, daß, wenn die von einer Glühkathode emittierten Elektronen befähigt werden sollen, die Stöße zu ionisieren und damit ihre Raumladung zu beseitigen mindestens die Ionisierungsspannung zwischen Kathode und Anode liegen muß.

Es herrschte deshalb zunächst große Verlegenheit, als sich experimentell einwandfrei ergab, daß Ionisierung und Beseitigung der Raumladung möglich ist, wenn wesentlich kleinere Spannungen als die Ionisierungsspannung an die Elektroden gelegt werden. Diese Spannungen durften sogar kleiner als die Anregungsspannungen sein, so daß auch die Erklärung durch Stufenionisierung ausschied. Die folgende Tabelle 7 enthält nach Seeliger<sup>1</sup> die kleinsten gemessenen Brennspannungen in verschiedenen Gasen, zusammen mit den untersten Anregungsspannungen in Volt.

Tabelle 7.

Gas	He	Ne	Ar	Hg	Na	K
$V$	8	7,5	3,5	1,8	1,4	0,5
$V_a$	19,7	16,6	11,5	4,7	2,1	1,5

Es ist gelungen, diese Erscheinung zu erklären. Wenn von der Kathode Elektronen ausgehen und irgendwo die Ionisierungsspannung erreichen, so daß sie positive Ionen und neue Elektronen bilden, so wird dadurch das Feld verzerrt. Die trägen positiven Ionen bewegen sich von der Stelle, an der sie entstanden sind, viel langsamer weg als die Elektronen und bilden infolgedessen an dieser Stelle eine positive Raumladung, die die Spannung zwischen dieser Stelle und der Kathode

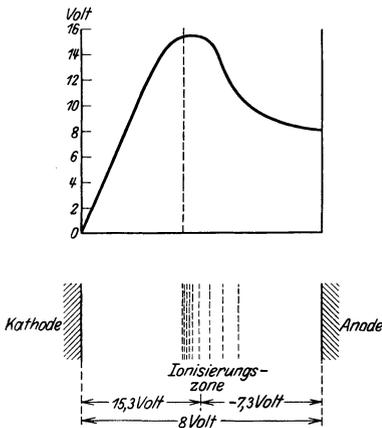


Abb. 22. Potentialverlauf in der Gasstrecke eines niedervoltigen Lichtbogens.

vergrößert, zwischen ihr und der Anode verkleinert, ja sogar umkehrt. Es ergeben sich also bei genügender Ionisierung, das heißt bei genügend großer Stromdichte die Verhältnisse der Abb. 22. Hier erzeugt die starke positive Raumladung der Ionisierungszone eine Spannung von 15,3 V gegen die Kathode, die zur Ionisierung ausreicht. Zwischen dieser Zone und der Anode liegt dagegen eine Spannung von  $-7,3$  V, so daß die Gesamtspannung zwischen den Elektroden nur 8 V beträgt. Die Frage, wieso denn die Elektronen gegen eine solche Gegenspannung anlaufen können, beantwortet sich dahin, daß ja die Elektronen in der Ionisierungszone mit einer Geschwindigkeit von 15,3 V eintreffen, daß nicht alle Elektronen Zusammenstöße erleiden, sondern einige ungestört zur Anode gelangen und daß auch von denjenigen, die zusammenstoßen, nur ein kleiner Bruchteil seine Energie verliert (siehe Ionisierungsausbeute S. 29). Summarisch ausgedrückt, die in der Ionisierungszone

<sup>1</sup> Seeliger, R.: Einführung in die Physik der Gesamtladungen. Leipzig: Johann Ambr. Barth 1928.

in großer Menge vorhandenen 15,3-V-Elektronen diffundieren gegen ein Feld von 7,3 V zur Anode.

Die Erklärung zeigt, welche große Rolle die Raumladungen, die man in der sonstigen Elektrotechnik kaum kennt, in der Gasentladung spielen.

**28. Der Gasdruck.** Mit dem Begriff des Druckes ist in der Gasentladung sehr viel gesündigt worden. Der Gasdruck ist durch die Menge und auch die Intensität der Stöße der Gasmoleküle auf eine feste Wand bestimmt. Mit diesem Druck haben die Erscheinungen der Gasentladung nichts zu tun, sondern nur mit der Gasdichte, d. h. mit der Anzahl der Atome oder Moleküle in der Volumeneinheit und der dadurch gegebenen freien Weglänge.

Man kann aber die Dichte des Gases nicht bequem messen. Also maß man den Druck und setzte ihn einfach an die Stelle der Dichte. Man ignorierte dabei, daß in die Verknüpfung beider Größen die Temperatur eingeht.

Wird die absolute Temperatur eines eingeschlossenen Gasvolumens verdoppelt, so verdoppelt sich der Druck, während die Dichte sich nicht ändert. Nun wird durch die Gasentladung selbst stets die Temperatur an einzelnen Stellen des Gases verändert und damit die Dichte. Ist das Volumen, in dem die Temperatur erhöht ist, klein gegen das Gesamtvolumen des Entladungsgefäßes, so ändert sich der Druck durch die Temperaturerhöhung kaum.

Einfache Gesetzmäßigkeiten lassen sich nur erwarten, wenn stets die Temperatur jedes Teiles der Entladungsstrecke ermittelt und mit ihrer Hilfe an die Stelle des Druckes die Dichte gesetzt wird. Die Messung der Temperatur ist nur in den seltensten Fällen möglich, die Berechnung oft ungenau und schwierig.

Daß man die Temperaturberechnung bisher fast stets unterließ, ist die Ursache davon, daß noch so wenig klare Gesetzmäßigkeiten auf dem Gebiet der Gasentladungen gefunden worden sind.

Der Einfluß des Druckes auf eine Gasentladung sei an folgendem Beispiel erläutert: Gegeben seien zwei Elektroden in mittlerem Abstand voneinander in einem mit Edelgas oder Quecksilberdampf von geringem Druck erfüllten großen Raum, dessen Gefäßwände so weit entfernt sind, daß sie nicht stören. Von der Kathode mögen die erforderlichen Elektronen, von der Anode die erforderlichen positiven Ionen geliefert werden. Der Mechanismus dieser Lieferung interessiert für den vorliegenden Fall nicht. Dann liegt die auf S. 35 erwähnte lichtlose Strömung zwischen den beiden Elektroden vor. Bei dem geringen Gasdruck ist die Zahl der Zusammenstöße und damit die Größe der Energieverluste im Gase sehr gering.

Lassen wir jetzt den Druck zunehmen, so nehmen die Zahl der Stöße und damit die Verluste und damit die Spannung an der Gasstrecke zunächst proportional mit dem Druck zu.

Damit aber auch die Temperaturerhöhung des Gases. Sobald sie merklich wird, verringert sie die Dichte des Gases. Ohne nähere Überlegung dürfte einleuchten, daß die Temperatur in der Achse der Ent-

ladung am höchsten, die Dichte am kleinsten ist, also ist dort auch der Widerstand der Gasstrecke am kleinsten. Die Entladung konzentriert sich weiter auf die Achse und erhitzt sie noch stärker usw. Sobald also die Erwärmung durch Stoßverluste merklich wird, entsteht in der Strömung die Tendenz, sich auf die Achse zusammenzuziehen. Gleichgewicht ist vorhanden, wenn bei einer weiteren Zusammenziehung der Strömung durch die Zunahme der Wärmeleitung mehr Wärme entzogen als durch die Zusammenziehung gewonnen würde. Es gehört also zu jedem Druck und jeder Stromstärke ein ganz bestimmter Gleichgewichts-Strömungsquerschnitt. Sobald diese Zusammenziehung der Strömung beginnt, steigt die Spannung an der Gasstrecke langsamer als der Druck, weil ja die Dichte durch die Erwärmung verringert wird.

Dieses mit steigendem Druck erfolgende Zusammenziehen der Strömung auf einen Schlauch hoher Temperatur, geringer Gasdichte, großer freier Weglänge und geringer Feldstärke hat noch eine weitere Folge: Diejenigen Elektronen und positiven Ionen, die aus dem Strömungsschlauch durch Diffusion in den umgebenden kälteren und daher sehr viel dichteren Gasmantel geraten, bleiben in ihm infolge der geringen Feldstärke gewissermaßen stecken und verfallen alsbald der „Molisierung“. Der Gasmantel wirkt wie eine Gefäßwand. Die Spannung muß steigen, bis durch die Ionisation ebenso viele neue Ionenpaare geschaffen werden, wie durch die Molisierung verschwinden. Die Entladungsstrecke beginnt, auch ohne daß feste Wände in ihrer Nähe sind, zu leuchten. Die folgende Tabelle 8 verdeutlicht diese Verhältnisse für einen Quecksilberdampflichtbogen.

Tabelle 8. Reiner Quecksilberdampf 3,00 Amp.

$T$ Kondensations- temperatur  °C	Druck des Hg-Dampfes		Spannung zwischen den Elektroden V	Anodenfall V	Spannungs- verlust in der Gasstrecke V	Durchmesser des Lichtbogens cm	Helligkeit des Lichtbogens
	$p$ mm	$p_{18}$ mm					
30	0,004	0,004	22,0	13,0	3,7	—	lichtlos
60	0,028	0,024	20,3	11,6	3,4	—	lichtlos
106	0,36	0,276	14,6	5,8	3,5	—	lichtlos
118	0,68	0,506	16,5	5,6	5,6	—	} Lichtsäule entsteht an der Anode
128	1,07	0,776	18,0	5,5	7,2	8	
140	1,82	1,28	21,0	6,0	9,7	7	} Lichtsäule wächst gegen die Kathode
150	2,73	1,88	24,5	6,8	12,4	6	
160	4,08	2,74	23,5	6,8	11,4	5	} Lichtsäule hat die Ka- thode erreicht

$$p_{18} = p \frac{291}{T}$$

Die Tabelle 8 wurde dadurch erhalten, daß Strom, Spannung und Anodenfall an der in Abb. 23 wiedergegebenen großen Glaskugel gemessen wurden, während sie sich in einem Heizkasten befand. Aus der

Temperatur des Heizkastens, in dem die Luft durch einen Ventilator kräftig gerührt wurde, und dem besonders festgestellten Zusammenhang zwischen der Übertemperatur der Glaskugel und ihrer Belastung wurde die Kondensstemperatur des Quecksilbers und daraus ein Druck berechnet. Vor den Versuchen war die Glaskugel durchmehrstündiges Pumpen bei Belastung mit Lichtbogenströmen von insgesamt 30 Amp. bei einer Heizkastentemperatur von  $160^{\circ}\text{C}$  sorgfältig entgast worden.

Die Tabelle 8 zeigt in jeder Beziehung das abgeleitete Verhalten: Spannungsverlust in der gesamten Gasstrecke bei geringem Quecksilberdampfdruck kleiner als 4,68 V und demgemäß völlige Lichtlosigkeit in der Gasstrecke. Bei 0,68 mm Druck beginnt eine Lichtsäule sich von der Anode zur Kathode vorzuschieben, die anfänglich 8 cm Durchmesser hat. Bei 4,08 mm Druck erreicht sie nahezu die Kathode und ihr Durchmesser ist auf 5 cm gesunken, ihre Helligkeit entsprechend gestiegen. Gleichzeitig hat die Spannung an der Gasstrecke von 3,2 auf 11,4 V zugenommen.

Untersucht man die Erscheinung in einem Glasrohr statt in einer Kugel, so fehlt der lichtlose Teil der Erscheinung vollständig. Von vornherein ist in dem Glasrohr eine den ganzen Querschnitt gleichmäßig erfüllende Lichtsäule nebst dem erforderlichen Spannungsverlust vorhanden. Erst bei höheren Drucken beginnt die Lichtsäule sich von der Glaswand abzulösen.

Beträgt bei einem gewöhnlichen in Luft brennenden Kohlelichtbogen die Temperatur in der Achse der Gasstrecke  $5000^{\circ}\text{C}$ , so entspricht die Dichte einem Gasdruck von 36 mm Hg bei Zimmertemperatur. Ein solcher Lichtbogen brennt also zwar bei Atmosphärendruck, aber durchaus nicht bei Atmosphärendichte, sondern in Wirklichkeit in einem stark verdünnten Gase.

Wird die Entladung in ein Rohr eingeschlossen, so wird dadurch, wie wir gesehen haben, die Spannung an der Gasstrecke und damit die Temperatur sehr wesentlich erhöht. Ist der zu dieser Temperatur gehörige natürliche Entladungsquerschnitt größer als der Rohrdurchmesser, so erfüllt die Entladung die gesamte Röhre. Ist er kleiner, so löst sie sich vom Rohr ab und bildet einen dünneren Schlauch in der Achse des Rohres. Die bekannten künstlichen Höhensonnen zeigen diese Erscheinung sehr deutlich. So lange sie noch kalt sind und kleinen Quecksilberdampfdruck haben, leuchten sie gleichmäßig über den ganzen Rohrquerschnitt. Bei vollem Druck dagegen erfüllt der Lichtbogen, von der Gefäßwand abgeschnürt, kaum ein Drittel des verfügbaren Querschnittes.

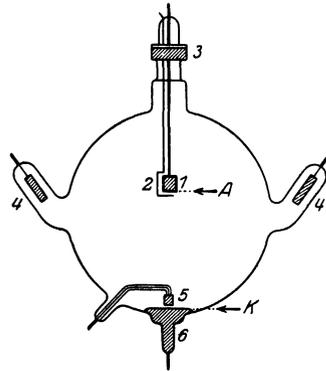


Abb. 23. Kugel von 33 l Inhalt aus Molybdänglas. 1 Anode, 2 Sonde, 3 Schließ mit Quecksilberdichtung, 4 Hilfsanoden, 5 Zündanode, 6 Kathode.

### c) Die einzelnen Entladungsformen und Ventile.

**29. Die Vorgänge an der Anode und Kathode. Einteilung.** Bei den Gasentladungsventilen liegt der paradoxe Fall vor, daß der Sitz der Ventilwirkung die Anode der durchlässigen Stromrichtung ist, während für die Beurteilung der Art des Ventiles die Kathode maßgebend ist, die keine Ventilwirkung hat. Es werden die Gasentladungsventile nicht nach den Vorgängen an der Anode, sondern nach denen an der Kathode folgendermaßen eingeteilt:

1. Autoelektronenventile,
2. lichtelektrische Ventile,
3. Ventile mit selbständiger Gasentladung:
  - a) Glimmentladungsventile,
  - b) Lichtbogenventile,
  - c) Funkenventile.

**30. Autoelektronenventile.** Sind bisher noch nicht in Erscheinung getreten.

**31. Lichtelektrische Ventile.** Lichtelektrisch am wirksamsten sind die Alkalimetalle. Um ihre Wirksamkeit dauernd aufrecht zu erhalten, verwendet man sie in Form dünner Schichten in sehr reinem Helium oder Argon.

Man erhält mit ihrer Hilfe ein lichtelektrisches Ventil, wenn man eine lichtempfindliche Alkalielektrode und eine lichtelektrisch inaktive Elektrode, wie z. B. Eisen, in verdünntem Edelgas einander gegenüberstellt. In der Flußrichtung (Alkali = Kathode) ist nicht nur keine Spannung erforderlich, sondern es wird eine Spannung bis zu 4 V frei. Im ganzen ist also nur der geringe Spannungsabfall in der Gasstrecke und der Anodenfall zu decken. In der Sperrichtung wird die Zelle durchlässig, wenn der normale Kathoden- und Anodenfall des Edelgases an Eisen überschritten, also etwa 180 V erreicht werden. Es entsteht dann ein Glimmstrom, dessen Intensität man dadurch sehr gering machen kann, daß man die Oberfläche der Eisenelektrode sehr klein macht. Dann ist auch noch oberhalb des normalen Kathodenfalles hinreichend Ventilwirkung vorhanden. Für die Starkstromtechnik kommt dieses Ventil jedoch nicht in Frage, da es nur geringe Ströme aufzunehmen vermag.

Eine ausgedehnte Verwendung finden die Photozellen sowohl in der Technik als auch im Laboratorium, nicht als Ventile, sondern zur Messung der Lichtintensität. Die interessanten neuesten Verbesserungen auf diesem Gebiete überschreiten jedoch den Rahmen dieses Buches.

### d) Die glühelektrischen Ventile.

**32. Vakuumventile.** Die glühelektrischen Ventile für Niederspannung werden in außerordentlich großem Umfange in der Radiotechnik unter der Bezeichnung Audion verwandt. Nach den auf S. 15 ff. entwickelten Gesetzen der Glühelektronenemission wird man sich, um den Wirkungsgrad der Ventile möglichst zu vergrößern, erstens möglichst weit von der Sättigung halten, also für große Oberfläche und hohe

Temperatur des Glühdrahtes sorgen und zweitens die Anode soweit wie irgend möglich an den Glühdraht heranrücken, um mit möglichst wenig Spannung die schädliche Raumladung überwinden zu können. Allen drei Maßnahmen setzt die Praxis eine Grenze: die große Glühkathodenoberfläche erfordert große Heizenergie, die hohe Temperatur zerstört den Glühdraht sehr schnell, der zu geringe Anodenabstand führt erstens zu übermäßiger Anodenheizung und zweitens zu Kurzschlüssen.

Anfangs wurde ausschließlich Wolfram als Material für Glühdrähte verwandt. Später wurden große Fortschritte dadurch erzielt, daß eine Drahtseele mit einem Material überzogen wurde, das eine besonders geringe Ablösearbeit  $\varphi$  und infolgedessen eine besonders große Elektronenemission hatte.

Man teilt jetzt die Glühkathoden ein in solche aus homogenen Metallen, aus Metallen mit hochemittierender Schicht, in Oxydkathoden und gasbeladene Kathoden<sup>1</sup>. Die Hauptmaterialien für Kathoden aus homogenen Metallen sind W, Mo und Ta. Ihre Vorteile sind Konstanz der Emission während sehr langer Betriebszeit, Unempfindlichkeit gegen geringe Gasspuren und sehr große Gleichmäßigkeit der einzelnen Glühkathoden in den elektrischen Werten. Ta ist wegen seiner Sprödigkeit nicht so geeignet wie W. Mo hat einen zu niedrigen Schmelzpunkt, so daß W das Feld beherrscht.

Zur Herstellung von Kathoden mit hochemittierenden Schichten mischt man dem Pulver eines hochschmelzenden Metalles ein Metall-oxyd zu, dessen Elektronenemission möglichst groß ist, also z. B. dem Wolframpulver etwa 1% Thoriumoxyd. Der aus diesem Gemisch hergestellte Draht wird nach dem Einsetzen in die Röhre auf helle Weißglut (2800° abs.) erhitzt, wobei das Thoroxyd zerfällt. Der Sauerstoff wird chemisch gebunden, das metallische Thor diffundiert an die Drahtoberfläche. Unter günstigen Umständen bedeckt sich die Oberfläche mit einer einatomigen Thoriumschicht. Geringe Gasreste sind für eine solche Kathode sehr schädlich. Sauerstoff und Wasserstoff oxydieren das Thorium wieder. Gasionen, die auf die Oberfläche aufprallen, zerstäuben das Thorium. Nur Wasserstoff schadet der Schicht nicht. Es muß also ein möglichst hohes Vakuum erzielt werden, was durch gasabsorbierende Stoffe und schwache Belastung der Röhre erreicht wird.

Die Oxydkathoden lassen sich in zwei Klassen einteilen. Die der ersten Klasse werden nach dem Pasteverfahren hergestellt. Auf einen Kerndraht, meistens Pt-Ir, wird nach den verschiedensten Methoden eine ziemlich dicke Oxydschicht eines Erdalkalimetalles aufgebracht. Hierbei ist gleichgültig, von welcher Verbindung des Metalles man ausgeht. Es scheint also bei den fertigen Röhren die Elektronenemission nur durch das Metall selbst bestimmt zu sein und der Sauerstoff nicht mitzuwirken. Die oberste, vielleicht einatomige Schicht scheint also eine Metallschicht zu sein. Das darunter liegende Oxid ist nur das Reservoir für dauernde Erneuerung dieser Metallschicht.

---

<sup>1</sup> Simon, H.: Z. techn. Phys. Bd. 8, S. 434. 1927.

In der Regel werden nicht reine Oxyde, sondern Oxydgemische verwandt, die anscheinend eine größere spezifische Emission haben als die einzelnen Komponenten.

Infolge der Rauigkeit der Oberfläche verändert sich bei diesen Oxydkathoden dauernd die Emission. Ferner zeigen diese Röhren keine Sättigung, was teils auf die Rauigkeit der Oberfläche, teils auf Anheizeffekte und die Anodenrückheizung zurückzuführen ist. Alle diese Nachteile führten zu dem zweiten Verfahren der Herstellung.

Nach diesem Verfahren wird der Dampf eines geeigneten Metalles, z. B. des Calciums, durch Hochfrequenzheizung verdampft. Der Metalldampf kondensiert sich auf dem Kerndraht oder geht mit einer auf den Kerndraht aufgebracht Substanz eine chemische Bindung ein. Derartig hergestellte Kathoden haben eine große Gleichmäßigkeit und zeigen nicht die Emissionsschwankungen der nach dem Pasteverfahren hergestellten Oxydkathoden. Ferner ist nach dem neuen Verfahren möglich, jedes Metall als Kerndraht zu verwenden, dessen Schmelzpunkt nicht zu niedrig ist, beispielsweise auch Eisen. Die emittierende Substanz ist im wesentlichen Barium.

Für Gitter und Anoden der Glühkathodenröhren eignen sich alle Metalle, die sich leicht entgasen lassen und wenig zerstäuben. Für kleine Röhren, die im Betrieb ziemlich kalt bleiben, ist Nickel sehr geeignet.

Eine wichtige Rolle spielen die Glühelektronenventile mit Hochvakuum für das Gleichrichten von Hochspannung. Wird für ein einwandfreies Vakuum gesorgt, so ist bei kalter Anode in der Tat bis zu ganz außerordentlich hohen Spannungen keinerlei Stromdurchgang in der undurchlässigen Richtung möglich. Die Grenzen sind in diesem Falle lediglich durch die Isolierfestigkeit der verwandten Materialien und den schließlichen äußeren Überschlag gegeben. Da es in diesem Falle viel mehr auf höchstes Vakuum als auf etwas größere, aber immerhin noch geringfügige Heizverluste ankommt und die zuletzt erwähnten Materialien stets im Betrieb mehr oder weniger gasen, wird bei den Hochspannungs-Glühkathodengleichrichtern als Material für den Glühdraht reines Wolfram verwandt.

Die glühelektrischen Ventile mit Vakuum für größere Stromstärken herzustellen, ist sehr schwierig, weil es keine Materialien gibt, die so hohe Temperaturen aushalten, daß die erforderlichen großen Mengen Elektronen pro Flächeneinheit abgegeben werden. Man ist deshalb gezwungen, die Glühkathode sehr groß zu machen, wenn man mit größeren Strömen arbeiten will. Ferner ist der Spannungsverlust in der durchlässigen Richtung verhältnismäßig hoch. Denn da der Strom nur aus negativen Elektronen besteht, entsteht in dem Raume vor der Glühkathode eine negative Raumladung, gegen die die von der Glühkathode ausgesandten Elektronen anlaufen müssen. Um sie dazu zu befähigen, muß eine um so größere Spannung aufgewendet werden, je höher die Raumladung, d. h. je größer die Stromdichte ist.

Wie außerordentlich eine solche Raumladung den Strom hindert, möge die folgende Tabelle 9 zeigen. Sie enthält diejenigen Ströme in

Ampere, die von einer 10 cm langen Glühkathode zu einer sie umhüllenden Anode vom Radius  $R$  bei den Spannungen  $V$  übergehen, wenn die Glühkathode eine so hohe Temperatur hat, daß der Sättigungsstrom in keinem Falle erreicht wird.

Tabelle 9.

$V$	$R =$	0,1	1	10 cm
10 V		0,047	0,0047	0,00047
100 V		1,5	0,15	0,015
1000 V		47	4,7	0,47

**33. Der Magnetroneneffekt.** Unter dem Magnetroneneffekt versteht man die Krümmung der Bahn der von der Glühkathode ausgehenden Elektronen durch das vom Heizstrom erzeugte Magnetfeld. Ist der Heizdraht die Achse des Anodenzyllinders, so bilden die magnetischen Kraftlinien konzentrische Kreise um ihn als Achse. Die Ablenkung der Elektronen durch ein Magnetfeld steht sowohl auf der Elektronenrichtung als auch der Kraftlinienrichtung senkrecht. Die Elektronen beschreiben also im vorliegenden Falle Kurven, die zur Glühkathode zurückführen. Solange diese Kurven die Anode schneiden, gelangen die Elektronen zu ihr hin und die Bahnkrümmung bewirkt nur eine Vergrößerung der Raumladung, sobald jedoch die Kurve die Anode nicht mehr erreicht, kann kein Strom von der Glühkathode zur Anode fließen. Nun ist die Bahnkrümmung der Elektronen um so größer, je stärker das Magnetfeld, also der Heizstrom, und je kleiner ihre Geschwindigkeit, also je schwächer das elektrische Feld zwischen Kathode und Anode, also die Anodenspannung, ist. Es gibt also für jeden Elektrodenabstand und jeden Heizstrom eine ganz bestimmte Anodenspannung, unterhalb deren der Strom durch das Ventil Null ist. Hull<sup>1</sup> hat folgende Formel für diese kritische Spannung abgeleitet:

$$V_k = 0,0188 i^2 \left\{ \log \frac{d_a}{d_k} \right\}^2. \quad (20)$$

Dabei ist  $i$  die Heizstromstärke,  $d_a$  der Anoden- und  $d_k$  der Kathodendurchmesser.

Für einen Wolframglühdraht bei 2500<sup>0</sup> abs. berechnet sich daraus

$$V_k = 44100 d_k^3 \left( \log_{10} \frac{d_a}{d_k} \right)^2. \quad (21)$$

**34. Glüh elektrische Ventile mit Gasfüllung.** Sollen mit einem geringen Spannungsverlust größere Ströme durch den Gleichrichter geschickt werden, so muß unbedingt die Raumladung der Elektronen beseitigt werden. Das einfachste Mittel hierzu ist die Gasfüllung. Sobald die Elektronengeschwindigkeit den zur Ionisierung erforderlichen Betrag überschreitet, werden positive Ionen gebildet, die die Raumladung aufheben. Da die positiven Ionen außerordentlich viel langsamer wandern als die Elektronen, vermag ein positives Ion die Ladung sehr

<sup>1</sup> Hull Journ-Amer. Inst. Electr. Eng. Bd. 42, S. 1013. 1923.

vieler Elektronen zu neutralisieren, die, während das eine Ion die Gasstrecke durchsetzt, ihrerseits nacheinander die gleiche Strecke in der entgegengesetzten Richtung zurücklegen.

Wählt man ein Gas, in dem die Verluste durch elastischen Stoß gering sind, so braucht im wesentlichen nur die Ionisierungsspannung, ja bei Unterstützung durch die bei der Anregung erzeugte Lichtstrahlung sogar nur die Anregungsspannung, also nur wenige Volt, aufgewandt zu werden, um beliebig große Ströme durch die Gasstrecke zu befördern.

Die günstigsten Gase sind für diesen Zweck die Edelgase. Chemisch sind sie gegenüber der Glühkathode völlig indifferent. Die Stoßverluste sind in ihnen sehr gering. Durch die Entladung werden sie viel weniger absorbiert als die anderen Gase.

Ein zweiter einschneidender Unterschied zwischen dem Vakuum-Glühelektronen-Ventil und dem gasgefüllten besteht an der Anode. Im Hochvakuum kann in der undurchlässigen Richtung keinerlei Strom entstehen. Bei Gasfüllung setzt jedoch in der undurchlässigen Richtung an der Anode Glimmentladung ein, sobald die Spannung die Zündspannung der Glimmentladung, die bei Edelgasen und z. B. Eisen bei geringen Elektrodenabständen bei 180 V liegt, überschreitet.

Nun ist die Zerstäubung und Verdampfung der Glühkathode um so geringer, die Lebensdauer des Gleichrichters also um so größer, je größer der Gasdruck ist. Auch können bei größerem Gasdruck die Abmessungen des Gleichrichters kleiner gewählt werden. Man wird also bestrebt sein, einen relativ großen Gasdruck zu wählen, bei dem diese Vorteile erzielt sind, ohne daß bereits der Nachteil größerer Stoßverluste eintritt. Dieser günstigste Gasdruck liegt etwa bei 20 mm Hg. Dieser Gasdruck wird in der Tat gewählt, wenn es sich um Gleichrichter so niedriger Spannungen handelt, daß in der undurchlässigen Richtung keine Glimmentladung zustande kommen kann.

Ist die Spannung dagegen so groß, daß eine Glimmentladung entsteht, steigt die Stromstärke der Glimmentladung in der undurchlässigen Richtung bei gegebener Elektrodenoberfläche mit dem Quadrat des Gasdruckes und mit einer höheren Potenz der Spannung an. Also muß jetzt der Gasdruck um so mehr verringert werden, je höher die gleichzurichtende Spannung ist. Bei Gleichrichtern für mehr als 1000 V ist der zulässige Gasdruck bei den meisten Gasen 1 bis 0,1 mm. Infolgedessen ist die gesamte Gasmenge so gering, daß sie durch Absorption merklich abnimmt, und die Zerstäubung der Glühkathode relativ groß. Beides beschränkt die Lebensdauer der Hochspannungs-Glühkathodengleichrichter mit Gasfüllung, die bisher noch keine befriedigenden Werte erreicht hat.

Ein großer Fortschritt wurde hier durch die Verwendung reinen Heliums erzielt. Dieses hat zwei für diesen Zweck eminent günstige Eigenschaften. Erstens ist die Kathodenzerstäubung in Helium sehr viel geringer als in allen anderen Gasen und zweitens wächst die Stromstärke mit der Spannung der Glimmentladung bei Helium sehr viel langsamer an als bei irgendwelchen anderen Gasen. Es lassen sich bei Helium also wesentlich höhere Gasdrucke anwenden und damit die Zer-

stäubung wieder einschränken, ohne daß unzulässig große Ströme an den Anoden in der undurchlässigen Richtung entstehen.

Für die Gleichrichtung niedriger Spannungen wählt man dagegen Argon, weil dieses die niedrigste Anregungsspannung der Edelgase (von den kaum erhältlichen Kr und Xe abgesehen) hat und infolgedessen der mit ihm gefüllte Gleichrichter die geringsten Spannungsverluste in der durchlässigen Richtung.

Bisweilen wird auch eine geringe Menge Quecksilber in die Röhre gefüllt. Der entstehende Quecksilberdampf hat die wertvolle Eigenschaft, einen sehr hohen Kathodenfall zugleich mit sehr geringen Glimmstromstärken zu haben, so daß die Verluste in der durchlässigen Richtung dadurch sehr verringert werden. Ferner fällt die Verarmung an Gas weg. Dafür besteht der Nachteil, daß diese Gleichrichter, wenn sie kalt sind, wegen des dann außerordentlich geringen Quecksilberdampfdruckes nur schwer in Betrieb zu setzen sind.

### e) Die Glimmentladungsventile.

**35. Glimmentladung.** Das hinsichtlich der technischen Verwendung der Ventile wichtigste Verfahren, Elektronen aus der Kathode frei zu machen, ist die selbständige Entladung. Je nach den Vorgängen bei dieser Entladung unterscheidet man die Glimmentladung, den Lichtbogen und den Funken. Die Vorgänge bei der Glimmentladung sind nicht nur für die Glimmentladungsventile wichtig, sondern auch für die Lichtbogenventile von großer Bedeutung, da bei diesen in der undurchlässigen Richtung eine Glimmentladung besteht, die unter Umständen in einen Lichtbogen umschlägt und dadurch das Ventil unwirksam macht. In Abb. 24 sei  $K$  eine kugelförmige Kathode, beispielsweise aus Eisen.  $A$  sei die Anode. Die Gefäßwände seien so weit entfernt, daß sie die Erscheinung nicht stören. Das Gas sei, um ein bestimmtes Beispiel zu haben, Stickstoff von 1 mm Druck. Das Entladungsgefäß sei in Serie mit einem großen Vorschaltwiderstand  $r$  an die regelbare Spannungsquelle  $V$  gelegt und es werde die Spannung, von 0 ausgehend, allmählich gesteigert. Solange dann die Spannung unterhalb eines ganz bestimmten Mindestwertes  $V_0$  von etwa 300 V liegt, geht kein merklicher Strom durch das Gefäß hindurch. Sobald dieser Betrag jedoch erreicht ist, springt der Strom plötzlich auf einen bestimmten, vom Vorschaltwiderstand  $r$  abhängigen Wert. Wird  $r$  so gewählt, daß dieser Strom sehr gering ist, so bedeckt sich ein Teil der Oberfläche von  $K$  mit einem leuchtenden Gebilde. Wird der Strom vergrößert, so dehnt sich dieses Gebilde, ohne seinen Auf-

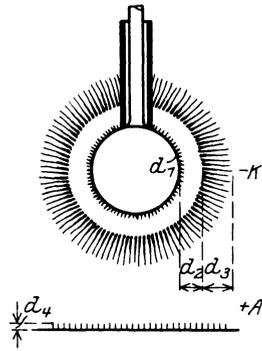


Abb. 24. Schema der Lichterscheinungen an einer kugelförmigen Glimmkathode und ihr gegenüberstehenden ebenen Anode.

$K$  Kathode,  $A$  Anode,  
 $d_1$  Glimmhaut,  $d_2$  Fallraum,  
 $d_3$  negatives Glimmlicht,  
 $d_4$  Anodenglimmhaut.

bau zu ändern, seitlich über die Oberfläche weiter aus, bis es bei einer bestimmten Stromstärke die gesamte Oberfläche bedeckt. Dann sind folgende, in Abb. 24 wiedergegebene Schichten zu unterscheiden.

1. Der Oberfläche unmittelbar anliegend eine sehr dünne Glimmhaut  $d_1$ , deren äußere Grenze schwer anzugeben ist, da ihre Helligkeit mit zunehmendem Abstand von der Oberfläche allmählich verschwindet.

2. Daran anschließend eine nahezu lichtlose Zone. Glimmhaut + lichtlose Zone werden unter dem Namen „Hittorfscher Dunkelraum“ oder „Fallraum“  $d_2$  zusammengefaßt.

3. Mit ziemlich scharfer Kante gegen den Dunkelraum einsetzend eine zweite leuchtende Zone, das negative Glimmlicht, dessen Helligkeit nach außen zu allmählich auf Null abfällt, so daß wiederum keine scharfe Grenze zu ziehen ist ( $d_3$ ).

4. Daran anschließend ein völlig lichtloser Raum, der „Faradaysche Dunkelraum“. Dieser reicht in Abb. 24 bis unmittelbar an die Anode, auf der sich ebenfalls eine dünne Haut  $d_4$ , die anodische Glimmhaut, befindet.

Der Mechanismus der Strömung ist folgender:

Vom Glimmlicht fliegen positive Ionen, „Kationen“, durch den Fallraum auf die Kathode zu. Der Fallraum ist der Sitz des hohen Potentialgefälles von etwa 300 V der Glimmentladung. Durch diese erlangen die

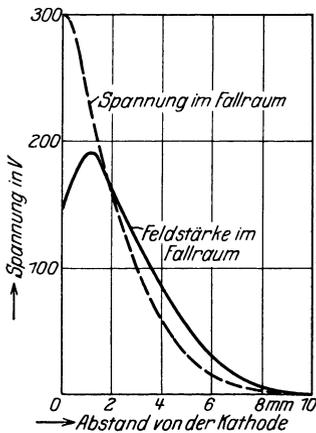


Abb. 25. Feldstärke und Spannung im Fallraum einer Glimmentladung.

Kationen eine große Geschwindigkeit, die bei den Zusammenstößen mit den Gasmolekülen zum Teil wieder verloren geht. Denjenigen, die mit der größten Geschwindigkeit an der Kathode ankommen, gelingt es, von der Kathode Elektronen durch Stoß gewissermaßen loszuschlagen. Die Elektronen legen den entgegengesetzten Weg von der Kathode zum Glimmlicht zurück, stoßen dabei ebenfalls, aber wegen ihrer größeren freien Weglänge seltener mit den Gasmolekülen zusammen und erzeugen teils im Fallraum, teils im Glimmlicht sowohl Kationen als auch neue Elektronen. Die elektrische Feldstärke an jeder Stelle des Raumes wird durch die Summe der Wirkungen der in der Umgebung des betreffenden Ortes vorhandenen Elektronen und Kationen gebildet. Dieses Fallraumfeld ist aus den Messungen von Brose<sup>1</sup> hinreichend bekannt und für den normalen Kathodenfall in Wasserstoff in Abb. 25 wiedergegeben. Außer der Feldstärke ist in Abb. 25 auch das Potential im Fallraum eingetragen.

Die Glimmentladung kann nur dann richtig verstanden werden, wenn es gelingt, den Weg eines Elektrons und eines Kations durch den Fallraum hindurch und ihre Erlebnisse in dem dort herrschenden Felde zu verfolgen.

<sup>1</sup> Ann. d. Phys. Bd. 58, S. 731. 1918.

**36. Die Bewegung der Elektronen in der Glimmentladung.** Um bequeme Zahlen zu erhalten, sei angenommen, daß zu einer gegebenen Zeit 1000 Elektronen von der Kathode ausgehen.

Sie beginnen ihren Weg mit einer geringen Anfangsgeschwindigkeit, die gegenüber den späteren großen Geschwindigkeiten vernachlässigt werden kann. Nachdem sie eine Strecke von 0,3 mm zurückgelegt haben, erreichen sie die Anregungsgeschwindigkeit des Wasserstoffs von 10,8 V. Bis zu diesem Abstände sind sie nahezu elastisch mit den Gasmolekülen zusammengestoßen, und zwar haben primär 520 Zusammenstöße stattgefunden. Dadurch, daß die Elektronen bei diesen Zusammenstößen diffus nach allen Seiten reflektiert werden, wird die Zahl der Zusammenstöße und vor allem die Verweilzeit der Elektronen in dieser Zone beträchtlich vergrößert.

Da nun der Beitrag einer Ladung zum gesamten Felde ihrer Geschwindigkeit umgekehrt, ihre Verweilzeit in einem gegebenen Abschnitt direkt proportional ist, bilden die Kationen in dieser ersten Zone ein verhältnismäßig starkes negatives Feld aus.

Auf ihrem weiteren Wege nimmt dann die Geschwindigkeit der Elektronen sehr schnell zu. In 0,4 mm Abstand erreichen sie die Ionisierungsspannung. Pro Millimeter Weg finden 1730 Zusammenstöße mit den Gasmolekülen statt. Diese Zusammenstöße ändern aber mit zunehmender Elektronengeschwindigkeit in mehrfacher Hinsicht ihren Charakter.

1. Je größer die Geschwindigkeit wird, um so mehr tritt die Anregung gegenüber der Ionisierung zurück, so daß sie bei Geschwindigkeiten von 100 V und mehr in erster Annäherung gegenüber der Ionisierung vernachlässigt werden kann. Deshalb ist der Fallraum verhältnismäßig lichtschwach.

2. Die diffuse Zerstreung der Elektronen infolge der Zusammenstöße nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit ab. Bei Geschwindigkeiten von der Größenordnung 100 V geht die überwiegende Mehrzahl der Elektronen unabgelenkt, geradlinig und senkrecht von der Kathodenoberfläche zum Glimmlicht.

3. Die Stoßausbeute nimmt mit steigender Geschwindigkeit bis zu einem Maximum zu, das bei 0,1 bis 0,3 Ionisierungen pro Stoß liegt.

Mit Hilfe dieser drei Erscheinungen läßt sich nun überschläglich berechnen, wieviel neue Elektronen von den 1000 primären Elektronen im Fallraum erzeugt werden, wobei sich ergibt, daß die Zahl der gesamten Elektronen von der Kathode zum Glimmlicht hin stetig zunimmt. Noch stärker nimmt aber die Zahl der langsamen Elektronen zu, denn je näher dem Glimmlicht die Elektronen erzeugt werden, um so geringer ist das Potentialgefälle, das sie bis zum Glimmlicht noch zu durchlaufen haben.

Diese in der Nähe des Glimmlichts schnelle Vermehrung der langsamen Elektronen wird noch einmal dadurch gesteigert, daß die langsamen Elektronen bei dem Zusammenstoß mit den Gasmolekülen diffus reflektiert werden. Je geringer ihre Geschwindigkeit wird, um so stärker wird die von ihnen bewirkte Anregung gegenüber der Ionisierung, zu welcher schließlich ihre Geschwindigkeit nicht mehr ausreicht. Das

Zusammenwirken dieser Umstände macht es verständlich, daß an einer bestimmten Stelle die im Fallraum sehr geringe Lichtintensität recht plötzlich auf einen hohen Wert springt, d. h. das Glimmlicht eine verhältnismäßig scharfe Kante besitzt. Gleichzeitig nimmt das von den Elektronen erzeugte negative Feld sehr stark zu.

**37. Die Bewegung der Kationen in der Glimmentladung.** Unsere Kenntnis der Bewegung der Kationen ist leider noch dürftiger als die der Elektronenbewegung. Es läßt sich nur folgendes sagen:

a) Die Zusammenstöße mit den Gasmolekülen finden zwischen gleichschweren Gebilden statt. Ist der Stoß zentral, so verliert das stoßende Kation seine gesamte Geschwindigkeit, ist er tangential, so ist der Geschwindigkeitsverlust und auch die Richtungsänderung gering. Im Mittel findet nur eine geringe Ablenkung der Kationen aus der Feldrichtung bei einer beträchtlichen mittleren Geschwindigkeitseinbuße statt.

Immerhin nimmt die mittlere Geschwindigkeit der Kationen auf ihrem Wege vom Glimmlicht zur Kathode stark zu, die felddbildende Wirkung des einzelnen Kations also stark ab. Andererseits nimmt aber die Zahl der Kationen infolge der Kationenerzeugung durch die Elektronen nach der Kathode hin dauernd zu und es entstehen dabei immer wieder langsamste Kationen, die eine sehr große Feldwirkung haben.

Diese Überlegungen setzen uns instand, die gesamten Erscheinungen an der Kathode der Glimmentladung zu übersehen, wobei sich folgendes ergibt:

**38. Die normale Dicke des Fallraumes  $d_n$ .** Nach den vorstehenden Ausführungen ist die Fallraumdicke  $d_n$  dadurch gegeben, daß die von der Kathode ausgehenden Primärelektronen so viel langsame neue Elektronen erzeugt haben müssen, daß das elektrische Feld auf Null gebracht wird. An der Stelle, an der dies nahezu der Fall ist, erscheint der Glimmlichtsraum. Hieraus folgt:

α)  $d_n$  ist proportional der freien Weglänge der Elektronen, in einem gegebenen Gas also proportional  $\frac{1}{p}$  oder  $p \cdot d_n = \text{const}$ , in verschiedenen Gasen um so größer, je größer die spezifische freie Weglänge der Gase ist.

β)  $d_n$  ist um so größer, je größer die Ionisierungsspannung ist, denn um so später beginnt die Elektronenerzeugung.

γ)  $d_n$  ist um so größer, je geringer die Stoßionisierungsausbeute ist.

δ)  $d_n$  ist um so größer, je geringer der Anteil der Primärelektronen an der gesamten Strahlung ist.

**39. Der normale Kathodenfall  $V_n$ .** Der normale Kathodenfall  $V_n$  ist dadurch gegeben, daß die schnellsten der auf die Kathode zufliegenden, von den 1000 Elektronen direkt oder indirekt erzeugten Kationen eine solche Geschwindigkeit besitzen müssen, daß sie imstande sind, wiederum 1000 Elektronen aus der Kathode durch Stoß zu befreien, denn nur dann kann die Entladung sich selbständig aufrecht erhalten. Die hierzu erforderliche Energie ist proportional der Ablösearbeit der Elektronen  $V_n = C \cdot \varphi$ , wobei  $C$  die verwendete Gasart charakterisiert.

Um an der Kathode ionisieren zu können, müssen die Kationen nicht nur eine bestimmte Energie, sondern auch eine bestimmte Mindest-

geschwindigkeit besitzen. Um diese zu erreichen, ist eine um so größere Spannung nötig, je größer die Masse oder das Atomgewicht des Kations ist. Ferner erreichen von einer gegebenen Kationenmenge nur ganz wenige Kationen diejenige Geschwindigkeit, die zum Ionisieren erforderlich ist. Um also ein Elektron an der Kathode frei zu machen, muß im Glimmlicht eine bestimmte, nicht unbeträchtliche Kationenmenge erzeugt werden. Nun können bei gegebenem Kathodenfall  $V_n$  um so weniger Kationen erzeugt werden, je größer die Ionisierungsspannung  $V_i$  ist, wobei außerdem noch ein durch unelastische Stöße bedingter Verlustfaktor  $\alpha$  in Rechnung zu setzen ist. So ergibt sich die empirisch gefundene Beziehung

$$V_n = (0,245 M + 4) \cdot V_i \cdot \alpha V, \quad (22)$$

wobei  $M$  das Atomgewicht und  $\alpha$  für alle einatomigen Gase = 1 ist, während es für die zweiatomigen aus den Stoßverlusten und der Wirksamkeit der Stöße zu berechnen ist. Die Zusammenziehung der Formeln (16) und (17) ergibt:

$$V_n = 44,4 \cdot \varphi + (0,313 \cdot M + 5,0) \cdot V_i \cdot \alpha = 177,6 V. \quad (23)$$

In Tabelle 2 ist  $\varphi$  für eine Anzahl Kathodenmetalle und in Tabelle 6  $V_i$  für eine Anzahl Gase zusammengestellt.  $\alpha$  ist für alle einatomigen Gase gleich 1, für die mehratomigen größer als 1 (bis 3,4).

**40. Die normale Stromdichte  $j_n$ .** Wie Abb. 25 gezeigt hat, befindet sich im Fallraum ein sehr starkes, durch die positiven Ladungen der Kationen hervorgerufenes Feld. Infolgedessen läßt sich die sogenannte Raumladungsgleichung anwenden, und zwar seltsamerweise die einfachste Form der Raumladungsgleichung, die unter vollständiger Vernachlässigung von Zusammenstößen sowohl wie von der Anwesenheit von Elektronen, also unter Annahme einer reinen Kationenströmung im Vakuum abgeleitet ist und für ebene, planparallele Elektroden (nämlich Kathode einerseits und Glimmlicht andererseits) lautet:

$$j_n = \sqrt{\frac{2}{9\pi}} \cdot \sqrt{\frac{E}{m}} \cdot \frac{V_n^{\frac{3}{2}}}{d_n^{\frac{3}{2}}}. \quad (24)$$

Verbindet man die Raumladungsgleichung mit der empirischen Gleichung

$$d \cdot p = C_1 L \cdot V_i, \quad (25)$$

wobei  $L$  die spezifische freie Weglänge,  $V_i$  die Ionisierungsspannung und  $C_1$  eine Konstante ist, so ergibt sich:

$$j_n = \frac{C_2 V_n^{\frac{3}{2}} \cdot p^{\frac{3}{2}}}{(L \cdot V_i)^{\frac{3}{2}}}. \quad (26)$$

Aus ihr läßt sich ohne weiteres ableiten:

1.  $j_n$  ist dem Quadrat des Druckes proportional.
2.  $j_n$  ist umgekehrt proportional dem Quadrat von  $L \cdot V_i$ , d. h. Gase, in denen  $L$  oder  $V_i$  groß sind, haben eine kleine normale Stromdichte.

Da in He beide Werte groß sind, während gleichzeitig  $V_n$  klein ist, ist  $j_n$  in He bei weitem am kleinsten. Dann folgen Ne und H, während die übrigen Gase mittlere Werte von  $L$  und  $V_i$  und damit auch von  $j_n$  haben.

Für konaxiale Zylinder, bei denen der Durchmesser des inneren klein gegen den des umhüllenden ist, lautet die Raumladungsgleichung:

$$j_n = C_1 \frac{V_n^{\frac{3}{2}}}{d} = C_2 \frac{V_n^{\frac{3}{2}} \cdot p}{L \cdot V_i}, \quad (27)$$

d. h. an dünnen Drahtkathoden, deren Durchmesser klein gegen die Dicke des Fallraumes ist, ist  $j_n$  nicht mehr dem Quadrat des Druckes, sondern dem Druck selbst proportional.

Aus der Formel (6) ergeben sich bereits ohne weiteres Ventilwirkungen. Ein Entladungsgefäß, bestehend aus einer Platin- und einer Alkalielektrode mit Edelgasfüllung wird in der einen Richtung bei etwa 80 V, in der anderen bei etwa 180 V durchlässig. Zwischen diesen beiden Spannungen wirkt es also als ein in der Sperrichtung vollkommenes Ventil.

**41. Der anomale Kathodenfall.** Die Ventilwirkung beim normalen Kathodenfall läßt sich mit Hilfe des anomalen Kathodenfalles noch weitgehend verbessern. Zu Beginn der Darlegung über den normalen Kathodenfall war gesagt worden, daß dieser nur so lange besteht, als das Glimmlicht sich seitlich ausbreiten, d. h. also die Stromdichte  $j_n$  konstant bleiben kann, eine Erscheinung, die aus der Raumladungsgleichung ohne weiteres folgt. Wird nun  $j$  zwangsweise vergrößert, indem der Strom über die vollständige Bedeckung der Kathode hinaus gesteigert wird, so geht der normale Kathodenfall in den anomalen Kathodenfall über. Auch für diesen Fall kann die Raumladungsgleichung als Wegweiser dienen. Sie zeigt, daß mit steigendem  $j$  auch  $V$  steigen muß, infolgedessen erreichen sämtliche von der Kathode ausgehenden wie auch sekundär im Fallraum erzeugten Elektronen in kürzerem Abstände als beim normalen Kathodenfall die Geschwindigkeit der maximalen Stoßausbeute. Es wird also schon in geringerem Abstände diejenige Menge langsamer Elektronen erzeugt, die das Feld der Kationen auf den Wert Null bringt und den Glimmsaum hervorruft: Die Dicke des Fallraumes nimmt mit zunehmender Stromdichte ab. Beide Größen  $V$  und  $d$  ändern sich derart, daß die Raumladungsgleichung erfüllt bleibt. Diese Änderungen formelmäßig zu fassen, ist bisher noch nicht gelungen. Empirisch hat Güntherschulze folgende einfache Gesetzmäßigkeit gefunden:

$$j_a = C \cdot V_a^4, \quad (28)$$

woraus in Verbindung mit der Raumladungsgleichung folgt:

$$d_a = C_1 \cdot j_a^{\frac{5}{8}}. \quad (29)$$

Die für die einzelnen Gase geltenden Konstanten ergeben sich aus der folgenden Tabelle 10.

Aus Gl. (7) und (8) ergibt sich, daß mit zunehmendem  $V_a$  die Stromdichte  $j_a$  sehr schnell zu und  $d_a$  langsam abnimmt.

Diese Gesetzmäßigkeiten werden jedoch in Wirklichkeit vielfach durch die Temperaturänderung bei der Entladung verwischt. Gerade in dem Gebiete des anomalen Kathodenfalles, in dem sowohl  $V$  als auch  $j$

Tabelle 10.

Gas	C	Gas	C
He	0,322	N	0,787
Ne	0,367	H	0,448
Ar	0,613	O	0,860

groß sind, ist die an der Kathode wie im Fallraum freiwerdende Energie groß. Es wird also das Gas im Fallraum erhitzt und dadurch seine Dichte verringert, was eine Vergrößerung von  $d$  zur Folge hat, die seiner durch Gleichung 0 gegebenen Abnahme entgegenarbeitet. Daher erscheint es vielfach, als ob mit zunehmender Spannung  $d_a$  nur bis zu einem bestimmten Mindestbetrag abnimmt und dann annähernd konstant bleibt, bis bei weiterer Erhöhung der Stromdichte der Umschlag der Glimmentladung in einen Lichtbogen erfolgt. Aus neueren Messungen<sup>1</sup> folgt jedoch, daß die Gleichungen (28) und (29) nur in einem engen Bereiche einigermaßen anwendbar sind, darüber hinaus vollständig versagen. Eine formelmäßige Darstellung der Beziehungen im gesamten bisher gemessenen Bereiche ist noch nicht gelungen.

Im Gebiete des anomalen Kathodenfalles befindet sich die Stromdichte im stabilen Gleichgewicht, da mit der Stromdichte die Spannung steigt. Von der im Kathodenfall verbrauchten Energie  $V_k \cdot i_a$  wird der größere Teil an die Kathode abgegeben und erhitzt diese. Diese Temperatursteigerung der Kathode bewirkt anfänglich ein weiteres Wachsen des anomalen Kathodenfalles. Mit zunehmender Temperatur aber verzögert sich die Zunahme des Kathodenfalles und erreicht schließlich ein Maximum, oberhalb dessem der Kathodenfall wieder abnimmt, weil die Kathode merkliche Mengen Elektronen glühelektrisch auszusenden beginnt. In diesem Augenblick wird die Strömung labil, sie zieht sich auf diejenige Stelle zusammen, an der die Elektronenemission zufällig am größten ist; infolgedessen konzentriert sich die Energie der Entladung auf diese Stelle und ruft an ihr eine sehr hohe Temperatur hervor. Diese bewirkt eine so starke Elektronenaussendung, daß der Kathodenfall von dem hohen Werte der Glimmentladung zu dem sehr geringen Betrage des Lichtbogen-Kathodenfalles abnehmen kann, denn das Labilwerden der Glimmentladung führt zum Umschlag in einen Lichtbogen.

**42. Entladungshindernis an der Kathode.** Nach den vorstehenden Ausführungen über die Glimmentladung dürfte selbstverständlich sein, daß eine Stelle der Kathode, über der sich das Glimmlicht wegen hindernder Gefäßwände nicht ungestört ausbreiten kann, für die Erscheinung nicht vorhanden ist. Wird also eine Drahtkathode von einer Glasröhre in einem Abstände umgeben, der kleiner als der Abstand des negativen Glimmlichtes ist, so kann nur die Stirnfläche des Drahtes

<sup>1</sup> Güntherschulze, A.: Z. Physik, Bd. 49, S. 358 u. 473. 1928.

als Kathode wirken. Man nennt ein auf dieser Wirkung beruhendes Ventil ein Striktionsventil. Es wird kaum noch verwandt, da es ebenso einfach ist, die Drahtkathode bis auf die Spitze zu isolieren.

**43. Die Hohlkathode.** Das wirksamste Mittel, die Stromstärke an der Kathode zu vergrößern, ist die Verwendung einer Hohlkathode. Die Erscheinung ist dabei folgende<sup>1</sup>: Werden die einzelnen Teile einer

Kathodenoberfläche einander zugekehrt, so beeinflussen sich die Entladungen bei einem ganz bestimmten von der Gasdichte abhängigen Abstand derart, daß die Stromstärke steigt. Am übersichtlichsten zeigt sich der Effekt, wenn die Kathode die Form eines V gemäß Abb. 26 hat. Hier ist der linke Schenkel treppenförmig ausgebildet, damit die beiden einander gegenüberstehenden Flächen stets parallel sind. Das Gas, in dem die Entladung stattfand, war Wasserstoff von 1 mm Druck. Die Abb. 26 zeigt, daß oben, bei großem Schenkelabstand, das negative Glimmlicht auf der Innenseite ebenso schwach und ebenso weit von der Kathode entfernt ist, wie auf den Außenseiten der Kathode. In dem Maße aber, in dem nach unten zu der Schenkelabstand abnimmt, steigt die Helligkeit des Glimmlichtes, also auch seine Stromstärke sehr stark an, während der Abstand von der Kathode abnimmt.

Die Erklärung des Effektes ist folgende: Die Stromstärke der Glimmentladung wird durch die positive Raumladung im Fallraum begrenzt. Werden nun einander zugewandte Teile einer Kathodenoberfläche einander so weit genähert, daß die von der Oberfläche ausgehenden Elektronen (Kathodenstrahlen) bis in den gegenüberliegenden Fallraum gelangen, so schwächen sie dort die Raumladung um so mehr, je tiefer sie in den Fallraum eindringen. Die feldbildende Wirkung einer Ladung ist ihrer Geschwindigkeit umgekehrt proportional, deshalb tragen im allgemeinen die Elektronen infolge ihrer sehr viel größeren Geschwindigkeit zum Aufbau eines Feldes sehr viel weniger bei als die im gleichen

b a b b a b



Abb. 26. Glimmlichtverstärkung in einer V-förmigen Kathode aus Eisen in Wasserstoff von 1 mm Druck. *a a* Kathodenschenkel, *b b* Glimmlicht. Der linke Kathodenschenkel ist treppenförmig.

<sup>1</sup> Güntherschulze, A.: Z. Physik, Bd. 19, S. 313. 1923.

Raum anwesenden Kationen. Im vorliegenden Falle aber ist die Wirkung der Elektronen groß, weil sie in dem gegenüberliegenden Fallraum gegen das Potentialgefälle anlaufen und infolgedessen bis zur Geschwindigkeit 0 gebremst werden und umkehren müssen.

Zur Aufrechterhaltung des normalen Kathodenfalles ist nun aber eine ganz bestimmte Raumlading nötig. Wird sie durch eindringende Elektronen geschwächt, so muß die Stromdichte zunehmen, bis der Kathodenfall wieder erreicht ist. Da diese Zunahme aber auf beiden einander zugewandten Teilen der Oberfläche vor sich geht, nimmt auf beiden Seiten auch die Zahl der in den Fallraum gelangenden Elektronen zu, und beide Vorgänge treiben sich gegenseitig in die Höhe, bis der Prozeß schließlich infolge zunehmender Verluste im Glimmlicht zum Stillstand kommt. Da das Feld am stärksten an der Außenkante des Fallraumes geschwächt wird, wo es von vornherein schon am schwächsten ist, rückt der Glimmsaum als Grenze, an der das Feld merklich zu werden beginnt, gegen die Kathode vor; d. h. die Dicke des Fallraumes wird geringer, wie es die Beobachtungen zeigen.

Die Stromstärke der Glimmladung läßt sich auf diese Weise etwa auf den zehnfachen Wert steigern. Der Effekt tritt ebensogut ein, wenn die Kathode ein Hohlzylinder ist. Hieraus ergibt sich das sehr wirksame Ventil der Abb. 27. Die Vergrößerung des Stromes ist am stärksten, wenn die Gasdichte so gewählt wird, daß der Durchmesser des Hohlzylinders etwa gleich der doppelten Dunkelraumdicke ist. Dabei ist aber zu bedenken, daß dem Hohlzylinder durch die zehnfache Stromstärke auch die zehnfache Wärme zugeführt wird. Er wird also sehr heiß und infolgedessen die Gasdichte in seinem Innern sehr gering. Der Gasdruck muß also bei heißer Kathode einreguliert werden. Wird er bei kalter Kathode eingestellt, so ereignet sich vielfach folgendes: Nach dem Einschalten nimmt die Kathodentemperatur zu, die Gasdichte ab, die Fallraumdicke zu, bis die Entladung im Hohlraum keinen Platz mehr hat und erlischt. Die Kathode kühlt sich ab, bis die Entladung wieder Platz hat und wieder zündet usw. Es entsteht eine periodische, ganz regelmäßige Stromunterbrechung.

**44. Gasgemische.** In der Technik werden vielfach nicht reine Gase, sondern Gasgemische verwandt. Es sei deshalb im folgenden kurz auf die Erscheinungen bei der Gasentladung in Gasgemischen hingewiesen. Angenommen einem Gas 1 werde ein geringer Bruchteil eines Gases 2, beispielsweise 10%, zugefügt. Dann werden die von der Kathode ausgehenden Elektronen nach wie vor im wesentlichen mit den Molekülen des Gases 1 zusammenstoßen. Sie werden jedoch gelegentlich auch Kationen des Gases 2 erzeugen; die Eigenschaften dieser Kationen sind von entscheidender Bedeutung für die weiteren Erscheinungen. Es sei zunächst angenommen, daß sich die beiden Gase chemisch nicht mit-



Abb. 27. Schema eines Ventils mit Hohlkathode.

einander verbinden können. Haben dann die gebildeten Kationen des Gases 2 eine von denen des Gases 1 nicht wesentlich abweichende Masse und freie Weglänge, so wird sich ihre Wirkung kaum von der der Katio-

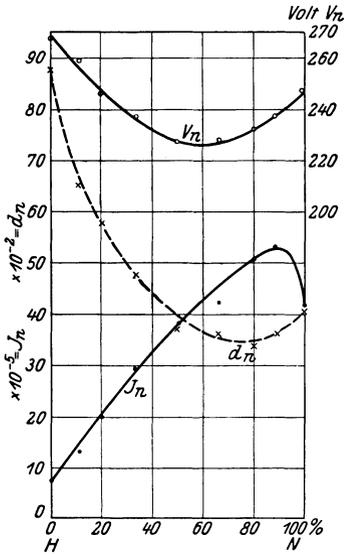


Abb. 28. Normaler Kathodenfall  $V_n$ , normale Fallraumdicke  $d_n$  und normale Stromdichte  $j_n$  in dem Gasgemisch H—N in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis.

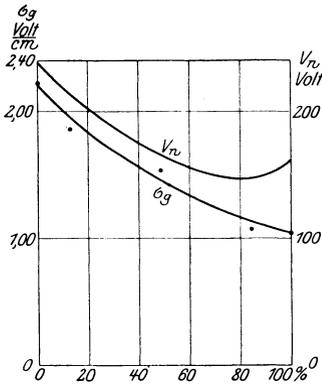


Abb. 29. Normaler Kathodenfall  $V_n$  und Normalgradient  $\sigma_g$  in Ar—H<sub>2</sub>-Gemischen.

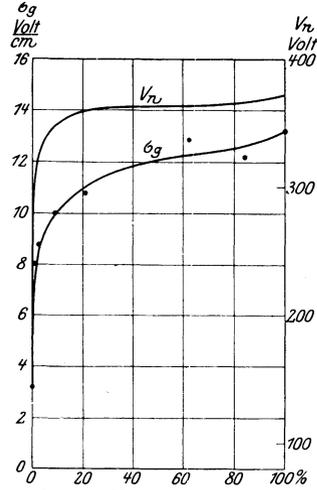


Abb. 30.  $V_n$  und  $\sigma_g$  in N<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>-Gemischen.

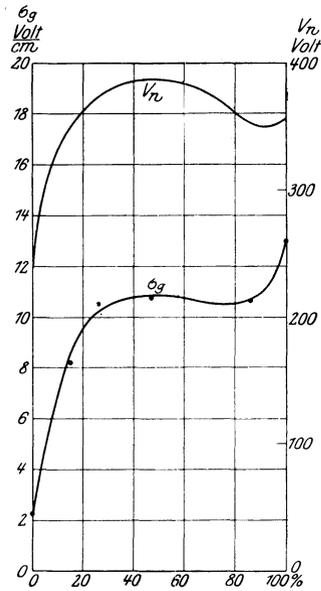


Abb. 31.  $V_n$  und  $\sigma_g$  in H<sub>2</sub>—O<sub>2</sub>-Gemischen.

nen des Gases 1 unterscheiden.  $d_n$  und  $V_n$  werden sich annähernd nach der einfachen arithmetischen Mischungsregel berechnen.

Haben dagegen die gebildeten Kationen eine bedeutend geringere Masse oder größere freie Weglänge als die Kationen des Gases 1 oder gar

beides zugleich, so wird ihre Ionisierungsfähigkeit an der Kathode außerordentlich viel größer als die der Kationen des Gases 1 und da von diesem ja nur die sehr wenigen schnellsten wirksam sind, vermögen schon äußerst geringe Mengen der Kationen von 2 die Elektronenerzeugung an der Kathode bedeutend zu vergrößern. Folglich brauchen jetzt weniger Kationen erzeugt werden als im reinen Gas 1. Infolgedessen sind auch weniger Elektronen nötig, folglich können  $V_n$  und  $d_n$  abnehmen.

Ein lehrreiches Beispiel für diesen Fall gibt die Mischung der Gase H und N. Beide verbinden sich chemisch nicht miteinander. Die H-Ionen (Protonen) haben nicht nur eine sehr viel geringere Masse, sondern auch eine sehr viel größere freie Weglänge als die N-Ionen. Infolgedessen bewirkt — wie Abb. 28 zeigt — ein Zusatz geringer Menge von N zu H eine Abnahme sowohl von  $V_n$  als auch von  $d_n$ .

Hier ist also ein Mittel gefunden, den Kathodenfall eines Gases durch Zusatz eines zweiten Gases mit höherem Kathodenfall zu verringern. Die hierzu brauchbarsten beiden Gase sind H und He, neben denen als drittes vielleicht noch Ne in Frage kommt.

Bisher war angenommen, daß die beiden gemischten Gase sich nicht chemisch miteinander zu verbinden vermögen. Liegt eine solche Verbindungsmöglichkeit vor, so wird die Reaktionsfähigkeit durch die Ionenbildung außerordentlich gesteigert, es verbinden sich dann die gebildeten Ionen des einen Gases mit den Molekülen des anderen. Dadurch gehen sie für den Entladungsprozeß verloren. Da dieser aber eine ganz bestimmte Menge Ionen zu seiner Aufrechterhaltung verlangt, muß infolgedessen  $V_n$  so lange steigen, bis wieder die erforderliche Menge Kationen geliefert wird.

Gemische von Gasen, die chemisch miteinander reagieren können, zeigen also ein erhöhtes  $V_n$ , einen Buckel in der  $V_n$ -Kurve, dessen Lage und Höhe angibt, durch welche Ionen und mit welcher Intensität die chemische Reaktion vor sich geht. Die Abb. 29 bis 33 geben die  $V_n$ - und  $\sigma_g$ -Kurven für verschiedene Gasgemische wieder.

**45. Pseudohochvakuum.** Für das Verständnis des Verhaltens und besonders der Störungen von Gasentladungsröhren aller Art ist ein Erscheinungskomplex von großer Wichtigkeit, der unter der Bezeichnung

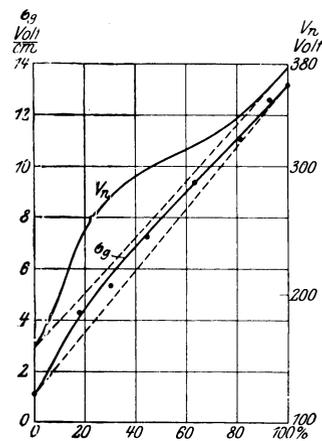


Abb. 32.  $V_n$  und  $\sigma_g$  in Ar—O<sub>2</sub>-Gemischen.

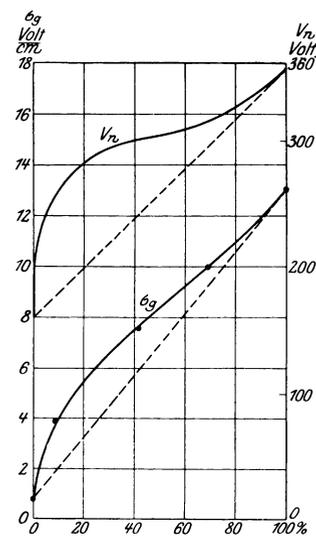


Abb. 33.  $V_n$  und  $\sigma_g$  in He—O<sub>2</sub>-Gemischen.

Pseudohochvakuum zusammengefaßt wird. Der Name rührt daher, daß sich Gasentladungsröhren unter Umständen so verhalten, als ob das höchste Vakuum in ihnen vorhanden wäre, also beispielsweise nur einen ganz geringfügigen Strom durchlassen, während in Wirklichkeit in ihnen noch ein ganz beträchtlicher Gasdruck vorhanden ist, bei dem ein sehr viel größerer Strom zu erwarten ist. Zwei Erscheinungen wirken zur Bildung dieses Zustandes zusammen, die Wandwirkung und die Elektrodenentgasung.

**46. Die Wandwirkung.** Zum besseren Verständnis der Wandwirkung möge folgendes Beispiel dienen. Gegeben sei ein Rohr der Abb. 34. Die Kathode sei eine Glühkathode, das Rohr sei auf höchstes

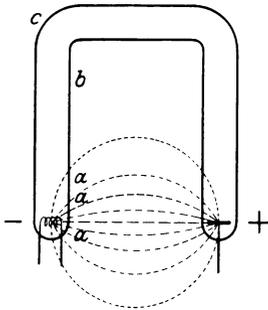


Abb. 34. Hochvakuumrohr mit Glühkathode zur Veranschaulichung der Selbststeuerung der Elektronen.

Vakuum gebracht. Die Frage ist: Wie kann ein Elektron, das von der Kathode ausgeht, genau diejenige komplizierte Bahn beschreiben, die es ohne Berührung mit der Gefäßwand von der Kathode zur Anode bringt. Die Antwort lautet: Die Elektronen bereiten sich selbst ihren Weg. Die ersten Elektronen, die von der Kathode ausgehen, folgen den ungestörten Feldlinien, die punktiert in die Abbildung eingetragen sind und gelangen bei *a* auf die Gefäßwand, die sie festhält. Sie laden also die Gefäßwand negativ auf, stoßen die folgenden Elektronen ab und drängen sie nach *b*. Der Vorgang geht in dieser Weise weiter, bis die Elektronen den linken Schenkel geradlinig durchsetzen und nach *c* gelangen.

Als bald bildet sich dort ein abstoßendes Feld, das so lange wächst, bis die Elektronen gerade richtig um die Ecke gesteuert werden, und es setzt sich der Vorgang fort, bis schließlich die ganze Rohrlänge so mit Elektronen und Ladungen besetzt ist, daß die Elektronen gerade in der Tat nach der Anode gelangen können.

Der zweite sehr wichtige Punkt ist, daß zur Erzeugung der erforderlichen Ladungen schon sehr wenige Elektronen genügen, weil die Kapazität der Gefäßwände sehr gering ist.

Die Kapazität läßt sich jedoch sehr stark vergrößern, wenn beispielsweise außen um die Röhre ein Metallring (Stanniol) gelegt und je nach seiner Lage mit der Anode oder Kathode leitend verbunden wird. Dann sind sehr viel größere Elektronenmengen zum Aufbau des Feldes an dieser Stelle erforderlich. Wird mit Gleichstrom gearbeitet, so bewirkt das nur eine kleine Verzögerung im Einsetzen der Entladung. Bei Wechselstrom dagegen kann es leicht vorkommen, daß jetzt die in einer Phase verfügbare Elektrizitätsmenge nicht mehr genügt, die erforderlichen Ladungen zu schaffen, so daß der Strom völlig unterdrückt wird.

Ähnliche, wenn auch bereits kompliziertere Erscheinungen spielen sich ab, wenn jetzt der Röhre eine Gasfüllung gegeben wird. Diese Verhältnisse mögen an einem tatsächlich beobachteten Vorfall auseinandergesetzt werden.

## a) Das Entstehen des Pseudohochvakuums.

1. Die Glühkathode eines Wehnelt-Hochspannungsgleichrichters (siehe Abb. 160) mit Argon von 0,2 mm Druck für 1 Amp. bei 6000 V wurde 50 Stunden lang auf heller Rotglut gehalten. Das Oxyd zerstäubte nicht merklich, die Zündspannung stieg nicht.

2. Der Glühdraht wurde ausgeschaltet. Eine Gleichspannung von 3000 V wurde zwischen die eine Graphitelektrode als Kathode und den Glühdraht als Anode gelegt. Dann ging eine Glimmentladung durch den betreffenden Arm zu den Anschlußdrähten der Glühspirale. Nach fünfständiger Dauereinschaltung hatte sich durch Zerstäubung der Graphitkathode bei  $\alpha$  (Abb. 35) innen ein Graphitring von etwa 1 cm Breite abgesetzt, der noch gut durchsichtig war. Die Zündspannung war dadurch nicht gestiegen, dagegen zeigte sich eine auffallende Erscheinung. Strich der auf dem linoleumbedeckten Boden stehende Beobachter mit Daumen und Zeigefinger an dem Glasarm entlang, so erlosch die Entladung in dem Augenblick, in dem die Finger außen über die Stelle  $\alpha$  hinstrichen, an der innen der Graphitbelag saß, um sofort wieder einzusetzen, sobald die Finger diese Stelle verließen. Dabei war der Arm kaum handwarm. Hier zeigt sich also bereits der große Einfluß von Wandladungen auf bestäubte Glaswände.

3. Der Glühdraht wurde auf helle Rotglut gebracht und mit 12000 Ohm Vorschaltwiderstand eine Wechselfspannung von 1800 V zwischen den linken Gleichrichterarm und die Glühkathode gelegt. Die Entladung war anfangs im Arm geschichtet, der Rumpf bis auf die nächste Nähe der Glühkathode lichtlos. Nach 24ständiger Dauereinschaltung hatte die Schichtung einem gleichmäßigen Leuchten des Armes Platz gemacht und der gesamte Rumpf leuchtete in gleichmäßigem Licht. Beides ein Zeichen dafür, daß durch die Entladung eine weitere Reinigung des Gases stattgefunden hatte. Im Hauptgefäß hatte sich in der Höhe der Glühkathode ringsum ein leichter Zerstäubungsbelag gebildet, der noch gut durchsichtig war.

Die mit Gleichspannung gemessene Zündspannung war von 450 auf 1000 V in die Höhe gegangen. Hiermit hatte die Ausbildung des Pseudohochvakuums begonnen.

## b) Die Ursache des Pseudohochvakuums.

1. Wurde der Ansatz des Armes am Rumpf mit Daumen und Zeigefinger durch einen auf dem Linoleum stehenden Beobachter berührt, so fiel die mit Gleichstrom gemessene Zündspannung von 1000 auf 240 V, also noch unter den Wert, den der neue Gleichrichter gehabt hatte.

2. Bei einem länger belasteten Gleichrichter, der auch bei 3000 V nicht mehr zündete, gelang es ebenfalls, die Zündung bei 240 V zu erzielen. Dazu genügte jedoch nicht die Berührung des Armansatzes an zwei Seiten, sondern sie mußte ringsum erfolgen. Die Berührung einer anderen, höher gelegenen Stelle des Armes war wirkungslos.

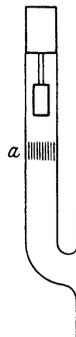


Abb. 35. Seitenarm eines Wehnelt-Hochspannungsgleichrichters mit zerstäubtem Graphitbelag bei  $\alpha$ .

3. Wird bei dem erstgenannten Gleichrichter mit der Zündspannung 1000 V der Armansatz berührt, während er 1800 V gleichrichtet, und dann plötzlich losgelassen, so erlischt der Gleichrichter und vermag selbst bei der Scheitelspannung von 2500 V nicht wieder zu zünden. Sobald jedoch der Armansatz wieder berührt wird, setzt die Zündung sofort wieder ein.

4. Werden beide Anodenarme parallel geschaltet, so zündet stets nur der linke, offenbar weil seine Zündspannung ein wenig niedriger liegt; es genügt jedoch, die Hand dem Gleichrichterarm bis auf 2 cm Abstand zu nähern, um die Entladung in den rechten Arm hinüberzudrücken, wo sie bleibt, solange sich die Hand in der angegebenen Stellung befindet, um sofort zurückzuspringen, wenn die Hand weggezogen wird.

5. Eine noch größere Empfindlichkeit gegen elektrostatische Ladungen zeigt folgender Versuch: In dem Vorschaltwiderstand des Gleichrichters entsteht durch die Stromstöße beim Zünden ein Ton; wurde der Gleichrichter so vorbereitet, daß er bereits eine ziemlich hohe Zündspannung hatte, so genügte es, die Hand dem Gleichrichter bis auf etwa 15 cm zu nähern, um den Ton deutlich zu verstärken, die Zündspannung also deutlich in die Höhe zu treiben.

Genauer wird die Erscheinung durch Oszillogramme der Spannung zwischen Anode und Glühkathode dargestellt. Diese zeigten folgendes:

a) Spannung 1800 V effektiv. Glühkathode auf Gelbglut. 5000 Ohm Vorschaltwiderstand. Vor den Oszillographen 39 000 Ohm. Gleichrichter ungeerdet. Abb. 36. Scheitelspannung 2200 V, Zündspannung 970 V.

b) Dieselbe Belastung, aber Ansatz des Armes mit Daumen und Zeigefinger berührt. Abb. 37: Gerade noch Zündung beim Scheitelwert der Spannung.

c) Dieselbe Belastung, nur um den Ansatz des Armes eine Schelle aus Al-Folie, die mit der Anode verbunden ist. Abb. 38: Zündspannung 200 V. Einschalten von 6 000 000 Ohm zwischen Anode und Schelle erhöht die Zündspannung nicht merklich.

d) Dieselbe Belastung, aber die Schelle mit der Kathode verbunden. Zündung unmöglich.

e) Ein anderer, länger belasteter Gleichrichter zündet bei 3000 V nicht. Schaltung wie zuvor. Eine mit der Anode verbundene Schelle wird in Höhe der Anode um den Arm gelegt. Abb. 39: Zündspannung 1600 V. Je weiter die Schelle nach unten geschoben wird, um so weiter sinkt die Zündspannung, bis sie nur noch 200 V beträgt, wenn die Schelle sich am Ansatz des Armes befindet.

Aus diesen Versuchen folgt:

α) Die Erhöhung der Zündspannung, das „Pseudohochvakuum“, wird durch Ladungen erzeugt, die auf der Glaswand vorwiegend an der Ansatzstelle des Armes sitzen. Werden die Ladungen elektrostatisch gebunden, so verschwindet das Pseudohochvakuum. Erfolgt diese Bindung durch Annähern der Hand oder Berühren des ungeerdeten Gleichrichters, so hängt die Wirkung davon ab, ob das Potential des Beobachters dem der Kathode oder der Anode näher ist, d. h. ob der positive oder negative Pol der Spannungsquelle besser isoliert ist.

$\beta$ ) Die Ladungen sind ihrem Betrage nach außerordentlich geringfügig, so daß schon die geringste Leitfähigkeit zu ihrer Ableitung genügt.

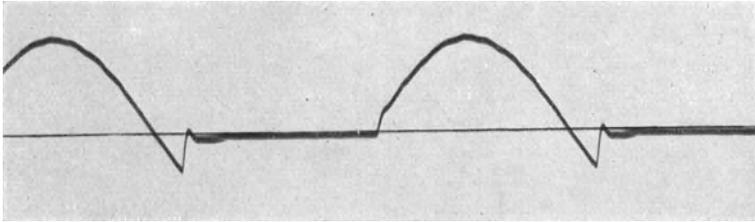


Abb. 36.

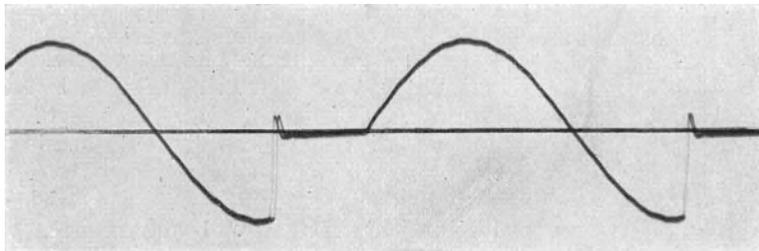


Abb. 37.

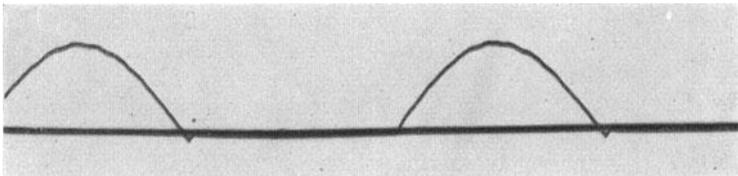


Abb. 38.

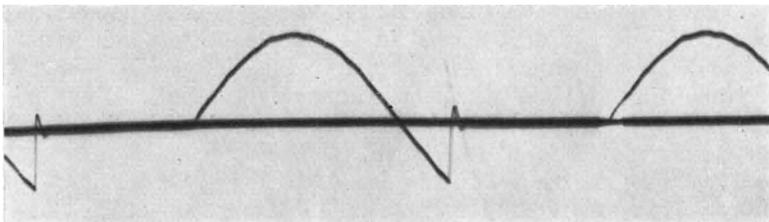


Abb. 39.

Abb. 36 bis 39. Oszillogramme der Spannung zwischen Anode und Kathode eines Wehneltgleichrichters mit Pseudohochvakuum.

Es fragt sich nun, woher diese Wandladungen kommen und weshalb sie um so wirkungsvoller sind, je länger der Gleichrichter im Betriebe gewesen ist.

Sendet die Kathode  $K$  der nebenstehenden Abb. 40 Glühelctronen aus und wird eine Spannung zwischen  $A$  und  $K$  gelegt, deren Kathode  $K$  ist, so wandern die Elektronen von  $K$  in Richtung der Feldlinien unter starker diffuser Streuung auf  $A$  zu. Auf ihrem Wege erzeugen sie im Argon im Mittel etwa bei jedem fünften bis zehnten Zusammenstoß ein neues Ionenpaar. Das entstandene Kation eilt zur Kathode, das neue Elektron in der Richtung nach  $A$  weiter. An der Front der sich ausbreitenden Elektronenströmung befinden sich also nur Elektronen, keine Kationen, und dementsprechend eine Raumladung, die den Strom

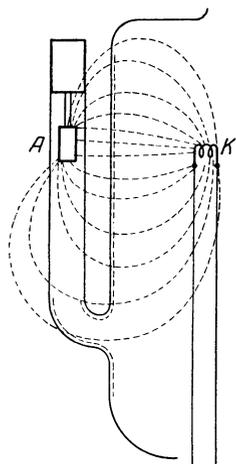


Abb. 40. Feldlinien zwischen Anode und Kathode eines Wehneltgleichrichters im Augenblick des Einschaltens.

nicht über äußerst geringe Beträge ansteigen läßt. Erst wenn die ersten Elektronen bis zur Anode gelangt sind und im gesamten Gebiet zwischen den beiden Elektroden durch Stoßionisierung Ionen beiderlei Vorzeichens geschaffen sind und die Raumladung beseitigt ist, kann der Strom auf seinen vollen Betriebswert anschwellen. Nun gelangt aber ein Teil der vordringenden Elektronen auf die Gefäßwand, bleibt dort haften und bremst die nachfolgenden Elektronen in dem in Abb. 40 gestrichelten Gebiet. Positive Ionen können an den meisten Stellen des gestrichelten Gebietes nicht an die Gefäßwand gelangen, weil sie durch das zwischen  $A$  und  $K$  befindliche Feld nach  $K$  hingetrieben werden. Ist also kein anderes Mittel als die Neutralisierung zur Beseitigung der Ladungen auf den Gefäßwänden vorhanden, so steigen sie und das von ihnen hervorgerufene bremsende Feld so lange an, bis sie das zwischen  $A$  und  $K$  liegende Feld vollständig abschirmen, so daß der minimale Elektronenstrom völlig er-

lischt. Das Pseudohochvakuum ist da.

Es ergeben sich also zwei notwendige und hinreichende Bedingungen für sein Zustandekommen in dem vorliegenden Falle, nämlich:

1. Die räumliche Anordnung des Gefäßes zwischen Anode und Kathode und vor allem der Eingang in den Arm muß so beschaffen sein, daß die auf den Wänden festgehaltenen Ladungen das Einwandern der Elektronen in den Arm abschirmen können.
2. Die Ladungen der Gefäßwand müssen verhindert sein, sich von der Stelle, auf der sie sich befinden, wegzubewegen.

Die zweite Bedingung führt zu der Erklärung der Erscheinung, daß sich das Pseudohochvakuum erst allmählich mit der Dauer der Belastung, und zwar nach den Versuchen zugleich mit der Zerstäubung der Kathode und der Reinigung des Gases ausbildet: Es ist bekannt, daß nichts schwieriger zu beseitigen ist, als die auf jeder Glasoberfläche befindliche Wasserhaut. Selbst schärfstes Evakuieren bei gleichzeitigem Erhitzen auf mehr als  $300^{\circ}$  vermag sie nicht vollständig zu vertreiben<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ein Verfahren zur Beseitigung der Wasserhaut ist von Pirani und Lax angegeben. Vgl. Z. techn. Phys. Bd. 3, S. 232. 1922.

Sie ist also auch in den Hochspannungsgleichrichtern anfangs sicherlich vorhanden. Sie ist andererseits die Ursache davon, daß Glas die bekannte geringfügige, bei allen elektrostatischen Versuchen äußerst störende Oberflächenleitfähigkeit besitzt. Diese ermöglicht im vorliegenden Falle den Ladungen, nach Orten niederen Potentials abzuwandern. Damit wird das Hindernis für das weitere Vorrücken der Elektronen beseitigt, so daß sie bis zur Anode vorzudringen und die Entladung einzuleiten vermögen. Durch die auf der Gefäßwand sich mit der Dauer der Einschaltung ablagernden Zerstäubungsprodukte wird aber diese Wasserhaut teils mechanisch überdeckt, teils auch chemisch gebunden (z. B. nach  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ). In dem Maße, in dem sie verschwindet, sinkt die Oberflächenleitfähigkeit, wird die Verteilung der angesammelten Ladungen erschwert, steigt die Zündspannung, bis schließlich selbst bei 6000 V Spannung keine Entladung mehr durch den Gleichrichter zu treiben ist, obwohl die Glühkathode noch vollständig leistungsfähig ist.

Die Beseitigung der die Gefäßwände bedeckenden Gase durch Überdecken mit Zerstäubungsprodukten ist in neuerer Zeit in Forschungslaboratorien der General Electric Company besonders sorgfältig und erfolgreich untersucht worden<sup>1</sup>.

Daß Einlassen von Wasserstoff in das Gefäß das Pseudohochvakuum beseitigt, ist wiederholt festgestellt worden.

**47. Die Elektrodenentgasung.** Wenn die in der positiven Säule befindliche Anode einer normalen Glimmentladung der Kathode genähert wird, so nimmt die Spannung zwischen den beiden Elektroden dem Gradienten in der verschwindenden positiven Lichtsäule entsprechend ab, bis die Anode der Kathode im Faradayschen Dunkelraum so nahe kommt, daß einige der von der Kathode ausgehenden schnellen Primärelektronen die Anode erreichen. Dadurch wird der Anodenfall überflüssig und die Spannung fällt ziemlich plötzlich um den Betrag des Anodenfalles. Bei weiterer Annäherung der Anode an die Kathode bleibt die Spannung fast völlig konstant, bis die Anode etwa in die Mitte des negativen Glimmlichts vorgedrungen ist, und steigt dann sehr schnell wieder an. Der Grund für diesen schnellen Anstieg wird darin gesehen, daß den von der Kathode ausgehenden Primär- und den von ihnen erzeugten Sekundärelektronen nicht mehr der zur Erzeugung hinreichenden Mengen positiver Ionen erforderliche Raum zur Verfügung steht. Das vor dem Beginn des Anstiegs erreichte Spannungsminimum wird als normaler Kathodenfall angesehen, weil außer ihm kein zusätzlicher Spannungsverlust vorhanden ist. Die unterste Kurve der Abb. 41 verdeutlicht das beschriebene Verhalten der Spannung.

Werden die gleichen Versuche im Gebiete des anomalen Kathodenfalles ausgeführt, so zeigt sich ein neuer Effekt, der an den oberen Kurven der Abb. 41 zu erkennen ist. Unmittelbar vor dem schroffen Anstieg bei zu großer Kathodennähe fällt die Spannung noch einmal stark ab. Der gleiche Abfall zeigt sich, wenn z. B. eine Glas-

---

<sup>1</sup> Phil. Mag. Bd. 42, S. 227. 1921.

platte in den Weg der von der Kathode ausgehenden Elektronen gebracht wird.

Der Effekt wird dadurch hervorgerufen, daß die von der Kathode kommenden schnellen Primärelektronen beim Auftreffen auf die adsorbierte Gas- und Wasserhaut einer in ihren Weg gebrachten festen Oberfläche aus dieser Haut eine größere Menge positiver Ionen ablösen, als wenn sie im Gas selbst ionisieren müßten. Diese Wirkung der schnellen Primärelektronen tritt um so stärker hervor, je mehr sich die

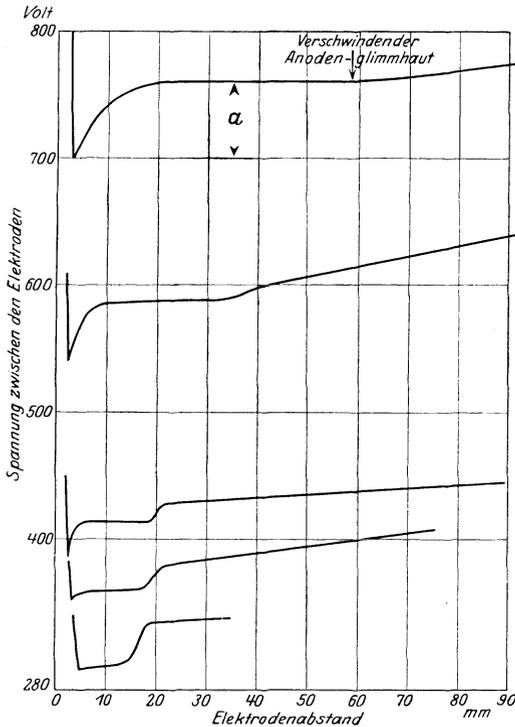


Abb. 41. Spannung einer Glimmentladung in Abhängigkeit vom Elektrodenabstand in normalem und anomalem Gebiet.

Platte der Kathode nähert, denn um so mehr und um so schnellere (weil weniger durch Stoßverluste gebremste) Primärelektronen treffen sie. Infolgedessen sinkt der normale Kathodenfall zunächst beschleunigt ab. Die Wirkung der schnellen Primärelektronen allein ist aber nicht so groß, daß sie schließlich die ionisierende Wirkung der gesamten, vorwiegend in der der Kathode zugekehrten Glimmlichthälfte wirkenden Primär- und Sekundärelektronen zu ersetzen vermag. Sobald also die Platte in dieses Gebiet eindringt, steigt die Spannung infolge zunehmender Verarmung der Entladung an den erforderlichen positiven Ionen trotz der Erleichterung der Ionenbildung in der adsorbierten Gasschicht schnell an.

Bei der Erzeugung von Kathodenstrahlen und der sogenannten reinen Elektronenentladung im Hochvakuum wirken dann die auf diese Weise gebildeten positiven Ionen nicht nur dadurch, daß sie ihrerseits von der Kathode neue Primärelektronen ablösen, sondern vielleicht noch viel stärker dadurch, daß sie die besonders bei der reinen Elektronenentladung stets vor der Kathode vorhandene, die Entladung sehr erschwerende starke Elektronenraumladung verringern. Hiernach muß also das gründliche Entgasen der Anode einer Vakuumentladung (z. B. in Röntgenröhren) die Stromstärke der Entladung stark verringern, weil durch das Entgasen die Bildung der positiven Ionen an der Anodenoberfläche und damit sowohl ihre elektronenablösende als

auch ihre raumladungsvermindernde Wirkung aufgehoben wird. Der Begriff „Pseudohochvakuum“ ist hier allerdings nur noch im erweiterten Sinne mit Rücksicht auf die Ähnlichkeit der Erscheinungen mit denen bei höheren Drucken anwendbar, da hier ja ein Hochvakuum wirklich vorhanden ist, und es sich um die Unterdrückung der Elektronenströme in diesem Vakuum handelt.

In vielen Fällen sind die beiden Ursachen des Pseudohochvakuums, die Wandladungen und die Anodententgasung gleichzeitig vorhanden. In Röntgenröhren und in Hochspannungsglühkathodengleichrichtern (s. d.) werden unter Umständen dadurch besonders unangenehme Störungen hervorgerufen.

### f) Die Lichtbogenventile.

**48. Lichtbogenentladung.** Die Elektronenerzeugung durch den Kathodenfleck eines Lichtbogens ist die ergiebigste von allen. Demzufolge sind auch die Lichtbogenventile die wichtigsten. In den Quecksilbergroßgleichrichtern werden sie zum Gleichrichten von Strömen bis zu 20000 Amp. benutzt.

Daß ein gewöhnlicher elektrischer Lichtbogen unter Umständen eine ausgeprägte Ventilwirkung zeigt, ist schon seit langem bekannt.

Wenn man einer Kohlelektrode eine zweite Elektrode aus Metall (außer Wolfram) in einem Abstände von mehr als 4 mm gegenüberstellt, so geht der Strom nur in der Richtung über, in der die Kohle Kathode ist. Die Ursache liegt in dem Zusammentreffen folgender Umstände:

1. Die Wärmeleitfähigkeit der Kohle ist sehr viel schlechter als die der Metalle.

2. Die Temperatur von etwa 3000° C, die für eine hinreichende Elektronenemission erforderlich ist, liegt unterhalb der Siedetemperatur der Kohle, aber weit oberhalb der Siedetemperatur der meisten Metalle. Infolgedessen stellt sich bei der Metallkathode im Kathodenfleck ein turbulenter Zustand her. Die durch den Aufprall der Kationen auf die hohe Temperatur erhitzten Oberflächen werden in dem Augenblick, in dem sie die Temperaturen erreichen, als kräftiger Dampfstrahl von der Kathode weggeschleudert. Infolgedessen verschwindet die hohe Temperatur zugleich mit dem Aufhören des Ionenaufpralles. Sobald also der Strom in einer Metallkathode auch nur den kürzesten Augenblick Null geworden ist, kann er von neuem nur wieder auf dem Umwege über die sehr viel mehr Spannung verbrauchende Glimmentladung entstehen. Bei der Kohle dagegen bleibt über eine halbe Periode eines 50periodigen Wechselstromes hin immerhin so viel von der Temperatur übrig, daß der Strom, wenn auch im ersten Augenblick mit erhöhter Spannung, doch wieder einsetzen kann. Das einzige Metall, dessen Siedepunkt oberhalb von 3000° C liegt, das Wolfram, verhält sich als Lichtbogenelektrode wie Kohle.

Jeder Metallkohlebogen (bis auf Wolfram) läßt sich also als Ventil verwenden. Es ist jedoch die Ventilwirkung bei einem Lichtbogen in Luft, etwa aus Kohle und Eisen so unzureichend, daß sie für eine technische Verwendung nicht in Frage kommt. Nur der Lichtbogen in

stark verdünnten Gasen ist technisch brauchbar. Dann darf sich aber die Kathode nicht durch Verdampfung verbrauchen. Sie muß also entweder aus einem Metall bestehen, das bereits bei gewöhnlicher Temperatur flüssig ist, so daß das im Lichtbogen verdampfte und an den Gefäßwänden kondensierte Metall stets wieder zur Kathode zurückrinnt, oder aus einem Metalle, das bei der Temperatur des Kathodenfleckes des Lichtbogens noch nicht merklich verdampft.

Beide Fälle werden technisch ausgenutzt, der erste im Quecksilberdampfgleichrichter, der zweite im Wolframlichtbogengleichrichter. Beim Quecksilberdampfgleichrichter bildet der Quecksilberdampf selbst das verdünnte Gas, beim Wolframlichtbogengleichrichter wird Argon verwandt.

**49. Der Quecksilberdampflichtbogen.** Der entscheidende Fortschritt, der durch die Verwendung des Quecksilbervakuumlithbogens herbeigeführt wurde, liegt darin, daß erstens das Quecksilber als flüssiges Metall, nachdem es verdampft und an den Gefäßwänden verdichtet ist, immer wieder zur unten angeordneten Kathode zurückrinnt, so daß kein Materialverlust stattfindet, zweitens der Spannungsverlust im reinen Quecksilberdampf sehr gering ist, drittens infolgedessen die Anode von der Kathode genügend weit entfernt werden kann, so daß sie von der Strahlung der Kathode nicht mehr getroffen wird, viertens die Anode bei einem Vakuumlichtbogen verhältnismäßig kalt bleibt. Die an ein Ventil zu stellenden Forderungen, geringer Spannungsverlust in der Flußrichtung, geringer Strom in der Sperrichtung, hohe Rückzündungsgrenze in der Sperrichtung, sind beim Quecksilbergleichrichter weitgehend erfüllt. Zur Beschreibung teilt man die für das Verhalten der Ventile maßgebenden Erscheinungen zweckmäßig in sechs Gruppen ein:

1. Flußrichtung oder Lichtbogenrichtung;
2. Sperrichtung oder Glimmstromrichtung.

a) Kathode; b) Gasstrecke; c) Anode.

**50. Die Kathode des Lichtbogens.** In der Kathode finden folgende Arten von Energieverbrauch statt:

1. Wärmeleitung aus dem Kathodenfleck in das Quecksilber der Kathode;
2. Strahlung des Kathodenfleckes;
3. Verdampfungswärme des verdampfenden Quecksilbers.

Die von dem wild auf der Oberfläche des Quecksilbers umherirrenden, kleinen, weißglühenden Kathodenfleck an die Kathode abgegebene Energie beträgt 2,68 W pro Ampere und Sekunde. Der Querschnitt des Kathodenfleckes beträgt  $2,53 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{A}$ , die Stromdichte im Fleck demnach 4000 Amp./ $\text{cm}^2$ , ist also außerordentlich hoch. Die Strahlung des Kathodenfleckes ist bisher nicht gemessen worden, sie spielt wegen der geringen Größe des Fleckes keine wesentliche Rolle. Wird die Temperatur des Fleckes zu  $2000^\circ \text{ C}$  angenommen, so errechnet sich eine Strahlung von 0,0366 W pro Ampere. Infolge der hohen Temperatur des Fleckes verdampft das Quecksilber sehr lebhaft. Die in einer Sekunde verdampfende Menge beträgt  $2,08 \cdot 10^{-3} \text{ g/Amp.}$

Um diese Menge zu verdampfen, ist eine Energiezufuhr von 2,20 W in der Sekunde erforderlich.

Vereinigt sich ein Kation mit der Kathode, so wird bei der Neutralisierung seiner Ladung eine weitere Energie frei, die beim Quecksilber für 1 Amp. Kationenstrom 3,9 W beträgt.

Nimmt man an, daß an der Kathode der Bruchteil  $x$  jedes Ampere von Elektronen und der Bruchteil  $1 - x$  von Kationen transportiert wird, und daß der Kathodenfall, dessen exakte Messung kaum durchführbar ist,  $y$  V beträgt, so ergibt sich:

1. Energieausgabe an der Kathode pro Ampere Gesamtstrom:	
a) Wärmeleitung in das Kathoden-Hg . . . . .	2,68 Watt
b) Strahlung bei 2000° C (angenommene Temperatur) . . . . .	0,04 „
c) Verdampfungswärme der verdampfenden Hg-Menge . . . . .	2,20 „
d) Ablösearbeit der die Kathode verlassenden Elektronen . . . . .	3,9 x „
	Sa.: 3,9 x + 4,92 Watt
2. Energieeinnahme pro Ampere Gesamtstrom:	
a) von den Kationen im Kathodenfall gewonnene Energie . .	(1 - x) · y Watt
b) durch Neutralisierung der Kationen gewonnene Energie (negative Ablösearbeit der Kationen) . . . . .	(1 - x) · 7,1 Watt
	Sa.: (1 - x) · (y + 7,1) Watt

Daraus folgt die Gleichung:

$$(1 - x) \cdot (y + 7,1) = 3,9x + 4,92. \quad (30)$$

Die Elektronen, die von der Kathode ausgehen, erlangen im Fallraum eine  $y$  V entsprechende Geschwindigkeit. Es stehen also an Ionisierungsenergie pro Ampere in der Ionisierungsschicht vor der Kathode  $x \cdot y$  W zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Energie ist die für einen Strom  $1 - x$  pro Ampere erforderliche Anzahl Kationen zu erzeugen. Dazu sind mindestens  $10,4 \cdot (1 - x)$  W erforderlich. Es gilt also

$$x \cdot y = (1 - x) \cdot 10,4. \quad (31)$$

Die beiden Gleichungen werden erfüllt durch die Werte

$$y = 8,6 \text{ V}, \quad x = 0,55,$$

Es wird also unmittelbar an der Kathode rund die Hälfte des Stromes durch Kationen, die andere Hälfte durch Elektronen transportiert.

In den Zahlenwerten der Gl. (1) stecken verschiedene Unsicherheiten. Es erscheint durchaus möglich, daß der Kathodenfall  $y$  gleich der Ionisierungsspannung des Quecksilbers, also gleich 10,4 V und  $x = 0,50$  ist.

Die unter a - c genannten Verluste sind um so geringer, je kleiner der Fleck ist. Also ist die geringe Größe des Fleckes dadurch gegeben, daß die Verluste nicht größer als die verfügbare Energie sein dürfen. Der Fleck irrt schnell auf der Kathode hin und her, weil der aus ihm hervorbrechende Dampfstrahl die Kationen zwingt, sich immer neue Auftreffstellen zu suchen. Dabei müssen die Kationen in ein außerordentlich kleines Gebiet hineintreffen, was um so schwieriger wird, je kleiner das Gebiet, d. h. je kleiner der Strom ist.

Also wird bei einer ganz bestimmten Mindeststromstärke die Erzeugung der erforderlichen Temperatur gelegentlich mißlingen. Die Elektronenerzeugung hört auf, der Lichtbogen ist erloschen. Eine derartige Katastrophe spielt sich in Zeiten von der Größenordnung einer hunderttausendstel Sekunde ab.

Die Mindeststromstärke liegt bei um so höheren Werten, je kälter der Gleichrichter und je größer die Quecksilberoberfläche ist. In kleinen Gleichrichtern läßt sie sich bis auf 2 Amp. hinunterdrücken, in sehr großen kalten steigt sie bis auf 10 Amp.

Hier kommt neuerdings ein in einem älteren Patent bereits vorgeschlagenes Mittel, die Mindeststromstärke hinabzudrücken, anscheinend wieder zu Ehren. Wenn der Kathodenfleck dadurch an dem schnellen Umherirren verhindert wird, daß ihm eine bequeme Ansatzstelle geboten wird, kann die Stromstärke wesentlich, bis unter 1 Amp. verringert werden, ohne daß der Lichtbogen erlischt. Besonders geeignet ist ein Stift oder auch ein Rohr aus einem hochschmelzenden Metall, wie Wolfram, evtl. mit emissionsfördernden Zusätzen wie Thor, die so angeordnet sind, daß ihre obere Kante gerade mit der Quecksilberoberfläche abschneiden. Der Kathodenfleck haftet dann hartnäckig in der Rinne zwischen diesem Stift oder Rohr und dem angrenzenden durch die Kapillardepression vertieften Quecksilber.

### g) Die Vorgänge in der Lichtbogengasstrecke.

**51. In reinem Quecksilberdampf.** In der Gasstrecke des Lichtbogens strömen freie Elektronen nach der Anode, freie Kationen nach der Kathode hin. In der Volumeneinheit sind von beiden praktisch gleich viel vorhanden. Infolge der außerordentlich geringen Geschwindigkeit der Kationen, im Vergleich zu der der Elektronen (etwa 1 : 340), kommen für den Stromtransport praktisch nur die letzteren in Frage. Der Strom in der Gasstrecke ist praktisch Elektronenstrom, genau so wie die Strömung in Metallen, wenn auch völlig anderen Gesetzen unterworfen.

Die Kationen dienen im Lichtbogen nur zur Beseitigung der Raumladung. Wiedervereinigung von Elektronen und Kationen zu neutralen Molekülen kommen im Gasraum nicht in merklicher Menge vor. Die einzigen Verluste sind hier die Stoßverluste der Elektronen und Kationen beim Anprall gegen Quecksilberatome. Die Stöße der Elektronen verlaufen rein elastisch, solange die Elektronen nicht eine Geschwindigkeit erlangt haben, die einer frei durchlaufenen Spannung von 4,68 V entspricht. (Eine sog. „4,68-V-Geschwindigkeit“.) Die elastischen Stoßverluste betragen je Stoß 0,005‰ der vorhandenen Energie. Steigt die Geschwindigkeit der Elektronen auf mehr als 4,68 V, so geben sie nicht bei jedem Stoß, sondern nur unter bestimmten gelegentlich eintretenden Umständen ihre gesamte Energie an das getroffene Quecksilberatom ab und setzen dieses dadurch in einen Erregungszustand, aus dem es jedoch sogleich wieder unter Aussendung von Lichtstrahlung in den normalen Zustand zurückfällt. Wo also der Quecksilberdampf im Gleichrichter leuchtet, sind wenigstens einige Elektronen einer

4,68 V übertreffenden Geschwindigkeit vorhanden; wo er lichtlos ist, erreichen auch die schnelleren Elektronen diese Geschwindigkeit nicht. Solange keine weiteren Verluste auftreten, bleibt die Elektronengeschwindigkeit auf einem sehr geringen mittleren Betrage von etwa 2 V.

**52. Wirkung der Gefäßwände.** Beträchtliche Verluste werden aber durch die Gefäßwände verursacht. Wenn nämlich ein Elektron gegen ein 360000 mal schwereres Quecksilberatom stößt, prallt es von diesem zurück, stößt gegen das nächste Atom und beschreibt so eine ganz wirre Zickzacklinie, die nur dadurch allmählich der Anode näher kommt, daß das elektrische Feld das Elektron auf jedem Wege ein wenig nach der Anode zu verschiebt. Ist nun eine Gefäßwand in der Nähe der Lichtbogenströmung, so gelangt das Elektron auch einmal an diese Gefäßwand. Die aber hält es fest und lädt sich dadurch negativ auf. Infolgedessen zieht sie nunmehr auch Kationen aus der Gasstrecke an, die sich mit den Elektronen auf der Gefäßwand vereinigen und für neue Elektronen Platz machen. Es verschwinden also Träger des Stromes aus der Gasstrecke. Um so schneller müssen sich die übrigbleibenden bewegen, wenn der Strom konstant bleiben soll. Erreichen sie dabei die Geschwindigkeit von 4,68 V, so beginnt der Quecksilberdampf zu leuchten. Aber immer noch verschwinden Elektronen und Kationen an die Gefäßwände. Immer weiter muß die Geschwindigkeit der übrigen Elektronen steigen, bis sie endlich die Ionisierungsspannung von 10,4 V erreichen. Dann werden neue Elektronen und positive Ionen durch Elektronenstoß erzeugt und es vermag sich endlich ein Gleichgewicht zwischen Ladungsverlust an den Wänden und Entstehen neuer Ladungen auszubilden. Die erhöhte Geschwindigkeit können aber die Elektronen nur durch erhöhten Spannungsverlust in der Gasstrecke erlangen. Also treiben die Gefäßwände die Spannung im Lichtbogen um so mehr in die Höhe, je enger sie ihn umschließen, und da der Lichtbogen selbst bei gegebener Stromstärke um so breiter ist, je geringer der Dampfdruck des Quecksilbers ist, so wirken die Gefäßwände um so mehr, je geringer der Dampfdruck ist.

Vom Standpunkt möglichst verlustloser Durchleitung der Ströme durch den Gleichrichter in der durchlässigen Richtung sind also die Seitenarme ein Übel. Sie haben zur Folge, daß der Spannungsverlust in der Gasstrecke je nach der Länge der Arme 5 bis 10 V beträgt, während er 2 V oder weniger betragen würde, wenn die Ventilelektroden dicht über der Quecksilberelektrode angebracht würden.

Die Seitenarme müssen aber in Kauf genommen werden, um Sicherheit gegen Rückzündungen zu erzielen.

**53. Dampfdruck und Temperatur.** Die Verhältnisse in der Gasstrecke des Quecksilberlichtbogens werden dadurch kompliziert, daß der Quecksilberdampfdruck von der Temperatur und diese wiederum von der Belastung abhängt. Der Quecksilberdampfdruck eines Gleichrichtergefäßes läßt sich nur mit Hilfe des Satzes ableiten, daß überall da, wo sich Quecksilber kondensiert, der Dampfdruck gleich dem zur Kondensationstemperatur gehörigen Sättigungsdruck des Quecksilbers ist.

In einem Gleichrichterkolben der AEG mit drei Armen für 30 Amp. ohne Kühlung (100 Amp. mit Ventilator Kühlung, Type SDLE) ergaben die Messungen die in Abb. 42 wiedergegebenen Temperaturen und Quecksilberdampfdrucke. Hiernach werden die in der Nähe der Kathode gelegenen Teile des Gefäßes am heißesten, wohl, weil dort die Stromdichte am größten ist und das anscheinend sehr heiße kathodische Lichtbüschel dort hin- und herwandert. Die Anodenarme sind nicht ganz so heiß. Die Kondensation beginnt bei der Gesamtbelastung von 30 Amp. bei 100° C und einem Druck von 280  $\mu$  schon ziemlich weit unten im Gefäß. Im oberen Teil findet sie bei abnehmender Temperatur und abnehmendem Druck bis herunter zu einem Druck von 14  $\mu$  statt.

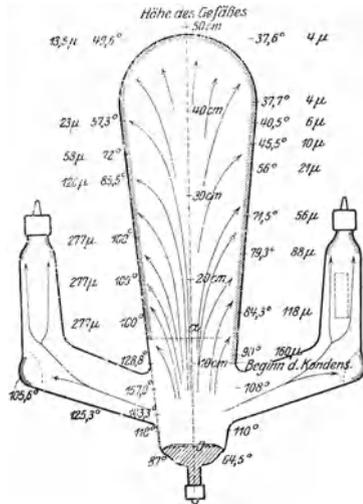


Abb. 42. Temperaturen der Glaswand eines Quecksilberdampfgleichrichters für 100 Amp. bei 20 Amp. (rechte Hälfte) und 30 Amp. (linke Hälfte) Gesamtbelastung ohne Ventilator Kühlung. Die mit  $\mu$  bezeichneten Zahlen sind die zu den gemessenen Temperaturen gehörenden Sättigungsdampfdrucke des Quecksilbers.

Fläche zuströmt, im Mittel  $3 \cdot 10^2$  cm/sec. Bei Belastung des Gleichrichters mit 100 Amp. und Ventilator Kühlung, bei der etwa dieselben Temperaturverhältnisse in der Kühlkammer herrschen wie bei 30 Amp. ohne Kühlung, sind die Geschwindigkeiten das 3,3fache der errechneten, also  $4,5 \cdot 10^3$  und  $1,10^3$  cm/sec. Derartige Quecksilberdampfstrahlen üben eine stark saugende Wirkung auf alle Fremdgase und Suspensionen aus und pressen diese in den oberen Teile der Kühlkammer zusammen, soweit nicht durch den emporschießenden Kathodendampfstrahl verursachte heftige Wirbelbewegungen wieder alles durcheinander mischen.

Ähnlich wirken die schwächeren Dampfstrahlen, die durch die Kondensation des Quecksilbers in den Anodenarmen entstehen, und deren Wirkung trotz ihrer geringen Geschwindigkeit verhältnismäßig groß

Verschiedene Drucke in einem Dampf setzen die Strömung dieses Dampfes voraus. Bei Belastung des 100-Amp.-Gleichrichters mit 30 Amp. ist die gesamte Kondensationsoberfläche in der Kühlkammer 3830 cm<sup>2</sup>. Bei 30 Amp. verdampfen in der Sekunde 0,24 g Hg. Ebensoviele werden im Beharrungszustand kondensiert. Die mittlere Temperatur des Quecksilbers im Kondensationsraum läßt sich auf etwa 200° schätzen, der Dampfdruck in der Zone a ist 280  $\mu$ . Daraus ergibt sich die Dichte des Dampfes in dieser Zone zu  $1,90 \cdot 10^{-6}$  g/cm<sup>3</sup>. Der Querschnitt a der Kühlkammer beträgt 85 cm<sup>2</sup>. Daraus folgt als Durchschnittsgeschwindigkeit des Dampfes im Querschnitt a  $1,34 \cdot 10^3$  cm/sec. Das ist die Geschwindigkeit eines kräftigen Gebläses. Ähnlich berechnet sich die Geschwindigkeit, mit der der Dampf auf die kondensierende

ist, da sie in den langen, engen Armen strömen. Sie sammeln die Fremdgase und Staubteilchen in der Nähe der Anoden an. Aus den vorstehenden Messungen und Rechnungen folgt, daß von einem einheitlichen Dampfdrucke in den Quecksilbergeleichrichtern schon bei Belastung mit Gleichstrom keine Rede sein kann. Von einem einigermaßen gleichmäßigen Druck kann nur in den Anodenarmen gesprochen werden, weil in diesen die Kondensation gering ist.

Dieser Druck in den Anodenarmen läßt sich am einfachsten durch Messung der Kondensationstemperatur im Knick der Arme ermitteln.

Tabelle II und Abbildung 43 enthalten das Spannungsgefälle, die Temperaturen der Anodenarme und der Kathode sowie den Dampfdruck der Gleichrichtertypen „SDLE“ für 100

Amp. in Abhängigkeit von der Belastung mit Gleichstrom, der auf die drei Anodenarme gleichmäßig verteilt wurde, ohne Kühlung.

Es wurde bereits erwähnt, daß die spannungserhöhende Wirkung der Gefäßwände um so kleiner ist, je größer der Dampfdruck ist. Andererseits nimmt die Zahl der Zusammenstöße und damit die Größe der Verluste mit dem Dampfdruck zu. Da anfangs der erste Einfluß überwiegt, nimmt der Spannungsverlust in der Gasstrecke mit zunehmendem Dampfdruck zuerst ab, durchläuft ein Minimum und steigt dann mit dem Dampfdruck beschleunigt an. Da gleichzeitig, wie erwähnt, der Anodenfall mit zunehmendem Dampfdruck abnimmt, zeigt der Gesamtspannungsverlust des Gleichrichters anfänglich eine kräftige Abnahme, wie Abb. 43 deutlich erkennen läßt.

Tabelle II. Gleichrichtertypen für 100 Amp. mit Ventilator Kühlung. Versuche mit Gleichstrom ohne Kühlung.

Gesamtstrom Amp.	Spannungsgefälle in der Gasstrecke V/cm	Temperatur			Dampfdruck in den Anodenarmen mm Hg
		der Glaswand der Anodenarme ° C	der Kondensation im Knick der Arme ° C	der Kathode ° C	
10	0,370	87	80	58	0,092
20	0,276	103	92	64	0,148
30	0,252	125	106	73	0,320
40	0,293	181	121	84	0,580
50	0,580	295	151	134	0,40

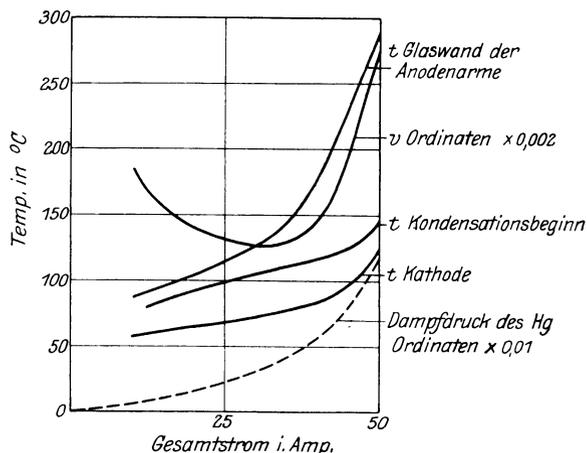


Abb. 43. Spannungsverlauf, Temperatur und Dampfdruck eines Quecksilbergeleichrichters in Abhängigkeit von der Belastung.

Ferner zeigt Abb. 43, daß die Temperatur, der Druck und der Spannungsverlust oberhalb von 40 Amp. schnell zu steigen beginnen. Deshalb wird diese Type oberhalb von 30 Amp. stets mit Ventilator Kühlung verwandt.

Bei den Glasgleichrichtern ist die Kühlkammer, bei den Großgleichrichtern die Wasserkühlung der Gefäßwände so zu bemessen, daß der Dampfdruck des Quecksilbers bei Dauerbelastung mit Vollast gerade den Wert erreicht, der diesem Minimum entspricht. Die Seitenarme, die die Ventilelektroden aufnehmen, werden verhältnismäßig breit gemacht, damit der Spannungsverlust in ihnen gering ist. Die Großgleichrichter haben keine äußeren Seitenarme. Doch sind auch bei ihnen die Ventilelektroden durch vorgebaute Schutzschilde oder sie umhüllende Schutzzyylinder vor dem Dampfstrahl der Kathode geschützt. Es sind also die Seitenarme nach innen verlegt.

Bei den Großgleichrichtern mit Eisengefäß erscheint es paradox, daß sich das Eisengefäß nicht an der Stromleitung beteiligt, obwohl es auf eine längere Strecke vom Lichtbogen gespült wird und besser leitet als dieser. Der Grund liegt auch hier in der Ventilwirkung einer kalten Elektrode. Die Elektronen können zwar ohne Schwierigkeiten in der Nähe der jeweiligen Kathode aus dem Lichtbogen in das Metall der Gefäßwand eintreten, aber sie können sie in der Nähe der Anode nicht wieder verlassen. Die Kationen aber sind für eine merkliche Unterstützung der Elektronen viel zu träge.

Die Temperatur in der positiven Lichtsäule etwa mit Hilfe hineingebrachter Körper messen zu wollen, ist aussichtslos. Bei der außer-

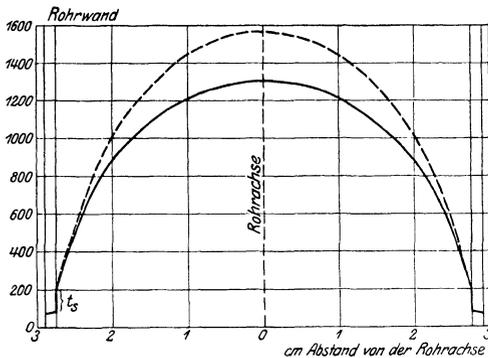


Abb. 44. Verlauf der Temperatur des Quecksilberdampfes von der Rohrwand bis zur Rohrachse in einem Gleichrichterarm bei 10 Amp. und 2,52 V/cm Spannungsverlust.

daher geringen Wärmekapazität des verdünnten Quecksilberdampfes und der großen Strahlungsverluste aller festen Körper bei höheren Temperaturen setzen feste Körper die Temperatur des Quecksilberdampfes so weit herab, daß sie nicht einmal der Größenordnung nach erhalten bleibt. Die Temperatur in der positiven Lichtsäule läßt sich nur durch Rechnung finden, die sich auf die in Tabelle 12 wieder gegebene Wärmeleitfähigkeit des Quecksilberdampfes gründet. In Abb. 44 ist wiedergegeben, wie die Temperatur in einem Anodenarme von 2,86 cm Radius bei 10 Amp. Stromstärke und einem Spannungsverlust von 2,52 V pro cm von der Rohrwand bis zur Achse ansteigt. Ferner enthält Tabelle 13 eine Zusammenstellung der für verschiedene Gleichrichtergefäße berechneten Temperaturen in der Achse der positiven Lichtsäule.

Tabelle 12. Wärmeleitfähigkeit des Quecksilberdampfes als Funktion der Temperatur.

$t$ ° C	$k$ Wattsec/cm grad sec	$t$ ° C	$k$ Wattsec/cm grad sec
0	$1,608 \cdot 10^{-5}$	1800	$36,37 \cdot 10^{-5}$
200	5,89	2000	39,17
400	10,66	3000	51,36
600	15,21	4000	61,54
800	19,42	5000	70,39
1000	23,31	6000	78,33
1200	26,91	8000	92,3
1400	30,28	10000	104,4
1600	33,40		

Tabelle 13.

Lfd. Nr.	Art des Gefäßes	Durchm. der Anodenarme cm	$i$ pro Anodenarm Amp.	$v$ V/cm	$t_i$ ° C	$t_o$ ° C	Dampfdruck mm Hg	Beobachter	Bemerkungen
1	Glasgleichrichter 100 Amp. mit Ventilator- kühlung	5,5	0,50	2,20	200	850	0,120	Verf.	ohne Kühlung
2			16,67	0,578	350	2700	1,4		
3			100	0,26	300	4800	—		
4	Glasgleichrichter für 500 Amp. mit Kühlung	6,5	500	ca. 0,20	300	10900	—	AEG	be Gleichrichterbetrieb mit Kühlung
5	Großgleichrichter, Eisen- gefäß	—	600	ca. 0,09	40	7400	—	AEG	
6)	Glasrohr	3,0	9,0	0,67	200	2067	0,280	Arons	Wasserbad
7)		1,5	4,0	2,4	200	2680	0,002?		
8)	Quarzrohr	1,2	4,0	1,75	200	2216	—	Küch und Ret- schinski	
9)		1,2	4,0	5,0	300	4120	—		
10)		1,2	4,8	16,1	700	9400	—		
11)		1,2	4,0	23,6	1000	11400	—		

Anmerkungen:  $i$  = Stromstärke;  $v$  = Spannung pro cm;  $t_i$  = Temperatur der Gefäßwand;  $t_o$  = Temperatur in der Achse des Lichtbogens.

Infolge der äußerst geringen Wärmekapazität des Quecksilberdampfes folgen die Temperaturen den Stromschwankungen außerordentlich rasch, die Druckschwankungen dagegen bedeutend langsamer. Springt also in einem Anodenarm der Strom auf seinen vollen Wert, so folgt die Temperatur nahezu ohne Verzug, die Dichte aber nicht, so daß der Lichtbogen im ersten Augenblick in dem vorstehend berechneten Beispiel in Dampf der zehnfachen Dichte, also auch des

zehnfachen Druckes des normalen, brennt. Sogleich setzt jedoch ein heftiger Dampfstrahl ein, der den überschüssigen Dampf aus dem Anodenarm hinausbläst und den Dampfdruck auf den in der Umgebung der Anodenarme herrschenden Wert bringt. Sobald der Strom aufhört, verschwindet die hohe Temperatur wieder praktisch momentan, so daß Dichte und Druck auf ein Zehntel ihres vorherigen Wertes sinken, so daß jetzt ein Dampfstrahl in den Anodenarm hineinstößt, dessen Geschwindigkeit zwar etwas geringer als die des herausstoßenden Dampfstrahles, aber immer noch sehr groß ist. Etwa noch vorhandene Ionen, Fremdgase und suspendierte Staubteilchen werden durch diesen Dampfstrahl heftig gegen die Anode geschleudert.

Diese heftigen, in den Anodenarmen hin und her vibrierenden Quecksilberdampfstrahlen sind um so stärker, je höher die Temperatur der Lichtsäule ist, und dauern in jeder Phase um so länger an, je länger die Anodenarme sind.

Die folgende Tabelle 14 gibt die Abhängigkeit der Temperatur  $t_o$  von der Stromstärke in der Achse der positiven Lichtsäule, während

Tabelle 14. Änderung der Stromstärke bei konstantem Dampfdrucke.  $t_i$  konstant gleich  $200^{\circ}\text{C}$  gesetzt.

Strom Amp.	Spannungsgefälle V/cm	$t_o$ $^{\circ}\text{C}$	Dissoziationsgrad
0,50	2,20	845	$1,94 \cdot 10^{-5}$
1,10	1,04	863	$6,23 \cdot 10^{-5}$
2,50	0,507	910	$20,08 \cdot 10^{-5}$
5,20	0,356	1108	$54,04 \cdot 10^{-5}$
7,50	0,315	1252	$73 \cdot 10^{-5}$
12,50	0,259	1487	$171 \cdot 10^{-5}$

mit Hilfe des Stromes im zweiten Anodenarme der Druck konstant gehalten wurde. Die Tabelle zeigt, daß der Spannungsverlust mit steigendem Strome anfangs stark abnimmt, und infolgedessen die Temperatur mit der Stromstärke nur wenig ansteigt. Bei einer Steigerung des Stromes von 0,5 bis 12,5 Amp., also um das 25fache, steigt die absolute Temperatur von  $1110^{\circ}$  auf  $1760^{\circ}$ , also nur um 57%. Dabei ist der Temperaturanstieg in Wirklichkeit noch geringer als der berechnete, da bei der geringen Stromstärke von 0,5 Amp. die Stromverteilung deutlich ungleichmäßig ist, so daß die Temperatur in der Achse höher ist als die berechnete.

Tabelle 15 gibt die Abhängigkeit der Temperatur und des Spannungsverlustes vom Quecksilberdampfdruck bei konstanter Strombelastung. Der Druck ist teils durch zunehmende Strombelastung in den anderen Armen, teils durch Einbau des Gleichrichters in einen Heizkasten erzielt worden.

Die Tabelle zeigt, daß Spannung und Temperatur mit zunehmendem Dampfdruck zunächst abnehmen, ein Minimum durchlaufen und dann wieder ansteigen. Schließlich ergeben sich bei hohen Drucken dann die hohen Spannungsverluste und hohen Temperaturen, wie sie Küch

und Retschinsky<sup>1</sup> bei der Quarzlampe beobachtet haben. Wie bereits auf S. 38 auseinandergesetzt worden ist, hat der Lichtbogen bei den höheren Drucken die Tendenz, sich von der Wand abzulösen und nach der Achse zusammenzuziehen, infolgedessen ist bei Drucken von 1 mm an die wahre Temperatur in zunehmendem Maße höher als die berechnete.

Tabelle 15.  
Änderung des Dampfdruckes bei konst. Stromstärke (5,00 Amp.).

Dampfdruck mm Hg	$v$ V/cm	$t_i$ ° C	$t_o$ ° C	Freie Weglänge des Elektrons cm	Spannung pro freie Weglänge V/cm	Dissoziations- grad
0,003	1,42	250	2275	177	251	—
0,067	0,580	250	1418	5,30	3,08	$65 \cdot 10^{-5}$
0,081	0,516	250	1320	4,10	2,12	$61 \cdot 10^{-5}$
0,167	0,471	260	1256	1,90	0,892	$44 \cdot 10^{-5}$
0,290	0,516	260	1320	1,14	0,587	$33 \cdot 10^{-5}$
0,570	0,580	270	1418	0,622	0,361	—
0,690	0,646	280	1504	0,540	0,349	—
1,54	0,904	310	1800	0,286	0,259	—
4,16	1,181	350	2060	0,116	0,137	—
8,20	1,419	390	2317	0,0655	0,0929	—
13,5	1,677	430	2542	0,0437	0,0732	$0,84 \cdot 10^{-5}$

$t_i$  = Temperatur der Glaswand,  $t_o$  = Temperatur der Achse des Lichtbogens.

**54. Zusatz von Fremdgasen.** Durch den Zusatz von Fremdgasen treten verschiedene Komplikationen ein, die ihre Wirkung recht verwickelt machen.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse, wenn das zugesetzte Fremdgas insofern dem Quecksilber gleich ist, als die Elektronen mit seinen Atomen ebenfalls rein elastisch zusammenstoßen. Ein solches Fremdgas ist Argon. Seine Anregungsspannung ist 12 V gegenüber 4,68 V beim Quecksilber. Solange also die Partialdichte des Quecksilbers nicht sehr gering gegen die des Argons ist, können die Elektronen die zum Anregen eines Argonatoms erforderliche Geschwindigkeit nicht erreichen, weil ihnen ihre Energie vorher bei einem Zusammenstoß mit einem Quecksilberatom weggenommen wird. Das Argon wirkt also im wesentlichen so, als ob die Dichte des Quecksilbers vermehrt würde. Mit einer Ausnahme: Die Wärmeleitfähigkeit des Quecksilbers ist bei 0° C

$$0,385 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cal}}{\text{cm grad sec}}$$

die des Argons  $3,89 \cdot 10^{-5}$ , also rund 10mal so groß.

Infolgedessen kann die Temperatur in der Strombahn nicht so hoch steigen, wie bei reinem Quecksilberdampf. Die Spannung muß also

<sup>1</sup> Kűch und Retschinsky: Ann. Physik, Bd. 20, S. 563. 1906; und Bd. 22, S. 595. 1907.

höher und die positive Säule breiter sein, als bei Quecksilber gleicher Dichte. Tabelle 16 und Abb. 45 zeigen, daß das in der Tat der Fall ist.

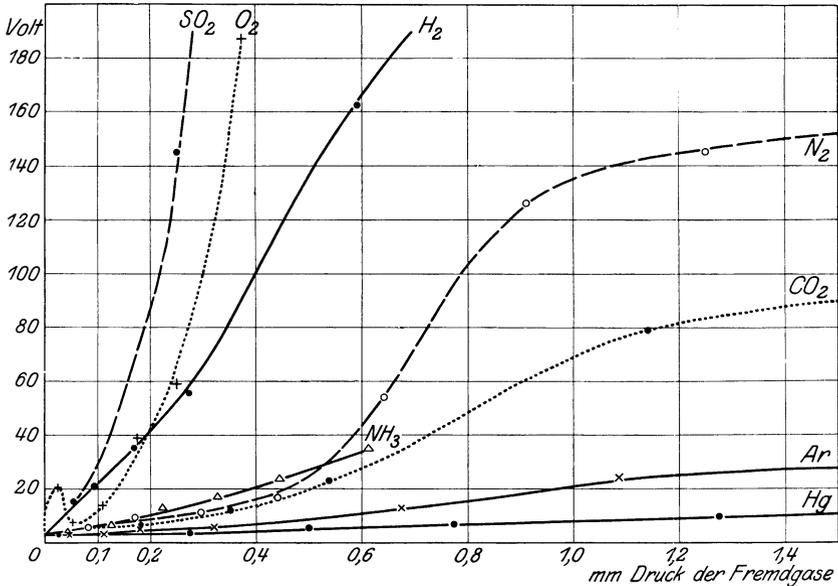


Abb. 45. Einfluß des Zusatzes von Fremdgasen auf den Spannungsverlust in der 25 cm langen Gasstrecke eines Lichtbogens in einer großen Glaskugel.

Tabelle 16. Quecksilberdampf mit Argonzusatz.

Druck des Argons mm	Spannung zwischen den Elek- troden V	Anoden- fall V	Span- nungs- verlust in der Gas- strecke V	Durch- messer des Licht- bogens cm	Helligkeit des Licht- bogens
0,042	18,8	10,4	3,1	—	lichtlos
0,110	19,5	10,5	3,7	—	„
0,180	22,7	11,9	5,5	—	„
0,319	23,0	11,7	6,0	—	„
0,668	30,0	12,0	12,7	8	} Lichtsäule von der Anode bis zur Mitte des Gefalles Lichtsäule bis zur Kathode
1,087	43,0	13,2	24,5	9	
1,67	47,0	13,1	28,6	4	
2,28	140	14,2	120,5	3	

Der Partialdruck des Quecksilberdampfes war stets gering gegen den des Argons.

Bei den übrigen untersuchten Gasen H, O, N, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und NH<sub>2</sub> liegen die Verhältnisse verwickelter, da bei ihnen die Zusammenstöße nicht elastisch sind.

Ähnlich wirken die anderen Edelgase, insbesondere Helium und Neon.

Die Anregungsspannungen sind, soweit bekannt, folgende:

Tabelle 17.

Gas	Anregungsspannung	Gas	Anregungsspannung
Hg	4,86 V	H <sub>2</sub>	10,1 V
Ar	11,6 V	O <sub>2</sub>	7,9 V
CO <sub>2</sub>	—	NH <sub>3</sub>	—
N <sub>2</sub>	7,5 V	SO <sub>2</sub>	—

Auch hier wird also im wesentlichen nur das Quecksilber angeregt und ionisiert. Die Fremdgase nehmen am Strom unmittelbar keinerlei merklichen Anteil. Bezüglich der Wärmeleitfähigkeit gilt das gleiche wie bei Argon: Je größer die Wärmeleitfähigkeit, um so schneller muß die Spannung mit zunehmender Partialdichte des Fremdgases steigen. Schwieriger zu fassen ist die Folge des Energieverlustes der Elektronen bei den Zusammenstößen. Dieser Energieverlust besteht zum Teil darin, daß die Elektronen beim Stoß Energie an die inneren Freiheitsgrade der Moleküle abgeben, teils aber auch darin, daß sie von elektronengierigen Gasen eingefangen werden, wobei ihre Energie auf das einfangende Molekül übergeht, und sie erst durch ein neues Ereignis ihre Freiheit, aber nicht ihre Energie wiedergewinnen.

Folgende Fälle lassen sich voraussehen:

**55. Fremdgase bei geringem Gasdruck.** Gesamtspannungsgefälle in der Gasstrecke unter 4,68 V. Wird ein Teil des Quecksilberdampfes durch ein Fremdgas ersetzt, das den Elektronen bei jedem Zusammenstoß einen Teil ihrer Energie entzieht, ohne sie einzufangen, so nimmt  $v$  ab, also nach der Formel

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\gamma L}{v} \quad (5)$$

die Fortschrittgsgeschwindigkeit der Elektronen zu, das Feld ab, die Spannung sinkt. (Wohlgemerkt, wenn nur die Wirkung der Energieentziehung, nicht auch der Einfluß des Wärmeleitvermögens ins Auge gefaßt wird.)

**56. Fremdgase bei mittlerem Gasdruck.** Nachdem die Ionen einen Teil ihres Weges zurückgelegt haben, erreichen sie die Anregungsgeschwindigkeit und der Lichtbogen wird leuchtend. Bei vollständig elastischen, nicht zu zahlreichen Zusammenstößen haben die Elektronen bis zur Anregung nahezu die dem durchlaufenen Potentialgefälle entsprechende Geschwindigkeit. Ist dagegen bei einer auf die mittlere freie Weglänge entfallenden Spannung  $a$  der Energieverlust beim Zusammen-

Tabelle 18.

Durchlaufene Spannung	Erreichte Geschwindigkeit
5,6 V	4,0 V
7,6 V	5,0 V
11,0 V	6,0 V
15,2 V	7,0 V
$\infty$	8,0 V

stoß  $a$ , so können die Elektronen beim Durchlaufen einer noch so großen Spannung nie eine größere Geschwindigkeit erreichen, als  $na$  entspricht.

Ist beispielsweise  $\alpha$  0,2 V, und der Energieverlust beim Zusammenstoß 5% der vorhandenen Energie, also  $n = 20$ , so kann das Elektron höchstens eine Geschwindigkeit von 4 V erreichen. Wird die Spannung so weit erhöht, daß 0,4 V auf eine freie Weglänge entfallen, so ergibt sich vorstehender Zusammenhang zwischen durchlaufener Spannung und erreichter Geschwindigkeit (Tab. 18, S. 75).

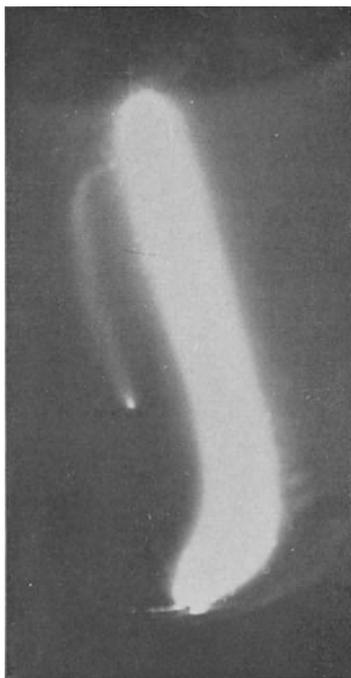


Abb. 46. Außerordentlich helleuchtender Lichtbogen in Quecksilberdampf mit Wasserstoffzusatz in einer Glaskugel von 33 Liter Inhalt. Partialdruck des Wasserstoffs 0,10 mm. Strom 10 Amp. Der kleine Lichtbogen links vom großen ist dessen Spiegelung an der hinteren Glaswand.

Anode Während also in reinem Quecksilberdampf geringere Dichte, Anregung und Leuchten des Dampfes beginnt, sobald der Spannungsverlust in der Gasstrecke 4,68 V übersteigt, kann bei Zusatz eines Fremdgases der Spannungsverlust in der Gasstrecke um so höher steigen, je größer der Energieverlust beim Stoß ist, ohne daß die Gasstrecke zu leuchten beginnt.

Spiegelung  
Kathode

**57. Fremdgase bei großem Gasdruck. Anregung und Ionisation in der Gasstrecke.** In einer Anregungszone kann den Elektronen Energie entzogen werden, auch wenn sie noch nicht die Geschwindigkeit von 4,68 V erreicht haben, weil zur weiteren Anregung bereits angeregter Atome geringere Energiemengen genügen.

Die beim Zurückfallen der angeregten Elektronen in die Normalbahn des Atoms ausgesandte Resonanzstrahlung wird von den umgebenden Quecksilberatomen wieder absorbiert, so daß die Strahlung nur langsam wegdiffundieren kann. Ferner bilden angeregte Atome mit unangeregten stabile Moleküle und halten dadurch die Anregung fest. Wird nun ein Fremdgas zugesetzt, so wird die Resonanzspannung auch von den Molekülen des Fremdgases zum Teil absorbiert und letzten Endes in Wärme verwandelt. In der Anregungszone sinkt also die Anregungsdichte, so daß die Spannung steigt.

Hierzu kommt noch eine weitere Komplikation. Sobald infolge der Einführung eines Fremdgases die Spannung in der Gasstrecke steigt, nimmt auch die Temperatur im Gefäß zu. Infolgedessen steigt der Partialdruck des Quecksilberdampfes, infolgedessen wiederum die Dichte. Weil dadurch die Zahl der Quecksilberatome gegenüber der Zahl der fremden Moleküle erhöht wird, nimmt die Spannung ab. Weil aber

gleichzeitig die freie Weglänge verkleinert wird, nimmt die Spannung zu. Welcher Einfluß überwiegt, läßt sich nicht ohne weiteres sagen. Wenn aber der zweite Einfluß überwiegt und die Spannung beschleunigt steigt, so ist der Lichtbogen labil geworden. Spannung, Temperatur und Dichte treiben sich gegenseitig immer höher, bis entweder der Lichtbogen erlischt oder in die fadenförmige, weißleuchtende Form 3 (Abb. 46) umschlägt. Vorher kommt es in der Regel zu geschichteten Lichtbogenentladungen von außerordentlicher Schönheit, von der Abb. 47 ein schwaches Bild gibt.

In Abb. 45 ist der Einfluß des Zusatzes von Fremdgasen auf den Spannungsverlust in der 25 cm langen Gasstrecke eines in einer großen Glaskugel hergestellten Lichtbogens graphisch dargestellt.

**58. Der Anodenfall in der durchlässigen Richtung.** Das Verhalten des Anodenfalles wird durch folgende Überlegungen deutlich:

Angenommen, an der Anode ist in einem gegebenen Augenblick die Ionisierung ebenso gering wie in der positiven Lichtsäule, d. h. praktisch zu vernachlässigen. Dann wandern die positiven Ionen von der Anode weg und es wird, da nur noch negative Elektronen in der Nähe der Anode vorhanden sind, eine Zone negativer Raumladung entstehen. Die Dicke dieser Zone und der Betrag der Raumladung wird so lange zunehmen, bis durch Stoßionisierung in der Zone ebensoviel positive Ionen gebildet werden, wie in der positiven Lichtsäule gebraucht werden, d. h. nach Schottkys Annahme für je 400 auf die Anode auftreffende Elektronen je ein positives Ion.

Der Anodenfall ist also derjenige durch negative Raumladung hervorgerufene Spannungsabfall, der die Bildung der erforderlichen Anzahl positiver Ionen in der Raumladung ermöglicht. Dieser Spannungsabfall würde 10,4 V betragen, wenn erstens sämtliche in die Raumladungszone eintretenden Elektronen ionisieren müßten und zweitens

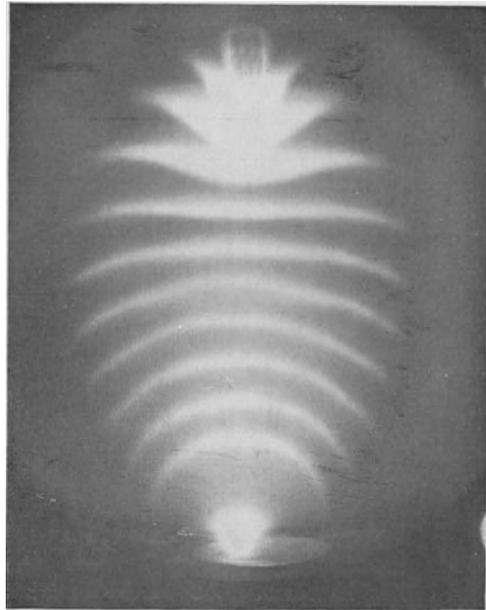


Abb. 47. Geschichtete Lichtbogenentladung in Quecksilberdampf mit Wasserstoffzusatz in einer Glaskugel von 33 Liter Inhalt. Partialdruck des Wasserstoffes 0,83 mm. Stromstärke 3,0 Amp.

die Elektronen mit einer so geringen Geschwindigkeit in die Zone eintreten, daß sie gegenüber 10,4 V vernachlässigt werden könnte. Beides ist nicht der Fall. Die Elektronen haben in der Gasstrecke eine mittlere Geschwindigkeit, die von dem Spannungsverluste in der Gasstrecke, also dem Dampfdruck und der Weite der Anodenarme abhängt und mehrere Volt beträgt. Die individuellen Geschwindigkeiten sind nach dem Maxwell'schen Verteilungsgesetz um die mittlere verteilt. Je mehr die betrachtete Geschwindigkeit die mittlere übertrifft, um so weniger Elektronen sind noch vorhanden, die diese Geschwindigkeit haben. Nun genügt es, wenn von 400 Elektronen das schnellste die Ionisierungsgeschwindigkeit erreicht. Dieses hat aber nach dem Maxwell'schen Verteilungsgesetz etwa die 2,7fache Geschwindigkeit der mittleren. Der Voltwert dieser Geschwindigkeit ist von 10,4 V abzuziehen. Beträgt also die mittlere Elektronengeschwindigkeit 4 V, so ist überhaupt keine Unterstützung der Ionisierung an der Anode durch einen Anodenfall mehr erforderlich, falls der Dampfdruck so groß ist, daß das schnelle Elektron in der Nähe der Anode Gelegenheit zu einem wirksamen Zusammenstoß hat. Weiter kann aber bei größerer Stromdichte, die zur Ionisierung nötige Spannung bis auf den Betrag der Anregungsspannung von 4,68 V sinken, so daß dann bereits bei einer mittleren Elektronengeschwindigkeit von 1,7 V der Anodenfall Null wird.

Daraus ergibt sich für die Abhängigkeit des Anodenfalles von den verschiedenen Variablen folgendes:

**59. Abhängigkeit des Anodenfalles vom Dampfdruck des Quecksilbers.** Der Quecksilberdampfdruck wirkt auf dreierlei Weise:

a) Die Raumladungszone muß so breit sein, daß in ihr von je 400 Elektronen mindestens eins mit einem Hg-Atom zusammenstößt und dieses ionisiert. Also muß die Raumladungszone um so breiter sein, je geringer die Zahl der Hg-Atome in der Volumeinheit, d. h. je geringer bei gegebener Temperatur der Druck ist. Wenn also die Intensität der Anregung so gering ist, daß sie wirkungslos bleibt und die Elektroneneintrittsgeschwindigkeit vernachlässigt wird, steigt der Anodenfall mit abnehmendem Druck wegen der Verbreiterung der Raumladungszone von dem Mindestbetrage von 10,4 V auf höhere Werte.

b) Die Intensität der Anregung an der Anode ist um so größer, je weniger von der Anregungsenergie zerstreut wird. Die Zerstreung erfolgt durch Wegdiffundieren der Strahlungsquanten und der angeregten Quecksilbermoleküle. Beides wird um so geringer, je größer der Quecksilberdampfdruck wird. Also sinkt der Anodenfall durch die Anregung um so mehr unter den durch a) gegebenen Betrag, je größer der Dampfdruck ist.

c) Die Intensität der Anregung an der Anode ist um so größer, je größer die Stromdichte ist. Da mit steigender Intensität der Anregung der Anodenfall abnimmt, ist zu erwarten, daß die Ansatzstelle des Stromes an der Anode sich so lange verkleinert, bis die Maximalanregung erreicht ist, d. h. diejenige, bei welcher dicht oberhalb von 4,68 V die Ionisierung möglich ist.

Eine nähere Überlegung zeigt jedoch, daß diese Konzentration des Stromes an der Anode nur bei hinreichendem Dampfdruck möglich ist. Abb. 48 zeigt den Verlauf der Feldlinien zwischen Kathode und Anode bei Beginn der Entladung. Wenn die Elektronen diesen Feldlinien folgen, so ist die Stromdichte in der Achse am größten, die Anregung am stärksten, der Anodenfall am niedrigsten, so daß eine weitere Konzentration des Stromes auf diese Stelle erfolgt.

Die Elektronen folgen aber den Feldlinien im Mittel nur, solange ihre freie Weglänge so klein ist, daß die auf eine freie Weglänge entfallende Krümmung der Feldlinien nicht in Frage kommt. Ist dagegen die freie Weglänge der Elektronen groß, so weichen die Elektronen in der Richtung der Tangente von den Feldlinien ab. Ein Blick auf Abb. 48 zeigt, daß diese Abweichung der Konzentration des Stromes nach der Achse hin entgegenarbeitet. Also steigt der Anodenfall mit abnehmendem Gasdruck, weil die Konzentration der Strömung auf einer Stelle und damit die Intensität der Anregung mit abnehmendem Gasdruck abnimmt.

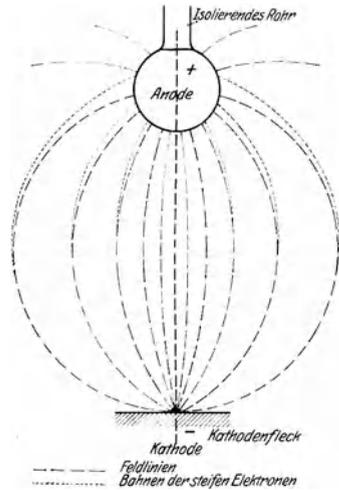


Abb. 48. Verlauf der Feldlinien zwischen Kathode und Anode eines Quecksilberlichtbogens bei Beginn der Entladung.

a) Abhängigkeit von der Elektrodenform. Wieweit die Strömung sich auf eine Stelle konzentrieren und wie stark die Intensität der Anregung werden kann, hängt auch von der Elektrodenform ab. Konvexe Elektrodenoberflächen begünstigen die Zerstreung der Anregung, erhöhen also den Anodenfall, konkave Flächen wirken umgekehrt.

Es ist möglich, durch Änderung der Form der Anode den Anodenfall beträchtlich zu ändern, wie folgende Messungen am besten verdeutlichen. In einer großen Glaskugel, die völlig von Fremdgasen

befreit war, wurde ein Quecksilberlichtbogen erzeugt. Als Anoden dienten zwei Elektroden aus 1 mm starkem Eisenblech von der Form der Abb. 49. Diese wurden in die Stellung 1 bis 4 gebracht, wobei die Stiele mit einem

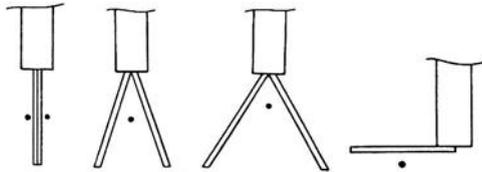


Abb. 49. Anodenformen. Die Punkte geben den Ort der Sonde an. Die oberen Zylinder sind isolierende Schutzhüllen.

Zylinder aus porösem Ton umgeben waren, so daß nur die kreisförmigen Scheiben als Anode wirkten. Die Punkte geben den Ort der Sonde an. Der Gesamtstrom im Gleichrichter betrug stets 20,0 Amp., der Dampfdruck war also konstant. Die Messung über den Anodenfall in den verschiedenen Stellungen ergab folgendes:

Tabelle 19. Anodenfall in V.

Anodenstrom Amp.	Stellung:			
	1	2	3	4
10	5,6	3,8	3,4	5,5
6	5,6	2,5	2,9	5,5

Dieser Versuch zeigt deutlich, daß, sobald die Zerstreung der Anregungsenergie dadurch verringert wird, daß sie zwischen zwei Elektroden gebracht wird, der Anodenfall sinkt. In der Tat ging bei den Stellungen 2 und 3 die gesamte Strahlung in den Raum zwischen den Platten, außen war es völlig dunkel. Stellung 1 und 4 gaben denselben Anodenfall. Es ist also gleichgültig, ob die Anode quer zur Verbindungslinie Anode—Kathode oder parallel zu ihr steht, wobei vorausgesetzt ist, daß störende Glaswände hinreichend weit entfernt sind.

Aus den Versuchen folgt, daß Aufrauhen der Anode den Anodenfall verringern muß, weil sich die Anregungsenergie in den verschiedenen, durch das Aufrauhen entstehenden Vertiefungen ähnlich wie in einer Bohrung ansammeln kann.

Statt zwei Flächen einander gegenüberzustellen, können auch Hohlanoden oder sternförmige Anoden gemäß Abb. 50 verwandt werden. Auch sie verringern bei hinreichendem Gasdruck den Anodenfall durch Konzentration des Stromes.

b) Von der Temperatur der Anode ist der Anodenfall unabhängig.

c) Abhängigkeit vom Material der Anode. Da die Intensität der Anregung auch davon abhängt, wie stark die Resonanzstrahlung von der Oberfläche der Elektroden absorbiert wird, muß der Anodenfall auch vom Material der Anode abhängen.

d) Von der Stromstärke ist der Anodenfall unabhängig.

**60. Anodenfall. Zusammenfassung.** Zusammenfassend läßt sich sagen: Ist die Intensität der Anregung so gering, daß sie zu vernachlässigen ist und ist  $x$  die Voltgeschwindigkeit, mit der das schnellste von 400 Elektronen von der Anode eintrifft, so nimmt der Anodenfall mit steigendem Druck von höheren Werten bis auf etwas über  $(10,4 - x)$  V ab und wird nach dem Erreichen dieses Wertes vom Druck unabhängig. Besteht dagegen maximale Anregung, so sinkt der Anodenfall mit zunehmendem Drucke auf etwas über  $(10,4 - x)$  V und bleibt dann konstant.

Zusatz von Fremdgasen wirkt wie eine Erhöhung des gesamten Druckes und gleichzeitig wie eine Verdünnung der Anregung. Infolgedessen steigt der Anodenfall.

Die hier für Quecksilberdampf geschilderten Verhältnisse lassen sich ohne weiteres auf andere Gase übertragen.

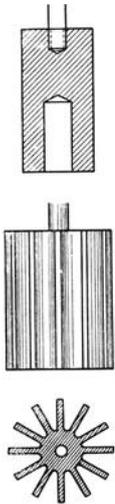


Abb. 50. Hohle und sternförmige Gleichrichter-anode.

**61. Die undurchlässige oder Sperrichtung des Quecksilberdampfgleichrichters.** Die Vorgänge an der Kathode der Sperrichtung, der sog. „Anode“ des Gleichrichters, sind bei höheren Spannungen von größter Wichtigkeit, denn der Verwendbarkeit des Gleichrichters zum Gleichrichten hoher Spannungen wird dadurch eine Grenze gesetzt, daß sich der über die Kathode gleichmäßig verteilte Glimmstrom bei einer bestimmten Spannung in den punktförmig auf der Kathode aufsitzenden Lichtbogen zusammenzieht. Die hohe Spannung des anomalen Kathodenfalles sinkt auf wenige Volt, der Strom schwillt gewaltig an, der

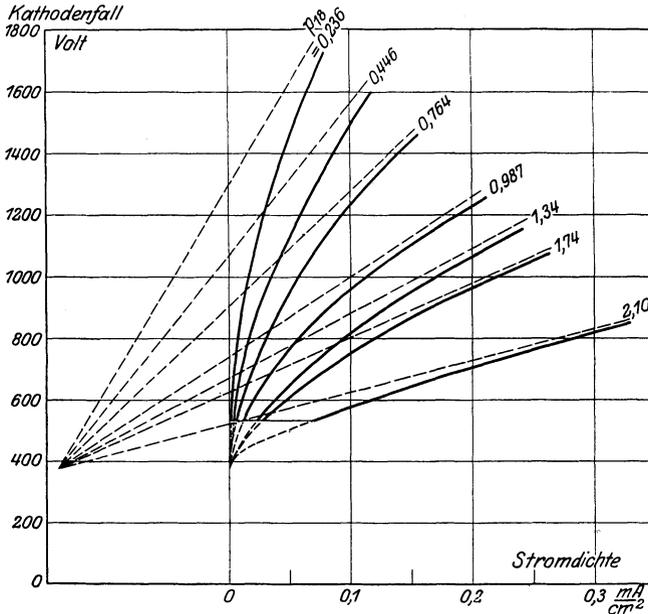


Abb. 51. Zusammenhang zwischen Kathodenfall und Stromstärke einer Glimmladung in reinem Quecksilberdampf bei verschiedenen Dampfdrücken.

Gleichrichter ist auch in der Sperrichtung durchlässig geworden und wirkt nun fast wie ein Kurzschluß. Die gefürchtete Rückzündung ist eingetreten.

In reinem Quecksilber ist der normale Kathodenfall an einer vollständig entgasten Eisenkathode ca. 450 V, also viel höher als bei allen andern Gasen, eine Tatsache, die die Rückzündung sehr erschwert. Hierzu kommt, daß die Stromstärke im Gebiet des anomalen Kathodenfalles nur sehr langsam mit der Spannung steigt. Die Abb. 51 gibt ein Bild der Beziehung zwischen Stromstärke und Spannung in reinem Quecksilberdampf bei verschiedenen Dampfdrücken. Nun ist es nicht schwierig, bei einem Glasgleichrichter, der mit aller Sorgfalt entgast ist, den Druck durch Kühlung unter 0,1 mm Hg, ja, bei geringerer Belastung sogar bis auf 0,02 mm Hg hinunter zu drücken.

Wie hoch unter derartig vollständig sauberen Verhältnissen die obere Rückzündungsgrenze liegt, ist noch nicht sicher festgestellt. Immerhin

ist es Ch. Jotte<sup>1</sup> gelungen, mit einem Glasgleichrichter bei guter Kühlung eine gleichgerichtete Spannung von mehr als 20000 V zu erzeugen. Der Zusatz von Fremdgasen zu Quecksilberdampf wirkt in doppelter Weise. Erstens erhöht er den Gesamtdruck und vergrößert schon dadurch den Glimmstrom, zweitens nähert sich der Glimmstrom um so mehr dem dem reinen Fremdgase zukommenden Betrage, je größer dessen Partialdruck ist.

Doch sind hier eine Anzahl im folgenden besprochene Vorbehalte zu machen, die zeigen, daß das Problem durchaus nicht so einfach liegt, wie es auf den ersten Blick erscheint.

**62. Die Rückzündung.** Ist an irgendeiner Stelle der Oberfläche der Ventilelektrode die Stromdichte infolge von Verunreinigungen etwas größer, so wird die Erhitzung an dieser Stelle größer. Es kommt zur Verdampfung leichter flüchtiger Stoffe, die wiederum die Stromdichte die Glimmentladung an dieser Stelle vergrößert. So treibt der Prozeß sich selbst in die Höhe, bis die Temperatur so hoch gestiegen ist, daß thermisch Elektronen in großer Menge ausgesandt werden. Die Elektronenquelle, der Lichtbogenfleck, ist da. Auch die hierzu erforderliche Temperatur ist bei bestimmten Verunreinigungen sehr viel niedriger als die reiner Elektroden. Der ganze Vorgang spielt sich unter Umständen in einer Zeit von einer tausendstel Sekunde und weniger ab. Blitzartig, ohne vorherige Warnung zieht sich die Glimmentladung in einem Lichtbogenfleck zusammen, der statt 1000 und mehr Volt nur noch einige Volt verzehrt; die Rückzündung, der Kurzschluß, ist da.

Offenbar ist diese Gefahr um so größer: 1. je höher die Spannung an der Ventilelektrode; 2. je größer die Dampfdichte, denn um so größer ist von vornherein der Glimmstrom; 3. je stärker das Elektronenemissionsvermögen der Verunreinigungen der Kathode; 4. je mehr Fremdgase vorhanden sind.

**63. Dampfdichte und Rückzündung.** Der Fall 2 ist noch etwas näher zu erläutern. Es kommt auf die Dampfdichte, nicht auf den Dampfdruck an. Da nun bei gegebenem Dampfdruck die Dampfdichte um so geringer ist, je höher die Temperatur ist, so ist eine rotglühende Ventilelektrode rückzündungssicherer als eine kalte, weil das sie umgebende, von ihr erhitzte Gas eine viel geringere Dichte hat, als wenn die Elektrode kalt ist.

Dagegen besteht eine andere Gefahr. Kondensiert sich oberhalb der rotglühenden Ventilelektrode Quecksilber an einer Wand und fällt ein kleiner Quecksilbertropfen auf die Elektrode, so verdampft er fast momentan. Im Augenblick des Verdampfens aber bildet sich eine Stelle hoher Gasdichte, die bei hohen Spannungen ausreicht, um den Umschlag der Glimmentladung in dem Lichtbogen zu bewirken.

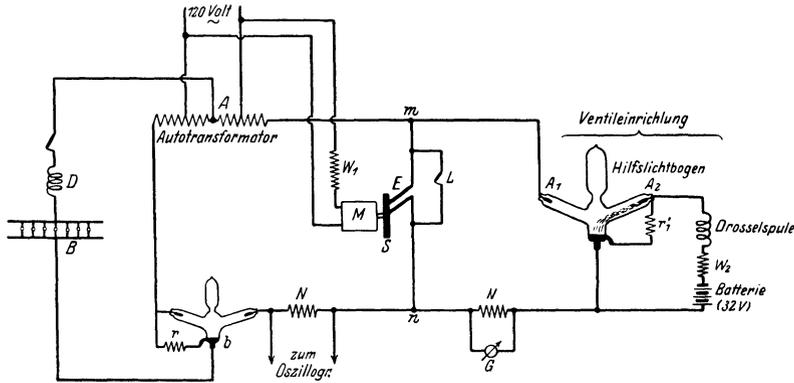
**64. Dampfströme und Rückzündung.** Die neuesten, sehr wertvollen Versuche von v. Issendorf haben gezeigt, daß neben der Dampfdichte die Dampfströmung an den Anoden eine sehr wichtige Rolle spielt. v. Issendorf setzte vor den Gleichrichter einen großen rotierenden Sektor, der gegenüber der Frequenz des gleichgerichteten Wechselstroms einen ganz geringen Schlupf hatte. So ließen sich die Vorgänge, die sich

<sup>1</sup> Jotte, Ch.: Revue générale de l'électr. Bd. 2, S. 322. 1922.

in den Gleichrichterarmen in tausendstel Sekunden abspielen, im Laufe von Sekunden nacheinander beobachten. Dabei zeigte sich, daß bei größeren Belastungen, also höheren Dampfdrucken, die Arme im Beginn der undurchlässigen Stromrichtung noch relativ hell leuchten und daß dieses Leuchten erst allmählich während der Periode der Undurchlässigkeit abklingt. Das bedeutet, daß die angeregten, also energiehaltigen Quecksilberatome und auch -ionen erst allmählich verschwinden. Strömt nun dieser angeregte und ionisierte Quecksilberdampf an der Anode (Kathode der undurchlässigen Richtung) vorbei, wie es der Fall ist, wenn sich hinter der Anode, oben im Arme noch ein Kondensationsgebiet befindet, so saugt die hohe Anodenspannung der Sperrrichtung verhältnismäßig sehr große Ströme aus dem Dampfstrahl, die den Umschlag in den Rückzündungslichtbogen begünstigen.

Der schädliche Einfluß einer Kondensation hinter der Anode war bereits empirisch festgestellt, ehe diese Zusammenhänge erkannt waren. Man verhinderte die Kondensation durch Umhüllen der oberen Enden der Arme mit wärmeisolierenden Stoffen und machte dadurch die Gleichrichter bedeutend rückzündungssicherer.

Ein zweites ebenso wirksames Verfahren, den Dampfdruck an der Anode und die Dampfströme möglichst klein zu halten, besteht darin, die Anodenarme unterhalb der Anoden bauchig aufzutreiben, wie Abb. 207 (S. 206) zeigt, so daß gewissermaßen sekundäre Kühlkammern entstehen, in denen sich der größte Teil des in die Arme strömenden Dampfes kondensiert.



Zeichenerklärung.

- A = Mittelpunkt des Autotransformators.
- B = Glühlampenbelastung.
- C = Kathode des Gleichrichters.
- D = Drosselspule.
- A B C = Gleichstromkreis.
- r = Hilfswiderstand zum Zünden.
- M = Synchronmotor.
- F = Bürsten auf der Kontaktscheibe S.
- L = Schlüssel zum Kurzschließen der Bürsten F.
- m F n = Weg des Nutzstromes.
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = Anoden des als Ventil benutzten
- K = dessen Kathode. [Gleichrichters.
- N = Abzweigwiderstand.
- G = Galvanometer.
- m A<sub>1</sub> K n = Weg des Rückstromes.

Abb. 52. Meßschaltung zur Messung des Rückstromes in einem Quecksilberdampfgleichrichter

**65. Rückstrom in der undurchlässigen Richtung.** Den Rückstrom, der durch die im letzten Abschnitt erwähnten ionisierten Quecksilberdampfströme in der undurchlässigen Richtung ermöglicht wird, ist

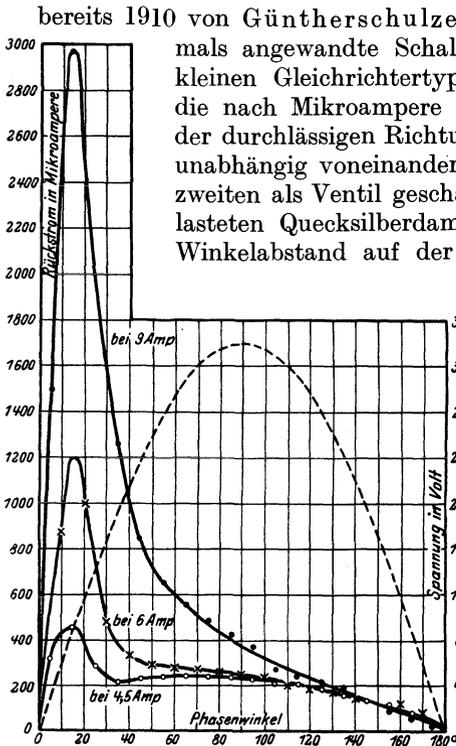


Abb. 53. Kurvenform des Rückstromes bei 240 V Wechselspannung zwischen den Anoden und den angegebenen Gleichstrombelastungen. Kurze Type eines Einphasengleichrichters für 10 Amp.

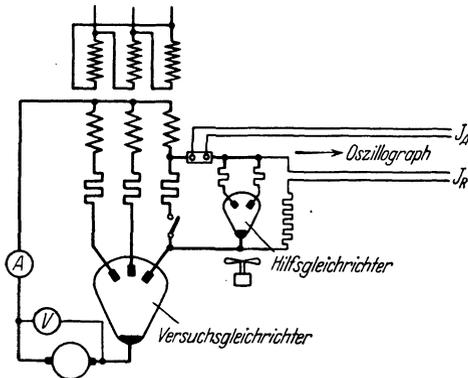


Abb. 54. Schaltbild für Rückstrom-Oszillogramme.

bereits 1910 von Güntherschulze<sup>1</sup> gemessen. Abb. 52 zeigt die damals angewandte Schaltung. Bei den damals benutzten kleinen Gleichrichtertypen handelte es sich um Ströme, die nach Mikroampere rechneten, während der Strom in der durchlässigen Richtung mehrere Ampere betrug. Beide unabhängig voneinander zu messen gelang mit Hilfe eines zweiten als Ventil geschalteten und möglichst schwach belasteten Quecksilberdampfgleichrichters. Die in geringem Winkelabstand auf der Kontaktscheibe  $S$  des Synchron-

motors schleifenden Bürsten  $F$  konnten gegen die Motorphase verdreht und damit die ganze Periode der Undurchlässigkeit abgetastet werden. Abb. 53 zeigt ein für den Rückstrom typisches Bild. Mit dem Beginn der undurchlässigen Phase setzt er sofort ein, steigt sehr schnell auf ein Maximum und ist bereits auf geringe Beträge abgeklungen, wenn die Spannung ihren Scheitelwert erreicht hat. Weiter läßt Abb. 53 erkennen, wie schnell das Maximum des Reststromes mit der Gleichrichterbelastung, als dem Quecksilberdampfdruck steigt.

Neuerdings sind diese Versuche durch v. Issendorff<sup>2</sup> mit wesentlich größeren Mitteln fortgesetzt worden. Abb. 54 zeigt die von ihm angewandte Schaltung. Da ihm viel größere Gleichrichter zur Verfügung standen, konnte der Rückstrom ohne Schwierigkeiten oszillographiert werden. Abb. 55 zeigt ein derartiges Oszillogramm. Dabei ist der Rückstrom der unterhalb der  $J_r$ -Nulllinie liegende Teil des Stromes. Der Strom oberhalb der Nulllinie ist eine Folge der gewählten Schaltung, die einen Bruchteil des Anodenstroms  $J_r$ , der durchlässigen Richtung in die  $J_r$ -Meßschleife übertreten läßt. Abb. 55 be-

<sup>1</sup> ETZ Bd. 30, S. 373. 1909; Bd. 31, S. 28. 1910.

<sup>2</sup> ETZ Bd. 50, 1929.

stättigt die von Güntherschulze gemessene Form des Rückstromes und zeigt ebenfalls, wie stark der Rückstrom mit der Belastungsdauer, also dem Quecksilberdampfdruck, steigt.

Es dürfte ohne weiteres einleuchten, daß Rückzündung eintritt, wenn die Größe dieses Rückstromes eine bestimmte Grenze über-

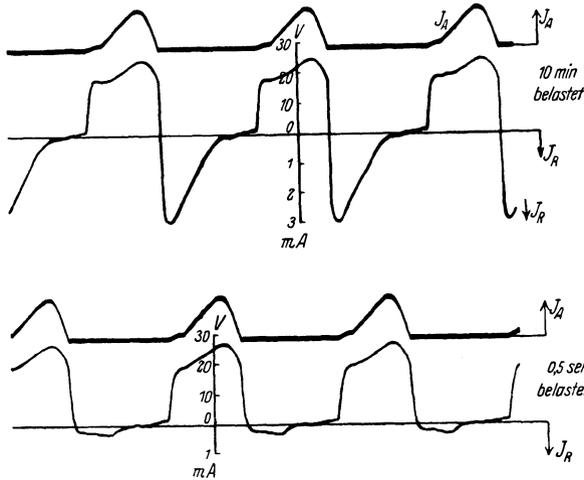


Abb. 55. Rückstrom-Oszillogramme, Abhängigkeit von der Belastungsdauer, Glasgleichrichter 25 Amp., 500 V.

schreitet. Daß er im wesentlichen durch das Hinströmen des ionisierten Quecksilberdampfes zur Anode verursacht wird, läßt Abb. 56 sehr schön erkennen. Hier sind zu beiden Seiten unterhalb der Anode

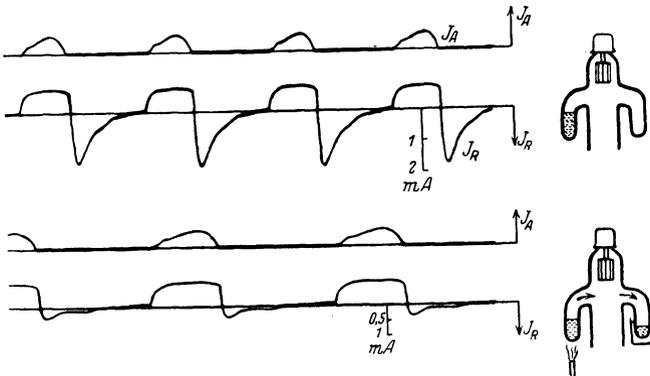


Abb. 56. Rückstrom-Oszillogramme. Fortblasen der Restladungen. Glasgleichrichter 15 Amp., 220 V.

zwei Ansätze an den Gleichrichterarmen angeblasen. Im linken befindet sich Quecksilber. Wird dieses erhitzt und der rechte Ansatz kräftig gekühlt, so daß ein Quecksilberdampfstrahl quer unter der Anode hinstreicht, so bläst dieser den ionisierten Dampfstrahl von der Anode weg und der Rückstrom wird stark verringert.

Abb. 57 zeigt ein anderes Mittel, ihn zu schwächen. Ein in den Arm unterhalb der Anode eingelegter Ring fängt die Ionen und Elektronen ab, so daß dem Rückstrom die Träger fehlen.

Die Schwächung des Dampfstrahles durch bauchige Erweiterung der Anodenarme wurde bereits erwähnt.

**66. Verunreinigungen und Rückstrom.** Zu 3 haben Dällenbach, Gerecke und Stoll<sup>1</sup> eine ausführliche Untersuchung über die Wirkung von Fremdstoffen auf der Kathode angestellt.

Wird eine Glimmentladung an einer Kathode erzeugt, die mit Verunreinigungen bedeckt ist, so treten bei einer bestimmten Glimmspannung an den Stellen, an denen sich Verunreinigungen befinden, winzige Fünkchen, sog. Szintillationen, auf. Die genannten Forscher machen nun die Annahme, daß eine jede derartige Szintillation der Anfang eines

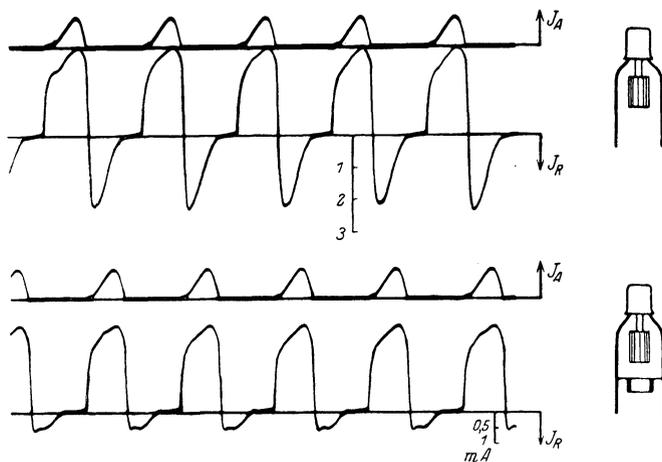


Abb. 57: Rückstrom-Oszillogramme. Einfluß eines eingelegten Ringes. Glasgleichrichter 25 Amp. 500 V.

Lichtbogens ist und in einen solchen umschlägt, sobald die Widerstandsverhältnisse des Stromkreises es zulassen. Sie bestimmen infolgedessen für eine große Anzahl von Verunreinigungen in Abhängigkeit vom Gasdruck die Spannung, bei der die Szintillationen einsetzen.

Abb. 58 zeigt die Ergebnisse für NaCl auf einer Platinkathode.

Diese Versuche sind für die Erforschung der Rückzündungserscheinungen sehr wertvoll, wenn auch die Annahme der Forscher, daß jede Szintillation der Anfang eines Lichtbogens sei, nicht richtig ist. Zweifellos gibt es solche Stoffe. Zweifellos aber auch andere, bei denen die Szintillationen keineswegs zu einem Lichtbogen führen. Beispielsweise lassen sich auf einer reinen, von einer sehr dünnen Oxydhaut überzogenen Aluminiumelektrode als Anode eines normalen Gleichrichters sehr schöne Szintillationen beobachten, ohne daß es irgendwie zu einer Rückzündung kommt, obwohl die Widerstandsverhältnisse nicht im geringsten entgegenstehen.

<sup>1</sup> Dällenbach, W., E. Gerecke und E. Stoll: Phys. Z. Bd. 26, S. 10. 1925.

Die Untersuchungen wären also noch durch die Feststellung zu ergänzen, bei welchen Stoffen die Szintillationen zum Lichtbogen führen und bei welchen nicht. Im allgemeinen scheint hier der Satz zu gelten, daß, wenn die Szintillationen durch das Durchschlagen einer dünnen Schicht hohen Widerstandes (nichtleitende Oxydschicht) entstehen, kein Umschlag in einen Lichtbogen zu befürchten ist, daß dagegen Szintillationen, die entstehen, obwohl die Kathodenoberfläche zum Teil von Übergangswiderständen frei ist, zum Lichtbogen führen.

**67. Fremdgase und Rückzündung.** Der Zusatz von Fremdgasen zum Quecksilberdampf wirkt in doppelter Weise. Erstens erhöht er den Gesamtdruck und vergrößert schon dadurch den Glimmstrom, zweitens nähert sich der Glimmstrom um so mehr dem dem reinen Fremdgase zukommenden Betrage, je größer dessen Partialdruck ist.

Die Fremdgase haben aber noch eine weitere, sehr unangenehme Wirkung. Es verbindet sich nämlich im Quecksilberlichtbogen der Sauerstoff der eingedrunghenen Luft mit dem Eisen der Anode zu Eisenoxyd. Dieses wird zerstäubt und bildet mit dem Quecksilber eine klebrige, leitende Schmiere, die die Wände und auch die isolierenden Teile des Gefäßes überzieht. Eine noch schlimmere Schmiere bildet das Quecksilber mit Stickstoff und Kohlenstoff, der etwa als Staub oder auch aus dem Eisen der Gefäßwände heraus in das Gefäß gelangt.

Sobald nun diese Schmiere den Isolator zwischen Kathode und Metallgehäuse mit einer leitenden Brücke überzieht, wird es dem Kathodenfleck des Lichtbogens möglich, über diese Brücke hinüber zum Gehäuse zu wandern und auf diesem fortirrend, bis in die nächste Nähe der Anode zu gelangen. Der Strom fließt dann vom Kathodenfleck durch das Gehäuse und über die leitende Brücke zur Kathode. Dadurch wird die leitende Brücke erwärmt und wieder zerstört. Erfolgt diese Erwärmung, ehe der Kathodenfleck in gefährliche Nähe der Anode gekommen ist, so erlischt er wieder auf dem Gehäuse, im andern Falle erfolgt jedoch eine Rückzündung.

Solange es also nicht möglich ist, bei den Großgleichrichtern Fremdgase vollständig fernzuhalten, muß man wenigstens bestrebt sein, die Bildung leitender Brücken möglichst zu erschweren, indem man die isolierende Strecke zwischen Kathode und Gehäuse möglichst lang und

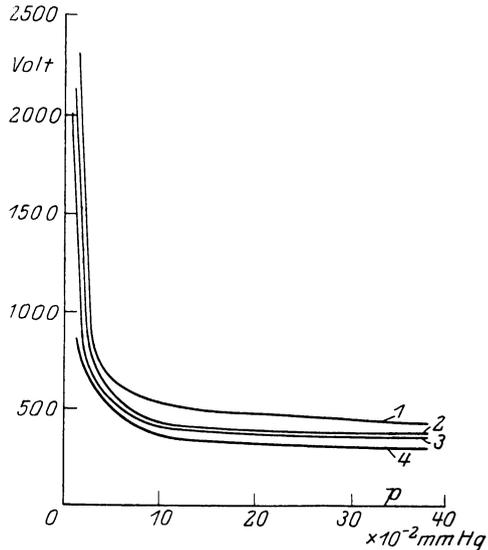


Abb. 58. Lichtbogenzündspannung an einer mit NaCl-Kristallen bedeckten Platinkathode in Abhängigkeit vom Gasdruck. 1. Argon. 2. Technischer Stickstoff. 3. Atmosphärische Luft. 4. Wasserdampf.

schwer überbrückbar macht. Gleichzeitig empfiehlt es sich, die Anode durch umhüllende isolierende Schirme von der nahen Gehäusewand weiter abzutrennen. Beide Maßnahmen haben jedoch die unangenehme Folge, die Zündspannung in die Höhe zu treiben. Gelangt nun Luft in den Gleichrichter, wodurch eine weitere beträchtliche Erhöhung der Zündspannung bewirkt wird, so kann es vorkommen, daß der Gleichrichter erlischt und zunächst nicht wieder zünden will, was unter Umständen eine beinahe ebenso unangenehme Störung sein kann wie eine Rückzündung.

In den letzten Jahren sind in der Fernhaltung der Fremdgase von den Großgleichrichtern große Fortschritte gemacht worden, so daß dieses Problem als im wesentlichen gelöst anzusehen ist.

**68. Die Phasenzündspannung.** Unter Phasenzündspannung versteht man diejenige Spannung, die bei einem in Betrieb befindlichem Gleichrichter in jedem Anodenarme im Beginn jeder Phase der Durchlässigkeit zum Einleiten des Lichtbogens erforderlich ist.

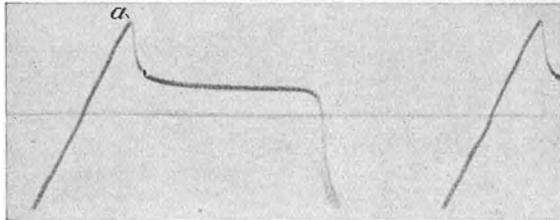


Abb. 59. Spannung an einem Arme eines Drehstromgleichrichters für 10 Amp.

Das Oszillogramm (Abb. 59) gibt die Erscheinung wieder; es ist an einem Drehstromgleichrichter für 10 Amp. mit längeren Anodenarmen aufgenommen, bei dem zwei Arme mit Gleichstrom belastet wurden, während an den dritten eine Wechselspannung gelegt war. Um eine hohe Zündspannung zu bekommen, wurde der Quecksilberdampfdruck in dem Gleichrichter durch besondere Heizung groß gemacht. Die Abbildung zeigt, daß die Spannung im Anodenarme bis zum Punkt  $\alpha$  ansteigt, ohne daß ein meßbarer Strom vorhanden ist. Sobald der Punkt  $\alpha$  jedoch erreicht wird, fällt die Spannung infolge plötzlichen Einsetzens des Stromes stark ab, um dann etwas verzögert auf den endgültigen Wert der Lichtbogenspannung zu sinken.

Vom Quecksilberdampfdruck ist die Zündspannung in der gleichen Art aber in viel höherem Maße abhängig wie die Lichtbogenspannung, d. h. bei sehr geringen Drucken ist sie groß, nimmt mit zunehmendem Druck bis zu einem Minimum ab und wächst bei weiter steigendem Druck wieder bis zu hohen Werten an. Die folgende Tabelle 20 gibt einige Zahlenwerte. Der Betrag, um den die Zündspannung über der Lichtbogenspannung liegt, wächst ferner mit der Länge der Anodenarme stark an.

Bei kalter Anode liegt die Zündspannung bei geringen Drucken tiefer, bei höheren Drucken dagegen höher als bei heißer Anode.

Tabelle 20. Zündspannung an einem Arme eines Drehstromgleichrichters für 10 Amp., dessen andere Arme mit 10 Amp. Gleichstrom belastet sind. Gleichrichter im Heizkasten.

Lfd. Nr.	Gleichspannung an den Anodenarmen V	Mittlerer Strom im dritten Arme Amp.	Zündspannung V	Quecksilber- dampfdruck mm Hg
1	20,5	4,0	130	0,030
2	18,0	3,3	40,0	0,081
3	17,3	3,1	27,5	0,167
4	21,0	3,0	41,0	0,580
5	25,0	3,3	86,7	1,500
6	29,8	3,6	118	4,200
7	36,0	3,3	153	13,500

**69. Die Zündung der Gleichrichter.** Um den Gleichrichter in Betrieb setzen zu können, wird über oder neben der Quecksilberelektrode eine kleine Hilfelektrode angebracht, die mit einer der Ventilelektroden über einen solchen Widerstand verbunden wird, daß, wenn durch Schütteln des Gleichrichters das Kathodenquecksilber mit der Hilfelektrode in Berührung gebracht wird, ein Strom von etwa 2 Amp. fließt. Wird dieser Strom durch Aufheben der Berührung wieder unterbrochen, so entsteht ein Öffnungsfunke, der den Lichtbogen einleitet, wenn die Stromrichtung im Öffnungsfunken so ist, daß die große Quecksilberkathode auch Kathode des Funkens ist. Anfänglich bestand die kleine Hilfelektrode aus einem mit Quecksilber gefüllten kurzen Ansatzrohr. Der Öffnungsfunke zwischen zwei Quecksilberelektroden überdauert aber nicht die Periodenhälfte, in der er entstanden ist. Es ist in diesem Falle also dem Zufall überlassen, ob der erste Öffnungsfunken zündet oder ob das Schütteln wiederholt werden muß. Deshalb wurde später die Hilfelektrode als kleine unmitttelbar über dem Kathodenquecksilber endende Graphitelektrode ausgebildet, die mit weit größerer Sicherheit zündet.

**70. Plötzliches Erlöschen.** Der Quecksilberlichtbogen des Gleichrichters ist an die hohe Temperatur des Kathodenfleckes geknüpft.

Immer rechtzeitig die nötige Temperatur an der jeweiligen Stelle des schnell umherirrenden Fleckes herzustellen, wird den Kationen um so schwerer

a) je geringer die Stromstärke ist,

b) je schneller sich der Fleck im Augenblick gerade fortbewegt.

Es ist also möglich, daß ein Lichtbogen bei einer geringen Stromstärke eine oder einige Minuten brennt, um dann plötzlich bei einer besonders schnellen Fleckbewegung zu erlöschen. Ferner wird die Konzentration der Kationen auf einen Fleck um so mehr erschwert, je geringer der Gasdruck ist, denn um so größer wird die freie Weglänge der Kationen und um so weiter streuen sie nach allen Seiten, anstatt sich durch das elektrische Feld auf einen Fleck konzentrieren zu lassen.

In einem von Fremdgasen freien Gleichrichterkolben, in dem sich ausschließlich Quecksilberdampf befindet, nimmt der Dampfdruck sehr

schnell mit der Temperatur ab. Also erlischt der Lichtbogen in einem solchen Gleichrichter bei um so höheren Stromstärken, je kälter der Gleichrichter ist.

Der Ausschaltvorgang vollzieht sich so schnell, daß die an der Induktivität entstehende hohe Ausschaltspannung bereits eine isolierende Gasschicht vorfindet.

Ebenso haben beim Betrieb der Gleichrichter mit Wechselstrom die in dem Transformator und den Drosselspulen vorhandenen, verhältnismäßig großen elektromagnetischen Energiemengen infolge der außerordentlichen Schnelligkeit der Stromunterbrechung keine Möglichkeit, sich auch nur zu einem geringen Teil auszugleichen, während der Gleichrichter erlischt.

Beim Ausgleich finden sie bereits einen außer Betrieb befindlichen Gleichrichter vor, so daß es nun darauf ankommt, welches die schwächste Stelle der ganzen Anlage ist. Hatte der Gleichrichter schon einige Zeit mit einiger Belastung gearbeitet und infolgedessen einen merklichen Dampfdruck, so ist er selbst die schwächste Stelle. Der Ausgleich findet unschädlich und unbemerkt durch ihn hindurch statt.

Befindet er sich jedoch in einem kalten Raume, so kann sein Durchschlagswiderstand, wenn sich das Erlöschen kurz nach dem Einschalten ereignet, so groß sein, daß die Überspannungen andere Stellen der Anlage zerstörend durchschlagen.

Um das zu vermeiden, überbrückt man den Gleichrichter durch Silitwiderstände. Diese haben die wertvolle Eigenschaft, ihren bei geringen Spannungen hohen Widerstand beim Auftreten hoher Spannungen momentan auf geringe Werte sinken zu lassen und ihn nach Verschwinden der Hochspannung ebenso momentan wieder auf den vollen Betrag zu bringen. Da aber die Überspannungen sich als Wanderwellen sehr steiler Front ausbreiten, sind die Silitwiderstände nur dann wirksam, wenn bei ihrem Einbau Krümmungen in der Leitungsführung sorgfältig vermieden werden.

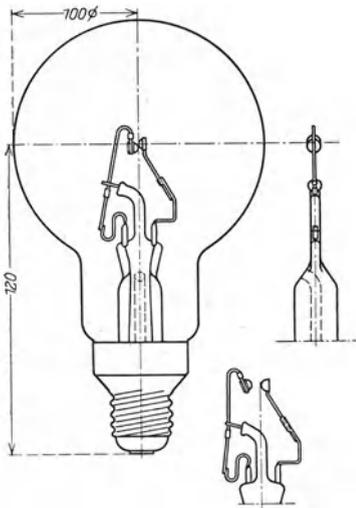


Abb. 60. Punktlichtlampe der Osram-Gesellschaft.

71. **Der Wolframlichtbogen.** Der Wolframlichtbogen wird in der Beleuchtungstechnik in der sog. Punktlampe benutzt (Abb. 60). Zwei Wolframkugeln auf dünnem Stiel stehen sich in einer Glasbirne, die verdünntes Argon enthält, gegenüber. Ist die Lampe nicht eingeschaltet, so berühren sie sich. Wird eingeschaltet, so erwärmt der Strom einen die eine Kugel tragenden Bimetallstreifen. Dieser krümmt sich und entfernt dadurch die bewegliche Kugel von der festen. Es entsteht ein Lichtbogen, der die beiden Kugeln zur hellen Weißglut bringt.

Das Wolfram verdampft nicht, weil die Temperatur, bei der eine hinreichende Elektronenemission vorhanden ist, noch keinen merklichen Dampfdruck des Wolframs erzeugt.

Zum Gleichrichter läßt sich der Lichtbogen einfach dadurch ausgestalten, daß die eine der beiden Elektroden eine größere Oberfläche erhält, so daß sie nicht mehr die zur merklichen Elektronenemission erforderliche Temperatur annimmt. Gleichzeitig erhält die Kathode emissionsfördernde Zusätze, so daß sie schon bei geringerer Temperatur eine hinreichende Emission gibt.

Der auf diesem Gebiet beruhende Gleichrichter ist als zweite Möglichkeit eines Lichtbogengleichrichters von Interesse. Eine wesentliche technische Bedeutung scheint er bisher nicht erlangt zu haben.

### h) Die Funkenventile.

**72. Funkenentladung.** Als letztes Verfahren, an der Grenze Metall — Gas eine Ventilwirkung zu erzeugen, ist die Funkenentladung zu erwähnen. Physikalisch charakterisiert sich ein Funke als ein fast momentaner Übergang einer Glimmentladung in einen Lichtbogen und unmittelbar darauf folgendes Erlöschen des Lichtbogens infolge von Erschöpfung der Energienachlieferung. Da die Glimmentladung bei einer bestimmten maximalen Feldstärke an der Kathode einsetzt und da diese an einer Spitze viel größer ist als an einer Platte, erhält man ein Ventil, wenn man eine Spitze und eine Platte bei Atmosphärendruck einander gegenüberstellt und mit Wechselstrom belastet. Um dieses Ventil wirksam zu machen, sind jedoch noch einige besondere Vorkehrungen nötig. Würde man nämlich die Entladung bis zum Lichtbogen fortschreiten lassen, so würde die hohe Temperatur des Lichtbogens das Ventil auch in der Sperrrichtung durchlässig machen. Es gibt zwei prinzipiell verschiedene Verfahren, diese Störung zu vermeiden.

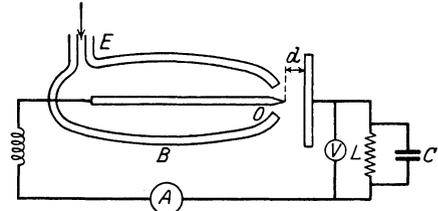


Abb. 61. Funkenventil nach Wolcott und Erikson.

Das erste besteht nach Wolcott und Erikson<sup>1</sup> darin, daß man einen Luftstrom von der Spitze zur Platte bläst. Der Plattendurchmesser muß so groß gewählt sein, daß Entladungen von der Spitze bis zum Rande der Platte nicht mehr möglich sind. Zu ihren Versuchen benutzten Wolcott und Erikson gemäß Abb. 61 eine Platte von 10 cm Durchmesser und eine Blasöffnung von 4 mm Durchmesser, während der Anodenstab einen Durchmesser von 1,57 mm hatte. Der Abstand Öffnung — Spitze betrug 9,5 mm, der Abstand  $d$  Spitze — Platte 17,6 mm, die Wechselspannung 25000 V. Die Oszillogramme ergaben ohne Gebläse reine Wechselstromkurven, mit Gebläse von 5 cm Überdruck eine sehr saubere Gleichrichterwirkung. Der Strom in der Sperrrichtung war Null. Mit einem direkt zeigenden Instrument konnten

<sup>1</sup> Wolcott und Erikson: Phys. Rev. II, Bd. 9, S. 480. 1917.

12,3 mA Gleichstrom bei 14500 V Wechselspannung abgelesen werden. Die Stromentnahme ließ sich bis 100 mA steigern, die Entladung war bei Gleichrichtung weiß und geschichtet und unterschied sich scharf von der farbigen Entladung ohne Gebläse. Bei Gleichrichtung von wenigen Tausend Volt ergaben sich Schwierigkeiten, bei höheren Spannungen dagegen arbeitete der Apparat einwandfrei bis 350000 V und 500 Perioden in der Sekunde. Wenn die Spitze innerhalb der Gebläseöffnung war, waren Aluminiumelektroden besser, war sie außerhalb, so ergaben sich mit Eisen oder Messing gute Ergebnisse. Läßt man den Gebläsedruck von Null aus anwachsen, so steigt die Gleichrichtung bis zu einem Maximum, dessen Lage von der Stellung der Elektroden und dem Durchmesser der Ausströmungsöffnung abhängt. Ferner hat M. S. Cohen eine ähnliche Anordnung gegeben. Er verwendet jedoch statt des Luftgebläses eine ruhende Ammoniakatmosphäre von 7 Atm. Überdruck und erzielt damit einen Wirkungsgrad der Gleichrichtung von 85%. Die stark kühlende Wirkung des Ammoniaks verhindert das Zustandekommen von Lichtbögen.

Eine derartige Anordnung stellt ein äußerst einfaches Verfahren dar, sehr hohe Spannungen gleichzurichten.

Das zweite Verfahren ist ein mechanisches. Die Spitzen sind auf einer Achse angeordnet, die synchron mit dem gleichzurichtenden Wechselstrom rotiert. Die Funken haben hier im wesentlichen die Rolle von Hochspannungsschaltern. Die Gleichrichter rechnen zu den mechanischen.

## D. Die Grenze Metall — Elektrolyt.

**73. Die eigentlichen Elektrolytgleichrichter.** Die Grenze Metall — Elektrolyt scheint eine außerordentliche Menge von Kombinationen zu ermöglichen. Ihre Ventilwirkung beruht darauf, daß jedes Anion oder Kation bei gegebener Konzentration des Elektrolyten zu seiner Abscheidung einer ganz bestimmten Spannung bedarf. Wird beispielsweise eine Zelle aus einer Kupferelektrode, einer Platinelektrode und saurer Kupfersulfatlösung hergestellt, so fließt in der Richtung, für die das Kupfer Anode ist, schon bei der geringsten Spannung ein Strom durch die Zelle, während in der entgegengesetzten Richtung die Zersetzungsspannung des Wasserstoffes an der Platinelektrode im Betrage von + 0,274 V erreicht sein muß, ehe Strom zu fließen vermag.

Dieses Beispiel offenbart aber auch zugleich die Mängel derartiger Kombinationen. Sobald ein Strom in der Richtung Cu—Pt geflossen ist, hat er Kupfer auf dem Platin niedergeschlagen. Dieses ist dadurch in eine Kupferelektrode verwandelt worden und der Strom vermag nunmehr auch in der entgegengesetzten Richtung ohne merkliche Mindestspannung zu fließen, bis das auf dem Platin niedergeschlagene Kupfer wieder gelöst ist. Infolgedessen ist diese Kombination als Ventil nicht brauchbar.

Offenbar lassen sich nur solche Kombinationen verwenden, bei denen das in der durchlässigen Richtung abgeschiedene Metall auf

der Kathode nicht haften bleibt. Das hierzu geeignetste Material ist das Quecksilber, das von geeigneten Kathoden nahezu vollständig herabrinnt.

Wird also beispielsweise eine Zelle aus einer Quecksilberelektrode, einer Platiniridiumelektrode und dem komplexen Quecksilbersalz  $K_2HgJ_4$  hergestellt, indem die Platiniridiumelektrode oben, die Quecksilberelektrode am Boden des Gefäßes angeordnet wird, so kann der Strom in der Richtung vom Quecksilber zum Platiniridium mit beliebig geringer Spannung beliebig lange durch die Zelle fließen, ohne daß sich ihre Zusammensetzung ändert. Sobald jedoch die Stromrichtung umgekehrt wird, muß an der Platiniridiumelektrode die Zersetzungsspannung des Jods im Betrage von 0,6 V aufgewendet werden.

Die Zelle wirkt also bis zu Spannungen von 0,6 V als ein Ventil, bei dem in der Flußrichtung die erforderliche Spannung zugleich mit der Stromstärke 0 wird, ein Fall, der bei Ventilen sehr selten ist.

Die Verwendung dieser, auf der Grenze Metall — Elektrolyt beruhenden Ventile unterliegt jedoch noch einer weiteren, sehr wesentlichen Einschränkung. Die Ventilwirkung stellt sich erst her, nachdem eine gewisse, wenn auch sehr geringe Strommenge durch die Zelle geflossen ist und eine Schicht molekularer Dicke des betreffenden Kations abgeschieden hat. So belanglos diese geringe Strommenge bei der statischen Verwendung der Ventile ist, so störend ist sie, wenn das Ventil zum Gleichrichten von Wechselstrom benutzt werden soll. Bei fünfzig-periodigem Wechselstrom steht dem Strom jedesmal nur  $\frac{1}{100}$  Sekunde zur Abscheidung und Wiederauflösung zur Verfügung. Infolgedessen muß er ziemlich stark sein, um die erforderliche Elektrizitätsmenge in der kurzen Zeit liefern zu können. Es besteht also in beiden Richtungen im Anfange jeder Periodenhälfte Durchlässigkeit.

Bei stark verschiedenen Elektrodengrößen ist die Beziehung zwischen Strom und Spannung ohne weiteres von der Stromrichtung abhängig. Besteht beispielsweise ein Ventil aus einer sehr großen und einer äußerst kleinen Platinelektrode mit Schwefelsäurelösung als Elektrolyt, so wird an der kleinen Elektrode das jeweilige Ion in Gasform abgeschieden, ehe sich die große Elektrode merklich mit dem entgegengesetzten Ion belädt. Sie kann also als indifferente Elektrode angesehen werden. Um den Betrag, um den sich im vorliegenden Falle die Abscheidungs- spannungen von Sauerstoff und Wasserstoff an der kleinen Elektrode unterscheiden, wirkt die Zelle als Ventil.

## E. Die Grenze Gas — Elektrolyt. Die sogenannten Elektrolytgleichrichter.

74. Übersicht über die einzelnen Erscheinungen. Auf der Ventilwirkung der Grenze Gas — Elektrolyt dürften nach einer von Güntherschulze aufgestellten Theorie die sogenannten Elektrolytgleichrichter beruhen. So hoch das Spannungsgefälle ist, das man braucht, um Elektronen aus einer kalten Metallelektrode freizumachen, um so viel

höher ist das Spannungsgefälle, bei dem sich Elektronen aus einer kalten Elektrolytelektrode gewinnen lassen, zumal, wenn das an die Elektrode grenzende Gas unter erhöhtem Druck steht, so daß die freie Weglänge der Ionen außerordentlich klein wird.

Trennt man also einen Elektrolyten von der Elektrode durch einen sehr dünnen Gasraum, so entsteht ein Ventil. Diese Anordnung, die künstlich herzustellen aus verschiedenen Gründen unmöglich ist, bildet sich selbsttätig bei der Formierung eines Ventilmetalles, wobei sich folgende Erscheinungen abspielen:

Wenn eine elektrolytische Zelle, die aus einem Ventilmetal als Anode, einem geeigneten Elektrolyten und einem beliebigen indifferenten Metall als Kathode besteht, mit einer konstanten Stromdichte belastet

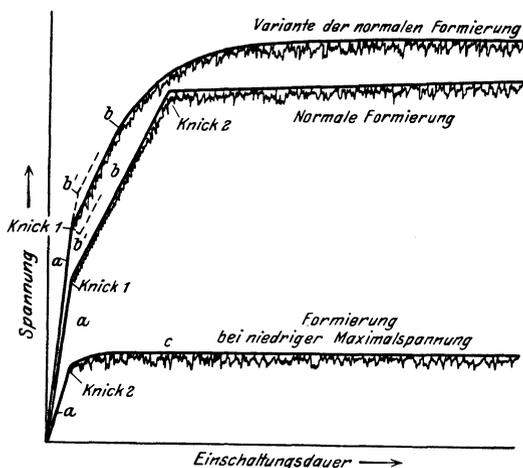


Abb. 62. Anstieg der Spannung an einer Ventilanode mit der Einschaltungs-dauer bei konstanter Formierungsstromstärke. Die Zacken entstehen durch das Funkenspiel.

wird, so steigt die zur Aufrechterhaltung des Stromes von der Zelle verlangte Spannung anfangs proportional der Einschaltungs-dauer an, bis bei einer scharf definierten Spannung plötzlich auf der Oberfläche des Ventilmetalles Fünkchen erscheinen. Von diesem Augenblick an steigt die Spannung an der Zelle langsamer, aber wiederum proportional der Einschaltungs-dauer weiter, während die Fünkchen allmählich heller werden, bis bei einer zweiten, ebenfalls scharf definierten

Spannung eine neue Art Funken entsteht und die Spannung gänzlich oder fast gänzlich zu steigen aufhört. Die Formierung der Zelle ist vollendet. Die erste Spannung wird Funken-spannung, die zweite Maximalspannung genannt. Abb. 62, mittlere Kurve, gibt ein typisches Beispiel des Spannungsanstieges während der Formierung mit konstanter Stromdichte.

Hiernach sind bei der Formierung folgende fünf Bestimmungsstücke zu unterscheiden:

1. Die Geschwindigkeit des Spannungsanstieges zwischen  $O$  und  $A$ , abgekürzt „Gradient  $a$ “.
2. Das gleiche zwischen  $A$  und  $B$ , „Gradient  $b$ “.
3. Das gleiche hinter  $B$ , „Gradient  $c$ “.
4. Die Funken-spannung.
5. Die Maximalspannung.

Während der Formierung bildet sich auf dem Ventilmetal eine feste, poröse, außerordentlich dünne Schicht, die meistens aus einem Oxyde des benutzten Ventilmetalles besteht. Sie wächst mit der Dauer

der Formierung stetig an. Ihre Dicke  $\Delta$  läßt sich aus den Interferenzfarben ableiten, die sie in großer Reinheit zeigt.

Mit ihr zugleich entsteht eine zweite noch dünnere Schicht, die infolge ihres außerordentlich hohen Widerstandes wie das Dielektrikum eines (unvollkommenen) Kondensators wirkt. Die Kapazität dieses Kondensators läßt sich, während die Zelle an der Formierungsspannung liegt, in der Brücke mittels übergelagerten Wechselstromes gut messen. Aus der Kapazität würde sich die absolute Dicke  $\delta$  der Schicht berechnen lassen, wenn ihre Dielektrizitätskonstante  $\kappa$  bekannt wäre. Da dieses nicht der Fall ist, begnügt man sich mit der Ermittlung der relativen Dicke  $\frac{\delta}{\kappa}$  (Dicke für  $\kappa = 1$ ).

Es ergeben sich also die weiteren Bestimmungsstücke:

6. Die Dicke der festen Schicht  $\Delta$ ,

7. Die Dicke der wirksamen Schicht  $\frac{\delta}{\kappa}$ .

Während der Formierung wird an der Ventilanode freier Sauerstoff entwickelt.

Also 8. Sauerstoffentwicklung.

Läßt man eine Ventilizelle an konstanter Spannung liegen, so nimmt der sie durchfließende Strom bis auf sehr geringe Beträge ab.

Also 9. Reststrom.

Läßt man die an einer formierten Zelle liegende Gleichspannung alle Werte von 0 bis zur Formierungsspannung durchlaufen und ermittelt man dabei die zugehörigen Stromstärken, so erhält man die statische  $e-i$ -Kurve der Zelle oder

10. die statische Charakteristik.

Das sind die wesentlichen Bestimmungsstücke in der Sperrichtung.

Die Untersuchung der Flußrichtung ist schwieriger. Benutzt man dazu Gleichstrom, so wird die bei der Formierung gebildete wirksame Schicht durch die Wasserstoffentwicklung an ihr alsbald weitgehend verändert. Will man also die Eigenschaften der möglichst unversehrten Schicht in der Flußrichtung feststellen, so muß man die Untersuchung möglichst unmittelbar nach dem Umschalten aus der Sperrichtung in die Flußrichtung ausführen und mit geringen Stromdichten arbeiten. Man wird also zweckmäßig Wechselstrom verwenden und die Erscheinungen mit Hilfe von Oszillogrammen feststellen. Man findet dann, daß die Zelle in der Flußrichtung unterhalb einer charakteristischen Spannung, der Mindestspannung, ebenso undurchlässig ist wie in der Sperrichtung, und daß beim Erreichen der Mindestspannung die Zelle durchlässig wird, ohne daß die Spannung an der wirksamen Schicht weiter steigt. Die Zelle verhält sich also hier genau wie ein Quecksilbergleichrichter.

Es ergibt sich demnach als Bestimmungsstück

11. die Mindestspannung.

Weiter zeigen sich sehr eigentümliche Erscheinungen in der Flußrichtung, wenn die Kationen aus einem Schwermetall stammen.

Also

12. die Metallabscheidung in der Flußrichtung.

Die elektrolytische Ventilwirkung ist bisher an folgenden 17 Metallen festgestellt: Cu, Be, Mg, Zn, Cd, Al, Sn, Pb, Nb, Ta, Sb, Bi, W, U, Fe, Co, Ni, von denen einige die Erscheinung in allen, andere in vielen, andere nur in wenigen Elektrolyten zeigen.

Jedes der angeführten 12 Bestimmungsstücke hängt in verwickelter Weise von den Variablen Ventilmaterial, Elektrolyt, Konzentration, Temperatur, Stromdichte, Spannung ab, so daß sich eine schier unübersichtbare Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ergibt, aus der hier nur das Wichtigste herausgegriffen werden kann.

Eine systematische Behandlung der Erscheinungen wurde erst möglich, als der Unterschied zwischen vollständiger und unvollständiger Ventilwirkung klar erkannt war. Vollständige Ventilwirkung ist vorhanden, wenn das Ventilmaterial im Elektrolyten nicht merklich löslich ist, unvollständige Ventilwirkung, wenn die Löslichkeit des Ventilmaterials die Erscheinungen modifiziert. Dazu genügt schon eine sehr geringe Löslichkeit. Der Umstand, daß gerade Aluminium, an dem anfangs alle Untersuchungen über die Ventilwirkung ausgeführt wurden, in den meisten Elektrolyten eine unvollständige Ventilwirkung zeigt, hat die Aufklärung der Erscheinungen sehr erschwert. Denn da die Löslichkeit von der Temperatur sowohl des Elektrolyten wie des Ventilmaterials, und diese unter anderem wieder von der Stromdichte abhängt, ferner die Konzentration des Elektrolyten von Wichtigkeit ist, ergibt sich eine Fülle von Komplikationen, die zu entwirren nicht gelang. Erst als die Untersuchung sich dem Ventilmaterial Tantal zuwandte, das anscheinend in allen Elektrolyten eine vollständige Ventilwirkung hat, ergaben sich folgende Gesetzmäßigkeiten:

**75. Die Formierungsgradienten.** 1. Gradient  $a$  ist von der Konzentration des Elektrolyten unabhängig. Mit steigender Temperatur nimmt er beträchtlich ab. Die Größe der Abnahme ist vom Elektrolyten abhängig. Von  $0^{\circ}$  C bis  $100^{\circ}$  C fällt der Gradient  $a$  bis auf etwa  $\frac{1}{4}$ .

Bei höheren Stromdichten ist der Gradient  $a$  der Stromdichte nahezu umgekehrt proportional, so daß mit der gleichen durch die Zelle geschickten Elektrizitätsmenge die gleiche Formierungsspannung erreicht wird. Bei kleinen Stromdichten werden die erforderlichen Elektrizitätsmengen größer, bis bei äußerst geringen Stromdichten keine Formierung mehr zustande kommt und sich eine Art Passivität ausbildet. Vom Ventilmaterial und der Art des Elektrolyten hängt der Gradient  $a$  in einer Weise ab, für die sich noch keine Gesetzmäßigkeiten ergeben haben. Bei Tantal und einer Stromdichte von  $2 \text{ mA/cm}^2$  ist die größte Formierungsgeschwindigkeit in wäßriger Lösung  $60 \text{ V/min}$ , in absoluter Schwefelsäure  $240 \text{ V/min}$ .

2. Gradient  $b$  ist beträchtlich geringer als Gradient  $a$ , scheint sich aber im wesentlichen ebenso zu verhalten wie dieser. Seine systematische Untersuchung steht noch aus.

3. Gradient  $c$  ist meistens gleich 0.

**76. Die Funkenspannung** ist vom Ventilmaterial und der Art und Konzentration des Elektrolyten, nicht dagegen von Temperatur und Stromdichte abhängig. Beim Tantal liegt sie in  $0,05$  normalen Lösungen, bei

den meisten Elektrolyten zwischen 150 und 220 V. Sie scheint diejenige Spannung zu sein, bei der von der Anode der Gasstrecke, also dem Metall, ausgehende Funken einsetzen.

**77. Die Maximalspannung.** Die Maximalspannung scheint, soweit die Untersuchungen reichen, vom Ventilmittel, der Stromdichte und der Temperatur unabhängig zu sein. Dagegen ist die Art und Konzentration des Elektrolyten auf sie von größtem Einfluß, und zwar ist die Konzentration der freien Ionen des Elektrolyten, nicht seine Gesamtkonzentration maßgebend.

Tabelle 21 enthält die Maximalspannung einer Anzahl Ionen, die das gemeinsam haben, daß sie sich aus nichtmetallischen Atomen zusammensetzen. Die zu den Versuchen benutzten Kationen (es waren Alkalkationen) sind nicht aufgeführt, da das Kation die Erscheinungen nicht beeinflußt, solange es nicht ein Schwermetallkation ist.

Tabelle 21. Maximalspannung des Tantals in 0,05 n-Lösungen nachstehender metallfreier Anionen.

Anion	Maximalspannung V	Abweichung vom Mittel %	Anion	Maximalspannung V	Abweichung vom Mittel %
OH'	446	- 6,8	NO' <sub>3</sub>	475	- 0,8
HCOO'	488	+ 2,0	H <sub>2</sub> PO' <sub>4</sub>	435	- 9,1
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COO'	508	+ 6,2	½ HAsO'' <sub>4</sub>	447	- 6,6
C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> COO'	520	+ 8,7	BO' <sub>2</sub>	487	+ 1,8
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> COO'	560	+ 17,0	½ SiF'' <sub>6</sub>	495	+ 3,4
SH'	463	- 3,3	F'	531	+ 10,9
½ SO'' <sub>4</sub>	449	+ 6,2	BrO' <sub>3</sub>	480	+ 0,3
CNS'	480	+ 0,3	J'	488	+ 2,0
CN'	465	- 2,8	Mittelwert:	478,6	5,2

Die Tabelle zeigt, daß bei diesen metallfreien Anionen die Maximalspannung nur wenig schwankt.

Tabelle 22. Maximalspannung des Tantals in 0,05 n-Lösungen verschiedener Anionen der Metalle Cr, Fe, Pt.

Metall	Anion	Maximalspannung V	Metall	Anion	Maximalspannung V
Cr	½ Cr <sub>2</sub> O'' <sub>7</sub>	131	Fe	½ Fe(CN) <sub>5</sub> NO''	76
	½ CrO'' <sub>4</sub>	141		½ Fe(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )'' <sub>3</sub>	85
	½ Cr(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )'' <sub>3</sub>	134		½ Fe(CN)'' <sub>6</sub>	82
	½ Cr(CN)'' <sub>6</sub>	126		½ Fe(CN)'' <sub>6</sub>	91
Mittel		133	Mittel		84

Ganz anders wie in Tabelle 21 wird jedoch das Bild, wenn Anionen betrachtet werden, in denen sich Metalle befinden. Tabelle 22 und 23 geben darüber Aufschluß. Aus Tabelle 22 folgt: Die Maxi-

Güntherschulze, Elektr. Gleichrichter, 2. Aufl.

Metall	Anion	Maximalspannung V
Pt	½ PtCl'' <sub>4</sub>	20
	½ PtCl'' <sub>6</sub>	35
Mittel		28

malspannung, die bei metallfreien Anionen in 0,05 normaler Lösung einen nur wenig um 478 V schwankenden Wert hat, wird stark erniedrigt, wenn in die Anionen ein Metall wie Pt, Fe, Cr eintritt. Die hierdurch bedingte, sehr niedrige Maximalspannung ist in erster Linie von dem eingeführten Metall, in zweiter Linie von der Art der Bindung abhängig.

Tabelle 23. Maximalspannung des Tantals in 0,05 n-Lösungen verschiedener metallhaltiger Anionen.

Metall	Anion	Maximalspannung V	Metall	Anion	Maximalspannung V
Pd	$\frac{1}{2}$ PdCl'' <sub>4</sub>	19,5	Cu	Cu(CN)' <sub>2</sub>	(355)
Rh	$\frac{1}{2}$ RhCl'' <sub>5</sub>	23	W	$\frac{1}{2}$ WO'' <sub>4</sub>	363
Au	AuCl' <sub>4</sub>	24	Ag	Ag(CN)' <sub>2</sub>	422
Pt	s. Tab.	28	Zn	$\frac{1}{2}$ Zn(CN)'' <sub>4</sub>	425
Ir	$\frac{1}{2}$ IrCl'' <sub>6</sub>	32	Sb	K <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O' <sub>7</sub>	435
Mn	MnO' <sub>4</sub>	46	H	OH'	448
Fe	s. Tab.	84	Bi	$\frac{1}{2}$ BiJ'' <sub>5</sub>	(450)
Cr	s. Tab.	133	Hg	$\frac{1}{2}$ Hg(CN)'' <sub>4</sub>	453
Ni	$\frac{1}{2}$ Ni(CN)'' <sub>4</sub>	181	Mo	$\frac{1}{2}$ MoO'' <sub>4</sub>	457
Sn	$\frac{1}{2}$ SnO'' <sub>3</sub>	190	Cd	$\frac{1}{2}$ Cd(CN)'' <sub>4</sub>	478
Co	$\frac{1}{2}$ Co(CN)'' <sub>6</sub>	243	Al	AlO' <sub>2</sub>	660

Die Ergebnisse der Untersuchung möglichst vieler Metalle enthält Tabelle 23. Sie zeigt, daß jedes Metall durch seinen Eintritt ins Anion die Maximalspannung auf einen ganz bestimmten Betrag erniedrigt.

Die Platinmetalle und Gold wirken am stärksten, dann folgen die dem Eisen nahestehenden Metalle, während bei den übrigen die Wirkung nur gering ist.

Weiter ergab sich, daß alle Metalle, die durch ihren Eintritt in das Anion eine niedrige Maximalspannung hervorrufen, dieses auch als kationische Bestandteile eines nicht dissoziierten Moleküles tun, aber die Spannungserniedrigung ist geringer als beim Eintritt der Moleküle in das Anion.

Güntherschulze<sup>1</sup> hat aus diesem Verhalten der Maximalspannung verschiedene Schlüsse über die Festigkeit der Bindung der Elektronen in elektrolytischen Ionen gezogen.

Mit zunehmender Verdünnung des Elektrolyten nimmt die Maximalspannung in allen Elektrolyten derart zu, daß in dem Intervall 0,05 bis 0,5 normal einer Zunahme der Verdünnung um 1% im Mittel eine Zunahme der Maximalspannung um 0,24% entspricht. Bei höheren Konzentrationen wird der Verlauf der Maximalspannung unregelmäßig.

Bei sehr geringen Konzentrationen erreicht die Maximalspannung hohe Werte. Bei Verwendung von Aluminium als Ventilmaterial und Mischungen von Borsäure und Borax als Elektrolyten fand Güntherschulze<sup>2</sup> die für geringe Konzentrationen geltende Interpolationsformel

$$V = 514,5 \log v - 330,$$

<sup>1</sup> Güntherschulze, A.: Z. techn. Phys. Bd. 3, S. 349. 1920.

<sup>2</sup> Güntherschulze, A.: Phys. Z. Bd. 9, S. 197. 1922.

wo  $V$  die Maximalspannung in Volt und  $v$  die Ionenverdünnung des Elektrolyten in Liter pro gr Äquivalent ist. Die höchste gemessene Maximalspannung war 1900 V.

**78. Die Schichtdicken.** Die Dicke der festen Schicht  $\Delta$  scheint beim Tantal unter allen Umständen der Formierungsspannung und damit der Dicke  $\delta$  der wirksamen Schicht proportional zu sein. Bei Formierung bis 200 V beträgt ihre Dicke beim Tantal 0,6  $\mu$ .

Beim Aluminium besteht keine feste Beziehung zwischen  $\Delta$  und  $\delta$ . Es ist möglich, auf Aluminium Oxydschichten von mehreren Zehnteln Millimeter Dicke herzustellen. Wahrscheinlich spielt bei diesem abnormen Wachstum der Oxydschicht die unvollständige Ventilwirkung eine maßgebende Rolle.

Tabelle 24.

Formierungs- spannung V	Relative Schichtdicke $\frac{\delta}{\kappa}$ in $m\mu$ des						
	Mg	Sb	Bi	Zn	Al	Nb	Ta
50	12,1	11,0	9,2	16,5	6,4	5,0	4,1
100	26,3	23,8	18,7	—	10,3	10,4	7,1
150	41,4	38,7	29,1	—	16,1	—	11,6
200	60,1	58,0	42,0	—	22,3	—	17,0
250	86,0	84,4	60,8	—	29,3	—	22,9
300	120,5	119,4	—	—	37,1	—	28,8
350	165,5	—	—	—	46,6	—	34,6
400	—	—	—	—	58,0	—	40,3
450	—	—	—	—	71,0	—	45,0
500	—	—	—	—	85,9	—	49,1

Tabelle 25.

Elektrolyt	Relative Schichtdicke $\frac{\delta}{\kappa}$ bei 50 V nach einer Formierungsdauer von 30 Min.	
	Tantal	Aluminium
Verdünnte wäßrige Lösung . . . . .	4,10	6,36
Absolute Schwefelsäure . . . . .	6,69	10,65
Wasserfreie Schmelze von:		
$NH_4NO_3$ . . . . .	6,26	—
$KHSO_4$ . . . . .	6,98	13,1
$AgNO_3$ . . . . .	7,12	200
$TiNO_3$ . . . . .	10,1	—
$LiNO_3$ . . . . .	7,93	—
$NaNO_3$ . . . . .	12,5	133
$KNO_3$ . . . . .	11,1	142
$K_2Cr_2O_7$ . . . . .	18,2	30

Die relative Dicke  $\delta/\kappa$  der wirksamen Schicht ist unabhängig a) in wäßrigen Lösungen vom Elektrolyten (solange nicht sehr hohe, fast wasserfreie Konzentrationen verwandt werden), b) von der Temperatur, c) von der Art und Weise der Formierung. Sie ist abhängig

a) vom Ventilmittel, b) von der Formierungsspannung, der sie anfangs proportional ist, während sie bei höheren Spannungen etwas schneller steigt. Die vorstehende Tabelle 24 gibt  $\delta/\kappa$  bei verschiedenen Spannungen für verschiedene Ventilmittel, während Tabelle 25 die Dicken der wirksamen Schicht in einigen nichtwäßrigen Elektrolyten enthält.

**79. Die Gasentwicklung.** Die Gasentwicklung während der Formierung ist gewissermaßen das Korrelat zur Formierungsgeschwindigkeit. Da der Strom entweder Sauerstoff entwickeln oder das Ventilmittel formieren kann, ist die Sauerstoffentwicklung bei unlöslichen Ventilmitteln um so größer, je geringer die Formierungsgeschwindigkeit ist.

Die Maximalspannungsfunken der elektrolytischen Ventilwirkung verursachen eine abnorme Gasentwicklung, die bei der Formierung des Ventiles beim Erreichen der Maximalspannung plötzlich einsetzt. Die zwischen der Funkenspannung und der Maximalspannung vorhandenen Formierungsfunken sind wirkungslos.

Bei Verwendung von verdünnter wäßriger Borsäurelösung und Aluminium werden bei 100 mA und 1890 V Maximalspannung durch die Maximalspannungsfunken mehr als zehnmals so viel Wassermoleküle zu Knallgas,  $\text{H}_2\text{O}_2$  und  $\text{H}_2$  zersetzt wie durch die Elektrolyse.

In Lösungen von Borsäure und Borax nimmt der gesamte Knallgasüberschuß bis zur Maximalspannung 1150 V nur langsam, von da an sehr schnell mit der Spannung zu.

Bei kurzdauernden Stromänderungen ist der Gasüberschuß  $u$  in verdünnten wäßrigen Lösungen proportional  $i^2$ , bei langdauernden Versuchen zeigt sich  $u$  sehr von der Schärfe der Kühlung abhängig. Bei schwacher Kühlung kann  $u$  bis auf 0 hinuntergehen.

In konzentrierten Lösungen von Ammoniak, Ameisensäure und Essigsäure ist  $u = b(i - i_0)$ , wo  $i_0$  der die wirksame Schicht nicht in Form von Funken, sondern als gleichmäßige Strömung durchsetzende Reststrom ist.

Die Versuche über die Abhängigkeit des Gasüberschusses  $u$  von der Konzentration von Ammoniaklösungen führen zu der Vermutung, daß Ammoniak bis zu der Konzentration 0,4  $n$  als  $\text{NH}_4\text{OH}$  mit dem Wasser in Wechselwirkung tritt, darüber hinaus als  $\text{NH}_3$ -Molekül gelöst wird. Für  $u$  gilt

$$u = 19,1 \sqrt[3]{n - 0,4}, \quad (32)$$

wo  $n$  der Gehalt der Lösung an Ammoniak in g · äq/Liter ist.

Bei Tantal in Ameisensäure ist

$$u = 1,305 \cdot n \cdot \sqrt[3]{n}. \quad (33)$$

Bei Essigsäure gilt eine Gesetzmäßigkeit von der unter 25 angegebenen Form nur bis zur Konzentration 20%. Darüber hinaus scheinen Störungen, verursacht durch zu niedrige Maximalspannung, vorzuliegen.

Der Reststrom ist bisher noch wenig untersucht worden. Es scheint, als ob er mit der Zeit bis auf den Betrag abnimmt, der erforder-

lich ist, die durch Wegdiffusion der wirksamen Schicht entstehenden Verluste zu decken. Da diese Diffusion durch die über der wirksamen Schicht liegende Oxydschicht sehr erschwert wird, erreicht der Reststrom außerordentlich geringe Beträge, z. B. bei Aluminium in Ammoniumborat bei 110 V Formierungsspannung  $1,5 \cdot 10^{-7}$  Amp./cm<sup>2</sup>.

**80. Die statische Charakteristik.** Die statische Charakteristik besteht in der Sperrichtung aus einem steil bis zur Maximalspannung ansteigenden und einem in der Höhe der Maximalspannung horizontal verlaufenden Aste. In der Flußrichtung hat sie die gleiche Form, für deren Knickpunkt die Mindestspannung maßgebend ist. In den fast senkrechten Teilen (Undurchlässigkeit) nimmt der Quotient  $e/i$  mit steigender Spannung beträchtlich ab. Die Abhängigkeit der statischen Charakteristik von den verschiedenen Variablen ist kaum untersucht.

**81. Die Mindestspannung in der durchlässigen Richtung.** Die Mindestspannung hängt vom Ventilmaterial, der Dicke der wirksamen Schicht (der Höhe der Formierung) und von der Art und Konzentration des Elektrolyten ab. Von der Temperatur ist sie unabhängig. Die Mindestspannung des Tantals beträgt das 1,51fache von der des Aluminiums, wenn beide Metalle bis zur gleichen Spannung formiert sind.

Ventilmaterialien wie Sb, Bi, Zn, Cd, deren anodisch gebildete isolierende Oxydschicht kathodisch wieder zu Metall reduziert wird, besitzen gegenüber normalem Wechselstrom keine Ventilwirkung.

Tabelle 26. Mindestspannung des Tantals nach Formierung bis 85 V in 0,05 n-Lösungen.

Elektrolyt	Mindestspannung V	Elektrolyt	Mindestspannung V	Elektrolyt	Mindestspannung V
KOH	9,6	NaNO <sub>2</sub>	17,2	NaCl	18,2
KAgCy <sub>2</sub>	11,1	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	9,3	KClO <sub>3</sub>	9,7
K <sub>2</sub> CdCy <sub>4</sub>	7,9	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	9,0	KBr	9,5
K <sub>2</sub> HgCy <sub>4</sub>	13,3	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,0	KBO <sub>3</sub>	14,1
KAlO <sub>2</sub>	4,3	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	11,2	KJ	11,5
NaHCO <sub>3</sub>	13,2	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	10,2	KJO <sub>3</sub>	8,3
NaCH <sub>3</sub> COO	9,6	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	9,6	K <sub>2</sub> PdCl <sub>4</sub>	11,0
NaN <sub>3</sub>	14,4	KMnO <sub>4</sub>	7,9		
KNO <sub>3</sub>	11,7	KF	14,3		

Tabelle 27. Mindestspannung des Tantals nach Formierung bis 85 V in 0,2 n-Lösung der Nitrate der folgenden Kationen.

	V		V		V
H	46,3	Mg	28	Pb	31,2
Li	11,6	Ca	35,1	Bi	32,0
Na	10,5	Sr	32,9	Cr	27,2
K	10,8	Ba	35,2	UO <sub>2</sub>	14,8
Rb	10,2	Zn	25,4	Mn	23,2
Cs	9,8	Cd	32,3	Fe	39,7
NH <sub>4</sub>	20,7	Hg	30,9	Co	15,8
Cu	26,0	Al	27,2	Ni	26,6
Ag	8,5	Tl	16,4		

Mit der Formierungsspannung oder der Dicke der wirksamen Schicht steigt die Mindestspannung nur wenig an. Bei Verringerung der Ionenkonzentration des Elektrolyten auf die Hälfte steigt sie um etwa 7%. Ihre Abhängigkeit vom Anion zeigt Tabelle 26, vom Kation Tabelle 27.

Die Metallabscheidung in der Flußrichtung, die von wesentlich theoretischem Interesse ist, kommt für die Ventilwirkung nicht in Frage.

**82. Künstliche Nachahmung der elektrolytischen Ventilwirkung.** W. Winter<sup>1</sup> versuchte die Ventilwirkung künstlich nachzuahmen. Er ging von der Überlegung aus, daß, wenn die poröse Oxydschicht auf dem Aluminium Bedingung für seine Ventilwirkung ist, die Ventilwirkung sich auch bei beliebigen anderen Metallen müsse hervorrufen lassen, wenn man sie künstlich mit einer porösen nicht leitenden Schicht bedeckt. Winter drückte also die zu untersuchenden Metalle in Form rechteckiger  $2\frac{1}{2}$  cm<sup>2</sup> großer Bleche, nachdem er sie sorgfältig abgeschmirgelt hatte, gegen die Wand einer sorgfältig gereinigten Tonzelle, in die der Elektrolyt gefüllt wurde. Bei Verwendung von KOH als Elektrolyten erhielt er bei sämtlichen untersuchten Metallen (Mg, Al, Zn, Cd, Fe, Co, Ni, Pb, Sn, Sb, Bi, Cu, Ag, Pt, Au, Cr) Ventilwirkung, während in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Pt, Au, Cr versagten.

Winter glaubt, daß die von ihm beobachteten Erscheinungen zwei Ursachen haben. Erstens nämlich beschränke die Tonzelle den Zutritt der wäßrigen Lösung zum Metall und schaffe dadurch die Möglichkeit einer hohen Konzentration der bei der Elektrolyse entstehenden Produkte, die dann zum Teil ausfallen und Schichten hohen Widerstandes bilden. Zweitens lägen außerdem ähnliche Verhältnisse wie bei den echten elektrolytischen Ventilen vor.

Leider hat Winter keine Oszillogramme aufgenommen, so daß eine Bestätigung seiner zweiten Vermutung fehlt. Ein Tonzylinder ist nämlich im Vergleich zu dem Bruchteile einer  $\mu$  dicken Oxydschicht des Aluminiums, die dem Metall ohne die geringste Lücke anliegt, viel zu grob und schmiegt sich dem Metall viel zu wenig an, um die gleichen Erscheinungen bewirken zu können, wie ein Aluminiumventil.

Vielmehr dürften die Erscheinungen den bei Verwendung zweier Elektroden sehr verschieden großer Oberfläche auftretenden ähnlich sein.

## II. Die Technik der Gleichrichtung.

### A. Form und Analyse der Strom- und Spannungskurven.

**83. Wellenform.** Fast alle Gleichrichter verwandeln die ihnen zugeführten sinusförmigen Schwingungen in stark verzerrte, die höhere Harmonische in größerer Anzahl enthalten. Es ist für viele Zwecke erwünscht, diese verzerrten Schwingungen analysieren, d. h. in Grund- und Oberschwingungen zerlegen zu können. Die Grundlage dieser Analyse bildet der Fouriersche Satz, daß man jede periodisch wieder-

<sup>1</sup> Winter, W.: Phys. Z. Bd. 14, S. 823. 1913.

kehrende Funktion in eine Reihe von Sinus- oder Kosinusgliedern zerlegen kann, oder in mathematischer Fassung:

$$i = \sum_{k=0}^{\infty} \mathfrak{S}_k \sin(k \omega t + \gamma_k) \quad (34)$$

wobei  $\omega = 2\pi\nu$ ,  $\mathfrak{S}_1, \mathfrak{S}_2, \mathfrak{S}_3 \dots$  die Amplituden der zu den Periodenzahlen  $\nu, 2\nu, 3\nu \dots$  gehörenden Teilwellen und  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \dots$  die zugehörigen Phasenwinkel bedeuten. Nach sin und cos getrennt ergibt das

$$i = \sum_{k=1}^{\infty} \mathfrak{A}_k \sin k \omega t + \mathfrak{B}_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \mathfrak{B}_k \cos k \omega t. \quad (35)$$

Dabei ist

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{A}_k &= \mathfrak{S}_k \cos \gamma_k, \\ \mathfrak{B}_k &= \mathfrak{S}_k \sin \gamma_k. \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Aus (36) ergeben sich die Formeln

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{S}_k &= \sqrt{\mathfrak{A}_k^2 + \mathfrak{B}_k^2}, \\ \operatorname{tg} \gamma_k &= \frac{\mathfrak{B}_k}{\mathfrak{A}_k}; \quad \sin \gamma_k = \frac{\mathfrak{B}_k}{\mathfrak{S}_k}; \quad \cos \gamma_k = \frac{\mathfrak{A}_k}{\mathfrak{S}_k}. \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

$\gamma$  gibt dabei für jede Teilwelle diejenige Phase an, in welcher sie sich beim Nullpunkt des Koordinatensystems befindet.  $\mathfrak{B}_0 = \mathfrak{S}_0$  ist die Gleichstromkomponente des durch 34 dargestellten Stromes. Fourier hat die für die Berechnung der Koeffizienten  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{B}$  wichtigen Formeln aufgestellt:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{A}_k &= \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} i \sin k \omega t dt \\ \mathfrak{B}_k &= \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} i \cos k \omega t dt \\ \mathfrak{B}_0 &= \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} i dt \end{aligned} \right\} \text{ für } k = 1, 2, 3 \dots \quad (38)$$

Ehe die Verfahren der Auflösung beliebiger Kurvenformen gegeben werden, empfiehlt es sich, den umgekehrten Weg zu beschreiten, aus einer sinusförmigen Welle durch Hinzufügen von Oberwellen kompliziertere Wellenformen zu entwickeln und aus den sich ergebenden Wellenbildern eine Anschauung zu gewinnen. Das ist in den folgenden Abb. 63 bis 65 geschehen.

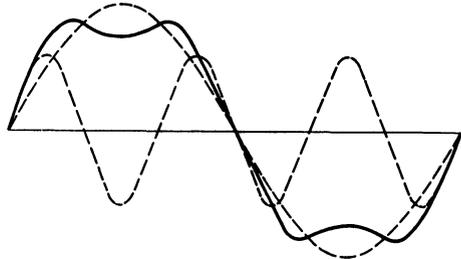


Abb. 63. Aufbau einer Schwingung aus einer sinusförmigen Grundschwingung und der dritten harmonischen Oberschwingung von der halben Amplitude der Grundschwingung. Phasenwinkel  $\alpha = 0$ .

Sie zeigen, daß sich bei Zusammensetzung gleicher Grund- und Oberschwingungen, je nach dem Phasenwinkel zwischen ihnen Kurven ganz verschiedenen Charakters ergeben.

Ist der Strom wie in Abb. 63 bis 65 ein reiner Wechselstrom ohne Gleichstromkomponente, so läßt sich leicht zeigen, daß  $k$  nur ungerade Werte annehmen darf. Die gewöhnlich in der Wechselstromtechnik vor-

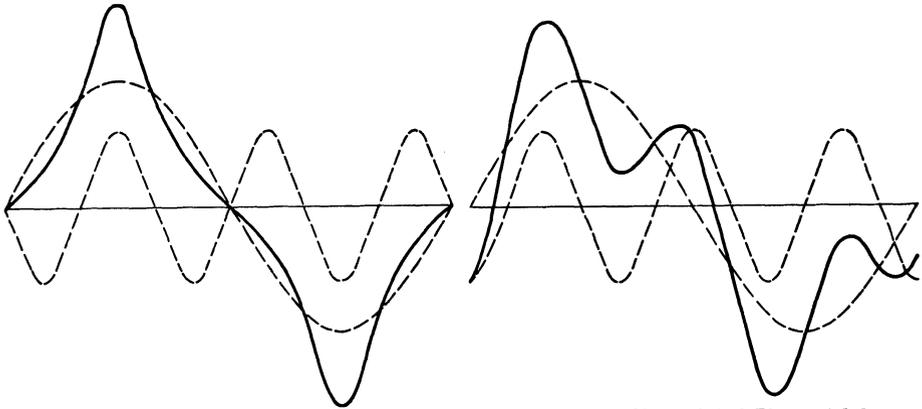


Abb. 64. Wie Abb. 63, jedoch Phasenwinkel  $\alpha = 180^\circ$ .

Abb. 65. Wie Abb. 63, jedoch Phasenwinkel  $\alpha = 90^\circ$ .

kommenden Ströme, bei denen die obere Kurvenhälfte ebenso verläuft wie die untere, enthalten nur die ungeradzahigen Oberschwingungen. Es wird in diesem Falle

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{A}_k &= \frac{4}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} i \sin k \omega t dt \\ \mathfrak{B}_k &= \frac{4}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} i \cos k \omega t dt \end{aligned} \right\} \text{für } k = 1, 3, 5 \dots \quad (39)$$

Um die Art der Koeffizientenberechnung zu zeigen seien, folgende Beispiele von Kurven gewählt, die bei den Gleichrichtern vorkommen.

**84. Kommutierter Sinusstrom** (Abb. 66). Der Strom enthält eine Gleichstromkomponente  $\mathfrak{B}_0$ . Die geradzahigen Oberschwingungen verschwinden nicht. Da  $i_{-t} = i_{+t}$  ist, können nur die Kosinusglieder auftreten, alle Koeffizienten  $\mathfrak{A}$  sind Null. Es ist

$$\left. \begin{aligned} i &= \sin \omega t \quad \text{für } t = 0 \dots \frac{\tau}{2} \dots \\ i &= -\sin \omega t \quad \text{für } t = \frac{\tau}{2} \dots \tau \dots \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

Abb. 66. Kommutierter Sinusstrom.

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{B}_k &= \frac{2}{\tau} \left[ \int_0^{\frac{\tau}{2}} \sin \omega t \cos k \omega t dt - \int_{\frac{\tau}{2}}^{\tau} \sin \omega t \cos k \omega t dt \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1 - (-1)^{k+1}}{k+1} - \frac{1 - (-1)^{k-1}}{k-1} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

Ist  $k$  ungerade, so wird dieser Ausdruck gleich Null. Ist  $k$  gerade, so wird

$$\mathfrak{B}_k = \frac{2}{\pi} \left( \frac{1}{k+1} - \frac{1}{k-1} \right) = -\frac{4}{\pi(k^2-1)}, \quad (42)$$

$$\mathfrak{B}_0 = \frac{2}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} \sin \omega t \, dt = \frac{2}{\pi} \quad (43)$$

Daraus ergibt sich

$$i = \frac{2}{\pi} - \frac{4}{\pi} \sum \frac{\cos k \omega t}{k^2-1} \quad \text{für } k = 2, 4, 6 \dots \quad (44)$$

$$i = \frac{2}{\pi} \left[ 1 - \frac{2 \cos 2 \omega t}{1 \cdot 3} - \frac{2 \cos 4 \omega t}{3 \cdot 5} - \frac{2 \cos 6 \omega t}{5 \cdot 7} - \dots \right] \quad (45)$$

d. h.  $i$  besteht aus einem Gleichstrom von der mittleren Stärke  $\frac{2}{\pi}$  und einem darüber gelagerten Wechselstrom der doppelten Frequenz wie der ursprüngliche Sinusstrom.

**85. Gleichgerichteter Mehrphasenstrom.** Werden mehr als 2 Phasen gleichgerichtet, so erreicht der Gleichstrom nicht mehr die Nulllinie. Bei  $m$  Phasen ergibt sich die in Abb. 67 wiedergegebene Kurvenform. Die allgemeine Gleichung dieser Stromform lautet:

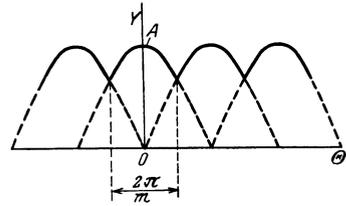


Abb. 67. Gleichgerichteter Mehrphasenstrom.

$$i = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \left[ 1 - \frac{2 \cos m \omega t}{m^2-1} - \frac{2 \cos 2 m \omega t}{4 m^2-1} - \frac{2 \cos 3 m \omega t}{9 m^2-1} - \dots \right] \quad (46)$$

Das Quadrat des Effektivwertes  $J^2$  ergibt sich zu

$$J^2 = \frac{m^2}{\pi^2} \sin^2 \frac{\pi}{m} \left[ 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(1-k^2 m^2)^2} \right] \quad (47)$$

woraus sich weiter

$$J = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{m}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{m}} \quad (48)$$

ergibt.

Für die Wellenformen der Abb. 68 und 69, wie sie bei Gleichrichtern

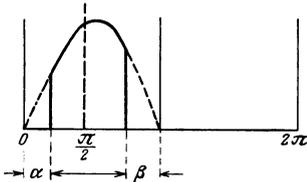


Abb. 68. Zershackerter Einphasenstrom.

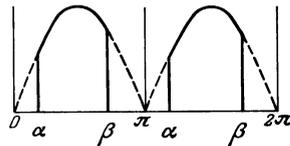


Abb. 69. Zershackerter Zweiphasenstrom.

öfter vorkommen, seien die Gleichungen ohne Ableitung niedergeschrieben. Sie sind

1. für Abb. 68

$$\left. \begin{aligned}
 i &= \frac{\cos \alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi}{2\pi} \sin \omega t \\
 &- \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\cos \alpha \cos k\alpha + k \sin \alpha \sin k\alpha}{\pi (k^2 - 1)} (1 + \cos k\pi) \cos k\omega t \\
 &- \sum_{k=2}^{\infty} \frac{k \sin \alpha \cos k\alpha - \cos \alpha \sin k\alpha}{\pi (k^2 - 1)} (\cos k\pi - 1) \sin k\omega t
 \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

2. für Abb. 69

$$i = \frac{2 \cos \alpha}{\pi} - 2 \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\cos \alpha \cos k\alpha + k \sin \alpha \sin k\alpha}{\pi (k^2 - 1)} (1 + \cos k\pi) \cos k\omega t. \quad (50)$$

3. Endlich ergibt sich für eine abgeflachte Sinuskurve, wie sie bei Thermionengleichrichtern mit Sättigungsstrom vorkommt (Abb. 71).

$$\left. \begin{aligned}
 i &= \frac{2(1 - \cos \alpha) + (\pi - 2\alpha) \sin \alpha}{\pi} - \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 + \cos k\pi}{k^2 - 1} \\
 &\left[ 1 - \frac{1}{2k} \{ (k+1) \cos (k-1)\alpha - (k-1) \cos (k+1)\alpha \} \right] \cos k\omega t.
 \end{aligned} \right\} \quad (51)$$

**86. Formfaktor und Scheitelfaktor.** In manchen Fällen genügt es, den Charakter der Kurve zu kennen, so weit er durch ihren Formfaktor und Scheitelfaktor dargestellt wird. Dabei versteht man unter dem Formfaktor  $f$  das Verhältnis des Effektivwertes zur mittleren Stromstärke. Als mittlere Stromstärke ist der zeitliche Mittelwert aus den Augenblickswerten ohne Rücksicht auf das Vorzeichen anzusehen.

Sind positive und negative Hälfte der Stromkurve einander spiegelbildlich gleich und begrenzen die Punkte  $t = 0$  und  $t = \frac{\tau}{2}$  die positive Hälfte der Kurve, so ist allgemein

$$f = \frac{\sqrt{\frac{2}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} i^2 dt}}{\frac{2}{\tau} \int_0^{\frac{\tau}{2}} i dt}. \quad (52)$$

Das gibt für eine rechteckige Stromkurve mit der Höhe  $\mathfrak{S}$

$$f_{\square} = \frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{S}} = 1 \quad (53)$$

für eine sinusförmige Stromkurve  $i = \mathfrak{S} \sin \omega t$

$$f_{\sin} = \frac{\mathfrak{S}/\sqrt{2}}{2\mathfrak{S}/\pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11 \dots \quad (54)$$

für ein gleichseitiges Dreieck mit der Höhe  $\mathfrak{S}$

$$f_{\Delta} = \frac{\mathfrak{S}/\sqrt{3}}{\mathfrak{S}/2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15. \quad (55)$$

Scheitelfaktor  $\sigma$  heißt das Verhältnis des Scheitelwertes zum effektiven. Es ergibt sich

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\square} &= \frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{S}} = 1, \\ \sigma_{\sin} &= \frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{S}/\sqrt{2}} = 1,414, \\ \sigma_{\Delta} &= \frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{S}/\sqrt{3}} = 1,732. \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

Im allgemeinen haben der Formfaktor und der Scheitelfaktor für flache Kurven kleinere Werte als für spitze.

**87. Effektivwerte von Wechselströmen.** Ist

$$i = \sum_k \mathfrak{S}_k \sin(k\omega t + \gamma_k), \quad (57)$$

so ist der Effektivwert des Stromes

$$J = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_k \mathfrak{S}_k^2}. \quad (58)$$

Hat der Strom  $i$  außerdem eine Gleichstromkomponente  $\mathfrak{S}_0$ , so wird

$$J = \sqrt{\mathfrak{S}_0^2 + \frac{1}{2} \sum_k \mathfrak{S}_k^2}. \quad (59)$$

**88. Leistung.** Wird der Strom

$$i = \sum_k \mathfrak{S}_k \sin(k\omega t + \gamma_k) \quad (60)$$

durch eine Spannung

$$e = \sum_k \mathfrak{E}_k \sin(k\omega t + \epsilon_k) \quad (61)$$

erzeugt, so ist die mittlere Leistung

$$P = \sum \mathfrak{E}_k \mathfrak{S}_k \cos(\gamma_k - \epsilon_k).$$

**89. Effektiv- und Mittelwerte in einem gleichgerichteten Stromkreise.**

1. Einphasensinuswelle (Abb. 70)

$$\left. \begin{aligned} i &= \mathfrak{S} \left\{ \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \omega t - \frac{2}{1 \cdot 3 \cdot \pi} \cos \omega t - \frac{2}{3 \cdot 5 \cdot \pi} \cos \omega t - \dots \right\}, \\ J &= \frac{\mathfrak{S}}{2}; \quad J_0 = \frac{\mathfrak{S}}{\pi}. \end{aligned} \right\} \quad (63)$$

2. Zweiphasige und mehrphasige Sinuswelle (Abb. 66 und 67)

a) zweiphasig

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{2\mathfrak{S}}{\pi} \left\{ 1 - \frac{2}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{2}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t - \frac{2}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right\} \\ J &= \frac{\mathfrak{S}}{\sqrt{2}}, \quad J_0 = \frac{2\mathfrak{S}}{\pi}; \end{aligned} \right\} \quad (64)$$

b) mehrphasig

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{m\mathfrak{S}}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \left[ 1 + 2 \sum_k \frac{\cos k m \omega t}{1 - k^2 m^2} \right], \\ J &= \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{m}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{m}}, \quad J_0 = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}. \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

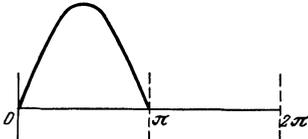


Abb. 70. Einphasensinuswelle.

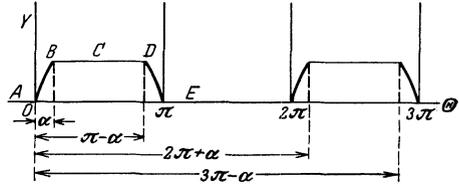


Abb. 71. Abgeflachter einphasiger Sinusstrom.

3. Abgeflachte Sinuswelle einphasig (Abb. 71)  $i =$  vgl. Formel (51) S.106.

$$J = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left\{ \alpha \cos 2\alpha + \pi \sin^2 \alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right\}} \quad (66)$$

$$J_0 = \frac{1}{2\pi} \{ (\pi - 2\alpha) \sin \alpha + 2(1 - \cos \alpha) \}. \quad (67)$$

4. Abgeflachte Sinuswelle zweiphasig (Abb. 72).

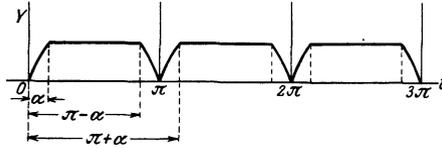


Abb. 72. Abgeflachter zweiphasiger Sinusstrom.

$$J = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left\{ \alpha \cos 2\alpha + \pi \sin^2 \alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right\}}, \quad (68)$$

$$J_0 = \frac{1}{\pi} \{ (\pi - 2\alpha) \sin \alpha + 2(1 - \cos \alpha) \}. \quad (69)$$

5. Zerhackte Sinuswelle

a) einphasig Abb. 68.

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{2\pi} + \frac{\sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \beta - \alpha - \beta + \pi}{2\pi} \sin \omega t \\ &\quad - \frac{\sin^2 \beta - \sin^2 \alpha}{2\pi} \cos \omega t \\ &\quad - \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\cos k\pi (\cos \beta \cos k\beta + k \sin \beta \sin k\beta) + \cos \alpha \cos k\alpha + k \sin \alpha \sin k\alpha}{\pi(k^2 - 1)} \cdot \sin k\omega t \\ &\quad - \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\cos k\pi (k \sin \beta \cos k\beta - \cos \beta \sin k\beta) + \cos \alpha \sin k\alpha - k \sin \alpha \cos k\alpha}{\pi(k^2 - 1)} \cdot \sin k\omega t. \end{aligned} \right\} \quad (70)$$

$$J = \sqrt{\frac{1}{4\pi}(\pi - \beta - \alpha + \sin \beta \cos \beta + \sin \alpha \cos \alpha)}, \quad (71)$$

$$J_0 = \frac{1}{2\pi}(\cos \alpha + \cos \beta). \quad (72)$$

b) Zweiphasig Abb. 69.

$$i = \left. \begin{aligned} & \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{2\pi} \\ & - \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\cos \beta \cdot \cos k\beta + k \sin \beta \sin k\beta + \cos \alpha \cos k\alpha + k \sin \alpha \sin k\alpha}{\pi(k^2 - 1)} \\ & \quad \cdot (1 + \cos k\pi) \cos k\omega t \\ & - \sum_{k=2}^{\infty} \frac{k \sin \beta \cos k\beta - \cos \beta \sin k\beta + \cos \alpha \sin k\alpha - k \sin \alpha \cos k\alpha}{\pi(k^2 - 1)} \\ & \quad \cdot (1 + \cos k\pi) \sin k\omega t. \end{aligned} \right\} \quad (73)$$

$$J = \sqrt{\frac{1}{4\pi}(\pi - \beta - \alpha + \sin \beta \cos \beta + \sin \alpha \cos \alpha)}, \quad (74)$$

$$J_0 = \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{\pi}. \quad (75)$$

**90. Kurvenanalyse<sup>1</sup>.** Eine Wechselstrom- oder Gleichstromkurve ist analysiert, wenn die Koeffizienten der einzelnen Glieder der sie darstellenden Fourierschen Reihe ermittelt sind. Das Verfahren der Analyse richtet sich danach, ob der Strom selbst zur Verfügung steht und mit Hilfe eines Oszillographen untersucht werden kann oder ob lediglich eine von anderer Seite aufgenommene fertig vorliegende Kurve analysiert werden soll. Für den ersten Fall ist die experimentelle Analyse mit Hilfe des Oszillographen selbst dringend zu empfehlen. Für den zweiten muß die mathematische oder mechanische mit Hilfe harmonischer Analysatoren gewählt werden.

**91. Die experimentelle Analyse durch Resonanz.** Das Verfahren beruht auf folgendem Grundversuch: Schließt man eine sinusförmige Spannung durch eine Selbstinduktion  $L$  und eine Kapazität  $C$ , die hintereinander geschaltet sind, so besteht für ganz bestimmte Werte von  $L$  und  $C$  Resonanz des Stromkreises, d. h. der Kreis verhält sich, als ob nur Ohmscher Widerstand im Kreise wäre, und zwar derjenige Widerstand  $R$ , der beim Kurzschließen des Kondensators übrig bleibt. Es sei die aufzunehmende reine Wechselspannung durch die Fouriersche Reihe.

$$e = \mathfrak{E}_1 \sin(\omega t + \varepsilon_1) + \mathfrak{E}_3 \sin(\omega t + \varepsilon_3) + \mathfrak{E}_5 \sin(\omega t + \varepsilon_5) + \dots \quad (76)$$

gegeben, dann entsteht in dem Resonanzkreis der Strom.

$$i = \mathfrak{I}_1 \sin(\omega t + \gamma_1) + \mathfrak{I}_3 \sin(\omega t + \gamma_3) + \mathfrak{I}_5 \sin(\omega t + \gamma_5) + \dots \quad (77)$$

<sup>1</sup> Das Gebiet ist erschöpfend in dem Buch von E. Orlich: Aufnahme und Analyse von Wechselstromkurven dargestellt, dem ich hier folge.

wo

$$\mathfrak{S}_k = \frac{\mathfrak{E}_k}{\sqrt{R^2 + \left(k \omega L - \frac{1}{k \omega C}\right)^2}} \quad (78)$$

ist.

Nun seien  $L$  und  $C$  so gewählt, daß für die  $a^{te}$  Oberschwingung Resonanz eintritt, also

$$a \omega L = \frac{1}{a \omega C} \quad \text{oder} \quad a^2 \omega^2 LC = 1$$

ist, so wird

$$\mathfrak{S}_a = \frac{\mathfrak{E}_a}{R}$$

und die Stromintensität der anderen Oberschwingung

$$\mathfrak{S}_k = \frac{\mathfrak{E}_k}{\sqrt{R^2 + k^2 \omega^2 L^2 \left(1 - \frac{a^2}{k^2}\right)^2}}. \quad (79)$$

Nun sei  $\frac{R}{L} = 100$ , was im allgemeinen bei guten Induktivitäten zutrifft. Ferner ist bei der Frequenz 50

$$\omega^2 = 100^2 \pi^2 \approx 10^5.$$

Dann ergibt eine einfache Näherungsrechnung für  $\mathfrak{S}_k$  den Wert

$$\mathfrak{S}_k = \frac{\mathfrak{E}_k}{100 \pi L \frac{k^2 - a^2}{k}} \left\{ 1 - \frac{1}{20} \frac{k^2}{(k^2 - a^2)^2} \right\}. \quad (80)$$

Der kleinste Wert, den  $\frac{(k^2 - a^2)^2}{k^2}$  annehmen kann, ist rund 10 ( $k = 5, a = 3$ ), also kann das zweite Glied der Klammer vernachlässigt werden.

Es wird

$$\mathfrak{S}_k = \frac{\mathfrak{E}_k}{100 \pi L \frac{k^2 - a^2}{k}} \quad (81)$$

und

$$\frac{\mathfrak{S}_k}{\mathfrak{S}_a} = \frac{\mathfrak{E}_k}{\mathfrak{E}_a} \frac{1}{\pi \frac{k^2 - a^2}{k}}. \quad (82)$$

$\frac{1}{\pi \frac{k^2 - a^2}{k}}$  gibt den Bruchteil an, um den die einzelnen Teilwellen gegenüber der Resonanzwelle verkleinert sind. Die Durchrechnung ergibt, daß, wenn die Intensität einer Nachbarschwingung ebenso groß ist wie die der eingestellten Resonanzschwingung, die durch diese Nachbarschwingung erzeugten Ströme rund zehnmal kleiner sind als die durch die Resonanzschwingung erzeugten. Es ergibt sich also ein hinreichend reines Kurvenbild, um die Intensität der Oberschwingungen messen zu

können. Ist aber die Resonanzwelle von 2 Schwingungen eingefasst, die wesentlich stärker sind als sie selbst, so liefert sie kein brauchbares Kurvenbild mehr. Sie wird dann auch in den meisten Fällen keine praktische Bedeutung mehr haben. Orlich gibt in seinem Buch folgendes praktische Beispiel der Analyse einer 50 periodigen Wechselspannung.

Tabelle 28.

<i>A</i> Grundschwingung	<i>L</i> Henry	<i>C</i> $\mu\text{F}$	<i>R</i> $\Omega$
1	2	5	200
3	1	1,1	100
5	0,1	4	14
7	0,102	2	14
9	0,095	1,3	14
11	0,092	0,9	14
13	0,098	0,6	14
15	0,089	0,5	14
17	0,087	0,4	14

Es wurde gewählt (siehe Tabelle 28).

Eingestellt wird auf das Maximum der Resonanzkurven des Oszillographen durch vorsichtiges Verändern der veränderlichen Induktivität.

Abb. 73 bis 75 enthalten die 5., 11. und 23. Oberschwingung der gleichzeitig aufgenommenen Spannungskurve. Insgesamt wurden folgende Werte gemessen



Abb. 73. Verkettete Spannung einer Drehstrommaschine und ihre durch Resonanz abge sonderte 5. Oberschwingung.

$k = 1$	5	7	11	13	17	19	23	25	29
$E_k = 144$	11,3	0	4,9	1,7	0	0,6	0,3	0	0,2 V.

**92. Die mathematische oder mechanische Analyse. Die arithmetische Analyse.** Um die Koeffizienten  $\mathfrak{A}$  und  $\mathfrak{B}$  der Fourierschen Gleichung zu finden, wird die Periode  $\tau$  auf der Abszissenachse vom Koordinatennullpunkt aus in  $2n$  Teile geteilt. Die Längen  $y_1, y_2, y_{2n}$  der in den Teilpunkten errichteten Ordinaten werden gemessen. Dabei gehöre

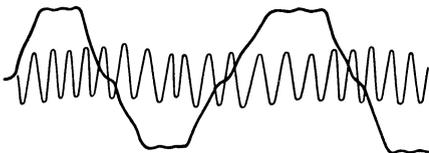


Abb. 74. Wie Abb. 73, jedoch die 11. Oberschwingung.

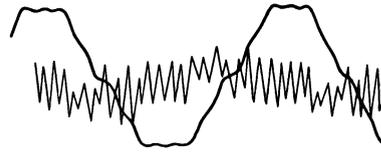


Abb. 75. Wie Abb. 73, jedoch die 23. Oberschwingung.

die Ordinate  $y$  zur Abszisse  $t_\lambda = \frac{\lambda\tau}{2n}$ . Jede zwei zusammengehörenden Werte  $y_\lambda$  und  $t_\lambda$  müssen die Fouriersche Gleichung

$$y_\lambda = \sum_{k=1}^{n-1} \mathfrak{A}_k \sin k\omega t_\lambda + \mathfrak{B}_0 + \sum_{k=1}^n \mathfrak{B}_k \cos k\omega t_\lambda \quad \text{für } \lambda = 1, 2, \dots, 2n \quad (83)$$

befriedigen. Es ergeben sich also  $2n$  lineare Gleichungen, aus denen die  $2n$  Unbekannten

$$\mathfrak{A}_1 \dots \mathfrak{A}_{n-1} \mathfrak{B}_0, \quad \mathfrak{B}_1 \dots \mathfrak{B}_n$$

berechnet werden können.

Für den Fall, daß ein reiner Wechselstrom vorliegt, also  $\mathfrak{B}_0 = 0$  ist und nur Glieder ungerader Ordnung vorkommen, ergibt sich durch Vereinfachung und Zusammenfassung der einzelnen Glieder

$$n \mathfrak{A}_k = 2 \sum_{\lambda=1}^{\frac{n}{2}-1} (y_\lambda + y_{n-\lambda}) \sin \frac{k\lambda\pi}{n} + 2y_n \sin \frac{k\pi}{2}, \quad (84)$$

$$n \mathfrak{B}_k = 2 \sum_{\lambda=1}^{\frac{n}{2}-1} (y_\lambda - y_{n-\lambda}) \cos \frac{k\lambda\pi}{n} - 2y_n. \quad (85)$$

Koeffizientenberechnungen nach dieser Methode sind recht umfangreich und langwierig. Es sind deshalb zahlreiche Vereinfachungen ausgearbeitet worden, die alle aufzuführen hier zu weit führen würde. Es sei nur noch eine rein zeichnerische Methode angegeben.

**93. Die Methode von Clifford (Finsterwalder).** Um die Koeffizienten  $\mathfrak{A}_1$  und  $\mathfrak{B}_1$  zu finden, denkt man sich eine volle Periode der Kurve auf einen Zylinder vom Umfang  $\tau$  aufgewickelt, so daß die Achse der  $t$  in den Umfang des Grundkreises zu liegen kommt. Die Kurve bildet dann einen ununterbrochenen Linienzug. Dieser Linienzug wird auf zwei zueinander senkrechte axiale Ebenen  $E_1, E_2$  projiziert, wovon die eine,  $E_1$ , durch die Naht des Kurvenblattes, den Koordinatenanfangspunkt, geht. Die beiden Projektionen bilden wieder geschlossene Linien. Mittels eines Planimeters werden die Flächen  $F_1, F_2$  dieser Kurvenzüge ermittelt. Dann ist

$$\mathfrak{A}_1 = \frac{2}{\tau} F_1, \quad \mathfrak{B}_1 = \frac{2}{\tau} F_2.$$

Sollen die Koeffizienten höherer Ordnung  $\mathfrak{A}_k$  und  $\mathfrak{B}_k$  gefunden werden, so denke man sich zuvor eine Periode der zu analysierenden Kurve derart umgezeichnet, daß sie in Richtung der Abszissenachse auf das  $k$ fache gedehnt ist. Das Kurvenblatt kann dann  $k$ mal um denselben Zylinder gewickelt werden. Es wird ebenso wie vorher die ganze Periode der Kurve auf die Ebenen  $E_1, E_2$  projiziert und der Flächeninhalt ermittelt. Es ist dann

$$\mathfrak{A}_k = \frac{2}{\tau k} F_{k_1}, \quad \mathfrak{B}_k = \frac{2}{\tau k} F_{k_2}.$$

Praktisch verfährt man folgendermaßen: Man teilt auf dem Kurvenblatt eine ganze Periode in eine Anzahl gleicher Teile, z. B. 36, und nennt die zugehörigen Ordinaten  $y_1, y_2 \dots y_{36}$ . Dann zeichnet man sich in Koordinatenpapier Vertikallinien mit den Abszissen  $\xi_1 = \cos 10^\circ, \xi_2 = \cos 20^\circ, \dots \xi_{36} = \cos 360^\circ$  ein und Horizontallinien mit den

Ordinaten  $y_1, y_2 \dots y_{36}$  und verbindet folgende Punkte durch Kurven:

Kurve  $a_1)$   $\xi_1 y_1, \xi_2 y_2 \dots \xi_{36} y_{36}$  liefert  $\mathcal{A}_1$ ,

Kurve  $a_3)$   $\xi_3 y_1, \xi_6 y_2 \dots \xi_{36} y_{12}, \xi_3 y_{14} \dots \xi_{36} y_{24}, \xi_3 y_{25} \dots \xi_{36} y_{36}$   
liefert  $\mathcal{A}_3$  usw.

Kurve  $b_1)$   $\xi_{10} y_1, \xi_{11} y_2 \dots \xi_{36} y_{27}, \xi_1 y_{28} \dots \xi_9 y_{36}$  liefert  $\mathcal{B}_1$ ,

Kurve  $b_3)$   $\xi_{12} y_1, \xi_{15} y_2 \dots \xi_{36} y_9, \xi_3 y_{10} \dots \xi_{36} y_{21}, \xi_3 y_{22} \dots \xi_{36} y_{33}$   
 $\xi_3 y_{34} \dots \xi_9 y_{36}$  liefert  $\mathcal{B}_3$  usw.

Die Flächen der so gezeichneten Kurven werden planimetrisch ausgemessen.

**94. Harmonische Analysatoren.** Harmonische Analysatoren sind von Lord Kelvin, Henrici und Conradi, Sharp, Rule und Le Conte, Wiechert und Sommerfeld, Michelson und Stratton u. a. angegeben worden. Der Analysator von Michelson und Stratton löst die doppelte Aufgabe, die Kurve einer gegebenen Fourierschen Reihe zu zeichnen und die zu einer Reihe gehörenden Koeffizienten einer Fourierschen Reihe zu finden. Abb. 76 zeigt den Apparat. Wegen der Einzelheiten sei auf das wiederholt genannte Buch von Orlich verwiesen.

### B. Meßtechnisches.

**95. Messungen an Gleichrichtern.** Es ist sehr schwierig und erfordert sorgfältige Überlegung, bei Messungen an Gleichrichtern selbst grobe Fehler zu vermeiden. In jedem Falle ist klar zu überlegen, was für eine Größe gemessen werden soll und welche Instrumente imstande sind, gerade diese Größe zu messen. Es sei deshalb im folgenden kurz auf die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Instrumente hingewiesen.

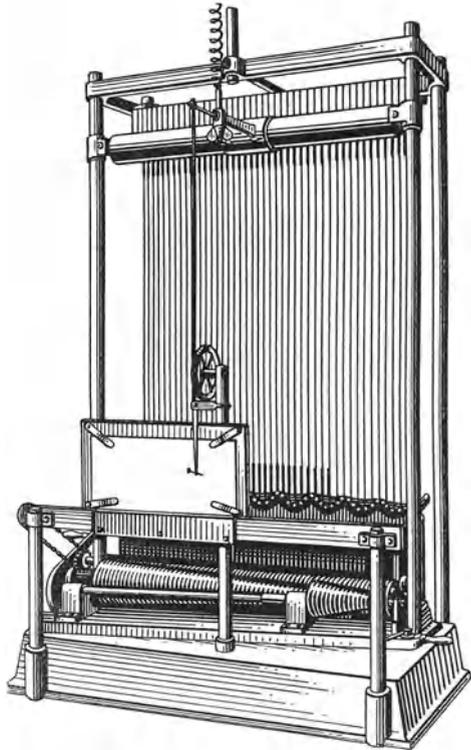


Abb. 76. Harmonischer Analysator von Michelson und Stratton.

#### a) Drehspulinstrumente, Voltmeter, Elektrolytzähler.

Alle diese Instrumente messen den arithmetischen Mittelwert  $J_0$  des Stromes (bzw. der Spannung). Bei reinem Wechselstrom ist ihr

Ausschlag Null. Wird mit ihnen ein pulsierender Gleichstrom gemessen, wie ihn Gleichrichter liefern, so vibriert bei den Drehspulinstrumenten der Zeiger um so stärker, je geringer die Trägheit des Systemes ist, was unter Umständen eine genaue Ablesung unmöglich machen kann. In diesem Falle ist die Trägheit des Systemes soweit wie möglich zu vergrößern. Der mittlere Strom kommt bei sämtlichen elektrolytischen Wirkungen, also Akkumulatorladung, Galvanisierung, Wasserzersetzung usw. in Frage. Hier messen die unter a) genannten Apparate richtig, die b) unter genannten dagegen falsch.

### b) Hitzdrahtapparate, Dynamometer, Apparate mit beweglichem Eisenkern. Amperestundenzähler mit beweglichem Anker.

Alle diese Apparate messen Effektivwerte. Außerdem sind sie mit alleiniger Ausnahme der Hitzdrahtapparate mehr oder weniger von der Frequenz abhängig. Da nun die verzerrten pulsierenden Gleichströme der Gleichrichter sehr oft höhere Oberschwingungen in beträchtlicher Intensität enthalten, sind alle diese Instrumente bis auf die Hitzdrahtinstrumente mit Vorsicht zu verwenden, am meisten die Apparate mit Eisenkern.

Der Effektivwert eines pulsierenden Gleichstromes kommt bei Beleuchtung, Heizung und motorischer Wirkung in Frage. In diesem Falle messen also die unter b) genannten Apparate richtig, die unter a) genannten falsch.

Zur Ermittlung des Unterschiedes zwischen den beiderseitigen Angaben sei angenommen, daß ein Drehspulinstrument und ein Dynamometer in Serie in einen Stromkreis gelegt sind, in dem ein konstanter Gleichstrom  $J$  und ein sinusförmiger Wechselstrom  $\mathfrak{J} \sin \omega t$  zugleich fließen. Dann mißt das Drehspulinstrument  $J$ , das Dynamometer  $\sqrt{J^2 + \frac{1}{2} \mathfrak{J}^2}$ . Das Verhältnis der beiden Ablesungen ist  $\sqrt{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\mathfrak{J}}{J}\right)^2}$ . Der Unterschied zwischen beiden Ablesungen hängt also vom Verhältnis der beiden Ströme ab. Ist  $\mathfrak{J} = J$ , so wird das Verhältnis  $\sqrt{1,5} = 1,23$ .

Wird also ein Gleichstrom der Abb. 66, wie er oft bei Gleichrichtern vorkommt, mit dem verkehrten Instrument gemessen, so beträgt der Fehler über 20%.

### c) Wattmeter und Leistungsmessungen.

Beim Wattmeter ist der Ausschlag proportional dem Produkt der Ströme in einer festen und einer beweglichen Spule. Die feste Spule wird durch den zu messenden Strom durchflossen, die bewegliche liegt mit einem Vorwiderstande an der zu messenden Spannung. Der Ausschlag des Instrumentes ist also ein Maß der mittleren Leistung. Diese ist aber bei einem pulsierenden Gleichstrom

$$P = E_0 J_0 + \frac{1}{2} [E_1 J_1 \cos \varphi_1 + E_2 J_2 \cos \varphi_2 + \dots + E_n J_n \cos \varphi_n]. \quad (86)$$

Dabei berücksichtigt  $\cos \varphi_n$  die Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung der  $n$ ten Oberschwingung.

Andererseits sind die Effektivwerte von Strom und Spannung, wie sie ein Dynamometer mißt,

$$J = \sqrt{J_0^2 + \frac{1}{2}[J_1^2 + J_2^2 + \dots]}, \quad (87)$$

$$E = \sqrt{E_0^2 + \frac{1}{2}[E_1^2 + E_2^2 + \dots]}. \quad (88)$$

Soll also die Leistung des Stromkreises als Produkt der effektiven Werte des Stromes und der Spannung multipliziert mit einem Leistungsfaktor  $\cos \Phi$  dargestellt werden, so muß

$$J \cdot E \cdot \cos \Phi = E_0 J_0 + \frac{1}{2}[E_1 J_1 \cos \varphi_1 + E_2 J_2 \cos \varphi_2 + \dots] \quad (89)$$

sein. Diese Gleichung ist nur erfüllt, wenn Strom und Spannung ähnliche Form haben und sich nur durch einen konstanten Faktor unterscheiden, d. h. wenn  $\varphi_1 = \varphi_2 = \Phi = 0$  ist.

Wird mit Drehspulinstrumenten gemessen, so gibt ihr Produkt nur dann die Leistung des Kreises, wenn entweder die Strom- oder die Spannungskurve eine gerade Linie parallel zur Zeitachse ist. Dieses ist selbst bei 3- und 6-Phasen-Gleichrichtern nur angenähert der Fall und deshalb messen dynamometrische Apparate die Leistung richtiger als Drehspulinstrumente, wenn der Frequenzfehler nicht zu groß ist.

Wird eine einphasige Sinuswelle (Abb. 70) und ein Leistungsfaktor  $l$  angenommen, so gibt das Produkt aus  $J$  und  $E$  die wirkliche Leistung

$$P_1 = J \cdot E = \frac{\mathfrak{S} \cdot \mathfrak{E}}{4}. \quad (90)$$

Das Produkt der Drehspulinstrumente dagegen wird

$$P_2 = E_0 J_0 = \frac{\mathfrak{E} \mathfrak{J}}{\pi^2} = \frac{\mathfrak{E} \mathfrak{J}}{10} \quad (\text{annähernd}) \quad (91)$$

also

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{5}{2}.$$

Bei einer zweiphasigen Sinuswelle (Abb. 66) wird

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{5}{4}.$$

Ist also in einem gleichgerichteten Stromkreis entweder der Strom nicht in Phase mit der Spannung oder die Stromkurve nicht der Spannungskurve ähnlich, so gibt es nur einen einwandfreien Weg der Messung der wahren Leistung, nämlich die Verwendung eines von Frequenzfehlern freien elektrostatischen Wattmeters oder eines Kalorimeters.

Im allgemeinen werden jedoch diese Fehler in Gleichstromkreis um so geringer, je größer die Phasenzahl des Gleichrichters wird, denn um so geringer werden die Pulsationen des Gleichstromes.

## C. Die Gleichrichterschaltungen.

**96. Die allgemeinen Schaltungen der echten Ventile.** Bei statischer Verwendung eines Ventiles versteht sich die Schaltung von selbst. Das Ventil wird in den Stromkreis eingeschaltet, in dem nur eine Stromrichtung möglich sein soll.

Bei der dynamischen Verwendung oder Gleichrichtung hat diese einfachste Schaltung den Nachteil, daß die eine Richtung des Wechselstromes einfach unterdrückt wird, die einzelnen gleichgerichteten Stromstöße also durch Pausen unterbrochen sind. Deshalb wird diese Schaltung, soweit es sich um Strom niedriger Frequenz handelt, nur bei gelegentlicher Verwendung selbstgefertigter Ventile im Laboratorium oder bei kleinen Gleichrichtern für niedrige Spannungen benutzt, bei denen es auf einen guten Wirkungsgrad nicht so sehr ankommt.

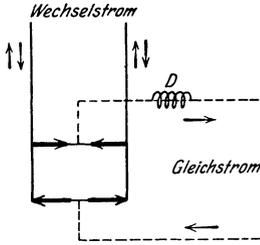


Abb. 77. Graetzsche Schaltung für einphasigen Wechselstrom.

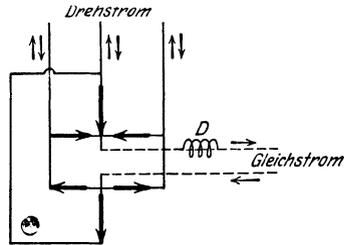


Abb. 78. Graetzsche Schaltung für Drehstrom.

Diese Schaltung läßt sich wesentlich dadurch verbessern, daß an Stelle eines Ohmschen Vorschaltwiderstandes eine möglichst verlustfreie Induktivität gewählt wird. Das hat zur Folge, daß sich die Dauer

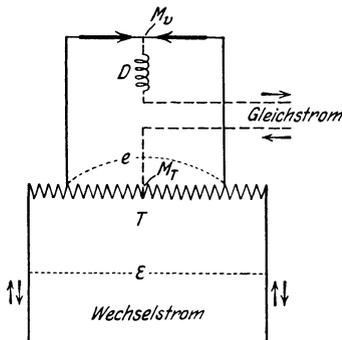


Abb. 79. Transformatorschaltung für einphasigen Wechselstrom.

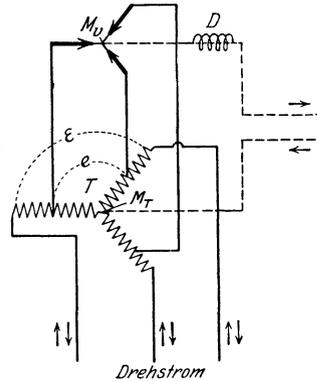


Abb. 80. Transformatorschaltung für Drehstrom.

der Durchlässigkeit nahezu über eine volle Periode anstatt über fast eine halbe bei Verwendung des Ohmschen Widerstandes erstreckt (siehe S. 132). Doch ist eine Beseitigung oder auch nur Verringerung der mit dieser Schaltung verbundenen starken Pulsationen nicht möglich.

Zur Ausnützung beider Richtungen des Wechselstromes müssen mehrere Ventile kombiniert werden. Bei der sog. Graetzschen Schaltung werden zum Gleichrichten von einphasigem Wechselstrom 4 Ventile in der in Abb. 77 angegebenen Weise miteinander verbunden. Die Ventile sind als Pfeile gezeichnet, deren Richtung die Flußrichtung

angeben soll. Zum Gleichrichten von Drehstrom sind zu der Graetzschen Schaltung nach Abb. 78 im ganzen 6 Ventile erforderlich. Die Graetzsche Schaltung ist bei den Trockenplattengleichrichtern üblich.

Bei der technischen Gleichrichtung größerer Wechselströme ist die gebräuchliche Schaltung die Transformatorenschaltung der Abb. 79 und 80.  $T$  ist ein sog. Spartransformator oder Autotransformator, an dessen Enden die Betriebswechselspannung  $E$  liegt. Die im Verhältnis der Windungszahlen verkleinerte oder vergrößerte Spannung  $e$  wird bei Einphasenstrom 2, bei Drehstrom 3 Ventilen zugeführt. Der den gleichgerichteten Strom führende Kreis liegt zwischen dem Mittelpunkt  $M_V$  der Ventile und dem Mittelpunkt  $M_T$  des Transformators.

Für größere Leistungen werden 6 Ventile in der in Abb. 81 wiedergegebenen Schaltung verwandt. Der Transformator liefert Sechspannenstrom. Auf der Gleichstromseite überlappen sich die Ströme der einzelnen Phasen so weitgehend, daß die Welligkeit des Stromes schon ohne Drosseln gering ist.

Bei Quecksilbergleichrichtern und Einphasenstrom ist eine Drosselspule im Gleichstromkreis erforderlich, um zu verhindern, daß der Strom unter die Mindeststromstärke sinkt. Bei Mehrphasenströmen wandert der Lichtbogen von Anode zu Anode und bleibt bei jeder so lange, wie sie die höchste positive Spannung von allen Anoden hat.

Der Nachteil dieser Schaltungen liegt darin, daß sie eines Transformators bedürfen, ihr Vorteil darin, daß sich das Verhältnis zwischen Wechsel- und Gleichspannung beliebig einstellen läßt und daß der Strom immer nur ein Ventil durchfließt, statt zwei, wie bei der Graetzschen Schaltung, so daß die Energieverluste in der Ventilgruppe nur halb so groß werden.

Eine Energierücklieferung von der Gleichstrom- zur Wechselstromseite ist bei den Gleichrichtern nicht möglich. Von der Frequenz des Wechselstromes sind die Gasentladungsventile unabhängig. Sie richten hochfrequente Schwingungen ebensogut gleich wie niederfrequenten Wechselstrom. Die Elektrolytgleichrichter dagegen werden infolge ihrer großen elektrostatischen Kapazität bei hohen Frequenzen wirkungslos. Die Spannung der Quecksilbergleichrichter kann nur auf der Anodenseite geregelt werden, und zwar werden Stufen- oder Drehtransformatoren dazu verwandt.

Bei Parallelschaltung müssen die Gleichrichter mit Anodendrosseln versehen werden.

**97. Bairstoschaltungen.** Für den Aluminiumgleichrichter sind von Bairsto<sup>1</sup> einige sinnreiche Schaltungen angegeben worden. Erstens läßt sich die Graetzsche Vierzellenschaltung dadurch vereinfachen, daß

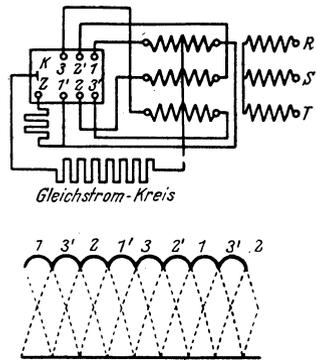


Abb. 81. Sechspannenschaltung für größere Leistungen.

<sup>1</sup> Bairsto, G. E.: Electr. Bd. 69, S. 625. 1912.

man gemäß Abb. 82 oben zwei Aluminiumelektroden in einem Gefäß unterbringt, so daß sich eine Dreizellenschaltung ergibt. Würde man auch die beiden anderen Aluminiumelektroden in eine Zelle bringen, um eine Zweizellenschaltung zu erhalten, so würde man die Gleichrichtung unmöglich machen, wie eine Verfolgung der Stromwege ohne weiteres ergibt. Trotzdem findet Bairsto eine Schaltung, die mit zwei Zellen

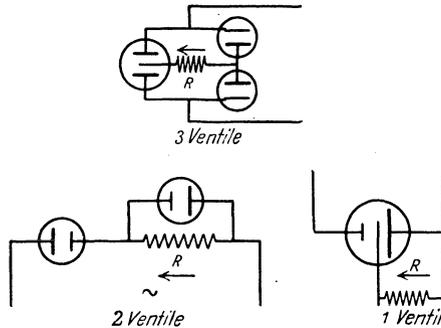


Abb. 82. Bairstoschaltungen für Aluminiumgleichrichter.

beide Stromrichtungen auszunutzen erlaubt, indem er die große elektrostatische Kapazität formierter Aluminiumelektroden zu Hilfe nimmt. Abb. 82 links gibt die Schaltung. In ihr ist  $R$  der Gleichstromverbrauchskörper. In der einen Stromrichtung läßt  $A$  den Strom durch  $R$  gehen, in der anderen sperrt  $A, B$  aber entlädt seine in der vorigen Stromrichtung in der Kapazität aufgespeicherte Elektrizitätsmenge in der gleichen

Richtung durch  $R$ , in der zuvor der Strom durch  $A$  floß. Ja, es gelingt Bairsto sogar nach Abb. 82 rechts mit einer einzigen Zelle beide Stromphasen auszunutzen. In den beiden letzten Fällen erhält man die günstigste Wirkung, wenn man die Elektrode  $B$ , die kapazitiv wirken soll, etwa achtmal so groß macht wie die Elektrode  $A$ .

**98. Die Greinacherschaltungen und Delonschaltung.** Greinacher<sup>1</sup> gibt eine Schaltung an, die erlaubt, aus einer Wechselspannungsquelle

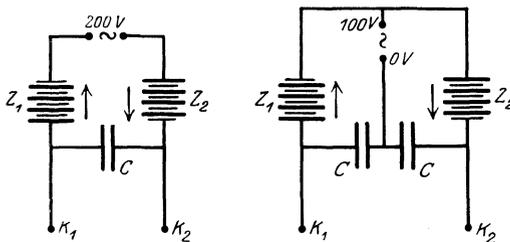


Abb. 83. Ventilschaltungen nach Greinacher zur Erzeugung konstanter Gleichspannungen.

eine bei Entnahme sehr kleiner Ströme von der Größenordnung  $10^{-4}$  Amp. durchaus konstante Gleichspannung zu bekommen. Greinacher erhielt bei seiner in Abb. 83 links wiedergegebenen Schaltung, mit zweimal vier Ventilszellen und einem Telephonkondensator von  $2 \mu\text{F}$  und 220 V effek-

tiver Wechselspannung eine konstante Gleichspannung von 260 V zwischen  $K_1$  und  $K_2$ . Die Ventilszellen  $Z_1, Z_2$  bestanden aus kleinen Reagensgläschen von 5 cm Höhe, in die je ein Aluminium- und ein Eisendraht tauchten. Der Elektrolyt war  $\text{NaHCO}_3$ -Lösung, auf die ein wenig Paraffinöl gegossen war. Mit Hilfe der Schaltung der Abb. 83 rechts läßt sich die Spannung verdoppeln. Durch Vergrößerung der Zellenzahl und Verwendung hinreichender Wechselspannung kann man auf

<sup>1</sup> Greinacher, H.: Verh. d. D. Phys. Ges. Bd. 16, S. 320. 1914; Z. techn. Phys. Bd. 4, S. 195. 1921.

diese Weise jede beliebige Gleichspannung erhalten. Abb. 84 enthält das allgemeine Schema dieser Schaltungen. Steht ein Wechselstrom mit der Scheitelspannung  $1\text{ V}$  zur Verfügung, so stellen sich zwischen den Punkten  $P_3P_3, P_5P_5, P_7P_7$  die konstanten Spannungen  $3, 5, 7\text{ V}$  ein.

Diese Greinacherschaltungen werden nicht nur in Verbindung mit Aluminiumgleichrichtern zur Erzielung mäßiger Gleichspannung, sondern auch in Verbindung mit Hochspannungsglühkathodengleichrichtern zum Erreichen sehr hoher Spannungen verwandt. Eine Abart der Greinacherschaltung, die besonders in der Röntgentechnik in Verbindung mit Hochspannungsglühventilen vielfach angewandt wird, ist die in Abb. 85 wieder gegebene Delonschaltung.  $v$  sind die Ventile.

Der eine Pol der Hochspannungsseite des Transformators wird geerdet. Auf der ungeerdeten Seite schwankt die Spannung in dem in Abb. 85 gewählten Beispiel zwischen  $+50000$  und  $-50000\text{ V}$ , also um  $100000\text{ V}$ , die auf der Gleichstromseite als Gleichspannung erscheinen. Es wird also die Wechselspannung durch diese Schaltung beim Gleichrichten verdoppelt. Da nun die Hochspannungsglühkathodengleichrichter nur eine beschränkte Stromstärke liefern, ist es wichtig, zu wissen, wie groß die Kondensatoren und die Widerstände im Stromkreis sein müssen, wenn die durch die Entnahme von Gleichstrom aus der Schaltung bedingten Spannungsschwankungen gering bleiben sollen. Diese Untersuchung ist durch Jaeger und v. Steinwehr<sup>1</sup> durchgeführt worden. Infolge des abwechselnden Ein- und Ausschaltens des Stromes durch das Ventil spielen die sog. Einschaltvorgänge eine wichtige Rolle und führen zu recht komplizierten Gleichungen. Die experimentelle Prüfung bestätigte die abgeleiteten Gleichungen vollkommen und führte zu der Darstellung der Abb. 86, der die Schaltung der Abb. 83 links zugrunde liegt. In Abb. 86 bedeutet  $v$  die Kondensatorspannung,  $V_0$  die Scheitelspannung des gleichgerichteten Wechselstroms,  $R_2$  den im Nebenschluß zum Kondensator liegenden Widerstand, der die Energieentnahme repräsentiert,  $R_1$  einen zwischen Kondensator und Ventil liegenden Widerstand,  $C$  die Kapazität in Farad und  $\omega$  die Kreisfrequenz.

Der Widerstand  $R_1$  ist der Ausdruck dafür, daß das Ventil nicht beliebige, sondern nur Ströme bis zu einem bestimmten Maximalwert liefert.

Die Abbildung zeigt, daß der Wert  $v$  dem Scheitelwert  $V$  der

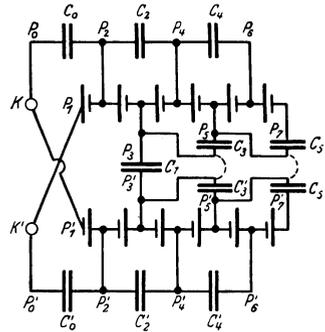


Abb. 84 Allgemeines Schema der Greinacherschaltungen.

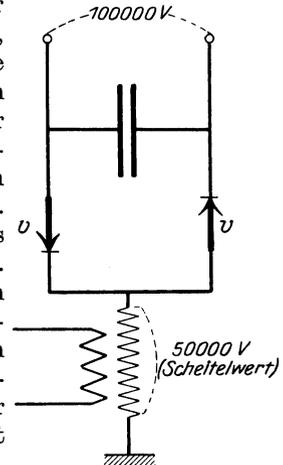


Abb. 85. Delonschaltung.

<sup>1</sup> Jaeger W, u. H. v. Steinwehr: Arch. Elektrot. Bd. 13, S. 330. 1924.

Wechselspannung um so näher kommt, die Spannungsschwankungen um so geringer werden, je größer  $R_2$ ,  $\omega$  und  $C$  und je kleiner  $R_1$  wird.

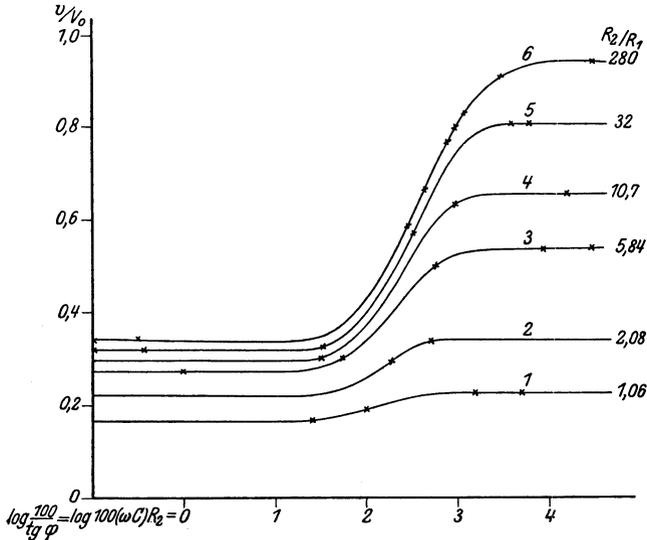


Abb. 86. Arithmetischer Mittelwert des Spannungsverhältnisses  $v/V_0$  im dynamischen Gleichgewicht bei der einfachen Greinacherschaltung.

**99. Einventilschaltung bei der Aufladung eines Kabels.** Bei Kabelprüfeinrichtungen wird häufig eine Schaltung verwendet, die nur die eine Halbwelle ausnutzt. Abb. 87<sup>1</sup> gibt das Schema.

Das Kabel ist in ihr durch einen verlustlosen Kondensator  $C$  und einen parallel zu diesem geschalteten Ohmschen Widerstand  $R$ , der gleich dem Isolationswiderstand ist, ersetzt. Ist der Widerstand  $R$  unendlich groß, so fließt Strom von  $U$  nach  $V$ , so lange das Potential  $V < U$  ist. Das heißt, so lange der Kondensator  $C$  noch nicht bis auf den Wert  $U$  aufgeladen ist. Abb. 88 zeigt schematisch die Vorgänge während einer solchen Aufladung.

Ist der Widerstand des Kondensators (Kabels) endlich, so wird dem Kondensator, so lange  $U < V$ , dauernd Strom entzogen. Die Kondensatorspannung sinkt während der Sperrzeit der Ventilröhre stetig, und erst wenn die Transformatorspannung die Kondensatorspannung überschreitet, wird der Kondensator

Abb. 87. Einröhren-Gleichrichterschaltung bei Aufladung eines Kabels.  $T$  = Transformator,  $V$  = Ventilröhre,  $C$  = Kapazität,  $R$  = Isolationswiderstand des Kabels,  $HT$  = Heiztransformator.

<sup>1</sup> Die Druckstöcke der Abb. 87 bis 89 wurden von Siemens & Halske A. G. Verfügung gestellt.

wieder geladen. Die Spannung wird etwa so, wie Abb. 89 zeigt, verlaufen. Die Aufladung erfolgt stoßartig. Der Ladungsverlust während einer Periode ist

$$\Delta Q = C(E_1 - E_2). \tag{92}$$

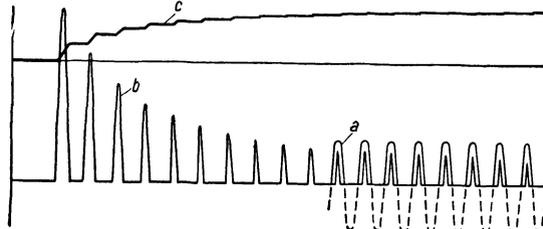


Abb. 88. Oszillogramm der Aufladung eines Kondensators von 0,25  $\mu$ F. a Ladespannung, b Ladestrom, c Kondensatorspannung.

Die gleiche Ladung muß während der Ladedauer zugeführt werden also

$$\int_{t_0}^{t_1} i dt = \Delta Q = C(E_1 - E_2). \tag{93}$$

Ferner ist

$$\Delta Q = J_0(T - \Delta t), \tag{94}$$

wenn  $T$  die Dauer der Periode eines Wechselstromes,  $\Delta t$  die Zeitdauer der Ladung und  $J_0$  die mittlere Entladungsstromstärke des Kondensators ist.

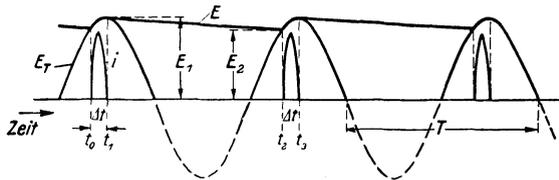


Abb. 89. Spannungsverlauf an einem Kabel (Kapazität und Isolationswiderstand) bei der Aufladung mit Gleichspannung.  $E_T$  = Ladespannung,  $i$  = Ladestrom,  $E_1$  = Maximalspannung,  $E_2$  = Minimalspannung am Kabel,  $t_1 - t_0 = \Delta t$  = Ladezeit,  $t_2 - t_1 = T - \Delta t$  = Entladezeit,  $T$  = Zeitdauer einer Periode.

$J_0 = (E_1 + E_2) / 2R$ , mit einer in der Regel zulässigen Vereinfachung. Daraus ergibt sich

$$\Delta E \% = 100 \frac{2(T - \Delta t)}{(T - \Delta t) + 2RC}. \tag{95}$$

Der Spannungsabfall ist also um so größer, je kleiner die Zeitkonstante  $RC$  des Kabels ist. Bei großen Isolationswiderständen läßt sich  $\Delta t$  gegenüber  $T$  vernachlässigen. Dann ermöglicht die Gleichung eine überschlägliche Berechnung des Spannungsabfalles.

## D. Die Berechnung der Gleichrichter.

100. Die Energieverluste in den Ventilen und bei der Gleichrichtung von Wechselstrom. Bei der Gleichrichtung von Wechselströmen mit Hilfe von Ventilen lassen sich vier Arten von Verlusten unterscheiden, nämlich:

1. Energieverluste im Ventil in der Sperrichtung,
2. Energieverluste im Ventil in der Flußrichtung,
3. Energieverluste im Gleichstromverbrauchskreis durch Lieferung von pulsierendem, statt konstantem Gleichstrom durch das Ventil,
4. Energieverluste im Gleichstromverbrauchskreis durch Wiedergutmachung der schädlichen Wirkung des in der Sperrichtung vom Ventil durchgelassenen Stromes.

Man hat deshalb auch zwei Wirkungsgrade zu unterscheiden, den Wirkungsgrad des Ventiles und den Wirkungsgrad der Gleichrichtung. Da die Verluste im Ventil von seiner  $e$ -,  $i$ -Kurve in beiden Stromrichtungen abhängen und diese für jedes Ventil eine andere ist, lassen sich allgemeine Regeln über die Berechnung der Verluste nicht aufstellen. Sicher ist nur, daß man die Verluste nicht als durch Ohmschen Widerstand erzeugt ansehen kann, denn es gibt wohl kein Ventil, dessen Charakteristik aus zwei Geraden verschiedener Neigung besteht. Bei den meisten technisch benutzten Ventilen wird die Verlustberechnung dadurch sehr einfach, daß die Verluste in der Sperrichtung zu vernachlässigen sind, weil kein merklicher Strom hindurchgelassen wird, während in der Flußrichtung ein konstanter, von der momentanen Stromstärke unabhängiger Spannungsverlust  $e_0$  stattfindet. Man erhält also den Verlust im Gleichrichter durch Multiplikation dieses Spannungsverlustes mit dem mit einem Drehspulinstrument gemessenen Mittelwert des vom Ventil gelieferten Gleichstromes  $i_M$ . Der Wirkungsgrad des Ventiles ist gleich dem Quotienten aus der abgegebenen Energie  $q_a$  und der aufgenommenen Energie  $q_e$  oder gleich  $\frac{q_a}{q_a + e_0 \cdot i_M}$ .

Eine derartige Verlustberechnung ist zulässig beim Quecksilberdampfgleichrichter, dem Edelgasgleichrichter, der Wehneltventilröhre und anderen, nicht dagegen bei den Elektrolytgleichrichtern, den Glimmlicht- und Trockenplattengleichrichtern.

Die zu den beiden Verlusten im Ventil noch hinzukommenden Verluste der Gleichrichtung werden von der Technik gern außer acht gelassen, da sie nicht im Ventil, sondern im Gleichstromverbrauchskörper entstehen.

Das Eigentümliche bei diesen Verlusten ist, daß sie bei gegebener Kurvenform des Gleichrichters je nach dem Verwendungszweck des Gleichstromes zwischen dem Wert 0 und einem maximalen Wert schwanken.

Die Wirkungsweise aller Gleichrichter besteht darin, daß sie, von den Verlusten abgesehen, die richtungwechselnden Impulse des Wechselstromes entweder in eine gemeinsame Richtung umklappen oder die eine der beiden Richtungen unterdrücken. Damit liefern sie intermittierenden oder pulsierenden Gleichstrom, also in jedem Falle einen Gleichstrom, dem ein Wechselstrom überlagert ist. Die effektive Stärke dieses Wechselstromes verhält sich zu der mittleren Stärke des Gleichstromes beim Gleichrichten von einphasigem Wechselstrom und Ausnützung beider Stromrichtungen ohne Induktivität im Gleichstrom-

kreis ungefähr wie 1 zu 2. Sie wird um so geringer, je mehr Phasen der gleichgerichtete Wechselstrom besitzt oder je stärkere Induktivität in den Gleichstromkreis eingeschaltet wird.

Die von diesem übergelagerten Wechselstrom mitgeführte Energie ist nur dann Nutzenergie, wenn es sich um Stromwirkungen handelt, die von der Richtung unabhängig sind, wie Wärmewirkung oder Beleuchtung.

Angenommen, es liege der Fall vor, daß ein Elektrizitätswerk seine Maschinen stillgelegt hat und von einer Überlandzentrale Wechselstrom bezieht, den es mit Hilfe von Gleichrichtern in pulsierenden Gleichstrom umwandelt und dem städtischen Netze zuführt.

Von diesem Netze mögen gespeist werden:

#### 1. Glühlampen und Heizkörper.

Diese machen sowohl die Gleichstromenergie wie die übergelagerte Wechselstromenergie nutzbar. Wird die zugeführte Energie mit einem Wattstundenzähler gemessen, so ist alles in Ordnung. Erfolgt die Messung jedoch mit Amperestundenzählern, so wird nur die Gleichstromenergie gemessen, die Wechselstromenergie erhält der Verbraucher gratis.

#### 2. Nebenschlußmotoren.

Die Nebenschlußwicklung hat infolge ihrer großen Induktivität für die Pulsationen einen sehr viel höheren Widerstand als für den Gleichstrom. Also pulsieren der Strom in der Nebenschlußwicklung und das Magnetfeld der Maschine nur in verschwindendem Betrage, der Motor nimmt nur die Gleichstromenergie auf. Dagegen bewirken die durch den Anker gehenden Pulsationen zusätzliche Wirbelstrom- und Hystereseverluste. Die von den Motoren verbrauchte Energie wird mit Wattstundenzählern zu hoch, mit Amperestundenzählern richtig gemessen.

#### 3. Hauptstrommotoren.

Die Motoren machen Gleichstromenergie und Wechselstromenergie nutzbar. Es gilt das unter 1. Gesagte. Es entstehen jedoch zusätzliche Wärmeverluste durch Wirbelströme und Hysterese.

#### 4. Akkumulatorenbatterien.

Infolge des sehr geringen inneren Widerstandes der Batterien pulsiert die Spannung an ihnen nicht merklich, sondern es werden die Spannungspulsationen in vergrößerte Strompulsationen umgesetzt. Nutzbar macht die Akkumulatorenbatterie natürlich nur den Gleichstrom. Die nutzbar zugeführte Energie wird mit Amperestundenzählern richtig gemessen.

#### 5. Galvanische Bäder.

Die Bäder nehmen beide Energien auf, machen jedoch nur die Gleichstromenergien nutzbar, während die Wechselstromenergie vollständig in Wärme verwandelt wird.

Zur besseren Übersicht diene folgende tabellarische Zusammenstellung:

Tabelle 29.

Verbrauchskörper	Aufgenommene Energie	Nutzbare Energie	Zusätzliche Verluste
Lampen und Heizkörper . . . . .	$G + W$	$G + W$	$O$
Nebenschlußmotoren . . . . .	$G + \frac{1}{n} \cdot W$	$G$	$\frac{1}{n} \cdot W$
Hauptstrommotoren . . . . .	$G + W$	$G + W$	$\frac{1}{n} \cdot W$
Akkumulatorenbatterien . . . . .	$G + W$	$G$	$W$
Galvanische Bäder. . . . .	$G + W$	$G$	$W$

Noch schlimmer steht es aus diesem Grunde um die vom Ventil infolge von unvollkommener Wirksamkeit in der Sperrichtung durchgelassene Strommenge. Diese ist nicht nur reiner Verlust, sondern hebt die beabsichtigte Wirkung des gewünschten Gleichstromes durch ihre entgegengesetzte Richtung auf und muß infolgedessen durch eine gleich große Menge der Flußrichtung wieder unschädlich gemacht werden. Doch kommen Ventile mit unvollkommener Wirksamkeit in der Sperrichtung nur selten vor.

Wegen der Schwierigkeiten der Messung siehe S. 113ff.

**101. Die wichtigsten Berechnungsformeln.** Die zur Berechnung der Ströme, Spannungen und Leistungen erforderlichen Formeln sind von Orlich in übersichtlicher Weise folgendermaßen zusammengestellt worden:

Vorausgesetzt werden folgende vereinfachenden Annahmen:

1. Im Gleichrichter findet kein Spannungsverlust statt. (Er läßt sich ohne Schwierigkeiten nachträglich berücksichtigen.)
2. Es werden keine Drosselspulen verwandt.
3. Der Gleichrichter wird durch Ohmsche Widerstände belastet.
4. Die Transformatoren besitzen weder Verlust noch Streuung.

Der Gleichrichter möge mit Hilfe von  $n$ -Anoden einen  $n$ -phasigen Strom gleichrichten. Dann ist die Dauer der Wirksamkeit einer Anode  $\frac{2\pi}{n}$ .

Für die Berechnung der Effektiv- und Mittelwerte werde der Höchstwert der Sinuskurve gleich 1 gesetzt. Dann wird an der Kathode

$$\text{der effektive Wert des Stromes } i_{\text{eff}, k} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{n}}, \quad (96)$$

$$\text{der arithmetische Mittelwert des Stromes } i_{\text{ml}, k} = \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}; \quad (97)$$

an einer Anode

$$\text{der effektive Wert des Stromes } i_{\text{eff}, a} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} + \frac{1}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{n}}, \quad (98)$$

$$\text{der arithmetische Mittelwert des Stromes } i_{\text{ml}, a} = \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}. \quad (99)$$

Ferner wird

$$\frac{i_{\text{eff}, a}}{i_{\text{mi}, k}} = C_i = \frac{\pi}{n \cdot \sin \frac{\pi}{n}} \sqrt{\frac{1}{2n} + \frac{1}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{n}}. \quad (100)$$

$$\frac{\text{Phasenspannung}_{\text{eff}}}{\text{Gleichspannung}_{\text{mi}}} = C_e = \frac{\pi}{\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{n}}. \quad (101)$$

Für  $C_e$  und  $C_i$  ergeben sich folgende Werte:

Hinsichtlich der Leistung sind nicht weniger als 6 verschiedene Werte zu unterscheiden, nämlich:

1.  $N_{=} = e_{\text{mi}, k} \cdot i_{\text{mi}, k}$  die Gleichstromleistung auf der Kathodenseite des Gleichrichters.

2.  $N_{\infty}$  die tatsächliche Wechselstrom- oder Wellenstromleistung. Da der Wirkungsgrad zu 100% vorausgesetzt wurde, ist es gleichgültig, für welche Stellen der Schaltung diese Leistung berechnet wird.

3.  $N_{sL}$  die Scheinleistung im Netz auf der Primärseite des Transformators.

4.  $N_{s1}$  die Scheinleistung in der primären } Wickelung des

5.  $N_{s2}$  die Scheinleistung in der sekundären } Transformators.

6.  $N_x = \frac{1}{2} (N_{s1} + N_{s2}) =$  Typenleistung des Transformators.

Diese Leistungen lassen sich durch folgende Formeln miteinander verknüpfen:

$$\frac{N_{\infty}}{N_{=}} = K = \frac{\frac{1}{2} + \frac{n}{4\pi} \sin \frac{2\pi}{n}}{\frac{n^2}{\pi^2} \sin^2 \frac{\pi}{n}}. \quad (102)$$

$$\begin{array}{ccc} n = & 2 & 3 & 6 \\ K = & 1,23 & 1,03 & 1,00 \end{array}$$

$$\frac{N_{s2}}{N_{=}} = \frac{\pi^2}{2} \frac{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{n}}}{n \sin^2 \frac{\pi}{n}} \quad (103)$$

$N_{s1} : N_{s2}$  und  $N_{sL} : N_{s1}$  hängen von der Schaltungsart des Transformators ab.

Abb. 90 gibt die wichtigsten Zahlenwerte nach einer Untersuchung von Kaden.

Ferner gibt Orlich folgendes Berechnungsbeispiel:

Verlangt wird die Gleichstromleistung:

$$e_{\text{mi}, k} = 180 \text{ V}, \quad i_{\text{mi}, k} = 100 \text{ Amp.}, \quad N_{=} = 18 \text{ kW.}$$

Spannungsabfall im Gefäß 20 V.

Transformator: Stern, Stern. Primär dreiphasig, sekundär sechsphasig.

$$i_{\text{eff}, a} = C_i \cdot i_{\text{mi}, k} = 40,9 \text{ Amp.}$$

$$e_{\text{eff}, ph} = C_e \cdot e_{\text{mi}, k} = 0,74 \cdot 200 = 148 \text{ V.}$$

$$N_{s2} = 6 \cdot 148 \cdot 40,9 = 36,6 \text{ kVA.}$$

Phasen- zahl	Gleichstrom			Anodenstrom			Verhältniswerte			
	Form	Höchst- Effektiv- Wert	Mittel- Wert	Form	Höchst- Effektiv- Wert	Mittel- Wert	$\frac{C_i \cdot \text{Anoden-strom eff.}}{\text{Gleichstrommittel}}$	$\frac{C_e \cdot \text{Phasen-spannung eff.}}{\text{Gleichspannungmittel}}$		
1(2)		1,00	0,77	0,64		1,00	0,50	0,32	0,785	1,110
3		1,00	0,84	0,83		1,00	0,49	0,28	0,587	0,855
6		1,00	0,95	0,95		1,00	0,39	0,16	0,409	0,740

Abb. 90. Stromformen und Berechnungswerte aus dem Gleichrichterbetrieb.

Der Transformator habe den Wirkungsgrad 0,98 und den Leistungsgrad 0,95. Dann wird

$$N_{s1} = \frac{20 \cdot 1,05}{0,98 \cdot 0,95} = 22,5 \text{ kVA. Typenleistung} = 29,6 \text{ kVA.}$$

$$N_{sL} = 22,5 = \sqrt{3} \cdot E_{\text{verk.}} \cdot i,$$

z. B.  $e_{\text{verk.}} = 220 \text{ V, } i = 59 \text{ Amp.}$

**102. Leistungsfaktor, Verzerrungsfaktor, Phasenverschiebung.** Beispielsweise nimmt ein Einphasengleichrichter mit starker Drossel im Gleichstromkreis, der mit sinusförmiger Wechselspannung gespeist wird, auf der Primärseite den Strom der Abb. 91 auf. Dieser Strom ist genau in Phase mit der Spannung.

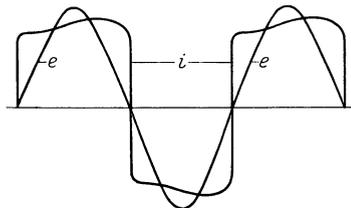


Abb. 91. Strom  $i$  und Spannung  $e$  auf der Primärseite eines Einphasengleichrichters mit kräftiger Drossel im Gleichstromkreis.

Man misst jedoch  $e$  und  $i$  mit dynamometrischen Amperemetern,  $e \cdot i = L$  mit einem Wattmeter, so ist

$$\eta = \frac{L}{e \cdot i} < 1. \quad (104)$$

Da diese Abweichung vom Werte 1 durch die Verzerrung des Stromes hervorgerufen wird, ist der Quotient  $\eta$  Verzerrungsfaktor genannt worden. Hiernach setzt sich also beim Gleichrichter der Leistungsfaktor einer Gleichrichteranlage mit Transformator aus einem kleineren durch den Transformator hervorgerufenen Phasen-

verschiebungsfaktor  $\cos \varphi$ , und einem größeren durch die Stromverzerrung bedingten Verzerrungsfaktor  $\eta$  zusammen.

Nun ist es dem Elektrizitätswerk an sich gleichgültig, ob der verringerte Leistungsfaktor, der zu vermehrten Verlusten führt, durch Phasenverschiebung oder Kurvenverzerrung hervorgerufen ist. Es besteht jedoch noch die auch für die Elektrizitätswerke wichtige Frage, wie groß der Leistungsfaktor wird, wenn ein Gleichrichter mit Kurvenverzerrung und ein Motor mit Phasenverschiebung parallel liegen.

Diese Frage ist von Krijger rechnerisch verfolgt worden. Um die Rechnung durchführen zu können, mußte dieser jedoch Vereinfachungen einführen, die den Wert der Rechnung stark beeinträchtigen. Es empfiehlt sich, die Verhältnisse an einem einfachen Beispiel rein graphisch darzustellen.

In Abb. 92 ist *a* die Strom-, *b* die Spannungskurve eines Gleichrichters, *b* die gleiche Spannungskurve und *c* die um  $30^\circ$  dagegen verschobene Stromkurve eines Motors.

In *d* sind die beiden Stromkurven graphisch addiert.

Man sieht aus *c* ohne weiteres, daß die Stromverschiebung nahezu verschwunden

und die Stromkurve gegenüber *a* der Sinusform beträchtlich nähergekommen ist. Das heißt: Wenn ein Apparat mit Phasenverschiebung und ein Gleichrichter mit Kurvenverzerrung parallel geschaltet werden, so ist der Gesamtleistungsfaktor größer als das Mittel der einzelnen Leistungsfaktoren.

Zu dem gleichen Ergebnis kommt Krijger auf Grund seiner Rechnungen hinsichtlich des 3-Phasen- und 6-Phasengleichrichters.

Die Rechnungen von Krijger finden durch Messungen des Verfassers ihr volle Bestätigung. An einem von der Gleichrichter G. m. b. H. für diesen Zweck besonders hergestellten Meßaggregat, bestehend aus zwei 10 Amp.-Drehstromgleichrichtern und einer regelbaren Induktivität für 10 Amp. ergab sich, daß der Leistungsfaktor eines induktiv belasteten Netzes durch Einschalten von Gleichrichtern wesentlich verbessert wird, und zwar ist die Verbesserung am größten, wenn die Stromstärken beider Kreise einander gleich sind, die Phasenverschiebung im induktiven Kreis groß ist und die Gleichrichter sowohl Anoden- wie Kathodendrosseln besitzen.

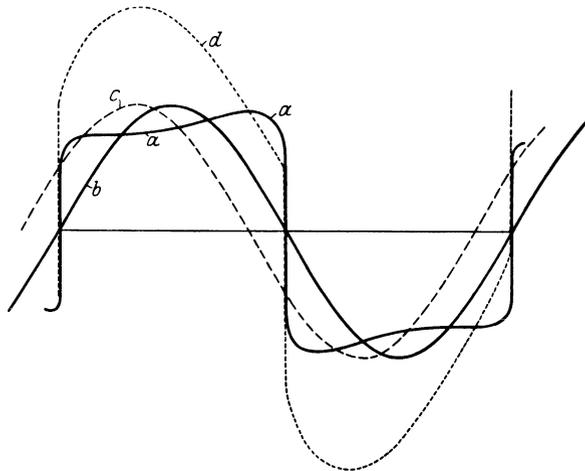


Abb. 92. Zusammensetzung der Ströme eines Gleichrichters und eines Motors mit  $30^\circ$  Phasenverschiebung. *a* Strom des Gleichrichters, *b* Spannung des Gleichrichters und des Motors, *c* Strom des Motors, *d* Summe von *a* und *c*.

Die Elektrizitätswerke sind also in der Lage, geringe, durch Phasenverschiebung erzeugte Leistungsfaktoren des Netzes durch Einbau von Gleichrichtern zu verbessern.

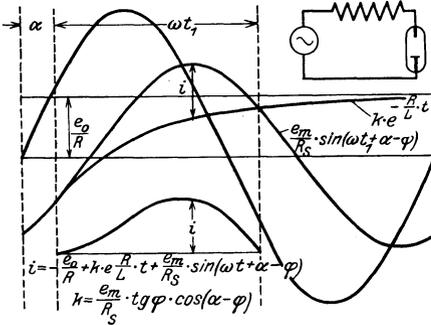


Abb. 93. Graphische Ermittlung des Einsetzens des Stromes in einem Ventile mit Zündspannung.

**103. Einsetzen des Stromes in einem Ventil mit dauernd emittierender Kathode.** Das Einsetzen des Stromes wird am einfachsten mit Hilfe der Abb. 93 berechnet, bei der die Zeitachse so gelegt ist, daß der Strom zur Zeit  $t = 0$  einsetzt. Es sei die Betriebsspannung  $e = \mathfrak{E} \sin(\omega t + \alpha)$ . Die Zündspannung sei gleich der Brennspannung und konstant, hierzu trete noch eine konstante Gegenspannung einer Akkumulatorbatterie. Die Summe beider

Spannungen sei  $e_0$ . Dann ist nach Abb.93  $e_0 = \mathfrak{E} \sin \alpha$ . Das Ventil sei belastet durch eine Induktivität  $L$  und einen Widerstand  $R$ , dann lautet die allgemeine Differentialgleichung:

$$e = e_0 + Ri + L \frac{di}{dt}. \tag{105}$$

Ihre allgemeine Lösung ist

$$i = -\frac{e_0}{R} + k \cdot e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{\mathfrak{E}}{R_s} \sin(\omega t + \alpha - \varphi), \tag{106}$$

wo  $R_s^2 = R^2 + \omega^2 L^2$  und  $\text{tg } \varphi = \omega L/R$  ist.

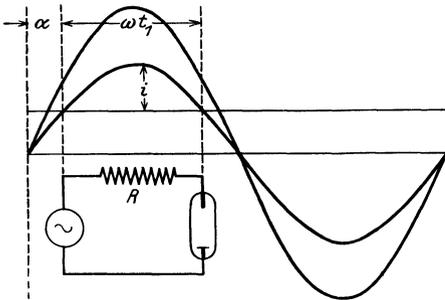


Abb. 94. Sonderfall der Abb. 93.  $L = 0$ .

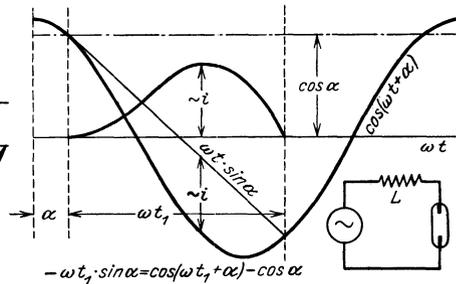


Abb. 95. Sonderfall der Abb. 93.  $R = 0$ .

$k$  ermittelt sich mit Hilfe der Grenzbedingungen: für  $t = 0$  (Augenblick des Zündens) ist  $e = e_0$ ,  $i = 0$ , daraus

$$k = \frac{\mathfrak{E}}{R_s} \text{tg } \varphi \cos(\alpha - \varphi); \tag{107}$$

für  $t = t_1$  wird wiederum  $i = 0$ .

In Abb. 93 ist die Gleichung geometrisch gelöst.  
Sonderfälle sind

$$L = 0; \omega t = 2\pi - 2\alpha \text{ Abb. 94,} \quad (108)$$

$$R = 0; \omega t \cdot \sin \alpha = \cos \alpha - \cos(\omega t_1 + \alpha) \text{ Abb. 96.} \quad (109)$$

In Abb. 96 ist die Dauer der Durchlässigkeit in Winkelgraden für beide Grenzfälle eingezeichnet.

**104. Die einzelnen Ströme im einphasigen Gleichrichter.**  
Abb. 97 enthält die verschiedenen Ströme bei induktionsfreier Last, und zwar ist

- 1 die eine,
- 2 die andere Anodenspannung,
- 3 die Gesamtspannung,
- 4 der gleichgerichtete Strom ohne Anodendrosseln,
- 5 der Anodenstrom mit Anodendrosseln,
- 6 der sich daraus ergebende gleichgerichtete Strom,
- 7 die Spannung zwischen den Anoden mit Anodendrosseln,
- 8 die Spannung an den Anodendrosseln.

Abb. 98 zeigt die Alleinzone  $A$ , während der nur eine Anode arbeitet, und die Übergangszone  $\bar{U}$ , während der beide Anoden gleichzeitig arbeiten.

**105. Die allgemeinen Gleichungen des  $n$ -phasigen Gleichrichters ( $n = 3$ ).**

Es seien

$e_1, e_2, e_3$  die drei Phasenspannungen des Transformators,

$e_0$  die Summe aus dem Spannungsverlust im Ventil und der eventuellen Batteriespannung,

$R_a$  und  $L_a$  Widerstand und Induktivität im Anodenkreis,

$R_k$  und  $L_k$  Widerstand und Induktivität im Kathodenkreis,

dann gilt I für die Alleinperiode

$$e_1 (R_a + R_k) i'_k + (L_a + L_k) \frac{di'_k}{dt} + e_0. \quad (110)$$

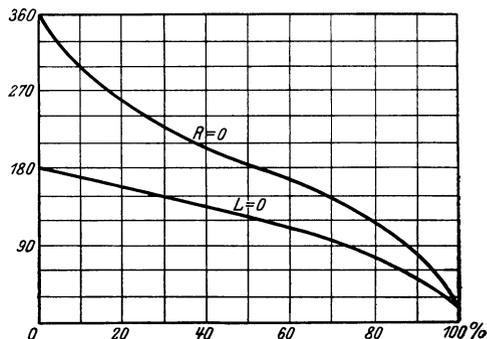


Abb. 96. Dauer der Durchlässigkeit eines Ventiles mit Zündspannung für  $R = 0$  und für  $L = 0$ .

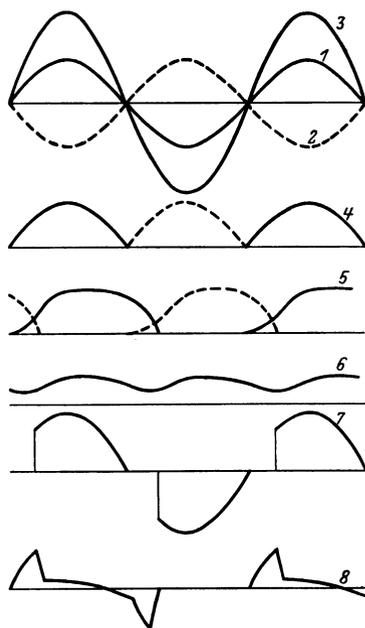


Abb. 97. Die einzelnen Ströme in einem einphasigen Gleichrichter.

II für die Übergangsperiode

$$e_1 = R_a i_{a_1} + L_a \frac{di_{a_1}}{dt} + R_k i_k + L_k \frac{di_k}{dt} + e_0, \quad (111)$$

$$e_2 = R_a i_{a_2} + L_a \frac{di_{a_2}}{dt} + R_k i_k + L_k \frac{di_k}{dt} + e_0. \quad (112)$$

Nun ist  $i_{a_1} + i_{a_2} = i_k$ , folglich wenn  $i_{a_1} - i_{a_2} = i_\delta$  gesetzt wird,

$$e_1 + e_2 = (R_a + 2R_k) i_k + (L_a + 2L_k) \frac{di_k}{dt} + 2e_0 \quad (113)$$

und

$$e_1 - e_2 = R_a i_\delta + L_a \frac{di_\delta}{dt}. \quad (114)$$

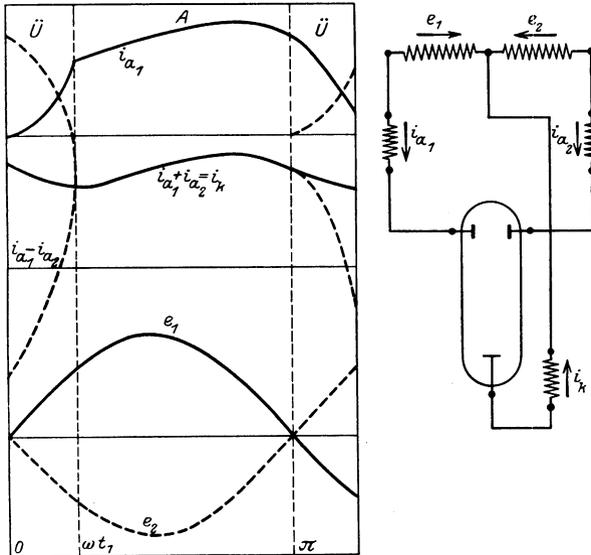


Abb. 98.  $\dot{U}$  = Übergangszone,  $A$  = Alleinzone.

Zur Ermittlung der Grenzbedingungen sei

$t_1$  die Zeit, zu der Anode 2 anfängt, zu arbeiten,

$t_2$  die Zeit, zu der Anode 1 aufhört, zu arbeiten,

dann ist für

$$t = t_1 \quad i_k = i'_k = i_\delta$$

$$t = t_2 \quad i_k = i'_k = i_\delta.$$

Die Zündbedingung ist

$$e_1 - R_a i'_k - L_a \frac{di'_k}{dt} = e_2. \quad (115)$$

Mit Hilfe dieser fünf Bedingungen lassen sich die drei Integrationskonstanten und die Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  am besten geometrisch bestimmen. Jede der drei Differentialgleichungen hat die Form

$$e = e_0 + Ri + L \frac{di}{dt}. \quad (116)$$

Ist 
$$\omega t = x, \quad \frac{e - e_0}{R} = \eta, \quad \frac{\omega L}{R} + x = \xi,$$

so wird 
$$\frac{di}{dx} = \frac{\eta - i}{\xi - x}. \quad (117)$$

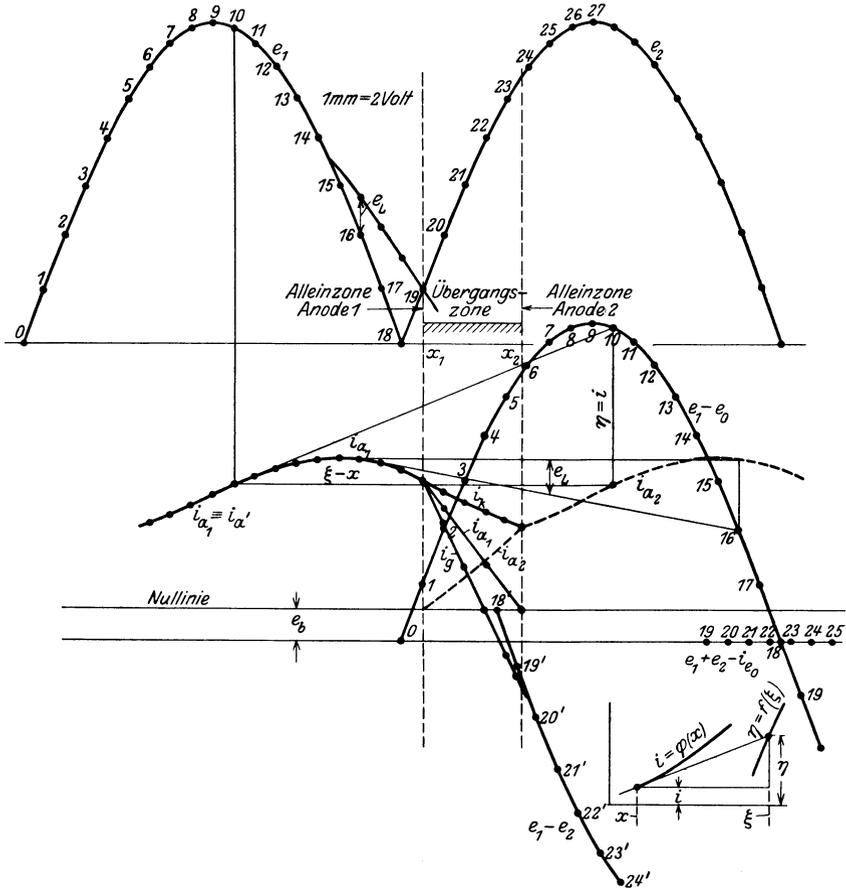


Abb. 99. Geometrische Konstruktion der Stromkurven eines Gleichrichters.  
 $e_{m1} = e_{m2} 150 \text{ V}$ ,  $e_s = 15 \text{ V}$ ,  $R_a = 0$ ,  $R_{u2} = 4 \text{ Ohm}$ ,  $L_a = 0,002 \text{ H}$ ,  $L_u = 0,02 \text{ H}$ ,  $1 \text{ mm} = \frac{1}{4} \text{ Amp.}$ ,  
 Abszisse =  $90 \text{ mm} = 0,01$ .  $1 \text{ mm} = 4 \text{ V}$  in der Alleinzone,  $1 \text{ mm} = 4 \text{ V}$  in der Übergangszone.

Daraus ergibt sich eine einfache geometrische Methode, um jede der Kurven  $i'_k$ ,  $i_k$ ,  $i_\delta$  Punkt für Punkt zu konstruieren, wie es in Abb. 99 angedeutet ist.

### E. Besondere Eigentümlichkeiten der Gleichrichtung.

106. Veränderung der Phasendauer durch die Ventile. In der normalen Wechselstromtechnik hat man es in der Regel mit Beharrungszuständen, mit eingeschwungenen Systemen, zu tun. Bei einem Ventil

oder einem Gleichrichter dagegen ist jede Periode der Durchlässigkeit ein Einschaltvorgang, da die ihr vorhergehende Periode der Undurchlässigkeit den Strom unterbrochen hatte. Das führt einerseits zu manchmal recht störenden und schwer zu erklärenden Erscheinungen an technischen Gleichrichtern, die gelegentlich eine unerklärliche Zerstörung des Gleichrichters zur Folge haben, andererseits aber auch zu interessanten neuen Vorgängen. Anfänglich hatte die allgemein verbreitete Anschauung geherrscht, daß die Wirkungsweise eines Ventiles darin bestände, die eine Phase des Stromes stärker zu schwächen als die andere, ohne an der relativen Dauer der beiden Phasen etwas zu ändern.

Papalex<sup>1</sup> wies demgegenüber zum ersten Male nach, daß diese Behauptung nur dann richtig ist, wenn in dem Ventilkreis weder Kapazität noch Induktivität vorhanden ist.

Enthält der Ventilkreis eine Induktivität, so wird die Dauer der Flußrichtung auf Kosten der Dauer der Sperrrichtung um so mehr vergrößert, je größer  $\omega L$  ( $\omega$  Kreisfrequenz,  $L$  Induktivität) gegenüber dem Ohmschen Widerstand  $R$  des Kreises ist. Ist  $R$  gegenüber  $\omega L$  zu vernachlässigen, so erstreckt sich die Dauer der Durchlässigkeit nahezu über die volle Periode, wenn sich das Ventil wie ein Gebilde verhält, das für die beiden Stromrichtungen sehr verschiedene, konstante Ohmsche Widerstände und keine Mindestspannung hat, sondern schon bei der geringsten Spannung in der durchlässigen Richtung anspricht.

Eine Dauer der Durchlässigkeit von  $360^\circ$  erscheint zunächst paradox. Man ist auf den ersten Blick geneigt, anzunehmen, daß der Strom, der im Beginn der Phase zugleich mit der Spannung einsetzt, infolge der Anwesenheit der Induktivität eine Nacheilung von  $90^\circ$  erleidet, also nach  $180 + 90 = 270^\circ$  wieder aufhört. Eine weitere Überlegung zeigt



Abb. 100. Wirkung einer Induktivität auf die Form eines gleichgerichteten Stromes.

— Strom bei reinem Ohmschen Widerstand.  
 - - - - - Strom bei reiner Induktivität ohne Berücksichtigung der Phasenverschiebung.  
 — Strom bei reiner Induktivität mit Berücksichtigung der Phasenverschiebung.

jedoch, daß die Frage anders behandelt werden muß. Einen unterbrochenen Gleichstrom kann man sich mathematisch in einen konstanten Gleichstrom und einen darüber liegenden Wechselstrom zerlegt denken. In Abb. 100 ist der dick ausgezogene Strom in bezug auf die Nulllinie unterbrochener Gleichstrom, in bezug

auf die Linie  $AB$  des konstanten Gleichstromes dagegen ein Wechselstrom, der um die Gerade  $AB$  mit unsymmetrischer Form, aber nach beiden Seiten mit gleicher mittlerer Intensität schwankt.

Nun fließt der Gleichstrom  $A$  ungehindert durch die Induktivität hindurch, der Wechselstrom jedoch findet einen Widerstand, der um so größer ist, je höher die Frequenz des Wechselstromes ist. Der Wechselstrom der Abb. 100 besteht aus einer Fourierschen Reihe sinusförmiger Glieder mit stark überwiegender Grundwelle. Da schon die erste Ober-

<sup>1</sup> Papalex, N.: Ann. Physik Bd. 39, S. 976. 1912.

schwingung, die die dreifache Frequenz der Grundwelle hat, von der Induktivität neunmal so stark geschwächt wird, wie die Grundwelle und die höheren Obertöne noch viel stärker geschwächt werden, ergibt sich, daß der von der Induktivität hindurchgelassene Strom nahezu reine Sinusform hat. Da er gleichzeitig um  $90^\circ$  nach rückwärts verschoben wird, ergibt sich für ihn die in Abb. 100 gezeichnete Kurve, die in der Tat die Nulllinie nur punktwise berührt, also aus nahezu  $360^\circ$  dauernden Stromstößen besteht.

Papalexı gründete seine Untersuchungen auf das elektrolytische Aluminiumventil und wurde zu der Annahme sehr verschiedener konstanter Ohmscher Widerstände in beiden Stromrichtungen durch die verfehlten Untersuchungen von Taylor verleitet, der Strom- und Spannungskurve an einem schwer überlasteten Ventil aufnahm. Ein bis zur Grenze des Zusammenbruches belastetes Aluminiumventil zeigt in der Tat annähernd konstanten Ohmschen Widerstand in beiden Stromrichtungen, da in der Sperrichtung der durch die hohe Kapazität des Ventiles bedingte Kapazitätsstrom gegen den Belastungsstrom zurücktritt und in der Flußrichtung die Mindestspannung des Ventiles gegenüber dem Ohmschen Spannungsverlust im Elektrolyten und der Oxydschicht kaum in Frage kommt.

Auch bei seinen eigenen Versuchen zur Prüfung der Formeln arbeitete Papalexı mit stark überlasteten Zellen, denen er eine Gleichstromstärke von  $20 \text{ Amp./dm}^2$  entnahm. Durch diese bei normal belasteten Ventilen auch nicht annähernd zutreffende Annahme konstanter Ohmscher Widerstände büßen die Untersuchungen von Papalexı an Wert ein.

Ferner haben sich mit der Frage der Wirkung dem Ventil parallel geschalteter Kapazität auf die Form der Strom- und Spannungskurven Güntherschulze und Lindemann<sup>1</sup> in einer Untersuchung beschäftigt, in der sie nachwiesen, daß die von Zenneck beobachtete Abnahme der Gleichrichterwirkung elektrolytischer Ventilzellen mit steigender Frequenz sich auf die Wirkung der elektrostatischen Kapazität und der Mindestspannung dieser Ventilzellen zurückführen läßt.

Nach Güntherschulze läßt sich ein elektrolytisches Ventil als Gebilde gemäß Abb. 101a auffassen, in der  $v$  das durch die wirksame Schicht gebildete eigentliche Ventil,  $r$  der Widerstand des Elektrolyten und  $C$  die große elektrostatische Kapazität der wirksamen Schicht ist.

Dieses Gebilde läßt sich nun leicht mit Hilfe eines Quecksilberlichtbogenventiles nachahmen, dem man einen Widerstand  $r$  vor und eine Kapazität  $C$  parallel schaltet. Dieser Ersatz hat den großen Vorteil scharf definierter, vollständig konstanter Versuchsbedingungen.

Die theoretische Behandlung der Erscheinungen wird erleichtert, wenn man sich zuvor mit Hilfe der Abb. 101a anschaulich macht, wie die

---

<sup>1</sup> Güntherschulze, A. und R. Lindemann: Phys. Z. Bd. 15, S. 254. 1914.

Kapazität  $C$  und die Mindestspannung  $v_0$  auf das Verhältnis  $\frac{i_g}{i_f}$  wirken. Wäre die Kapazität nicht vorhanden, so wäre die Spannung an der Zelle gleich der Betriebsspannung, solange die Zelle undurchlässig ist. Da nun aber der Kapazitätsstrom auch während der Undurchlässigkeit der Zelle fließt und im Widerstand  $r$  einen Spannungsverlust erzeugt, so ist die Spannung an der Zelle um so kleiner, je größer der Kapazitätsstrom, und je größer  $r$  ist, um so später wird also auch die Mindestspannung erreicht. Das heißt, mit steigendem Kapazitätsstromen und steigendem  $r$  wird  $i_g$  auf einen immer geringeren Bruchteil der Periode beschränkt, während der Kapazitäts-

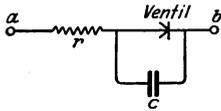


Abb. 101 a. Ersatzschema eines elektrolytischen Ventils.

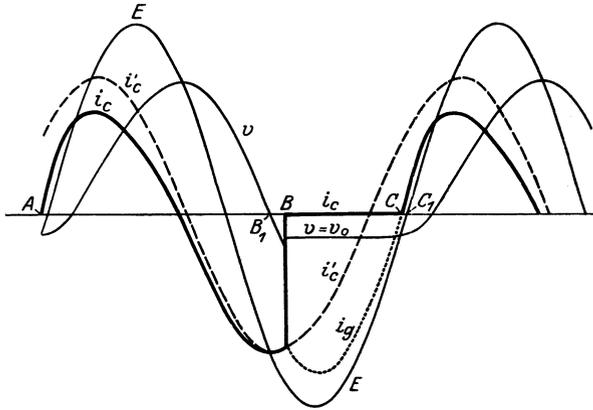
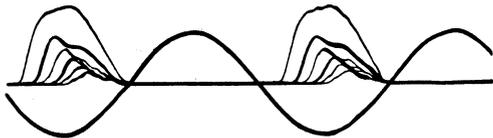
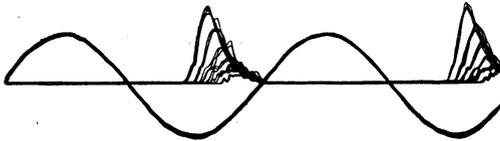


Abb. 101 b. Mit dem Ersatzschema berechnete Strom- und Spannungskurven.

strom einen immer größeren Teil der Periode einnimmt. Ganz entsprechend hat eine Steigerung der Mindestspannung eine Verkürzung der Dauer des Gleichstromes zur Folge. Wird endlich der durch den



$r = 95, 200, 300, 400, 500, 600$  Ohm.



$r = 400, 500, 600, 700, 800, 1000$  Ohm.

Abb. 101 c. Gemessene Strom- und Spannungskurven.

Kapazitätsstrom erzeugte Spannungsverlust in  $r$  so groß, daß der Scheitelwert der Zellenspannung gerade die Mindestspannung erreicht, so wird  $i_g$  gleich Null.  $i_f$  ist jetzt reiner Kapazitätsstrom und hat den Wert

$$i_f = \frac{E}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{I}{\omega C}\right)^2}}, \quad (118)$$

wenn  $E$  die Betriebsspannung,  $\omega$  die Kreisfrequenz ist. Ferner gilt für diesen kritischen Punkt die Gleichung

$$r_0 = \frac{\sqrt{\frac{E^2}{v_0^2} - I}}{\omega C}, \quad (119)$$

wenn  $v_0$  die Mindestspannung und  $r_0$  der Widerstand ist, für den  $i_g = 0$  wird. Die Gl. (119) zeigt, daß  $r_0$  umgekehrt proportional  $\omega$ ,  $C$  und nahezu auch  $v_0$  ist. Die Bedingung für das Vorhandensein einer Gleichstromkomponente ist  $r < r_0$ . Je größer also bei gegebener Kapazität, Betriebsspannung und Mindestspannung die Frequenz ist, um so kleiner muß der Vorschaltwiderstand, um so größer also die Strombelastung der Zelle sein, wenn die Zelle noch Gleichstrom liefern soll. Man sieht, die Resultate Zennecks<sup>1</sup> ergeben sich hier zunächst qualitativ ohne weiteres. Seine Vermutung, daß  $\frac{i_g}{i_f}$  zugleich mit  $i_f$  Null wird, bestätigt sich allerdings nicht.

Die genauere Theorie der Erscheinungen möge an Hand der Abb. 101 b, die nach Oszillographenaufnahmen gezeichnet ist, entwickelt werden. In Abb. 101 b ist  $E$  die Betriebsspannung,  $V$  die Spannung an (Quecksilberventil parallel Kapazität),  $i_c$  der Kapazitätsstrom, der fließen würde, wenn das Ventil nicht vorhanden wäre,  $i_c$  der Gesamtstrom. Bei den Oszillographenaufnahmen war  $E = 130$  V eff.,  $r = 500$  Ohm,  $C = 12 \mu\text{F}$ ,  $n = 50$

$$\frac{1}{\omega C} = 250 \text{ Ohm}, \quad v_0 = 18 \text{ V.}$$

Die Kurven für  $V$ ,  $i_c$  und  $i_g$  lassen deutlich die beiden, in jeder Periode des Wechselstroms wiederkehrenden Zeitabschnitte der Undurchlässigkeit  $AB$  und der Durchlässigkeit  $BC$  erkennen. Indem wir von einem unmittelbar nach dem Einschalten der Zelle sich vollziehenden Ausgleichsvorgange absehen, sei der Punkt  $A$  als der Anfangspunkt der Zeit gewählt. In diesem Augenblick habe die Betriebsspannung  $E$  den Phasenwinkel  $\alpha$ , es sei also:

$$E = E_0 \sin(\omega t - \alpha). \quad (120)$$

Dem Punkte  $B$  entspreche die Zeit  $t_1$ , im Punkte  $C$  ist die erste volle Periode  $\tau = \frac{2\pi}{\omega}$  verflissen.

Während der Zeit 0 bis  $t_1$  fließt der Kapazitätsstrom  $i_c$ . Für ihn gilt die Gleichung:

$$i_c r + V = E_0 \sin(\omega t - \alpha), \quad (121)$$

wenn  $V$  die Spannung an dem Ventil zur Zeit  $t$  bedeutet.

Die Beziehung

$$i_c = C \frac{dV}{dt},$$

in der  $C$  wie oben die Kapazität des Ventils bezeichnet, liefert für  $V$  die allgemeine Differentialgleichung

$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{rC} = \frac{E_0}{rC} \sin(\omega t - \alpha). \quad (122)$$

<sup>1</sup> Zenneck, J.: Phys. Z. Bd. 14, S. 535. 1913.

Ihre Lösung ist unter Berücksichtigung der Bedingung:

$$\left. \begin{aligned} V &= -v_0 \text{ für } t = 0: \\ V &= E_0 \sin \varphi \cdot \cos(\omega t - \alpha - \varphi) - \\ &\quad - e^{\omega t \operatorname{tg} \varphi} \{E_0 \sin \varphi \cos(\alpha + \varphi) + v_0\}, \\ \operatorname{tg} \varphi &= -\frac{I}{r \cdot \omega \cdot C} \end{aligned} \right\} \quad (123)$$

zur Zeit  $t = t_1$  wird das Ventil durchlässig, weil die Ventilspannung  $V$  wiederum den Wert der Mindestspannung erreicht:

$$t = t_1; \quad V = -v_0.$$

Auf diesen Fall angewandt, liefert Gl. (123) eine Bestimmungsgleichung für die Zeit  $t_1$ , die in der Form geschrieben sei:

$$\begin{aligned} \cos(\omega t_1 - \alpha - \varphi) - \cos(\alpha + \varphi) e^{\omega t_1 \operatorname{tg} \varphi} \\ = -\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} (I - e^{\omega t_1 \operatorname{tg} \varphi}). \end{aligned} \quad (124)$$

In der Zeit der Durchlässigkeit des Ventils  $t_1 < t < \tau$  ist der Kapazitätsstrom  $i_c$  wegen der Konstanz von  $V = -v_0$  gleich Null. Da die Selbstinduktion im Schließungskreise neben  $r$  zu vernachlässigen sein soll, gilt das Ohmsche Gesetz:

$$i_g \cdot r - v_0 = E_0 \sin(\omega t - \alpha). \quad (125)$$

Zur Zeit  $t = \tau$  ist  $i_g = 0$ , also auch:

$$-v_0 = E_0 \sin(2\pi - \alpha).$$

Hieraus bestimmt sich der Phasenwinkel  $\alpha$  im stationären Zustande; es ist

$$\sin \alpha = \frac{v_0}{vE}.$$

Die angegebenen Gleichungen gestatten ohne weiteres, die Werte des mit einem Hitzdrahtinstrument zu messenden quadratischen Mittelwertes des Stromes:

$$J_f^2 = \frac{I}{\tau} \int_0^\tau i^2 dt \quad (126)$$

und des mit einem Gleichstrominstrument meßbaren, durch das Ventil fließenden Gleichstromes

$$J_g = \frac{I}{\tau} \int_0^\tau i dt \quad (127)$$

zu berechnen.

Wegen der Kompliziertheit des für  $J_f$  geltenden Wertes soll hier nur der Wert  $J_g$  angegeben werden:

$$\begin{aligned} J_g = \frac{I}{\tau} \int_{t_1}^\tau i_g dt = \frac{E_0}{2\pi r} \{ \cos(\omega t_1 - \alpha) - \cos \alpha \} \\ + \frac{V_0}{r} \cdot \frac{\tau - t_1}{\tau}. \end{aligned} \quad (128)$$

Die Gl. (124) wurde von den Verfassern durch die in Abb. 101 c wiedergegebenen oszillographischen Aufnahmen geprüft.

Diese Aufnahmen enthalten den Gleichstrom  $i_g$  in dem Ventilkreis selbst bei verschiedenen Widerständen  $r$ . Außerdem findet sich auf ihnen die Betriebsspannung  $E$ , die 69 V eff. betrug. Ferner war  $C = 12,7 \mu\text{F}$ ,  $\omega = 314$ .

Die Oszillogramme lassen gut erkennen, wie mit zunehmendem Widerstand, also zunehmender Wirkung der Kapazität gegenüber dem Widerstande, die Dauer der Durchlässigkeit kleiner wird.

Endlich hat W. Jaeger<sup>1</sup> die Frage für den Fall eines Ventiles, das in der Sperrichtung praktisch undurchlässig ist, in der Flußrichtung eine konstante, von der momentanen Stromstärke unabhängige Mindestspannung und keine merkliche elektrostatische Kapazität hat, erschöpfend behandelt. Da die wichtigsten technischen Ventile, wie der Quecksilberdampfgleichrichter, Edelgasgleichrichter, das Wehnelt-Ventil unter diese Annahme fallen, sind die Untersuchungen Jaegers von größter Wichtigkeit. Jaeger setzt: Betriebsspannung

$$\mathfrak{B} = V \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (128a)$$

Ventilspannung in der Sperrichtung  $v$ , Ventilspannung in der Flußrichtung  $v_0$  (Mindestspannung), Strom  $i$ , Dauer der Flußrichtung  $t$ , Dauer der ganzen Periode  $T$ ,  $\sqrt{-1} = j$ .

Unter Verwendung symbolischer Darstellung leitet er folgendes ab:

**107. Ventil in Serie mit Widerstand  $R$  und Induktivität  $L$ .** Für die Durchlaßzone  $t = 0$  bis  $t_1$  (siehe Abb. 102) ist die Ventilspannung konstant gleich der Mindestspannung ( $v = v_0$ ) und es gilt ferner  $\mathfrak{B} - v_0 = Ri + L \frac{di}{dt}$ , mit der Bedingung, daß zur Zeit  $t = 0$  der Strom  $i = 0$  ist. Hieraus folgt, wenn der Wert von  $\mathfrak{B}$  zur Zeit  $t = 0$  mit  $\mathfrak{B}_0$  bezeichnet wird,

$$i = \underbrace{\frac{\mathfrak{B}}{R + j\omega L}}_{\text{I}} - \underbrace{\frac{v_0}{R}}_{\text{II}} - \underbrace{\left( \frac{\mathfrak{B}_0}{R + j\omega L} - \frac{v_0}{R} \right)}_{\text{III}} e^{-\frac{R}{L}t}, \quad (129)$$

ferner der Wert von  $\mathfrak{B}$  zur Zeit 0:

$$\mathfrak{B}_0 = V \sin \varphi = v_0, \quad (130)$$

woraus sich die Phase  $\varphi$  ergibt. Da auch für  $t = t_1$  der Strom Null ist, folgt zur Bestimmung von  $t_1$ , wenn zur Abkürzung

$$\alpha = \frac{\omega L}{R} \quad (131)$$

gesetzt wird:

$$e^{-\frac{R}{L}t_1} = \frac{\mathfrak{B}_1 - (1 + j\alpha)v_0}{\mathfrak{B}_0 - (1 + j\alpha)v_0} = \frac{(1 - j\alpha)\mathfrak{B}_1 - (1 + \alpha^2)v_0}{(1 - j\alpha)\mathfrak{B}_0 - (1 + \alpha^2)v_0}, \quad (132)$$

und

$$\mathfrak{B}_1 - v_0 = L \left( \frac{di}{dt} \right)_{t_1},$$

worin  $\mathfrak{B}_1$  den Wert von  $\mathfrak{B}$  zur Zeit  $t_1$  bedeutet.

<sup>1</sup> Jaeger, W.: Arch. Elektrot. Bd. 2, S. 418. 1914.

In der Sperrzone:  $t = t_1$  bis  $T$  ist  $i = 0$  und die Ventilspannung gleich der Betriebsspannung ( $v = \mathfrak{B}$ ).

Ist der Widerstand  $R$  sehr klein, so folgt für den Strom in der Durchlaßzone:

$$i = \frac{\mathfrak{B}}{R + j\omega L} - \frac{\mathfrak{B}_0}{R + j\omega L} - \frac{v_0}{L}t + \frac{R}{L} \left( \frac{\mathfrak{B}_0}{R + j\omega L}t + \frac{v_0}{2L}t^2 \right) \quad (133)$$

und für eine reine Selbstinduktion ( $R = 0$ ), bzw. für sehr große Werte von  $\omega L^*$

$$i = \frac{1}{\omega L} \left( \underset{\text{I}}{j\mathfrak{B}_0} - \underset{\text{II}}{j\mathfrak{B}} - \underbrace{2\pi v_0 \frac{t}{T}} \right). \quad (134)$$

Wäre keine Mindestspannung vorhanden ( $v_0 = 0$ ) so würde man in letzterem Falle erhalten:

$$i = \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0}{j\omega L}. \quad (135)$$

Die Gleichungen sind in der Abb. 102 veranschaulicht.

Die Kurven gelten für alle Frequenzen und sind wesentlich durch das Verhältnis  $v_0/V$  bestimmt. Die Konstruktionselemente (siehe

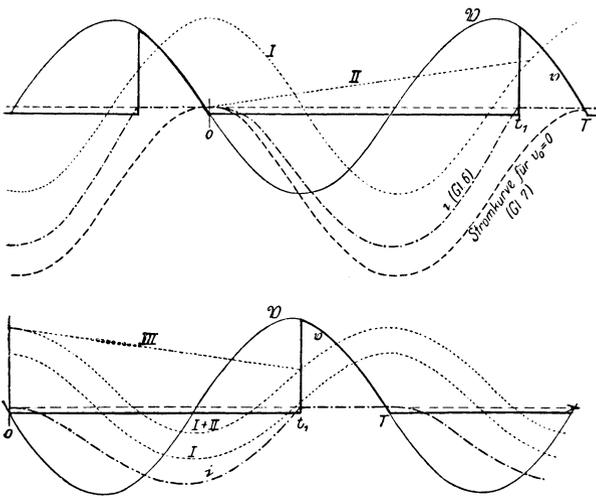


Abb. 102. Ventil in Serie mit Induktivität und Widerstand.

Gl. 134) sind in leichtersichtlicher Weise punktiert in der Abbildung angegeben. Ebenso ist auch die Stromkurve eingezeichnet, welche man für  $v_0 = 0$  erhalten würde (Gl. 135). Man sieht, daß nur in diesem Fall die Durchlaßzone durch die Selbstinduktion über die ganze Periode verbreitert wird, daß aber im allgemeinen wegen der Mindestspannung,

auch wenn kein Ohmscher Widerstand in der Anordnung vorhanden ist, eine Sperrzone übrig bleibt, deren Breite durch das Verhältnis  $v_0/V$  bedingt ist. Im vorliegenden Fall bleibt auch bei reiner Selbstinduktion noch eine Sperrzone von etwa  $0,2 T$  übrig.

\* Die Differentialgleichung in der Durchlaßzone heißt dann  $\mathfrak{B} - v_0 = L \frac{di}{dt}$ ; das Integral  $\int_0^{t_1} L \frac{di}{dt} dt = \int_0^{t_1} (\mathfrak{B} - v_0) dt$  ist Null.

Bei der Aufnahme durch den Oszillographen können diese Kurven durch den Widerstand des Apparates erheblich geändert werden, wie an Abb. 103 erläutert werden soll. Die Spitzen der Kurven werden unter Umständen durch auftretende  $e$ -Funktionen abgerundet.

**108. Widerstand und Induktivität in Serie mit dem Ventil, außerdem Widerstand parallel dazu.** Die Anordnung wird durch Abb. 103 links oben dargestellt. Der Widerstand  $R'$  kann den Widerstand des Oszillographenkreises darstellen, welcher zur Aufnahme der Ventilspannung dienen soll. Die Sperrzone ist hier von  $t = 0$  bis  $t_1$  gerechnet, die Durch-

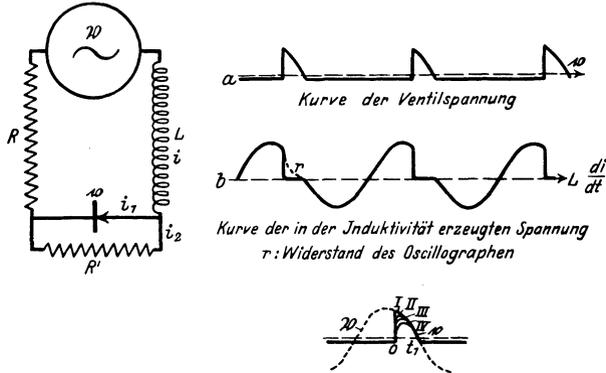


Abb. 103. Ventil in Serie mit Widerstand und Induktivität, außerdem Widerstand parallel dazu.

laßzone  $t_1$  bis  $T$ . In der letzteren Zone hat man zwei Zweigströme  $i_1$  und  $i_2$  zu unterscheiden, in der Sperrzone ist  $i_2 = i$ .

In der Sperrzone gelten daher die Gleichungen:

$$v = \mathfrak{B} - Ri - L \frac{di}{dt} = R'i, \tag{136}$$

mit der Bedingung, daß zur Zeit  $t = 0$  und  $t = t_1$ , die Ventilspannung  $v = v_0$  (Mindestspannung) ist.

Man erhält hieraus, wenn  $R_1 = R + R'$  gesetzt wird:

$$i = \frac{\mathfrak{B}}{R_1 + j\omega L} - \left( \frac{\mathfrak{B}_0}{R_1 + j\omega L} - \frac{v_0}{R'} \right) e^{-\frac{R_1}{L}t}, \tag{137}$$

$$v = \frac{R'\mathfrak{B}}{R_1 + j\omega L} - \left( \frac{R'\mathfrak{B}_0}{R_1 + j\omega L} - v_0 \right) e^{-\frac{R_1}{L}t}. \tag{138}$$

Aus Gl. (138) ergibt sich auch die Bedingung für  $t_1$  (da zu dieser Zeit  $V = V_1$  und  $v = v_0$  ist), die wieder durch eine transzendente Gleichung dargestellt wird.

Für  $t = 0$  ist  $i = v_0/R'$ ; für  $R' = \infty$  gehen die Gleichungen in diejenigen des Falles 2 über ( $v = \mathfrak{B}$ ,  $i = 0$ ).

In der Durchlaßzone ist  $v = v_0$ , also  $i_2 = v_0/R'$  und

$$\mathfrak{B} - v_0 = Ri + L \frac{di}{dt}. \tag{139}$$

Da für  $t = T$  die Betriebsspannung  $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0$  und  $i = v_0/R'$  sein muß, ergibt sich also für Ströme:

$$i = \frac{\mathfrak{B}}{R + j\omega L} - \frac{v_0}{R} - \left( \frac{\mathfrak{B}_0}{R - j\omega L} - \frac{v_0}{R'} - \frac{v_0}{R} \right) e^{-\frac{R}{L}(t-T)}; \quad (140)$$

$$i_2 = \frac{v_0}{R'}$$

und für den Ventilstrom  $i_1$ :

$$i_1 = i - i_2. \quad (141)$$

Für große Werte von  $R'$  ergibt sich somit in der Sperrzone angenähert:

$$i = \frac{1}{R'} \left( \mathfrak{B} - (\mathfrak{B}_0 - v_0) e^{-\frac{R'}{L}t} \right) \quad \text{oder nahe} \quad i = \frac{\mathfrak{B}}{R'}, \quad (142)$$

$$v = R'i = \mathfrak{B} - (\mathfrak{B}_0 - v_0) e^{-\frac{R'}{L}t},$$

Für  $R' = \infty$  wird  $v = \mathfrak{B}$ , wie im Falle 2, d. h. man erhält die Kurve der Abb. 102.

Im allgemeinen wird aber die Spitze der Kurve durch die  $e$ -Funktion abgerundet; der Wert von  $v$  steigt dann mehr oder weniger allmählich

auf denjenigen der Betriebsspannung. Statt einer Kurve von der Form  $a$  der Abb. 103 oben erhält man die verzerrten Kurven Abb. 103 unten, welcher die Verhältnisse des Schemas Abb. 103 links oben zugrunde gelegt sind unter der Annahme  $L=1$  Henry,  $R'=10000$  Ohm (II),  $5000$  (III) und  $2000$  (IV) Ohm; I entspricht  $R' = \infty$ . Man sieht also, daß hier ein sehr großer Widerstand nötig ist, um die Verzerrung der Kurve zu vermeiden.

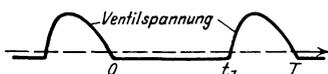
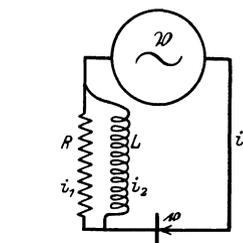


Abb. 104. Induktivität und Widerstand parallel, beide in Serie zum Ventil.

**109. Induktivität und Widerstand parallel, beide in Serie zum Ventil.** Die Anordnung zeigt Abb. 104 oben. Die Zeit  $t = 0$  ist als Beginn der Durch-

laßzone genommen (Abb. 104 unten). Der Widerstand  $R$  kann z. B. den Widerstand des Oszillographenkreises darstellen, der zur Aufnahme der in  $L$  induzierten Spannung dient; der Fall hat aber auch abgesehen von dieser Anwendung Interesse.

Für den Gesamtstrom:

$$i = i_1 + i_2 \quad (143)$$

gelten die Bedingungen des Falles 2; aber die Einzelströme  $i_1$  und  $i_2$  sind zu Beginn und Ende der Durchlaßperiode entgegengesetzt gleich, im übrigen aber um  $90^\circ$  gegeneinander phasenverschoben.

In der Durchlaßzone  $t = 0$  bis  $t_1$  gelten die Gleichungen

$$Ri_1 = L \frac{di_2}{dt} = \mathfrak{B} - v_0 \quad (144)$$

mit den vorstehend angegebenen Bedingungen für  $i_1 + i_2$ .

Man erhält für die drei Ströme die Gleichungen:

$$\begin{aligned}
 i_1 &= \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0}{R}, \\
 i_2 &= \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0}{j\omega L} - \frac{2\pi v_0 t}{\omega L T} - \frac{\mathfrak{B}_0 - v_0}{R}, \\
 i &= \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0}{j\omega L} - \frac{2\pi v_0 t}{\omega L T} + \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0}{R} \\
 &= (\mathfrak{B} - \mathfrak{B}_0) \left( \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{R} \right) - \frac{v_0 t}{L}.
 \end{aligned} \tag{145}$$

Zur Zeit  $t = 0$  ist  $i_1 = -i_2 = \frac{\mathfrak{B}_0 - v_0}{R}$ ; ebenso folgt für  $t = t_1$ :  $i_1 = -i_2 = \frac{\mathfrak{B}_1 - v_0}{R}$ , unter Berücksichtigung der folgenden Bedingung, die sich aus der Gleichung für  $i$  ergibt, da zur Zeit  $t = t_1$  (wie auch für  $t = 0$ ) der Gesamtstrom  $i = 0$  ist:

$$v_0 t_1 = \frac{(\mathfrak{B}_1 - \mathfrak{B}_0)(R + j\omega L)}{j\omega R}. \tag{146}$$

Für die Sperrzone ( $t_1$  bis  $T$ ) gilt:

$$v = \mathfrak{B} - Ri_1, \quad i = 0. \tag{147}$$

Da zur Zeit  $t_1$  die oben angegebene Beziehung gilt, erhält man für den Strom, der während der Sperrzone in dem aus  $L$  und  $R$  gebildeten Stromkreis verläuft:

$$\begin{aligned}
 Ri_1 - L \frac{di_2}{dt} &= 0, \quad \text{also} \quad i_1 = -i_2 \\
 &= \frac{\mathfrak{B}_1 - v_0}{R} e^{-\frac{R}{L}(t-t_1)}
 \end{aligned} \tag{148}$$

für  $t = T$  ist dann:

$$\frac{\mathfrak{B}_1 - v_0}{R} e^{-\frac{R}{L}(T-t_1)} = \frac{\mathfrak{B}_0 - v_0}{R},$$

wodurch eine weitere Bedingungsgleichung für  $V_1$  und  $V_0$  gegeben ist.

Für die Ventilspannung erhält man nach Gl. (148) den Ausdruck:

$$v = \mathfrak{B} - (\mathfrak{B}_1 - v_0) e^{-\frac{R}{L}(t-t_1)} \tag{149}$$

für die Spannung an den Enden von  $R$  und  $L$ :

$$(\mathfrak{B}_1 - v_0) e^{-\frac{R}{L}(t-t_1)}. \tag{150}$$

Durch den Widerstand  $R$  wird also die Kurve der Ventilspannung in analoger Weise verändert wie im vorigen Fall. Ebenso wird die Kurve  $b$  der Abb. 103 verzerrt, indem an Stelle des bei  $t_1$  auftretenden Sprunges eine Abnahme nach Gl. (150) erfolgt, wie Abb. 103 (Kurve  $b$ , gestrichelte Linie  $r$  der ersten Periode) zeigt.

**110. Widerstand in Serie, Induktivität parallel zum Ventil.** Die Anordnung zeigt Abb. 105. In der Sperrzone (hier von  $t = 0$  bis  $t_1$ , links) geht ein Strom nur durch  $L$  und  $R$ ; die am Ende der Sperrzone in  $L$  induzierte EMK ist gleich der Mindestspannung  $v_0$ , die von diesem Moment an bis  $t = T$  konstant bleibt. Der Strom im Selbstinduktionskreis verändert sich von diesem Zeitpunkte an umgekehrt proportional der Induktivität, für sehr kleine Werte derselben kann er in kurzer Zeit auf einen sehr hohen Betrag kommen. Das Nähere geht aus den im folgenden mitgeteilten Gleichungen hervor.

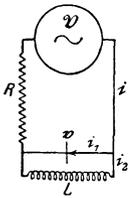


Abb. 105 a.

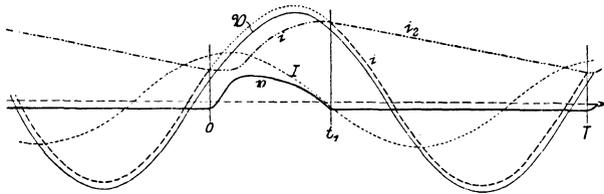


Abb. 105 b.

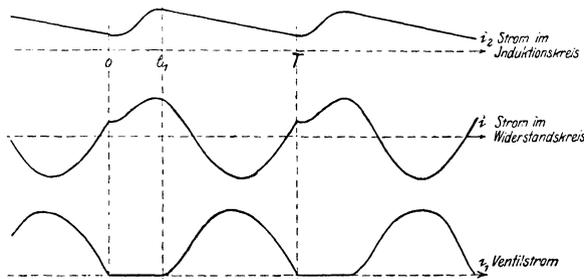


Abb. 105 c.

Abb. 105 a bis c. Widerstand in Serie Induktivität parallel zum Ventil.

Für die Sperrzone ( $t = 0$  bis  $t_1$ ) gelten die Gleichungen:

$$i = i_2; \quad v = \mathfrak{B} - Ri = L \frac{di}{dt}; \quad \mathfrak{B} = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (151)$$

mit der Bedingung, daß für  $t = 0$  und  $t = t_1$  die Ventilspannung  $v = 0$  sein muß. Daher ergeben sich folgende Gleichungen:

$$i = \frac{\mathfrak{B}}{R + j\omega L} + \frac{1}{R} \left( \frac{j\omega L \mathfrak{B}_0}{R + j\omega L} - v_0 \right) e^{-\frac{R}{L}t}, \quad (152)$$

$$v = \frac{j\omega L \mathfrak{B}}{R + j\omega L} - \left( \frac{j\omega L \mathfrak{B}_0}{R + j\omega L} - v_0 \right) e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Zur Zeit  $t = 0$  wird  $i = \frac{\mathfrak{B}_0 - v_0}{R}$ ; aus der Bedingung für  $v$  zur Zeit  $t_1$  folgt eine transzendente Gleichung für  $t_1$ :

$$e^{-\frac{R}{L}t_1} = \frac{j\beta \mathfrak{B}_1 - v_0}{j\beta \mathfrak{B}_0 - v_0}, \quad \text{wo } \beta = \frac{\omega L}{R + j\omega L}, \quad (153)$$

woraus weiter folgt, daß  $i = \frac{\mathfrak{B}_1 - v_0}{R}$  zur Zeit  $t_1$  ist.

In der Durchlaßzone  $t_1$  bis  $T$  gelten die Gleichungen:

$$Ri = \mathfrak{B} - v_0; \quad L \frac{di_2}{dt} = v_0; \quad v = v_0. \quad (154)$$

Unter Beachtung der Bedingungen, daß zur Zeit  $t_1$  sein muß  $i = i_2 = (\mathfrak{B}_1 - v_0)/R$ ,  $v = v_0$  und  $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_1$  ergeben sich die Gleichungen:

$$\begin{aligned} i &= \frac{\mathfrak{B} - v_0}{R}; \quad i_2 = \frac{\mathfrak{B}_1 - v_0}{R} + \frac{v_0}{L}(t - t_1) \\ &= \frac{\mathfrak{B}_1 - v_0}{R} + \frac{2\pi v_0}{\omega L} \left( \frac{t - t_1}{T} \right). \end{aligned} \quad (155)$$

Am Ende der Periode ( $t = T$ ) ist wieder  $i = i_2$ ,  $\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0$ , woraus die weitere Bedingungsgleichung folgt:

$$\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_1 = v_0 \frac{R}{L} (T - t_1). \quad (156)$$

Die transzendenten Gl. (153) und (156) für  $t_1$  und  $\varphi$  sind am einfachsten dadurch zu umgehen, daß man den Zeitpunkt  $t_1$  durch Konstruktion ermittelt und dann eventuell mit Hilfe der Gleichungen genauer berechnet.

Die drei Ströme  $i$ ,  $i_2$ ,  $i_1$  im Widerstand, Induktionszweig und dem Ventil (Strom nach oben geklappt) sind in der unteren Hälfte der Abb. 105 nochmals in kleinerem Maßstabe gesondert gezeichnet, da die obere etwas unübersichtlich ist. Der Strom  $i_2$  stellt einen undulierenden Gleichstrom dar.

Die bei geringer Frequenz vorhandene starke Verbreiterung der Durchlaßzone verschwindet also bei Hochfrequenz und geht auf die Breite der halben Periode zurück, wobei gleichzeitig der Strom im Induktionskreise verschwindet, wenn nicht die Selbstinduktion entsprechend der Zunahme der Periode verkleinert wird.

### III. Die einzelnen Gleichrichtertypen.

#### A. Mechanische Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom.

**111. Rotierende Maschinen.** Strenggenommen ist jede Gleichstromdynamo ein mechanischer Gleichrichter, denn der in ihrem Anker fließende Wechselstrom wird durch den Kommutator in Gleichstrom verwandelt.

Die Aufgabe, von außen zugeführten Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln, kann mit Hilfe rotierender Anordnungen auf vierfache Weise gelöst werden.

a) Beim Motorgenerator wird ein Wechselstrommotor mit einem Gleichstromgenerator gekuppelt. Die Spannungen beider können beliebig gewählt werden.

b) Beim Einankerumformer sind die beiden Maschinen zu einer einzigen zusammengefaßt. Der gleichen Wicklung wird der treibende Wechselstrom zugeführt und der erzeugte Gleichstrom entnommen. Das Verhältnis von Wechselspannung zu Gleichspannung ist nicht beliebig, sondern durch die Art der Umformung gegeben.

c) Beim Kaskadenumformer sitzen ein Asynchronmotor und der Läufer eines Umformers auf derselben Welle. Der Läufer des Motors speist den Anker des Umformers. Das Verhältnis von Wechselspannung zu Gleichspannung ist durch die Wicklungsverhältnisse gegeben.

d) Beim umlaufenden Gleichrichter (Transverter) wird ein Kommutator in Verbindung mit Schleifringen, die auf einer gemeinsamen Welle sitzen, von einem kleinen Synchronmotor angetrieben.

Allgemein läßt sich folgendes sagen:

Die Einankerumformer verlangen fast stets einen besonderen Transformator, während die Motorgeneratoren und Kaskadenumformer bis zu ziemlich hohen Spannungen, 3000 bis 5000 V., unmittelbar an das Netz angeschlossen werden können. Der Einankerumformer hat den größten, der Motorgenerator den kleinsten Wirkungsgrad. Die Gleichspannung kann bei beiden Arten zwischen einem positiven und einem negativen Maximum reguliert werden. Kaskadenumformer läßt man mit Vorliebe auf Bahnen, Einankerumformer auf Netze für Licht und Kraft arbeiten.

**112. Der Einankerumformer.** Der rotierende Teil des Einankerumformers besteht aus einem Trommelanker, der sich zwischen zwei

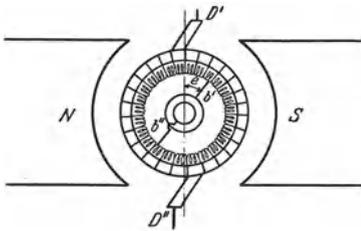


Abb. 106. Schaltungsschema eines einphasigen Einankerumformers.

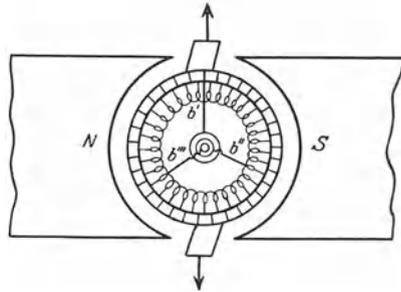


Abb. 107. Schaltungsschema eines Drehstrom-einankerumformers.

festen Polen dreht und auf der einen Seite einen Kommutator, auf der anderen Schleifringe trägt. Die Schaltung ist in Abb. 106 wieder gegeben. Bei gleichmäßiger Wicklung ist die Wechselspannung

$$e = \mathfrak{E} \sin \omega t. \tag{157}$$

Für  $\omega t = \frac{\pi}{2}$  ist  $e = \mathfrak{E}$ , wo  $\mathfrak{E}$  die Gleichspannung an den Bürsten ist.

Also ist der Effektivwert der Wechselspannung  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ , das Verhältnis von

Wechsel- zu Gleichspannung  $\frac{\mathfrak{E}}{\sqrt{2}}$ . Bei Drehstrom (Abb. 107) ist

$$\mathfrak{E} = E = \frac{e_{\sigma t} \sqrt{3}}{2 \sqrt{2}} = 0,612 e_{\sigma t}. \tag{158}$$

Ähnlich ergibt sich bei 6-Phasenstrom

$$E = 0,354 e_{gl} . \tag{159}$$

Abb. 108 gibt die Stromkurve im Anker eines Einankerumformers. Lläuft der Einankerumformer mit Wechselstromantrieb und Gleichstromlieferung, so läuft er als Synchronmotor. Er kann dann gegen den Generator in Schwingungen geraten und erhält infolgedessen eine Dämpfungswicklung oder ein Schwungrad.

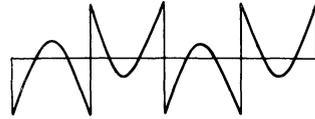


Abb. 108. Strom im Anker eines Einankerumformers.

Lläuft er mit Gleichstromantrieb und Wechselstromlieferung, so ist seine Geschwindigkeit von der Größe der Belastung abhängig, die Frequenz des gelieferten Wechselstromes also veränderlich. Unter Umständen sind selbsttätige Geschwindigkeitsregulatoren erforderlich.

Die Leistung der Einankerumformer ist durch die Erwärmung begrenzt. Wird die Leistung des Einankerumformers für den Fall, daß der Gleichstrom allein im Anker fließt, gleich 100 gesetzt, so ergibt sich bei sinusförmiger Stromkurve folgende Leistung  $N$  des Ankers bei gleicher Stromwärme, wenn die Maschine als Umformer läuft und  $\cos \varphi = 1$  ist.

Zahl der Phasen	$N$	Zahl der Phasen	$N$
2	85	6	196
3	134	12	224
4	164	$\infty$	231

Ist  $\cos \varphi < 1$ , so ist die Stromwärme größer.

Es läßt sich jedoch  $\cos \varphi$  nahezu gleich 1 halten, da die Maschine als Synchronmotor läuft.

Der Wirkungsgrad der Einankerumformer ist bei Vollast je nach der Größe 90 bis 95%.

Die Spannung wird entweder durch Veränderung der Erregung oder durch Vorschalten eines Dreh- oder Schiebetransformators oder durch eine Zusatzmaschine auf der Wechselstrom- oder Gleichstromseite reguliert.

Steht Gleichstrom zur Verfügung, so wird der Umformer von der Gleichstromseite aus angelassen und bei Synchronismus auf der Wechselstromseite eingeschaltet. Im anderen Falle muß er wie ein Wechselstromsynchronmotor durch einen Anlaufmotor, einen Asynchronmotor oder durch Anlegen eines Bruchteils der normalen Spannung an die Schleifringe angelassen werden.

**113. Der Kaskadenumformer.** Die Schaltung der Lläufer des Kaskadenumformers ist in Abb. 109 wiedergegeben.

Haben Motor und Umformer die gleiche Polzahl, so laufen sie mit der halben Geschwindigkeit des Drehfeldes. Die eine Hälfte der dem Motor zugeführten Leistung wird in mechanische Leistung verwandelt

und dem Umformer zugeführt. Die andere wird in elektrische Leistung von der halben Frequenz des Primärstromes transformiert und im Umformer in Gleichstrom umgesetzt.

Die Läuferwicklung des Induktionsmotors wird in der Regel als 12-Phasenwicklung ausgeführt.

Der Vorteil des Kaskadenumformers besteht darin, daß er als Induktionsmotor ohne weiteres anläuft, wenn ein Dreiphasenwiderstand

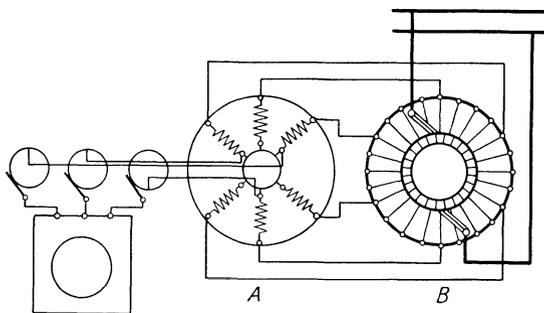


Abb. 109. Schaltungsschema eines Kaskadenumformers.

in den Rotorkreis geschaltet wird. Die für diesen Widerstand erforderlichen Schleifringe lassen sich nach dem Anlaufen kurzschließen. Da die Zuleitungen vom Rotor zum Anker mit dem Rotor rotieren, kann die Vergrößerung des Wirkungsgrades durch Vermehrung der Pha-

senz Zahl ausgenutzt werden. Da endlich der Antriebsmotor ein Induktionsmotor ist, der vom Umformer völlig getrennt ist, läßt sich die aufgedrückte Wechselspannung in weiten Grenzen ändern, ohne daß die Gleichspannung beeinflußt wird.

Das Aggregat läßt sich unmittelbar an 6000 V Wechselspannung anlegen und vermag 110 V ohne Transformator zu liefern.

Der Wirkungsgrad der Kaskadenumformer steigt bei Vollast und großen Typen bis 92%.

**114. Der Synchronkommutatorumformer (Transverter).** Beim Einankerumformer der Abb. 106 rotieren Anker und Kommutator in einem festen Felde; feste Bürsten nehmen den Strom ab.

Da Bewegung relativ ist, kann man die Anordnung ohne weiteres umkehren: Anker und Kommutator ruhen, das Feld und die Bürsten rotieren. Dabei braucht das rotierende Magnetfeld nicht durch rotierende Bürsten erregt zu werden, sondern kann in bekannter Weise durch eine ruhende Drehstromwicklung erzeugt werden. Es ist nur nötig, daß es synchron mit den umlaufenden Bürsten rotiert. Der große Vorteil der Anordnung ist, daß die ruhenden Wicklungen sich für hohe Spannungen isolieren lassen und keinen zentrifugalen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Derartige Anordnungen sind sowohl für große Leistungen von 250 kW als auch für kleine von der Größenordnung 50 W gebaut worden. Ein Transverter für 250 kW ist von Jolley<sup>1</sup> näher beschrieben worden. Er erhält Drehstrom von 2000 V der Frequenz 50 und liefert 2,5 Amp. Gleichstrom bei 100000 V Spannung.

**115. Höchstspannungsgleichrichter.** Die Höchstspannungsgleichrichter bilden den Übergang von den mechanischen zu den physikalischen

<sup>1</sup> Jolley, L. B. W.: Alternating current rectification, 3. Aufl. London: Chapman & Hall.

Gleichrichtern. Sie gehören zu den mechanischen insofern, als sie rotierende Teile haben, zu den physikalischen insofern, als die Gleichrichtung zum Teil auf den Ventileigenschaften der Funken beruht. Sie stehen im Wettbewerbe mit dem Hochspannungs-Glühkathoden-Gleichrichter, der vor ihnen den Vorteil voraus hat, keine bewegten Teile zu haben.

Prinzipiell bestehen die mechanischen Höchstspannungsgleichrichter aus einer synchron mit der Hochspannung rotierenden Scheibe, die isolierte Segmente enthält, die vielfach mit Schleifringen zur Ableitung des Stromes verbunden sind. Die elektrische Verbindung mit der Hochspannung wird durch Funken hergestellt, die zu Metallkugeln in bestimmtem Abstände von der rotierenden Scheibe überspringen. Um das Überspringen von einem Segment zum anderen unmöglich zu machen, hat die rotierende Scheibe einen großen Durchmesser und die Segmente infolgedessen eine beträchtliche Länge.

**116. Der rotierende Nadelgleichrichter von Koch & Sterzel.** Die rotierenden Nadelgleichrichter der Firma Koch & Sterzel werden vorzugsweise bei der Kabelprüfung verwandt. Hier bietet der hochgespannte Gleichstrom vor dem Wechselstrom den großen Vorteil, daß eine wesentlich geringere Leistung genügt, weil die dielektrischen Verluste

wegfallen. Infolgedessen gibt die Gleichstromhochspannungsprüfung über die dielektrischen Eigenschaften der Kabel keine Aufschlüsse, sondern dient im wesentlichen dazu, festzustellen, ob während des Transportes und der Verlegung des Kabels mechanische Schäden aufgetreten sind. Abb. 110 zeigt einen derartigen Gleichrichter, der der Raumerparnis halber auf dem Hochspannungstransformator aufgebaut ist. Zwischen den Porzellanisolatoren ist der Synchronmotor zu erkennen, dessen Achse die 120 cm lange rotierende Nadel trägt. Durch die Übergangswiderstände der Funken von der Nadel zu den Kugelkollektoren entsteht ein Spannungsverlust. Um diesen niedrig zu halten, sind auf den Kugeln kleine Bürsten befestigt.

Die Schaltung des Gleichrichters zur Kabelprüfung ist in Abb. 111 wiedergegeben. Es handelt sich um die sog. Delonschaltung. Zwei hintereinander geschaltete Kondensatoren werden nacheinander auf-

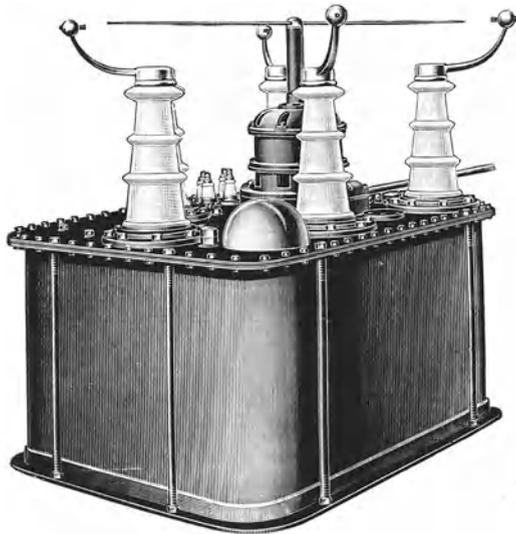


Abb. 110. Außenansicht des auf dem Hochspannungstransformator montierten rotierenden Nadelgleichrichters von Koch & Sterzel.

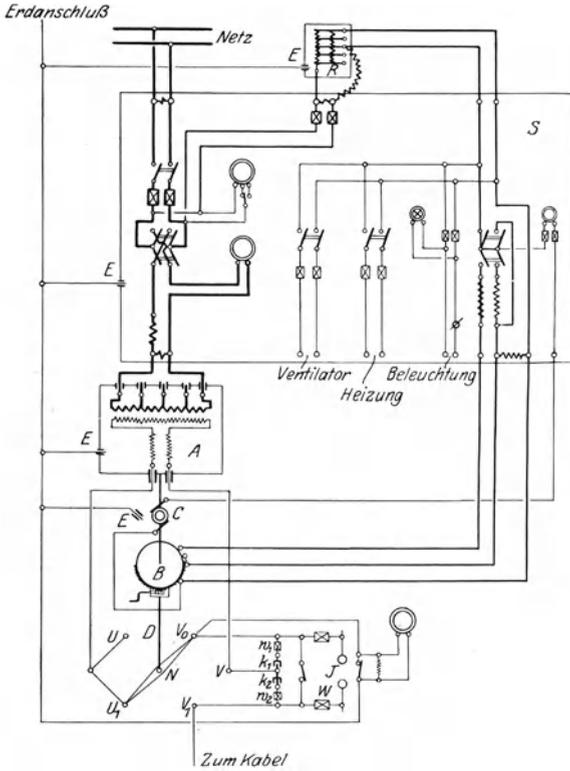


Abb. 111. Kabelprüfschaltung mit rotierendem Nadelgleichrichter.

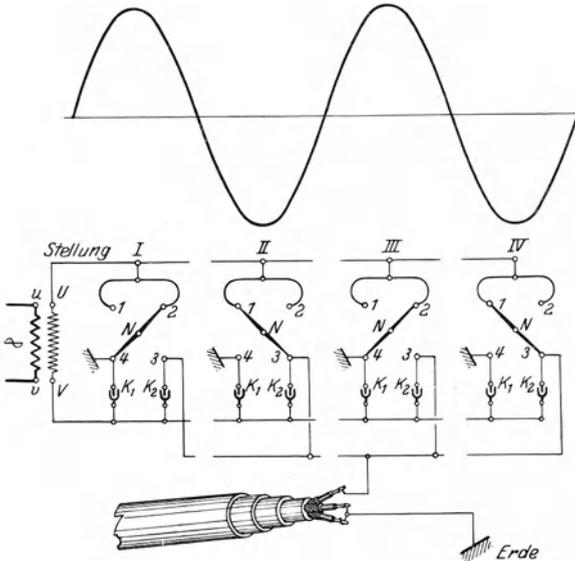


Abb. 112. Die einzelnen Nadelstellungen des Nadelgleichrichters.

geladen und dann in Serie entladen. In Abb. 112 sind die einzelnen Stellungen des synchron rotierenden Funkenschalters  $N$  wiedergegeben.  $K_1$  und  $K_2$  sind die beiden Hälften der Kondensatorbatterie, die durch den Gleichrichter aufgeladen wird. Der eine Hochspannungspol  $V$  des Transformators ist an die Verbindungsleitung der beiden Kondensatorhälften angeschlossen. Der andere Pol  $U$  ist mit den beiden Kontaktstellen  $1$  und  $2$  verbunden und drückt über den Synchronschalter  $N$  dem einen Außenpol der

Kondensatorbatterie die positiven und dem anderen die negativen Spannungswellen auf. Während einer Umdrehung der Schalt-nadel werden also 4 Spannungsimpulse in die Kondensatorbatterie gegeben. Wird der Strom beim Scheitelwert der Wechselspannung geschlossen, so ergibt sich zwischen den beiden Endklemmen  $3$  und  $4$  eine Gleichspannung von  $2 \cdot \sqrt{2} = 2,84$  der zugeführten effektiven

Wechselspannung, wenn die Übergangswiderstände vernachlässigt werden können. Da das nicht der Fall

ist, rechnet man mit den Werten 2,0 bis 2,6. Der Transformator leistet 10 kVA bei 58000 V. Die Anlage liefert demnach 150000 V Gleichstrom. Der Transformator ist möglichst leicht gebaut, da er vielfach auf einer fahrbaren Anlage verwandt wird. Jede Kondensatorhälfte hat eine Kapazität von 0,01  $\mu$ F.

Die Gleichstromhochspannung wird ohne Beeinflussung der Wechselspannung durch Verlegen des Zeitpunktes des Kontaktes reguliert. Zu diesem Zweck ist der Stator des die Nadel antreibenden Synchronmotors drehbar gelagert, so daß die Gleichspannung durch Verdrehen

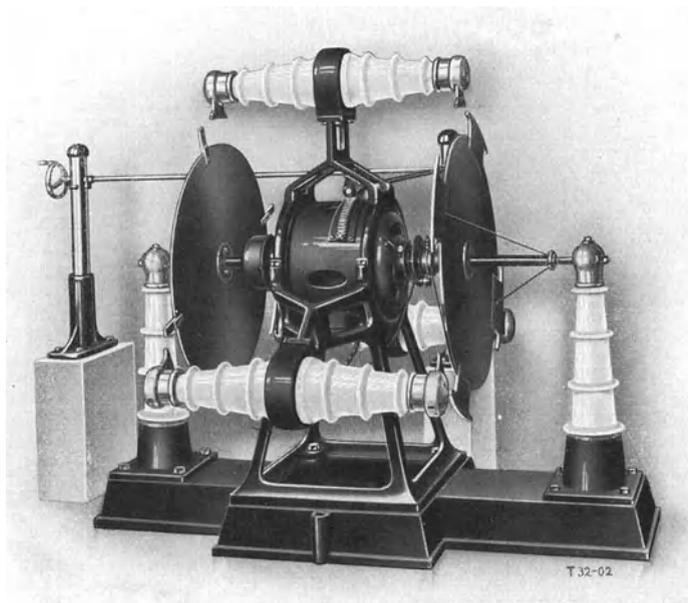


Abb. 113. Rotierender Scheibengleichrichter der Firma Koch & Sterzel.

des Stators zwischen 0 und dem Maximum geändert werden kann. Zweckmäßig wird auf dem absteigenden Ast der Wechselspannung gearbeitet, um die Schleppfunkenbildung an den Kontakten möglichst klein zu halten.

**117. Der rotierende Scheibengleichrichter von Koch & Sterzel.** Der rotierende Scheibengleichrichter bewältigt wesentlich größere Leistungen als der Nadelgleichrichter und wird für die Zwecke der elektrischen Gasreinigung gebaut. Abb. 113 zeigt einen derartigen Drehstrom-Hochspannungs-Gleichrichter. In der Mitte befindet sich der Synchronmotor, links die synchron rotierende Scheibe mit den breiten abgerundeten Segmenten und rechts eine Nullpunkt-Ausgleichsscheibe. Diese trägt 4 Kontaktgeber, die miteinander leitend verbunden sind. Diese Ausgleichsscheibe beseitigt den Übelstand, daß bei dem beim Dreh-

stromgleichrichtungsvorgang jeweils auftretenden Phasenkurzschluß im Schnittpunkt der Phase ein Spannungsanstieg in der dritten unbelasteten Phase hervorgerufen wird, wobei Überspannungen auftreten. Die Ausgleichsscheibe schiebt den Teil des Stromes, den die eigentliche Gleichrichterscheibe nicht gleichrichtet, in einen Widerstand und vernichtet ihn dadurch, so daß es gelingt, einen ruhigen Betrieb auch bei 50 kW/Leistung zu erzielen. Vor dem Einphasengleichrichter hat der Drehstromgleichrichter den Vorteil wesentlich geringerer Pulsationen des hochgespannten Gleichstromes.

**118. Gleichrichter mit schwingenden Kontakten.** Die Gleichrichter mit schwingenden Kontakten hatten sich im letzten Jahrzehnt ein begrenztes Anwendungsgebiet errungen, solange die physikalischen Gleichrichter für geringe Ströme noch nicht existierten. Nachdem durch die Ausbildung der Edelgas- und der Glühkathodengleichrichter diese Lücke nahezu ausgefüllt ist, ging die Verwendung der mechanischen Gleichrichter infolge ihrer verschiedenen Mängel wieder zurück, bis durch den Rundfunk ein starker Bedarf an Gleichrichtern zum Laden von 6 V-Batterien entstand, zu dessen Befriedigung diese Gleichrichter sehr geeignet sind. In neuester Zeit ist ihnen auch auf diesem Gebiete durch die Trockenplattengleichrichter ein gefährlicher Konkurrent entstanden. Einzelne Firmen wie z. B. die Hydrarwerke A.-G. Berlin lassen bereits die Fabrikation der Pendelgleichrichter eingehen.

Das Prinzip der Gleichrichter mit schwingenden Kontakten besteht darin, daß ein durch den gleichzurichtenden Wechselstrom gesteuertes schwingendes Kontaktsystem genau im Takte des Wechselstromes den Stromkreis für die eine Hälfte der Periode geschlossen, für die andere geöffnet hält. Beschränkt man sich auf einen Kontakt, so wird die eine Stromrichtung unterdrückt. Läßt man das System zwischen zwei festen Kontakten hin- und herspielen, so können durch geeignete Schaltungen beide Stromrichtungen in die gleiche Richtung gebracht werden. Wollte man ohne besondere Hilfsmittel einen schwingungsfähigen Kontakt etwa durch einen Wechselstrommagneten in Schwingungen versetzen, so würde infolge der Trägheit des Systems eine Phasenverschiebung zwischen den Schwingungen und dem erregenden Wechselstrom bestehen, die zur Folge hätte, daß die Kontakte sich nicht bei Stromlosigkeit öffneten und schlossen. Dieses würde — abgesehen von der Verringerung der Stromausbeute — zu Öffnungsfunken an den Kontakten führen, die sie in kurzer Zeit unbrauchbar machen würden. Nun kann man jedoch die Phase eines Wechselstromes mit Hilfe von Kapazitäten und Induktivitäten beliebig verschieben, so daß keine Schwierigkeit besteht, den Gleichrichter so einzuregulieren, daß die durch die Trägheit bedingte Phasenverschiebung vollständig kompensiert wird. Allerdings ist diese Kompensation nur für eine bestimmte Frequenz wirksam, deshalb arbeiten Gleichrichter mit schwingenden Kontakten schlecht, wenn sie bei einer wesentlich anderen Frequenz benutzt werden als diejenige, für die sie einreguliert sind.

Offenbar ist der Ausschlag des schwingenden Pendels am größten, wenn die Frequenz des antreibenden Wechselstromes gleich der Eigen-

frequenz des Pendels ist, also Resonanz besteht, und wenn die antriebende Kraft in Phase mit der Geschwindigkeit des Pendels ist. Die Geschwindigkeit eilt aber um  $90^\circ$  dem Ausschlag nach und deshalb sind wie bei Resonanz der Ströme und die Geschwindigkeit und auch Antriebskraft in Phase miteinander, und ist keine Induktivität im Kreis, so eilt der Ausschlag der Spannung um  $90^\circ$  voraus und Gleichrichtung findet nicht statt. Ist dagegen eine Induktivität vorgesehen, so daß Strom und Spannung nicht in Phase sind, so bleibt die Geschwindigkeit in Phase mit dem Strom, der Ausschlag eilt der Spannung beträchtlich voraus. Sollen jetzt beide in Phase gebracht werden,

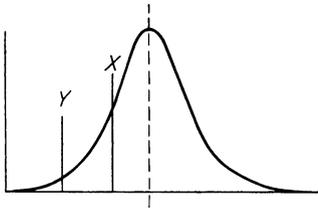


Abb. 114. Resonanzkurve eines Pendelgleichrichters.



Abb. 115. Phasenbeziehungen beim Pendelgleichrichter in der Stellung X der Abb. 114.

so muß erreicht werden, daß der Strom der Geschwindigkeit voreilt. Das ist nur dadurch erreichbar, daß nicht im Resonanzpunkt gearbeitet wird. Ist beispielsweise die Frequenz des Wechselstromes so, daß das Pendel im Punkt  $x$  arbeitet (Abb. 114), so lassen sich Spannung und Ausschlag gemäß Abb. 115 in Phase bringen. Wird im Punkt  $y$  gearbeitet, so läßt sich sogar ohne elektrische Phasenverschiebung auskommen, da jetzt die Kraft der Geschwindigkeit um  $90^\circ$  voreilt. Dafür ist aber der Ausschlag nunmehr sehr klein. Dafür hängt er von der Frequenz sehr viel weniger ab, als bei  $x$  oder gar bei Resonanz.

Der Umstand, daß der Strom in jeder Periode zweimal auf Null sinken muß, damit die Kontakte bei Stromlosigkeit geöffnet werden können, hat

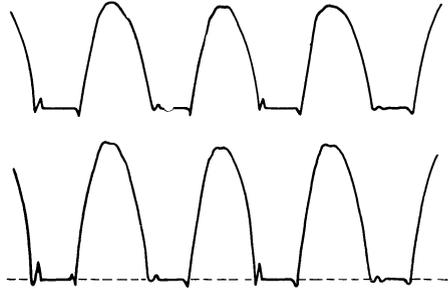


Abb. 116. Strom- und Spannungskurve eines Pendelgleichrichters der Deutschen Telefonwerke bei Ladung einer Akkumulatorenbatterie.

zur Folge, daß der vom Gleichrichter gelieferte Strom, der bei Akkumulatorenladung die Gestalt der Abb. 116 hat (unten Strom-, oben Spannungskurve), nicht durch Drosselspulen ausgeglichen werden kann. Wie Abb. 116 erkennen läßt, kann man sich diesen Strom zusammengesetzt denken aus einem konstanten mittleren Gleichstrom und einem darüber gelagerten Wechselstrom von dem Betrage  $\frac{i_g}{\sqrt{2}}$ ,

wenn  $i_g$  der mittlere Gleichstrom ist. Dieser übergelagerte Wechselstrom ist reiner Verlust und drückt den Wirkungsgrad des Gleichrichters nicht unbedeutend herunter. Da dieser Verlust nicht im Gleichrichter, sondern im Verbrauchskörper stattfindet, der durch den übergelagerten Wechselstrom erhitzt wird, ohne ihn nutzbar machen zu können, wird er leicht vollständig übersehen. Nun beschränkt sich das Anwendungsgebiet der Gleichrichter mit schwingenden Kontakten auf kleine Ströme von einigen Ampere und niedrige Spannungen, also kleine Energiemengen. Unter diesen Umständen ist aber ein billiger und betriebssicherer Apparat von geringem Wirkungsgrade einem teureren Apparat von höherem Wirkungsgrade überlegen, weil die Energiekosten gegenüber der Verzinsung und Amortisation des Apparates nur eine geringe Rolle spielen.

Die älteren Gleichrichter mit schwingenden Kontakten fielen durch das starke Geräusch, das sie machten, sehr unangenehm auf. Bei den neueren Typen ist es gelungen, dieses Geräusch so weit zu unterdrücken, daß es nicht mehr als störend empfunden wird.

Gleichrichter mit schwingenden Kontakten werden von den Firmen Elektrizitäts-Aktiengesellschaft Hydrawerk, Charlottenburg, Deutsche Telephonwerke, Berlin, Koch & Sterzel, Dresden, C. J. Fritze, Dresden, hergestellt.

**119. Der Klein-Gleichrichter Type GR des Hydrawerkes.** Die wichtigsten Teile des Klein-Gleichrichters des Hydrawerkes sind in Abb. 117

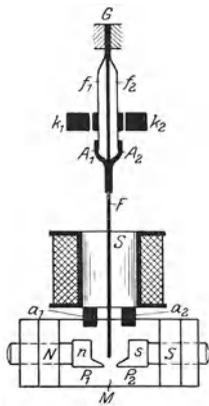


Abb. 117. Schema des Klein-Gleichrichters des Hydrawerkes.

schematisch dargestellt. Der Gleichrichter besteht aus dem Dauermagneten  $M$  mit den Polschuhen  $P_1$  und  $P_2$ , der Wechselstromspule  $S$  und der eisernen Ankerfeder  $F$ , die mit den Seitenfedern  $f_1$  und  $f_2$  fest in den Gußbock  $G$  eingespannt ist.

Die Wechselstromspule  $S$  erhält aus dem Wechselstromnetz einen durch einen Kondensator hinreichend in der Phase vorgeschobenen Wechselstrom, der das untere Ende der eisernen Feder abwechselnd nord- und südmagnetisch macht, so daß es abwechselnd von den Polschuhen  $P_1$  und  $P_2$  des Dauermagneten angezogen wird und die oberhalb der Spule  $S$  liegende Kontakteinrichtung betätigt. Die Seitenfedern  $f_1$   $f_2$ , die in der Ruhe fest an den Anschlägen  $A_1$   $A_2$  anliegen, heben sich von diesen ab, sobald die schwingende Ankerfeder bei  $k_1$  oder  $k_2$  Kontakt macht, und ermöglichen dadurch der Feder, auch nach Herstellung des

Kontaktes frei auszuschwingen, wie Abb. 117 erkennen läßt.

Der große Wert dieser Anordnung liegt darin, daß das bewegliche System nicht in einem Lager ruht, das zu mancherlei Störung Veranlassung geben kann, sondern aus einer fest eingespannten, schwingenden Feder besteht, so daß keinerlei reibende, der Abnutzung unterworfenen Teile vorhanden sind.

Während die Firma früher eine ganze Anzahl verschiedener Typen

herstellte, hat sie neuerdings ihre großen Betriebserfahrungen zur Massenherstellung einer einzigen Type des Klein-Gleichrichters für Ladung von 2 bis 4 Bleiakkumulatorenzellen mit einer durchschnittlichen Stromstärke von 2 Amp. ausgenutzt. Dabei wurde der größte Wert auf Betriebssicherheit und allereinfachste Handhabung gelegt.

Der Apparat wird in zwei Ausführungsformen für 100 bis 410 V und für 200 bis 250 V Wechselspannung bei 50 Per/sec hergestellt. Er ist in ein poliertes Holzgehäuse eingebaut, das seitlich und an der Rückwand zur Abführung der sich entwickelnden Wärme mit perforierten Lüftungsblechen versehen ist. Auf dem Deckel befindet sich die Anschlußblitze mit Stecker für die Wechselstromseite und + - und - -Klemmen zum Anschluß der Batterie. Nach Lösen des Deckels ist das Innere des Apparates bequem zugänglich, da sämtliche Teile auf einer Grundplatte montiert sind und mit dieser leicht herausgehoben werden können. Als Kontaktmaterial ist ein Spezialmetall gewählt, das sich bei langjährigen Versuchen gut bewährt hat.

Der Transformator und der fest eingestellte Ladewiderstand sind auf größte Wirtschaftlichkeit berechnet. Der Wirkungsgrad erreicht 50%. Sicherungen sind nicht vorgesehen, da der Apparat so kurzschlußsicher gebaut ist, daß die üblichen Sicherungen der Wechselstromleitungen genügen. Abb. 118 gibt das Schaltungsschema der Ausführungsform für 100 bis 130 V wieder und ist wohl ohne weitere Erläuterungen verständlich.

Eine weitere Sonderausführung des Apparates wird in Eisenbahn- und Postbetrieben verwandt. Sie lädt zwei Sätze Akkumulatorenbatterien, welche entsprechend der Betriebsweise während der Ladung

in Serie geschaltet sein müssen und bei der Entladung parallel arbeiten. Auf eine gemeinsame Schalttafel sind auf der rechten Seite der eigentliche Pendelgleichrichter, ein Verzögerungsrelais, ein Regulierwiderstand und ein Spannungs- und Strommesser angebracht. Auf der linken Seite befinden sich oben zwei vierpolige Umschalter, welche die Batteriegruppen nach Bedarf parallel auf Betrieb oder in Serie auf Ladung schalten, und in der Mitte ein zweipoliger Spannungsumschalter, welcher das Voltmeter auf die verschiedenen Batterien nach Wahl zu schalten gestattet. Sowohl auf der Wechselstromseite wie auf der Gleichstromseite sind sämtliche Stromkreise zweipolig gesichert. Diese Anlage wird für alle Wechsel- bzw. Drehstromspannungen bis 250 V hergestellt und dient zur Aufladung von maximal 12 Zellen mit 5 Amp.

**120. Der mechanische Gleichrichter System Falkenthal.** Dieser Gleichrichter wird von der Firma Paul Hardegen & Co., Berlin (Deutsche Telephonwerke), hergestellt. Er ist ebenfalls in der letzten Zeit wesent-

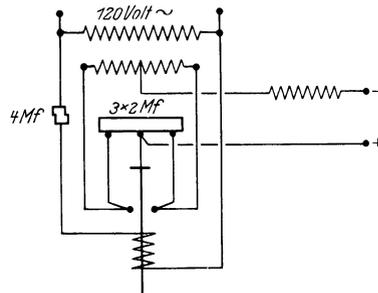


Abb. 118.  
Schaltungsschema des Kleingleichrichters  
des Hydrawerkes.

lich verbessert worden. Abb. 119 gibt sein Schaltungsschema. Er unterscheidet sich von dem Gleichrichter des Hydrarwerkes im wesentlichen durch sein Kontaktsystem. Dieses besteht aus einem Kontakthebel, der mit einem durch einen permanenten Magneten oder eine Wicklung gleichmäßig polarisierten Eisenkern verbunden und leicht drehbar im Streufeld des Transformator-

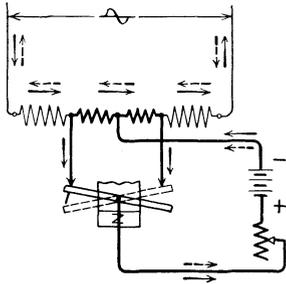


Abb. 119. Schaltungsschema des Pendelgleichrichters der Deutschen Telefonwerke für Akkulatorenladung.

eisenkerns gelagert ist. Auch hier sitzt die Kontaktfläche, gegen die er schlägt, auf dünnen Federn, die seiner Bewegung nachgeben und mit ihm mitgehen, bis sie auf dem Rückwege durch ein Widerlager abgefangen werden, so daß der Kontakt unterbrochen wird. Die Kontakte bestehen jedoch nicht aus Metall, sondern aus Kohleklotzchen von  $0,8 \times 0,8$  cm Kontaktfläche, was den Vorteil hat, daß sich Übergangswiderstände durch Oxydation nicht ausbilden können. Die Kontaktflächen brennen sich schnell aufeinander ein, so daß eine große Berührungsfläche entsteht. Außerdem sind sie so eingesetzt,

daß sie leicht auswechselbar sind. Das Spiel der Ankerfeder ist sehr gering.

Auch bei diesem Gleichrichter ist die Fabrikation auf eine Type zur Ladung von 6 V-Batterien mit einer Stromstärke von 2 Amp. eingerichtet. Die verschiedenen Teile des Apparates sind sehr kompensiös zusammengebaut. Die vollständige Apparatur mit Regulierwiderstand und Amperemeter soll zur Zeit weniger als 50 Mark kosten.

**121. Der Wechselstrom-Relais-Gleichrichter System Koch.** Dieser Gleichrichter wird von der Firma Koch & Sterzel, Dresden, ebenfalls in 3 Typen, für Akkulatorenladung, für Galvanotechnik und für direkten Betrieb Gleichstrom verbrauchender Apparate (induktive Belastung) hergestellt. Er ist dem Gleichrichter System Falkenthal sehr ähnlich. Der Hauptunterschied besteht in einer etwas anderen Ankerkonstruktion. Der Anker schwingt auch hier, durch einen starken Magneten polarisiert, unter dem Einfluß von wechselstromdurchflossenen Feldspulen synchron zu der Wechselspannung. Durch Kompensation der Trägheit, der Selbstinduktion und des Kippmoments werden auch hier die synchronen Schwingungen zu konphasen Schwingungen gemacht. Der Anker trägt an einem Ende eine Zunge mit starkem Kontakte, dessen Spiel durch Gegenkontakt und Anschlag begrenzt ist. Dieser Kontakt wird durch den Anker so geschlossen und geöffnet, daß nur Stromimpulse gleicher Richtung im Verbrauchsstromkreis auftreten können und die Öffnung und Schließung genau in die Zeit der Stromlosigkeit fällt. In dieser einfachsten Form nutzt der Gleichrichter also nur eine Stromrichtung aus. Nach diesem Prinzip wird die Type für Akkulatorenladung gebaut.

Außerdem tragen die Schenkel des polarisierten Relais eine zweite Wicklung, welche unter Vorschaltung eines geeigneten Widerstandes

an die zu ladende Batterie derart angeschlossen ist, daß dem Anker eine Art hinkender Bewegung erteilt wird, so daß nur der Spannungsüberschuß der Betriebsspannung über die Spannung der Batterie Kontaktschluß bewirkt. Der Kontakt wird also genau zu den Zeiten der Spannungsgleichheit zwischen Batterie und Wechselstromquelle geschlossen.

Infolge dieser genauen Phasenverschiebungskompensation läßt sich eine Akkumulatorenbatterie von 60 Zellen von der niedrigsten Spannung bis zur maximalen mit einem Relaisgleichrichter mit 15 Amp. störungsfrei ohne Wartung aufladen. Bei der für Elektrolyse gebauten Type ist der Kontakt als Doppelkontakt ausgebildet, so daß beide Phasen des Stromes gleichgerichtet werden. Die Schaltung ist in diesem Falle die gleiche wie die der Abb. 119.

Derartige Apparate sind von der Firma bis zu Strömen von 500 Amp. zum Aufladen von Mikrophon-Elementen in Fernsprechzentralen gebaut worden. Ein Apparat für 100 Amp. hat sich in der Galvanotechnik bewährt.

**122. Der Tellorgleichrichter.** Von Fritz Tellert<sup>1</sup> ist folgende neue Konstruktion eines Pendelgleichrichters ausgearbeitet worden: Der Hauptmangel der Pendelgleichrichter ist, daß Phasenvoreilung des Kontaktsystems eintritt, wenn die Netzfrequenz niedriger ist als die Eigenfrequenz des Systems, und Phasennacheilung, wenn die Netzfrequenz über der Eigenfrequenz liegt. Infolgedessen genügen bei den meisten bisher gebauten Pendelgleichrichtern wenige Prozente Abweichungen in der Frequenz, um größere Funkenbildung hervorzurufen. Diesem Überstand sucht Tellert durch einen glücklichen Gedanken abzuhelpfen. Er verwendet nicht ein einziges Pendel, sondern zwei miteinander gekuppelte, die auf verschiedene nahe beieinander liegende Frequenzen abgestimmt sind. Dadurch wird die Resonanzkurve des Systems

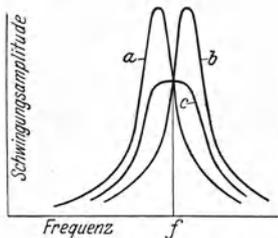


Abb. 120. Verbreiterung der Resonanzkurve des Tellorgleichrichters durch zwei gekoppelte Pendel verschiedener Eigenfrequenz.

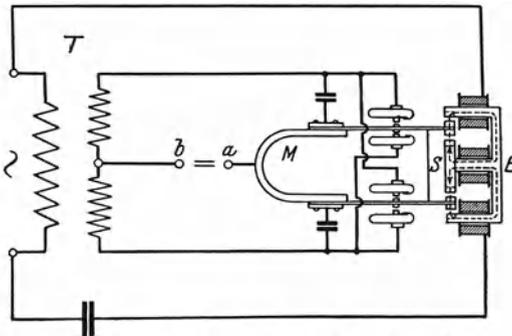


Abb. 121. Schaltungsschema des Tellorgleichrichters.

gemäß Abb. 120 verbreitert und infolgedessen über einen bedeutend größeren Frequenzbereich Konstanz der Schwingungsamplitude und damit der Phaseinstellung erzielt, wobei allerdings die Größe der Schwingung verringert ist. Doch wird die Einbuße an Erregerleistung durch

<sup>1</sup> Tellert, Fritz: ETZ Bd. 48, S. 460. 1927.

eine möglichst günstige Ausbildung des magnetischen Kreises ausgeglichen.

Nach den Angaben von Tellert arbeitete ein solcher Gleichrichter für 50 Per/sec zwischen 46 und 54 Per/sec einwandfrei. Abb. 121 zeigt das Schaltbild eines solchen Doppelpendelgleichrichters für größere Leistung.

Der Tellorgleichrichter wird zum Laden sowohl von Heizbatterien von 4, 6 und 12 V als auch von Anodenbatterien für 30 bis 120 V in verschiedenen Typen von der Firma C. J. Fritze, Dresden-A., hergestellt.

**123. Der Quecksilberwellenstrahlgleichrichter.** Der Quecksilberwellenstrahlgleichrichter, kürzer Strahlgleichrichter, beruht auf einem außerordentlich interessanten Prinzip, das von Prof. Jul. Hartmann in Kopenhagen schon 1907 aufgestellt und dann in rastloser geistvoller Arbeit vieler Jahre zu einem Großgleichrichter hervorragender Eigenschaften ausgestaltet wurde.

Der Entwicklungsgang wurde sorgfältig geheimgehalten, so daß darüber fast nichts an die Öffentlichkeit gelangte. Erst jetzt, nachdem ein solcher Gleichrichter die Feuerprobe eines neunmonatigen störungsfreien Betriebes in einem Elektrizitätswerk bestanden hat, tritt Prof. Hartmann mit allen Einzelheiten seiner Konstruktion hervor<sup>1</sup>.

Der Strahlgleichrichter ist ein mechanischer Kontaktgleichrichter, ein Pendelgleichrichter für 400 Amp., die durch abwechselndes Kontaktmachen im Takte des Wechselstromes gleichgerichtet werden. Die gleichgerichtete Spannung beträgt 230 V. Wer Pendelgleichrichter kennt, wird hierzu sagen: Unmöglich! Aber Hartmann verwendet kein festes Pendel, sondern ein flüssiges. Sein Prinzip ist sehr einfach:

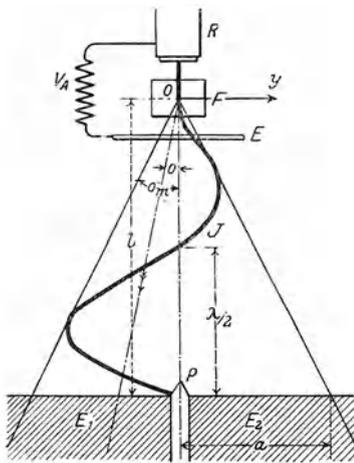


Abb. 122. Schema des Strahlgleichrichters von Hartmann.

Abb. 122 gibt es wieder. Aus der Düse  $R$  fließt ein zusammenhängender Quecksilberstrahl  $J$  von beiläufig 3,8 mm Durchmesser aus und zunächst zwischen den Polen  $O$  eines kräftigen Gleichstrommagneten hindurch und weiter eben berührend an der Hilfselektrode  $E'$  vorbei. Wird nun zwischen  $R$  und  $E'$  eine Wechselspannung  $V_a$  gelegt, so daß ein kräftiger Wechselstrom durch den Strahl fließt, so wird dieser je nach der Stromrichtung nach rechts oder links abgelenkt. Er schlenkert im Takte des Wechselstromes hin und her, wie die Photographie Abb. 123 zeigt. Werden nun in richtigem Abstände von dem Magnetfeld die beiden Elektroden  $E_1$  und  $E_2$  angebracht und mit den Enden eines

<sup>1</sup> Vgl. Hartmann, J.: Elektrotechniker Nr. 23; Engg. Bd. 124, S. 338 u. 377. Kopenhagen 1927.

Transformators verbunden, während  $E'$  über den Gleichstromverbrauchs-körper an seine Mitte gelegt wird, so läßt sich erreichen, daß der Strahl stets mit derjenigen der beiden Elektroden  $E_1, E_2$  Kontakt macht, die positiv gegen die Transformatormitte ist. Es fließt also im Strahl und im Gleichstromverbrauchs-körper ein pulsierender Gleichstrom. Offenbar muß der Strahl beim Übergang von der einen zur anderen Elektrode

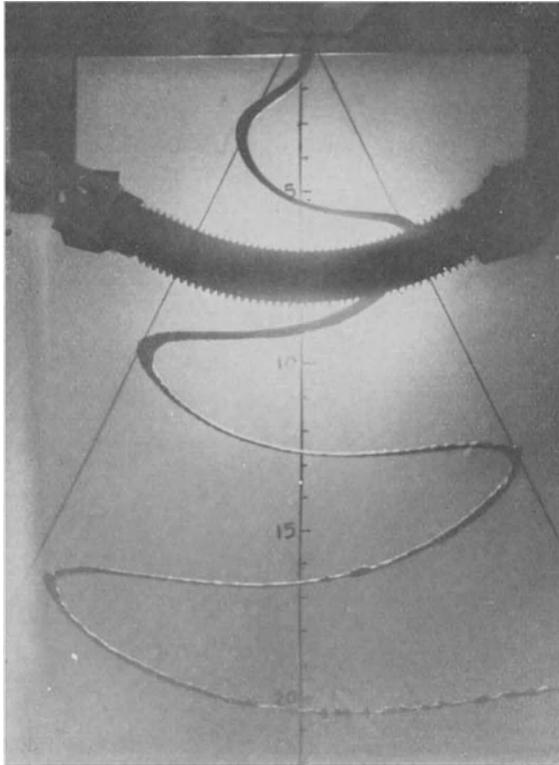


Abb. 123. Photographie des schwingenden Quecksilberstrahles des Strahlgleichrichters.

schnell und gründlich durchschnitten werden, da er sonst beide Elektroden kurzschließen würde. Dieses Durchschneiden besorgt das isolierte Messer  $P$ .

Liegt  $P$  in der Ebene von  $E_1$  und  $E_2$ , so macht der Strahl mit jeder Elektrode eine halbe Periode lang Kontakt. Soll die Kontaktdauer verkürzt werden, so muß  $P$  gehoben werden. Ist  $\lambda$  die Wellenlänge des Strahles und soll die Kontaktdauer ein Drittel einer Halbperiode betragen, so muß  $P$  um  $\frac{2}{3} \frac{\lambda}{2}$  gehoben werden, wie Abb. 124 zeigt. Auf diese Weise läßt sich Mehrphasenstrom mit Hilfe mehrerer Strahlen gleichrichten, so daß ein nur wenig pulsierender Gleichstrom entsteht.

Eine der größten zu überwindenden Schwierigkeiten war das exakte Durchschneiden des Strahles durch das Messer  $P$ . Anfangs wurde es aus geschmolzenem Quarz hergestellt, der der korrodierenden Wirkung des Öffnungsfunkens einigermaßen widerstand. Ein entscheidender Fortschritt wurde durch die Verwendung von schmalen, isolierten Wolframmessern erzielt.

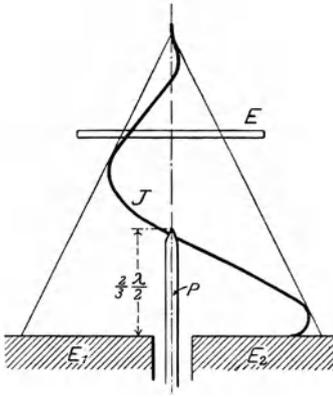


Abb. 124. Abkürzung der Kontaktdauer des Strahlgleichrichters durch Heben des Messers  $P$ .

Der Funke entsteht bei leitendem Material nicht an der schneidenden Kante, sondern weiter unten. Noch besser bewährten sich zwei solche gegeneinander isolierte Wolframmesser nebeneinander. Bei großen Leistungen werden kompliziertere Anordnungen benutzt. So zeigt Abb. 125 eine Anordnung mit zwei Zwischenelektroden  $e_1$  und  $e_2$ , die über die Widerstände  $r_1$  und  $r_2$  mit dem Hauptelektroden  $E_1$  und  $E_2$  verbunden sind. Bei der praktischen Ausführungsform einer derartigen Elektrodengruppe, z. B. für einen 100kW-Gleichrichter, werden  $E_1$  und  $E_2$  aus Keilen aufgebaut, um Spritzen des Quecksilbers zu vermeiden.

und  $E_2$  aus Keilen aufgebaut, um Spritzen des Quecksilbers zu vermeiden.

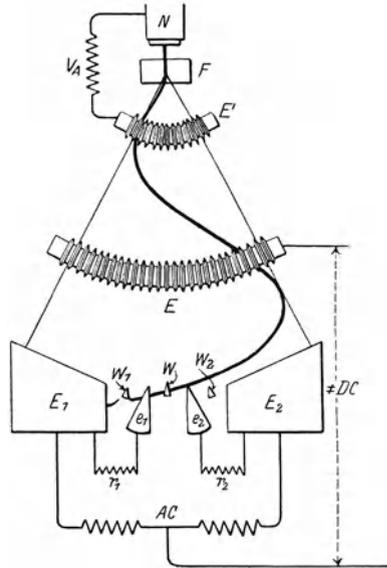


Abb. 125. Schema eines Strahlgleichrichters mit zwei Zwischenelektroden  $e_1$  und  $e_2$ .

Abb. 126. Schema eines Strahlgleichrichters mit Nebenelektroden  $e_1$ ,  $e_2$  und Hilfsmessern  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ .

meiden. Eine weitere Verbesserung zeigt Abb. 126. Hier sind zwischen die Nebenelektroden  $e_1$ ,  $e_2$  und die Hauptelektroden  $E_1$ ,  $E_2$  die

Messer  $W_1$ ,  $W_2$  gebracht. Zugleich mit dem Durchschneiden des Strahles durch das Messer  $W$  schneidet z. B. das Messer  $W_1$  den Strahl zwischen  $E_1$  und  $e_1$  durch und schaltet damit den linken Widerstand  $r$  ein. Bildet sich bei  $W$  ein Lichtbogen, so muß der Bogenstrom durch  $r$  gehen, wodurch der Lichtbogen zum Erlöschen gebracht wird. Mit einer solchen Vorrichtung verträgt der Gleichrichter Frequenzänderungen von 5% ohne Störung.

Ein weiteres sehr schwieriges Problem waren die Hilfselektroden, die die Ströme dem Strahl zuführen. Natürlich läßt sich der Hauptstrom selbst zur Ablenkung des Strahles verwenden, wobei dann keine Hilfselektroden nötig sind. Dann muß die Hauptstrombelastung aber konstant sein, eine praktisch unmögliche Forderung. Die erste Hilfselektrode war ein Messer, unmittelbar unter dem Magnetfeld, das einen feinen Teil des Strahles abschnitt. Dadurch ließen sich bereits starke Ströme dem Strahl zuführen. Bei Verwendung von einem Doppelmesser ließ sich die Stromstärke noch wesentlich erhöhen. Dann wurde die in Abb. 127 angedeutete Hilfselektrode eingeführt. In ein zylindrisches Stahlstück wurden scharfe äquidistante Rippen eingefräßt und es dann zu einem Kreisbogen um den Mittelpunkt des Magnetfeldes gebogen.

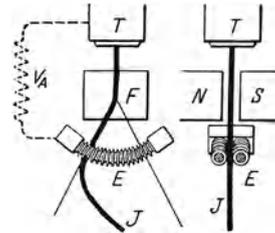


Abb. 127. Striegelelektrode des Strahlgleichrichters.

Zwei derartige Striegelelektroden (curry-comb electrodes) wurden in einem Abstände einander gegenübergestellt, der ein wenig kleiner als der Strahldurchmesser ist. Eine solche Elektrode läßt sich zur Zuführung sehr starker Ströme bis 200 Amp. benutzen. Abb. 123 zeigt, daß der Strahl (von 4 m/sec Geschwindigkeit) durch eine solche Elektrode nur wenig deformiert wird. Bei der in der Regel angewandten Strahlgeschwindigkeit von 6 m/sec ist die Deformation nur wenig größer.

Eine dritte Lösung des Problems ist die Keilelektrode, Abb. 128 und 129. Sie besteht aus einem schlanken Stahlkeil in der Mittelebene des Kommutators. Ihre Kante steht senkrecht zur Strahlebene. Ist die Höhe des Keiles größer als  $\frac{\lambda}{2}$ , so wird er

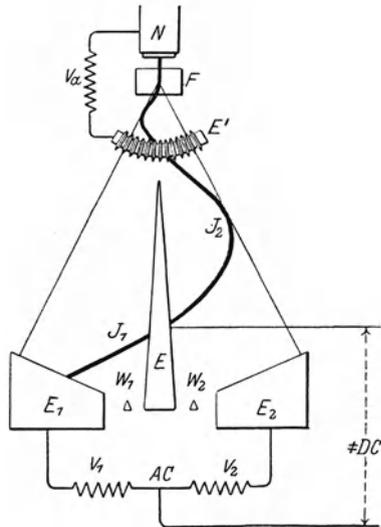


Abb. 128. Schema der Keilelektrode des Strahlgleichrichters.

abwechselnd für je eine Halbperiode mit  $E_1$  und  $E_2$  verbunden. Der Keilkommutator erhält auf jeder Seite ein Messer  $W_1$ ,  $W_2$ . Er ist

besonders geeignet für starke Ströme, kann jedoch nicht als gemeinsame Elektrode für Haupt- und Hilfstrom benutzt werden, weil er immer nur auf einer Seite sicher Kontakt macht (in dem in Abb. 128 und 129 gezeichneten Augenblick auf der linken Seite).

Der Rundlauf des Quecksilbers ist ohne größeres Interesse. Nachdem es als Strahl durch das Gleichrichtergefäß geflossen ist, gelangt es über einen Behälter zu einer Zentrifugalpumpe, die es in einen oberen Behälter mit Überlauf für konstante Spiegelhöhe pumpt. Dabei passiert es einen Tropfenseparator, wodurch der obere Teil des Kreislaufes gegen den unteren isoliert wird. Interessant ist eine in der Erprobung befindliche elektromagnetische Pumpe. Das Quecksilber fließt zwischen den mit einer isolierenden Schutzschicht versehenen Polen eines Elektromagneten hindurch. Wird gleichzeitig ein elektrischer Strom durch das Quecksilber hindurchgeschickt, so entsteht senkrecht zu Magnetfeld und elektrischem Strom eine mechanische Kraft, die das Quecksilber auf die erforderliche Höhe hebt. Diese Pumpe hat den Vorteil, daß sie keinerlei bewegte Teile hat.

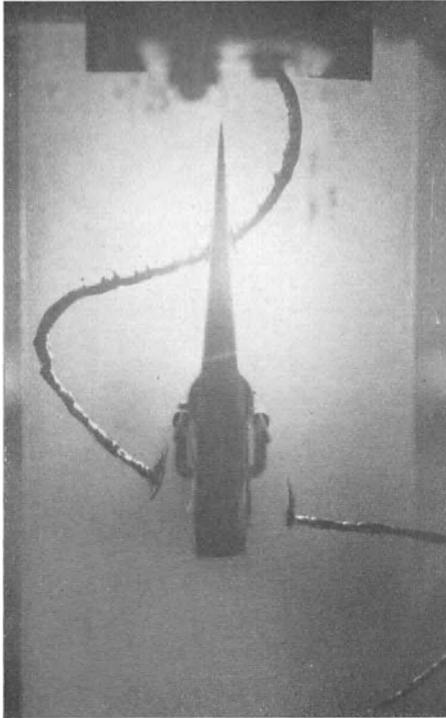


Abb. 129. Photographie der Schneidewirkung der Keilelektrode.

Die Gefahr einer bei unvorsichtiger Neufüllung immerhin möglichen Explosion wird dadurch verringert, daß sich in der Kammer mehrere Fenster aus dünnem Glimmer befinden, die bei einer Explosion herausgeblasen werden, ohne daß das Gefäß selbst zertrümmert wird. Statt mit Wasserstoff kann die Entladungskammer auch mit Ammoniakdampf gefüllt werden. Dieser zersetzt sich alsbald zu dem Gemisch  $1 \text{ N}_2 \ 3 \text{ H}_2$ , das zur Funkenlöschung geeignet ist. Die anfangs in der Kammer angeordneten Magnetspulen wurden später außen angeordnet, so daß in der Kammer ohne Bedenken Temperaturen von  $100^\circ \text{ C}$  zugelassen werden können und damit eine besondere Kühlung überflüssig wird. Abb. 130 u. 131 geben die Konstruktionseinzelheiten eines  $100 \text{ kW}$ -Drehstromgleichrichters, Abb. 132 seine Ansicht.

Der Rundlauf des Quecksilbers ist ohne größeres Interesse. Nachdem es als Strahl durch das Gleichrichtergefäß geflossen ist, gelangt es über einen Behälter zu einer Zentrifugalpumpe, die es in einen oberen Behälter mit Überlauf für konstante Spiegelhöhe pumpt. Dabei passiert es einen Tropfenseparator, wodurch der obere Teil des Kreislaufes gegen den unteren isoliert wird. Interessant ist eine in der Erprobung befindliche elektromagnetische Pumpe. Das Quecksilber fließt zwischen den mit einer isolierenden Schutzschicht versehenen Polen eines Elektromagneten hindurch. Wird gleichzeitig ein elektrischer Strom durch das Quecksilber hindurchgeschickt, so entsteht senkrecht zu Magnetfeld und elektrischem Strom eine mechanische Kraft, die das Quecksilber auf die erforderliche Höhe hebt. Diese Pumpe hat den Vorteil, daß sie keinerlei bewegte Teile hat.

Das Gleichrichtergefäß ist zwecks scharfer Funkenlöschung mit Wasserstoff von 5 bis 10 cm Überdruck gefüllt. Die Gefährlichkeit einer bei unvorsichtiger Neu-

Ein 100 kW/230 V-Sechsphasen-Gleichrichter war in den Northern Cable and Wire Works in Kopenhagen neun Monate lang parallel mit anderen Gleichstromquellen im Betriebe<sup>1</sup>. Seine Höhe betrug 1,75 m. Jeder der sechs Einzelstrahlen hatte 3,8 mm Durchmesser und 6 m/sec Geschwindigkeit. Der Abstand vom Mittelpunkt des Magnetfeldes

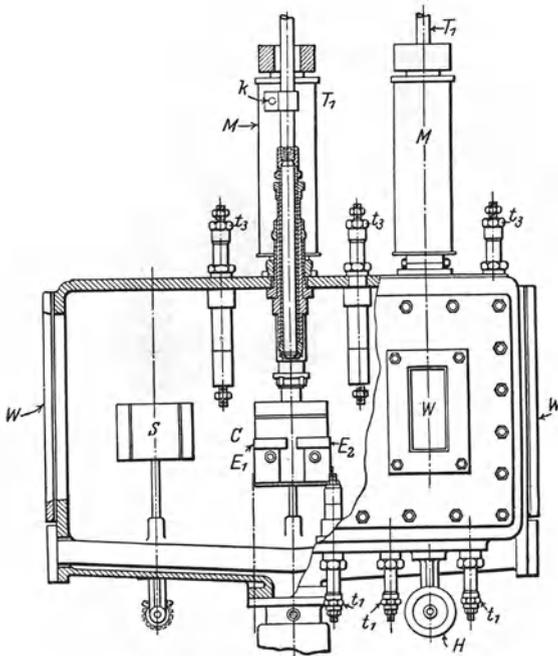


Abb. 130. Konstruktionszeichnung eines Strahlgleichrichters für 100 kW, Aufriß von vorn.

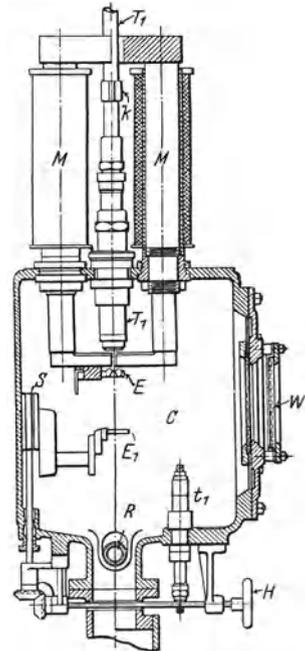


Abb. 131. Konstruktionszeichnung eines Strahlgleichrichters für 100 kW, Aufriß von der Seite.

zur Hauptelektrode betrug 11 cm, der vom Mittelpunkt zur Hilfelektrode 8,5 cm. Folgende Verluste wurden gemessen.

A. Veränderliche Verluste.

- |                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| 1. Funkenverlust                   | } zus. 8,5% |
| 2. Hauptstromverlust               |             |
| 3. Verlust im Elektrodenwiderstand |             |

B. Konstante Verluste.

- |                      |      |               |
|----------------------|------|---------------|
| 1. Magnetverlust     | 0,7% | } bei Vollast |
| 2. Hilfsstromverlust | 0,3% |               |
| 3. Pumpverlust       | 0,6% |               |

Abb. 133 zeigt die Kurve des Wirkungsgrades. Sie liegt höher als die eines Quecksilberdampf-Gleichrichters für gleiche Leistung und Gleich-

<sup>1</sup> The development of the jetwave rectifier, Appendix I. The Hartmann, Rectifier Co., Kopenhagen.

spannung. Abb. 134 enthält einige an dem Gleichrichter aufgenommene Oszillogramme. Während der neunmonatigen Betriebszeit kamen keine Störungen vor. Der Gleichrichter ließ sich mit Vollast ein- und ausschalten und vertrug eine Überlastung von 50%. Er ließ sich so-

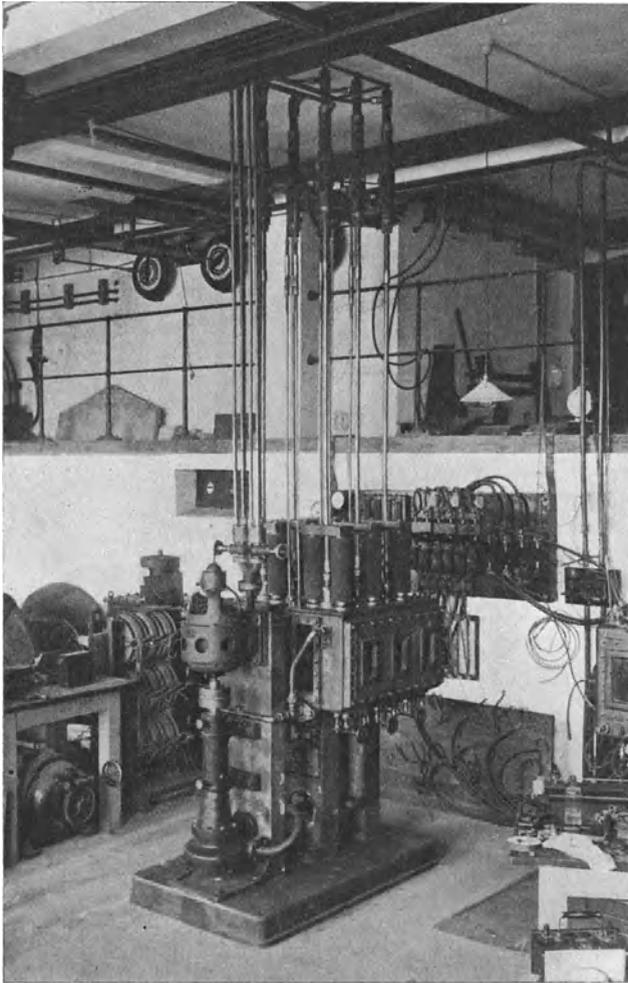


Abb. 132. Äußere Ansicht eines Strahlgleichrichters für 100 kW.

gar kurzschließen ohne Schaden zu nehmen. Die Gesellschaft, bei der er in Betrieb war, hebt seine günstigen Eigenschaften rühmend hervor.

Seitdem ist nach einer freundlichen mündlichen Mitteilung von Herrn Professor Hartmann ein Gleichrichter für 200 kW bei 550 V Gleichspannung für den sehr viel schwierigeren Bahnbetrieb aufge-

stellt. Er verträgt eine Überlastung um 50% auf 300 Amp. während 20 Minuten und arbeitet durchaus zufriedenstellend. Der Strahldurchmesser beträgt bei ihm 4 mm, die Strahlgeschwindigkeit 6 m/sec, die

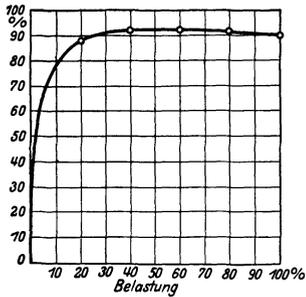


Abb. 133. Wirkungsgradkurve des Strahlgleichrichters bei 230 V Gleichspannung und 100 kW.

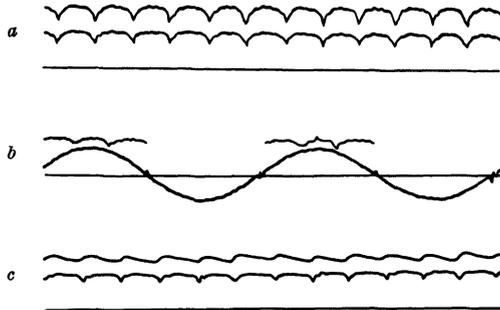


Abb. 134. Oszillogramme des Strahlgleichrichters. a Gleichstrom und -spannung bei induktionsfreier Belastung, b Strom und Spannung einer sekundären Halbphase des Transformators, c Gleichspannung und -strom bei Glättungsdrossel und Motorlast.

Strahllänge 12 cm. Das Gewicht eines Gleichrichtersystemes 25 g. Der Wirkungsgrad 92 bis 95% je nach der Last.

**124. Der Wellenstrahlgleichrichter für große Ströme und kleine Spannungen.** Dieses außerordentlich interessante Prinzip ist vielleicht imstande, noch eine zweite Lücke der Gleichrichter auszufüllen. In der elektrochemischen Industrie wird Gleichstrom von Tausenden von Ampere bei Spannungen von etwa 20 V benötigt. Bei sämtlichen für so große Ströme geeigneten Gleichrichtern ist der Spannungsverlust in der durchlässigen Richtung so groß, daß ihre Verwendung für diesen Fall nicht in Frage kommt. Professor Hartmann hat dagegen die in Abb. 135 wiedergegebene Abänderung seines normalen Gleichrichters entwickelt, die das Problem löst.

$E$ ,  $E_1$  und  $E_2$  sind 3 Striegelelektroden, die in der in Abb. 135 angegebenen Weise mit dem Hochstromtransformator und der Gleichstrombelastung verbunden sind. Die Elektroden sind in Abb. 135 senkrecht von oben gesehen. Der abgelenkte, von oben kommende Quecksilberstrahl verbindet abwechselnd  $E$  mit  $E_1$  und  $E_2$ . Beim Übergang verhindert das Messer  $M$  den Kurzschluß zwischen  $E_1$  und  $E_2$ . Während also der Netzstrom bei dem zuerst beschriebenen Wellenstrahl-Gleichrichter den Quecksilberstrahl der Länge nach durchfließt, wodurch ein nicht unbeträchtlicher Spannungsverlust bedingt wird, durchsetzt er in

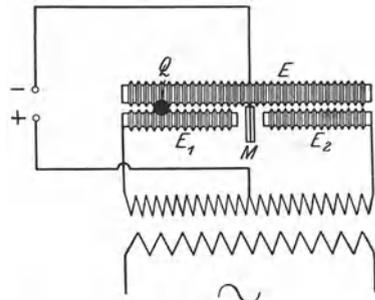


Abb. 135. Wellenstrahlgleichrichter für große Stromstärken und kleine Spannungen. Striegelelektroden  $E$ ,  $E_1$ ,  $E_2$  und Messer  $M$  von oben gesehen.

Abb. 135 den Quecksilberstrahl quer, so daß die Länge der Quecksilberstrecke sehr klein, ihr Querschnitt sehr groß ist. Der Widerstand läßt sich in diesem Falle auf 0,0001 Ohm herunterdrücken; bei 5000 Amp. würde also der Spannungsverlust 0,4 V betragen, was bei 20 V Netzspannung einen Verlust von 2,5% bedeuten würde. Kein einziger anderer Gleichrichter vermag das zu leisten.

Endlich scheint das Prinzip ohne Schwierigkeit einer Umkehrung fähig zu sein. Dem Gleichrichter wird Gleichstrom zugeführt, der Quecksilberstrahl durch eine entweder vorhandene oder für diesen Zweck mit geringfügiger Energie erzeugte Wechselspannung zum Schlenkern gebracht, so daß er dem Transformator Wechselstrom zuführt. Ein normaler Quecksilberstrahlgleichrichter, der mit einer Gleichstrommaschine parallel arbeitete, lieferte ohne weiteres Wechselstrom an das Netz, wenn die Spannung der parallelen Gleichstrommaschine hinreichend erhöht wurde. Damit erscheint das Problem der Fernübertragung von Wechselstrom seiner Verwirklichung wieder einen Schritt näher gerückt.

Auf die zahlreichen anderen Anwendungen dieses Quecksilberstrahlprinzipes als Relais, Steuerungsorgan, Frequenzmesser, Oszillograph kann hier leider nicht näher eingegangen werden.

**125. Gleichrichter mit schwingender Flamme.** Neben den Gleichrichtern mit schwingenden festen Kontakten und denen mit schwingendem Flüssigkeitsstrahl kommt als dritte Möglichkeit die Verwendung schwingenden Gases in Frage. Auch diese ist praktisch erprobt worden.

Wenn eine Flamme in die Nähe einer von zwei einander gegenüberstehenden Elektroden gebracht wird, läßt sich eine gewisse Gleichrichterwirkung erzielen, da die Flamme eine große Menge negativer Ionen liefert. Diese Wirkung läßt sich nach J. J. Dowling und

J. T. Harris<sup>1</sup> wesentlich verbessern, wenn die Flamme genau synchron mit der Wechselspannung steigt und fällt. Hierzu wird das die Flamme speisende Gas durch eine Königsche Manometerkapsel *m* (Abb. 136) geleitet, deren Membran entweder eine Eisenplatte oder eine Gummischeibe ist, die ein in der Mitte aufgeklebtes Eisenstück trägt. Unter ihr ist ein Elektromagnet *J* mit zwei getrennten Wicklungen *W* und *G* angeordnet. Durch die Windungen *W* geht der volle Primärstrom des

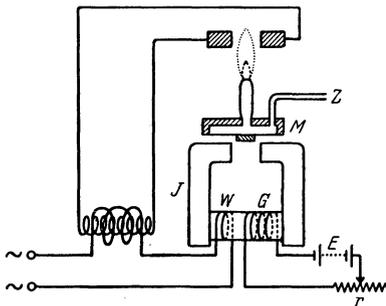


Abb. 136. Schema eines Gleichrichters mit schwingender Flamme.

Hochspannungstransformators. Die Wicklung *G* führt Gleichstrom von einem Akkumulator *E*. Der Gleichstrom bewirkt, daß die Magnetisierung in jeder Periode nur einmal auf- und abschwankt. Die Kapsel muß möglichst flach, die Flamme 8 bis 10 cm hoch, das Zuleitungs-

<sup>1</sup> Scientific Proceed. Dublin Society Bd. 16, S. 171. 1921.

rohr  $z$  entweder eng oder an seiner Mündung leicht mit Watte verstopft sein.

Mit einer Kapsel von  $2 \text{ cm}^3$  Volumen, einem Brennerrohr von  $1 \text{ cm}^3$  und einer Gummimembran von  $3 \text{ cm}$  Durchmesser lassen sich Flammenschwankungen zwischen  $1$  und  $10 \text{ cm}$  Höhe erreichen. Bei einer Wechselspannung von  $6000 \text{ V}$  ergeben sich Gleichströme bis  $20 \text{ mA}$  und vollständige Gleichrichtung. Wesentlich höhere Spannungen lassen sich mit einer Flamme nicht bewältigen, weil die Flamme dann elektrostatisch beeinflußt wird.

## B. Elektrolytgleichrichter.

**126. Allgemeine Anforderungen, Phywe-Gleichrichter.** Damit ein Elektrolytgleichrichter technisch brauchbar ist, sind folgende Forderungen an ihn zu stellen:

1. Die Ventilwirkung muß eine vollständige sein.
2. Die Maximalspannung muß ein gut Teil höher liegen, als der Scheitelwert derjenigen Wechselspannung, die er gleichrichten soll.
3. Die elektrostatische Kapazität muß wegen der durch sie bedingten störenden Kapazitätsströme möglichst klein sein.
4. Die Mindestspannung in der durchlässigen Richtung muß niedrig sein.
5. Der Elektrolyt soll einen kleinen spezifischen Widerstand haben.
6. Die kühlende Oberfläche der Zelle muß bei wäßrigen Elektrolyten so groß sein, daß sie sich bei Dauereinschaltung mit Vollast nicht über  $40^\circ$  erhitzt, da bei höheren Temperaturen fast sämtliche Ventilwirkungen unvollständig werden.

Wenn nun  $100 \text{ V}$  Gleichspannung geliefert werden sollen, so muß bei Ausnutzung beider Stromrichtungen die Zelle unter Berücksichtigung der Verluste reichlich  $300 \text{ V}$  absperrn. Infolgedessen ist die Mindestspannung relativ hoch. Der Elektrolyt muß stark verdünnt sein, damit die Maximalspannung genügend über  $300 \text{ V}$  liegt. Die Folge ist ein verhältnismäßig hoher spezifischer Widerstand des Elektrolyten. Damit die durch diesen Widerstand und die Mindestspannung bedingten Verluste die Zelle gemäß Punkt 6 nicht unzulässig erwärmen, muß sie große Abmessungen erhalten. Das führt wiederum zu einer großen elektrostatischen Kapazität und störenden Kapazitätsströmen.

Diese Schwierigkeiten hatten zur Folge, daß der Versuch, einen lebensfähigen Elektrolytgleichrichter für  $100 \text{ V}$  Gleichspannung herzustellen, scheiterte.

Man übersieht jedoch mit einem Blick, daß alle Schwierigkeiten verschwinden, wenn es sich um Lieferung von  $6 \text{ V}$  Gleichspannung handelt. Man kann dann beliebig konzentrierte Lösungen nehmen, ohne fürchten zu müssen, daß die Maximalspannung zu niedrig wird. Man kann sich also den bestleitenden Elektrolyten mit einer Kombination aussuchen, in der die elektrostatische Kapazität und die Mindestspannung klein sind. Das ist in letzter Zeit mehrfach mit Erfolg versucht worden.

## 1. Der Phywe-Gleichrichter:

Ein anscheinend gut durchkonstruierter und lebensfähiger Gleichrichter wird unter dem Namen „Phywe-Gleichrichter“ von den Physikalischen Werkstätten, Göttingen, hergestellt. Die Firma verwendet als Gefäß einen starken eisernen Zylinder, der die Kathode bildet. Dadurch werden die Nachteile eines Glasgefäßes vermieden. Die Aluminiumanode ist in Form eines Stabes aus möglichst reinem Aluminium isoliert durch den Deckel des Gefäßes geführt. Der Elektrolyt ist Ammoniumkarbonat (Hirschhornsalz). Durch eine Einfüllöffnung kann der Elektrolyt leicht ausgewechselt werden.

Die Firma empfiehlt, die Lösung in den Zellen etwa 2 mm hoch mit Öl zu bedecken, teils um die Anfrassungen des Aluminiums zu verringern, die an der Stelle, an der es die Grenze zwischen Flüssigkeit und Luft durchsetzt, am wirksamsten sind, teils um eine übermäßige Verdunstung des Elektrolyten zu verhindern. Da sich das Ammonium-

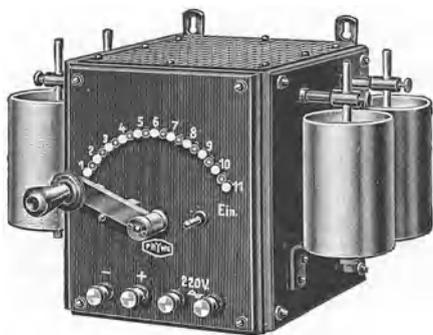


Abb. 137. Ansicht eines Phywe-Elektrolytgleichrichters.

karbonat oberhalb von 50° C schnell zersetzt, muß die Temperatur unter diesem Wert bleiben, außerdem nimmt oberhalb dieser Temperatur die Gleichrichterwirkung stark ab. Da andererseits die Leitfähigkeit des Elektrolyten mit der Temperatur beträchtlich zunimmt, arbeiten die Gleichrichter mit einer Temperatur des Elektrolyten von etwa 40° C am günstigsten. Die Physikalischen Werkstätten empfehlen

entweder die Verwendung von Einzelzellen, die nur eine Stromrichtung ausnutzen bis zu einer Wechselspannung von 30 V direkt, darüber hinaus unter Zwischenschaltung eines Transformators, oder von 4 Zellen in der Grätzschen Vierzellenschaltung zur Ausnutzung beider Stromrichtungen. Hierbei kann das Aggregat bis 60 V Wechselspannung belastet werden, da stets zwei Zellen hintereinander geschaltet sind.

Um die Zellen, die sich bei längerer Einschaltungsdauer verschlechtern haben, wieder voll wirksam zu machen, soll man die Al-Anode in den Zellen während des Durchganges des Stromes mit einer scharfen Schneide aus Stahl oder Messing abschaben, wobei starke knallend Funken entstehen.

Der Gleichstromwirkungsgrad der Gleichrichter einschließlich der Transformatoren wird zu 10 bis 30% je nach der Größe der Belastung bei mittlerer Benutzungsdauer angegeben.

Abb. 137 zeigt einen größeren Gleichrichter der Phywe. Er besteht aus einem Stufentransformator mit 11 Stufen, der sich in einem Kasten von 20 · 20 · 30 cm befindet. An zwei gegenüberliegenden Seitenwänden des Kastens hängen die 4 Gleichrichterzellen von den Abmessungen 7 · 7 · 22 cm, die mit je 850 cm<sup>3</sup> Lösung gefüllt werden.

Der Kurbelschalter erlaubt mit Hilfe der Transformatorstufen Gleichspannungen von 20 bis 70 V bei 222 V Primärspannung einzustellen. Ein besonderer Regulierwiderstand ist nicht vorhanden.

**127. Der Balkitegleichrichter.** Im Balkitegleichrichter, der sich in Amerika großer Beliebtheit erfreut und dort in großem Umfange verwendet wird, ist Tantal als Ventilelektrode benützt. Die schon recht alten Versuche, Tantalgleichrichter zu konstruieren, scheiterten anfänglich stets daran, daß Tantal den in der durchlässigen Richtung an ihm abgeschiedenen Wasserstoff aufnimmt und dadurch so spröde und so gedehnt wird, daß es schließlich von selbst zerbröckelt. Ein entscheidender Fortschritt wurde hier erst durch die Entdeckung erzielt, daß bei Verwendung von Schwefelsäure mittlerer Konzentration, der etwas Ferrosulfat zugesetzt ist, infolge einer eigentümlichen Doppelwirkung dieses Eisensalzes der Wasserstoff nicht unmittelbar an der Tantaloberfläche frei wird, so daß er dem Tantal nicht schadet.

Dieses Prinzip ist bei dem Balkite-Gleichrichter angewandt. Er besteht aus einer Tantal- und einer Bleielektrode in 25 % Schwefelsäure, der 0,8 %  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  zugesetzt sind. Abb. 138 zeigt seine vorzügliche Sperrwirkung. Bei der Aufnahme der Abb. 138 wurde die Empfindlichkeit des Oszillographen in demselben Maße verringert, wie der den Gleichrichter belastende Widerstand, so daß die

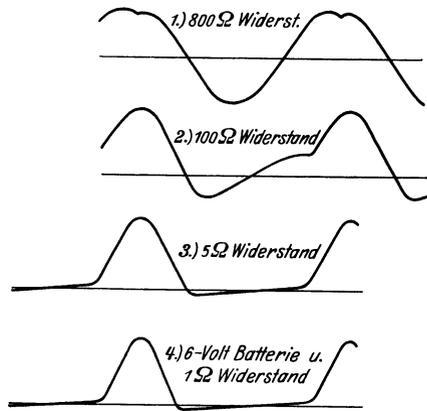


Abb. 138. Oszillogramme des durch einen Balkitegleichrichter gleichgerichteten Stromes bei verschiedener Belastung.

Scheitelwerte der Ströme stets gleich hoch waren. Die Oszillogramme lassen erkennen, daß bei Entnahme sehr geringer Ströme der Kapazitätsstrom die Gleichrichterwirkung fast völlig überdeckt. Bei mittlerer Belastung tritt der Kapazitätsstrom immer noch deutlich hervor, bei Vollast ist er kaum noch wahrnehmbar. Die Absperrung des Stromes in der undurchlässigen Richtung ist vorzüglich. Der Apparat begnügt sich mit Ausnutzung einer Stromrichtung, die andere wird unterdrückt. Das Hauptanwendungsgebiet des in einer Anzahl verschiedener Typen hergestellten Balkite-Gleichrichters ist die Ladung der Heizbatterien von 6 V. Doch wird er auch für wesentlich höhere Spannungen zum direkten Ersatz von Anodenbatterien hergestellt. Bei einer Type für 2,5 A 6 V ergab sich der Wirkungsgrad des gesamten Gleichrichters einschließlich der Verluste im Transformator für 110/6 V zu 30 % und verschlechterte sich bei einer Dauereinschaltung von mehr als 1000 Betriebsstunden nicht merklich. Die Verdunstung des Wassers wird durch eine Ölschicht verhindert. Das durch die Elektrolyse verbrauchte Wasser muß von Zeit zu Zeit ersetzt werden.

Die in Deutschland geplante Herstellung dieses Gleichrichters ist zugunsten des Trockenplattengleichrichters nicht zur Ausführung gekommen.

Versuche, die Ventilwirkung des Al mit geschmolzenem Salpeter zur Herstellung eines brauchbaren Gleichrichters zu verwenden, sollen in Amerika ebenfalls Erfolg gehabt haben, doch habe ich darüber Näheres nicht erfahren können.

Bei einem seit längerer Zeit in Deutschland in Erprobung befindlichen Gleichrichter aus Aluminium in geschmolzenem Salpeter scheinen sich Schwierigkeiten ergeben zu haben, denn er ist meines Wissens bisher nicht auf dem Markt erschienen.

Für den Aluminiumgleichrichter sind von Bairsto einige sinnreiche Schaltungen angegeben worden, die zusammen mit den ebenfalls besonders für Elektrolytgleichrichter besonders geeigneten Greinacher-schaltungen auf S. 117 näher beschrieben worden sind.

Zu bedenken ist bei allen Elektrolytgleichrichtern, daß sie im Betriebe proportional den hindurchgehenden Stromstärken Knallgas entwickeln. Es ist also, besonders wenn es sich um größere Ströme handelt, für explosions sichere Beseitigung dieses Knallgases Sorge zu tragen.

## C. Glühkathodengleichrichter.

### a) Mit Vakuum.

**128. Die Anodengleichrichtung.** Die ersten Vakuum-Glühkathodengleichrichter für Hochfrequenzzwecke bestanden aus einem Glühdraht, der von einem Metallzylinder als Anode möglichst eng umgeben war.

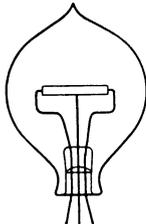


Abb. 139. Ältester Vakuumglühkathodengleichrichter nach Fleming.

Abb. 139 zeigt einen derartigen Gleichrichter nach Fleming. Sie dienen zum Empfang drahtloser Schwingungen. Abb. 140 zeigt ihre Schaltung, Abb. 141 ihre Kennlinien. Wenn die Antenne keine Wellen empfängt, liegt das Potential der Anode bei  $M$  und der Anodenstrom hat die Größe  $J_a$ . Treffen Wellen ein, so schwankt das Potential mit der Amplitude  $E_g$  um  $M$ , der mittlere Anodenstrom wird  $J_i$ . Die Stromdifferenz

$$\delta J_a = \frac{1}{T} \int i_a dt - J_a \quad (160)$$

wird als Gleichrichtereffekt bezeichnet. Hiernach verhält sich diese Ventilröhre wie ein Kristalldetektor.

Ein großer Fortschritt war die Einschaltung eines Gitters zwischen Anode und Glühkathode nach Abb. 142. Hier wirkt das Gitter je nach dem Potential, das es durch die Spule erhält, antreibend oder bremsend auf die von der Glühkathode zur Anode durch das Gitter hindurchströmenden Elektronen. Es sändert also den Anodenstrom, ohne selbst einen wesentlichen Strom liefern zu müssen. Die empfangenen Schwingungen haben lediglich die Verluste im Gitterstromkreis zu decken, die durch geeignete Zusatzschaltungen beliebig klein gemacht werden

können. Die Energie zum Betrieb des Telefons wird von der Anodenbatterie geliefert. Abb. 143 enthält einige der jetzt gebräuchlichen Audiontypen.

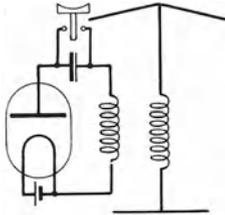


Abb. 140. Gleichrichterschaltung einer Elektronenröhre ohne Gitter.

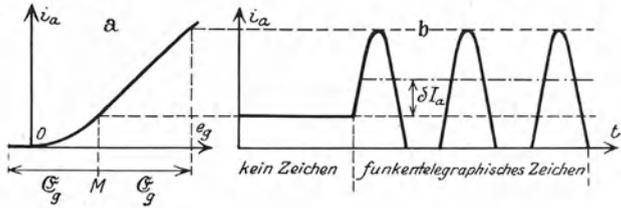


Abb. 141. Charakteristik einer Elektronenröhre ohne Gitter und Vergrößerung des Gleichstroms bei Wechselstrombelastung.

**129. Die Gittergleichrichtung.** Auch die Krümmung der Gitterkennlinie läßt sich zum Gleichrichten verwenden. Die Schaltung in diesem Falle ist die der Abb. 144. Im Gitterkreis befindet sich ein sehr großer Widerstand  $R_g$ , der durch einen Kondensator von etwa 1000 cm überbrückt ist, der den Widerstand für Hochfrequenzströme kurzschließt.

Im Gitterkreis fließt als Gleichrichtereffekt ein Gleichstrom

$$\delta J_g = \frac{1}{2} \frac{\partial S_g}{\partial e_g} \mathcal{E}_g^2. \quad (161)$$

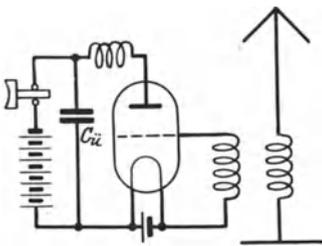


Abb. 142. Schaltung einer Gleichrichterröhre mit Gitter.

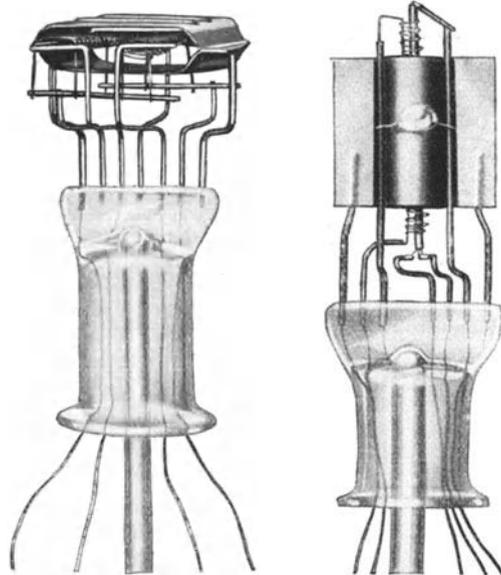


Abb. 143. Audionröhren der Telefunken-Gesellschaft. Links direkt, rechts indirekt geheizte Röhre.

Links: RE 084		Rechts REN 1104	
Fadenspannung . . .	3,8—4 V	Fadenspannung . . .	3,5—4 V
Heizstrom . . . . .	80 mA	Heizstrom . . . . .	1,1 A
Anodenspannung . . .	40—150 V	Anodenspannung . . .	70—200 V
Steilheit . . . . .	2,0 mA/V	Steilheit . . . . .	1,5 mA/V
Durchgriff . . . . .	6%	Durchgriff . . . . .	10%
Verstärkungsfaktor	16	Verstärkungsfaktor	10
Emission . . . . .	30 mA	Emission . . . . .	40 mA

Der Strom  $\delta J_g$  lädt den Gitterkondensator auf ein negatives Potential  $E_g - E_{g_0}$  auf, wodurch der Anodenstrom um  $\delta J_a = S_A (E_g - E_{g_0})$  verringert wird. Die Schaltung der Abb. 144 heißt Audionschaltung.

Die Röhre wirkt in dieser Schaltung wie ein Detektor mit darauffolgendem Niederfrequenzverstärker.

Den zeitlichen Verlauf der Gitterspannung und des Anodenstromes zeigt Abb. 145. Da die Verschiebung des Gitterpotentials  $E_g - E_{g_0}$  möglichst groß sein soll, muß  $R_g$  groß gegen den inneren Widerstand  $R'_{1g}$  gewählt werden. Dann wird.

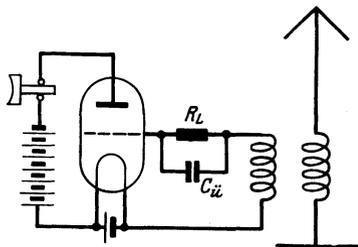


Abb. 144. Gittergleichrichtung in Audioschaltung.

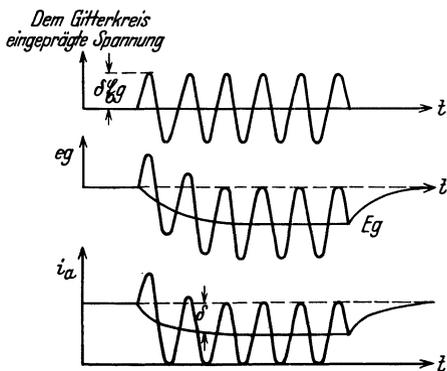


Abb. 145. Gittergleichrichtung. Oberste Kurve: Eintreffende Hochfrequenzschwingung. Mittlere Kurve: Gitterspannung. Untere Kurve: Anodenstrom.

$$E_g - E_{g_0} = \delta J_g \frac{\partial e_g}{\partial i_g} = \frac{1}{S_g} \frac{\partial S_g}{\partial e_g} \frac{1}{4} \mathfrak{G}_g^2; \quad (162)$$

$$\delta J_a = \frac{1}{4} \frac{S_A}{S_g} \frac{\partial S_g}{\partial e_g} \mathfrak{G}_g^2. \quad (163)$$

Nach Barckhausen ist

$$E_g - E_{g_0} = \frac{1}{4} \alpha \mathfrak{G}_g^2 \quad (164)$$

unabhängig von der Stelle der Gitterkennlinie, an der man arbeitet.

**130. Hochspannungs-Glühkathodengleichrichter. Glätten der Gleichstrompulsationen.**

Während bei den Gleichrichtern für größere Stromstärken und niedere Frequenzen Kondensatoren zum Ausgleich der Pulsationen erst in der letzten Zeit in Aufnahme kommen, weil sie sehr große Kapazitäten von mehreren Tausend Mikروفarad haben müssen, leisten sie seit langem gute Dienste, wenn es sich um kleine Ströme und hohe Spannungen handelt. Das Verfahren richtet sich dabei nach der Größe des vom Verbrauchskörper zu entnehmenden Stromes. Ist der Verbrauchskörper fast ein Isolator, wie z. B. das Dielektrikum eines Kabels, das auf Durchschlagssicherheit mit Gleichstrom untersucht werden soll, so genügt die einfachste bereits

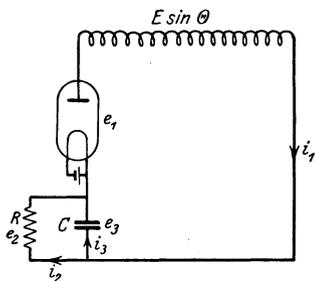


Abb. 146. Stromkreis mit Kapazität zum Glätten des zerhackten Gleichstroms eines Einweggleichrichters.

auf S. 120 behandelte Schaltung: ein Einphasenventil und ein Kondensator liegen in Reihe, der Verbrauchskörper zum Kondensator parallel (Abb. 146). Ist der Stromverbrauch etwas größer, so werden 2 Ein-

phasenventile in der in Abb. 147 angegebenen Weise geschaltet. Die erforderliche Größe der Kapazität berechnet sich angenähert nach den Formeln

$$C_1 = \frac{i_2}{e_2} \frac{\pi + 2\Theta_\alpha}{2\pi} \frac{1}{bf} \quad (165)$$

für die Schaltung der Abb. 146

$$\text{und} \quad C_2 = \frac{i_2}{e_2} \cdot \frac{\Theta_\alpha}{\pi} \frac{1}{bf} \quad (166)$$

Abb. 147.

Dabei bedeutet  $i_2$  den mittleren Strom im Verbrauchskörper,  $e_2$  die mittlere Spannung an ihm,  $b$  die zulässige Spannungsschwankung in Bruchteilen der mittleren Spannung  $e_2$ ,  $\Theta_\alpha = \sin^{-1} \frac{e_2}{E}$  den Phasenwinkel, bei dem der Strom durch das Ventil zu fließen beginnt.  $f$  ist die Frequenz des Wechselstromes.

Ist beispielsweise  $R$  ein induktivitätsfreier Widerstand von  $10^5$  Ohm;  $i_2 = 0,064$  Amp.;  $b = 0,1$ ;  $f = 50$  Per/sec;  $E = 20000$  V, so wird

$$C_1 = 1,21 \mu\text{F} \text{ und } C_2 = 0,84 \mu\text{F},$$

für 20000 V schon recht unangenehm große Kapazitäten.

**131. Wellenfilter (Siebketten).** Sollen nur geringe Pulsationen zugelassen werden, so empfiehlt sich die Verwendung von Siebketten, für die Abb. 148 ein Beispiel angibt. Die Siebkette besteht hier aus den beiden Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$ , den beiden Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$  und dem Belastungswiderstand  $R$ . Ist  $e_1$  die Spannung an  $C_1$ , so ist

$$i = C_1 \frac{d e_1}{d t}. \quad (167)$$

Nun ist der Zweck der Siebkette, daß  $i$  möglichst konstant ist. Wird  $i$  in Annäherung als völlig konstant angesehen, so wird

$$-\delta e_1 = \frac{i T}{C_1} = \frac{2\pi i}{\omega C_1}, \quad (168)$$

wo  $T$  die Zeit einer vollen Periode und  $\delta e_1$  die Spannungsschwankung an  $C_1$  ist.

Nun stehen offenbar die Spannungsschwankungen an  $C_1$  und  $C_2$  in dem gleichen Verhältnis zueinander wie die Impedanzen der beiden Kreise. Ist also  $\delta e_2$  die Schwankung an  $C_2$  und  $L_1 = L_2$ ,  $L_1 + L_2 = L$ , so wird

$$\frac{\delta e_2}{\delta e_1} = \frac{\frac{1}{\omega C_2}}{\frac{1}{\omega C_2} + \omega L} = \frac{1}{1 - \omega^2 L C_2}. \quad (169)$$

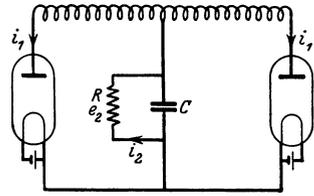


Abb. 147. Stromkreis mit Kapazität zum Glätten des von zwei Einweggleichrichtern gelieferten pulsierenden Gleichstromes.

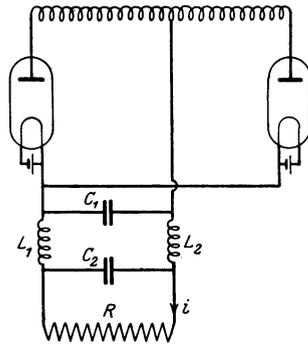


Abb. 148. Einfache Siebkette zur Beseitigung der Pulsationen des Stromes.

In Verbindung mit (168) ergibt das

$$\delta e_2 = \frac{2 \pi i}{\omega C_1 (1 - \omega^2 L C_2)} \tag{170}$$

Zur Ermittlung der besten Verteilung der Größe der Kapazität auf  $C_1$  und  $C_2$  wird  $C = C_1 + C_2$  gesetzt,  $\delta e_2$  nach  $C_2$  differenziert und gleich Null gesetzt. Dann ergibt sich

$$C_1 = \frac{1}{2} \left( C - \frac{1}{\omega^2 L} \right), \tag{171}$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \left( C + \frac{1}{\omega^2 L} \right) \tag{172}$$

und 
$$\delta e_2 (\min) = - \frac{8 \pi i}{\omega^3 L \left( C - \frac{1}{\omega^2 L} \right)^2}. \tag{173}$$

Die prozentuale Schwankung endlich wird

$$\frac{\delta e_2}{e_2} = - \frac{800 \pi}{R \omega^3 L \left( C - \frac{1}{\omega^2 L} \right)^2}. \tag{174}$$

Wird  $R = 10^4$  Ohm,  $L = 500$  Henry gewählt, so werden die Schwankungen bei

$C = 10 \mu\text{F}$	...	50 Per/sec	= 0,16 %
$10 \mu\text{F}$	...	100 "	= 0,02 %
$1 \mu\text{F}$	...	100 "	= 2,0 %
$0,01 \mu\text{F}$	...	1000 "	= 20,0 %

Es sind also bei niedrigen Frequenzen relativ große Kapazitäten nötig.

**132. Magnetroneneffekt bei Röhren für große Ströme.** Mit Hilfe der auf S. 43 angegebenen Gleichung

$$V_k = 44100 d_k^3 \left( \log_{10} \frac{d_a}{d_k} \right)^2$$

ist das Diagramm der Abb. 149 von Jolley entworfen worden. Dieses Diagramm zeigt, daß der Magnetroneneffekt bei dünnen Drähten nur eine unwesentliche Rolle spielt, über 1 mm Drahtdurchmesser jedoch schnell wirksam wird und schließlich die Verwendung dickerer Drähte, also die Konstruktion von Ventilen für große Stromleistungen, außerordentlich erschwert. Es liegt nahe, mit dem Elektrodenabstand wesentlich weiter herunterzugehen, als in Abb. 149 vor-

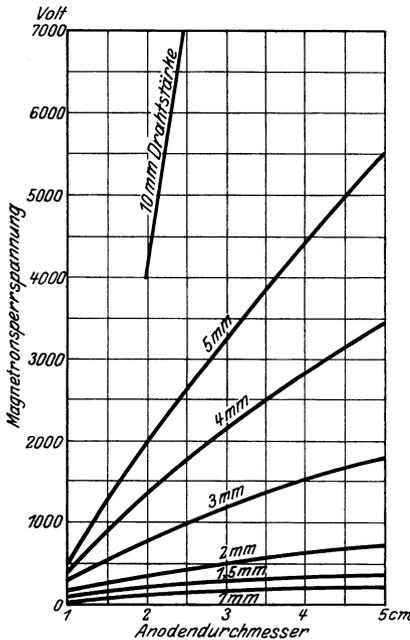


Abb. 149. Die kritischen Spannungen des Magnetroneneffektes in Abhängigkeit von Anoden- und Kathodendurchmesser.

gesehen ist, sich beispielsweise bei einem Glühdraht von 5 mm Durchmesser mit einem Abstand von 2 mm zu begnügen. Dabei ist aber zu

bedenken, daß, wenn ein Draht von 5 mm Durchmesser, der sich auf 2500° abs. befindet, von einem Zylinder von 9 mm umhüllt wird, dieser Zylinder durch Strahlung im Vakuum eine so hohe Temperatur erhält, daß er ebenfalls zu emittieren vermag und die Ventilwirkung verschwindet, zumal er noch durch übergehende Elektronen besonders geheizt wird. Nur Wasserkühlung vermag hier weiterzuhelfen.

Sehr anschaulich zeigt auch Abb. 150 die Verhältnisse. Sie wurde aus Oszillographenaufnahmen an Röhren der

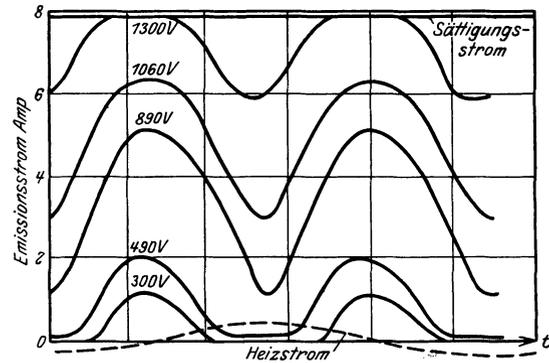


Abb. 150. Verringerung des Emissionsstromes durch den Magnetroneneffekt des Heizwechselstromes (---). Die eingetragenen Spannungen sind die Anodenspannungen. Kathodendurchmesser 1,8 mm. Anodendurchmesser 33 mm. Effektiver Heizstrom 125 Amp.

General Electric Co. mit wassergekühlten Anoden erhalten, bei denen der Glühdraht 1,8 mm Durchmesser hatte, 125 Amp. Belastung aufnahm und sich in der Achse des Anodenzylinders von 3,3 cm Durchmesser befand. Der Glühdraht wurde mit Wechselstrom geheizt. Die gestrichelte Kurve ist die Kurve des Heizstromes. Die den Kurven beigefügten Zahlen sind die Anodenspannungen. Die Abbildung zeigt, daß der Emissionsstrom ein Maximum hat, wenn der Heizstrom durch Null geht, der Magnetroneneffekt also Null ist, bei maximalem Heizstrom dagegen sehr verringert wird. Es werden hier also durch den Magnetroneneffekt bei konstanter Anodenspannung im Emissionsstrom kräftige Pulsationen von der doppelten Frequenz des Heizstromes hervorgerufen.

**133. Berechnung von Glühkathodengleichrichtern.** 1. Gegeben sei eine Anode von 5 cm Durchmesser und 10 cm Länge. In ihrer Achse als Kathode ein Glühdraht, dessen Sättigungsstrom 0,5 Amp./cm<sup>2</sup> beträgt. Gesucht ist die Gesamtmission, die Sättigungsspannung, der Energieverbrauch an der Anode bei

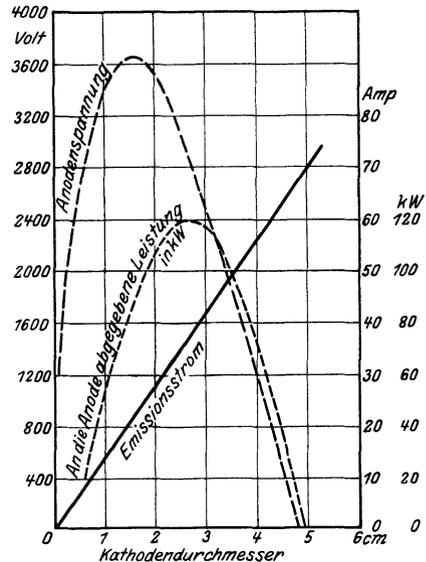


Abb. 151. Abhängigkeit des Emissionsstromes, des Energieverbrauches und der Anodensättigungsspannung eines Glühventils vom Kathodendurchmesser, wenn die Anode 5 cm Durchmesser, 10 cm Länge und die Kathode eine Emission von 0,5 Amp./cm<sup>2</sup> hat.

Sättigung in Abhängigkeit vom Kathodendurchmesser.

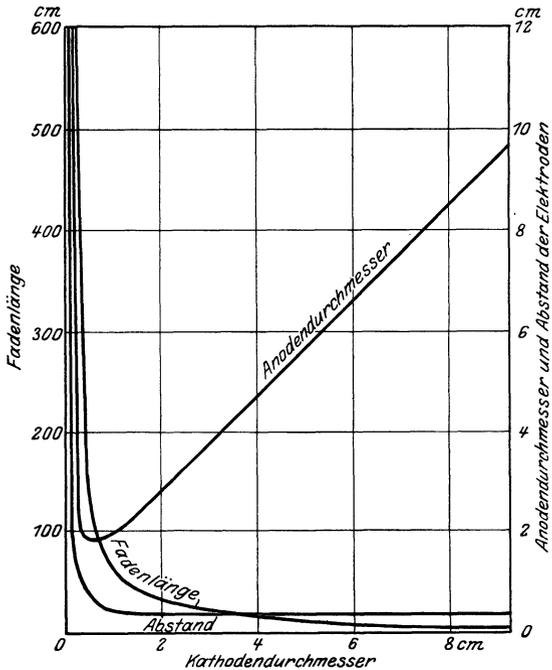


Abb. 152. Anodendurchmesser, Glühdrahtlänge und Elektrodenabstand in Abhängigkeit vom Kathodendurchmesser, wenn die Gesamtsättigungsemission der Kathode bei 0,5 Amp./cm<sup>2</sup> und 1000 V 100 Amp. beträgt.

Die Lösung findet sich in Abb. 151 nach Jolley.

2. Gesucht sei ein Gleichrichter mit einer Gesamtsättigungsemission von 100 Amp. bei einer Anodenspannung von 1000 V. Die Kathode liefere 0,5 Amp./cm<sup>2</sup>, muß also 200 cm<sup>2</sup> Oberfläche haben. Daraus ergeben sich Wertereihen für Durchmesser und Länge der Kathode und daraus wieder der erforderliche Anodendurchmesser. Abb. 152 enthält die Ergebnisse. Aus ihr läßt sich ablesen, daß mit zunehmendem Kathodendurchmesser der Anodendurchmesser schnell auf ein Minimum fällt und dann wieder steigt.

#### 134. Betrieb von Glühkathodengleichrichtern.

Eine Vergrößerung der Heizspannung des Glühdrahtes um 5% verringert bei reinen Wolframdrähten in dem Gebiete, in dem sie arbeiten, ihre Lebensdauer auf etwa ein Viertel. Es muß deshalb sehr genau gemessen werden, und zwar muß nicht der Strom, sondern die Spannung konstant gehalten werden, da ein konstanter Strom die Verdunstung des Wolframs beim Dünnerwerden des Drahtes viel schneller in die Höhe treibt als eine konstante Spannung.

Eine weitere Schwierigkeit, auf die sehr zu achten ist, ist die ungleichmäßige Heizung des Drahtes. Das negative Ende des Drahtes, das von Heizstrom und Emissionsstrom durchflossen wird, wird heißer als das positive. Bei großen Gleichrichtern empfiehlt es sich, dem Heizstrom — wenn möglich — eine vom gleichzurichtenden Strom etwas abweichende Frequenz zu geben. Dann verteilt sich bei dicken Drähten die Temperatur annähernd gleichmäßig über den ganzen Draht.

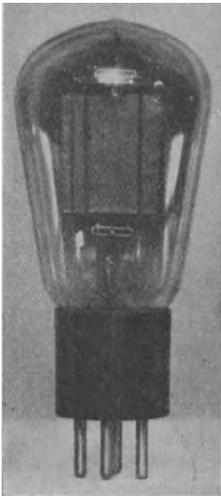


Abb. 153. Vakuumglühkathodengleichrichter RGN 1503 der Osram-Gesellschaft für 300 V 75 mA.

**135. Verschiedene Gleichrichtertypen.** Abb. 153 zeigt einen kleineren Gleichrichter RGN 1503, der viel in Netzanschlußgeräten verwandt wird. Seine Heizspannung  $V_H$  beträgt 2,5 V, sein Heizstrom  $i_H$  1,4 Amp. Er ist für 300 V Gleichspannung bei 75 mA bestimmt.

Eine etwas größere Type ist die Röhre RG 52 für 6000 V Gleichspannung bei 150 mA 16,5 V Heizspannung und 8,0 Amp. Heizstrom (Abb. 154).

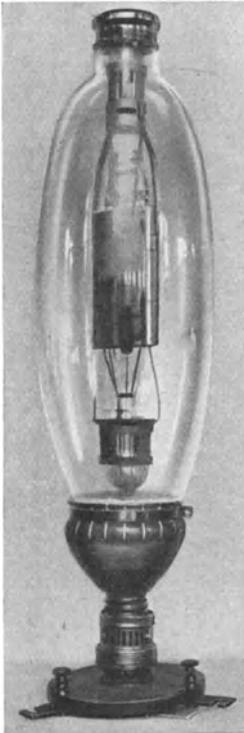


Abb. 154. Vakuumglühkathodengleichrichter RG 52 der Osramgesellschaft für 6000 V 150 mA.

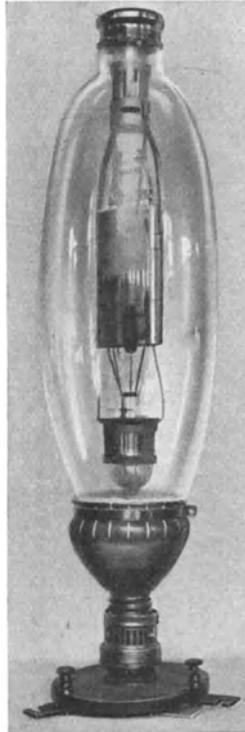


Abb. 155. Hochspannungsglühkathodengleichrichter RG 61 der Osram-Gesellschaft für 15000 V 600 mA.

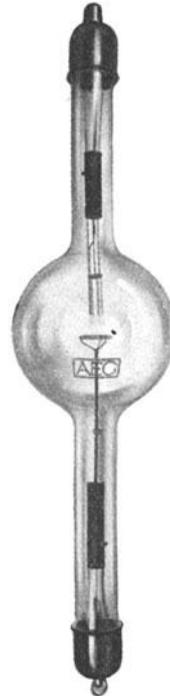


Abb. 156. Röntgen-gleichrichter der Osram-Gesellschaft für 250000 V 20 mA.

Es folgt die Type RG 61 (Abb. 155) für 15000 V Gleichspannung 600 mA mit 31,5 V Heizspannung und 17,0 Amp. Heizstrom.

Bei dem Röntgen-gleichrichter G II für 250000 V Gleichspannung und 20 mA besteht die Glühkathode aus mehreren parallel geschalteten Fäden (Abb. 156). Er wird vorwiegend für Röntgenzwecke in der Stabilivolt-schaltung verwandt und läßt sich für Momentaufnahmen bis zur Sättigungsstromstärke von 1 Amp. belasten.

Bei diesen Gleichrichtern kommen bisweilen sehr interessante Störungen vor, die darin bestehen, daß der hindurchgelassene Gleichstrom sinkt, während gleichzeitig die Anode sehr heiß wird, ein Zeichen, daß

der Spannungsverlust im Gleichrichter enorm gestiegen ist. Nach einiger Zeit steigt der Strom wieder, während die Anodentemperatur sinkt, worauf sich das Spiel von neuem wiederholt.

Die Ursache besteht darin, daß die Elektronen, die an die Glaswände geraten, bei hochgradigem Isolationsvermögen dieser Glaswände nicht abgeleitet werden, sondern eine Ladung bilden, die ein hohes Gegenfeld für die austretenden Elektronen erzeugt, so daß der Spannungsverlust abnorm groß wird. Das führt zur Überheizung der Anode und zur Überhitzung des ganzen Rohres, bis die Temperatur so hoch wird, daß das Glas die zur Ableitung der Elektronenladungen erforderliche (sehr geringe) Leitfähigkeit erhält. Darauf kühlt sich Anode und Glaswand wieder ab und der Vorgang kann von neuem beginnen.

## b) Mit Gasfüllung.

### 1. Die älteren Typen.

**136. Die Wehneltgleichrichter.** Die Wehneltgleichrichter werden von der Akkumulatorenfabrik A.-G. in Berlin-Oberschöneweide hergestellt. In den letzten Jahren sind ganz wesentliche Verbesserungen bei diesen Gleichrichtern erzielt worden. Anfänglich wurden die Gleichrichter für geringere Ströme vorwiegend in zwei Ausführungsformen für Hoch- und Niederspannung hergestellt. Die Niederspannungstypen eignete sich in erster Linie für Dauerladung von Akkumulatorzellen, Notbeleuchtung, Telephonzentralen usw.

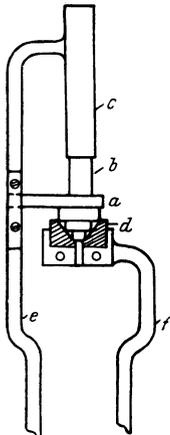


Abb. 157.  
Ältere Glühkathode des Wehneltgleichrichters. *a* schneckenförmiger Leiter, *b* Oxydstift, *c* Führungsröhre, *d* Oxydblock, *e, f* Stromzuführungen.

Der wichtigste Teil des Wehneltgleichrichters, die Glühkathode, ist in Abb. 157 schematisch dargestellt. Auf dem schneckenförmig aufgewundenen Leiter *a* aus einem hochschmelzenden Metall, in der Regel Iridium, das mit einer aktiven Schicht überzogen war, ruhte ein massiver Stift *b* aus dem gleichen aktiven Material (Erdalkalioxydmischung). Der Stift *b* wurde in dem Rohre *c* geführt und die Spiralkathode ruhte auf dem Oxydblock *d*. *e* und *f* waren die Stromzuführungen, mittels deren die Kathode auf Gelbglut erhitzt wurde. Der dann entstehende gleichgerichtete Hauptstrom setzte lichtbogenartig an dem Oxydvorrat an und brachte ihn zur Verdampfung und Sublimation auf die eigentliche Kathode, so daß die von ihr verdampfende Oxydschicht immer wieder ersetzt wurde. Durch die bewegliche Anordnung des Oxydvorrates wurde die aktive Masse nach Maßgabe des Verbrauches zugeführt. Der wesentliche Vorteil

dieser Kathodenkonstruktion bestand darin, daß man mit einem metallischen Leiter verhältnismäßig kleiner Oberfläche eine an sich unbegrenzte Oxydmasse verwerten und dadurch die Lebensdauer der Kathode vom Verbrauch des auf ihr haftenden Oxydes unabhängig machen konnte.

Für kleinere Stromstärken hat sich auch die in Abb. 158 wieder-gegebene Kathodenform bewährt. Eine solche Kathode vermag 12000 Ah zu liefern, ehe sie erschöpft ist.

Der Kathodenfall des Wehneltgleichrichters ist bei kleinen Belastungen negativ, weil die Glühelktronen die Kathode mit einer gewissen Anfangsgeschwindigkeit verlassen. Wird die Belastung gesteigert, so beginnt die Selbstbeheizung der Kathode durch Ionenstoß. Sie führt zu einer punktförmigen Überhitzung und Verdampfung der aktiven Masse. Gleichzeitig steigt der Kathodenfall auf 3 bis 4 V. Der gesamte Spannungsverlust beträgt von der Belastung ziemlich unabhängig etwa 17 V.

Die Niederspannungstypen werden für Gleichstromstärken von 1, 2, 3, 6, 10, 20 und 50 Amp. und für Gleichspannungen bis 220 V gebaut. Abb. 159 zeigt ihre Schaltung. Die wichtigsten Bestandteile der Anordnung sind außer dem Glasgefäß der unten angeordnete Transformator, der gleichzeitig mit Hilfe einer besonderen Wicklung den Heizstrom für die Glühkathode liefert, und die Wehneltbirne mit zwei Anoden für Wechselstrom. Unmittelbar unterhalb der Glühkathode befindet sich eine kleine Zündelektrode, die über einen Silitwiderstand mit einer Anode verbunden ist. Sobald der Gleichrichter eingeschaltet wird, ruft das steile Spannungsgefälle zwischen Zündanode und Kathode in der unmittelbaren Umgebung der Kathode Ionisation hervor. Diese pflanzt sich fast momentan zu den Anoden fort und leitet damit den Stromdurchgang zu ihnen ein. Die Anoden bestehen aus möglichst reinem Eisen.

Die Glasbirnen der Niederspannungstypen sind mit Argon von einem bis einigen Millimetern Druck gefüllt. Ihre Lebensdauer beträgt etwa 800 Stunden und ist durch das langsame Verschwinden sowohl des Oxydes von der Kathode wie der Gasfüllung bedingt. Ist die Lampe erschöpft,

so wird sie von der Firma zur Verwertung des Iridiums zurückgenommen. Die Herstellung dieser älteren Typen ist zugunsten der im folgenden Abschnitt behandelten neuen Typen aufgegeben worden.

Die Hochspannungstypen des Wehneltgleichrichters sind in Abb. 160 dargestellt. Sie werden in drei Ausführungsformen für 1500, 3000 und 6000 bis 10000 V hergestellt, die sämtlich maximal 1 Amp. liefern und entweder 2 Arme für Einphasenstrom wie in Abb. 160 oder 3 für Drehstrom haben. Sie sind mit reinem Neongas von geringem Druck gefüllt. Wie Abb. 160 deutlich erkennen läßt, ist die Glaswand möglichst eng an die Anode angeschmiegt und unmittelbar unter der Anode zu einer Verengung zusammengezogen, um die Bildung des Glimmlichtes in der undurchlässigen Richtung möglichst zu erschweren, so



Abb. 158. Ältere Wehneltkathode für kleinere Stromstärken.

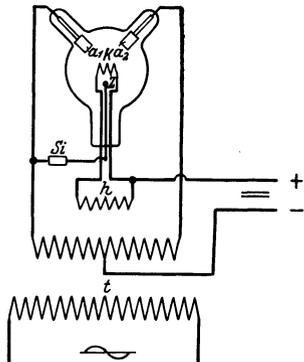


Abb. 159. Schaltung der Wehneltgleichrichter.

daß dieses auf einen Teil der Stirnfläche der Elektroden beschränkt bleibt. Eine besondere Zündanode ist bei den hohen Spannungen nicht erforderlich. Die Glasbirne rechts in Abb. 160 hat ein Bauer-Regenerier-ventil, bei dem nach Verbrauch der ersten Gasfüllung, die nach etwa 200 Betriebsstunden erschöpft ist, Luft durch einen kräftigen Druck auf einen Gummiball oder eine Luftpumpe eingeschleust werden kann. Diese Regenerierung kann mehrmals wiederholt werden. Sobald sich jedoch Spuren grünen Lichtes in den Armen zeigen, ist zu viel Luft eingelassen worden, und die Spannung muß erniedrigt werden, bis wieder so viel Gas verbraucht ist, daß die alte Sperrfähigkeit wieder erreicht ist.

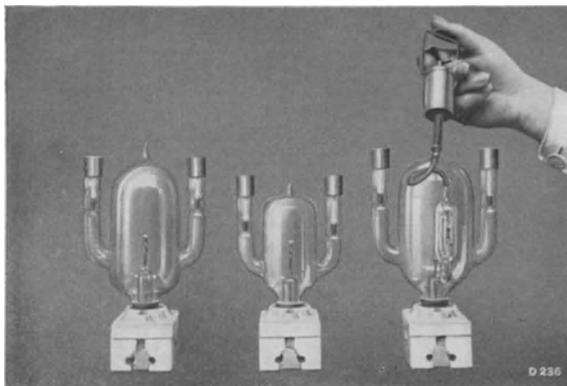


Abb. 160. Hochspannungstypen des Wehneltgleichrichters.

Die Erschöpfung der Lampe besteht darin, daß sie trotz lebhaften Glühens der Oxydschicht und trotz einer Belastung mit 6000 V Spannung auch in der durchlässigen Richtung keinen Strom hindurchläßt. Diese Erschöpfung tritt auch ein, wenn noch hinreichende Gasmengen vorhanden sind, wie man ohne weiteres an den Gefäßen sieht, die einen Quecksilbertropfen außer dem Argongas enthalten, so daß in ihnen stets mindestens der Quecksilberdampfdruck (0,015 mm bei 50° C) vorhanden ist. Man spricht in diesem Falle von einem Pseudohochvakuum (siehe S. 55 ff).

## 2. Die neueren Typen der Afa.

**137.** Der Gleichrichterabteilung der Akkumulatorenfabrik A.-G. (Afa) sind in der letzten Zeit sehr wesentliche Verbesserungen gelungen. Erstens wurde unter Vermeidung jeglichen Edelmetalles durch Anwendung verschiedener Metalle für den Träger des Heizstromes sowie als Träger der aktiven Schicht eine Glühkathode konstruiert, welche nach Angabe der Firma noch in keinem Falle im regulären Betriebe durchgebrannt ist, so daß die Lebensdauer der Röhren nicht mehr durch die Glühkathode begrenzt ist.

Der zweite große Fortschritt ist die Beseitigung der Rückzündungsgefahr bei den Röhren für größere Stromstärken. Bekanntlich ist bei

größeren Stromstärken die Rückzündungsgefahr stets gegeben, wenn — wie der Praktiker sich ausdrückt — die Anoden die Kathode oder einander unmittelbar „sehen“ können. Deshalb setzt man bei den Quecksilbergleichrichtern jede Anode in einen besonderen Arm. Bei den neueren Glühkathodengleichrichtern der Akkumulatorenfabrik ist die Rückzündung auf ganz andere, sehr elegante Weise gebannt, die in Abb. 161 schematisch wiedergegeben ist.  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  sind die Anoden,  $k$  ist die Glühkathode. Unmittelbar vor den Anoden befinden sich die beiden miteinander verbundenen Metallscheiben  $S_1$  und  $S_2$ , die durch einen Vorschaltwiderstand  $W$  an die Kathode gelegt sind. Die Kurven deuten den Verlauf der Spannungslinien zwischen den Elektroden an. Zunächst können sich hier in der Tat die Elektroden nicht sehen. Ferner zeigt eine nähere Überlegung folgendes: Angenommen, die Anode  $\alpha_1$  hat das Potential  $+200$ , die Kathode das Potential  $0$ , die Anode  $\alpha_2$  das Potential  $-200$ . Dann besteht zwischen  $\alpha_1$  und  $S_1$  eine Glimmentladung, wobei  $S_1$  Kathode ist, und eine weitere Glimmentladung zwischen  $S_2$  und  $\alpha_2$ , wobei  $\alpha_2$  Kathode ist. Das heißt, der von  $\alpha_1$  ausgehende Glimmstrom teilt sich. Ein Teil fließt über  $W$  nach  $k$ . Bei genügender Größe von  $W$  kann dieser Strom nie so groß werden, daß er in einen Lichtbogen umschlagen könnte. Der andere Teil fließt weiter über  $S_2$  nach  $\alpha_2$ . Für diesen Strom sind also zwei Glimmentladungen hintereinander geschaltet. Sobald eine dieser Glimmentladungen in einen Lichtbogen umschlagen möchte, wird das dadurch verhindert, daß die zweite Glimmentladung den erforderlichen Strom nicht aufzunehmen vermag. Ein Doppellichtbogen kann nur dann entstehen, wenn zufällig an beiden Stellen bis auf etwa eine hundert-

tausendstel Sekunde genau zugleich die Bedingungen für den Umschlag in den Lichtbogen eintreten, ein Fall, der völlig außer acht gelassen werden kann. Noch sicherer dürfte die Lösung des Problems nach Abb. 162 sein. Hier sind die Anoden völlig in ein Schutzgehäuse mit Drahtgitterverschluss eingekapselt. Mit dieser Anordnung ist es gelungen, Gleichspannungen bis 300 V bei einem räum-

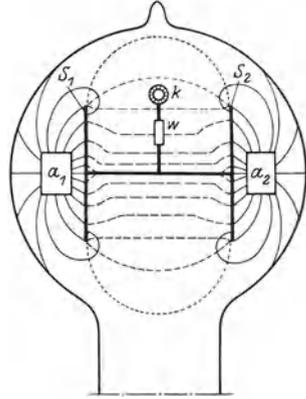


Abb. 161. Schematischer Feldlinienverlauf in dem rückzündungssicheren Glühkathodengleichrichter der Afa.  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  Anoden,  $k$  Kathode,  $w$  hochohmiger Widerstand.

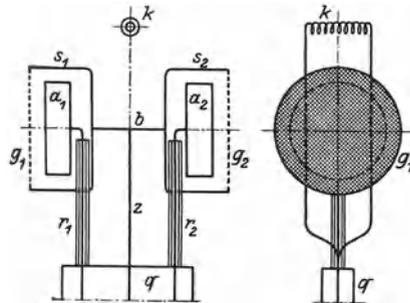


Abb. 162. Rückzündungssichere Glühkathodengleichrichter der Afa für höhere Spannungen.  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  Anoden,  $k$  Kathode,  $s_1$ ,  $s_2$  Schutzdosen,  $g_1$ ,  $g_2$  Schutzgitter,  $b$  Verbindung,  $z$  Halter,  $r_1$ ,  $r_2$  Isolierung der Stromzuführungen,  $q$  Quetschfuß.



Abb. 163. Afa-Gleichrichter für maximal 35 V 1 bis 6 Amp. zur Ladung von 1 bis 12 Bleiakкумуляtorenzellen.

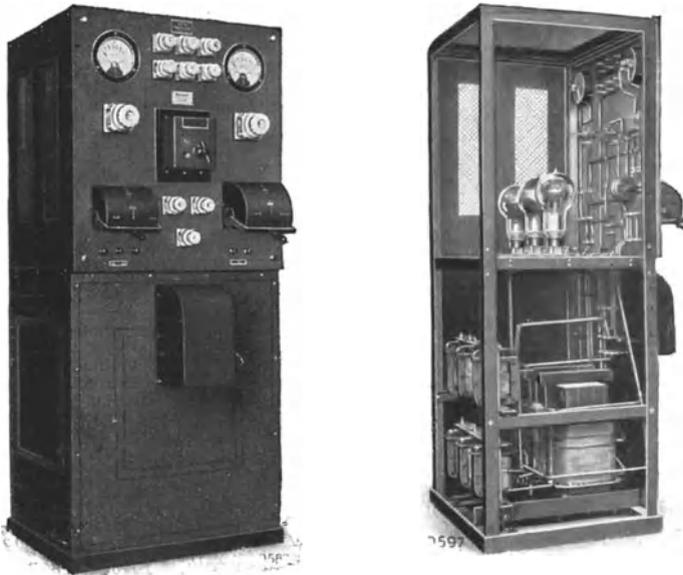


Abb. 164. Vollautomatische Ladestation der Afa für 60 Amp. 100 V.

lichen Abstand der Anoden von nur 3 cm bei 20 Amp. sicher herzustellen.

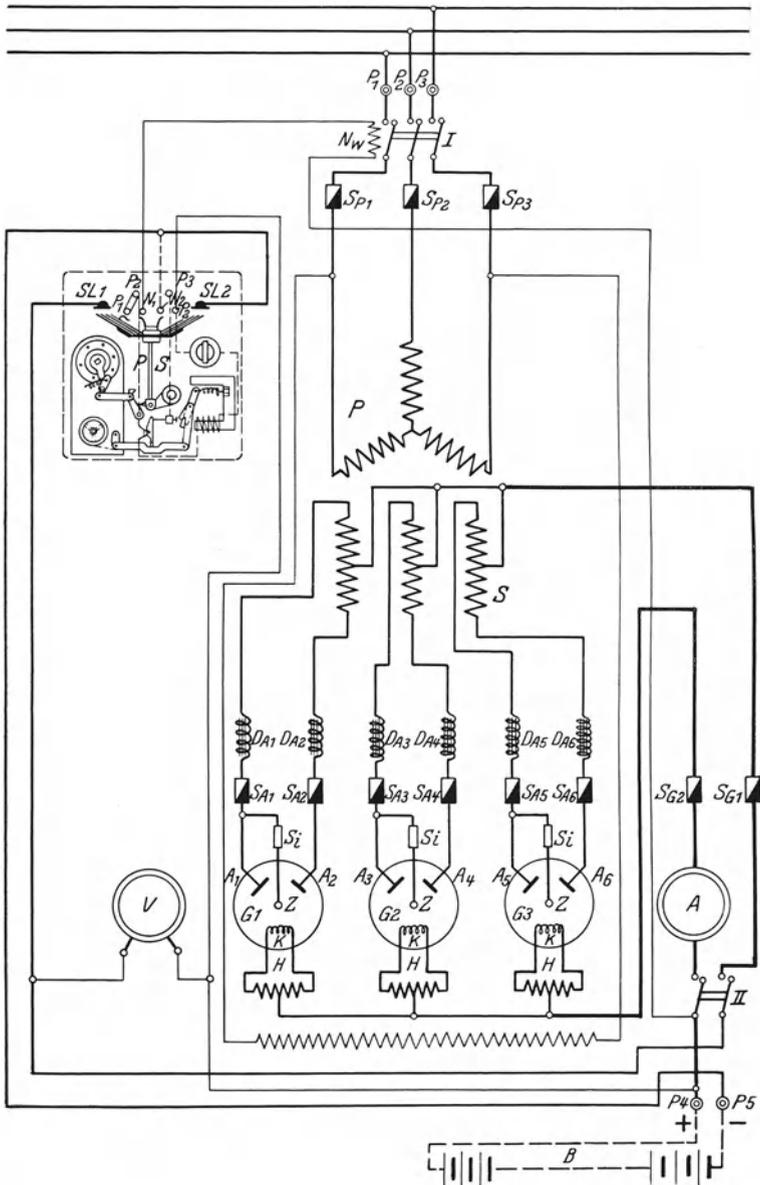


Abb. 165. Schaltungsschema der Ladestation der Abb. 164.

Abb. 163 zeigt eine neuere Gleichrichtertyp mit einer Gleichstromleistung von maximal 35 V bei 1 bis 6 Amp. zur Ladung von 1 bis

12 Bleiakкумуляtorzellen. Durch 2 Eisendrahtwiderstände in Wasserstoffgas (sog. Variatoren) ist der Gleichrichter kurzschlußsicher gemacht worden, d. h. die Gleichstromseite kann vorübergehend kurzgeschlossen werden, ohne daß der Gleichrichter beschädigt wird.

Die großen Typen sehen statt dessen Regulierwiderstände für den Gleichstrom vor und gehen bei Drehstrom bis 60 Amp. Gleichstrom bei 110 V. Sie werden in größerem Umfang in den vollautomatischen Ladeeinrichtungen der Akkumulatorenfabrik verwandt.

Abb. 164 zeigt eine derartige Anordnung, Abb. 165 die Schaltung. Die Anordnung dient im wesentlichen zur Ladung von 20 oder 40 bis 42 Zellen, wie sie in kleinen Personen- und Lastfahrzeugen (Elektrokarren usw.) üblich sind.

Die wesentlichen Bestandteile der Anordnung sind:

1. der Drehstromtransformator, der zur Ausnutzung der 3 Phasen sekundär in sechsphasigen Stern geschaltet ist. Für die Beheizung der Kathode ist eine besondere Heizwicklung oder ein besonderer Heiztransformator vorgesehen. Primär- und Sekundärwicklungen sind voneinander elektrisch getrennt;

2. die neben dem Transformator angeordneten Drosselspulen, die die Charakteristik des Gleichrichters der steigenden Batteriespannung in der Weise anpassen, daß die Stromstärke gegen Ende der Ladung den vorgeschriebenen niedrigen Wert erreicht. Außerdem dienen sie zum Schutz der Gleichrichter gegen Überspannungen;

3. die Gleichrichterbirnen, die mittels Steckeranschlusses eingesetzt werden. Zur selbständigen Zündung sind sie mit der Zündanode *Z* versehen, die mit einer Arbeitsanode unter Zwischenschaltung eines Silitstabes von 10000 Ohm Widerstand verbunden ist.

*I* ist der Wechselstromschalter.

*II* der Gleichstromausschalter, *PS* der selbsttätige Ladeschalter. Letzterer besteht aus dem selbsttätigen Ausschalter, einem Relais für Ruhestrom und einer Uhr, die für eine Laufzeit von  $\frac{1}{4}$  bis 3 Stunden einstellbar ist. Der Ausschalter kann nur eingeschaltet werden, wenn die Uhr zuvor aufgezogen ist. Das Relais ist so eingestellt, daß sein Anker bei einer Spannung von 2,4 V



Abb. 166. Außenansicht eines Glühkathodengleichrichters der Firma Philips.

pro Zelle anzieht und die Uhr freigibt. Nach Ablauf der auf der Uhr eingestellten Zeit schaltet diese dann den selbsttätigen Ladeschalter aus.

138. Glühkathodengleichrichter der Firma Philips. Abb. 166 zeigt die äußere Ansicht, Abb. 167 den inneren Aufbau eines auf dem Wehneltprinzip beruhenden Gleichrichters der Glühlampenfabrik Philips in

Eindhoven. Er liefert 1,3 Amp. und dient zur Ladung von 1 bis 6 Akkumulatorenzellen. Wie ersichtlich, hat der Gleichrichter außer dem Transformator zwei gleich große Glaskörper, und zwar ein Ventilrohr und einen Eisendrahtwiderstand. In Abb. 168 ist das Schaltungsschema des Gleich-



Abb. 167. Innerer Aufbau des Philipsgleichrichters.

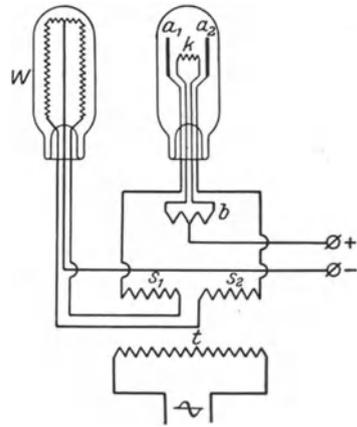


Abb. 168. Schaltungsschema der Philipsgleichrichter.

richters dargestellt. Der Gleichrichter arbeitet ebenfalls mit zwei Anoden  $a_1$  und  $a_2$  und daher mit gutem Nutzeffekt. Der Eisendrahtwiderstand  $W$  ist unterteilt und zwischen die beiden Sekundärwicklungen  $s_1$  und  $s_2$  des als Divisor geschalteten Transformators eingeschaltet. Durch diese Anordnung wird der besondere Vorteil erzielt, daß ein direkter Stromübergang zwischen den Anoden nicht möglich ist, die Gleichrichterröhre also durch einen Durchschlag zwischen den Anoden nicht zerstört werden kann. Man konnte daher die Elektroden sehr nahe aneinander rücken und erzielte dabei einen besonders niedrigen Spannungsabfall von nur 5 bis 7 V. Außerdem konnte man den Argondruck auf 15 mm steigern, wodurch die Zerstäubbarkeit des Kathodenmaterials vermindert, die Lebensdauer entsprechend erhöht wird.

### 139. Die Ladegleichrichter G 4006 und 4010 der Osramgesellschaft.

Die Glühkathode dieser zur Ladung von Akkumulatorenbatterien bis 40 V dienenden Gleichrichter für 6 und 10 Amp. besteht aus einer kurzen Spirale aus thoriertem Wolframdraht. Der Heizstrom beträgt bei dem ersten 13, bei dem zweiten 17 Amp., die Heizspannung 2,1 und 2,2 V,

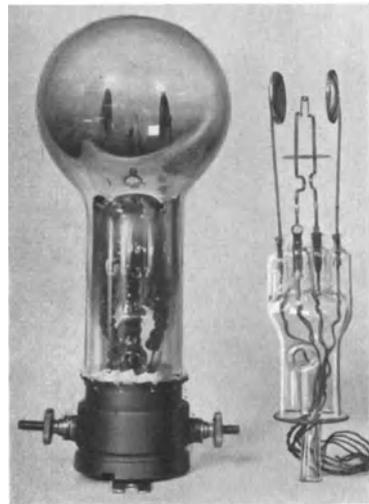


Abb. 169. Ladegleichrichter G 4010 der Osram-Gesellschaft.

der Spannungsverlust in der durchlässigen Richtung etwa 10 V. Die tellerförmigen Anoden sind zur Vermeidung von Rückzündungen mit einer Kohlenstoffschicht überzogen. Eine Lebensdauer von 1200 Stunden wird garantiert. Abb. 169 zeigt die Ansicht und den Aufbau der inneren Teile dieses Gleichrichters.

**140. Siemens - Glühkathoden - Gleichrichter - Röhren<sup>1</sup>.** Die Gleichrichter haben als Kathode eine Drahtspirale aus thoriertem Molybdän.

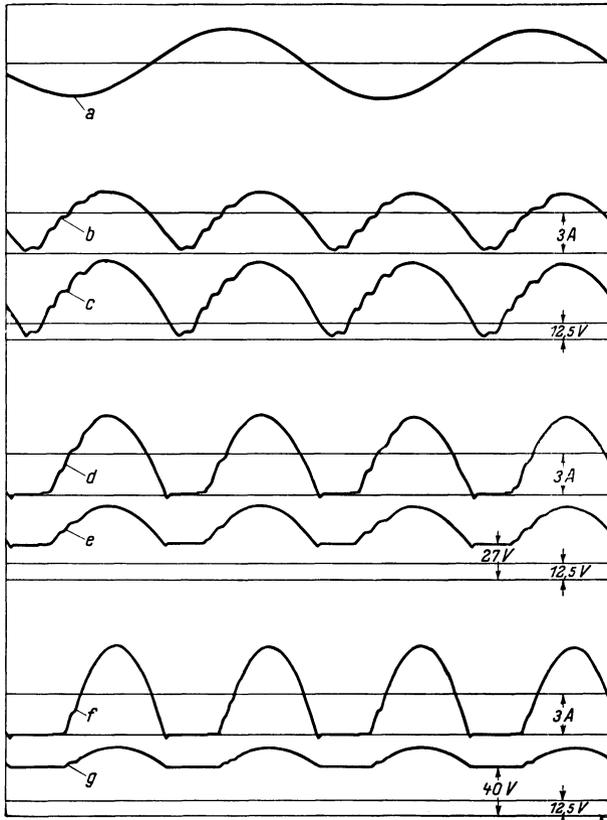


Abb. 170. Strom- und Spannungskurven eines Gleichrichters Gl. 3a der Firma Siemens & Halske bei verschiedener Belastung.

Im Gegensatz zum thorierten Wolfram ist das thorierte Molybdän unempfindlich gegenüber Temperaturerhöhungen um einige hundert Grad und gegenüber Bombardement durch positive Ionen, soweit es sich nicht um Gase handelt, die mit dem Molybdän chemisch reagieren. Ferner braucht der thorierte Molybdändraht nicht wie der thorierte Wolframdraht aktiviert zu werden.

Die Gleichrichter haben sämtlich 2 Anoden und Argon als Füllgas. Der Spannungsverlust beträgt 8 bis 10 V. Der Argondruck ist um so

<sup>1</sup> Gehrts, A.: Helios Bd. 33, S. 471. 1927.

kleiner, je höher die gleichzurichtende Spannung ist. Abb. 170 zeigt eine Anzahl Oszillogramme, die an einem Gleichrichter für 3 Amp. Gleichstrom zum Laden einer 12-Zellenbatterie aufgenommen sind, *a* ist die Spannungskurve des gleichzurichtenden Wechselstromes, *b* und *c* Strom- und Spannungskurve des gleichgerichteten Stromes bei Belastung des Gleichrichters durch Ohmschen Widerstand, *d* und *e* geben die gleichen Kurven bei Belastung durch eine Batterie mit einer Gegenspannung von 27 V., *f* und *g* bei einer Gegenspannung von 40 V. Am höchsten beansprucht wird die Kathode des Gleichrichters beim Arbeiten des Gleichrichters mit dem höchstzulässigen mittleren Gleichstrom auf eine gasende 12-Zellenbatterie. Auch in diesem Falle haben nach Gehrts die Gleichrichter noch eine Lebensdauer von mehreren tausend Stunden. Der Grund liegt darin, daß sowohl die Verdampfungs- als auch die Rekristallisationsgeschwindigkeit der Kathode bei den vorkommenden Temperaturen außerordentlich gering ist. Die Temperatur schwankt mit der Belastung in den Grenzen 1300° und 1700°.

Bisher sind die in Tabelle 30 aufgeführten Typen entwickelt worden. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte, Heizstrom und Heizspannung sind am unbelasteten Gleichrichter gemessen. Die Gleichrichter Gl. 1 und Gl. 0, 1b sind für Rundfunkzwecke entwickelt worden.

Tabelle 30. Daten der Siemens-Glühkathoden-Gleichrichterröhren.

Typ	Heizspannung V	Heizstrom Amp.	Anodenspannung max. V <sub>eff</sub>	Gleichstrom max. Amp.	Gleichspannung V	Zum Laden einer Batterie von max. Zellen	Größte Höhe einschl. Sockel u. Sockelstifte mm	Größter Kolbendurchmesser mm
Gl. 1	1,75	4,5	2 × 28	1,0—1,5	—	1—6	125	45
Gl. 1,5	1,45—1,5	7	2 × 55	1,5	35—40	12	125	50
Gl. 3c	2,3—2,4	12	2 × 55	3,0	35—40	12	190	80
Gl. 3e	2,3—2,4	12	2 × 55	3,0	35—40	12	215	80
Gl. 6c	2,2	13	2 × 55	6,0	35—40	12	225	100
Gl. 6e	2,2	13	2 × 55	6,0	35—40	12	250	100
Gl. 10a	2,2	17	2 × 55	10,0	35—40	12	300	140
Gl. 10c <sup>1</sup>	2,2	17	2 × 55	10,0	35—40	12	335	130
Gl. 10e <sup>1</sup>	2,2	17	2 × 55	10,0	35—40	12	335	130
Gl. 0,1b	1,75	4,5	2 × 125 oder 2 × 28	0,1—0,15 oder 1,0—1,5	100	50 oder 1—6	125	50
Gl. 1,5b	1,75—1,8	9	2 × 125	1,5	—	30—40	215	80
Gl. 3b	2,2—2,3	12	2 × 125	3,0	—	30—40	250	100
Gl. 6b	2,45—2,5	17	2 × 125	6,0	—	30—40	335	130
Gl. 10b <sup>1</sup>	2,8	22	2 × 125	10,0	—	30—40	400	150

<sup>1</sup> In Kürze lieferbar.

Abb. 171 zeigt einen unverspiegelten Gleichrichterkolben Gl. 3a. Die geraden Schenkel der Kathodenspirale sind mit dünnem Draht umwickelt, um ein Abwandern des Lichtbogens von der Kathodenspirale auf die Schenkel und Zuführungsdrähte zu verhindern. An den Ka-

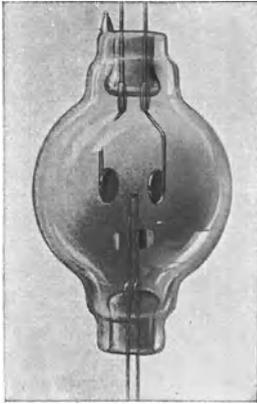


Abb. 171. Gleichrichterkolben Gl. 3a der Firma Siemens & Halske, unverspiegelt.

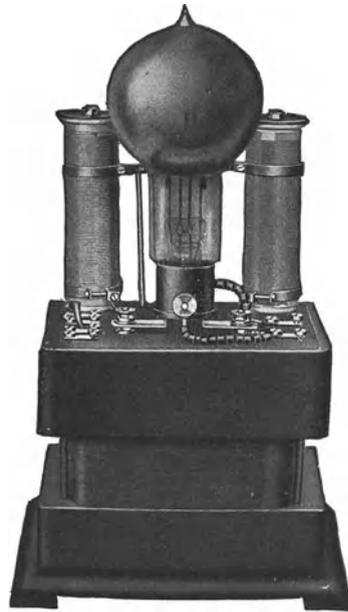


Abb. 172. Rectifexgleichrichter.

thodenzuführungen sind Abstrahlbleche angebracht, die verhindern, daß der Einschmelzstelle zu viel Wärme zugeführt wird. Die Anoden sind Tantalteller mit umgebördeltem Rand.



Abb. 173. Glühkathodengleichrichter der Rectron G. m. b. H. R 220 für 240 V Gleichspannung bei 0,2 A. oder 10 V bei 1,0 A.

**141. Der Rectifexgleichrichter<sup>1</sup> und Rectrongleichrichter.** Der von der Westinghouse Cooper Hewitt G.m.b.H. in Berlin hergestellte Rectifexgleichrichter wird für Ströme bis 10 Amp. und Spannungen bis 40 V gebaut. Die gebräuchlichsten Typen dienen zum Laden von Radiohezbatterien bis 6 Zellen mit einer Stromstärke von 1,5 Amp. und von Autostarterbatterien von 3 bis 12 Zellen mit 3 bis 6 Amp. Abb. 172 zeigt einen derartigen Gleichrichter mit Regulierwiderständen.

Der Glühkathodengleichrichter der Rectron G. m. b. H., Abb. 173, dient bei 240 V und 0,2 Amp. zum Ersatz von Anodenbatterien, bei 10 V und 1 Amp. zum Laden von Hezbatterien.

**142. Glimmlichtgleichrichter. Ältere Typen.** Die in Abb. 174 wiedergegebenen Glimmlichtgleichrichter der Firma Julius Pintsch haben eine glühlampenähnliche Gestalt und sind mit einer Normal-Edison-Fassung versehen. Sie enthalten ein von Fremdgasen freies Gemisch von Helium-

<sup>1</sup> Reimers, E.: Helios Bd. 34, S. 385. 1928.

und Neongas von etwa 10 mm Druck. Die Kathode besteht bei den Gleichrichtern für 220 V-Netze aus einem großen zylindrischen Blech aus reinem Eisen. Für 110 V-Netze wird dieses Blech innen mit einer bei Zimmertemperatur flüssigen Kalium-Natriumlegierung überzogen. Die Anode ist ein dünner Eisendraht in der Achse des Zylinders, der so weit mit einer isolierenden Schutzhülle aus Porzellan bekleidet ist, daß nur seine Spitze in der Mitte des Zylinders für die Entladung freibleibt. Die Gleichrichter werden für Stromstärken bis 0,2 Amp. hergestellt. Die Herstellung von Birnen für größere Ströme stößt auf Schwierigkeiten, da die Abmessungen zu groß werden. Die zu ladende Batterie wird in Serie mit dem Glimmlichtventil und dem Vorschaltwiderstand unmittelbar an die Wechselspannung gelegt. Man begnügt sich mit der Ausnutzung einer Stromrichtung, spart den Transformator und die Drosselspulen und lädt die kleinen Akkumulatorenbatterien ohne jegliche Bedienung und Beaufsichtigung.

Abb. 175 gibt die eigentümliche Stromkurve *b* einer Glimmlichtröhre für 220 V Wechselspannung, die in Serie mit einem Ohmschen Widerstande an eine nahezu sinusförmige Spannung *d* gelegt war. Die Zacken der Kurve sind vermutlich Vergrößerungen von Oberschwingungen der Wechselspannung. Die Kurve läßt die große Durchlässigkeit in der Flußrichtung und dem geringfügigen Strom in der Sperrichtung gut erkennen.

Der Umstand, daß diese Glimmlichtgleichrichter von der Stromstärke unabhängig 80 V verbrauchen, also von einer Gleichspannung von 110 V nur 30 V übrig lassen, erschließt ihnen ein zweites Anwendungsgebiet, das mit ihrer Gleichrichterwirkung

allerdings nichts zu tun hat. Man kann mit ihrer Hilfe Schwachstromanlagen aus einem Starkstromnetz von 110 V Gleichspannung betreiben, ohne befürchten zu müssen, daß höhere Spannungen als 30 V im Schwachstromnetz auftreten.

**143. Glimmlichtgleichrichter. Neuere Typen.** Die Rundfunkindustrie steht im Augenblick unter dem Zeichen des Netzanschlußgerätes, mit dessen Hilfe sowohl der Strom für die Heizdrähte als auch die Anodenspannung unmittelbar aus einem Wechselstromnetz entnommen werden kann. Offenbar müssen hierzu beide gleichgerichtet und dann so „abgeschliffen“ werden, daß sie keinerlei merkliche periodische Schwankungen mehr haben.

Für den Anodenspannungs-Gleichrichter handelt es sich um Spannungen von etwa 300 V und Ströme von 10 bis 100 mA, also sehr geringfügige Energien. In diesem Falle spielt der Wirkungsgrad gegen-

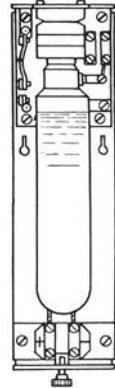


Abb. 174. Einfach-Glimmlichtgleichrichter.

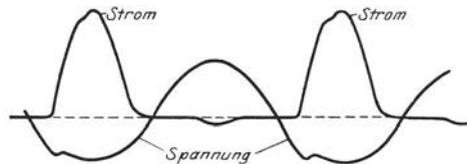


Abb. 175. Strom und Spannung eines Glimmlichtgleichrichters mit Alkalikathode. Wechselspannung 120 V effektiv.

über der Betriebssicherheit und Billigkeit des Gleichrichters keine Rolle. Infolgedessen eignet sich dieses Gebiet besonders für den Glimmlichtgleichrichter und es ist deshalb in den letzten Jahren auf seine Verbesserung große Sorgfalt verwandt worden.

Die verschiedenen Gleichrichter dieser Art weisen viele gemeinsame Züge auf. Die Kathode, die eine große Oberfläche haben muß, hat fast stets die Form eines allseitig geschlossenen Topfes, in den zwei kurze Anodenstifte, zur Ausnützung beider Stromphasen, hineinragen. Da 300 V geliefert werden sollen, und 80 bis 100 V vom Gleichrichter selbst verbraucht werden, muß bei der Transformatorenschaltung an den Außenklemmen des Transformators eine effektive Wechselspannung von etwa 560 V, also eine Scheitelspannung von 800 V liegen,

für die jeweils der eine der beiden Stifte Anode, der andere Kathode ist. An diesem letzteren besteht dann eine kräftige anomale Glimmladung.

Weil der Kathodenfall in den Glimmlichtgleichrichtern möglichst klein sein muß, wählt man als wirksames Kathodenmaterial Cäsium, d. h. man gibt der aus Eisen oder Nickel bestehenden topfförmigen Kathode einen Überzug von Cäsium, der teils durch Bepinseln mit einer Cäsiumlösung nach dem Patent von Skaupy, teils durch Getterwirkung aufgebracht wird. Neuerdings begnügt man sich jedoch mit dem haltbaren

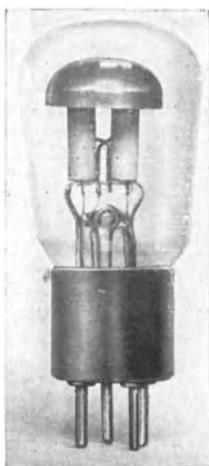


Abb. 176 a.

Glimmlichtgleichrichter G 132 der Osram-Gesellschaft für 300 V 125 mA.

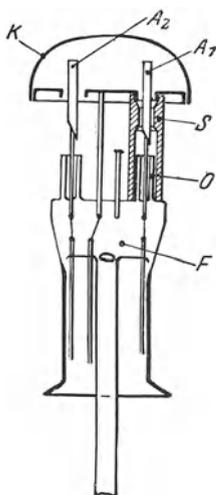


Abb. 176 b.

Bariumoxydüberzug. Der Kathodenfall beträgt bei Cäsium nur 60 V, bei Barium etwa 90 V. Weil die Zerstäubung der Anoden möglichst klein sein muß, wählt man als Edelgas reines Helium, das bei weitem die kleinste Zerstäubung von allen Edelgasen hat. Gleichzeitig hat es den großen Vorteil, daß in ihm der Strom in der undurchlässigen Richtung im anomalen Gebiet des Kathodenfalles sehr viel langsamer mit der Spannung ansteigt als bei den übrigen Edelgasen. Der Druck des Gases muß so groß sein, daß in der durchlässigen Richtung die Größe der Kathodenoberfläche für die Aufnahme der gewünschten Vollaststromstärke bei der Spannung des normalen Kathodenfalles genügt, und doch nicht so groß, daß der Strom an den Anoden in der undurchlässigen Richtung zu groß wird. Man wählt ihn in der Regel bei 150 V Gleichspannung von der Größenordnung 5 bis 15 mm.

Ein typisches Beispiel eines solchen Glimmlichtgleichrichters ist der in Abb. 176 abgebildete, aus dem amerikanischen Raytheonrohr

hervorgegangene Glimmlichtgleichrichter G 132 der Osram-Gesellschaft für 300 V 125 mA.

Ein neues Prinzip ist bei diesen Glimmgleichrichtern durch die Firma Seibt zur Anwendung gebracht worden.

Wie bereits erwähnt, besteht, während der Strom von der einen Anode zur Arbeitskathode geht, an der anderen „Anode“ eine sehr starke negative Spannung und infolgedessen eine kräftige anomale Glimmentladung. Werden nun die Anoden so groß gemacht und so angeordnet, daß diese kräftige anomale Glimmentladung den Raum zwischen der anderen Anode und der Arbeitskathode ionisiert, so braucht sich die zwischen der Anode und der Arbeitskathode übergehende nutzbare Hauptentladung ihre Ionen nicht mehr mit Hilfe des Kathodenfalles selbst zu schaffen. Der Spannungsverlust zwischen Anode und Kathode wird also viel niedriger als wenn die ionisierende Wirkung der zweiten als Kathode wirkenden „Anode“ fehlt. Diese Wirkung kann bei geringeren Nutzströmen so groß werden, daß der Spannungsverlust nahezu Null wird, was einen bedeutenden Gewinn an Gleichspannung zur Folge hat.

Es liegen hier also analoge Vorgänge wie bei einer Glühkathode vor. Analog wie bei dieser die erforderlichen Ionen durch thermische Emission zur Verfügung gestellt werden, so daß die sonst erforderliche Spannung des Kathodenfalles nicht erreicht zu werden braucht, werden hier die erforderlichen Elektronen durch die zweite, als sperrende Elektrode an sich erforderliche Anode mit Hilfe der an ihr bestehenden Glimmentladung und der von ihr emittierten Kathodenstrahlen als Sekundärelektronen von der Kathode ausgelöst, so daß ebenfalls der sonst erforderliche Kathodenfall nicht erreicht zu werden braucht.

Zur Anwendung dieses Prinzips dürfen die Anoden also nicht als kurze Stifte ausgebildet werden, sondern müssen im Gegenteil möglichst die ganze Länge des Kathodentopfes durchsetzen. Da aber

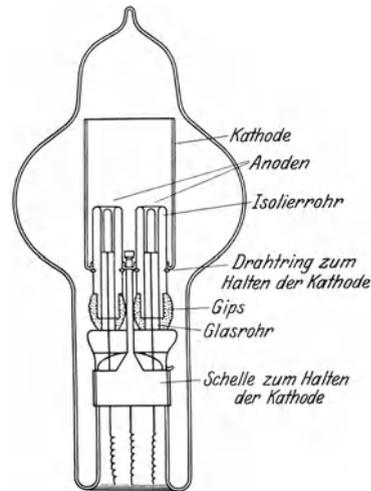


Abb. 177. Anotron der Manhattan Co. New York. 1350 V Wechselfspannung, 500 V Gleichspannung bei 150 mA, Spannungsverlust 170 V, Rückstrom bei 600 V 1,2 mA.

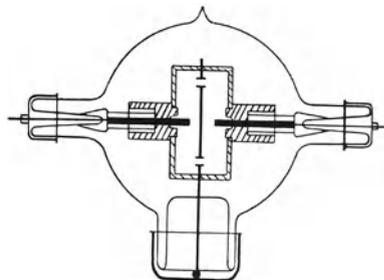


Abb. 178. Glimmlichtgleichrichter der Firma Seibt für 1000 V 250 mA.

andererseits mit steigender Oberfläche der Strom der anomalen Glimmentladung zunimmt und dadurch den Wirkungsgrad wieder herunderdrückt, gibt es ein Optimum der Oberflächengröße, bei der guter Wirkungsgrad der Gleichrichter und geringer Spannungsverlust in der durchlässigen Richtung zugleich vorhanden sind.



Abb. 179. Glimmlichtgleichrichter der Firma Seibt, neuere Ausführung.

Die Glimmlichtgleichrichter sind in der letzten Zeit als Gleichrichter für höhere Spannungen von 1000 und mehr Volt Gleichspannung entwickelt worden. Da man in diesem Falle nicht so sehr auf äußerst geringen Kathodenfall in der durchlässigen Richtung zu sehen braucht, verzichtet man auf den empfindlichen Cäsiumüberzug und verwendet statt dessen Kathoden aus Aluminium oder Elektron-(Al-Mg)-Metall. Der Kathodenfall beträgt dann zwar 120 V, aber die Lebensdauer der Röhren ist wesentlich besser als sie es bei Cäsium und den hohen Spannungen sein würde.

Abb. 177 zeigt eine derartige in Amerika Anotron genannte Röhre der Manhattan Co. für 500 V, Abb. 178 u. 179 zwei Röhren der Firma Seibt für 1000 V Gleichspannung. Hier ist der Gasentladung zur Verringerung der Rückzündungsgefahr durch eine Trennwand mit versetzten Löchern ein Umweg vorgeschrieben.

#### 144. Glimmlichtgleichrichter für hohe Spannungen. In der Röntgen-

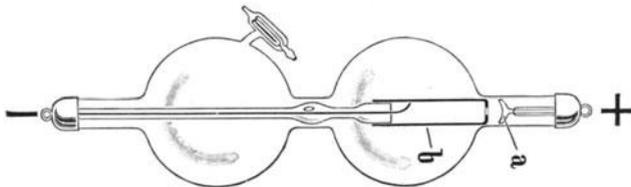


Abb. 180. Constanz-Ventilröhre der Firma Emil Gundelach nach Dr. Rosenthal mit Bauer-Regenerierventil.

technik muß die verkehrte Stromrichtung sorgfältig vom Röntgenrohrferngehalten werden. Zu diesem Zweck verwendet man unter anderem Gleichrichter der in Abb. 180 u. 181 wiedergegebenen Formen. Beide beruhen darauf, daß einer kleinen Elektrode eine große gegenübergestellt wird. Auf Verringerung der Zündspannung durch Verwendung von Material besonders niedrigen Kathodenfalles wird in der Regel verzichtet. Der Gasdruck ist gering und darf gering sein, weil es sich in der Regel um Stromstärken von der Größenordnung von mA handelt.

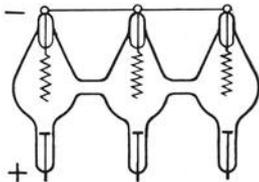


Abb. 181. Hochspannungsglimmlichtgleichrichter.

Da das Gas durch die Entladung allmählich verbraucht wird, ist ein möglichst großes Volumen und in Abb. 180 außerdem ein Bauerrege-

neriventil vorgesehen. Bei dem linken Modell ist die Hohlraumwirkung der Kathode als Ventilelement verwandt, bei den rechten Röhren dient lediglich die verschiedene Oberflächengröße und die verschiedene Entfernung der Wände von den Elektroden als gleichrichtendes Moment. Die Ventile haben den Vorzug der Einfachheit, da sie keinerlei Heizvorrichtung benötigen. Doch werden sie, besonders bei größeren Anlagen, allmählich von den Hochspannungsglühkathodenröhren verdrängt.

**145. S-Röhren von Bush und Smith.** In Amerika werden Glimmlichtgleichrichter von der in Abb. 182 wiedergegebenen Form verwandt. Die große topf-förmige Elektrode in der Mitte der Glaskugel ist die Kathode. Zwischen den schwarzen Stützen der Kathode befindet sich die scheibenförmige Anode. Der Gasdruck ist von der Größenordnung 0,1 mm. Bei der Kathode führt die Kombination von großer Oberfläche mit Hohlraumwirkung zu großen Stromstärken, während von der Anode der größte Teil durch die darüber befindliche Kathode abgedeckt ist. Nur der unter der Kathodenöffnung gelegene Teil kann eine Glimmentladung in der undurchlässigen Richtung aufnehmen. Durch die Anordnung der Elektroden sind Störungen durch Kathodenzerstäubung sehr geschickt vermieden. Die Charakteristiken der Röhre sind:

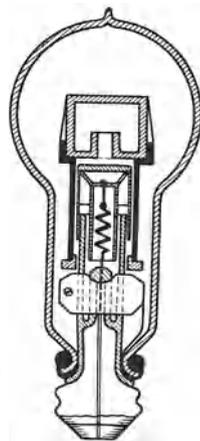


Abb. 182. S-Röhre von Bush und Smith.

Zündspannung . . . . .	300 V Wechselspannung
gelieferte Gleichspannung . . . . .	1000 V
Brennspannung . . . . .	125 V
innerer Widerstand . . . . .	1250 Ohm
Nutzstrom . . . . .	100 mA mittlerer Gleichstrom
Strom in der undurchlässigen Richtung	3—6 mA.

Die Röhre der Abb. 182 ist ein Einweggleichrichter. Sie dient zur Lieferung der Anodenspannung kleiner Senderöhren.

## D. Die Trockenplattengleichrichter.

**146. Der Kolloidgleichrichter.** Der Kolloidgleichrichter ist ein sehr interessantes Zwischenglied zwischen den elektrolytischen und den Trockenplattengleichrichtern. Man könnte ihn fast einen nassen Trockenplattengleichrichter nennen. Im Jahre 1926 zeigte Henry André in Paris zuerst, daß Metallkolloide in Verbindung mit den Elektroden besondere Eigenschaften aufweisen. Er gab folgendes Verfahren zur Herstellung von kolloidem Silber an: In ein U-Rohr mit konzentrierter Schwefelsäure oder Phosphorsäure werden zwei gleiche Silberelektroden eingetaucht und durch das Ganze Gleichstrom hindurchgeschickt. Dann setzt bei anfangs ziemlich hohem Widerstand der

Zelle eine kräftige Elektrolyse ein, während der Widerstand der Zelle alsbald auf  $\frac{1}{4}$  seines Anfangswertes sinkt und die Säure sich gelblich-braun färbt. Im Ultramikroskop zeigen sich Kolloidteilchen. Wird der Strom während der Elektrolyse umgekehrt, so wird die Kolloidbildung viel stärker, das Elektrodenmetall aber auch in größeren Stücken losgelöst. Verlängert man den Versuch ohne Stromumkehr, so beobachtet man Koagulationen in der Nähe der Kathode und wenn die koagulierte Masse die Anode erreicht, tritt metallische Leitfähigkeit an die Stelle der elektrolytischen. Dieses so gebildete Silberkolloid zeigt nun erstaunliche Gleichrichterwirkung. André führt folgenden Versuch an: Eine Silberanode und eine Nickelkathode werden nebeneinander, so daß sie sich leicht berühren, auf eine saubere getrocknete Bimsstein-

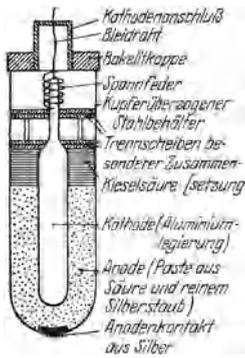


Abb. 183. Nasser Trocken-  
gleichrichter (Kolloid-  
gleichrichter).

platte gesetzt, so daß die Säure kapillar zwischen den Elektroden in die Höhe steigt. Einige Sekunden nach Stromschluß wird der Kontaktwiderstand in der einen Richtung Null und die Gleichrichtung vollkommen.

Der Direktor der Raytheon-Gesellschaft in den Vereinigten Staaten von Nordamerika erkannte bei einem Besuch in Paris die Ausbildungsfähigkeit dieses Prinzips und verpflichtete kurz entschlossen Professor André für seine Gesellschaft. Im letzten Jahre wurde dann dort von André in Gemeinschaft mit Bush und Smith der in Abb. 183 wiedergegebene Raytheon-, „A“-Rectifier ausgebildet. Eine konzentrierte Paste aus Schwefelsäure und kolloidem Silber wird mit der porösen Silberanode gemischt und vollständig vom Wasser befreit, um chemische Reaktionen zu unterbinden. Die zweite Elektrode ist eine Aluminiumlegierung. Irgendwelche Elektrolyse findet in diesem Gleichrichter nicht statt. Die Ventilwirkung besteht zwischen dem kolloiden Silber und der Aluminiumlegierung. Die Schwefelsäure dient nur zur luftfreien innigen Verbindung des Ganzen und wahrscheinlich auch zur Wiederherstellung des Kolloids an jeder Stelle, an der es durch eine zu hohe Strombelastung oder einen lokalen Durchschlag infolge von Überspannung zersetzt wird. Das ist ein großer Vorzug vor den eigentlichen Trockenplattengleichrichtern, die keinerlei Einrichtung zur Regenerierung durchschlagener wirksamer Schichten haben, sondern durch jeden Durchschlag unbrauchbar werden. Demgegenüber steht der Nachteil der Verwendung konzentrierter Schwefelsäure, wenn auch in einem sehr gut verschlossenen Gefäß. Der in Abb. 183 abgebildete Gleichrichter liefert 2,5 Amp. bei einem Wirkungsgrad von 60% und dient zur Ladung von Heizbatterien.

**147. Die eigentlichen Trockenplattengleichrichter.** Die Trockenplattengleichrichter sind anscheinend die kommende große Mode auf dem Gleichrichtergebiet. Der ihnen zugrunde liegende Gedanke ist in der Tat sehr verführerisch: Zwei Platten aus verschiedenem Material

werden aufeinandergepreßt und der Gleichrichter ist fertig. Keine der Abnutzung unterliegenden Teile. Keine Heizung, kein Sonderaufwand für Elektronenerzeugung. Hoher Wirkungsgrad. Dahinter aber steht das Gespenst des Durchschlages. Wird es gelingen, es zu bannen?

Eigentlich ist das Prinzip sehr alt. Der erste Detektor war zugleich der erste Trockenplattengleichrichter. Und auch die jetzigen Trockenplattengleichrichter sind nichts anderes als die Übertragung der Kristalldetektoren ins Große.

Das allgemeine Schema lautet: Eine Platte als einem Metall *A*, darauf eine Schicht aus einer Metallverbindung, deren Elektronenkonzentration und Elektronenablösarbeit möglichst weit von der des Metalles *A* abweichen. Zwischen beiden innige, lückenlose Berührung. Von der anderen Seite gegen die Schicht eine Platte weichen, sich gut anschmiegenden Metalles gepreßt.

Das Entscheidende ist die Wahl und die Art der Aufbringung der elektronenarmen Metallverbindung. Infolge ihrer Elektronenarmut hat sie eine verhältnismäßig geringe Leitfähigkeit. Sie muß also möglichst dünn sein, damit der innere Widerstand des Gleichrichters und infolgedessen seine Erwärmung durch den Strom klein bleibt. Je dünner sie aber ist, um so geringer ist die Spannung, die sie aushält, ohne durchschlagen zu werden.

Nun kommen aber bei allen Schaltvorgängen Überspannungen vor und wenn bei einem solchen Vorgang eine Spannung von 12 V auf 40 V vorübergehend in die Höhe schnell, so hatte das bisher niemand interessiert, weil dadurch keinerlei Schaden angerichtet wurde. Für den Trockenplatten-Gleichrichter mit zu dünner Zwischenschicht ist aber eine solche Überspannung bereits verhängnisvoll.

Grundsätzlich sind zwei verschiedene Trockenplattentypen zu unterscheiden:

1. Bei der ersten Type werden aus einem geeigneten Material, das in der Regel in Pulverform vorliegt, unter sehr hohem Druck kompakte Scheiben gepreßt, die dann zwischen zwei verschiedene Metallscheiben gelegt werden. Trotz Anwendung hohen Druckes sind hier Übergangswiderstände infolge der Beschränkung der wirklichen Berührung auf einzelne Stellen unvermeidlich. Außerdem sind die inneren Widerstände und infolgedessen auch die Verluste in der durchlässigen Richtung viel größer als bei der zweiten Type, da die Schichten in diesem Falle viel dicker sind. Der einzige Vorteil, der dem gegenüber steht, ist die größere Durchschlagssicherheit.

2. Bei der zweiten Type wird die wirksame Schicht aus dem einen Elektrodenmetall durch eine chemische oder thermische Behandlung unmittelbar erzeugt. Sie ist aus dem Metall herausgewachsen und hängt infolgedessen lückenlos mit ihm zusammen. Sie hat also keinen merklichen Übergangswiderstand. Sie läßt sich ferner in sehr geringer und gleichmäßiger Schichtdicke herstellen, so daß der innere Widerstand sehr gering ist. Demgegenüber hat diese Type eine geringere Durchschlagfestigkeit als die andere. Ferner erfordert die Herstellung dieser Schichten große Erfahrung.

**148. Gleichrichter mit Preßplatten.** Hierher gehören: Der Elkongleichrichter, Manhattangleichrichter, Gleichrichter von Lilienfeld und Thomas usw.

Der erste in Amerika auf den Markt gekommene Trockenplatten-Gleichrichter, der sog. Elkongleichrichter, ist ein Beispiel dafür, wie man das Problem nicht

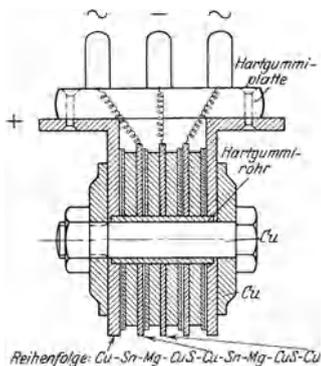


Abb. 184. Ventilaggregat eines Elkongleichrichters.

angreifen soll. Abb. 184 zeigt schematisch seinen Aufbau. Hier wird das Ventil durch eine aus einem Gemisch von Kupfersulfid und Zinksulfid bestehende, anscheinend gepreßte, sehr harte Platte von 0,2 cm Dicke und 2,85 cm Durchmesser gebildet, gegen die auf der einen Seite eine Kupferscheibe, auf der anderen eine Magnesiumscheibe unter hohem Druck gepreßt werden. Vier solcher Ventile sind zu dem in Abb. 184 wiedergegebenen Aggregat vereinigt und in der Graetzchen Schaltung an den Transformator angeschlossen. Die Graetzche Schaltung bietet gegenüber Spannungsstößen der Transformatoren eine etwas bessere Sicherheit als die gewöhnliche Transformatorenschaltung.

Abb. 185 ist ein Oszillogramm des den Gleichrichter durchfließenden Stromes. Darnach ist auch in der Sperrichtung eine merkliche Durchlässigkeit vorhanden. Abb. 186 enthält die statische Charakteristik des Gleichrichters: in der Flußrichtung wird oberhalb von 0,5 V jeder Strom hindurchgelassen, in der Sperrichtung

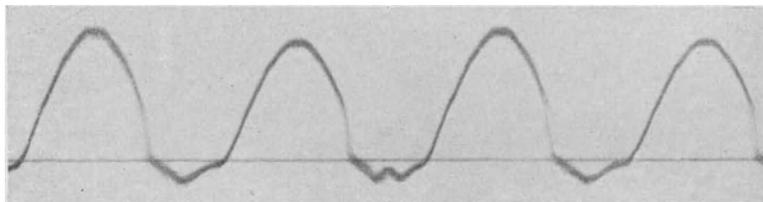


Abb. 185. Elkongleichrichter. Gleichrichterstrom bei Ladung einer 6 V-Batterie  $i_m = 0,15$  Amp.

steigt die Stromstärke beschleunigt mit der abgedrosselten Spannung an. Für Spannungen unterhalb von 0,5 V ist also keinerlei Ventilwirkung vorhanden.

Drei derartige Aggregate werden bei dem Elkongleichrichter parallel geschaltet und liefern dann bei 6 V Gleichspannung 0,14 Amp. Das ist natürlich völlig unzureichend. Der Fehler dieses Gleichrichters liegt daran, daß erstens die innige Verbindung der Sulfürschicht mit dem Kupfer fehlt (sie sind nur gegeneinander gepreßt, was durchaus nicht genügt) und daß zweitens die Sulfürschicht viel zu dick ist. Das macht den Gleichrichter zwar durchschlagsicher, aber gleichzeitig seinen inneren Widerstand so groß, daß er bei Entnahme nur einigermaßen brauchbarer Stromstärken sogleich so heiß wird, daß er versagt.

Ein ähnlicher Gleichrichter wird von Lilienfeld und Thomas<sup>1</sup> beschrieben: Die wirksamen Bestandteile sind Aluminium und Kupfersulfid. Der Druck ist nach den Verfassern für die Gleichrichterwirkung wichtig. Stark gepreßtes CuS scheint gerade hinreichend nachgiebig in der Oberfläche zu sein, um eine innige Berührung mit dem Metall zu ermöglichen, wenn ein genügender Druck angewandt wird. Der Gleichrichter wird durch Zellen gebildet, die aus einer Fläche von ungefähr 25 mm<sup>2</sup> bestehen, die gegen eine dünne in Nickelbecher gedrückte Schicht von CuS gepreßt werden. Durch eine Schraubenfeder wird ein Druck von etwa 500 kg ausgeübt. Jeder Gleichrichter der angegebenen Größe liefert 2,5 bis 2 Amp. Gleichstrom bei 2 V oder entsprechend geringere Ströme bei Spannungen bis 3½ V. Die Spannung ist also unzureichend. Die Charakteristik ist bei reiner Widerstandsbelastung eine andere als bei induktiver Belastung, was übrigens für alle Gleichrichter mehr oder weniger gilt.

**149. Gleichrichter mit Oberflächenschichten.** Hierher gehören der Cuproxgleichrichter, Ismetgleichrichter, Rectroxgleichrichter, Protosgleichrichter, Jodürgleichrichter usw.

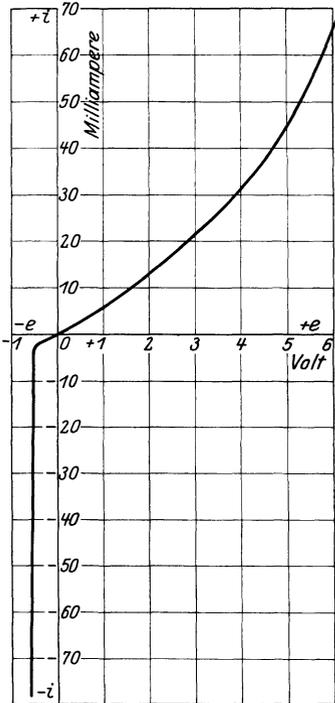


Abb. 186. Statische Charakteristik eines Ventilelementes des Elkongleichrichters.

#### Der Cuproxgleichrichter.

Der in Amerika bereits seit längerer Zeit auf dem Markt befindliche Cuproxgleichrichter ist durch Grondahl und Geiger<sup>2</sup> ausführlich beschrieben worden.

Ein Element des Cuproxgleichrichters besteht aus einer flachen Kupferscheibe von der Form einer Unterlagsscheibe, auf der nach einem nicht angegebenen und wohl auch geheim gehaltenen Verfahren eine dünne Kupferoxydschicht erzeugt wird. Diese Schicht ist also aus dem Kupfer herausgewachsen und mit ihm infolgedessen lückenlos, ohne Übergangswiderstand verbunden. Von der anderen Seite wird eine Platte aus Blei oder eine dünne Metallfolie, die sich dem Kupferoxyd gut anschmiegt, mit Hilfe einer Schraube dagegengepreßt.

Zur Ausnutzung beider Stromphasen werden entweder 2 solcher Elemente in Transformatorenschaltung oder 4 in Graetzscher Schaltung miteinander verbunden. Zur besseren Wärmeableitung werden Kühl-

<sup>1</sup> Lilienfeld, I. E. und D. H. Thomas: Phys. Rev. (2) Bd. 29, S. 367. 1927.

<sup>2</sup> Grondahl, L. O. und P. H. Geiger: J. Am. Electr. Engs. Bd. 46, S. 215. 1927.

flansche zwischen die einzelnen Elemente gesetzt. Eine weitere Abkühlung kann durch Eintauchen des Ganzen in Öl erzielt werden.

Abb. 187 zeigt die statische Charakteristik des Gleichrichters, wobei besonders darauf hingewiesen sei, daß für die undurchlässige Phase

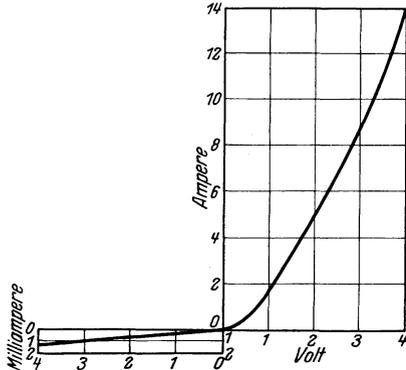


Abb. 187. Statische Charakteristik des Cuproxgleichrichters.

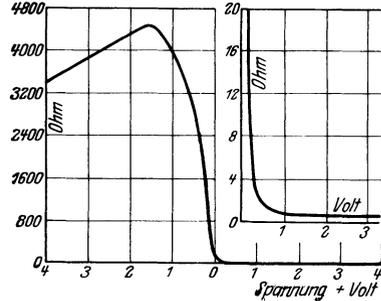


Abb. 188 (links). Abhängigkeit des Widerstandes eines Cuproxgleichrichters von der angelegten Spannung; (rechts) Widerstandsverhältnis der beiden Stromrichtungen.

der Strom in Milliampere, für die durchlässige dagegen in Ampere aufgetragen ist. Darnach ist also die Durchlässigkeit in der durchlässigen Richtung außerordentlich viel größer als in der undurchlässigen, die Ventilwirkung hervorragend.

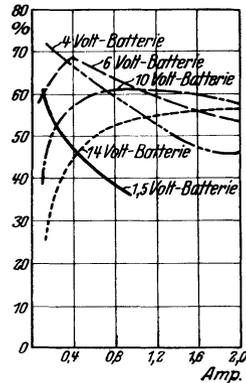


Abb. 189. Wirkungsgrad des Cuproxgleichrichters bei Batterie-ladung.

Abb. 188 links zeigt die Abhängigkeit des Widerstandes von der angelegten Spannung. Abb. 188 rechts das Widerstandsverhältnis für die beiden Richtungen in Abhängigkeit von der Spannung. Sie zeigt, daß auch dieser Gleichrichter kleine Spannungen von Bruchteilen eines Volt kaum gleichrichtet.

Infolge der sehr guten Ventilwirkung ergibt sich ein Wirkungsgrad, der in der Gegend von 70% liegt. Abb. 189 gibt den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Gleichstrombelastung beim Laden von Akkumulatorenbatterien bis zu 14 V. Der Wirkungsgrad ist in diesem Fall definiert als  $\frac{\text{mittlere Gleichspannung} \times \text{mittlerer Gleichstrom}}{\text{Wechselenergie}}$ . In

diesem Falle waren mehrere Elemente hintereinander geschaltet, da ein Element nur bis 6 V Gleichspannung belastet wird. Die Größe der Strombelastung hängt von der Stärke der Kühlung ab. Beim Eintauchen in Öl ließ sich der Gleichrichter mit 3,5 Amp./inch<sup>2</sup> oder 0,54 Amp./cm<sup>2</sup> belasten. Es läßt sich also ohne Schwierigkeiten Gleichstrom von mehreren Ampere erzielen.

Eine Temperaturerhöhung auf 80° C stört die Wirksamkeit des Gleichrichters nicht. Das Hauptanwendungsgebiet dieser Gleichrichter ist die Ladung von Batterien von 6 V oder auch der unmittelbare Ersatz solcher Batterien in einem Netzanschlußgerät. Er kann auch ohne

Schwierigkeiten durch Hintereinanderschalten der einzelnen Elemente zum Gleichrichten höherer Spannungen, beispielsweise zur Erzeugung der Anodenspannung einer Empfangsröhre verwandt werden.

### Der Protos-Trockengleichrichter.

Beim Protos-Trockengleichrichter besteht jedes Gleichrichterelement aus einer mit Kupferoxydul bedeckten Kupferplatte. Die Dicke des

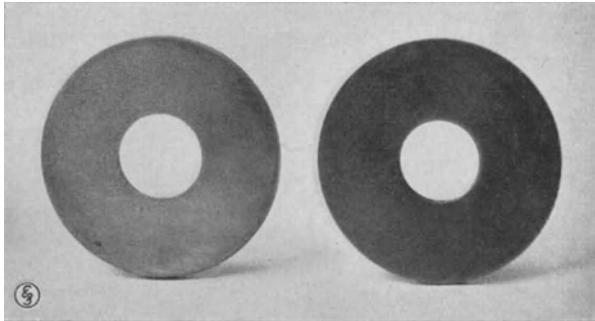


Abb. 190. Kupferscheibe des Protosgleichrichters, links ohne, rechts mit Oxydul.

Oxyduls ist sehr gering, da seine Leitfähigkeit klein ist. Abb. 190<sup>1</sup> zeigt eine solche Kupferscheibe mit und ohne Oxydulschicht in natürlicher Größe. Als Gegenelektrode wird eine sich möglichst innig anschmiegende Bleischeibe gegen die Oxydulscheibe gepreßt. Abb. 191 zeigt ein derartiges einzelnes Gleichrichterelement, das zur besseren Wärmeabführung von zwei Kühlplatten eingeschlossen ist.

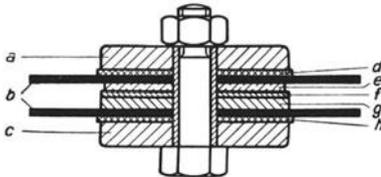


Abb. 191. Schema einer Kupfer—Kupferoxydul-Gleichrichtereinheit. *a, c* Druckplatten, *b* Kühlplatten, *d, h* Isolation, *e* Gegenelektrode, *f*  $\text{Cu}_2\text{O}$ -Schicht, *g* Cu-Platte.

Bolzen und Druckplatten sind gegen das Gleichrichterelement isoliert, so daß die Kühlplatten zur Stromzuführung dienen können. Im normalen Betrieb wird von einem Element eine Spannung von 2 V mit Sicherheit gesperrt, während in der Flußrichtung dauernd ein Strom

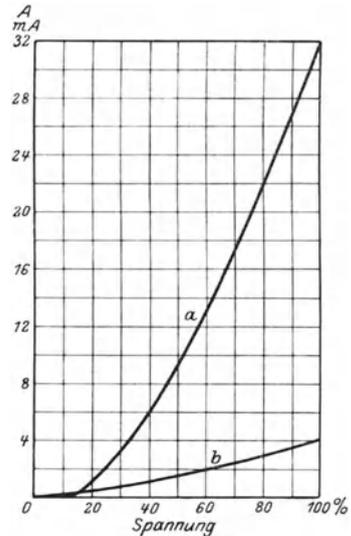


Abb. 192. Statische Charakteristik eines Protoselements.

<sup>1</sup> Die Druckstücke der Abb. 190—197 wurden von den Siemens-Schuckertwerken A.-G. zur Verfügung gestellt.

von 0,25 Amp. ohne große Erwärmung fließen kann. Abb. 192 zeigt die statische Charakteristik eines Elementes. Das Verhältnis der Widerstände in den beiden Richtungen gibt die in Abb. 193 wiedergegebene sog. Gütezahl des Elementes. Von diesen Elementen werden so viele hintereinander geschaltet, wie der größten auftretenden Spannung entspricht. Die durch Zusammenbau der einzelnen Elemente entstandenen Säulen werden weiter zu einer Graetzschschen Schaltung zusammengesetzt. Abb. 194 zeigt ein derartiges vollständiges Gleichrichtergerät. Es enthält insgesamt 16 Platten und ist für 8 V Betriebs-

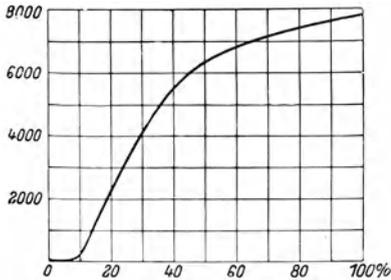


Abb. 193. Protos-Gleichrichter.  

$$\text{Gütezahl} = \frac{\text{Rückwärtswiderstand}}{\text{Vorwärtswiderstand}}$$
 in Abhängigkeit von der Spannung.

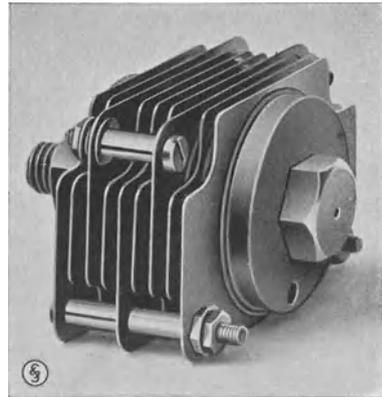


Abb. 194. Protos-Gleichrichtersäule.

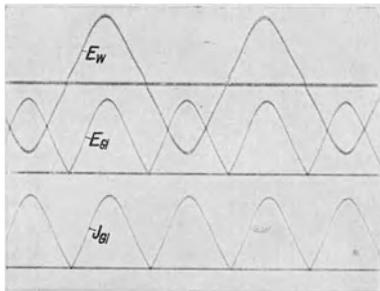


Abb. 195. Oszillogramm des Protos-Gleichrichters. Strom und Spannung bei Widerstandsbelastung.

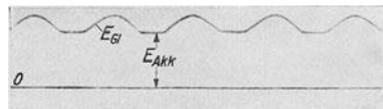


Abb. 196. Oszillogramm des Protos-Gleichrichters. Spannung bei Akkumulatorenladung.

höchstspannung eingerichtet. Abb. 195 u. 196 zeigen die Oszillogramme des Gerätes. Der Wirkungsgrad dieses Gleichrichters ist sehr gut. Bei einer Anzahl Gleichrichter für 0,5 Amp. 4 V Gleichspannung zum Anschluß an 220 V Wechselspannung, die statt der angegebenen 0,5 Amp. bei Ladung von 2 Akkumulatoren fast 1 Amp. gaben, habe ich als Wirkungsgrad  $\frac{\text{mittlerer Gleichstrom} \times \text{mittlere Gleichspannung}}{\text{primär zugeführte Wechselenergie}}$  im Durchschnitt 42% gemessen. Das ist sehr viel, wenn man bedenkt, daß hier die Verluste im Transformator eingeschlossen sind. Um eine Überlastung des Gleichrichters zu vermeiden, wird ein Transformator mit erhöhter Streuung verwandt, bei dem der induktive Spannungsabfall

mit der Belastung so stark zunimmt, daß die Spannung etwa bei doppeltem Nennstrom auf Null geht. Die Wicklung ist so bemessen, daß der Transformator gefahrlos kurzgeschlossen werden kann. Ebenso läßt der Gleichrichter diese Belastung kürzere Zeit zu. Abb. 197 zeigt, daß auf der Sekundärseite des Transformators 2 Anzapfungen vorgesehen sind, so daß der Gleichrichter auf 2, 4, 6 V Ladung geschaltet werden kann. Abb. 198 zeigt den Stromspannungsverlauf für diese 3 Fälle bei Veränderung der Ladestromstärke durch Vorschaltwiderstände. Bleibt der zu ladende Akkumulator nach Ausschalten der Wechselspannung am Gleichrichter, so wird er erst in mehreren Tagen durch den Gleichrichter merklich entladen. Abb. 197 zeigt ferner, daß

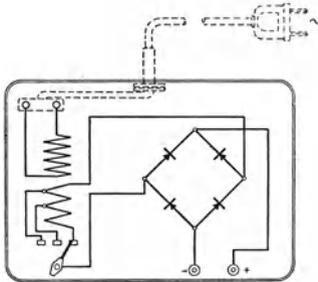


Abb. 197. Schaltung des Protos-Trockengleichrichters.

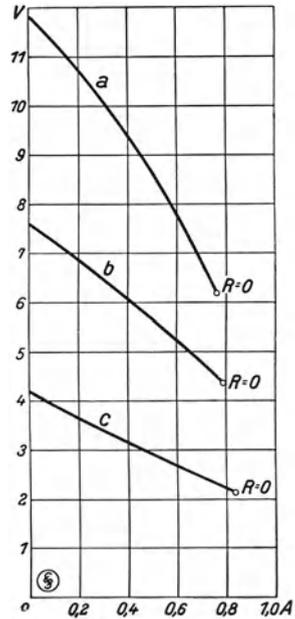


Abb. 198. Stromspannungsverlauf des Protos-Gleichrichters bei Laden mit Vorschaltwiderständen.

a Stufe 3, 3 Zellen, b Stufe 2, 2 Zellen, c Stufe 1, 1 Zelle.

die Gleichstromseite vom Starkstromnetz elektrisch vollständig getrennt ist. Abb. 199 zeigt endlich den fertig zusammengebauten Gleichrichter.



Offen



Geschlossen

Abb. 199. Protos-Trockengleichrichter.

### Ahemotrockengleichrichter.

Einen ähnlichen Gleichrichter mit Kupferoxydul als wirksame Schicht stellen die Ahemowerkstätten her. Er liefert 1 Amp. bei 4 V.

Der Kupferjodürgleichrichter der Osram G. m. b. H. (AEG).

Der demnächst auf dem Markt erscheinende Kupferjodürgleichrichter der Osramgesellschaft hat, wie sein Name sagt, als wirksame Schicht Kupferjodür. Sie soll imstande sein, eine höhere Gegenspannung auszuhalten als die anderen Trockenplatten, so daß es möglich ist, bei Ladung von 4 V-Batterien in Graetzscher Schaltung mit einer einzigen Platte in jedem Brückenweige auszukommen. Weitere Angaben habe ich leider nicht erhalten.

## E. Lichtbogengleichrichter.

### a) Mit Edelgasfüllung.

**150. Wolframlichtbogengleichrichter.** Abb. 200 zeigt den Wolframlichtbogengleichrichter. Die linke kleinere Kugel wird durch den Lichtbogen so hoch erhitzt, daß sie mit Hilfe emissionsfördernder Zusätze als Kathode eines Lichtbogens dienen kann. Die ihr gegenüberstehende napfförmige Elektrode bleibt wegen ihrer großen strahlenden Oberfläche verhältnismäßig kalt, so daß sie keine Elektronen emittiert. Eine Hilfselektrode berührt vor der Zündung des Gleichrichters die Kathode und wird beim Einschalten durch ein Bimetallband von ihr

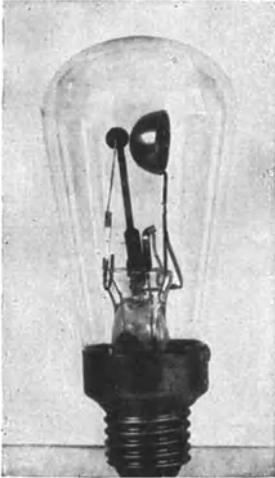


Abb. 200. Wolframlichtbogengleichrichter.

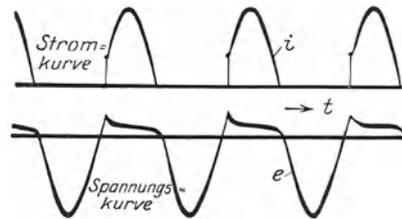


Abb. 201. Strom- und Spannungskurve des Wolframlichtbogengleichrichters. Wechselspannung 220 V effektiv.

wegbewegt, wobei ein Lichtbogen entsteht, der auf die Hauptelektrode überspringt. Abb. 201 enthält ein Oszillogramm der Strom- und Spannungskurven, das bei 220 V Netzspannung und 0,8 Amp. gleichgerichtetem Strom aufgenommen wurde. Das Modell der Abb. 200 ist für Gleichströme von 0,5 bis 1 Amp. bestimmt.

Der Wert dieses Gleichrichters liegt in seiner Einfachheit. Außer einem Vorschaltwiderstand sind keinerlei Zusatzapparate erforderlich. Er wurde durch Skaupy und Ewest ausgebildet.

### b) Quecksilberdampfgleichrichter.

(Physikalische Theorie S. 64 bis 90.)

Unter einem Quecksilberdampfgleichrichter versteht man in der Technik nicht den eigentlichen Gleichrichter allein, sondern die voll-

ständige, zur Umwandlung von Wechselstrom in Drehstrom dienende Apparatur, die sich aus dem eigentlichen Gleichrichtergefäß, einem Transformator, Drosselspulen, Meßinstrumenten, Sicherungen usw. zusammensetzt.

**151. Quecksilberdampfgleichrichtergefäße aus Glas.** Wegen der anfänglich großen Schwierigkeit, stärkere Ströme vollkommen luftdicht und gegen die Gefäßwände isoliert in Metallgefäße einzuführen, begann die Fabrikation der Quecksilbergleichrichter mit Glasgefäßen für verhältnismäßig kleine Ströme von 5 bis 10 Amp. Doch wurden bald wesentliche Fortschritte erzielt. Es gelang vor allem bald, Glassorten zu finden, die den außerordentlichen Temperaturschwankungen gewachsen waren, und die Stromdurchführung mit Hilfe mehrerer, einander paralleler dünner Platindrähte für größere Ströme brauchbar zu machen. So war die AEG schon vor dem Kriege bei Strömen von 100 Amp. angelangt. Doch befanden sich diese Gleichrichter damals noch durchaus in den Kinderkrankheiten. Selbst die Gleichrichter für 30 Amp. litten in den letzten Jahren vor dem Kriege noch an häufigen Rückzündungen, die wie ein Kurzschluß wirkten und den Gleichrichter meistens zerstörten. Ihre Lebensdauer war auch ohne Rückzündung mäßig, während die der kleineren Typen für 10 Amp. damals schon mehrere tausend Brennstunden erreichte. Andererseits war der Bedarf nach großen Gleichrichtern nicht so außerordentlich dringend, weil man die kleineren Typen zur Erzeugung der gewünschten Stromstärke gut parallel schalten konnte. Dieses Verfahren hat sogar den Vorteil, daß beim Versagen eines Gleichrichters der Betrieb kaum gestört wird, während der Bruch des einzigen großen, den gesamten Strom liefernden Gleichrichters zur Stilllegung des Betriebes führt. Dieser Umstand veranlaßte die Physikalisch-Technische Reichsanstalt, vor dem Kriege zur Ladung ihrer Akkumulatorenbatterien ausschließlich eine Type für 10 Amp. in Parallelschaltung zu verwenden, mit der ganz vorzügliche Erfahrungen gemacht worden sind. Die Gleichrichter, die anfangs von der Westinghouse Cooper Hewitt-Gesellschaft geliefert, später in den Werkstätten der Reichsanstalt selbst hergestellt wurden, haben zum Teil bereits Lebensdauern von weit über 10000, zum Teil schon 30000 Betriebsstunden erreicht. Im ganzen sind 20 Drehstromgleichrichter angeschlossen, die sämtlich parallel an einen gemeinsamen Transformator geschaltet werden können. An der Gleichstromseite liegen vor jedem Gleichrichter zwei parallel geschaltete Eisendrahtwiderstände für je 5 Amp., die ein Ansteigen der Stromstärke über 10 Amp. hinaus verhindern und bei Beginn der Akkumulatorenladung die überschüssige Spannung aufnehmen, sowie eine eigene Drosselspule zum Ausgleich der Pulsationen des Gleichstromes. Die Ladeeinrichtung ist seit 1913 im Betrieb und arbeitet zur Zeit, 1929, immer noch vorzüglich. Sie wird jetzt durch Ersatz der 10 Amp.-Typen durch solche für 25 Amp. wesentlich vergrößert.

Dieses Verfahren der Parallelschaltung zahlreicher kleiner Einheiten empfiehlt sich jedoch nur so lange, als die kleinen Typen wesentlich sicherer sind als die großen. Denn die Nachteile des Verfahrens, der

große Raumbedarf, die Vermehrung der Vorschaltwiderstände und Drosselpulen, die hohen Kosten vieler kleiner Apparate an Stelle eines großen, liegen auf der Hand.

Da nun in den letzten Jahren in der Herstellung der großen Quecksilbergleichrichter mit Glasgefäß verschiedene entscheidende Fortschritte erzielt worden sind, empfiehlt sich jetzt in vielen Fällen die Verwendung dieser großen, genügend betriebssicher gewordenen Typen um so mehr, als sich bei ihnen die Anwendung verschiedener Hilfsmittel lohnt, die den Betrieb sowohl sicherer und bequemer als auch ökonomischer gestalten und deren Verwendung bei der Parallelschaltung vieler kleiner Gleichrichter nicht möglich ist.

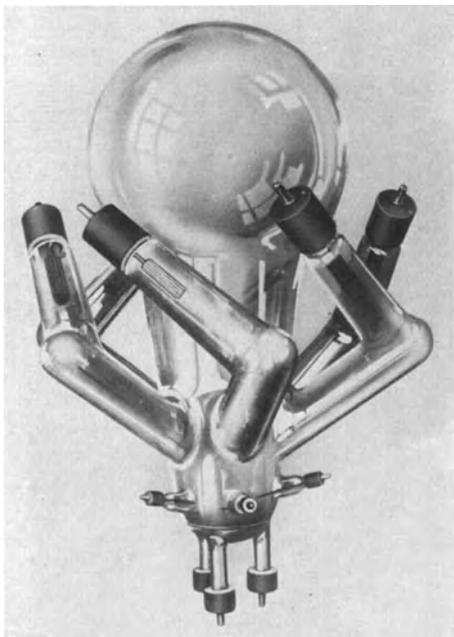


Abb. 202. Glasgleichrichter der AEG für 250 Amp.

Drei Fortschritte waren es vor allem, welche umwälzend gewirkt haben: die künstliche Kühlung, neue Verfahren der Stromdurchführung und die Beherrschung der Rückzündung.

**152. Die künstliche Kühlung.** Die künstliche Kühlung der Gleichrichter wird durch einen elektrischen Ventilator unter dem Gleichrichtergefäß erzielt, der zugleich mit dem Gleichrichter eingeschaltet wird und einen kräftigen Luftstrom gegen ihn bläst.

Die Kühlung ermöglicht, das Gleichrichtergefäß mit der dreifachen Stromstärke zu belasten. Dagegen werden die Stromeinführungen durch die Kühlung kaum entlastet, da sie im Innern des Gefäßes liegen. Sie müssen also der höheren Stromstärke entsprechend bemessen werden.

Die wesentlichen Bestandteile der Glasgleichrichter sind:

1. Der Kathodenraum mit der Quecksilberkathode im tiefsten Punkt des Gefäßes.

2. Die an den Kathodenraum seitlich angesetzten, bei hohen Spannungen ein oder mehrere Male gekrümmten Anodenarme, die in ihrem oberen Teile die Anoden aus Graphit enthalten.

3. Die auf den Kathodenraum aufgesetzte Kühlkammer, die das von der Kathode verdampfende, in Form eines heftigen Dampfstrahles empor-schießende Quecksilber aufnimmt und wieder kondensiert.

4. Die in den Kathodenraum hineinragenden Zünd- und Hilfelektroden.

Abb. 202, ein Gleichrichter der AEG, läßt diese einzelnen Teile gut erkennen.

Da die Kühlung bei kleinen Belastungen nicht nötig ist, schaltet ein Relais den Ventilator erst bei 40% der Vollast ein. Um in der Nähe dieser Belastung ein dauerndes Ein- und Ausschalten zu vermeiden, ist das Relais so eingerichtet, daß es erst wieder ausschaltet, wenn die Last auf 25% der Vollast sinkt. Abb. 203 zeigt eine Kühlanordnung der Gleichrichter G. m. b. H., bei der die Kühlwirkung des Ventilators durch die Windführung mittels zweier zylindrischer Hüllbleche wesentlich verbessert ist.

Die Versuche, die Kolben durch Eintauchen in Wasser oder Öl zu kühlen, haben noch nicht zum Erfolge geführt. In Wasser wird die thermische Beanspruchung so groß, daß das Glas springt, während das Öl durch die starke Erhitzung an den Anodenarmen schnell verharzt.

**153. Stromdurchführung.** Der zweite Fortschritt, die luftdichte Einführung großer Stromstärken in die Gleichrichtergefäße, wurde auf zwei verschiedenen Wegen erzielt. Anfangs hatte man sich, wie bereits erwähnt, bemüht, dadurch zum Ziele zu kommen, daß man mehrere dünne Platindrähte parallel in das Glas einschmolz. Es erwies sich aber als sehr schwierig, die Widerstände der verwandten, sehr kurzen Platindrahtstücke hinreichend gleich zu machen, was um so störender ins Gewicht fiel, als sich erst durch den Mißerfolg, das Versagen der Einschmelzstelle, die ungleiche Belastung zeigte. Man war auf diesem Wege nicht über 50 Amp. hinausgekommen. Dann wurde herausgefunden, daß sich Molybdän vorzüglich in ein Borosilikatglas, eine Art altes Jenaer Geräteglas, luftdicht einschmelzen läßt. Dieses Glas wurde deshalb „Molybdänglas“ genannt. Es gelang, Drähte bis zu 10 mm Dicke einzuschmelzen, die man mit Strömen bis zu 500 Amp. belasten konnte. Lästig war hierbei allerdings die große Sprödigkeit des Molybdäns, die seine Bearbeitung erschwerte.

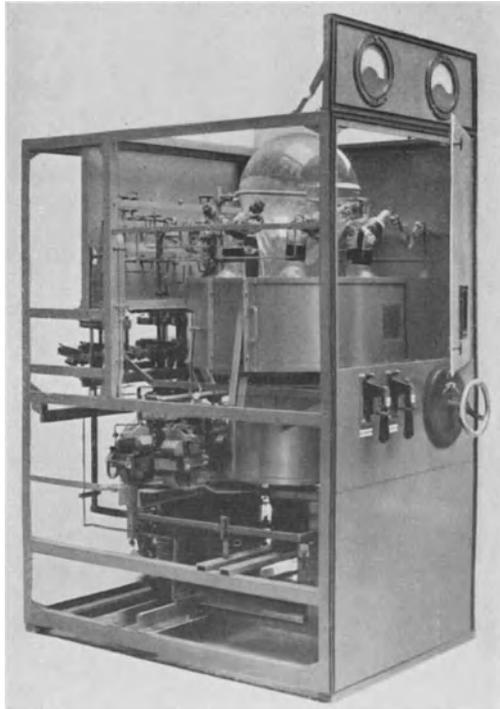


Abb. 203. Ansicht einer Glasgleichrichteranlage der Gleichrichter G. m. b. H. zur Demonstration der Verbesserung der Kühlwirkung des Ventilators durch die Windführung durch zwei zylindrische Hüllbleche.

Die Gleichrichter der AEG sind mit derartigen Stromdurchführungen ausgerüstet, für die Abb. 204 ein Beispiel gibt. *c* ist eine Graphitanode, *b* der Molybdändraht, *d* die Glaswand, *a* eine zur mechanischen Sicherung des Drahtes aufgesetzte Schutzkappe. Entsteht im Glaskolben ein Kurzschluß, so dauert dieser nie so lange, daß der Molybdändraht eine gefährliche Temperatur annimmt. Die Dichtungsstelle wird also durch Kurzschlüsse nicht beschädigt. Das Molybdänglas, das von der Firma Schott u. Genossen, Jena, hergestellt wird, hat außerdem noch die großen Vorzüge eines sehr hohen Erweichungspunktes, einer großen Zähigkeit und einer erstaunlichen Unempfindlichkeit gegen starke Temperaturschwankungen, so daß es für den Gleichrichterkolben hervorragend geeignet ist.

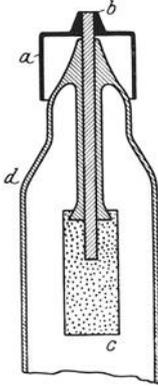


Abb. 204. Stromdurchführung mit Molybdändraht und Molybdänglas.

Das zweite Verfahren, größere Ströme luftdicht einzuführen, wird von der Gleichrichter G. m. b. H. angewandt. Bei diesem Verfahren ist der Größe der einzuführenden Ströme keine Grenze gesetzt. Es besteht darin, daß an die beiden Seiten des Bodens einer dünnen Platinkappe die von außen und von der Kathode kommenden beiden Stromzuführungen angeschweißt werden, während an den dünnen Rand der Kappe das Glasgefäß ringsum angeschmolzen wird. Durch eine aufgesetzte Haube wird die Einschmelzstelle mechanisch entlastet. Die Abdichtung wird hier also zum Teil von den Wandungen der Platinkappe bewirkt. Die kritische Dichtungsstelle liegt an der Berührungsstelle des angeschmolzenen Glases mit dem Rand der Platinkappe. Da dieser sehr dünn und demnach sehr nachgiebig ist und die dem Boden der Platinkappe von den Stromzuführungen mitgeteilte Stromwärme auf dem Wege zum Rande der Kappe durch Strahlung größtenteils wieder abgegeben, der Rand der Kappe also nicht besonders warm wird, ist die Einschmelzstelle keinerlei besonderer Beanspruchung ausgesetzt, so daß sie vollkommen dicht hält.

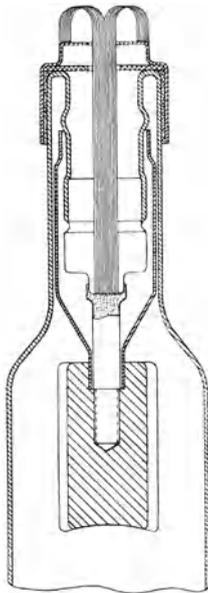


Abb. 205. Kupferkappeneinschmelzung der Stromdurchführung der Gleichrichter G. m. b. H.

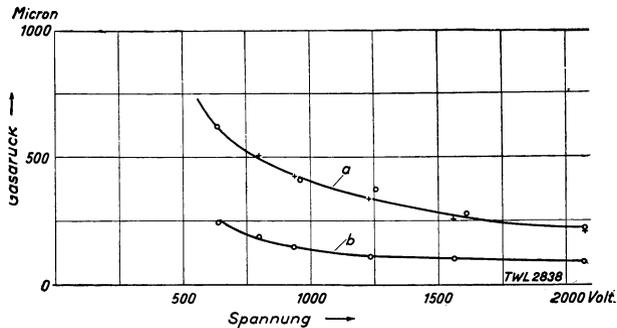
Neuerdings ist das Verfahren gemäß Abb. 205 vereinfacht und verbessert worden. An Stelle der Platinkappe wird eine Kappe aus reinem, weichem Kupfer, gegen deren Boden die beiden Stromzuführungen gestoßen werden, an ihrem oberen Ende bis auf 0,01 mm ausgewalzt. Sodann wird sie zugleich mit einem passenden Glasrohr bis zu dessen Erweichungstemperatur erhitzt, über das Glasrohr geschoben, bis dieses gegen eine Nut stößt, und dort mit dem Glasrohr verblasen. Dann wird der dünne Mantel mit dem Rohr vollständig

verschmolzen. Die Verbindung zwischen beiden wird sehr innig, weil das Glas das beim Erhitzen entstandene Kupferoxyd und wohl auch das Kupfer selbst etwas in sich löst.

Nach dem Erkalten wird die Kupferkappe zum Schutze gegen die amalgamierenden Quecksilberdämpfe elektrolytisch mit einer dünnen Eisenschicht überzogen.

Diese ebenso einfachen wie billigen Einschmelzverfahren haben sich gut bewährt. Als Glasmaterial verwendet die Gleichrichter G. m. b. H. gewöhnliches Bleiglas, das sich ebenfalls sehr gut bewährt hat. Die größte Gefahr für die Haltbarkeit der Glasgefäße bilden innere Spannungen im Glase, die durch zu schnelles Abkühlen beim Zusammenblasen der einzelnen Teile entstanden sind. Zu ihrer Entdeckung wird jeder Glaskolben im polarisierten Licht mit einem Nicolschen Prisma betrachtet, wobei sich die Spannungen durch farbige Flecke verraten, um dann durch erneutes Erhitzen beseitigt zu werden.

**154. Die Rückzündung.** Physikalisch ist die Rückzündung der Umschlag der in der undurchlässigen Richtung oberhalb von 500 V vorhandenen Glimmentladung in den Lichtbogen. Für die richtige Beurteilung der Spannungsverhältnisse in dem Gleichrichter ist zu bedenken, daß in der undurchlässigen Richtung bei einem Einphasengleichrichter, der beispielsweise 500 V gleichzurichten hat, an der Kathode der undurchlässigen Richtung (einer sog. Gleichrichter„anode“) eine Spannung von etwa dem 2,8fachen Betrage, also von 1400 V auftritt. Die Umstände, die die Rückzündung begünstigen, sind bereits im physikalischen Teil erwähnt. Es sind 1. Anbringen von Gleichrichteranoden und -kathoden im gleichen Hohlraum, so daß die von der Kathode aus-



Gasdruck im Moment der Rückzündung in Abhängigkeit von der Spannung

- a  $\circ\circ$  Stromstärke 25 Amp; Anoden auf hoher Temperatur  
 ++ " " 7,5 Amp, nachdem die Anoden mit 25 Amp auf gleiche Temperatur gebracht waren  
 b  $\circ\circ$  Stromstärke 7,5 Amp; Anoden im kalten Zustand

Abb. 206. Abhängigkeit der Rückzündungsspannung vom Luftgehalt des Gleichrichters.

gehenden Strahlen die Anoden unmittelbar treffen können, 2. Verunreinigungen der Anoden, insbesondere durch Alkali- oder Kalksalze (Handschweiß), 3. Anwesenheit von Fremdgasen im Gleichrichter. Die erste Gefahr vermeidet man dadurch, daß man die Anoden in nicht zu kurzen, gekröpften Seitenarmen unterbringt. Die Vermeidung von Ver-

unreinigungen ist eine Frage sauberer Fabrikation. Die hinreichende Beseitigung der Fremdgase ist das schwierigste Problem. Würde man einen fertig zusammengesetzten Gleichrichterkolben in kaltem Zustande bis auf bestes Röntgenvakuum auspumpen, abschmelzen und in Betrieb setzen, so würden die Elektroden alsbald derartige Gasmengen abgeben, daß der Gleichrichter erlöschen würde.

Die von Herrn Krämer freundlichst zur Verfügung gestellte Abb. 206 zeigt, wie außerordentlich die Rückzündungsgrenze durch geringe Luftmengen herabgesetzt wird.

Es ist deshalb unbedingt erforderlich, den Gleichrichterkolben während des Evakuierens nicht nur mit soviel Strom zu belasten, wie

er irgend verträgt, wobei die Anoden auf helle Rotglut kommen müssen, sondern es ist dringend erwünscht, ihn gleichzeitig noch in einen bis 200° C erhitzbaren Heizkasten zu setzen. Um dieses Ausheizen der Gleichrichter zu erleichtern, führt die Gleichrichter G. m. b. H. den Strom der Kathode nicht wie sonst üblich von unten her, sondern durch einen seitlichen Ansatz zu, aus dem heraus ein Eisenstab, der bis auf die Spitze durch ein Glasrohr isoliert ist, in das Kathodenquecksilber, wie Abbildung 207 zeigt, taucht.

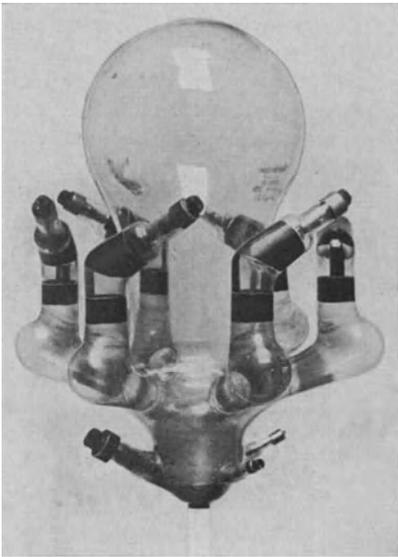


Abb. 207. Glasgleichrichter der Gleichrichter G. m. b. H. für 350 Amp. 600 V mit seitlicher Stromzuführung zur Kathode.

Früher fanden sich in der Praxis Gasgleichrichter, die anfangs ein vorzügliches Vakuum besaßen und imstande waren, 6000 V und mehr ohne Rückzündung gleichzurichten. Sobald sie aber einmal gründlich belastet waren, entwickelten sich aus ihnen immer noch so viel Gase, daß sie bereits bei 1000 V rückzündeten.

Erst seitdem in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt das Entgasen der Kolben in der oben angeführten Weise mit größter Gründlichkeit durchgeführt wird, wurden in der Reichsanstalt Gleichrichter erhalten, die über 30000 Stunden im Betriebe sind und noch keine Anzeichen von Verschlechterung erkennen lassen. Es kann deshalb nicht dringend genug empfohlen werden, mit der Erhitzung und Belastung bei der Entgasung so weit zu gehen, wie es die Haltbarkeit der Gleichrichterkolben irgend erlaubt. Abb. 208 zeigt einen Gleichrichterentgasungsraum der Siemens-Schuckert-Werke.

Die folgende Abb. 209 gibt den Zusammenhang zwischen der Rückzündung und der Belastung eines Gleichrichters nach Messungen der

AEG wieder. Sie zeigt, daß (in einem gasfreien Kolben) mit zunehmender Belastung die Rückzündungsspannung schnell abnimmt. Die Ur-

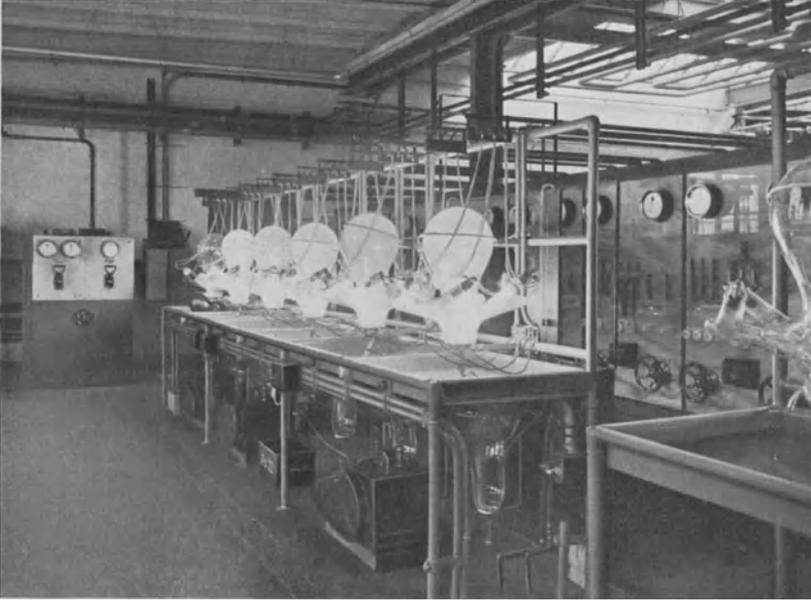


Abb. 208. Entgasungsraum für Glasgleichrichter der SSW.

sache hierfür liegt an dem mit der Belastung steigenden Quecksilberdampfdruck. Es müssen also die Abmessungen eines Kolbens bei gegebener Stromstärke um so größer sein, je höhere Spannungen er gleichrichten soll. Die Kurve der Abb. 209 gilt für langdauernde Einschaltung der älteren Gleichrichtertypen. Kurze Überlastungen, während deren sich der Gleichrichter noch nicht auf die hohe Temperatur einstellt, erniedrigen die Rückzündungsgrenze kaum. Ebenso schadet dem Gleichrichter ein plötzliches Einschalten der Vollast vom Leerlauf aus nichts.

**155. Die Hilfserrregung und die Zündelektroden.** Ein weiterer Fortschritt der letzten Jahre ist die Verbesserung der Hilfserrregung. Die eingangs erwähnte einfachste Art der Zündung durch Schütteln des Gleichrichters mit der Hand

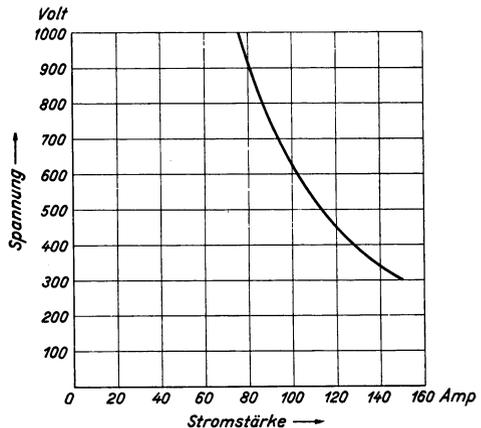


Abb. 209. Zusammenhang zwischen Rückzündungsspannung und Dauerbelastung.

Die eingangs erwähnte einfachste Art der Zündung durch Schütteln des Gleichrichters mit der Hand

ist für Betriebe, in denen elektrisch durchgebildete Fachleute fehlen, nicht geeignet. Man hat sie deshalb frühzeitig durch eine elektromagnetische Kippvorrichtung ersetzt, die beim Einschalten des Gleichstroms in Tätigkeit tritt und den Gleichrichter so lange hin und her kippt, bis er gezündet hat. Da aber hierbei nicht stets sofort die richtige Stromrichtung getroffen wird, vergeht vom Einschalten bis zur Zündung öfter einige, wenn auch nur nach Bruchteilen von Minuten zählende Zeit. Diese Verzögerung, die bei Dauereinschaltung, wie beispielsweise bei Akkumulatorenladung, gleichgültig ist, wirkt äußerst störend, wenn der Gleichrichter häufig ein- und ausgeschaltet werden muß. Sie kann sogar verhängnisvoll werden, wenn er durch momentanes Sinken des Stromes unter 3 Amp. infolge von starken Belastungsschwankungen erloschen ist und nun der Zündprozeß gerade in dem Augenblick beginnt, in dem die Belastung zum Ausgleich der vorherigen Abnahme besonders groß sein muß. Für derartige Fälle muß der Gleichrichter unbedingt so eingerichtet sein, daß er sich selbst überhaupt nicht unterbricht und beim Einschalten momentan anspricht. Man erreichte dieses früher dadurch, daß man einen kleinen, von einer besonderen Gleichstromquelle gespeisten, zwischen einer eigenen Anode und der Gleichrichterkathode übergelassenen Hilfslichtbogen vorsah. Die Gleichstromquelle erhöhte aber die Kosten und den Raumbedarf und komplizierte die Anlage, während der Energieverbrauch mindestens 200 W betrug.

Jetzt gibt man dem Gleichrichter eine viel einfachere und billigere Hilfsregung dadurch, daß man im Gleichrichtergefäß noch zwei besondere kleine Anoden anbringt. Diese werden an einen eigenen kleinen Transformator angeschlossen, dessen Mitte über eine Drosselspule besonderer Konstruktion mit der gemeinsamen Kathode des Gleichrichters verbunden ist. Mit anderen Worten, man baut in den großen Gleichrichter gewissermaßen einen kleinen Einphasengleichrichter ein und schließt ihn über eine Drosselspule kurz. Dieser kleine Gleichrichter brennt dauernd, so lange die Anlage im Betrieb ist, und verbraucht bei 4 Amp. nur 100 W, was gegenüber einer Belastung des Hauptgleichrichters mit vielleicht 100 kW keine Rolle spielt. Abb. 238 auf S. 232 zeigt, wie die AEG diese Hilfsregung schaltet.

Gleichrichter, bei denen es auf häufiges, sicheres Zünden nicht so sehr ankommt, werden nach wie vor durch Kippen gezündet, und zwar werden die in einem Kugellager drehbar gelagerten Glaskörper durch einen Elektromagneten automatisch gekippt. Das hat den doppelten Vorteil, daß der Kolben nicht durch ungeschicktes Kippen von Hand gefährdet werden kann und sich selbst sofort wieder in Betrieb kippt, wenn der Drehstrom nach einer Unterbrechung wieder eingeschaltet wird.

Ferner ist die Zündanode von der AEG wesentlich verbessert worden. Diese bestand früher aus einem mit Quecksilber gefüllten Glasansatz neben der Kathode. Durch das Kippen wurde das Quecksilber dieses Ansatzes mit dem der Kathode vorübergehend in Berührung gebracht. Bei der Unterbrechung der Berührung entstand ein Öffnungsfunke, der

den Gleichrichter manchmal zum Anspringen brachte, manchmal jedoch auch nicht. Denn wenn man einen Quecksilberkontakt in einer Vakuumröhre öffnet, so wird der entstandene Lichtbogen in einem Bruchteil einer Wechselstromphase unterbrochen. Es ist also Zufall, wenn diese Unterbrechung gerade zu der Zeit erfolgt, zu der die richtige Stromrichtung fließt. Deshalb wurde die Quecksilberanode durch eine bis unmittelbar über das Quecksilber herabgeführte Graphitanode ersetzt. Bei dieser überdauert der Öffnungslichtbogen eine Periode, so daß die Zündung sehr viel sicherer geworden ist. Die SSW verwenden neuerdings eine Spritzzündung. Neben der Kathode befindet sich ein teilweise mit Quecksilber gefüllter Ansatz. Auf dem Quecksilber schwimmt der Eisenkörper. Der Ansatz ist von einer Magnetspule umgeben. Beim Einschalten des Gleichrichters erhält diese Spule Strom und zieht den Eisenkörper in das Quecksilber, so daß dieses verdrängt und durch eine Düse gegen eine Zündanode gespritzt wird. Abb. 210 läßt eine derartige Spritzzündung erkennen.

**156. Typengrößen.** Quecksilberdampfgleichrichter mit Glasgefäß werden in Deutschland von der AEG, der Gleichrichter G. m. b. H., den SSW und der Westinghouse Cooper Hewitt G. m. b. H., Berlin, hergestellt. Die untere Stromgrenze liegt bei 5 bis 6 Amp. Mit der oberen Grenze ist wohl die AEG am weitesten gegangen, die Gleichrichter für 250 Amp. fabrikatorisch und einen Quecksilbergleichrichter für 500 Amp. probeweise hergestellt hat. Diese großen Typen haben sechs und mehr Anodenarme. Abb. 202 gibt einen solchen sechsarmigen Glasgleichrichter für 250 Amp., Abb. 210 einen



Abb. 210. Glasgleichrichter der 350 Amp.-Type der SSW mit Spritzzündung im auswechselbaren Rahmengestell.

Gleichrichter der SSW für 350 Amp., Abb. 207 einen Gleichrichter der Gleichrichter G. m. b. H. (Brown, Boveri & Cie.) für 350 Amp.

**157. Argonalgleichrichter.** Für den Kleinbetrieb hat der gewöhnliche Quecksilberdampfgleichrichter den Mangel, daß er erlischt, sobald der Strom unter 2 bis 3 Amp. sinkt und, wenn er erloschen ist, durch Kippen oder Schütteln wieder gezündet werden muß. Das angegebene Verfahren, ihn von der Belastung unabhängig bis zu den kleinsten Stromstärken hinab, dadurch betriebsfähig zu machen, daß in ihm zwei an einen besonderen kleinen Transformator angeschlossene Hilfsanoden eingebaut werden, die dauernd Strom führen, ist unökonomisch, da sich

ihr Energieverbrauch kaum unter 100 V hinunterdrücken läßt. Glücklicherweise gibt es jedoch einen anderen, viel eleganteren Weg. Nach den

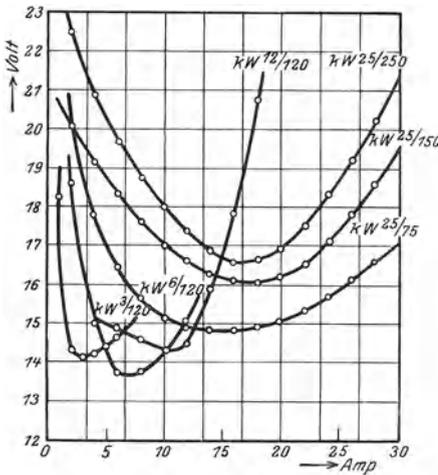


Abb. 211. Eigenspannungsabfall verschiedener Argonalgaskörper.

im theoretischen Teil gegebenen Formeln ist der normale Kathodenfall im Argon an Alkalikathoden 64 V. Mit steigender Spannung steigt die Glimmstromstärke an der Kathode schnell an, bis bei geringem Abstand der Elektroden und einigen hundert Volt Spannung mit Sicherheit der Umschlag in einen Lichtbogen zu erwarten ist. Es ist nicht nötig, daß die Kathode aus reinem Alkalimetall besteht, eine Quecksilberkathode, der einige Prozent Alkalimetall zugesetzt sind, erfüllt denselben Zweck. Infolge der leichten Zündbarkeit des Lichtbogens an dieser Kathode läßt sich ein nach diesen Prinzipien konstruierter Gleichrichter bis hinab zu 0,1 bis 0,3 Amp.

in Betrieb halten. Gleichrichter dieser Art werden von den Deutschen Telephonwerken unter dem Namen „Argonal-Gleichrichter“ in den

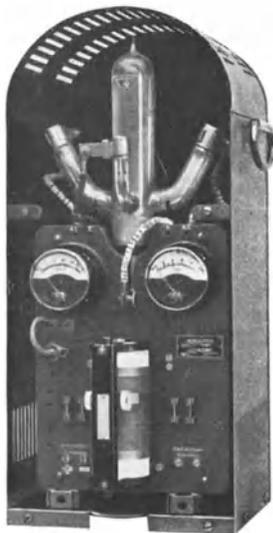


Abb. 212. Transportables Gleichrichteraggregat für 6 Amp.

Handel gebracht. Sie enthalten eine Quecksilberkathode mit so geringem Alkalizusatz, daß das Glas durch das Alkali noch nicht angegriffen wird, die üblichen Kohleanoden und eine Füllung von Argongas von sehr geringem Druck. Eine in einem besonderen Arme angebrachte Zündanode ist an eine besondere Spannungswicklung des Gleichrichtertransformators angeschlossen, die eine Spannung von 600 V liefert und infolgedessen in jeder Phase der Durchlässigkeit mit Sicherheit zündet. Die dazu erforderliche Stromstärke beträgt nur 50 mA. Sobald durch diese Zündung der Lichtbogen eingeleitet ist, schaltet ein Relais die Zündelektrode ab, um sie sofort wieder einzuschalten, sobald der Lichtbogen erlischt. Der Spannungsverlust im Gleichrichter beträgt nach den Angaben der Firma 15 V bei den kleineren Typen. Die Lebensdauer der Gleichrichter ist sehr groß und dürfte 10000 Brennstunden erreichen. Der Umstand, daß

infolge der Verwendung von Alkali und Argon die Zündung sehr erleichtert wird, führt dazu, daß auch in der undurchlässigen Richtung die Rückzündung bei viel geringeren Spannungen

einsetzt als beim Quecksilbergleichrichter. Diesem Mangel läßt sich jedoch durch Verwendung engerer, mehrfach gekrümmter Anodenarme abhelfen. Abb. 211 gibt den Spannungsabfall in verschiedenen Argonalggleichrichtertypen in Abhängigkeit von der Strombelastung nach Messungen der Deutschen Telefonwerke wieder.

Ein wesentlicher Vorzug der Argonalggleichrichter vor den reinen Quecksilbergleichrichtern besteht darin, daß infolge der Anwesenheit des Argons keine hohen Überspannungen am Gleichrichter entstehen können. Sie gleichen sich durch den Gleichrichter aus, ehe sie hohe Werte annehmen. Der Argonalggleichrichter arbeitet weicher als der Quecksilbergleichrichter. In der Erweiterung der Strom- und Spannungsgrenzen haben die Deutschen Telefonwerke in den letzten Jahren Er-



Abb. 213. Argonalggleichrichter für 12 Amp.

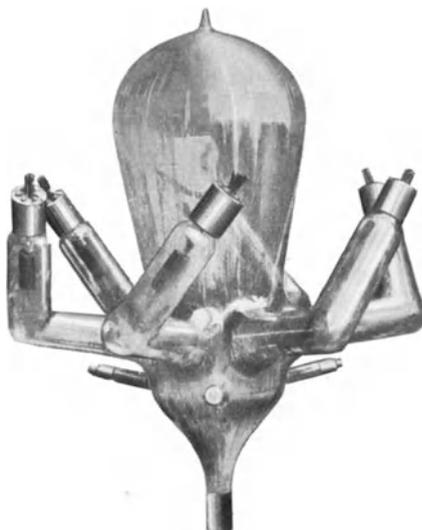


Abb. 214. Argonalggleichrichter für 250 Amp., 250 V.

staunliches geleistet. Zur Zeit werden Argonalggleichrichtertypen von 3 bis 250 Amp. und Gleichspannungen bis 250 V hergestellt. Abb. 212 zeigt ein vollständiges transportables Argonalggleichrichteraggregat für 6 Amp., Abb. 213 einen Einphasenargonalggleichrichter für 12 Amp., Abb. 214 die größte zur Zeit gebaute Type für 250 Amp., 250 V.

**157 a. Transport der Glasgleichrichter.** Der Anblick eines der großen, höchst komplizierten Glasgleichrichter der Abb. 202 und 207 erweckt Zweifel, ob es überhaupt möglich ist, derartige Gefäße mit der Bahn zu transportieren. Denn von ihrer Stoßempfindlichkeit abgesehen, sind sie noch dadurch äußerst gefährdet, daß das Quecksilber beim Kippen und Kanteln in ihnen, durch keinerlei Luftpolster gedämpft, mit größter Gewalt in die Anodenarme hineinschießt und am Ende mit dem gefürchteten Quecksilberschlag gegen die Wand prallt.

Und doch ist es gelungen, diese großen Kolben relativ sicher zu befördern. Die wichtigsten Maßnahmen sind: Federnde Aufhängung des

auf den Kopf gestellten Gleichrichters in einer großen Kiste, die so gebaut ist, daß sie nicht gekantet werden kann. Das Quecksilber befindet

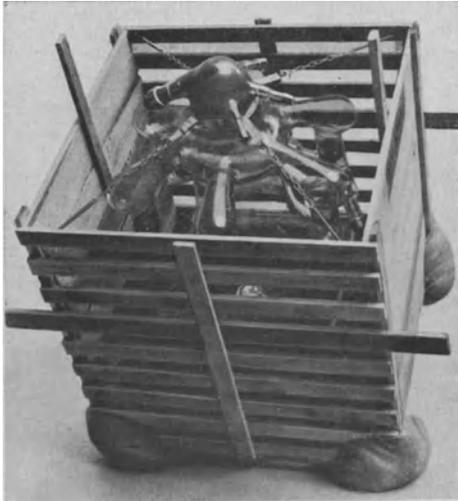


Abb. 215. Bruchsihere Verpackung großer Glasgleichrichterkolben durch die Gleichrichter G. m. b. H.

sich in der nach unten hängenden Kühlkammer, die keinerlei Angriffspunkte für Quecksilberschlag bietet. Abb. 215 zeigt eine derartige, von der Gleichrichter G. m. b. H. angewandte Art der Verpackung.

**158. Großgleichrichter. Allgemeines.** Bei der Schaffung des Großgleichrichters waren außerordentliche Schwierigkeiten zu überwinden. Als die Großgleichrichter entwickelt wurden, war man mit den Glasgleichrichtern kaum bis zu 100 Amp. gelangt. Es kamen also nur Metallgefäße in Frage. Auch heute noch ist der Glasgleichrichter für 500 Amp. ein so schwieriger herzustellender und

empfindlicher Apparat, daß man sich scheut, ihn in größerem Umfang zu verwenden. Es handelte sich also darum, die Metallgefäße nicht nur vollkommen luftdicht abzuschließen, ohne ihre gelegentlich erforderliche Öffnung zu sehr zu erschweren, sondern

auch darum, Elektroden für Ströme von 500 Amp. isoliert und luftdicht in die Gefäße einzuführen. Dazu kommt noch, daß dieser ein hohes Vakuum verbürgende luftdichte Abschluß gerade im Betriebe trotz der entwickelten großen Wärmemengen und dadurch verursachten Erhitzung des Gefäßes erhalten bleiben muß.

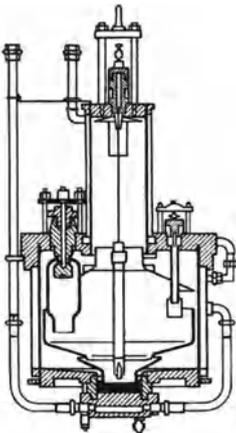


Abb. 216. Großgleichrichter von Brown, Boveri & Cie.

In Deutschland ist es zuerst Bela Schäfer bei der Firma Brown, Boveri & Cie. gelungen, die Schwierigkeiten zu überwinden und brauchbare Großgleichrichter zu schaffen. Anscheinend gleichzeitig wurde in Amerika der Großgleichrichter durch die General Electric Co. ausgebildet und dann in Deutschland von der AEG übernommen.

In den letzten Jahren sind zu diesen dann noch die Großgleichrichter der SSW und der Firma Bergmann getreten.

**159. Großgleichrichter der Firma Brown, Boveri & Cie.** Die Firma Brown, Boveri & Cie. hat ihre ersten Großgleichrichter bereits in den

Jahren 1909 bis 1911 aufgestellt, so daß sie jetzt über eine zwanzigjährige Betriebserfahrung verfügt.

Beim Großgleichrichter dieser Firma besteht das Vakuumgefäß gemäß nebenstehender, aus dem Jahre 1924 stammender Abb. 216, aus einem größeren unteren und einem darauf gesetzten kleineren oberen zylindrischen Hohlkörper aus geschweißtem Blech mit horizontal anschließenden ebenen Stahlplatten. Der untere Zylinder ist der eigentliche Gleichrichterraum. Der obere dient als Kühlkammer. Der leicht abnehmbare Deckel des Arbeitszylinders trägt die aus Eisen bestehenden Anoden, der Boden die Quecksilberkathode.

Im Arbeitszylinder wird ein Vakuum von 0,01 mm Quecksilber durch die Hochvakuumpumpe aufrecht erhalten. Die Anoden waren bei den älteren Gleichrichtern mit Porzellanlocken umkleidet, um das Überspringen der Lichtbögen nach der Gefäßwand zu verhindern, das leicht zu Rückzündungen führt. Infolge der ungünstigen Erfahrungen, die man mit Porzellan machte, das bei den hohen Temperaturen öfter brach, ging man dazu über, statt der Porzellanlocken Eisenblechröhren zu verwenden, die an einem kurzen Porzellanisolator befestigt sind.

Der Isolator wird jetzt nicht mehr von den heißen Lichtbogengasen berührt. Kondensationszylinder, Arbeitsgefäß und Dichtungsflächen werden durch besondere Kühlmäntel mit fließendem oder zirkulierendem Wasser gekühlt. Die aus Quecksilber und Asbest aufgebaute Dichtung der BBC-Gleichrichter ist in Abb. 217 dargestellt. Das Quecksilber bildet die eigentliche Dichtung. Der Asbest verhindert, daß es in den Innenraum hineingesogen wird. Die Dichtung genügt den höchsten Ansprüchen.

Soll der Gleichrichter mit stark schwankender, sehr niedriger oder auch zeitweise aussetzender Belastung arbeiten, so erhält er Fremderregung. Diese darf jedoch nur verwendet werden, wenn keine längeren Betriebspausen als etwa eine halbe Stunde vorkommen, da beim Kaltwerden des Gleichrichters die bei der vorherigen starken Erhitzung ausgetriebenen Fremdgase den Quecksilberdampf an Menge prozentual stark übertreffen und infolgedessen zu Rückzündungen führen. Deshalb ist es bei längeren Betriebspausen sicherer, eine kleine Nutzbelastung dauernd im Gleichrichter zu belassen, die gerade genügt, den erforderlichen Quecksilberdampfdruck aufrechtzuerhalten. Nach längerem vollständigen Ausschalten ist es dringend zu empfehlen, vor dem Einschalten einige Zeit zu evakuieren, um die Fremdgase zu entfernen.

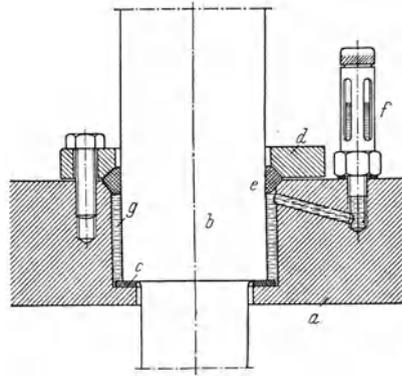


Abb. 217. Elektrodeneinführung der Firma Brown, Boveri & Cie. mit Quecksilberdichtung. *a* Anodenplatte, *b* Durchführungsisolator, *c* Asbestring, *d* Flansch, *e* Gummring, *f* Quecksilberstandanzeiger, *g* Quecksilber.

Abb. 218 zeigt sehr eindrucksvoll, wie die Leistungsfähigkeit der Großgleichrichter seit 1911 gestiegen ist.

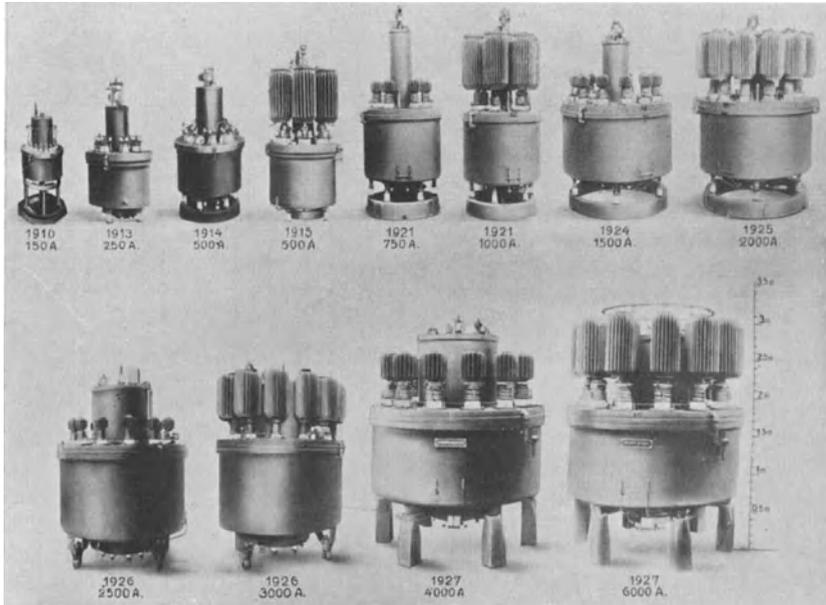


Abb. 218. Entwicklung der Großgleichrichter der Firma Brown, Boveri & Cie.

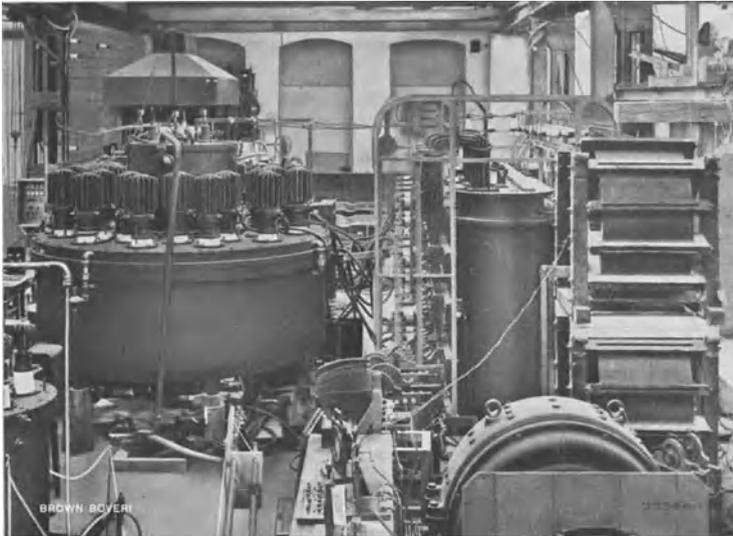


Abb. 219. Großgleichrichtertyp der Firma Brown, Boveri & Cie. von 14000 bis 20000 Amp. im Versuchslokal.

Zur Zeit stellt die Firma Brown, Boveri & Cie. die Typengrößen 640, 1000, 1600, 2500, 4000, 6400, 10 000, 16 000 Amp. bei 300 V her. Abb. 219 zeigt die größte Gleichrichtertype im Versuchsstand. Sie ließ sich dauernd mit 20 000 Amp. bei 300 V belasten. Das dürfte die größte praktisch überhaupt hergestellte Type sein (von dieser Type sind zur Zeit schon 3 Stück geliefert), da ihre Abmessungen gerade noch das Eisenbahnprofil innehalten. Die obere Spannungsgrenze liegt bei den BBC-Gleichrichtern zur Zeit bei 16 000 V bei 100 bis 200 Amp. Belastung.

Über die Rückzündung wird in den BBC-Mitteilungen vom Januar 1928 angegeben, daß es der Firma durch eine neue Anordnung, die bereits in vielen Anlagen mit vollem Erfolg verwertet wurde, gelungen ist, Rückzündungen fast vollständig zu verhüten oder sie schon im Entstehen zu ersticken, so daß jede Betriebsstörung vermieden wurde.

Die für die Berliner Stadt- und Ringbahn verwandte Type liefert eine mittlere Stromstärke von 1500 Amp. bei 800 V. Doch müssen

<sup>1</sup> Von der AEG zur Verfügung gestellt.

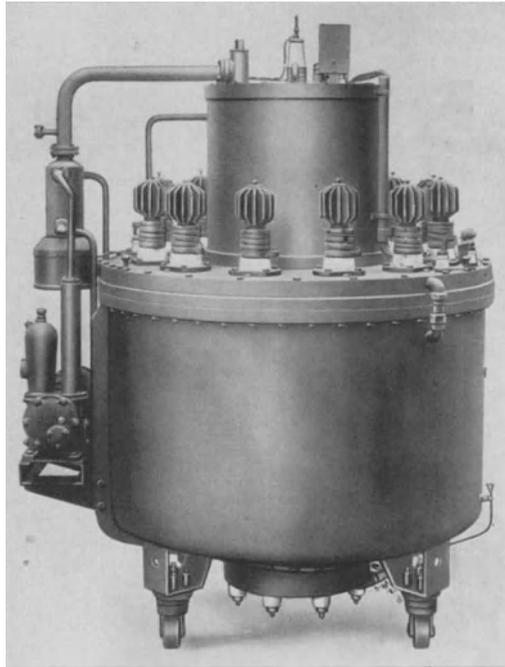


Abb. 220. Stadtbahngleichrichter der Firma Brown, Boveri & Cie.

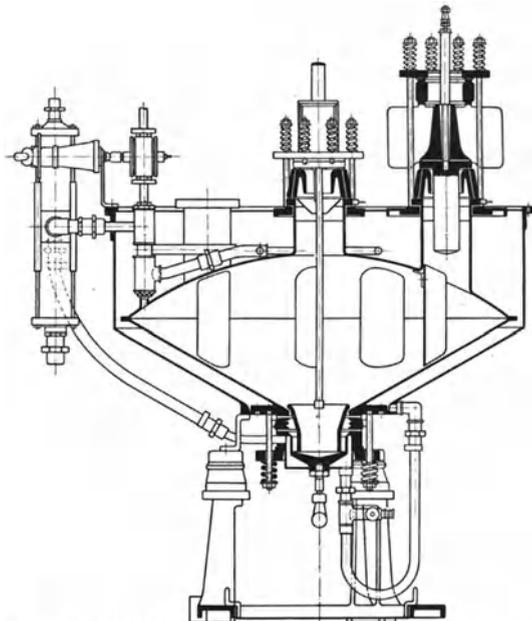


Abb. 221. Großgleichrichter der AEG, Größe II, 500 Amp.<sup>1</sup>

die Gleichrichter einer Belastung mit 3000 Amp. 40 sec lang abwechselnd mit 300 Amp. 50 sec lang gewachsen sein. Abb. 220 gibt ihre Ansicht.

**160. Großgleichrichter der AEG.** Die Großgleichrichter der AEG unterscheiden sich, wie Abb. 221 bis 223 zeigen, in ihrem äußeren Aufbau beträchtlich von den BBC-Gleichrichtern. Das Gleichrichtergefäß hat die Form eines flachen Doppelkegels mit oben angeschweißten Rohren zur Aufnahme der Anoden und einem an der unteren Kegelspitze angeschweißten Flansch für die Kathode. Die Schale im tiefsten Punkt des Gehäuses enthält das Kathodenquecksilber. Sämtliche Ver-

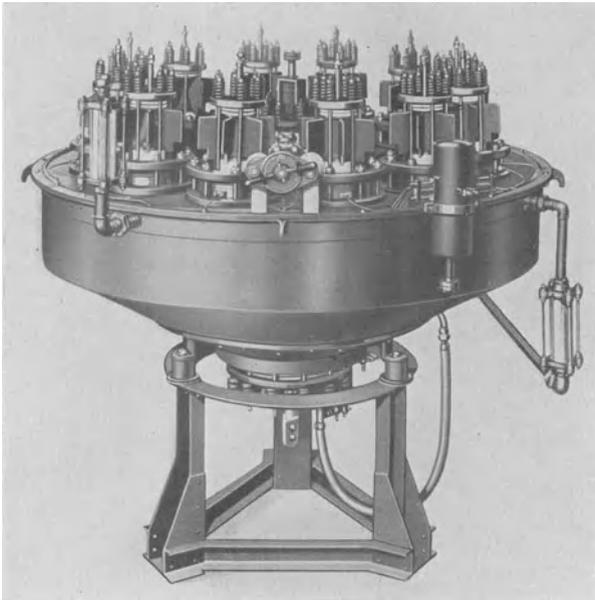


Abb. 222. Außenansicht eines Großgleichrichters der AEG für 1500 Amp.

bindungsstellen sind autogen geschweißt. Die Öffnungen des Gefäßes werden durch Porzellanisolatoren in Verbindung mit Bleidichtungen verschlossen. Die Porzellanisolatoren sind ebenso wie die Auflageflächen der Rohrflanschen und Anoden glatt geschliffen und haben in der Mitte eine rillenförmige Vertiefung. Sowohl innerhalb wie außerhalb dieser Rillen werden Bleiringe und zu ihren beiden Seiten dünne Aluminiumringe eingelegt. Die Dichtung wird mittels sehr kräftiger Federn mit hohem Druck zusammengepreßt. Das weiche Blei schmiegt sich den Oberflächen vollständig an, während die Aluminiumringe verhindern, daß es dabei so weit auseinanderfließt, daß es bis in das Gefäß selbst gelangt. Die Rillen stehen durch Metallrohre mit einem Vorvakuum in Verbindung. Die von außen eindringende Luft muß die Rillen passieren und wird dabei in das Vorvakuum abgesaugt, das mit der gleichen

Pumpe evakuiert wird wie das Hauptvakuum. Durch einen Vorvakuumbehälter größeren Volumens ist dafür gesorgt, daß die eindringende Luft das Vorvakuum nur langsam zu verschlechtern vermag.

Diese Anordnung bietet auch die Möglichkeit, die Dichtigkeit jeder einzelnen Verschlußstelle nachzuprüfen, ohne daß der Gleichrichter dabei auseinander genommen werden muß. Zu diesem Zwecke schließt man die einzelnen Dichtungen, die nicht geprüft werden sollen, durch kleine Bleiunterlagen ab, so daß nur die zu prüfende Dichtung mit der Pumpe und dem Vakuummeter in Verbindung steht.

Die Eisenanoden *D* tragen an ihrem oberen Ende Kühlrippen. Sie sind so angebracht, daß sie von dem Kathodenstrahl nicht unmittelbar getroffen werden können. Um die Sicherheit hiergegen noch zu erhöhen, sind bei *s* viertelzylindrische Schutzschilde aufgeschraubt, so daß der Lichtbogen einen mehrfach gekrümmten Weg beschreiben muß.

Die AEG schließt also die positive Lichtsäule, ähnlich wie BBC, in einen besonderen Kanal ein. Sie benutzt aber zu diesem Kanal nicht, wie BBC, einen isolierten Zylinder, sondern das Gehäuse selbst. In ähnlicher Weise wie die Anoden ist der wirksame mittlere Teil der Kathode, auf dem sich der Kathodenfleck befindet, durch den Asbestzylinder *H* gegen das Gehäuse besonders geschützt.

Zur wirksamen Ableitung der Wärme ist das Gefäß *b* als Kühlmantel ausgebildet. Die Zuführung des Kühlwassers erfolgt durch das Glasrohr *E*, in dem das Wasser als Tropfstrahl hinunterläuft, so daß ein direkter Schluß zwischen Gehäuse und Erde vermieden wird. Der Kathode wird Kühlwasser durch den Schlauch *f* zugeführt. Die Temperatur des Kühlwassers soll 38° C nicht übersteigen.

Der Mechanismus *G* dient zum Zünden des Gleichrichters. Er besteht aus einer bis zur Oberfläche der Kathode hinabreichenden Eisenstange, die an dem positiven Pol einer kleinen Zündynamo liegt, deren

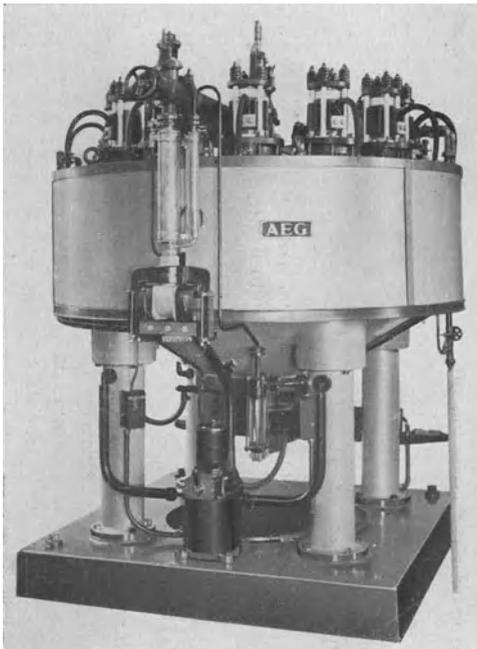


Abb. 223. Gleichrichter der AEG für die Berliner Stadtbahn<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Von der AEG zur Verfügung gestellt.

negativer Pol mit der Kathode verbunden ist. Bei Einschaltung des Zündumformers entsteht an der Hilfsanode ein Lichtbogen, der den Kathodenfleck erzeugt.

Bei stark schwankenden, zeitweilig bis auf Null heruntergehenden Belastungen empfiehlt es sich, die Hilfszündung mitarbeiten zu lassen.

**161. Großgleichrichter der SSW.** Die SSW haben bei der Konstruktion ihrer Großgleichrichter in mancher Beziehung durchaus von der BBC und der AEG abweichende Wege eingeschlagen. Sie bauen Typen für 350, 600 und 1000 Amp., zu denen neuerdings die Stadtbahntypen für 1500 Amp. 800 V getreten ist. Als Dichtungsmaterial verwenden sie breite Gummiringe, die ähnlich wie die Bleiringe der AEG zwischen Isolator und Gehäuse einerseits, Elektrode andererseits gepreßt werden. Statt des das Blei schützenden Aluminiumringes verwenden sie einen ähnlichen Ring aus einem nicht näher bezeichneten Metall, der die Gasabgabe der Gummischeiben verringern soll.



Abb. 224. Kathode des Stadtbahngleichrichters der SSW<sup>1</sup>.

Da nun Gummi viel empfindlicher gegen Übertemperaturen ist als Blei oder Asbest, müssen die Dichtungen schärfer gekühlt werden. Dieses geschieht teils durch gute Luftkühlung von außen her, teils dadurch, daß die Anoden, an denen ein großer Teil der schädlichen Wärme frei wird, durch Öl gekühlt werden, das seinerseits selbsttätig durch die über jeder Anode angebrachten Kühlkörper gekühlt wird.

Ferner bauen die SSW in die Großgleichrichter in gleicher Weise, wie es bei den Glasgleichrichtern üblich ist, drei Erregeranoden ein, die aus einer zweiten Wicklung des Erregertransformators über eine Drosselspule gespeist werden. Der Transformator liefert 12 Amp. bei 60 V Gleichspannung und verbraucht insgesamt 1 kW.

Der Hilfsregungsstrom kann durch einen Umschalter dem Heizwiderstand der Quecksilberdampfpumpe zugeführt und so nutzbar gemacht werden.

Die Kathode ist von dem unteren Teile des Gefäßes durch einen hohen Porzellanring isoliert, wie Abb. 224 zeigt. Sie wird durch Wasser gekühlt, das ihr zur besseren Isolation in Gummischläuchen von etwa 1 m Länge zugeführt wird. Steht schlechtleitendes, fließendes Wasser nicht zur Verfügung, so muß ein Rückkühler aufgestellt werden. Zur Erleichterung der Isolierung ist die Kathode zu erden. Ferner befindet sich zwischen den sechs Anoden ein besonderes Kühlgefäß, das bis in

<sup>1</sup> Von den SSW zur Verfügung gestellt.

die Nähe der aus der Kathode heraufsteigenden Dämpfe reicht und so die Kühlung durch die Gefäßwände unterstützt. Dieses Kühlwasserbecken ist konstruktiv mit dem Deckel des Gleichrichtergefäßes vereinigt, der die Nebenapparate und die Quecksilberdampflampe trägt. Abb. 225 zeigt die Anoden und die Kühlung der Stadtbahngleichrichter. Schaugläser ermöglichen die Beobachtung des Gleichrichterinnern während des Betriebes.

Die Zündung erfolgt dadurch, daß eine Zündanode mit Hilfe einer

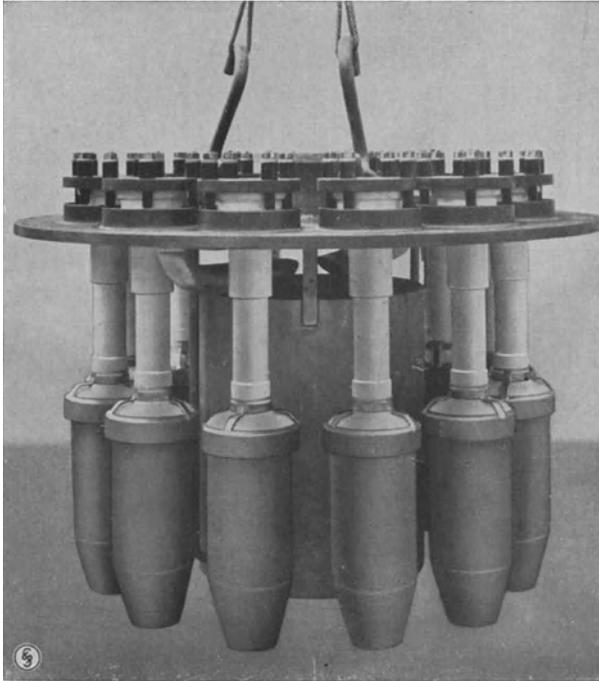


Abb. 225. Deckel mit Anoden und Ringkühler des Stadtbahngleichrichters der SSW<sup>1</sup>.

Magnetspule in das Kathodenquecksilber getaucht und dann wieder emporgehoben wird. Abb. 226 zeigt einen Stadtbahngleichrichter der SSW.

**162. Großgleichrichter der Firma Bergmann.** Die Firma Bergmann hat zum Teil die Großgleichrichterkonstruktionen der drei anderen Firmen kombiniert. Abb. 227 zeigt das Gleichrichtergefäß. Der ganze Deckel des Gefäßes mit sämtlichen Elektroden ist abnehmbar. Er ist mit Quecksilber-Asbestdichtung auf den unteren zylindrischen Teil des Gefäßes aufgesetzt. Die Elektrodendurchführungen dagegen sind mit Blei gedichtet. Die Kathode ist nicht wie bei den anderen Firmen von unten her isoliert eingesetzt, sondern erhält ihre Stromzuführung

<sup>1</sup> Von den SSW zur Verfügung gestellt.

von oben her durch den Deckel des Gefäßes. Das Kathodenquecksilber befindet sich in einem Becher aus Porzellan oder Quarz, der in eine im Boden des Gefäßes angebrachte Vertiefung paßt. Die Hauptanoden sind aus Graphit, weil dieses sich infolge seines besseren Strahlungsvermögens nicht so hoch erhitzt wie Eisen.

Außer den Hauptanoden, deren Zahl bei der Type G 1000 für maximal 1000 Amp. 6 und bei der Type G 2000 für maximal 2000 Amp. 12

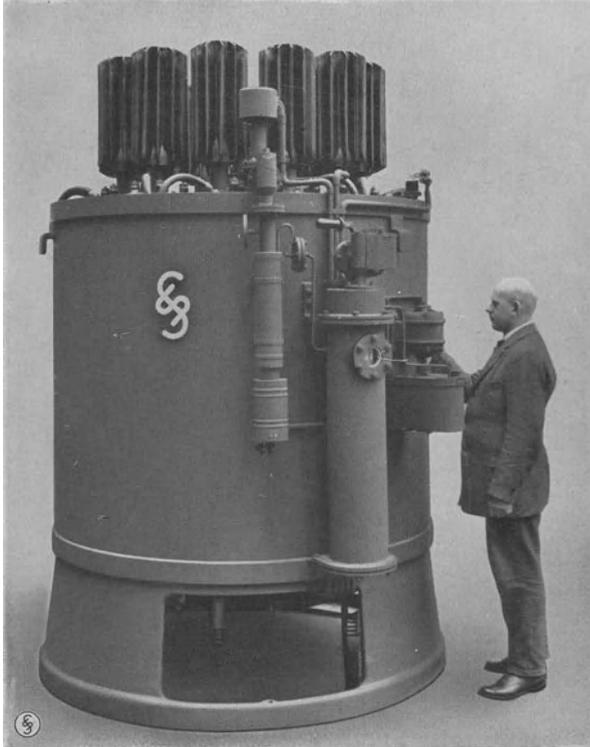


Abb. 226. Stadtbahngleichrichter der SSW, 2000 Amp., 800 V. Gesamtansicht<sup>1</sup>.

beträgt, sind noch drei aus Eisen bestehende Erregeranoden vorhanden, die den Lichtbogen bei schwacher oder vorübergehend aussetzender Belastung des Gleichrichters aufrecht erhalten. Sie sind über die Drosselspulen an die Sekundärwicklung des Erregertransformators angeschlossen, der primär in Dreieck, sekundär in Stern geschaltet ist und 10 bis 12 Amp. bei 60 V liefert, so daß der Hilfskreis insgesamt 800 bis 1000 Watt verbraucht. Sowohl die Haupt- wie die Erregeranoden sind mit isolierten Schutzrohren aus Eisenblech umgeben.

<sup>1</sup> Von den SSW zur Verfügung gestellt.

Das Kühlwasser durchläuft zuerst die Hochvakuumpumpe, dann den Deckel des Gleichrichtergefäßes, wird weiter durch einen Kanal im Flansch des Gefäßes um die Quecksilberdichtung herumgeführt und gelangt endlich unterhalb der Kathode zu dem Kühlmantel des unteren und seitlichen Teiles des Gefäßes.

Da die Gleichrichter weder einen besonderen Kondensationsraum noch hohe Rippenkühler für die Anoden haben, sind sie verhältnismäßig niedrig.

**163. Die Isolierung der Großgleichrichter.** Während des Betriebes befindet sich das Gleichrichtergefäß nebst Grundplatte auf nahezu derselben Spannung wie die Kathode, die den positiven Pol des vom Gleichrichter gelieferten Gleichstromes bildet.

Ist nun der negative Pol der Gleichstromanlage geerdet, wie es häufig bei Straßenbahnbetrieben der Fall ist, so muß der ganze Gleichrichteraufbau gegen Erde gut isoliert sein, und das Kühlwasser durch Gummischläuche von 1 m Länge zugeführt und einen langen Wasserstrahl abgeführt werden.

Bei hohen Spannungen und großer elektrischer Leitfähigkeit des Kühlwassers ist auch dieser Weg nicht mehr gangbar, und es bleibt dann nichts weiter übrig, als eine Umlaufkühlung mit isoliert aufgestellten Kühlkörpern zu verwenden. Deshalb wird großer Wert darauf gelegt, daß in den Gleichstromanlagen der positive Pol geerdet wird.

**164. Hilfsapparate.** Bei den Glasgleichrichtern ist vor allem der Ventilator wichtig, der das Gefäß kühlt. Da er bei kleinen Belastungen eher schädlich als nützlich wirkt, denn bei kaltem Gleichrichter ist der Spannungsverlust größer als bei etwas höherer Temperatur, erhält er

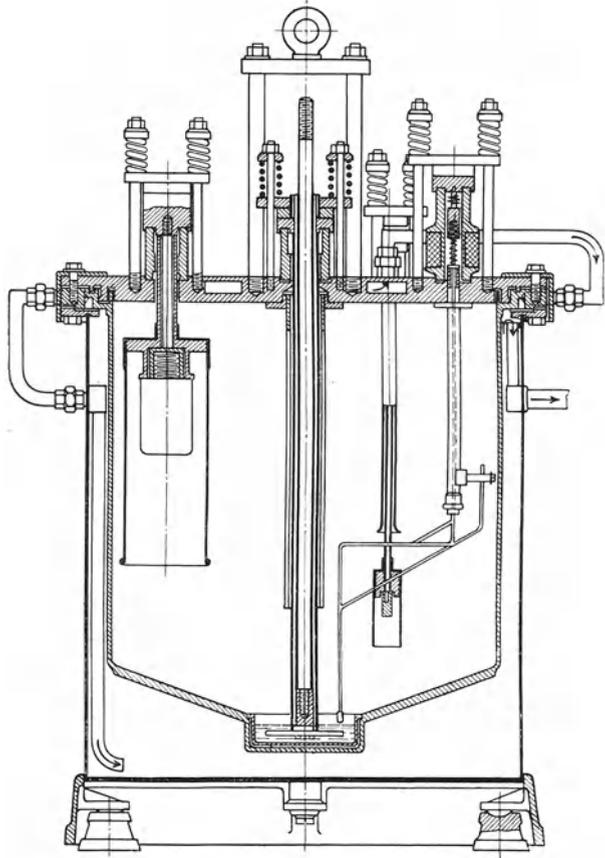


Abb. 227. Großgleichrichter der Firma Bergmann.

ein Relais, das ihn erst einschaltet, wenn die Last 40% der Vollast übersteigt, und ihn wieder ausschaltet, wenn sie unter 25% sinkt.

Um eine Zerstörung des vollbelasteten Gleichrichters beim Versagen des Ventilators zu verhüten, werden zwei Schutzvorkehrungen getroffen. Die erste ist eine durch den Ventilatorwind gekühlte Schmelzsicherung, die zweite ein durch ihn hochgehobener Kontaktflügel. Sobald der Ventilator zum Stillstand kommt, fällt der Flügel herab und schließt einen Klingelstromkreis. Die Klingel zeigt dem Wärter an, daß der Ventilator versagt hat und der Gleichrichter ausgeschaltet werden muß. Versäumt der Wärter dieses, so schmilzt nach einigen Minuten, ehe der Gleichrichter Schaden nimmt, die Sicherung durch

und schaltet den Gleichrichter automatisch aus.

Weitere Hilfsapparate sind die Kippspule, die den Gleichrichter automatisch beim Einschalten so lange hin und her kippt, bis er gezündet hat, ferner bei Parallelschaltung mehrerer Gleichrichtung Unterbrecherrelais, die verhindern sollen, daß bei kleiner Belastung alle Gleichrichter mit ungünstigem Wirkungsgrad parallel arbeiten.

Sie schalten bei sinken-

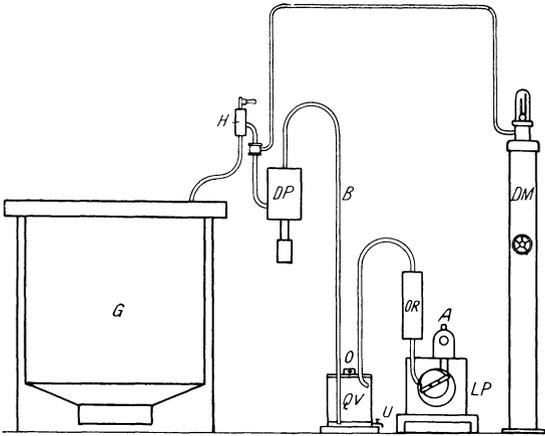


Abb. 228. Pumpanlage eines Großgleichrichters.

der Last so viel Gleichrichter aus, daß die übrigbleibenden hinreichend belastet sind.

Die wichtigsten Hilfsapparate der Großgleichrichter bestehen aus den Vakuumpumpen, dem Vakuummeter und der Zündeinrichtung.

**165. Die Vakuumpumpen.** Anfänglich begnügte man sich mit einer leistungsfähigen rotierenden Ölpumpe, neuerdings ist wohl bei allen Firmen noch eine Quecksilberdampfmaschine hinzutreten. Abb. 228 zeigt die Anordnung der einzelnen Teile bei den Großgleichrichtern der Firma Bergmann. Die der anderen Firmen sind ähnlich. Die rotierende Ölpumpe *LP* mit dem Auslaß *A* wird durch einen kleinen Drehstrommotor von etwa 100 Watt Energieverbrauch angetrieben. Die Vakuumeinleitung führt von ihr über ein Ölrückschlaggefäß *OR* durch einen Quecksilberschluß *QV* mit Abfließhahn *U* zur Quecksilberdampfmaschine *DP*. Zwischen dieser und dem Gleichrichtergefäß *G* befindet sich der Anschluß des Vakuummeters sowie ein Absperrhahn *H*.

Die mit drei Düsen versehene Quecksilberdampfmaschine *DP* pumpt gegen ein Vorvakuum von 15 mm den Gleichrichter bis auf den Dampfdruck des Quecksilbers aus. Die Ölpumpe stellt ebenfalls ein hohes Vakuum her, während für den vorliegenden Zweck schon die Verringe-

rung des Druckes bis auf 15 mm genügen würde. Es sind also diese 15 mm zwischen den beiden Pumpen frei verfügbar. Sie werden in dem Quecksilberschluß *QV* zum Absperrn des Volumens nutzbar gemacht. *B* ist ein 1,40 m langes enges Rohr, das bis fast auf den Boden des eisernen Verschlußtopfes reicht. In letzterem wird durch *O* so viel Quecksilber eingefüllt, daß das untere Ende von *B* etwa 8 mm überdeckt ist. Dann wird *O* wieder luftdicht verschlossen. Wird jetzt die Ölpumpe in Betrieb gesetzt, so evakuiert sie *QV* auf geringe Bruchteile eines Millimeters. Also besteht in *B* ein Druck von 8 mm, gegen den die Quecksilberdampfpumpe *DP* gut auf höchstes Vakuum pumpen kann. Wird nun die Ölpumpe abgestellt, ohne dabei abgesperrt zu werden, so wird das Öl durch den Luftdruck langsam in das Ölrückschlagsgefäß *OR* gedrückt, und sobald das gesamte Öl in diesem ist, dringt die Luft nach und gelangt nach *QV*. Dort drückt sie das Quecksilber in *B* bis zur Barometerhöhe. Der Verschluß *QV* verhindert also mit Sicherheit, selbst bei offenen Hähnen, das Eindringen der Luft in den Gleichrichter.

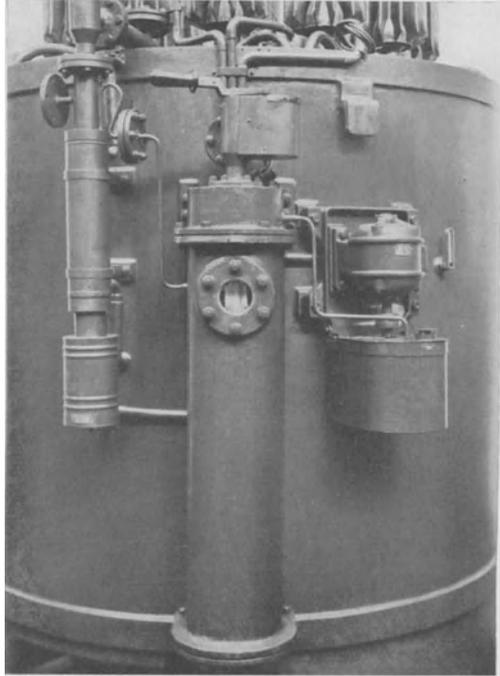


Abb. 229. Vakuumhaltung des Stadtbahngleichrichters der SSW. Rechts: Vorpumpe, Ölfang, automatischer Vorkuumhahn. Mitte: Vorkuumbehälter. Links: Gaede-Pumpe<sup>1</sup>.

Zur Heizung der Quecksilberdampflampe werden 400 bis 500 Watt benötigt.

Die Pumpeinrichtung läßt sich mit Hilfe eines elektrischen Druckmessers, der ein Relais steuert, selbsttätig machen. Die Ölpumpe wird automatisch eingeschaltet, sobald der Druck im Druckmesser auf 0,03 mm steigt. Die Quecksilberdampfpumpe muß dann allerdings dauernd im Betrieb sein, da ihr Anheizen zuviel Zeit (10 bis 15 Min.) erfordert. Abb. 229 zeigt die übersichtlich und kompensiös zusammengebaute Vakuumhaltung des Stadtbahngleichrichters der SSW.

**166. Das Vakuummeter.** Zur Messung der Güte des Vakuums wird im allgemeinen ein Druckmesser nach MacLeod verwendet, der in

<sup>1</sup> Von den SSW zur Verfügung gestellt.

ein eisernes Gehäuse gegen Beschädigungen geschützt so eingebaut wird, daß seine Bedienung auch durch Ungeübte erfolgen kann. *DM* in Abb. 228. Bei nicht im Betriebe befindlichem Gleichrichter gibt das Mac Leod ohne weiteres den Druck der Fremdgase im Gleichrichtergefäß an. Ist dagegen der Gleichrichter eingeschaltet, so daß Quecksilber-

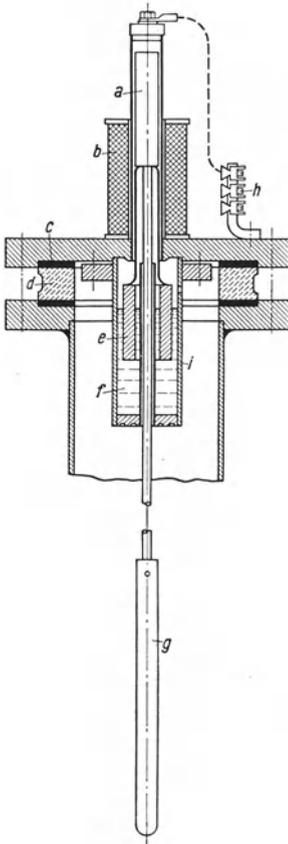


Abb. 230. Tauchzündung der SSW<sup>1</sup>.

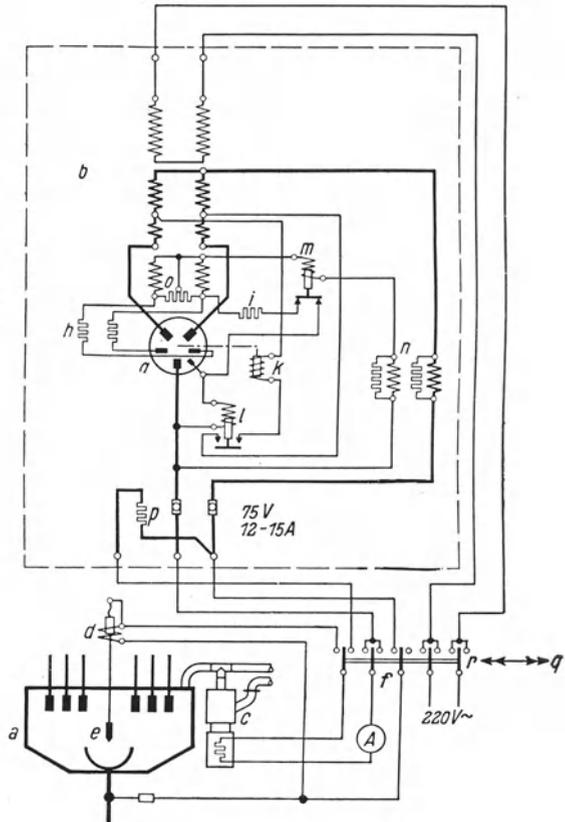


Abb. 231. Schaltungsschema der Zündung eines Großgleichrichters der SSW<sup>1</sup>.

dampf in merklicher Menge im Gefäß vorhanden ist, so kann der Quecksilberdampf selbst auf das Mac Leod nur den der Temperatur des im Mac Leod befindlichen Quecksilbers entsprechenden Druck ausüben. Dieser ist bei gewöhnlicher Temperatur so klein, daß er nicht ablesbar ist.

Es kommt aber hinzu, daß in der Zuleitung vom Gleichrichtergefäß zum Mac Leod stets eine Pumpwirkung vorhanden ist, sobald der

<sup>1</sup> Von den SSW zur Verfügung gestellt.

Quecksilberdampf im Gefäß nicht völlig fremdgasfrei ist. Es strömt dann der Quecksilberdampf mit dem Fremdgas in die Zuleitung zum Vakuummeter. Der Quecksilberdampf kondensiert sich und rinnt ins Gefäß zurück, die Fremd gases reichern sich an und bilden schließlich ein Druckpolster, das auch den Druck des Quecksilberdampfes auf das Mac Leod überträgt. Nun sind die Dampfdrucke in einem Großgleichrichtergefäß örtlich sehr stark verschieden, und es ist für eine einigermaßen richtige Messung des Partialdruckes der Fremd gases wichtig, daß die Zuleitung zum Mac Leod von einer möglichst kühlen Stelle des Gefäßes ausgeht.

Ferner ist beim Entgasen des außer Betrieb befindlichen Gleichrichters zu bedenken, daß der Druckausgleich in den relativ engen langen Verbindungsrohren vom Gefäß zum Mac Leod sehr viel langsamer erfolgt, als im allgemeinen angenommen wird, so daß bei geringen Drucken das Mac Leod beim Pumpen nachhinkt und noch Drucke anzeigt, die im Gefäß längst nicht mehr vorhanden sind.

**167. Die Zündeinrichtung.** Zum Zünden der Großgleichrichter wird allgemein die Tauchzündung verwandt, für die die Gleichstromzündung der SSW in Abb. 230 ein Beispiel gibt; Abb. 231 enthält das zugehörige Schaltbild. Eine Zündanode aus Eisen, die sich in Ruhestellung etwa 10 mm über dem Quecksilberspiegel befindet, ist mechanisch so mit einem Eisenkörper gekoppelt, daß sie in das Quecksilber taucht, wenn der Eisenkörper durch Einschalten einer Spule in diese gegen die Kraft einer Feder hineingezogen wird. Beim Wiederausschalten der Spule bewirkt die Tauchanode, indem sie aus dem Quecksilber wieder auftaucht, die Zündung. Ein- und Ausschalten der Spule vollzieht sich bei Betätigung eines Druckknopfes automatisch so lange, bis der Gleichrichter gezündet ist. Sind Erregeranoden vorhanden, so springt die Zündung zunächst auf diese über. Fehlen sie, so wird die sichere Zündung dadurch erzwungen, daß die Tauchanode von einem Gleichstrom gespeist wird, der von einem eigenen kleinen rotierenden Umformer geliefert wird.

## F. Gleichrichteranlagen.

Die im folgenden beschriebenen Anlagen können an sich in Verbindung mit allen Gleichrichterarten verwandt werden. Da aber das Gebiet größerer Leistungen vollkommen von den Quecksilberdampfgleichrichtern beherrscht wird, gelten sie praktisch nur für diese.

**168. Die Transformatoren und Zuleitungen.** Da im Gleichrichter der Strom immer nur von derjenigen Anode zur Kathode geht, die gerade die höchste Spannung hat, würde jede Anode, jede Zuleitung und jede zugehörige Transformatorwicklung nur während  $1/n$  Periode Strom führen, wenn nicht infolge von Selbstinduktion und Kapazität der einzelnen Teile eine gewisse Überlappung der einzelnen Ströme eintrete. Diese verlängert die Stromdauer auf  $1,3 \cdot 1/n$  Periode.

Diese Stromverteilung bildet die Grundlage der Berechnung der Zuleitungen und der Typengröße der Transformatoren. Das Verhältnis

$$C_i = \frac{\text{effektiver Anodenstrom}}{\text{mittlerer Gleichstrom}}$$

ist

$n =$	2	3	6	$\infty$
$C_i =$	0,785	0,587	0,409	0,000.

Das Spannungsverhältnis

$$C_e = \frac{\text{effektive Phasenspannung}}{\text{mittlere Gleichspannung}}$$

ist

$n =$	2	3	6	$\infty$
$C_e =$	1,110	0,855	0,740	0,707.

Muß der Gleichrichter die Leistung  $V_{g1} \cdot J_{g1}$  liefern, so ist jede Sekundärphase des Transformators für eine Leistung  $C_i \cdot V_{g1} \cdot J_{g1}$  zu berechnen. So ergibt sich für die gesamten Wicklungen

	$n =$	2	3	6
Leistung der Sekundärwicklung. . . . .		1,74	1,50	$1,81 \cdot V_{g1} \cdot J_{g1}$
Leistung der Primärwicklung. . . . .		1,23	1,50	$1,28 \cdot V_{g1} \cdot J_{g1}$
Typenleistung als Mittel aus Primär und Sekundär . .		1,48	1,50	$1,55 \cdot V_{g1} \cdot J_{g1}$

Wird hierzu noch der Gesamtwirkungsgrad der Anlage mit 85 bis 95% gerechnet, so folgen Typengrößen von 180 bis 160% der Gleichstromleistung.

In ähnlicher, aber beträchtlich komplizierterer Weise berechnen sich die Typengrößen für Sparschaltungen. Folgende Annahmen werden der Berechnung zugrunde gelegt:

1. An dem stets erforderlichen Nullpunkt muß die Summe der Transformatorströme gleich dem Gleichrichterstrom  $J_{g1}$  sein.
2. An den Abzweigpunkten muß die Summe aller Ströme gleich Null sein.
3. Auf jedem Transformator kern muß die Amperewindungszahl der Arbeitsströme, d. h. die Summe der Leistungen der einzelnen Spulen Null sein.

Bezeichnet

$\tilde{P}_N$  die effektive Netzspannung zwischen zwei Phasen,

$\tilde{P}_2$  die effektive Sekundärspannung zwischen je einer Sekundärklemme und dem Nullpunkte, wie sie der betreffende Gleichrichterbetrieb braucht,

$\tilde{J}_2$  den geforderten effektiven Anodenstrom, ist ferner

$\frac{\tilde{P}_N}{\tilde{P}_2} = m$  das Übersetzungsverhältnis und  $n$  die Phasenzahl,

so wird der Nulleiterstrom  $\tilde{J}_{0 \text{ eff}} = \tilde{J}_2 \sqrt{n}$ ,

der Netzstrom  $\tilde{J}_{N \text{ eff}} = \tilde{J}_2 \sqrt{2}$ .

Die Berechnung der Typengröße ist sehr umständlich. Es ergibt sich ein Minimum der Typengröße bei

$$m = 2 \text{ für Einphasenstrom mit } 0,707$$

$$m = \sqrt{3} \text{ für Dreiphasenstrom mit } 0,670$$

der Werte  $\tilde{P}_2 \cdot \tilde{J}_2$  als einzubauende Gesamtleistung der Spulen auf jeden der  $n$  Eisenkerne, also bei

$$\text{die Typengröße des ganzen Spartransformators zu } \begin{matrix} n = 2 & 3 \\ 0,615 & 0,502 \end{matrix}$$

der Gleichstromleistung  $\bar{P}_{g1} \cdot \bar{J}_{g1}$ , wenn der Wirkungsgrad zu 100% angenommen wird.

**169. Spannungsverlust<sup>1</sup>, Spannungsregelung, Spannungsteilung.** Der Spannungsverlust  $\varepsilon$  im Gleichrichtergefäß zwischen den Anoden  $A_1, A_2, A_3$  und der Kathode  $K$  ist etwa gleich 15 bis 22 V. Der Spannungsabfall hinter dem Gleichrichter nimmt aber mit steigender Last wesentlich schneller zu als am Transformator, weil während des Überganges des Stromes von einer Phase zur anderen nicht die volle Spannung für den Gleichrichter verfügbar ist.

Der Spannungsabfall läßt sich angenähert folgendermaßen berechnen:

Es sei der Ohmsche Widerstand im Transformator:  $W = 0$ . Der Spannungsverlust im Gleichrichter:  $E = \text{const}$ . Die Induktivität:  $L = \text{const}$  und in allen Zweigen gleich, ferner  $J_{g1} = \text{const}$ . Im übrigen s. Abb. 232. Dann ist während des Überganges des Stromes von einer Phase zur anderen

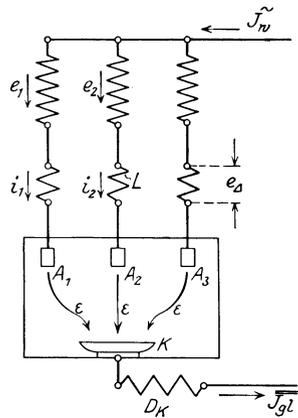


Abb. 232. Schaltskizze eines Großgleichrichters.  $D_K$  Kathodendrossel.

$$l_1 - L \frac{di_1}{dt} - E + E + L \frac{di_2}{dt} - e_2 = 0, \tag{175}$$

$$i_1 + i_2 = J_{g1} = \text{const},$$

$$di_1 = - di_2,$$

$$- L \frac{di_1}{dt} = + L \frac{di_2}{dt} = \frac{1}{2} (e_2 - e_1) = e_1. \tag{176}$$

Der zeitliche arithmetische Mittelwert von  $e_1$  wird

$$\bar{e}_1 = \int_0^{t_{\bar{u}}} \frac{e_1 \cdot dt}{T/n} = \int_0^{J_{g1}} \frac{L \cdot di_2}{T/n}, \tag{177}$$

wobei  $T$  die Dauer einer Periode =  $1/f$ ,  $t_{\bar{u}}$  die Dauer eines Überganges,  $f$  die Frequenz ist. Also ist

$$\bar{e}_1 = L \cdot \bar{J}_{g1} \cdot n \cdot f. \tag{178}$$

<sup>1</sup> Schenkel, M.: Vortragsreihe über Quecksilberdampfgleichrichter. 1923.

Der normale Spannungsabfall des Transformators wird durch die Kurzschlußspannung  $e_k$  ausgedrückt, deren Komponenten  $e_w$  und  $e_s$  seien. Dann gilt für  $\tilde{e}_s$

$$\tilde{e}_{s\text{eff}} = 2\pi f \cdot L \cdot \tilde{J}_2. \quad (179)$$

Im Gleichrichterbetrieb ist  $\tilde{J}_2 = \bar{J}_{g1} \cdot C_i$ , also

$$\bar{e}_A = \tilde{e}_s \cdot \frac{n}{2\pi C_i}. \quad (180)$$

In Prozenten von  $\bar{P}_{g1}$  ergibt sich

$$(\bar{e}_A)_{o/o} = \frac{\bar{e}_A}{\bar{P}_{g1}} \cdot 100 = \frac{\tilde{e}_s}{\bar{P}_2} \cdot 100 \frac{n C_e}{2\pi C_i} = (\tilde{e}_s)_{o/o} \frac{n C_e}{2\pi C_i}. \quad (181)$$

Wenn  $\bar{J}_{g1} = \text{const}$ , wirkt  $L$  auf den Spannungsabfall in dieser Weise nur während der Übergangszeit.

Der Ohmsche Spannungsabfall läßt sich ohne wesentlichen Fehler während der ganzen Periode zu  $\bar{J}_{g1} \cdot r$  ansetzen. In Prozenten von  $\bar{J}_{g1}$  gibt das

$$\frac{\bar{J}_{g1} \cdot r \cdot 100}{\bar{P}_{g1}} = (\tilde{e}_r)_{o/o} \frac{C_e}{C_i}. \quad (182)$$

Beide Mittelwerte sind algebraisch zu addieren, so daß sich als Gesamt-  
abfall auf der Gleichstromseite in Prozenten von  $\bar{P}_{g1}$  ergibt

$$\bar{e}_{1g1} = (\tilde{e}_r)_{o/o} \frac{C_e}{C_i} + (\tilde{e}_s)_{o/o} \frac{n}{2\pi} \frac{C_e}{C_i}. \quad (183)$$

Für

$$n = 2 \quad 3 \quad 6$$

wird

$$\frac{n}{2\pi} \frac{C_e}{C_i} = 0,45 \quad 0,70 \quad 1,73.$$

Ist nun beispielsweise  $\tilde{e}_r = 1,5\%$ ,  $\tilde{e}_s = 3,0\%$ , also  $\tilde{e}_h = 3,35\%$ , so ist bei 6-Phasengleichrichtern der Gesamtabfall 7,9%, also rund 2,5 mal so groß, als  $e_k$  angibt. Bei 3-Phasengleichrichtern ergeben sich 4,29%.

Infolge dieser Übergangsperiode sieht die Gleichspannungskurve sägezahnartig aus, während die Spannungskurve einer Transformatorphase eine Einbuchtung und eine Ausbuchtung hat. Der starke Spannungsverlust infolge der Übergangszeit setzt der Erhöhung der Phasenzahl eine Grenze.

Da der Gleichrichter den Transformator sekundär immer in einem einzigen Zweige belastet, so zeichnen sich solche Schaltungen durch geringe Streuung aus, bei denen auf jedem Transformator Kern die primären und sekundären Ampere windungen sich jederzeit genau gleich sind.

Wird der Transformator Stern-Stern geschaltet, so ist das nicht mehr der Fall, weil der Primärstrom durch alle Kerne fließen muß. Es resultiert dann ein Streufluß durch die Luft von einem Joch zum anderen, der ein schwach pulsierender Gleichfluß ist. Infolgedessen ist der zu-

sätzliche Spannungsabfall gering. Dagegen führen solche Schaltungen zu starkem Feuer beim Ausschalten, besonders wenn auf der Gleichstromseite zuerst ausgeschaltet wird.

**170. Zusätzlicher Spannungsabfall<sup>1</sup>.** Da der Gleichrichter den Transformator sekundär immer nur in einem einzigen Zweige belastet, haben diejenigen Schaltungen die geringste Streuung, bei denen auf jedem Transformator kern die primären und sekundären Ampere windungen jederzeit gleich sind. Das sind die Schaltungen Primär-Ring/Sekundär-Stern oder Primär-Stern/Sekundär-Zickzack. Dabei bedeutet Ring-schaltung bei Einphasenstrom die Parallelschaltung der Wickelungen der beiden Kerne, bei Drehstrom die Dreieckschaltung, bei  $n$ -Phasen-schaltung die Schaltung des  $n$ -seitigen Polygons.

Bei der Stern/Stern-Schaltung fließt der primäre Strom um alle Transformatorkerne, so daß für jeden Kern eine resultierende gleichgerichtete Ampere windungszahl vom Betrage  $1/n \times$  sekundäre Windungszahl übrig bleibt. Sie erzeugt einen durch alle Kerne in gleicher Richtung gehenden Fluß, der zu einem der Joche austritt und sich durch die Luft zum andern Joch hin schließt. Dadurch entsteht nur ein geringer zusätzlicher Spannungsabfall, so daß in kleineren Anlagen die Stern/Stern-Schaltung oft angewendet wird.

Die Nachteile dieser Schaltung bestehen in dem starken Magnetfelde in der Umgebung der Transformatoren und in der großen im Felde aufgespeicherten Energie, die beim Ausschalten zu starkem Feuer und zu hohen Überspannungen führt.

Groß ist der zusätzliche Spannungsabfall bei der Schaltung

Primär	3	Phasen	im	Stern,
Sekundär	6	„	„	„

wie sie bei Großgleichrichtern angewendet wird. In diesem Falle ist der zusätzliche Magnetfluß ein Wechselfluß, der zur Vergrößerung der Streuung der Sekundärwicklung sehr viel beiträgt. Dadurch ergibt sich ein großer Spannungsabfall hinter dem Gleichrichter, der besonders bei schwacher Belastung zutage tritt.

Auch hier führt das Ausschalten zu starkem Feuer, besonders wenn die Gleichstromseite zuerst ausgeschaltet wird.

**171. Die Saugdrossel.** Zum Verständnis der Wirkungsweise der von der Firma Brown, Boveri & Cie ausgebildeten Saugdrossel führt folgende Überlegung: Nach Abb. 233 weicht die Anodenstromkurve von einer Sinuskurve stark ab, und zwar läßt sich der wesentliche Teil dieser in Abb. 233 schraffierten Abweichung gemäß Abb. 234 als überlagerte dritte Oberschwingung darstellen. Diese nutzlose dritte Harmonische führt zu größeren Typen und größeren Verlusten. Durch die Saugdrossel wird sie beseitigt. Abb. 235 gibt die dazu erforderliche Schaltung. Das sekundäre Sechphasensystem des Gleichrichtertransformators ist in zwei — Dreiphasen- — Systeme aufgelöst, die um  $180^\circ$  gegeneinander verschoben sind. Der Sechphasengleichrichter

<sup>1</sup> Schenkel, M.: Vortragsreihe über Quecksilberdampfgleichrichter. 1923.

ist dadurch in zwei parallel arbeitende Dreiphasengleichrichter zerlegt. Zwischen die beiden Nullpunkte der beiden Dreiphasensysteme ist die Wicklung eines normalen Einphasentransformators geschaltet. Ihre Mitte bildet den negativen Pol des Gleichstromnetzes. Dieser Transformator heißt Saugdrossel. Er wirkt so: Der Gleichstrom des Netzes

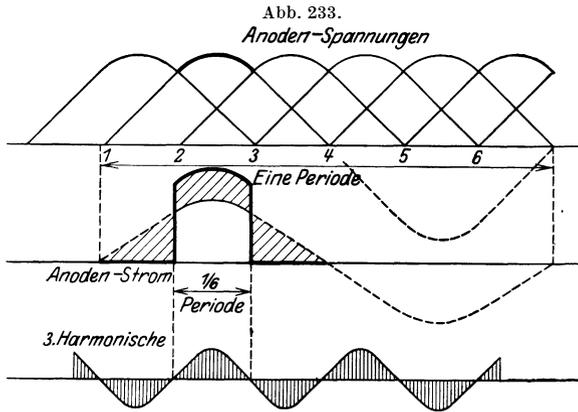


Abb. 233.

Anoden-Spannungen

Abb. 234.

Abb. 233. Abweichung des Anodenstromes eines Sechsphasengleichrichters von der Sinusform.

Abb. 234. Darstellung der Abweichung der Abb. 227 durch die direkte harmonische Oberschwingung.

wird von jedem Dreiphasensystem zur Hälfte geliefert. Die magnetischen Wirkungen der beiden Gleichströme auf den Eisenkern der Saugdrossel heben sich auf. Dagegen vereinigen sich die dritten Harmonischen der drei Phasen in ihrem Nullpunkt und treten gemeinsam aus diesem aus. Da nun die beiden Dreiphasenwicklungen um  $180^\circ$  gegeneinander

verschoben sind, haben die dritten Harmonischen in beiden Systemen entgegengesetzte Richtungen. Also werden sie durch die Saugdrossel abgedrosselt.

Die Folgen dieses Verfahrens werden

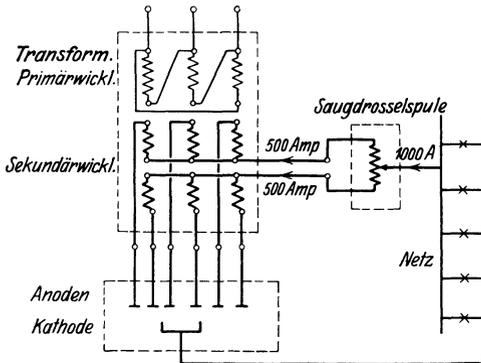


Abb. 235. Saugdrosselschaltung.

durch die Abb. 236 veranschaulicht. Jede Anode liefert jetzt eine Drittelperiode lang Strom von der in Abb. 236 ausgezogenen Form. Diese unterscheidet sich von der reinen Sinuswelle im wesentlichen nur noch um eine geringfügige fünfte Oberschwingung, die die Anodenstromverluste nur noch um 5%, statt um 20% ohne Saugdrossel vergrößert.

Es werden also nicht nur der Transformator und die Verbindungen und Apparate zwischen Transformator und Gleichrichter, sondern auch die Spannungsabfälle wesentlich kleiner. Letztere sinken von 10% auf 4%, so daß es in vielen Fällen möglich ist, ohne Spannungsreguliervorrichtung auszukommen.

Für den Gleichrichter selbst bietet die Saugdrossel den Vorteil,

daß die maximale Stromdichte an den Anoden nur halb so groß wird, wodurch die Betriebssicherheit und die Überlastungsfähigkeit steigen,

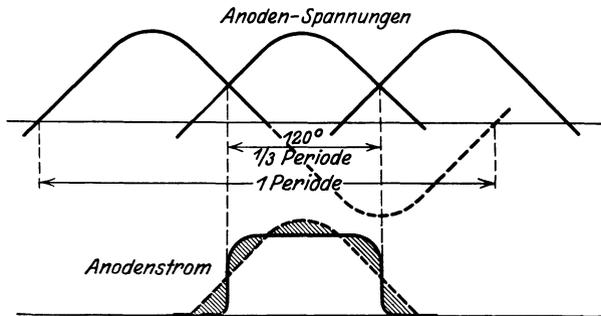


Abb. 236. Verbesserung der Kurvenform durch die Saugdrosselschaltung.

**172. Die Schaltungen der Gleichrichteranlagen.** Abb. 237 zeigt eine Schaltung, die die Vorzüge der Sechsfasenschaltung mit zwei Dreiphasengleichrichtern zu erreichen gestattet.

Abb. 237 bis 241 enthalten einige einfachere Schaltungen für Anlagen geringerer und mittlerer Größe, Abb. 242 den äußeren Aufbau einer derartigen Anlage.

Abb. 243 endlich die normale Schaltung einer Großgleichrichteranlage der Firma Bergmann.

Die Spannung geht von den Drehstromsammelschienen *DSS* über den Trennschalter *TS*, den Ölschalter *OS* und die Schutzdrosselpulen *SD* zum Transformator *T*. Der Ölschalter hat Überstrom- und Nullspannungsauslösung. Der Transformator ist primär in Stern, sekundär sechsfasig in Dreieck geschaltet. Von den Sekundärklemmen werden die Leitungen direkt zu den Anoden des Gleichrichters *G* geführt, wenn die Gleichspannung weniger als 650 V beträgt. Bei höheren Spannungen liegt vor den Anoden ein sechspoliger Ölausschalter mit Überstromauslösung.

Der Anschluß an die Gleichstromsammelschienen erfolgt bei Spannungen unter 650 V über einen doppelpoligen Höchst- und Rückstromschalter *GA* und einen doppelpoligen Trennschalter *TS*.

Der Erregertransformator *ET* dient gleichzeitig zur Zündung. Der Motor der Luftpumpe *LP* und der Heiztransformator *HT* für die Hochvakuumpumpe *DP* werden über Hebelschalter *HS* und Sicherungen *Si* an

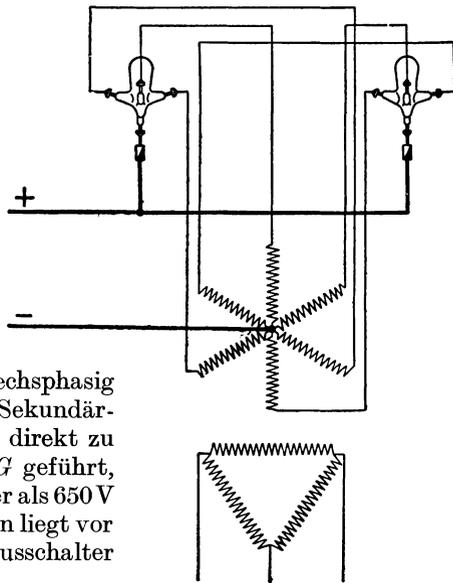


Abb. 237. Zwei Dreiphasengleichrichter in Sechsfasenschaltung.

ein Drehstromnetz niedriger Spannung (Beleuchtungsnetz) angeschlossen. Fehlt ein solches, so wird ein Stationstransformator *StT* vorgesehen.

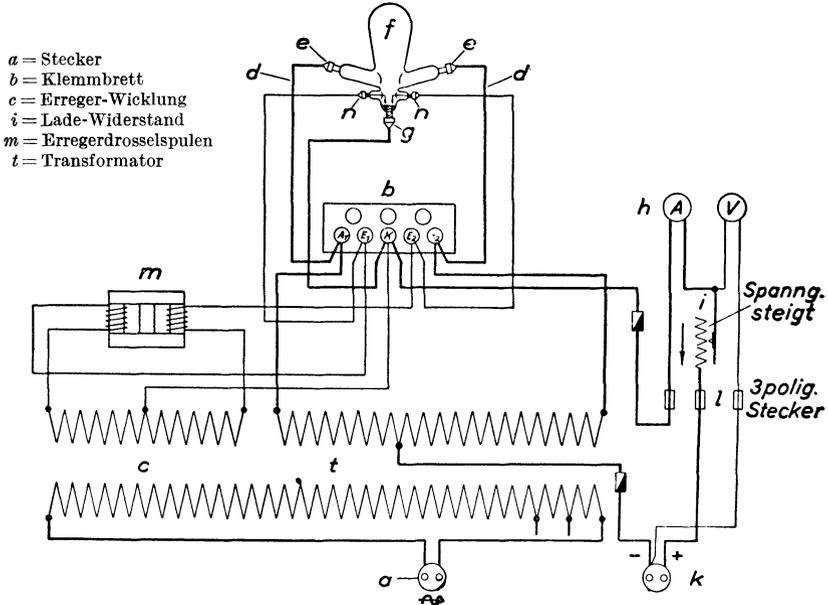


Abb. 238. Einfaches Schaltschema eines kleineren Einphasenladegleichrichters für 5—10 Amp.

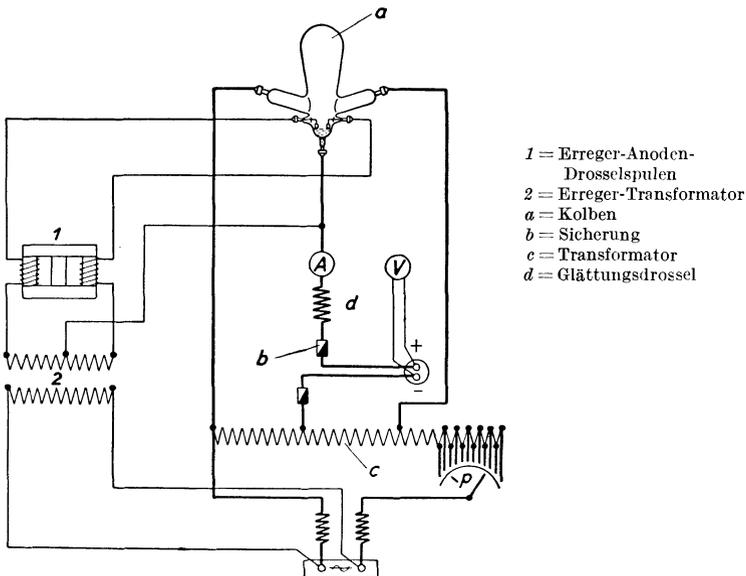


Abb. 239. Schaltschema eines Einphasengleichrichters für 20—60 Amp. mit Stufenregulierung.

Alle Schaltapparate können von der Schalttafel des Gleichrichters bedient werden.

Die Parallelschaltung der Gleichrichter ist nur dann mit Sicherheit möglich, wenn dem Gleichrichter Anodendrosseln vorgeschaltet werden,

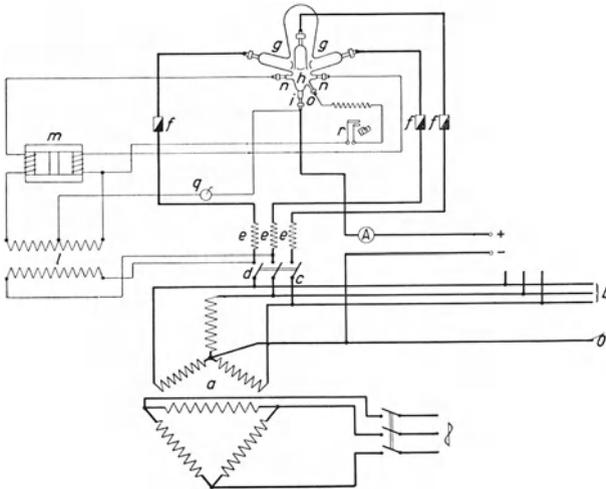


Abb. 240. Schaltschema einer Ladestation mit Glasgleichrichter für 40 bis 60 Amp. *a* Haupttransformator, *b* gemeinsames Drehstromnetz, *e* Primärdrösselspule, *l* Erregertransformator *o* gemeinsamer Nulleiter, *r* Zündkontakt.

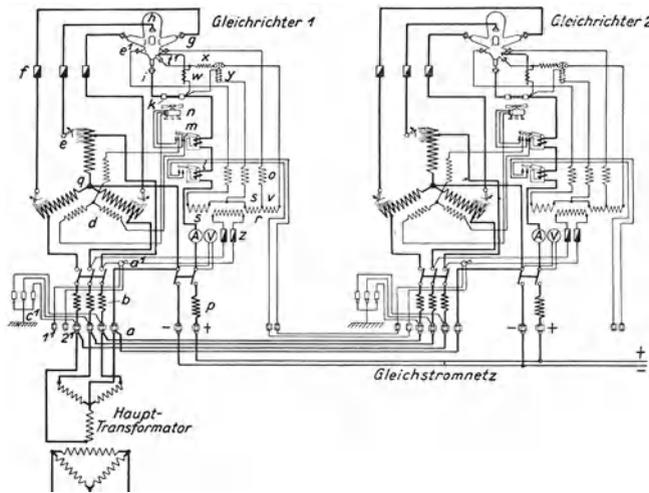


Abb. 241. Schaltschema für Parallelschaltung zweier Glasgleichrichter für je 250 Amp. *A* Amperemeter, *a* Kabelanschluß, *b* Primärspulen, *c* Blitzschutz, *d* Reguliertransformator, *e* Regulierschalter, *e*<sub>1</sub> Erregeranoden, *f* Anodensicherungen, *g* Anodenanschlüsse, *h* Gleichrichterkolben, *i* Kathode, *k* Gleichstromsicherung, *l* Maximalrelais, *m* Motorrelais, *n* Ventilator, *o* Erregerdrösselspule, *p* Gleichstromdrösselspule, *q* Nullpunkt des Transformators, *r* Erregertransformator, *s* Hilfs-erregungswicklungen, *v* Zündwicklung, *w* Kippspule, *x* Hilfsanodenwiderstand, *y* Unterbrecherrelais, *z* Erregersicherungen.

die den Spannungsabfall des Gleichrichters zwischen Leerlauf und Voll- last von 6 bis 8 auf 10 bis 12% steigern. Infolgedessen ist zu prüfen, ob

es nicht wirtschaftlicher ist, jeden Gleichrichter mit eigenem Transformator zu versehen und die Anodendrosseln wegzulassen. Noch rationeller ist es natürlich, den Gleichrichter so groß zu machen, daß er allein den gesamten Strombedarf deckt.

Gleichrichter, die an einen eigenen Transformator angeschlossen sind, arbeiten auch ohne weiteres mit Maschinen parallel, die einen Spannungsabfall von 6 bis 8% zwischen Leerlauf und Vollast haben, mit kompondierten Maschinen dagegen nur dann, wenn eine automatische Spannungsregulierung eingebaut wird, die jedoch bei sehr schnellen Stromstößen auch nicht sicher wirkt.

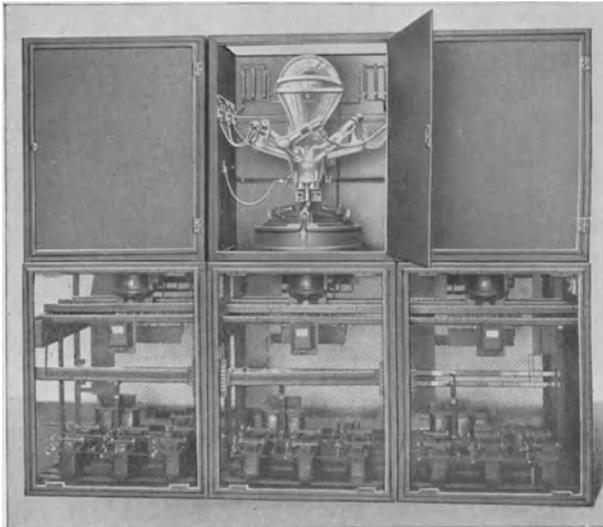


Abb. 242. Glasgleichrichteranlage der SSW für 750 Amp., 440 V<sup>1</sup>.

**173. Sicherheitsapparate.** Die beiden durch Sicherheitsapparate möglichst unschädlich zu machenden Gefahrquellen beim Gleichrichter sind die Rückzündung und das plötzliche Erlöschen.

Die Rückzündung führt zu um so schwereren Störungen, je größer der Gleichrichter ist, der von ihr betroffen wird. Wirkt sie doch wie ein vollständiger Kurzschluß. Es werden deshalb in den Fällen, in denen man der Rückzündung noch nicht vollständig Herr geworden zu sein glaubt, Schnellschalter und Schnellsicherungen eingebaut, die wirken, ehe der Kurzschlußstrom Zeit hat, gefährliche Beträge zu erreichen. Das bietet den weiteren Vorteil, daß in der Regel der Gleichrichter betriebsfähig bleibt, während in einem von einer voll ausgebildeten Rückzündung betroffenen Gleichrichter vielfach solche Gasmengen frei

<sup>1</sup> Von den SSW zur Verfügung gestellt.

werden, daß der Gleichrichter erst einige Zeit evakuiert werden muß, ehe man es wagen kann, ihn wieder einzuschalten.

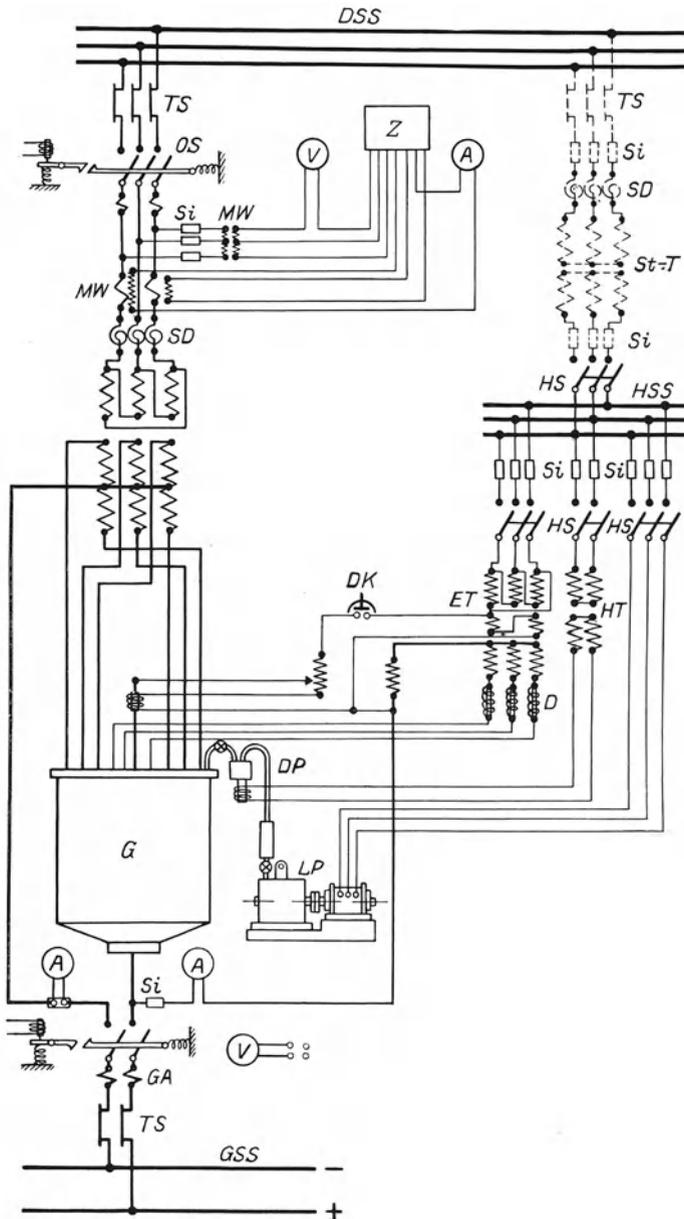


Abb. 243. Schaltplan eines Großgleichrichters der Firma Bergmann.  
*A* Amperemeter, *D* Drosselspulen, *GSS* Gleichstromsammelschienen, *HSS* Hauptsammelschienen, *MW* Meßwandler, *OS* Ölwechsler, *SD* Parallelschaltungsdrosselspulen, *V* Voltmeter, *Z* Zähler.

Der Quecksilberlichtbogen des Gleichrichters ist an die hohe Temperatur des Kathodenfleckes geknüpft.

Immer rechtzeitig die nötige Temperatur an der jeweiligen Stelle des schnell umherirrenden Fleckes herzustellen, wird den Kationen um so schwerer

a) je geringer die Stromstärke ist,

b) je schneller sich der Fleck im Augenblick gerade fortbewegt.

Es ist also möglich, daß ein Lichtbogen bei einer geringen Stromstärke eine oder einige Minuten brennt, um dann plötzlich bei einer besonders schnellen Fleckbewegung zu erlöschen. Ferner wird die Konzentration der Kationen auf einen Fleck um so mehr erschwert, je geringer der Gasdruck ist, denn um so größer wird die freie Weglänge der Kationen und um so weiter streuen sie nach allen Seiten, anstatt sich durch das elektrische Feld auf einen Fleck konzentrieren zu lassen.

In einem von Fremdgasen freien Gleichrichterkolben, in dem sich ausschließlich Quecksilberdampf befindet, nimmt der Dampfdruck sehr schnell mit der Temperatur ab. Also erlischt der Lichtbogen in einem solchen Gleichrichter bei um so höheren Stromstärken, je kälter der Gleichrichter ist.

Der Ausschaltvorgang vollzieht sich so schnell, daß die an der Induktivität entstehende hohe Ausschaltspannung bereits einen nicht mehr brennenden Lichtbogen vorfindet.

Ebenso haben beim Betrieb der Gleichrichter mit Wechselstrom die in dem Transformator und den Drosselspulen vorhandenen, verhältnismäßig großen elektromagnetischen Energiemengen infolge der außerordentlichen Schnelligkeit der Stromunterbrechung keine Möglichkeit, sich auch nur zu einem geringen Teil auszugleichen, während der Gleichrichter erlischt.

Beim Ausgleich finden sie bereits einen außer Betrieb befindlichen Gleichrichter vor, so daß es nun darauf ankommt, welches die schwächste Stelle der ganzen Anlage ist. Hatte der Gleichrichter schon einige Zeit mit einiger Belastung gearbeitet und infolgedessen einen merklichen Dampfdruck, so ist er selbst die schwächste Stelle. Der Ausgleich findet unschädlich und unbemerkt durch ihn hindurch statt.

Befindet er sich jedoch in einem kalten Raume, so kann sein Durchschlagswiderstand, wenn sich das Erlöschen kurz nach dem Einschalten ereignet, so groß sein, daß die Überspannungen andere Stellen der Anlage zerstörend durchschlagen.

Um das zu vermeiden, überbrückt man den Gleichrichter durch Silitwiderstände. Diese haben die wertvolle Eigenschaft, ihren bei geringen Spannungen hohen Widerstand beim Auftreffen hoher Spannungen momentan auf geringe Werte sinken zu lassen und ihn nach Verschwinden der Hochspannung ebenso momentan wieder auf den vollen Betrag zu bringen. Da aber die Überspannungen sich als Wanderwellen sehr steiler Front ausbreiten, sind die Silitwiderstände nur dann wirksam, wenn bei ihrem Einbau Krümmungen in der Leitungsführung sorgfältig vermieden werden.

**174. Strom- und Spannungsaufnahmen an Gleichrichtern.** Die folgenden Oszillogramme, Abb. 244 bis 250, sind von Idelberger und Schenkel<sup>1</sup> an einer Großgleichrichteranlage für Bahnbetrieb aufgenommen und mehr oder weniger für alle Gleichrichteranlagen typisch.

Abb. 244 zeigt die Spannung (rund 600 V) der Gleichrichteranlage bei Belastung mit einem Voltmeter, d. h. bei Leerlauf. Die durch die 6 Phasen gebildeten Wellen heben sich scharf ab. In Abb. 245 ist der Gleichrichter mit ca.

85% der Vollast durch einen induktionsfreien Widerstand belastet. Die Kurven unterscheiden sich von denen der Abb. 244 durch die Einfügung einer wagerechten Strecke. Diese wagerechten Strecken geben durch ihre Länge die Zeit an, die der Strom braucht, um von einer Anode zur nächsten überzugehen. Sie ist der sichtbare Ausdruck der in Ziffer 105 beschriebenen Kräfte, die den mit der Belastung steigenden Spannungsabfall des Gleichrichters hervorrufen.

Abb. 246 enthält in der einen Kurve den Strom einer einzelnen Anode und läßt deutlich erkennen, daß der Strom eine gewisse Zeit sowohl zum Anwachsen wie zum Abklingen braucht. Ferner enthält Abb. 246 die Spannung zwischen der Anode, deren Strom aufgenommen wurde, und dem Nullpunkt des Transformators. Auch diese Kurve zeigt deutlich den Stromübergangsvorgang; nämlich beim Anstieg des Stromes eine Einstülpung, beim Absinken eine Ausbauchung, beides eine Wirkung der den Übergang verzögernden Transformatorstreuung.

Abb. 247 zeigt Strom und Spannung auf der Hochspannungsseite des primär in Dreieck, sekundär in 6-Phasen-Stern geschalteten Transformators im Falle der Abb. 245. Die zugeführte Spannung ist nahezu sinusförmig. In der Stromkurve bilden sich die Wellen der Abb. 245

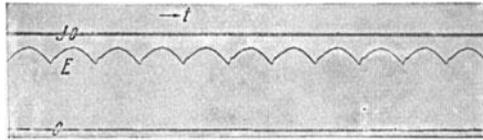


Abb. 244. Gleichspannung  $E$  (600 V) eines Großgleichrichters bei Leerlauf.

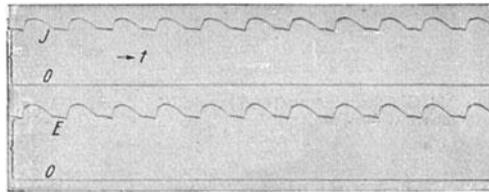


Abb. 245. Gleichspannung  $E$  (560 V) und Gleichstrom  $J$  (295 Amp.) eines induktionslos belasteten Großgleichrichters.

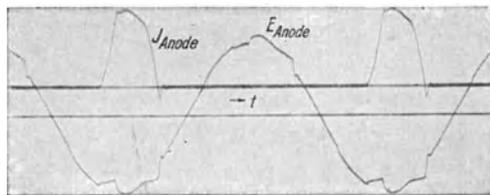


Abb. 246. Anodenspannung (454 V<sub>eff</sub>) und Anodenstrom (135 Amp<sub>eff</sub>) eines induktionslos belasteten Großgleichrichters.

<sup>1</sup> Idelberger, H. und M. Schenkel: Siemens Z. Bd. 2, S. 271. 1922.

genau ab. Die eine Stromkuppe ist etwas höher als die andere, weil bei der einen der Magnetisierungsstrom des Transformators gleichsinnig, bei der anderen gegensinnig wirkt.

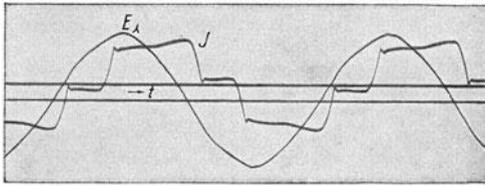


Abb. 247. Primärspannung (5700 Volt) und Primärstrom (12,5 Amp.) einer auf ein Straßenbahnnetz geschalteten Großgleichrichteranlage.

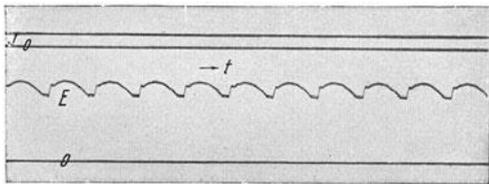


Abb. 248. Gleichspannung (600 V) und Gleichstrom (60 Amp.) eines auf ein Straßenbahnnetz geschalteten Großgleichrichters.

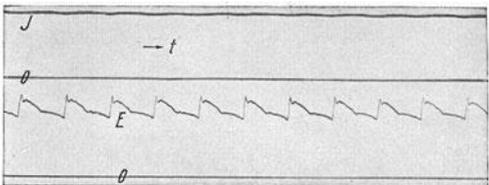


Abb. 249. Gleichspannung (550 V) und Gleichstrom (460 Amp.) eines auf ein Straßenbahnnetz geschalteten Großgleichrichters.

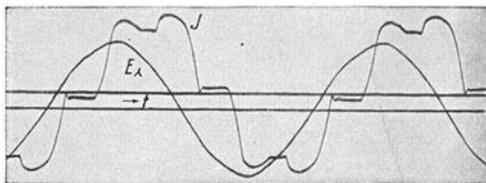


Abb. 250. Primärspannung (5700 Volt) und Primärstrom (23,3 Amp.) einer induktionslos belasteten Großgleichrichteranlage.

Die Abb. 248 bis 250 zeigen die gleichen Oszillogramme wie die Abb. 245 und 247 bei Belastung des Gleichrichters durch eine Straßenbahnanlage. Die Straßenbahnmotoren besitzen eine so große Induktivität, daß die Wellen der Spannung im Strom fast vollkommen fehlen. Infolgedessen sind auch auf der Hochspannungsseite in Abb. 250 die Kuppen durch fast gerade Strecken ersetzt.

Die entgegengesetzten Verhältnisse liegen offenbar bei Ladung einer Akkumulatorenbatterie vor. Die konstante Gegenspannung der Batterie läßt die Gleichrichterspannung nur in dem geringen Maße schwanken, in dem die jetzt großen Stromschwankungen in dem sehr geringen inneren Widerstand der Batterie Spannungsschwankungen hervorrufen.

**175. Leistungsfaktor.** In der normalen, mit Sinusströmen rechnenden Elektrotechnik mißt man den Strom  $i$  und die Spannung  $e$  mit Apparaten, die Effektivwerte angeben, sowie die Leistung  $L$  mit einem Wattmeter. Dann ist  $\frac{L}{e \cdot i} = \cos \varphi$ .

Der Leistungsfaktor ist gleich dem Cosinus der Phasenverschiebung. Diese Darstellungsweise verliert ihren Sinn, wenn die Ströme und Spannungen so weit von der Sinusform abweichen, wie es bei Gleichrichtern nach Abb. 244 bis 250 der Fall ist. Führt man bei derartigen

Kurvenformen die Messungen durch, so ergeben sich unter Umständen Werte, die beträchtlich kleiner als 1 sind, ohne daß irgendeine Phasenverschiebung besteht.

Die Leistungsfaktoren der Gleichrichteranlagen liegen zwischen 0,7 bei den kleinsten Anlagen (6 Amp., 30 V) und 0,95 bei den größten.

Für die Bemessung der Leitungen und Generatoren ist es gleichgültig, ob der Leistungsfaktor durch Phasenverschiebung oder Verzerrung der Stromkurve bedingt ist. Wesentlich ist der Unterschied dagegen beim Parallelarbeiten von Gleichrichtern mit anderen Verbrauchsgaräten, deren Leistungsfaktor durch eine Phasenverschiebung bedingt ist. In diesem Falle ergibt sich nämlich nach Rechnungen von Krijger<sup>1</sup>, die durch Messungen bestätigt werden, daß der Gesamtleistungsfaktor nicht unbeträchtlich größer ist als das Mittel der einzelnen Leistungsfaktoren. Die Verbesserung ist am größten, wenn die Stromstärken beider Kreise einander gleich sind, die Phasenverschiebung im induktiven Kreis groß ist, und die Gleichrichter sowohl Anoden als auch Kathodendrosseln besitzen.

**176. Wirkungsgrad.** Die Verluste der Gleichrichteranlagen setzen sich zusammen a) bei den Glasgleichrichteranlagen aus

1. dem Spannungsverlust im Gleichrichtergefäß,
2. dem Energieverbrauch der Hilfserrugung,
3. dem Energieverbrauch des Kühlventilators,
4. den Verlusten im Transformator, den Verbindungsleitungen, Meßinstrumenten usw.

b) Bei den Großgleichrichtern aus

1. dem Spannungsverlust im Gleichrichtergefäß,
2. dem Energieverbrauch der Hilfserrugung (vielfach nicht vorhanden),
3. dem Energieverbrauch der Pumpe (vielfach in 2 enthalten),
4. dem Energieverbrauch der rotierenden Hochvakuumpumpe,
5. den Verlusten im Transformator und den Verbindungsleitungen.

Bei den Großgleichrichtern kommen praktisch nur 1 und 5 in Frage.

Da der Spannungsverlust im Gleichrichter nahezu konstant ist, steigt der Wirkungsgrad mit der gleichgerichteten Spannung. Die in nachstehender Tabelle 31 angegebenen Werte für den Gesamtwirkungsgrad werden beispielsweise von der Firma Bergmann für eine Großgleichrichteranlage und von den SSW für eine Glasgleichrichteranlage angegeben.

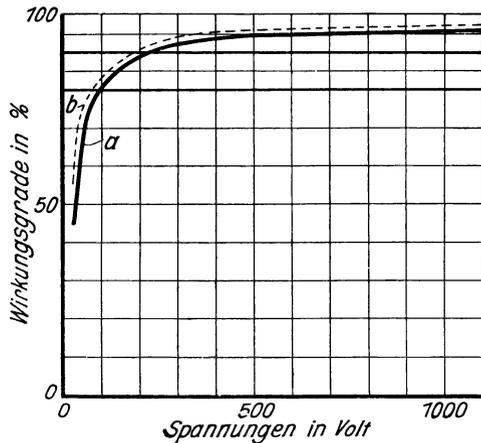
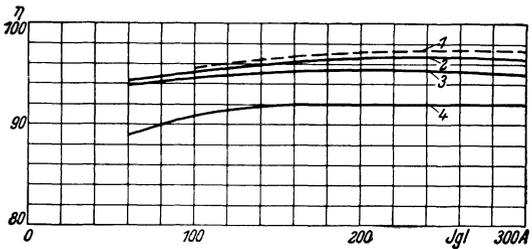
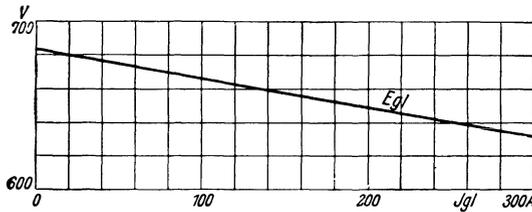


Abb. 251. Abhängigkeit des Wirkungsgrades eines Glasgleichrichters von der Spannung. a Gesamte Anlage, b Gefäß allein.

<sup>1</sup> Krijger, L. P.: ETZ Bd. 44, S. 286. 1923.

Tabelle 31.

Bergmann		SSW		mit Spiel %
Gleichgerichtete Spannung Volt	Wirkungsgrad %	Gleichgerichtete Spannung Volt	Wirkungsgrad %	
115	80	60	75	5
230	88	115	78	3
470	92	230	85	2
620	93	470	90	2
850	94,5	550	91	2
1250	95,5			
1650	96,0			



- 1 η Transformator aus Verlusten gerechnet.
- 2 η Transformator } aus Leistungsmessung gerechnet.
- 3 η Gleichrichter }
- 4 η Gesamt }

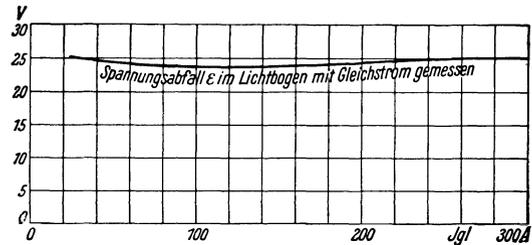
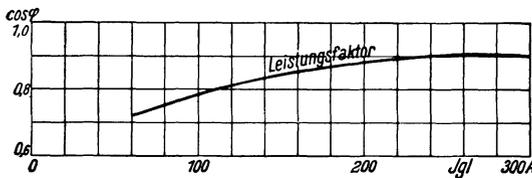


Abb. 252. Kennlinien eines Großgleichrichters bei 600 V Gleichstrom.

Je nach der Schaltung unterliegen diese Wirkungsgrade leichten Schwankungen. In Abb. 251 sind die Zahlen der SSW veranschaulicht.

Als Beispiel für die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Belastung diene Abb. 252, die von Idelberger und Schenkel<sup>1</sup> an einer Großgleichrichteranlage für Bahnbetrieb für 350 Amp., 600 V, 210 kW aufgenommen worden ist. Der Wirkungsgrad für Vollast bei 600 V beträgt demnach in guter Übereinstimmung mit Tabelle 31 92%.

### 177. Der Betrieb einer Großgleichrichteranlage.

Vor dem Einschalten des Gleichrichters wird das Volumen kontrolliert und die Wasserkühlung in Gang gesetzt. Dann wird der Haupttransformator, der Erregertransformator, der Anodenschalter eingeschaltet und endlich der Gleichrichter durch einen Druck auf den Zündknopf gezündet. In der ersten Zeit nach der Aufstellung eines neuen

<sup>1</sup> Idelberger, H. und M. Schenkel: Siemens Z. Bd. 2, S. 271. 1922.

Gleichrichters oder nach einer Öffnung muß das Vakuum häufiger kontrolliert werden. Sobald es schlechter als 0,03 mm Hg wird, müssen die Pumpen eingeschaltet werden. Später brauchen die Pumpen nur etwa einmal in der Woche zu laufen, und die Überwachung braucht sich dann nicht nur noch auf die Wasserkühlung zu erstrecken.

Ist eine Gleichrichterreserve vorhanden, so empfiehlt es sich, mit den Gleichrichtern regelmäßig zu wechseln, da langes unbenutztes Stehen nicht gut für sie ist.

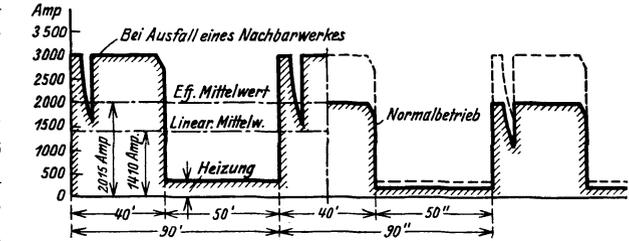


Abb. 253. Kurzzeitiges Spitzenbelastungsdiagramm eines Stadtbahn-Gleichrichters.

178. Die Gleichrichteranlagen für die Stromversorgung der Berliner Stadt- und Ringbahn. Das gesamte Berliner Bahnnetz hat eine Streckenlänge von 506 km (1928). Die elektrische Zugförderung wird mit Triebwagenzügen unter Verwendung von Gleichstrom von 800 V durchgeführt. Der Strom wird durch Stromschieneen zugeführt, die neben den Geleisen liegen und von den Stromabnehmern der Triebwagen bestrichen werden.

Statt der bisher für solche Anlagen üblichen rotierenden Umformer werden Gleichrichter gewählt, weil die mit ihnen leicht durchführbare Dezentralisierung der Umformung große Betriebssicherheit mit Wirtschaftlichkeit verbindet.

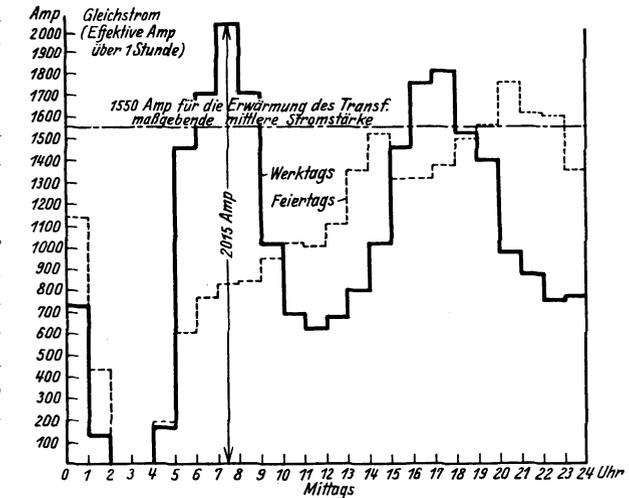


Abb. 254. Tagesbelastungsdiagramm einer Stadtbahn-Gleichrichtergruppe.

Die Belastung der Gleichrichter ist durch den Leistungsbedarf der Triebwagenzüge bedingt, der aus dem Belastungsdiagramm Abb. 253 ersichtlich ist. Hiernach müssen die Gleichrichter imstande sein, 3000 Amp. 40 sec lang und 300 Amp. 50 sec lang in dauernder Wiederholung zu liefern.

Die Transformatoren wurden auf Grund des Tagesbelastungsdiagrammes der Abb. 254 berechnet. Da die Wärmekapazität der Transformatoren groß ist, ist es möglich, ihn während der Belastungsspitzen am Vormittag und Nachmittag zu überlasten.

Die Umformerwerke sind für die höchste vorkommende Verkehrsspitze ausgebaut, haben zu Zeiten schwachen Verkehrs einen guten

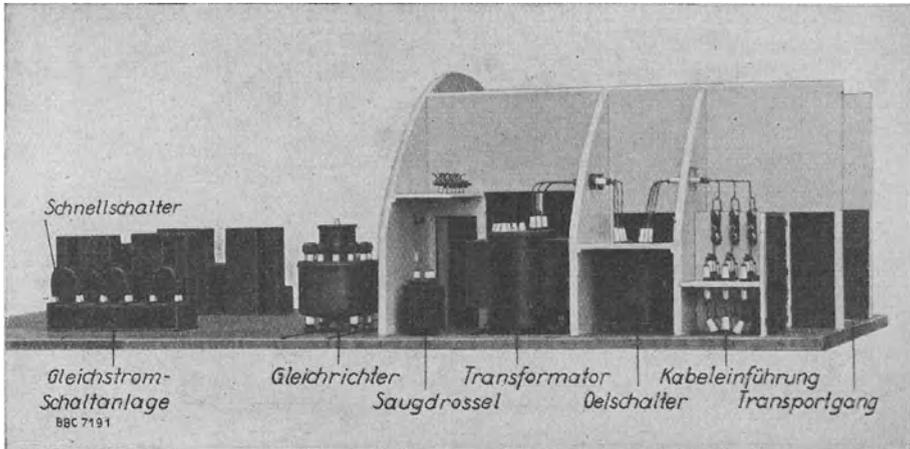


Abb. 255. Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen. Modell eines Gleichrichterwerkes im Stadtbahnbogen (Längsschnitt).

Wirkungsgrad und arbeiten bedingungslos. Jede Station wird mit einem Gleichrichterwerk ausgerüstet, so daß die Speisung an derjenigen

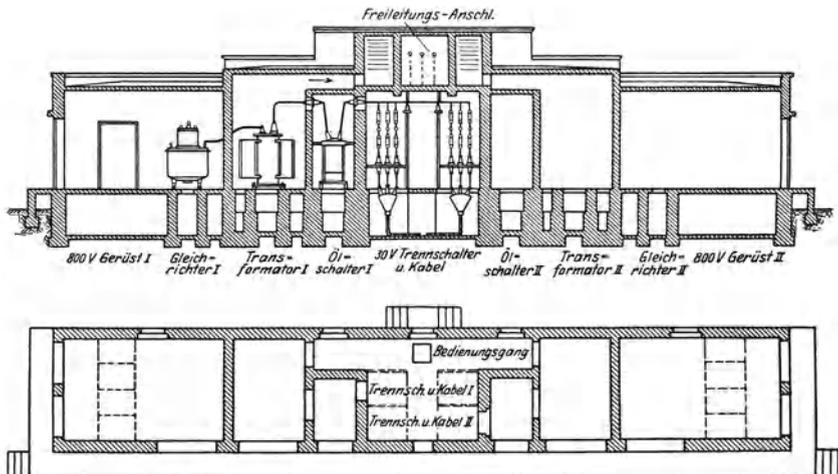


Abb. 256. Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen. Bedienungsloses Gleichrichterwerk.

Stelle erfolgt, wo die Leistungsaufnahme bei Anfahren der Züge am größten ist.

Infolge des geringen Raumbedarfes der Anlagen war es möglich, einen großen Teil davon ohne wesentliche bauliche Veränderungen in den vorhandenen Stadtbahnbögen unterzubringen. Abb. 255 zeigt ein

Modell eines derartigen Gleichrichterwerkes von Brown, Boveri & Cie. in einem Stadtbahnbogen. Abb. 256 gibt Grund- und Aufriß eines bedienungslosen Gleichrichterwerkes, Abb. 257 die Schaltung. Jede Gleichrichtereinheit besteht aus: Hochspannungsschaltanlage, Gleichrichtertransformator mit Saugdrosselspule und Selektivtransformator, Gleichrichtergefäß mit angebautem Pumpenaggregat und Gleichstromschaltanlage.

Jeder Gleichrichter arbeitet unabhängig vom andern auf die Stromschiene eines Geleises. Die Stromschienen der Hin- und Rückfahrgeleise sind elektrisch voneinander getrennt, so daß bei Störungen der Betrieb in der anderen Fahrtrichtung unbeeinflußt bleibt.

An jedem zweiten Gleichrichterwerk sind die Stromschienen aufgetrennt, und zwar derart, daß die Trennstellen der beiden Fahrrichtungen um eine Stationsentfernung gegeneinander versetzt sind. Im

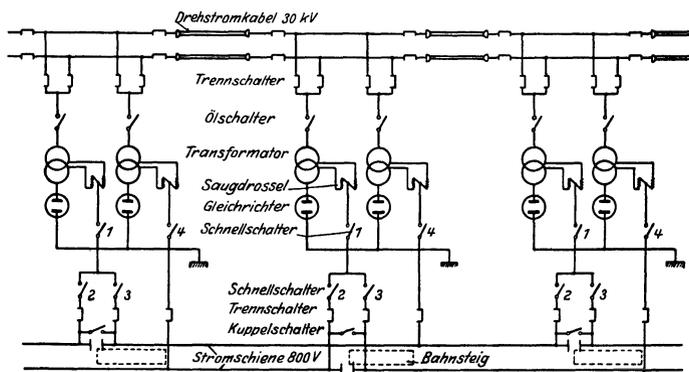


Abb. 257. Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahnen. Grundsätzliche Schaltung der Gleichrichterwerke.

normalen Betriebe sind diese Trennstellen durch Schnellschalter überbrückt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß trotz der Unterteilung der Stromschienen mehrere Gleichrichter parallel arbeiten können.

Zur selektiven Abschaltung der Gleichrichter bei Kurzschlüssen werden in jedem Unterwerk drei verschiedene Arten von Schnellschaltern verwendet. Schalter 1, 2 und 3 der Abb. 258 sind polarisiert und sprechen nur entweder auf Rückwärts oder auf Vorwärtsstrom an, während Schalter 4 nicht polarisiert ist und auf beide anspricht. Die Strom- und Fahrschienen bilden eine so große Dämpfung, daß nur die der Kurzschlußstelle zunächst liegenden Gleichrichter abgeschaltet werden.

Der Hochspannungsölschalter hat sowohl eine normale Zeitauslösung als auch eine Momentauslösung, um einerseits bei Kurzschlüssen auf der Gleichstromseite ein Herausfallen des Ölschalters zu vermeiden, ihn andererseits bei Rückzündungen momentan abschalten zu können.

Die Fernsteuerung der bedienungslosen Gleichrichterwerke wird von den als Kommandostationen eingerichteten Gleichrichterwerken Halensee, Markgrafendamm, Ebersstraße und Böttgerstraße ausgeführt.

In diesen Werken finden sich auch größere Gleichrichteranlagen, von denen Abb. 258 ein Bild gibt.

Die Energie erhalten die Werke in Form von Drehstrom von 30000 V bei 50 Per/sec aus den Großkraftwerken Klingenberg und Trattendorf. Für die Energieübergabe sind in Halensee und Markgrafendamm besondere Schalt- und Verteilungsstationen errichtet.



Abb. 258. Gleichrichterwerk Halensee mit BBC-Gleichrichtern.

Die Anlage wird nach ihrer Fertigstellung auf längere Zeit hin die größte und modernste der Welt sein.

#### IV. Verwendung der Ventile zu Meßzwecken.

**179. Allgemeine Anforderungen an die Ventile.** Da es unmittelbare Wechselstromnormale nicht gibt, muß die Eichung jedes Wechselstrominstrumentes auf die Gleichstromnormale, das Normalelement und den Normalwiderstand, zurückgeführt werden. Außerdem ist die Messung von Gleichstrom, besonders wenn es sich um die Messung sehr geringer Ströme handelt, viel bequemer und einfacher als die von Wechselstrom. Es liegt infolgedessen nahe, den Wechselstrom vor der Messung gleichzurichten. Es muß jedoch der für diesen Zweck verwendete Gleichrichter die Bedingung erfüllen, daß gleichgerichteter Strom und zugeführter Wechselstrom zugleich Null werden und durch eine stetige Funktion verknüpft sind.

Diese Verwendung der Ventile steckt noch in den Anfängen, wenn auch in den letzten Jahren bereits große Fortschritte gemacht worden sind. Besonders geeignet sind das Thermoventil, das zwar nicht zu den echten Ventilen gehört, die Detektoren, insbesondere in der Form als Trockenplattengleichrichter, und endlich die Vakuumglühventile. Doch sind für besondere Zwecke auch andere Ventile, wie die elektrolytischen und der Quecksilberdampflichtbogen, verwandt worden.

**180. Das Thermokreuz.** In der einfachsten Anordnung eines thermoelektrischen Meßinstrumentes wird ein Hitzdraht metallisch mit der Lötstelle eines Thermoelementes verbunden. Zwei Silber- und zwei Konstantandrähte werden in der in Abb. 259 wiedergegebenen Weise zusammen gelötet, so daß sie ein sog. Thermokreuz bilden. In Verbindung mit einem hochempfindlichen Spiegelgalvanometer dienen sie zur Messung von Wechselströmen von 1 bis 10 mA.

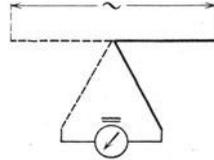


Abb. 259. Thermokreuz.  
— Silberdraht,  
- - - Konstantandraht.

Von der Firma Weston werden nach diesem Prinzip auch Meßinstrumente für größere Stromstärken gebaut. Abb. 260 bis 262 geben die Anordnung wieder. *S* ist ein Widerstandsband aus einer Platinlegierung, das an den Enden an die Stromzuführungsklötze *B* und *B'* hart angelötet ist und von dem zu messenden Strom durchflossen wird. In der Mitte (*I*) dieses Bandes ist die Lötstelle eines Thermoelementes hart angelötet, dessen Enden an die beiden Kompensationsbänder *C* und *D* angeschlossen sind, die die Stromzuführungen *B* und *B'* überbrücken. *C* und *D* sind von *B* und *B'* durch die sehr dünnen Glimmerplättchen *E* und *F* isoliert.

Die beiden sehr dünnen Drähte 2 und 3 des Thermoelementes bestehen aus einer Pt- und einer Ni-Legierung. Die aus Kupfer bestehenden Kompensationsbänder werden so bemessen, daß sie dem Heizband thermisch gleichwertig sind. Sie werden

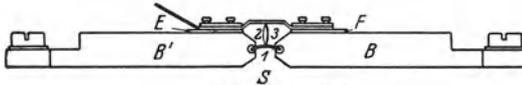


Abb. 260. Aufriß.

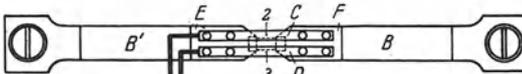


Abb. 261. Grundriß.

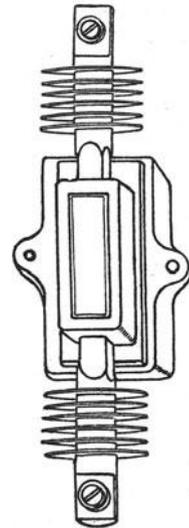


Abb. 262. Außenansicht.

Abb. 260—262. Meßwiderstand der Thermoinstrumente der Firma Weston.

also durch Änderungen der Außentemperatur in gleichem Maße beeinflusst wie das Heizband. Die Anordnung kompensiert die Änderungen der Außentemperatur. Der Spannungsabfall beträgt bei Vollast

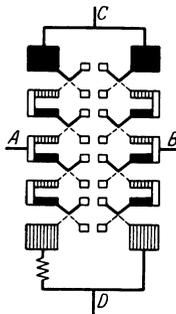
150 mV. Das Heizelement ist um 50 % überlastbar. Die Teilung des durch diese Spannung erregten Zeigerinstrumentes ist quadratisch.

Nach diesem System werden sowohl Instrumente für Schalttafeln als auch tragbare Instrumente für Gleich- und Wechselstrom bis zur Frequenz 3000, Ströme bis 750 Amp. oder Spannungen bis 150 V gebaut.

Oberhalb der Frequenz 3000 beginnen Störungen durch kapazitive Ströme. Durch eine besondere Schaltung sind diese Störungen bei dem Hochfrequenzvoltmeter derselben Firma beseitigt, so daß es bis zur Frequenz  $10^6$  innerhalb von 1 % richtig zeigt. Es wird für Spannungen bis 20 V hergestellt.

**181. Thermobrückeninstrumente.** Der nächste Fortschritt war eine derartige Erhöhung der Empfindlichkeit der thermoelektrischen Anordnung, daß das unhandliche und nicht transportable Spiegelgalvanometer durch ein transportables Zeigergalvanometer ersetzt werden konnte.

Zuerst gelang es Voege<sup>1</sup>, die Empfindlichkeit der Thermoelemente dadurch wesentlich zu erhöhen, daß er sie in ein hohes Vakuum einschloß, so daß die Wärmeentziehung durch Konvektion wegfiel. Dann erreichte Wertheim-Salomonsohn<sup>2</sup> eine große Steigerung der Empfindlichkeit durch eine sinnreiche Schaltung, bei der der zu messende Strom eine größere Anzahl von Thermoelementen durchfließt, deren



■ Eisen    ▨ Konstantan  
Abb. 263. Thermobrücke nach Wertheim-Salomonsohn. *AB* Anschluß des Wechselstromes, *CD* Anschluß des Gleichstrommeßinstrumentes.

Thermokräfte sich addieren. Der leitende Gedanke der in Abb. 263 wiedergegebenen Anordnung besteht darin, daß abwechselnd sehr dünne Drähte und dicke Bleche aneinander gelötet werden, so daß nur die Lötstelle Draht-Draht erhitzt wird, während die Lötstelle Draht-Blech kalt bleibt. Zwei so aufgebaute Ketten werden parallel geschaltet, der Wechselstrom wird an *AB*, das Gleichstrominstrument an *CD* gelegt. Die ganze Anordnung bildet also gewissermaßen eine Wheatstonesche Brücke. Die Thermoelemente befinden sich bei Wertheim-Salomonsohn nicht im Vakuum, sondern in Luft.

Nach diesem Prinzip baut die Firma S. Guggenheimer, Nürnberg ein „Wechselstrompräzisionsinstrument“ für maximal 1 Amp., das jedoch nach der üblichen Bezeichnungswiese auf das Prädikat Präzision keinen Anspruch hat. Es enthält vier Thermoelemente aus 0,15 mm dicken Manganin-Konstantandrähten, nützt also den Vorteil der Wertheim-Salomonsohnschen Anordnung, mehrere Thermoelemente in Reihe schalten zu können, nicht aus. Das Gleichstromzeigerinstrument ist spitzengelagert, also ohne weiteres transportabel. Die Übertemperatur der Thermodrähte bei Höchstbelastung beträgt 50° C, die Thermokraft 225 mV.

<sup>1</sup> Voege, W.: ETZ Bd. 27, S. 467. 1906.

<sup>2</sup> Wertheim-Salomonsohn, J. K. A.: Phys. Z. Bd. 7, S. 463. 1906.

Ein sehr viel empfindlicheres Instrument konstruierte Schering<sup>1</sup> in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, indem er die Verfahren von Voege und Wertheim-Salomonsohn kombinierte. Seine Thermoelemente bestanden ebenfalls aus Manganin-Konstantan im höchst erreichbaren Vakuum. Er ersetzte die Bleche durch kleine Klötze aus Messing. Abb. 264 gibt die Scheringsche Schaltung wieder.

Ein mit der Scheringschen Thermobrücke verbundenes Zeigergalvanometer von  $400 \Omega$  wird durch eine Belastung der Brücke mit  $6 \text{ mA}$  auf den vollen Ausschlag gebracht. Der Widerstand der  $0,015 \text{ mm}$  dicken Hitzdrähte beträgt  $100 \Omega$ , so daß sich der Energieverbrauch zu  $0,0036 \text{ Watt}$  ergibt. Ein so geringer Eigenverbrauch läßt sich mit anderen Wechselstrommeßinstrumenten gleicher Genauigkeit auch nicht annähernd erreichen.

Entscheidend für die Beständigkeit der Angaben des Instrumentes ist die Erhaltung des hohen Vakuums. Das ganze, die Thermobrücke enthaltende Gefäß muß nicht nur mit allen Mitteln der Vakuumtechnik gepumpt, sondern auch gleichzeitig so weit erhitzt werden wie möglich, da sonst nach dem Abschmelzen dauernd Gase aus den Metallteilen und Gefäßwänden frei werden. Im Interesse besserer Entgasung hat die Firma Hartmann & Braun, die solche Instrumente herstellt, die dicken Messingklötze durch Drähte sehr viel geringerer Masse ersetzt, die sich viel leichter entgasen lassen, deren Durchmesser aber immer noch im Vergleich zu dem Thermodraht groß ist. Bei allen thermoelektrischen Meßinstrumenten ist eine häufigere Nacheichung mit Gleichstrom dringend zu empfehlen.

Bei einer zweiten von Schering angegebenen Schaltung durchfließt der Strom einen Hitzdraht aus Manganin und einen Hitzdraht aus Konstantan, die parallel geschaltet sind. In der Mitte des Manganindrahtes ist ein Konstantandraht, in der Mitte des Konstantandrahtes ein Manganindraht aufgelötet. Diese aufgelöteten Drähte führen zu einem Gleichstrommeßinstrument. Die Lötstellen werden erhitzt, wenn ein Strom die beiden Hitzdrähte durchfließt, es tritt aber kein Peltier-effekt auf, da der Hauptstrom an der Lötstelle nicht von einem Metall zum anderen übergeht. Die Thermokräfte der beiden Metalle addieren sich. Ein zweckmäßig gewählter Vorschaltwiderstand vor einem der Hitzdrähte ermöglicht es, den Strom so zu verteilen, daß kein Teil des Stromes in den Gleichstrommeßkreis übertritt.

**182. Das Duddellsche Thermogalvanometer.** Das Thermoelement besteht aus einer Lötstelle Wismut-Antimon und bildet ein Stück einer einzigen Windung eines Drehspulinstrumentes, in die es V-förmig ein-

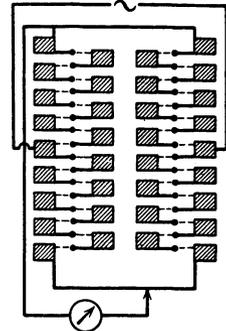


Abb. 264. Thermobrücken-schaltung nach Schering.  
— Manganin,  
- - - Konstantan.

<sup>1</sup> Schering, H.: Z. Instrumentenk. Bd. 32, S. 69 u. 101. 1912.

gesetzt ist. Es ist mit dem Hitzdraht nicht leitend verbunden, sondern erhält seine Wärme von ihm durch Bestrahlung und Leitung durch die Luft. Der Hitzdraht besteht aus einer induktionsfrei gewickelten Spirale aus Platindraht oder aus einem mäanderförmig mit einer dünnen Platinschicht überzogenen Glimmerblättchen. Die empfindlichste Ausführungsform dieses Thermogalvanometers wird durch einen Strom von 5 mA zum vollen Ausschlag gebracht und verbraucht bei einem Widerstand von  $150 \Omega$  maximal 0,004 Watt. Das Galvanometer ist ein Zeiger galvanometer mit Spitzenlagerung. Die Skalenteilung ist rein quadratisch. Die Instrumente werden für Ströme bis 100 mA bei  $1,5 \Omega$  Widerstand gebaut.

**183. Thermokette für Hochfrequenz.** Eine Anzahl Thermolemente sind in Reihe geschaltet und in einem evakuierten Gefäß untergebracht.

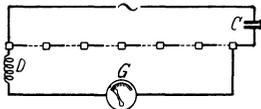


Abb. 265. Thermokette für Hochfrequenz.  
C Sperrkondensator, D Sperrdrossel, G Gleichstrominstrument.  
— Manganin,  
- - - Konstantan.

Im Wechselstromkreis befindet sich in der in Abb. 265 wiedergegebenen Schaltung ein Kondensator, im Gleichstromkreis eine Drosselspule, so daß beide Kreise gegeneinander blockiert sind. In Verbindung mit einem empfindlichen Galvanometer vermag eine derartige Anordnung schon äußerst geringe Hochfrequenzströme anzuzeigen. Lästig ist allerdings, daß sie wegen des im Wechselstromkreis

befindlichen Kondensators nicht mit Gleichstrom geeicht werden kann, sondern mit Wechselstrom niedriger Frequenz geeicht werden muß.

**184. Gleichrichtung zu messender Ströme mit Kommutatoren.** Zwei Schaltungen des synchron mit dem zu messenden Wechselstrom rotierenden Kommutators sind üblich.

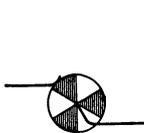


Abb. 266.  
Serienschaltung  
des Kommutators.

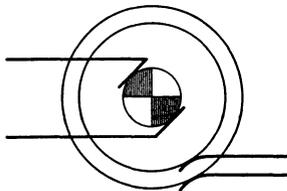


Abb. 267. Nebenschlußschaltung  
des Kommutators.

Die Serienschaltung, Abb. 266, bei der die eine Stromrichtung unterdrückt wird, und die Nebenschlußschaltung, Abb. 267, die beide Phasen ausnutzt. Hier sind die beiden Metallsegmente mit den beiden Schleifringen verbunden. Die unbequeme Verwendung des

Synchronmotors, die Notwendigkeit sorgfältigster Einstellung der Kontaktphase und die Möglichkeit von Störungen durch Pendeln des Motors schränken die Anwendung dieser Methode ein.

**185. Kabelprüfung.** Die Verwendung der Ventile zur Prüfung von Kabeln mit Hilfe von hochgespanntem Gleichstrom auf Isolation und Durchschlagsfestigkeit wurde bereits auf S. 170 erwähnt. Am meisten werden hier die Hochspannungsglühventile und die Hochspannungsnadel- und -scheibengleichrichter benutzt.

**186. Rückstrommessung.** Zur Messung des Rückstromes in der undurchlässigen Phase der Quecksilberdampfgleichrichter wurde bereits 1910 von Güntherschulze das Quecksilberlichtbogenventil benutzt. Die hier zu überwindende Schwierigkeit lag darin, daß Ströme von

Größenordnung von Mikroamp. gemessen werden mußten, die 100 mal in der Sekunde mit Strömen von 10 Amp. abwechselten. Die Schaltung ist bereits auf S. 83 beschrieben worden.

**187. Verwendung von Detektoren und Trockenplattenventilen zu Meßzwecken.** Bezüglich der Kontakt-Detektoren hat Ettenreich<sup>1</sup> nachgewiesen, daß der von ihnen bei Belastung mit sinusförmigem, ungedämpftem Wechselstrom gebildete Gleichstrom sich quantitativ bis zu den höchsten Frequenzen mit Hilfe einer graphischen Methode aus der statischen Charakteristik ermitteln läßt.

Angelika Szekely<sup>2</sup> zieht hieraus den Schluß, daß umgekehrt aus dem Gleichstrom auf die Wechselstrombelastung geschlossen werden kann. Allerdings dürfen nach ihren Angaben bei der praktischen Verwendung die Detektoren weder Erschütterungen ausgesetzt noch mit stärkerem Strom belastet werden, da beides die Detektorcharakteristik ändert. Will man also sichergehen, so muß man sowohl vor als nach jeder Messungsreihe den Detektor mit Gleichstrom eichen. In Anbetracht der großen Empfindlichkeit und leichten Herstellung des Instrumentes wird man diesen Übelstand vielfach in Kauf nehmen. A. Szekely gibt statt der unbequemen graphischen Methode eine einfache rechnerische Auswertung der Eichung. Ist die ungedämpfte sinusförmige Wechselspannung im Detektor  $e = e_0 \cdot \sin \omega t$  und läßt sich die  $e$ -,  $i$ -Kurve des Detektors darstellen als

$$i = ae + be^2 \quad (184)$$

in der Sperrichtung und

$$I = Ae + Be^2 \quad (185)$$

in der Flußrichtung, so wird

$$e_0 = \frac{-2(A-a) + 2V(A-a)^2 + i_{g1}^2(B-b)}{(B-b)}. \quad (186)$$

Die Bestimmung der Konstanten  $A$ ,  $B$  aus der durch Beobachtung gewonnenen Charakteristik führt rascher zur  $e_0$ -,  $i_{g1}$ -Kurve, als die graphische Methode von Ettenreich.

Ist der Wechselstrom gedämpft, so werden die Formeln erheblich verwickelter. Ihre Wiedergabe erübrigt sich, da die Bedeutung gedämpfter Schwingungen mehr und mehr abnimmt.

Über die Empfindlichkeit eines Detektor-Meßinstrumentes gibt A. Szekely an, daß bei dem von ihr benutzten Bleiglanz-Graphit-Detektor, der nicht einmal besonders empfindlich war, mit einem Gleichstrom von  $10^{-6}$  Amp. eine Spannungsamplitude von 25 mV am Detektor gemessen werden kann. Die bei einem noch leicht meßbaren Gleichstrom von  $10^{-9}$  Amp. im Detektor fließende effektive Stromstärke ergibt sich zu  $2 \cdot 10^{-7}$  Amp. Es lassen sich also leichte effektive Stromstärken von der Größenordnung  $10^{-6}$  messen. Das ist eine Empfindlichkeit, wie sie nur die empfindlichsten und teuersten Hitzdrahtinstrumente zeigen.

<sup>1</sup> Ettenreich, R.: Wien. Ber. Bd. 128, S. 1169. 1919.

<sup>2</sup> Szekely, A.: Wien. Ber. Bd. 130, S. 3. 1921.

Als ganz besonders geeignet zur Messung sehr geringer Wechselströme nach diesem Verfahren haben sich die Trockenplattenventile des Protosgleichrichters der Firma Siemens & Halske erwiesen. Sie verbinden große Empfindlichkeit und Konstanz miteinander.

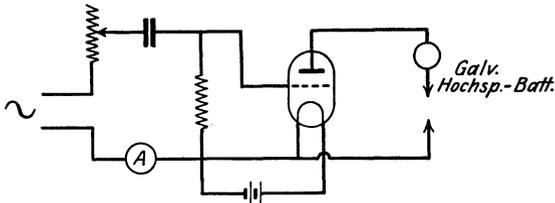


Abb. 268. Schaltung des Moullinvoltmeters nach Jolley.

Selbst für genaue Messungen bleibt eine Eichung mehrere Tagelanghinreichend gültig.

**188. Messungen mit Hilfe von Glühventilen.**

Abb. 268 zeigt die Schaltung des von E. B. Moullin angegebenen empfindlichen Gleichstromvoltmeters zur Messung hochfrequenter Ströme und Spannungen nach Jolley.

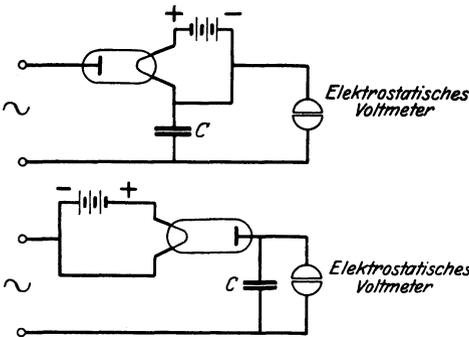


Abb. 269. Schaltungen zur Messung des Scheitelwertes einer Wechselspannung.

Als Ventil dient ein 3-Elektrodenrohr, das den zu messenden Strom gleichzeitig gleichrichtet und verstärkt. Die Konstanz der Eichwerte des Instrumentes hängt davon ab, daß die Anoden- und Heizspannung, die Gitterkapazität und die Gitterableitung konstant bleiben. Doch ist die prozentuale Änderung der Eichwerte bei richtiger Wahl

der verschiedenen genannten Größen viel geringer als die letzteren.

**189. Messung des Scheitelwertes einer Hochspannung.**

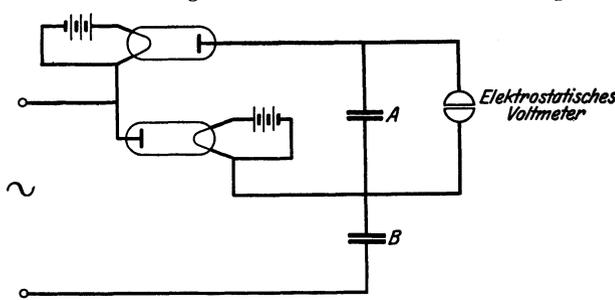


Abb. 270. Schaltung zur Messung der Größe der Pulsationen eines Gleichstromes.

Abb. 269 gibt die Schaltungen. Der Strom fließt durch das Glühventil zum Kondensator C, solange das Potential der Ventilanode höher ist, als das der zugehörigen Kondensatorbelegung. Völlig erreicht wird der Scheitelwert nur,

wenn sowohl das Glühventil in der undurchlässigen Richtung als auch der Kondensator, das Voltmeter und die Verbindung einen unendlichen Isolationswiderstand haben. Je spitzer die zu messende Kurvenform ist, um so nötiger wird eine einwandfreie Isolation.

Abb. 270 gibt ein Verfahren, die Größe der Schwankungen eines pulsierenden Gleichstromes zu messen. Der Kondensator *B* wird durch das Ventil 2 aufgeladen, bis die pulsierende Spannung ihren höchsten Wert erreicht hat. Sobald sie wieder weicht, entlädt sich *B* über *A* und Ventil 1, wobei *A* aufgeladen wird, bis der niedrigste Wert der Spannung erreicht ist. Das elektrostatische Voltmeter mißt also in der Tat die Welligkeit der Spannung.

## V. Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom. Gleichstromtransformierung.

**190. Die verschiedenen Verfahren.** In der Einleitung des Buches wurde bereits erwähnt, daß der Gleichstrom für die Fernleitung elektrischer Energie vor dem Wechselstrom sehr große Vorzüge hat, weil erstens beim Wechselstrom die dielektrische Festigkeit der Leiterhülle (Luft, Kabel) für die Scheitelspannung genügen muß, während nur die effektive Wechselspannung energetisch ausgenutzt wird, zweitens die dielektrischen Verluste ebenso wie die Koronaverluste bei Gleichspannung viel kleiner sind als bei gleicher Wechselspannung, drittens die Ausnutzung der Leitungen bei konstantem Gleichstrom besser ist als bei Wechselstrom.

Daraus folgt das Problem der Verwandlung von hochgespanntem Gleichstrom in Wechselstrom, der auf niedere Spannung transformiert und dann wieder gleichgerichtet werden kann, also das Problem des Gleichstromtransformators. Folgende fünf Methoden sind bisher für die Lösung dieses Problems vorgeschlagen:

1. Die Elektronenröhre mit Steuergitter.
2. Der Magnetroneneffekt.
3. Der Quecksilberdampfgleichrichter mit Steuergitter.
4. Der Transverter.
5. Der Wellenstrahlgleichrichter.

**191. Senderöhre und Magnetroneneffekt.** Der Übertragung des Verfahrens der Erzeugung hochfrequenter Wechselströme auf die Herstellung niederfrequenter starker Wechselströme sind die verhältnismäßig großen Verluste und die Schwierigkeiten, starke Ströme durch Glühelktronenemission zu erhalten, hinderlich.

Das gleiche gilt vom Magnetroneneffekt. Wie bereits auf S. 173 ausgeführt, haben die Pulsationen des Heizstromes einer Glühkathodenröhre durch den Magnetroneneffekt Schwankungen des Heizstromes zur Folge, die die doppelte Frequenz des Heizstromes haben.

**192. Quecksilberdampfgleichrichter mit Steuergitter.** Die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom mit Hilfe eines Quecksilberdampfgleichrichters mit Steuergitter, der in Amerika Thyatron genannt wird, erscheint sehr aussichtsreich. Vor kurzem ist von D. C. Prince<sup>1</sup> ein Gleichstromtransformator beschrieben worden, dessen

<sup>1</sup> Prince, D. C.: Gen. El. Rev. Bd. 31, S. 347. 1928.

wesentlicher Teil ein Thyratron ist. Abb. 271 zeigt ein Thyratron. Es unterscheidet sich in seiner Wirkungsweise dadurch grundsätzlich vom Vakuumglühkathodengleichrichter, daß die großen Raumladungen vor der Kathode fehlen und daß sich das Steuergitter, sobald es vom Strom durchsetzt wird, mit einer Raumladungszone umgibt, die sein Feld gegen den Gasraum abschnürt. Daraus folgt, daß das Steuergitter nur wirksam ist, solange kein Strom zu der Anode fließt, die von dem betreffenden Gitter umhüllt ist. Es vermag das Einsetzen des Stromes zu verhindern. Sobald aber der Strom fließt, vermag es ihn nicht wieder zu unterbrechen. Der Strom muß anderweitig wieder unterdrückt werden.



Abb. 271. Thyratron.

Abb. 272 zeigt einen Stromkreis, der diese Bedingung erfüllt. Abb. 273 erläutert die Wirkungsweise der Schaltung. Dabei ist der Mittelpunkt des Transformators als Spannungsnulldpunkt gewählt. Die Spannung  $e_{a_1}$  und  $e_{a_2}$  werden den beiden Anoden  $a_1$  und  $a_2$  aufgedrückt. Zwischen den Zeiten  $t_1$  und  $t'_1$  ist die Spannung des Gitters  $g_1$  positiv, so daß der Strom zwischen ihm und der Anode  $a_1$  fließt. Während dieser Zeit hat das Gitter  $g_2$  eine negative Spannung, so daß nach  $a_2$  kein Strom fließen kann. Zur Zeit  $t'_1$  kehren sich die Gitterspannungen um. Die Anode  $a_2$  ist positiver als  $a_1$  und in folgedessen bestrebt, den Strom zu sich herüberzuziehen, da der Gesamtstrom durch die Induktanz  $L$  annähernd konstant gehalten wird. Zwischen  $t'_1$  und  $t'_2$  vollzieht sich diese Stromübertragung, so daß zur Zeit  $t'_2$  die Ionisierung in der Umgebung des Gitters  $g_1$  und der Anode  $a_1$  zu verschwinden beginnt. Zur Zeit  $t'_3$  ist sie genügend abgeklungen und das Gitter  $g_1$  vermag jetzt den Strom von  $a_1$  fernzuhalten, wenn

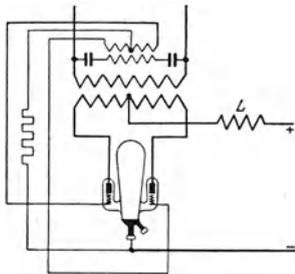


Abb. 272. Thyratron-Inverterschaltung.

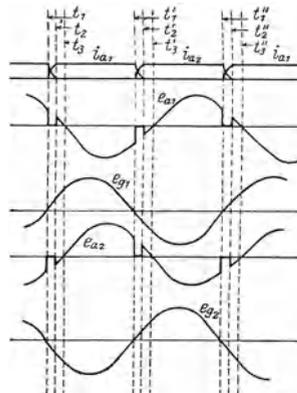


Abb. 273. Strom- und Spannungskurven des Thyratron-Inverters.  $i_{a_1}$  und  $i_{a_2}$  Anodenströme;  $e_{a_1}$  und  $e_{a_2}$  die Spannungen zwischen den Anoden und der Mitte der Primärwicklung des Transformators;  $e_{g_1}$  und  $e_{g_2}$  die Spannungen zwischen den Gittern und dem Mittelpunkt der Gittererregungswicklung.

$a_1$  positiver wird als  $a_2$ . Bei  $t'_1$  beginnt der umgekehrte Vorgang. Die Wechselstromfrequenz kann durch Synchronmaschinen oder Kondensatoren aufgedrückt werden.

**193. Der Gleichstromtransformator.** Da die in Abb. 273 wiedergegebenen Kurven des Thyratrons denen des Quecksilberdampfgleichrichters (Abb. 274) sehr ähnlich sind, lassen sich beide ohne Schwierigkeiten gemäß Abb. 275 verbinden, so daß ein Gleichstromtransformator entsteht. In dieser Schaltung wird die Wechselstromfrequenz durch den Kondensator  $C$  bestimmt. Da die vom Thyratron aufgenommene Leistung die gleiche Form wie die vom Gleichrichter abgegebene hat, ist keinerlei Energieaufspeicherung in der Anordnung, abgesehen von der im Transformator, nötig. Die Ströme heben sich gegenseitig auf und haben keinerlei Tendenz, das freie Schwingen des erregenden Kreises zu stören.  $L_1$  und  $L_2$  lassen sich auf denselben Kern wickeln.

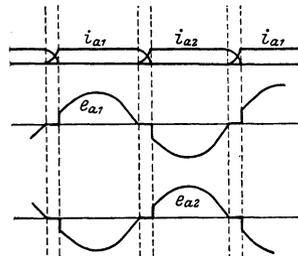


Abb. 274. Strom- und Spannungs-kurven des Quecksilberdampfgleichrichters.

Der Haupttransformator wandelt die zugeführte Gleichstromenergie in Sinus-schwingungen um. Die miteinander verbundenen Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$  nehmen die Oberschwingungen auf, die durch die wechselnden Energiedifferenzen zwischen zugeführter und abgegebener Gleichstromenergie und der Schwingungsenergie des Haupttransformators entstehen. Der  $L_1$  und  $L_2$  enthaltende Apparat ist also ein „Oberschwingungstransformator“. Da der Wirkungsgrad von Thyratron und Gleichrichter bei hohen Spannungen sehr groß ist, läßt sich auf diese Weise eine Gleichstromtransformierung mit sehr gutem Wirkungsgrad erzielen.

**194. Der Transverter.** Die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom mit Hilfe des auf S. 146 behandelten Transverters ist nach Jolley technisch bisher am weitesten durchgebildet. Der Transverter ist ohne weiteres umkehrbar. Er hat jedoch die wesentlichen Nachteile der

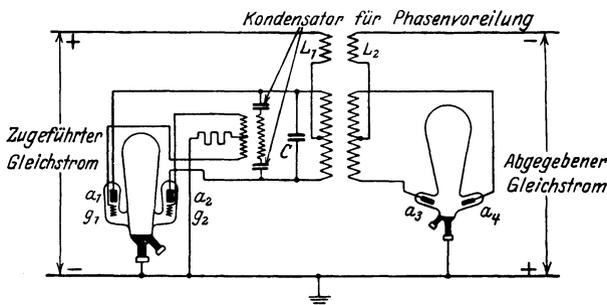


Abb. 275. Gleichstromtransformatorschaltung (Verbindung der Gleichrichter- und der Inverterschaltung).

hohen Herstellungskosten, der Kompliziertheit und des Vorhandenseins rotierender Teile.

**195. Der Wellenstrahlgleichrichter.** Nach einer freundlichen mündlichen Mitteilung von Herrn Prof. Hartmann bestehen bei der Um-

kehrung des Wellenstrahlgleichrichters ebenfalls keinerlei wesentliche Schwierigkeiten. Der den unteren Kontakten zugeführte Gleichstrom wird durch den von einem Hilfswechselstromkreis gesteuerten Quecksilberstrahl in Wechselstrom verwandelt, der transformiert und von einem zweiten Wellenstrahlgleichrichter wieder gleichgerichtet wird. Um hohe Spannungen zu bewältigen, müßte allerdings eine größere Anzahl von diesem Gleichrichter hintereinander geschaltet werden, was ohne Schwierigkeiten möglich ist. Doch ist auch dieses Verfahren bisher noch durchaus im Versuchsstadium.

## VI. Die Gleichrichterpatente.

**196. Allgemeines.** Die Gleichrichterpatente finden sich in Klasse 21 g in den Gruppen:

11. Polarisationszellen, elektrische Ventile verschiedener Art (elektrolytische Gleichrichter, Funkenstrecken);
12. Entladungsröhren mit selbständiger Entladung. Bau und Betriebsschaltungen im allgemeinen.
13. Entladungsröhren mit unselbständiger Entladung (Glühkathodenröhren). Bau und Betriebsschaltungen im allgemeinen.
14. Metaldampfgleichrichter.
15. Schwingende und umlaufende elektrische Gleichrichter.

Von den ersten drei Gruppen habe ich sämtliche noch nicht erloschenen Patente über Gleichrichter aufgenommen. In Gruppe 14 habe ich einige von denjenigen Patenten, insbesondere über Großgleichrichter weggelassen, die nicht zur Anwendung gekommen sind, weil sich alsbald herausstellte, daß sie auf verfehlten physikalischen Anschauungen beruhten.

Im übrigen gibt die große Menge der Gleichrichterpatente ein anschauliches Bild des mühsamen Ringens der Techniker und Physiker mit der Vakuumverschlechterung immer größerer Gefäße und der dadurch bedingten in die schwierigste physikalische Technik führenden Rückzündung, das heute noch andauert, wenn auch die Hauptsiege erungen sind.

In Gruppe 15 habe ich die Patente über rotierende Umformer weggelassen, weil sie den Rahmen eines Gleichrichterbuches überschreiten.

## VII. Die deutschen Patente.

**197. Gruppe 11. Polarisationszellen, elektrische Ventile verschiedener Art (elektrolytische Gleichrichter, Funkenstrecken).**

125769. Siemens & Halske A.G. in Berlin. 22. 1. 01. 15. 11. 01.  
Elektrolyt für Aluminium-Kondensatoren oder -Gleichrichter.  
Wäßrige Lösung von Magnesiumbicarbonat oder Calciumbicarbonat.

127302. Siemens & Halske A.G. in Berlin. 5. 1. 01. 19. 11. 01.  
Elektrolyt für Aluminium-Flüssigkeits-Kondensatoren oder Gleichrichter.

Saure Lösung von organischen Ammonsalzen.

127525. Siemens & Halske A.G. in Berlin. 27. 4. 01. 19. 12. 01.  
Elektrolyt für Aluminium-Kondensatoren oder,-Gleichrichter.  
Mandelsaures Salz der Erden oder Erdalkalien.

138856. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 12. 1. 02.  
13. 2. 03.

Elektrolyt für Flüssigkeitskondensatoren und elektrische Gleichrichter für Wechselstrom mit Aluminiumelektroden.

Lösung von organischen Calcium- und Strontiumsalzen mit geringem Überschuß an freier Säure.

139837. A. Nodon in Paris. 11. 3. 02. 7. 4. 03.

Stromrichter für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom.

Elektrolytgleichrichter. Gesättigte Lösung von doppeltbasischem Ammoniumphosphat  $\text{PO}_4\text{H}(\text{NH}_4)_2$  allein oder in Gegenwart des Phosphates von Al. Elektroden: Zinkaluminiumlegierung und Eisen oder eine Verbindung von Eisen mit C, Si, W, Mo, Ta.

163882. Franz Pawlowski in Wien. 2. 8. 04. 23. 10. 05.

Gleichrichterzelle mit festem Elektrolyten.

1. Gleichrichterzelle gekennzeichnet durch die Anordnung eines festen Elektrolyten, wie unter Umgehung des Umschmelzens dargestellten Halbschwefelkupfers.

2. Ausführungsform der Gleichrichterzelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Halbschwefelkupferplatte zwischen zwei Elektrodenplatten, von welchen eine eine Aluminiumplatte ist, angeordnet wird.

222593. Henry Stafford Hatfield in Hove (Sussex). 23. 7. 08. 1. 6. 10.

Elektrolytischer Gleichrichter für Wechselströme.

1. Elektrolytischer Gleichrichter für Wechselströme, dadurch gekennzeichnet, daß Elektroden von erheblich verschiedener Größe in einen Elektrolyten tauchen, der dieselben Ionen in verschiedenen Valenzzuständen enthält, derart, daß an der einen Elektrode die Valenz des Ions in demselben Maße erhöht wird, wie sie an der anderen Seite herabgesetzt wird.

2. Zelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Elektrolyt eine wäßrige Lösung von Alkalipolysulfiden und Alkalisulfiden benutzt wird.

241676. Thomas Joseph Murphy in Rochester (V. St. A.). 15. 10. 08.  
7. 12. 11.

Verfahren zum Gleichrichten elektrischer Wechselströme.

Verfahren zur Gleichrichtung von Wechselstrom mittels Funkenstrecken, die von einer höheren Spannung für den Durchgang des Wechselstromes angeregt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die höhere Spannung mit Hilfe einer mit dem gleichzurichtenden Wechselstrom synchron arbeitenden Vorrichtung an die Funkenstrecke angelegt wird, wenn die Spannung des gleichzurichtenden Wechselstromes den Betrag erreicht, der den Stromfluß in der Funkenstrecke für den Rest der Stromwelle aufrechterhalten kann.

264674. Emil Jahr in Berlin. 22. 12. 12. 23. 9. 13.

Elektrolytische Gleichrichterzelle.

Elektrolytische Gleichrichterzelle, dadurch gekennzeichnet, daß die aus Al oder einem diesem gleichwertigen Stoffe hergestellte Elektrode zum Zwecke des geringeren Stromverlustes während des Betriebes mit einem großen Teil ihrer Fläche an solche Metalle angelagert ist, die eine größere Wärmeleitfähigkeit als Al oder diesem gleichwertige Stoffe besitzen.

266531. Berta Steflitschek geb. Pachmayr in Wien. 4. 5. 13. 29. 10. 13.

Einrichtung an elektrolytischen Gleichrichtern und ähnlichen Zellen zum Erneuern des Elektrolyten.

Komplizierte Umlaufvorrichtung für den Elektrolyten.

271085. Alfred Heinz in Paris. 2. 2. 13. 3. 3. 14.

Elektrolytischer Gleichrichter mit 2 konzentrischen Elektroden.

1. Elektrolytischer Gleichrichter mit 2 konzentrischen Elektroden, von denen die innere aus Al besteht und die äußere ringförmige mit Öffnungen versehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die ringförmige, aus einer Legierung von Sb und Pb

bestehende Elektrode aus zwei konzentrischen Gittern, bei denen die Stäbe des einen die Zwischenräume des anderen überdecken, zusammengesetzt ist, so daß eine Reihe von Zellen entsteht, die den Umlauf und die schnelle Diffusion des Elektrolyten ermöglichen.

2. Gitterstäbe von dreieckigem Querschnitt.

273819. Aldo Bibolini und Pietro Riboni in Agordo (Italien). 30. 7. 13. 8. 5. 14.

Vorrichtung zur Umwandlung von hochgespanntem Wechselstrom in Gleichstrom.

1. Vorrichtung zur Umwandlung von hochgespanntem Wechselstrom in Gleichstrom, der erhebliche Mengen an elektrischer Energie abzugeben vermag, wobei 2 oder mehrere elektrostatische Ventilvorrichtungen benutzt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Ventilvorrichtungen eine vollkommen geschlossene metallische Elektrode besitzen, welche die andere, als Funkenelektrode ausgebildete Elektrode als Gehäuse umschließt.

2. Schaltung mit Kondensatoren.

3. Gehäuseform des Ventiles.

4. Funkenelektroden im Inneren der Ventilvorrichtungen bestehen aus einer oder mehreren radial gerichteten Spitzen oder aus ebenen oder gekrümmten Scheiben mit zugeschärften Rändern.

284673. Louis Iklé in Köln-Lindenthal. 31. 12. 13. 2. 6. 15.

Elektrolytischer Gleichrichter.

Elektrolytischer Gleichrichter, gekennzeichnet durch einen Elektrolyten aus basischkohlensaurem Kupferammoniak, der in der Zelle selbst dadurch erzeugt wird, daß eine mit der üblichen Kohlenelektrode verbundene Hilfelektrode aus Kupfer sich in der zum Beginn der Formierung aus Ammoniumbicarbonat bestehenden elektrolytischen Flüssigkeit auflöst.

288125. Reiniger, Gebbert & Schall A.G. in Berlin. 2. 8. 14. 22. 10. 15. Ventilfunkenstrecke.

Ventilfunkenstrecke, dadurch gekennzeichnet, daß die kleinflächige Elektrode der großflächigen Elektrode gegenüber in einer Kante endigt, leicht beweglich aufgehängt ist und selbst oder mit geeigneten Ansätzen dem Druck der von der Bahn der Entladungen aufsteigenden Gas- oder Dampfströmungen eine große Angriffsfläche bietet, so daß jede Entladung eine Kippbewegung der kleinflächigen Elektrode zur Folge hat und die nächste Entladung an einer anderen Stelle dieser Elektrode einsetzt.

290129. Georges Giles in Freiburg (Schweiz). 10. 3. 15. 5. 2. 16.

Elektrolytischer Kondensator oder elektrolytisches Ventil, bei welchem um eine Zentralachse zylindrische Belegungen aufgerollt sind.

1. Elektrolytischer Kondensator oder elektrolytisches Ventil, bei welchem um eine Zentralachse zylindrische Belegungen aufgerollt sind, dadurch gekennzeichnet, daß in die aus isolierendem Material bestehende Zentralachse eine der Zahl der Belegungen entsprechende Anzahl von Aluminiumstäben eingebettet ist, an welchen die um die Achse als Kreisevolventen aufgerollten Belegungen befestigt sind.

2. Die oberen Enden der Aluminiumstäbe dienen als Anschlußkontakte.

315991. Firma Johann Kremenezky in Wien. 11. 12. 18. 17. 11. 19. Gleichrichterzelle.

1. Gleichrichterzelle, deren Leiter erster Ordnung aus Al und Fe bestehen, von denen letzterer den ersteren mantelartig umgibt, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Elektroden an den Enden des röhrenförmigen Behälters befestigt und mit Metallkappen leitend verbunden sind, welche die Anschlußkontakte tragen.

2. Die mit der Al-Elektrode verbundene Kappe besteht aus Al.

336572. Gottlieb Gmür in Aarau (Schweiz). 20. 2. 20. 6. 5. 21.

Gefäß für Gleichrichter- bzw. Polarisationszellen u. dgl.

1. Gefäß für Gleichrichter- bzw. Polarisationszellen u. dgl., dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung mit der Außenluft durch ein in das Gefäß hinein-

ragendes Rohr hergestellt ist, das mit seiner Mündung bei jeder Lage des Gefäßes oberhalb des Flüssigkeitsspiegels liegt.

2. bis 5. Ausführungsformen.

396717. Georgs-Marien-Bergwerks- und Hütten-Verein A.G. in Georgsmarienhütte bei Osnabrück. 15. 8. 19. 19. 6. 24.

Wechselstromgleichrichter, bei welchem einer plattenförmigen Elektrode eine Elektrode gegenübersteht, die aus einer Reihe von Spitzen besteht.

Wechselstromgleichrichter, bei welchem einer plattförmigen Elektrode eine Elektrode gegenübersteht, die aus einer Reihe von Spitzen besteht, dadurch gekennzeichnet, daß unter dem Zwischenraum zwischen den Elektroden ein Preßluftrohr angeordnet ist, das eine Reihe nach oben gerichteter Preßluftdüsen trägt.

399835. Heinrich Zschocke in Kaiserslautern. 8. 1. 22. 8. 8. 24.

Als Gleichrichter wirkende Funkenstrecke.

1. Als Gleichrichter wirkende Funkenstrecke, dadurch gekennzeichnet, daß die Funkenstrecke in einen gasdichten und druckfesten Raum eingeschlossen ist, in welchem der Gasdruck synchron mit der Wechselspannung derart geändert wird, daß während der einen Halbwelle des Wechselstromes der Gasdruck erhöht wird, so daß kein Durchschlagen der Funkenstrecke erfolgen kann, während der anderen Halbwelle vermindert wird, so daß ein Durchschlag stattfindet.

2. Die in der Durchschlagszone als Anoden wirkenden Elektroden werden gekühlt.

411970. Fahrzeugfabrik Eisenach, Zweigniederlassung der Gothaer Waggonfabrik A.G. Gotha, in Eisenach. 18. 10. 22. 9. 4. 25.

Elektrolytischer Gleichrichter.

Elektrolytischer Gleichrichter, dessen in einer Isolieröhre mit kapillarem Spielraum geführte Al-Elektrode mit dem unteren Ende über die Isolieröhre vorsteht und nach Maßgabe ihres Verbrauches selbsttätig vorgeschoben wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolieröhre nur in ihrem unteren Teile das Elektrodenende der Al-Elektrode mit kapillarem Spielraum umgibt und sich oberhalb dieses Führungsendes zu einem Teile mit größerem Durchmesser erweitert, in welchem das Elektrodenmetall durch Einfüllen von Öl gegen Berührung mit der Elektrolytflüssigkeit gesichert wird.

422230. Dr. H. Greinacher in Zürich. 27. 3. 20. 4. 12. 25.

Verfahren zur Erzeugung einer Gleichspannung aus einer oszillierenden Spannung in einem beliebig vielfachen Betrag derselben unter Verwendung mehrerer Grundgruppen, bestehend aus 2 Kondensatoren und 2 in Reihe geschalteten Ventilzellen.

Verfahren zur Erzeugung einer Gleichspannung aus einer oszillierenden Spannung in einem beliebig vielfachen Betrag derselben unter Verwendung mehrerer Grundgruppen, bestehend aus 2 Kondensatoren und 2 in Reihe geschalteten Ventilzellen, die derart geschaltet sind, daß der eine Pol der oszillierenden Spannung über einen Kondensator mit dem Verbindungspunkt der beiden Ventilzellen und der andere Pol mit dem freien Ende der einen Ventilzelle unmittelbar, mit dem freien Ende der anderen Ventilzelle über den zweiten Kondensator verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß alle Ventilzellen in Reihe, alle mit dem Verbindungspunkt zweier Ventilzellen derselben Grundgruppe verbundenen Kondensatoren in Reihe geschaltet sind.

2. bis 4. Ausführungsformen.

440012. Reinhold Mäser in Dresden. 1. 2. 25. 27. 1. 27.

Elektrolytgleichrichter.

1. Elektrolytgleichrichter, bei welchem die Al-Elektrode isoliert durch den Boden des Gefäßes eingeführt ist, dadurch gekennzeichnet, daß der innerhalb des Gefäßes liegende Teil des Einführungsisolators derart hoch ausgebildet ist, daß die Schlammablagerung am Boden des Gefäßes die Elektrode bei normaler Betriebsdauer nicht erreicht, und daß ferner die obere Fläche des Einführungsisolators die gleiche Form und Größe wie die Unterfläche der auf ihr sitzenden Elektrode hat.

Güntherschulze, Elektr. Gleichrichter, 2. Aufl.

17

2. Die Al-Elektrode ist derart kegel- oder pyramidenförmig gestaltet, daß ihre Höhe im Verhältnis zum Durchmesser ihrer Grundfläche bzw. zu deren größter Ausdehnung besonders hoch gewählt ist.

441629. Franz Knoll in Gauting bei München. 1. 2. 24. 7. 3. 27.

Elektrolytischer Gleichrichter mit 2 oder mehreren Elektroden.

1. Elektrolytischer Gleichrichter mit 2 oder mehreren Elektroden, welche den Strom nur in der einen Richtung durchlassen, die in ein den Elektrolyten enthaltendes Gefäß, welches gleichzeitig als Gegenelektrode dient, eintauchen, bei welchen der Elektrolyt aus bei normaler Temperatur festen Salzen besteht, die vor Inbetriebnahme durch elektrische Widerstandsheizung geschmolzen werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung derart ausgebildet ist, daß sie sämtliche Elektroden umfaßt, jedoch von ihnen trennbar ist, und daß Mittel vorgesehen sind, um der Heizvorrichtung während des Betriebes eine geringere Leistung zuzuführen als in der Anheizperiode.

2. Die elektrolytische Zelle kann als Ganzes aus der Heizvorrichtung entfernt werden.

3. Unterteilung der Widerstände der Heizvorrichtung.

443026. Fansteel Products Company Inc. in near Sheridan Road III (V.St.A.). 18. 9. 24. 13. 4. 27.

Elektrolytischer Gleichrichter.

1. Elektrolytischer Gleichrichter mit einem Ventilmittel, z. B. in Form einer Elektrode aus Ta, und einem sauren Elektrolyten, wie verdünnte Schwefelsäure, dadurch gekennzeichnet, daß der saure Elektrolyt eine geringe Menge einer metallischen Verunreinigung, vorzugsweise Eisen, aufweist.

2. Die dem Elektrolyten zugesetzte metallische Verunreinigung wird vorzugsweise in Form von Ferrosulfat eingeführt.

3. 1 g Ferrosulfatkristalle auf 100 cm<sup>3</sup> des Elektrolyten.

198. Gruppe 12. Entladungsröhren mit selbständiger Entladung. Bau und Betriebsschaltungen im allgemeinen.

191898. Polyphos Elektrizitätsgesellschaft m. b. H. in München. 23. 4. 07. 11. 10. 07.

Vakuum-Ventilröhre.

Vakuum-Ventilröhre, dadurch gekennzeichnet, daß gegenüber der Elektrode, welche bei gewünschter Stromrichtung Kathode ist, ein Schirm angebracht ist, der die von der genannten Kathode ausgehenden Strahlen ganz oder teilweise auffängt.

207854. Oscar Huldshinsky in Berlin. 6. 3. 08. 2. 3. 09.

Verfahren zur Erhöhung des Anodenfalles in einem Entladungsraum.

Verfahren zur Erhöhung des Anodenfalles in einem Entladungsraum, dadurch gekennzeichnet, daß ein elektronegativer Stoff, wie z. B. Jod, Brom, Chlor usw., den man an beliebiger Stelle des Entladungsraumes in elementarer Form einer Verbindung als Dampf oder Gas einführt, den sonst vorhandenen Gasen oder Gasresten zugemischt wird.

209077. Polyphos Elektrizitätsgesellschaft m. b. H. in München. 18. 10. 07. 11. 4. 09.

Vakuum-Ventilröhre.

Vakuum-Ventilröhre, bei welcher die eine Elektrode, welche für die gewünschte Stromrichtung Anode ist, ähnlich wie die Kathode einer Röntgenröhre in dem Hals einer Kugel angeordnet ist, während die Kathode für die gewünschte Stromrichtung aus einem in der Kugel angeordneten Hohlkörper besteht, dessen offenes Ende nahe an die Anode heranreicht, dadurch gekennzeichnet, daß dieses offene Ende der aus einem Hohlkörper bestehenden Kathode mit einer durchlochten Platte versehen ist.

209969. Firma Emil Gundelach in Gehlberg (Thüringen). 10. 11. 08. 10. 5. 09.

Ventilröhre.

Ventilröhre zur Unterdrückung des Schließungsstromes, dadurch gekennzeichnet, daß die Anode sich mit ihrer freien metallischen Oberfläche im dunklen Kathodenraum befindet.

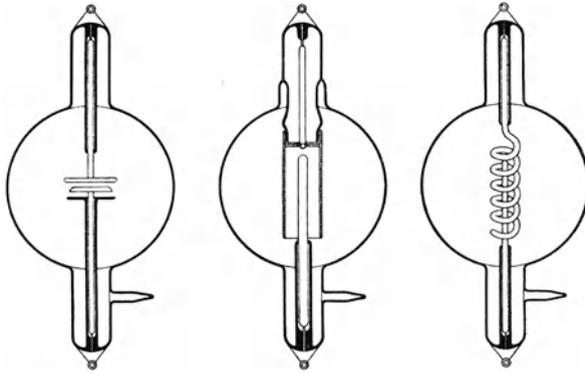


Abb. 276.

216353. Firma C. H. F. Müller in Hamburg. 17. 10. 08. 11. 11. 09.  
Mehrteilige Ventilröhre für Röntgenröhren.

Mehrteilige Ventilröhre für Röntgenröhren, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Teilventil ein besonderes Umschließungsgehäuse besitzt und diese Umschließungsgehäuse durch Zwischenröhren räumlich miteinander in Verbindung stehen.

Zweck: Gleiches Vakuum in allen Ventilen, um gleichmäßiges Arbeiten zu erzwingen.

275893. Eugene Wilson Caldwell in New York. 1. 1. 13. 1. 7. 14.

Einrichtung, um selbsttätig ununterbrochen bei Wechselstrom die Ströme nur in einer Richtung zu dem Stromempfänger hindurchzulassen.

1. Einrichtung, um selbsttätig ununterbrochen bei Wechselstrom die Ströme nur in einer Richtung zu dem Stromempfänger hindurchzulassen, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Ventilröhre die Kathode bei Zunahme der die Unterdrückung der verkehrten Ströme bewirkenden Luftverdünnung die Kathodenstrahlen in einem Brennpunkt vereinigt und hierdurch in an sich bekannter Weise innerhalb der Röhre Gas erzeugt, bis die normale Verdünnung wieder hergestellt ist.

2. Das gaserzeugende Material ist auf einem einstellbaren Träger angeordnet.

3. Ventilröhre hat Kathode mit großer Oberfläche und verhältnismäßig kleinem Spiegel und ein frei beweglicher, vorzugsweise kugelförmiger Träger für das gaserzeugende Material ist so angeordnet, daß die einzelnen Teile des letzteren leicht in den Bereich der Kathodenstrahlen gebracht werden können.

294736. Reiniger, Gebbert & Schall A.G. in Berlin. 20. 2. 15. 24. 10. 16.

Elektrische Ventilröhre mit Einsatz.

Elektrische Ventilröhre mit einem Einsatz von solcher Gestalt und Anordnung, daß ein in der Verbindungsrichtung der beiden Elektroden verlaufender Kanal entsteht, der mindestens zum Teil kleineren Querschnitt aufweist als die Entladungsröhre an denselben Stellen, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz unmittelbar vor der einen Elektrode angebracht ist.

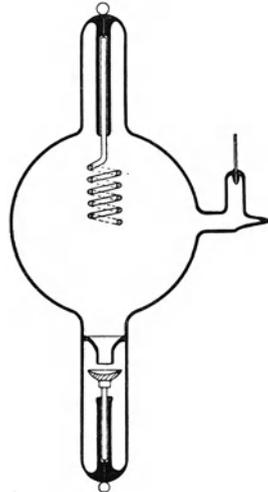


Abb. 277.

Wenn  $b$  Kathode, wird das Kathodenstrahlbündel durch den Einsatz abgeschnürt.

317215. Studiengesellschaft für elektrische Leuchtröhren m. b. H. in Berlin. 1. 12. 17. 17. 12. 19.

Entladungsgefäß für die Verstärkung, Umformung und Gleichrichtung von Wechselströmen und für den Nachweis elektrischer Schwingungen.

1. Entladungsgefäß für die Verstärkung, Umformung und Gleichrichtung von Wechselströmen und für den Nachweis elektrischer Schwingungen mit einer Kathode aus Metall niedrigen Kathodenfalles, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode die übrigen Elektroden umgreift.

2. Ausführungsform.

317598. Aktien-Gesellschaft Brown, Boveri & Cie in Baden, Schweiz. 23. 7. 13. 24. 12. 19.

Elektrische Sperrzelle mit an sich unbestimmter Stromrichtung.

1. Elektrische Sperrzelle mit an sich unbestimmter Stromrichtung, bestehend aus einem oder mehreren, in Vakuumgefäßen erzeugten Lichtbögen, die zur periodischen Unterbrechung des Stromes in beliebig wählbarer, gegebenenfalls von äußeren Verhältnissen abhängiger Richtung vom Magneten beeinflußt werden, gekennzeichnet durch eine derartige Anordnung jedes einzelnen Lichtbogens, daß ein Ausweichen des Lichtbogens aus dem zugehörigen magnetischen Felde, gegebenenfalls auch ein Hinübergleiten des Lichtbogens von einer Elektrode zu einer anderen vermieden wird.

2. bis 8. Ausführungsformen.

337902. Studiengesellschaft für elektrische Leuchtröhren m. b. H. in Berlin. 3. 11. 17. 7. 6. 21.

Entladungsröhre für die Verstärkung, Umformung und Erzeugung von Wechselstrom und zum Nachweis elektrischer Schwingungen.

Entladungsröhre für die Verstärkung, Umformung und Erzeugung von Wechselstrom und zum Nachweis elektrischer Schwingungen, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden aus stark elektropositiven Metallen in derartiger Legierung mit Schwermetallen bestehen, daß der Schmelzpunkt erhöht und die Reaktionsfähigkeit ohne wesentliche Beeinflussung des Kathodenfalles herabgesetzt wird.

367438. Dr. Walter Kossel in München. 2. 3. 17. 20. 1. 23.

Entladungsröhre für elektrische Vakuumentladungen.

1. Entladungsröhre für elektrische Vakuumentladungen, insbesondere zur Erzeugung, Gleichrichtung, Verstärkung und zum Nachweis elektrischer Schwingungen, Wechselströme und Stromschwankungen, dadurch gekennzeichnet, daß Ionen bzw. Elektronen, die von der Entladung selbst in einem Nebenraum erzeugt werden, ganz oder zum Teil durch ein elektrisches oder magnetisches Hilfsfeld derart beeinflußt werden, daß aus dem Nebenraum Ionen bzw. Elektronen in veränderlicher Zahl in die Hauptentladung (eigentliche Entladung) eintreten.

2. bis 26. Ausführungsformen.

371628. Julius Pintsch A.G. in Berlin. 21. 10. 20. 20. 3. 23.

Glimmentladungs-Gleichrichter mit Edelgasfüllung.

1. Glimmentladungs-Gleichrichter, gekennzeichnet durch eine Hilfselektrode aus einem Metall mit niedrigem Kathodenfall, von welcher aus während des Betriebes den Kathodenfall erniedrigende Metallteilchen kontinuierlich nach der Kathodenfläche geführt werden.

2. In den Stromkreis der Hilfselektrode wird ein Begrenzungswiderstand eingeschaltet.

381013. Julius Pintsch A.G. in Berlin. 16. 6. 20. 14. 9. 23.

Anordnung zur Regelung der Stromdurchlässigkeit und der kritischen Entladungsspannung elektrischer Entladungsröhren mit Edelgasfüllung und selbständiger Entladung.

Anordnung zur Regelung der Stromdurchlässigkeit und der kritischen Entladungsspannung elektrischer Entladungsröhren mit Edelgasfüllung und selbst-

ständiger Entladung, dadurch gekennzeichnet, daß eine Hilfselektrode vorgesehen ist, welche bei der Belastung mit Entladungsstrom zunächst unedle Gase oder Dämpfe abzugeben vermag, bei längerer Einschaltung jedoch entweder durch Verstäubung bei höherer Stromdichte oder durch Okklusion bei geringerer Stromdichte einen Überschuß an Beimengungen unedler Gase oder Dämpfe zu binden vermag.

390479. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. 13. 12. 19. 19. 2. 24.

Hochvakuumröhre, insbesondere Röntgenröhre, Ventilröhre, Senderröhre oder Verstärkungsröhre.

1. Hochvakuumröhre, insbesondere Röntgenröhre, Ventilröhre, Senderröhre oder Verstärkungsröhre, dadurch gekennzeichnet, daß 2 Elektroden auf eine so geringe Entfernung einander gegenüberstehend angeordnet sind, daß ohne Benutzung einer Glühkathode eine bestimmte zur Verfügung stehende Spannung eine Entladung durch den die Elektroden trennenden Zwischenraum bewirkt.

2. bis 10. Ausführungsformen.

391089. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. 10. 2. 21. 28. 2. 24.

Hochvakuumröhre zur Beeinflussung elektrischer Stromkreise.

1. Hochvakuumröhre zur Beeinflussung elektrischer Stromkreise nach Patent 390479, dadurch gekennzeichnet, daß die von Flächen mit kleinem Krümmungsradius abgegebenen Elektronen zum Teil auf Metallflächen aufprallen, an diesen reflektiert werden sowie sekundäre Elektronen auslösen, zum Teil an den genannten Flächen sich vorbei bewegen, wonach beiderlei Elektronen dem eigentlichen Arbeitsvorgang mit Hilfe besonderer, sie auffangender Elektroden zugeführt werden.

2. bis 5. Ausführungsformen.

391762. Julius Pintsch A.G. in Berlin. 25. 12. 21. 10. 3. 24.

Glimmlichtventilröhre mit selbständiger Entladung und Edelgasfüllung.

1. Glimmlichtventilröhre mit selbständiger Entladung und Edelgasfüllung, dadurch gekennzeichnet, daß sie gegenüber der in bekannter Weise großflächig ausgebildeten Kathode 2 Anoden verschiedener Art besitzt, deren eine als Gleichrichteranode und deren andere als Reduktoranode ausgebildet ist, die bei der Benutzung als Gleichrichter als Zündanode dienen kann.

2. bis 5. Ausführungsformen.

392187. Dr. Walther Kossel in München. 24. 12. 16. 17. 3. 24.

Entladungsröhre mit 2 oder mehr Elektroden zur Erzeugung, Verstärkung, Gleichrichtung und zum Nachweis von elektrischen Schwingungen, Wechselströmen und Stromschwankungen.

1. Entladungsröhre mit 2 oder mehr Elektroden zur Erzeugung, Verstärkung, Gleichrichtung und zum Nachweis von elektrischen Schwingungen, Wechselströmen und Stromschwankungen, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer Entladung bzw. zur Erzielung und Einstellung der Entladung ein magnetisches Feld Anwendung findet.

2. bis 7. Ausführungsformen.

392986. Johannes Michael Schmierer und Deutsche Glimmlampen-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 14. 10. 21. 3. 4. 24.

Gasentladungs-Gleichrichter.

Gasentladungs-Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß er mit einem Swan-Sockel versehen ist, dessen Kontaktplatten mit den gleichnamigen Elektroden verbunden sind und dessen Hülse mit der andersnamigen Elektrode verbunden ist.

393048. Patent-Treuhand-Gesellschaft für elektrische Glühlampen m. b. H. in Berlin. 17. 6. 19. 28. 3. 24.

Durch Glimmentladung zu betreibende elektrische Entladungsröhre.

1. Durch Glimmentladung zu betreibende elektrische Entladungsröhre, dadurch gekennzeichnet, daß sie mit einer Kathode versehen ist, die ein schwer schmelzbares Metall als Grundsubstanz, ein zusätzliches, die Elektronenemission

beförderndes, schwer schmelzbares Oxyd enthält und während des Betriebes höchstens eine unterhalb Rotglut liegende Temperatur annimmt.

2. Mit CaO überzogenes Pt-Netz als Kathode.

3. Ein Netz aus bis zu mehreren Prozent Thoriumoxyd oder äquivalente Oxyde enthaltendem Wolframdraht als Kathode.

4. und 5. Herstellungsverfahren.

395159. Julius Pintsch A.G. in Berlin. 15. 12. 22. 7. 5. 24.

Gleichrichterröhre für Mehrphasenstrom.

1. Gleichrichterröhre für Mehrphasenstrom mit einer Kathode und einer der Phasenzahl entsprechenden Anzahl von Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß durch geeignete Ausbildung der Kathode innerhalb einer und derselben Röhre mehrere gegeneinander entladungsdicht abgeschlossene Entladungskammern mit je einer Anode angeordnet sind, daß der unmittelbare Stromübergang zwischen den Anoden verhindert ist und die Umgebung der Kathode durch die Entladung ausgeschlossen ist.

2. Verbindung der Räume durch gelochte oder sonstwie durchlässig gemachte Verschlüsse, die Gasaustausch zulassen, Entladung aber fernhalten.

403209. Johannes Nienhold in Charlottenburg. 19. 5. 20. 25. 9. 24.

Gleichrichtervorrichtung.

1. Mit einem indifferenten Gase von niedrigem Druck gefüllte Gleichrichterröhre mit selbständig glühender kompakter Kathode, von der ein Glimmbogen zur Anode übergeht, dadurch gekennzeichnet, daß die aus nicht zu den elektropositiven Substanzen gehörigem, schwer schmelzbaren Metall bestehende Kathode entweder mit einem Metalloxyd oder Metallsalz gefüllt ist oder durch Mischung mit einem solchen zu einem homogenen Körper verbunden ist.

2. Als schwer schmelzbares Metall Kohle, Si oder Verbindungen beider.

3. Das Metallsalz als Docht innerhalb der Kathode.

4. Als Metalloxyd Oxyde der Erdalkalien und seltenen Erden.

404069. Dr. Fritz Schröter in Berlin-Schmargendorf. 24. 1. 18. 14. 10. 24.

Elektrisches Entladungsventil mit Edelgasfüllung und selbständiger Entladung.

1. Elektrisches Entladungsventil mit Edelgasfüllung und selbständiger Entladung, dadurch gekennzeichnet, daß dem Edelgase unedle, chemisch reaktionsfähige Gase oder Dämpfe von metallischem oder nichtmetallischem Charakter oder auch Gase und Dämpfe dieser Art zugleich in freiem Zustande oder an der Oberfläche von Elektroden wirksam in solcher Menge beigemischt sind, daß die Ionenbildung erleichtert und der Wert der kritischen Entlade- oder Zündspannung dem unterhalb der für reine Edelgase geltenden Wertes liegenden Minimum genähert ist, wobei die Menge des Zusatzes mehr oder minder erheblich größer ist, als solche Verunreinigungsgrade, wie sie bei sorgfältiger, beispielsweise durch die Entladung selbst bewirkter Reinigung des Edelgasinhaltes der Röhre zurückbleiben können.

2. bis 4. Ausführungsformen.

406138. Julius Pintsch A.G. in Berlin. 4. 11. 19. 15. 11. 24.

Gleichrichterröhre mit selbständiger Glimmentladung und einer die Anode umhüllenden Kathode.

1. Gleichrichterröhre mit selbständiger Glimmentladung und einer die Anode umhüllenden Kathode, dadurch gekennzeichnet, daß unter Benutzung von Edelgasen als Füllgas und einer zerstäubenden Anode die Kathodenoberfläche derart in einem gewissen Abstände von der Innenwand des Entladungsgefäßes liegend angeordnet ist, daß die zerstäubten Anodenteilchen bei normaler Betriebsstromstärke einer genügend hohen Temperatur ausgesetzt werden, um die Okklusion notwendiger Anteile des Füllgases zu verhindern.

2. Kathode durchlocht.

406921. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. 1. 2. 20. 5. 12. 24.

Verfahren, um die Kathode in Entladungsröhren nach Patent 390479 geeignet zu machen, im kalten Zustande Elektronen auszusenden.

1. Verfahren, um die Kathode in Entladungsröhren nach Patent 390479 ge-

eignet zu machen, im kalten Zustande Elektronen auszusenden, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden in der für die Entgasung von Elektroden bekannten Art durch Elektronenbombardement derart erhitzt werden, daß außer den Gasen auch alle die selbständige Entladung im kalten Zustande hindernden Schichten von der Elektrode entfernt werden.

2. Als Elektronenquelle eine kathodisch aktive Hilfselektrode.

3. bis 10. Weitere Ausführungsformen.

413031. N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (Holland).  
13. 6. 23. 30. 4. 25.

Entladungsröhre mit eingeschlossener Bogenentladung.

1. Entladungsröhre mit eingeschlossener Bogenentladung, dadurch gekennzeichnet, daß sich innerhalb der Röhre mehrere Elektroden oder Elektrodenpaare befinden und daß die Abstände jeder Elektrode von der zugehörigen Elektrode entgegengesetzter Polarität nahezu gleich und gleichnamige Elektroden derart parallel geschaltet sind, daß bei dem Betriebe der Röhre nur eine der parallel geschalteten Elektroden oder eines der Elektrodenpaare zum Glühen gebracht wird.

2. Parallelschaltung innerhalb der Röhre.

3. Entladungsröhre, insbesondere zur Verwendung als Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß sie mit einer Anode und mehreren innerhalb der Röhre parallel geschalteten Kathoden derart versehen ist, daß bei dem Betriebe der Röhre nur eine der parallel geschalteten Kathoden zum Glühen gebracht wird.

413559. Johannes Michael Schmierer in Berlin-Friedenau und Firma Deutsche Glimmlampen-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 15. 1. 21. 12. 5. 25.  
Kathode für Vakuumröhren.

1. Kathode für Vakuumröhren, dadurch gekennzeichnet, daß sie an den Stellen, an welchen keine Entladung stattfinden soll, mit einer festhaftenden Isolierschicht von Metallverbindungen, welche durch Oberflächenbehandlung der betreffenden Stellen erzeugt wird, überzogen ist.

2. Soll die Kathode periodisch als Anode wirksam sein, so wird die isolierende Schicht nur an denjenigen Stellen angebracht, die bei beiden Stromrichtungen unwirksam sein sollen.

3. bis 11. Weitere Ausführungsformen.

413849. N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (Holland).  
23. 1. 21. 16. 5. 25.

Entladungsröhre mit selbständiger Entladung für Niederspannung.

1. Entladungsröhre mit selbständiger Entladung für Niederspannung, dadurch gekennzeichnet, daß, um die Zündspannung zu erniedrigen, die Kathode oder beide Elektroden aus einer Vereinigung des gebräuchlichen Elektrodenstoffes mit Mg oder Be oder ihren Legierungen bestehen und daß diese Vereinigung rein mechanisch oder auch eine Legierung ist.

2. Die Hilfsstoffe werden durch die Elektroden teilweise umschlossen.

414517. Dr. Franz Skaupy in Berlin. 3. 5. 22. 30. 5. 25.

Verfahren zur Herstellung von Entladungsröhren, vorzugsweise von Glimmlampen mit niedriger Betriebsspannung.

1. Verfahren zur Herstellung von Entladungsröhren, vorzugsweise von Glimmlampen mit niedriger Betriebsspannung, unter Verwendung von Elektroden, welche aus billigen Metallen des Handels, wie z. B. Eisen, in beliebiger Form hergestellt werden, dadurch gekennzeichnet, daß man auf derartige Metallelektroden vor oder während des Fabrikationsprozesses der Röhre oder Lampe in der zum Überziehen von Glasinnenwandungen mit Elektrodenbelegungen bekannten Art Azide aufbringt und diese dann durch Zersetzung in einer indifferenten Atmosphäre oder im Vakuum in einen Überzug oder eine Oberflächenlegierung bildendes Metall oder Metallegierungen verwandelt.

2. Zersetzung während des Pumpens durch äußere Erhitzung oder elektrische Entladung.

3. Aufbringen durch Aufstreichen oder Aufstäuben einer Lösung oder Suspension oder Eintauchen und Verdunstenlassen des Lösungsmittels.

415595. N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (Holland).  
29. 1. 22. 23. 6. 25.

Entladungsröhre mit selbständiger Entladung und reiner Edelgasfüllung.

Entladungsröhre mit selbständiger Entladung und reiner Edelgasfüllung, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Verdampfungs- oder nichtmetallischen Zersetzungsergebnisse von festen, in die Röhre während oder nach Herstellung eingebrachten Verbindungen, die bei der Betriebstemperatur der Röhre keine Gase oder Dämpfe entwickeln, die Oberfläche des Kathodenstoffes beeinflußt und dadurch die Zündspannung erheblich erniedrigt wird.

417225. Johannes Nienhold in Charlottenburg. 20. 2. 20. 13. 8. 25.  
Glimmlicht-Entladungsröhre.

1. Glimmlicht-Entladungsröhre mit Gasfüllung und fein unterteilter Kathode, dadurch gekennzeichnet, daß diese Kathode in der Strahlrichtung der Entladung in die Tiefe erstreckt ist und den auftreffenden, von der Anode ausgehenden positiven Ionen nur einen Bruchteil ihrer gesamten wirksamen Fläche in solcher Weise darbietet, daß diese Ionen hauptsächlich in den Zwischenräumen (Poren oder Kanälen) der Kathode durch Stoßionisation des Gases wirksam werden.

2. Kathode besteht aus einem System von Gitterflächen.

3. Material dünner Kupferdraht, Molybdän oder Eisennetz in Edelgas.

417347. N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (Holland).  
2. 5. 22. 10. 8. 25.

Entladungsröhre mit Edelgasfüllung.

Entladungsröhre mit Edelgasfüllung, der eine geringe Menge eines Gases zugesetzt ist, dessen Ionisierungsspannung niedriger ist als die Spannung, bei welcher der erste unelastische Stoß in dem Edelgas auftritt, dadurch gekennzeichnet, daß das zugesetzte Gas ein Edelgas ist. Beispiele Neon mit 0,5 bis 5% Argon, ebenso Helium mit geringem Zusatz von Neon, Argon oder Krypton oder auch Argon mit Zusatz von Krypton.

418637. Johannes Michael Schmierer und Firma Deutsche Glimmlampen-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 14. 2. 24. 10. 9. 25.

Gasentladungsröhre mit Gleichrichterwirkung.

1. Gasentladungsröhre mit Gleichrichterwirkung, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine an sich bekannte, möglichst kleine Elektrode beliebiger Form und eine zweite wesentlich stabförmige Elektrode von hohem Leitungswiderstand enthält, die mit ihrem freien Ende der ersten Elektrode zugekehrt ist.

2. Die Stabelektrode ist an ihrem, der zweiten Elektrode zugekehrten Ende mit einer Hülle umgeben, die die Glimmlichtbildung unterdrückt.

435475. Firma Siemens-Schuckert-Werke GmbH. in Berlin-Siemensstadt. 8. 7. 25. 13. 10. 26.

Vakuumannektat.

1. Vakuumannektat, Gleichrichter, Entladungsröhre od. dgl. mit verhältnismäßig großer, das Glasgefäß betriebsmäßig berührender Metallektrode, dadurch gekennzeichnet, daß diese namentlich zur Steuerung bestimmte Elektrode die Glaswand des Gefäßes nur während des Betriebes berührt, während der Entgasung jedoch außer Berührung mit dem Glas gehalten wird.

2. bis 6. Ausführungsformen.

Nach dem Entgasen werden dünne Haltedrähte durch einen Stromstoß geschmolzen, worauf eine Feder die Steuerelektrode auf ihren Sitz drückt. (Die Berührung mit der Glaswand erschwert das Erhitzen beim Entgasen.)

441474. Johannes Nienhold in Berlin-Charlottenburg. 29. 7. 23.  
7. 3. 27.

Glimmlichtentladungsröhre mit Gasfüllung.

1. Glimmlichtentladungsröhre mit Gasfüllung nach Patent 417225, dadurch gekennzeichnet, daß ein poröser Elektrodenkörper durch Aufeinanderanschichtung aus kleineren gleichförmigen Gittern hergestellt wird.

2. Ausführungsformen.

451910. Johannes Michael Schmierer und Deutsche Glühlampen-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 18. 9. 21. 1. 11. 27.

Drosselvorrichtung für einen Glühmentladungs-Gleichrichter.

1. Drosselvorrichtung für einen Glühmentladungs-Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß der Ohmsche Widerstand der Drosselspulen so hoch ist, daß kein Vorschaltwiderstand auf der Gleichstromseite erforderlich ist.

2. Der Ohmsche Widerstand der Drosselspulen ist regelbar ausgebildet.

453853. American Radio & Research Corporation in Medford, Mass. V.St.A. 24. 9. 21. 23. 12. 27.

Elektrische Gleichrichterröhre mit einer hohlen Kathode und einer deren innerer Oberfläche gegenübergestellten Anode.

1. Elektrische Gleichrichterröhre mit einer hohlen Kathode und einer deren innerer Oberfläche gegenübergestellten Anode, bei welcher der Abstand zwischen den benachbarten Oberflächen der Elektroden von der Größenordnung der freien Weglänge der Elektronen bei dem gewählten Gasdruck in der Röhre ist, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel, z. B. Magnetfelder, vorgesehen sind, welche die Bahn der Elektronen in der einen Richtung derart verlängern, daß Stoßionisation eintritt, in der anderen Richtung aber nicht.

2. Der Entladungsraum ist derart begrenzt, daß eine Elektronenentladung an der Außenfläche der Kathode verhindert wird.

3. Der Raum zwischen den Elektroden ist an den Seiten durch das die Elektroden stützende Isoliermaterial abgeschlossen.

4. Elektroden bestehen aus 2 konzentrischen Zylindern. Entladungsraum zwischen ihnen wird durch ein Magnetfeld beeinflußt, dessen Kraftlinien parallel zur Oberfläche der Elektroden sind.

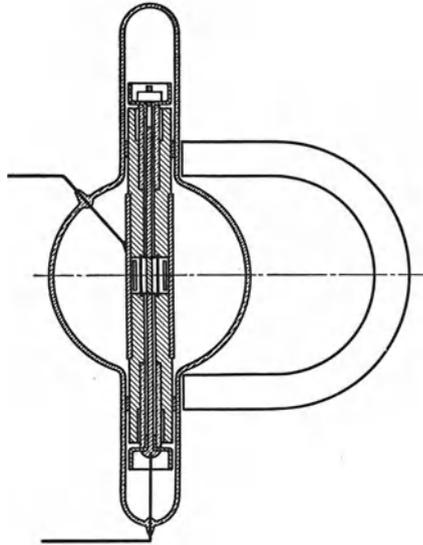


Abb. 278.

199. Gruppe 13. Entladungsröhren mit unselbständiger Entladung (Glühkathodenröhren). Bau und Betriebsschaltungen im allgemeinen.

157845. Dr. Arthur Wehnelt in Erlangen. 15. 1. 04. 13. 1. 05.

Elektrisches Ventil.

Elektrisches Ventil, gekennzeichnet durch ein Entladungsrohr mit einer heißen Metallverbindung als Kathode und einer kalten, aus einem beliebigen Metall bestehenden Anode.

249144. Thomas Joseph Murphy in Rochester, V.St.A. 20. 11. 09. 13. 7. 12.

Vorrichtung zum Gleichrichten elektrischer Wechselströme. (Hochspannungsgleichrichter mit Funkenstrecke.)

Veraltet.

254488. Robert von Lieben, Eugen Reiß und Siegmund Strauß in Wien. 13. 7. 11. 9. 12. 12.

Verfahren zur Erhöhung der Lebensdauer, Gleichmäßigkeit und Ökonomie von Entladungsröhren mit glühender Kathode.

1. Verfahren zur Erhöhung der Lebensdauer, Gleichmäßigkeit und Ökonomie von Entladungsröhren mit glühender Kathode, dadurch gekennzeichnet, daß in die Entladungsröhre nebst dem leitenden Gase eine das Entladungspotential herab-

setzende dampfliefernde elektropositive Substanz (z. B. Quecksilber, Amalgam od. dgl.) gebracht wird, deren Dampf die Stromleitung zum Teil übernimmt und deren Dampfdruck durch die Wahl der Temperatur dieser Substanz geregelt werden kann, zu dem Zwecke, eine gleichmäßige Funktion sowie eine erhöhte Lebensdauer herbeizuführen.

2. Ausführungsform.

259246. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 22. 6. 12. 28. 4. 13.

Entladungsröhre, die in einem Ansatzrohre flüssiges Quecksilber oder eine andere dampfliefernde Substanz enthält.

1. Entladungsröhre, die in einem Ansatzrohre flüssiges Quecksilber oder eine andere dampfliefernde Substanz enthält, dadurch gekennzeichnet, daß der Raum, in welchem sich das Quecksilber oder die betreffende Substanz befindet, bei einer bestimmten Stellung der Röhre vom Entladungsraum selbsttätig abgeschlossen wird.

2. Ausführungsform.

264553. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 20. 9. 12. 26. 9. 13.

Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem dampfbildenden Körper.

1. Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem dampfbildenden Körper, gekennzeichnet durch Verwendung eines dampfbildenden Körpers, welcher erst bei wesentlich höherer als Zimmertemperatur den für den Betrieb erforderlichen Dampfdruck besitzt.

2. Der dampfbildende Körper enthält die Betriebstemperatur durch Wärmestrahlung oder Leitung von der glühenden Kathode.

3. Fraktionierte Verdampfung.

264554. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 15. 10. 12. 26. 9. 13.

Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem dampfliefernden Körper.

Entladungsröhre mit glühender Kathode und eingeschlossenem dampfliefernden Körper, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Zuführungsdrähte zu den verschiedenen Elektroden an einer gemeinsamen vom Entladungsstrom oder von der Kathode geheizten Stelle der Glaswand eingeschmolzen werden, zu dem Zweck, Kondensflächen für den Dampf zu vermeiden.

279028. Dr. Bruno Donath in Berlin-Friedenau. 11. 10. 13. 3. 10. 14. Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode aus einem mit Metallverbindungen gefüllten und außerdem mit ihnen überzogenen Behälter aus gelochtem hitzebeständigem Metall besteht.

285031. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 23. 6. 14. 14. 6. 15.

Elektrisch geheizte Kathode für Entladungsröhren.

1. Elektrisch geheizte Kathode für Entladungsröhren, dadurch gekennzeichnet, daß der Glühdraht in eng aneinanderliegenden Windungen in einen aus schlechten Leitern gebildeten hitzebeständigen Körper eingebettet ist.

2. Der den Glühdraht enthaltende Körper ist im wesentlichen aus einem im Glühzustande ionisierend wirkenden Material gebildet oder an seiner Oberfläche damit bedeckt.

293759. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 20. 7. 15. 29. 8. 16.

Glühkathode für Vakuumapparate.

1. Glühkathode für Vakuumapparate, die mit Anschlüssen zum Hindurchsenden eines elektrischen Heizstromes versehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß Leitungsanschlüsse für solche Ströme, die der Glühkathode aus dem Gasraum des Vakuumapparates zufließen, zwischen die Anschlüsse für den Heizstrom gelegt werden, um zu erreichen, daß die Teile der so unterteilten Glühkathode vom Heiz-

strom in Serie, vom Betriebsstrom des Apparates in Parallelschaltung durchflossen werden.

2. Ausführungsform.

293760. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 17. 8. 15. 29. 8. 16.

Mehrphasiger Gleichrichter mit Glühkathode.

1. Mehrphasiger Gleichrichter mit Glühkathode und hohem Vakuum, dadurch gekennzeichnet, daß die als Hohlzylinder ausgebildeten, die Kathode umgebenden Anoden dicht nebeneinander angeordnet sind.

2. Mehrere parallelgeschaltete Glühkathoden, von denen jede von Anodenzylindern umgeben ist.

3. An verschiedene Phasen des Wechselstromes angeschlossen.

4. und 5. Weitere Ausführungsformen.

294251. Franz Joseph Koch in Dresden. 12. 12. 15. 20. 9. 16.

Glühkathodenvakuummöhre.

Glühkathodenvakuummöhre, gekennzeichnet durch eine mehrteilige unter Anschluß oder Herabdrückung der Feldwirkung mit Drehstrom zu beheizende Glühkathode.

295023. Dr. Bruno Donath in Berlin-Friedenau. 6. 2. 15. 28. 10. 16.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode. Zusatz zum Patent 279028.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode nach dem Patent 279028, dadurch gekennzeichnet, daß der die Metallverbindungen enthaltende Behälter aus einer Anzahl einander nicht berührender Windungen von Draht oder Band besteht.

295395. Dr. Bruno Donath in Berlin-Friedenau und Dr. Arthur Partzsch in Berlin-Karlshorst. 21. 3. 15. 21. 11. 16.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und den Kathodenfall herabsetzenden Metallverbindungen.

1. Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und den Kathodenfall herabsetzenden Metallverbindungen, dadurch gekennzeichnet, daß diese Metallverbindungen als Pulver, Körner, Stifte oder sonst geeignete Körper an der Kathode anliegen.

2. Einrichtungen, um die Metallverbindungen der Kathode nach Maßgabe des Verbrauches zuzuführen.

297425. Dr. Bruno Donath in Berlin-Friedenau. 4. 2. 15. 19. 4. 17.

Ventilröhre mit Wehneltkathode und mehreren Anoden.

Ventilröhre mit Wehneltkathode und mehreren Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Kathode und jeder der Anoden ein aus isolierendem Material bestehender Körper derart angebracht ist, daß keiner der von der Kathode in gerader Richtung ausgehenden Strahlen die Anoden treffen kann, zwecks Verhinderung des Spannungsausgleiches zwischen den Anoden.

298431. Dr. Bruno Donath in Berlin-Friedenau und Dr. Arthur Partzsch in Berlin-Karlshorst. 11. 5. 15. 7. 7. 19.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und einem Vorrat von den Kathodenfall herabsetzenden Stoffen in Form von Pulvern, Körnern, Stiften oder sonst geeigneten Körpern. Zusatz zum Patent 295395.

1. Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und einem Vorrat von den Kathodenfall herabsetzenden Stoffen in Form von Pulvern, Körnern, Stiften oder sonst geeigneten Körpern nach Patent 295395, gekennzeichnet durch eine Einrichtung, vermöge welcher auf der Kathode durch dauernde gleichmäßige Sublimation des Vorrates eine dünne Schicht dieser Stoffe erzeugt wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

303274. Dr. Werner Germershausen in Leipzig. 16. 3. 17. 30. 7. 19.

Glühkathode für Entladungsröhren.

Glühkathode für Entladungsröhren bestehend aus einem leitenden, chemisch unangreifbaren Material von hohem Schmelzpunkt, z. B. Iridium, welches vom

Heiz- und Entladungsstrom durchflossen wird, und aus einem Metall von hoher Elektronenemission, z. B. Wolfram, welches mit dem ersten Material in leitender Verbindung stehend von ihm beheizt und vom Entladungsstrom durchflossen wird.

303322. Johannes Nienhold in Berlin. 31. 3. 15. 25. 8. 19.

Verfahren zum Betrieb von Entladungsgefäßen mit Glühkathode. Verfahren zum Betrieb von Entladungsgefäßen mit Glühkathode, die Elektronen aussenden soll, dadurch gekennzeichnet, daß die z.B. durch Berührung mit einer Anode nach Art der Bogenlampenzündung oder durch Wärmestrahlung oder -leitung nach Art der Zündung des Nernstbrenners zum Glühen gebrachte Kathode durch Anwendung hoher Stromstärken von dem Entladungsvorgang selbst in Glut erhalten wird, und zwar unmittelbar durch die auf der Kathode aufprallenden positiven Ionen, mittelbar durch die auf die Kathode geleitete oder gestrahlte Wärme, die durch den Entladungsvorgang im Gase oder an der Anode erzeugt wird.

304347. Accumulatoren-Fabrik A.G. in Berlin. 27. 8. 15. 9. 9. 19.

Entladungsröhre mit glühender Kathode.

1. Entladungsröhre mit glühender Kathode gekennzeichnet durch Füllung der Röhre mit Edelgasen, insbesondere Argon, bei gleichzeitiger Anordnung einer Wehneltkathode.

2. Entladungsröhre mit glühender Kathode gekennzeichnet durch hohen, bis einige cm Hg betragenden Druck der Gasfüllung.

306775. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 16. 8. 17. 13. 7. 18.

Schaltungsanordnung für Hochspannungsgleichrichter.

Schaltungsanordnung für Hochspannungsgleichrichter, die aus einer Entladungsröhre mit einer Glühkathode und zwei Anoden bestehen, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung zwischen der Kathode und den beiden Anoden zwecks Ausgleichung der Asymmetrie der beiden Elektrodenentfernungen verschieden groß ist.

(Die verschiedenen Elektrodenentfernungen sind bei der Fabrikation unabhängig entstanden.)

307723. Dr. Werner Germershausen in Leipzig. 23. 5. 17. 15. 10. 19.

Entladungsröhre mit Glühkathode, insbesondere Wehneltkathode.

Entladungsröhre mit Glühkathode, insbesondere Wehneltkathode, gekennzeichnet durch ihre Füllung mit Edelgasen von  $\frac{1}{10}$  mm bis einigen cm Druck Quecksilbersäule in Verbindung mit den Dämpfen elektronegativer Stoffe, insbesondere Jod.

308487. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 15. 2. 18. 18. 6. 20.

Entladungsröhre mit zwei oder mehreren durch Füße eingeführten Elektroden.

1. Entladungsröhre mit zwei oder mehreren durch Füße eingeführten Elektroden, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Elektroden mit einem der beiden Füße fest verbunden und an dem anderen Fuße gegen seitliche Ausbiegung gesichert geführt ist.

2. und 3. Weitere Ausführungsformen.

309526. Accumulatoren-Fabrik A.G. in Berlin. 29. 2. 16. 27. 11. 18.

Verfahren und Vorrichtung zur Einleitung des Stromdurchganges bei Entladungsröhren mit glühender Kathode.

1. Verfahren und Vorrichtung zur Einleitung des Stromdurchganges bei Entladungsröhren mit glühender Kathode und mindestens zwei Anoden, welche mit den Enden eines Wandlers oder Spannungsteilers verbunden sind, während die Kathode über den Verbrauchskreis an die Mitte des Wandlers oder Spannungsteilers angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, daß von zwei vorhandenen Anoden eine, von drei Anoden eine oder zwei mit der Kathode über einen Widerstand, der gegebenenfalls mit der Sekundärspule eines Zusatztransformators in Reihe ge-

schaltet ist, verbunden werden, und hierauf der Anschluß der Elektroden an die Stromquelle und danach Abschaltung des Widerstandes erfolgt.

2. Eine oder mehrere der Anoden dauernd über einen hohen Widerstand mit der Kathode verbunden.

310712. Dr. Franz Skaupy in Berlin. 18. 6. 18. 23. 10. 19.

Glühkathode für Entladungsröhren.

Glühkathoden für Entladungsröhren, die aus einem mit die Elektronenemission befördernden Stoffen versehenen Träger bestehen (Wehneltkathode), dadurch gekennzeichnet, daß der Träger des die Elektronenemission befördernden Stoffes aus Osmium besteht.

313525. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 11. 6. 16. 14. 7. 19.

Gleichrichteranlage mit Wechselstromtransformator und Hochspannungsventilröhren.

1. Gleichrichteranlage mit Wechselstromtransformator und Hochspannungsventilröhren, dadurch gekennzeichnet, daß der Transformator und die Ventilröhren in ein gemeinsames mit nur einer Hochspannungsdurchführung versehenes Gehäuse eingebaut sind.

2. Gemeinsames Ölbad für Transformator und Ventilröhren.

3. Hilfswicklung auf dem Transformator zur Speisung von Hilfsstromkreisen der Ventilröhren.

314971. Dr. Bruno Donath in Berlin-Friedenau und Dr. Arthur Partzsch in Berlin-Karlshorst. 27. 3. 18. 16. 10. 19.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und den Kathodenfall herabsetzenden Metallverbindungen. Zusatz zum Patent 295395.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und den Kathodenfall herabsetzenden Metallverbindungen nach Patent 295395, gekennzeichnet durch eine besondere Glühkathode, welche in den die Metallverbindungen enthaltenden Behälter aus leitendem oder nichtleitendem Stoffe eingeführt ist.

315990. Dr. Werner Germershausen in Berlin-Schöneberg und Dr. Arthur Partzsch in Berlin-Karlshorst. 8. 7. 17. 17. 11. 19.

Kathode für dampf- oder gasgefüllte Entladungsröhren.

1. Kathode für dampf- oder gasgefüllte Entladungsröhren, bestehend aus einem mit der Stromzuführung verbundenen Leiter aus in der Hitze Elektronen nicht aussendendem Stoffe und aus einem in dessen unmittelbarer Nähe, aber isoliert angeordneten, mit einer freien Fläche ihm zugewendeten Vorrat aus einem bei niedrigerer Temperatur als der Leiter verdampfenden, eine feste Masse bildenden Metall.

2. Der Metallvorrat umschließt die Kathode ringförmig.

3. Der Metallvorrat umschließt die Kathode röhrenförmig.

316042. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 23. 4. 18. 18. 11. 19.

Vakuurröhre mit Glühkathode.

Vakuurröhre mit Glühkathode, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Elektroden gleichgebaut und symmetrisch angeordnet sind, so daß auch die als Anoden wirkenden Elektroden durch Vertauschen der Polarität beliebig als Glühkathode betrieben werden können, ohne daß dadurch in der Gesamtanordnung etwas geändert wird. (Wenn eine Glühkathode durchgebrannt ist, soll die Polarität vertauscht werden.)

318546. Firma C. H. F. Müller in Hamburg. 23. 5. 17. 30. 1. 20.

Ventilanordnung zum Gleichrichten von hochgespanntem Wechselstrom.

1. Ventilanordnung zum Gleichrichten von hochgespanntem Wechselstrom mit einer Glühkathode im Hochvakuum und einem in deren Nähe angeordneten positiv geladenen Schutzkörper (Gitter), dadurch gekennzeichnet, daß die positive Ladung des Schutzkörpers während der Arbeitsperiode des Ventiles durch eine in Phase und Frequenz mit dem Hochspannungsstrom übereinstimmende Wechselspannung erzeugt wird.

2. und 3. Ausführungsformen.

323205. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 11. 3. 13. 17. 7. 20.

Entladungsrohr.

Entladungsrohr, bei dem ein Gas als Träger des Stromes dient, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit des Rohres durch Stickstoff bewirkt wird, und zwar mit Hilfe einer Elektrode aus einem Metall, vorzugsweise Tantal, das das Mehrfache seines Eigenvolumens an Stickstoff bindet und bei Erwärmung wieder abgibt.

323206. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 24. 5. 16. 17. 7. 20.

Glühkathode für Vakuumapparate.

1. Glühkathode für Vakuumapparate, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode und sonstige zu ihr gehörenden glühenden Körper im Inneren eines nach Art eines schwarzen Körpers glühenden Hohlkörpers angeordnet sind, der mit Durchtrittsöffnungen für die Elektronen versehen ist.

2. Körper mit feuerfestem Material ausgekleidet.

3. Ausführungsform.

323494. Studien-Gesellschaft für elektrische Leuchtröhren m. b.H in Berlin. 3. 11. 17. 26. 7. 20.

Verfahren zur Herstellung von Elektroden aus Leichtmetallen oder deren Legierungen unter sich oder mit anderen Metallen in Entladungsröhren.

1. Verfahren zur Herstellung von Elektroden aus Leichtmetallen oder deren Legierungen unter sich oder mit anderen Metallen in Entladungsröhren, dadurch gekennzeichnet, daß leicht zersetzbare, diese Metalle liefernde Verbindungen oder Reaktionsgemische in den Röhren selbst oder in mit diesen in Verbindung stehenden Gefäßen zersetzt werden.

2. Azide.

3. Die Metalle werden durch ungleiche Erhitzung der einzelnen Teile des Entladungsgefäßes an die gewünschte Stelle gebracht.

4. Das mit dem Leichtmetall zu legierende andere Metall wird vor Ausführung der Reaktion angebracht.

5. Salze des zu bildenden Metalles in Mischung mit dem Azid.

325497. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 18. 3. 15. 10. 9. 20.

Gleichrichter mit Glühkathode und in geringem Abstände von ihr angeordneter Anode.

Gleichrichter mit Glühkathode und in geringem Abstände von ihr angeordneter Anode, dadurch gekennzeichnet, daß die Anode mit Austrittsöffnungen für die Elektronen versehen und daß eine zweite Anode in größerem Abstände von zweckmäßig etwas höherem Potentiale angeordnet ist. (Der Zweck ist die Verringerung der Raumladung.)

326311. Dr. Bruno Donath in Berlin Friedenau und Dr. Arthur Partzsch in Berlin-Karlshorst. 27. 5. 17. 20. 3. 20.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und einem Vorrat den Kathodenfall herabsetzender Metallverbindungen. Zusatz zum Patent 295395.

Elektrische Entladungsröhre mit glühender Kathode und einem Vorrat den Kathodenfall herabsetzender Metallverbindungen, welche als Pulver, Körner, Stifte oder sonst geeignete Körper an oder nahe der Kathode liegen, nach Patent 295395, dadurch gekennzeichnet, daß die Sublimation des den Kathodenfall herabsetzenden Vorrates ohne jegliche Fremdbeheizung der Kathode lediglich durch den Entladungsstrom eingeleitet und aufrechterhalten wird.

330371. Dr. Julius Edgar Lilienfeld in Leipzig. 10. 7. 19. 13. 12. 20. Glühkathodenventil.

1. Glühkathodenventil, dadurch gekennzeichnet, daß die Glühlampe in einer Glaskugel, die Anode aber innerhalb eines verjüngten, an die Glaskugel angesetzten Glasrohres derartig angeordnet ist, daß die die Windungen des Glühdrahtes enthaltende Ebene eine Symmetrieebene des ganzen Ventiles ist.

2. Die Glühlampe erhält eine derartige Ausgestaltung, daß um den Glühdraht ein ihn in der Windungsebene elektrostatisch abschirmender metallischer Rahmen liegt und das Kraftlinienfeld sowohl wie die Entladungsbahn symmetrisch zu der die Drahtwindungen enthaltenden Ebene um diese Abschirmung herumgreift.

337581. Dr. Bruno Donath in Berlin-Schöneberg. 10. 3. 20. 4. 6. 21.

Verfahren zum Betrieb von Gleichrichtern mit Gasfüllung in intermittierenden Betrieben.

Verfahren zum Betrieb von Gleichrichtern mit Gasfüllung in intermittierenden Betrieben, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichrichter auch in den Pausen von einem zur Aufrechterhaltung des niedrigen Kathodenfalles ausreichenden Strom durchflossen wird. (Weil die Lebensdauer von Gleichrichtern bei intermittierendem Betrieb geringer ist als bei Dauerbetrieb.)

342909. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 11. 6. 16. 25. 10. 21.

Hochspannungsvakuumpapparat für Starkstrombetrieb.

1. Hochspannungsvakuumpapparat für Starkstrombetrieb mit Gefäß aus nichtleitendem Material und koaxial einander umschließenden Elektroden, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Gefäß im Innern durch einen die Hochspannungselektroden umgebenden Schutzschirm aus elektrisch leitendem Stoffe vor der Ausbildung des von der äußeren Elektrode ausgehenden statischen Feldes und damit vor der Zerstörung geschützt wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

345680. Dr. Erich F. Huth G.m.b.H. und Arthur Gleichmann in Berlin. 3. 10. 19. 16. 12. 21.

Verfahren zur Herstellung Wehneltischer Oxydkathoden, insbesondere für Gleichrichter.

Verfahren zur Herstellung Wehneltischer Oxydkathoden, insbesondere für Gleichrichter, mit einem Träger aus Wolfram, dadurch gekennzeichnet, daß ein mit einer Paste aus Ca-, Ba- oder einem ähnlichen Oxyde bestrichener Wolframfaden in einer sauerstofffreien Atmosphäre ausgeglüht wird.

367626. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 7. 6. 16. 25. 1. 23.

Gleichrichter mit Glühkathode und Glasgefäß.

1. Gleichrichter mit Glühkathode und Glasgefäß, dadurch gekennzeichnet, daß die Anode zum Zwecke ihrer wirksamen Kühlung und dadurch erzielbaren höheren Belastbarkeit aus einer die Wand des Glasgefäßes unmittelbar berührenden, wärmeableitenden steifen Metallschicht besteht.

2. Ausführungen.

406829. Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 5. 7. 18. 5. 12. 24.

Hochspannungsvakuumpapparat mit einem Gefäß aus nichtleitendem Material und einer Hülle aus elektrisch leitendem Stoffe nach Patent 342909. Zusatz zum Patent 342909.

Verschiedene weitere Ausführungsformen.

414671. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 15. 9. 23. 9. 6. 25.

Einrichtung zur Erzeugung gleichgerichteten Stromes aus Wechselstrom mittels Glühventilröhren.

1. Einrichtung zur Erzeugung gleichgerichteten Stromes aus Wechselstrom mittels Glühventilröhren, die in Reihe mit einem betriebsmäßig einen größeren Teil der Spannung als die Ventilröhre aufnehmenden Stromverbraucher geschaltet sind, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Anode der Ventilröhre oder der Ventilröhren eine Temperaturmeßanordnung in leitender Verbindung steht, welche eine unzulässige Anodentemperatur zur Anzeige bringt, die durch eine beim Unterschreiten der Mindesttemperatur der Kathode eintretende Spannungserhöhung hervorgerufen wird.

2. bis 6. Ausführungsformen.

415861. N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (Holland). 31. 7. 23. 1. 7. 25.

Anordnung zum Gleichrichten von Wechselstrom mittels eines oder mehrerer Glühkathodengleichrichter, deren Glühdraht durch Wechselstrom geheizt wird.

1. Anordnung zum Gleichrichten von Wechselstrom mittels eines oder mehrerer Glühkathodengleichrichter, deren Glühdraht durch Wechselstrom geheizt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundschwingung der Entladeströme und die Ströme durch die Glühfäden um  $90^\circ$  oder annähernd  $90^\circ$  in der Phase verschoben sind.

2. Ausführung für Drehstromsysteme.

416775. Marius Latour in Paris. 15. 10. 22. 29. 7. 25.

Anordnung zur Gleichrichtung von mehrphasigem Wechselstrom, bei welcher jede Phase einerseits an die Anode, andererseits an die Kathode verschiedener Gleichrichter angeschlossen ist.

Anordnung zur Gleichrichtung von mehrphasigem Wechselstrom, bei welcher jede Phase einerseits an die Anode, andererseits an die Kathode verschiedener Gleichrichter angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärwicklung des Speisetransformators als Polygon geschaltet ist und daß jede Ecke des Polygons einerseits an die Anode, andererseits an eine Kathode verschiedener Gleichrichter angeschlossen ist.

424934. Société Anonyme pour l'Exploitation des Procédés Maurice Leblanc-Vickers in Paris. 7. 1. 21. 8. 2. 26.

Glühkathodenröhre für größere Leistungen zur Umformung von  $n$ -phasigem Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt.

1. Glühkathodenröhre für größere Leistungen zur Umformung von  $n$ -phasigem Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt, die mit einer zylindrischen, durch Strahlung erwärmten Glühkathode versehen ist und  $2n$ -Anoden besitzt, dadurch gekennzeichnet, daß die Anoden eine die Glühkathode konzentrisch umgebende, durch  $2n$  parallel zur Achse der Glühkathode verlaufende Schlitze unterteilte Zylinderfläche bilden.

2. Zwischen Glühkathode und jeder Anode eine Gitterelektrode. Gitterelektroden über Schleifbürsten mit einem drehbaren Kommutator verbunden, so daß die Gitter bei Drehung des Kollektors abwechselnd positiv oder negativ geladen werden.

426095. Firma Viefra-Werke A.G. und Hubert Kress in Frankfurt a. M. 31. 8. 23. 5. 3. 26.

Glühkathodenventil mit zwei in einer Röhre vereinigten Ventilen.

1. Glühkathodenventil mit zwei in einer Röhre vereinigten Ventilen, die aus je einer Glühkathode und einer Anode bestehen, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kathode des einen mit einer Anode des anderen Ventiles baulich vereinigt ist und daß diese beiden Elektroden derart zueinander angeordnet sind, daß die Kathode nicht von Elektronen getroffen wird, wenn die Anode arbeitet.

2. Zwischen der Glühkathode des einen und der Anode des anderen Wechselstromkreises ist eine Wand angeordnet.

426303. Firma Siemens-Schuckert-Werke G.m.b.H. in Siemensstadt bei Berlin. 26. 3. 16. 8. 3. 26.

Vakuuapparat mit Ventilwirkung für Hochspannungen.

1. Vakuuapparat mit Ventilwirkung für Hochspannungen mit zylinderförmiger Anode und band- oder stabförmiger Glühkathode in der Zylinderachse, dadurch gekennzeichnet, daß durch Unterbrechungsstellen der Anode Befestigungsmittel für die Kathode hindurchtreten, die sie gegen die bei Hochspannung auftretenden starken elektrostatischen Kräfte abstützen.

2. Die zylinderförmige Anode ist in achsial in Abständen voneinander an-

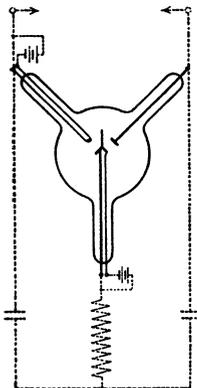


Abb. 279.

geordnete Zylinder unterteilt, durch deren Zwischenräume die Befestigungsmittel der Kathode hindurchtreten.

427743. International General Electric Company Inc. in New York (V.St.A.). 21. 11. 24. 17. 4. 26.

Kathode für elektrische Entladungsvorrichtungen.

1. Kathode für elektrische Entladungsvorrichtungen, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus größeren massiven Körpern besteht, die durch geeignete Stützen in einem derart lockeren Kontakt miteinander gehalten werden, daß die Berührungsstelle hohen elektrischen Übergangswiderstand besitzt.

2. Die Körper haben knopfförmige oder zylinderförmige Gestalt und werden durch federnde Stützen von geringem Querschnitt in Berührung miteinander gehalten.

437549. International General Electric Company Inc. in New York (V.St.A.). 17. 10. 23. 24. 11. 26.

Elektrische Entladungsröhre, die eine Glühkathode und eine oder mehrere kalte Elektroden und eine verdampfbare elektropositive Substanz besitzt.

1. Elektrische Entladungsröhre, die eine Glühkathode und eine oder mehrere kalte Elektroden und eine verdampfbare elektropositive Substanz besitzt, dadurch gekennzeichnet, daß diese verdampfbare Substanz aus Caesium besteht, das in diese Vorrichtung nach weitgetriebener Entleerung eingeführt wird.

2. Die Röhre wird auf einer solchen Temperatur gehalten, daß der Dampfdruck des Caesiums so hoch ist, daß eine merkliche Ionisation hervorgerufen und dadurch die Raumladung in der Röhre herabgesetzt wird.

440044. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 10. 10. 15. 31. 1. 27.

Gleichrichter mit Glühkathode aus Wolfram.

1. Gleichrichter mit Glühkathode aus Wolfram oder einem anderen Metalle, das eine Temperatur von wenigstens 2000° C verträgt, gekennzeichnet durch die Füllung mit Stickstoff, Argon oder Quecksilberdampf von derart hohem Gasdruck (einige Millimeter bis einige Zentimeter Hg), daß die Zerstäubung der Kathode verhütet oder wesentlich verringert wird.

2. Dem Quecksilberdampf wird eines der anderen Gase zugesetzt.

3. Anode aus Quecksilber.

442275. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 19. 9. 16. 25. 3. 27.

Gleichrichter bestehend aus einem Entladungsgefäß mit Glühkathode. Zusatz zum Patent 440044.

Gleichrichter bestehend aus einem Entladungsgefäß mit Glühkathode, dadurch gekennzeichnet, daß eine Hilfselektrode, z. B. ein elektrisch geheizter Glühdraht, derart angeordnet und geschaltet ist, daß ein zwischen ihr als Kathode und der Hauptkathode als Anode vorübergehend beim Zünden oder dauernd arbeitender Hilfslichtbogen die Hauptanode zum Glühen bringt.

442276. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 19. 9. 16. 29. 3. 27.

Gleichrichter bestehend aus einem Entladungsgefäß mit Glühkathode. Zusatz zum Patent 440044.

1. Gleichrichter bestehend aus einem Entladungsgefäß mit Glühkathode, dadurch gekennzeichnet, daß die Glühkathode einen Kopf von verhältnismäßig großer Masse besitzt.

2. Der als Stiel ausgebildete Träger der Glühkathode ist nahe dem Kathodenkopf eingeschnürt.

3. Ein als Zündelektrode dienender Glühfaden ist mit dem Träger der Kathode nahe dem Kathodenkopf leitend verbunden.

4. Der Kathodenkopf ist zugespitzt.

443323. N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Eindhoven (Holland). 12. 12. 23. 26. 4. 27.

Verfahren zur Herstellung von Oxydkathoden.

1. Verfahren zur Herstellung von Oxydkathoden, bei welchem auf einen metallischen Trägerkörper Erdalkalimetalle aufgebracht und alsdann oxydiert werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Trägerkörper oder seine Oberfläche aus einem mit dem Erdalkalimetall legierbaren Metall hergestellt und nach dem Aufbringen des Erdalkalimetallüberzuges auf eine Temperatur erhitzt wird, bei der sich das Erdalkalimetall mit dem Metall des Trägerkörpers legiert.

2. bis 6. Ausführungsformen.

447580. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 10. 11. 22. 27. 7. 27.

Wehneltkathode.

1. Wehneltkathode, insbesondere für Verstärkeröhren, Schwingungsrohren, Gleichrichter und Röntgenrohren, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger der Oxydschicht aus einer Metallchromlegierung besteht.

2. Chromnickel, Chromeisen oder Chromnickeleisen.

3. Chrom ist der Unterschicht des Erdalkalioxydüberzuges beigemischt.

### 200. Gruppe 14. Metaldampfgleichrichter.

157642. Peter Cooper Hewitt in New York (V. St. A.). 19. 12. 02. 2. 1. 05. Gleichrichter für Wechselstrom.

1. Gleichrichter für Wechselstrom, gekennzeichnet durch ein geschlossenes Gefäß mit mindestens zwei Elektroden, von denen die negative aus Quecksilber oder Äquivalenten (wie Na, K usw.) besteht, so daß das Gefäß einen elektrischen Dampfweg nach Art der Cooper-Hewitt-Lampe aufweist.

2. Zur Aufrechterhaltung der Polarität wird eine Gleichstromquelle benutzt.

3. In dem mit Gasen oder Dämpfen gefüllten Behälter ist eine Mehrheit von positiven Elektroden, welche an die verschiedenen Phasenleitungen eines Mehrphasensystems angeschlossen sind, vorhanden.

4. Eine der positiven Elektroden liegt mit dem positiven Pol einer Gleichstromquelle und der positive Pol dieser mit der negativen Elektrode der Vorrichtung verbunden, zum Zwecke der Verwendung der Vorrichtung bei Einphasenströmen.

186595. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 14. 7. 06. 21. 5. 07.

Gleichrichter mit gas- oder dampfförmigem Leiter. Zusatz zum Patent 160071.

1. Gleichrichter mit gas- oder dampfförmigem Leiter, gekennzeichnet durch ein in den Behälter eingesetztes, die negative Flamme und ihre schädlichen Strahlungen von den Anoden abhaltendes Schutzrohr.

2. Einschnürung am unteren Ende der Kühlkammer, so daß das aus letzterer herabfallende Quecksilber nur innerhalb des Schutzrohres fallen kann.

221490. The Westinghouse Cooper Hewitt Company Limited in London. 31. 12. 08. 30. 4. 10.

Transformator für elektrische Dampfapparate mit teilweise gemeinschaftlicher Wicklung für die primären und sekundären Stromkreise des Transformators.

1. Transformator für elektrische Dampfapparate mit teilweise gemeinschaftlicher Wicklung für die primären und sekundären Stromkreise des Transformators,

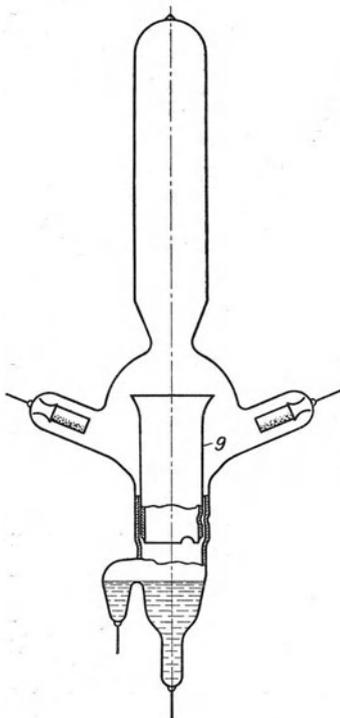


Abb. 280.

dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die primären als auch die sekundären Kreise Wicklungen enthalten, welche nicht beiden Kreisen gemeinsam sind, und daß für diese Wicklungen magnetische Streuwege vorgesehen sind, zu dem Zwecke, die Regelung und Stromaufrechterhaltung für den Gleichrichter durch den Transformator allein zu bewirken.

2. und 3. Ausführungsformen.

225497. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 2. 12. 09. 13. 9. 10.

Gasdichte Elektrodeneinführung.

1. Gasdichte Elektrodeneinführung für Großgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß zwecks luftdichten Abschlusses Dichtungen aus Leder, Asbest oder Gummi in Vereinigung mit Quecksilberdichtungen zur Verwendung gelangen.

2. bis 4. Ausführungsformen.

230938. Westinghouse Electric Company Limited in London. 20. 1. 10. 10. 2. 11.

Elektrische Verdampfvorrichtung, bei welcher das Anlassen durch Kippen des Behälters mittels eines Anlaßmagneten geschieht.

1. Elektrische Verdampfvorrichtung, bei welcher das Anlassen durch Kippen des Behälters mittels eines Anlaßmagneten geschieht, dadurch gekennzeichnet, daß der Anlaßmagnet eine Spule hat, die sich der Wirkung der Arbeitsspule oder -spulen entgegensetzt und die nur wirksam ist, wenn der Behälter gekippt ist, so daß sie die Wirkung der Arbeitsspule neutralisiert oder schwächt und infolgedessen die Zurückführung des Apparates in die Ruhelage hervorbringt.

2. und 3. Ausführungsformen.

234145. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 3. 6. 10. 1. 5. 11.

Einrichtung bei Metalldampfapparaten.

1. Einrichtung bei Metalldampfapparaten, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Kathode und zu ihrer Erregung gehörenden Bestandteile zu einem gemeinsamen, von dem übrigen Vakuumgefäß trennbaren System vereinigt sind.

2. Der Kathodenbehälter weist gleichzeitig auch die Einführung der Hauptanode auf.

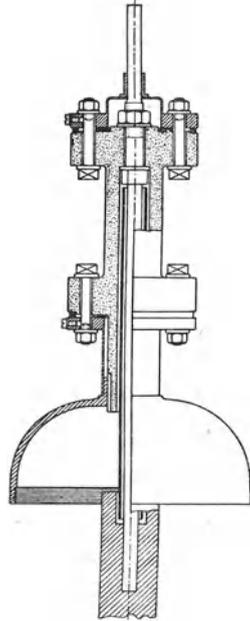


Abb. 281.

### Erstes Großgleichrichterpatent!

235268. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 25. 11. 10. 3. 6. 11.  
Gasdichte Elektrodeneinführung. Zusatz zum Patent 225490.

1. Gasdichte Elektrodeneinführung, dadurch gekennzeichnet, daß Dichtungen aus festem Metall in Verbindung mit oder zum Ersatz von nachgiebigen Dichtungen wie Asbest u. dgl. in Vereinigung mit Quecksilber zur Anwendung gelangen.

2. Leicht amalgamierfähige Metalle.

237059. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 11. 11. 10. 20. 1. 11.  
Metalldampfgleichrichter.

Metalldampfgleichrichter, dessen Hauptanode zur Vermeidung unzeitgemäßer Stromübergänge mit einer elektrisch leitenden Schutzhülle umgeben ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Schutzhülle mit der Hauptanode über einen großen Widerstand verbunden ist, zu dem Zwecke, bei einem etwa stattfindenden Ausgleich zwischen Schutzhülle und Kathode den entstehenden Strom unschädlich zu machen.

240326. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 15. 12. 10. 31. 10. 11.

Einrichtung zur Verhinderung innerer Entladungen in Metalldampfgleichrichtern.

Schutzhüllen aus parallelen Stäben.

240440. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 4. 2. 11. 4. 11. 11.  
Anordnung von Schutzwänden in Metalldampfgleichrichtern  
mit Metallgefäßen.

Ineinandergeschachtelte Schutzwände.

242049. Hartmann & Braun A.G. in Frankfurt a. M. 10. 8. 10. 20. 12. 11.  
Einführung von Elektroden in Metallgefäße.

Vermeidung organischer Dichtungsstoffe. Als Doppelkonus ausgebildeter Iso-  
lator mit vorgelagerten Quecksilberschichten.

245940. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 4. 3. 10.  
20. 4. 12.

Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß der die Ge-  
häusewand durchsetzende Stromzuführungsdraht für die Anode oder Hilfsanode  
außerhalb der gegen die Gehäusewand vorgesehenen Abdichtungsanordnung  
noch mit einer besonderen Kühlvorrichtung versehen ist, zu dem Zwecke, aus der  
Stromzuführungsleitung Wärme abzuleiten, bevor sie zur Dichtungsstelle gelangt.

2. Der Draht durchsetzt die Gehäusewand in einer Stopfbüchse.

3. Zwischen einzelne Teile der Dichtung sind Asbestscheiben gepreßt.

246172. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 11. 8. 10.  
25. 4. 12.

Gasdichter Verschluß für Metalldampfapparate mit Quecksilber-  
dichtung.

1. Gasdichter Verschluß für Metalldampfapparate mit Quecksilberdichtung,  
dadurch gekennzeichnet, daß der mit dem Gefäß fest verbundene Flansch in einigem  
Abstande von der Gefäßmündung angebracht und der über den Flansch hinaus-  
ragende Teil des Gefäßes in den Verschluß versenkt ist.

2. Ausführungsform.

249197. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 9. 9. 11.  
13. 7. 12.

Einrichtung zum Parallelschalten mehrerer Wechselstromlicht-  
bögen in Vakuumgefäßen.

1. Einrichtung zum Parallelschalten mehrerer Wechselstromlichtbögen in  
Vakuumgefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß in den parallelgeschalteten Strom-  
zweigen Wicklungselemente der Wechselstromquelle enthalten sind.

2. bis 4. Ausführungsformen.

254910. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 15. 5. 10.  
17. 12. 12.

Metalldampfgleichrichter, bei dem die Lichtbogenbasis durch  
ein auf der breiten Kathodenoberfläche besonders angebrachtes  
Isolierrohr begrenzt ist.

Metalldampfgleichrichter, bei dem die Lichtbogenbasis durch ein auf der  
breiten Kathodenoberfläche besonders angebrachtes Isolierrohr begrenzt ist, da-  
durch gekennzeichnet, daß das Begrenzungsrohr einerseits nur ein kurzes Stück  
über die Kathodenoberfläche hinausragt, so daß es der Ausbreitung des Licht-  
bogens auf dem ungleich größeren Teil seines Weges kein Hindernis bietet, anderer-  
seits aber derart eng bemessen ist, daß die Lichtbogenbasis auf eine bestimmte  
Stelle der Kathodenoberfläche festgelegt ist.

257373. Peter Cooper Hewitt in Ringwood Manor, New Jersey  
(V. St. A.). 11. 10. 11. 7. 3. 13.

Elektrischer Dampfapparat mit flüssiger Elektrode.

1. Elektrischer Dampfapparat mit flüssiger Elektrode, bei welchem in die  
Elektrode ein Körper von hoher Wärmeleitfähigkeit und von großem Volumen  
im Verhältnis zu dem der Elektrode ganz oder teilweise eintaucht, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß der obere Rand dieses Körpers über die Oberfläche der Elektrode vor-  
steht, so daß er einen langen Rand bildet zur Aufnahme und Zerstreuung der Be-  
rührungsfläche des Lichtbogens und der Elektrode.

2. Der vorspringende Rand besitzt Unterbrechungen.

3. bis 5. Weitere Ausführungsformen.

259020. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 3. 3. 11. 23. 4. 13.

Metалldampfgleichrichter mit mehreren von oben her in das Gefäß eingeführten Anoden.

1. Metалldampfgleichrichter mit mehreren von oben her in das Gefäß eingeführten Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß die von den aus dem Bereiche des Dampfstromes seitwärts zurückgedrückten Anoden ausgehenden Dampfstrahlen sämtlich durch besondere, in das Vakuumgefäß eingesetzte Leitwände, welche in ihrer Gesamtheit ein Sammelgefäß bilden, umfaßt und nach der abgegrenzten wirksamen Kathodenoberfläche hin abgeleitet werden.

2. bis 4. Ausführungsformen.

259119. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 2. 5. 12. 25. 4. 13.

Einrichtung zum Anlassen von Quecksilberdampfapparaten.

Einrichtung zum Anlassen von Quecksilberdampfapparaten zur Umbildung von Stromarten, wobei Selbsterregung und elektromagnetische Zündanoden vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß das zum Betätigen der Zündelektrode vorgesehene Solenoid zum Anschluß an einen vorhandenen Wechselstrom ausgebildet ist, während der Zündstrom selbst einer nur für die Zündenergie bemessenen Gleichstromquelle (z. B. einem oder zwei Trockenelementen) entnommen wird.

260240. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 1. 8. 12. 23. 5. 13.

Elektrodeneinführung für Metалldampfapparate größerer Leistungen mit Metallwänden.

1. Elektrodeneinführung für Metалldampfapparate größerer Leistung mit Metallwänden, dadurch gekennzeichnet, daß der zur Abdichtung und Isolierung des Stromleiters dienende Isolator in eine die Anode überdachende oder umhüllende Schirmwand fugenlos übergeht, so daß beide Teile ein gemeinsames Stück bilden.

2. bis 4. Ausführungsformen.

260951. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 13. 4. 12. 10. 6. 23.

Einrichtung bei Metалldampfapparaten mit aus mehreren trennbaren Teilen zusammengesetztem Vakuumgefäß.

1. Einrichtung bei Metалldampfapparaten mit aus mehreren trennbaren Teilen zusammengesetztem Vakuumgefäß, dadurch gekennzeichnet, daß behufs Vermeidung von Seitenarmen die Anoden durch einen ringförmigen Gürtel bzw. einen entsprechend abgesetzten Teil der Gefäßwand hindurch in das Vakuumgefäß eingeführt werden, so daß das Vakuumgefäß durch die Einführungszone im wesentlichen in einen unteren Dampfraum und in einen oberen Kondensationsraum geteilt wird.

2. Trennfuge in der Nähe des Gürtels.

263077. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 22. 10. 12. 29. 7. 13.

Gasdichter Verschuß für Metалldampfapparate mit Quecksilberdichtung. Zusatz zum Patent 246172.

1. Gasdichter Verschuß für Metалldampfapparate mit Quecksilberdichtung, dadurch gekennzeichnet, daß der in einer gewissen Entfernung von der Gefäßmündung angebrachte Flansch sich in der Richtung der Gefäßmündung über diese hinaus ausdehnt, so daß er im Verein mit dem Abschlußdeckel einen Hohlraum für die in dieser Richtung erforderliche Quecksilberdichtung liefert.

2. Besonderer Halteflansch zum Abdichten.

263076. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 22. 9. 12. 30. 7. 13.

Einrichtung zum Abdichten der Vakuumgefäße von Metалldampfgleichrichtern unter Benutzung von Flüssigkeitsdichtungen.

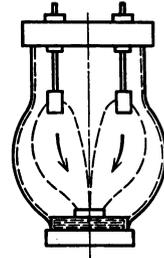


Abb. 282.

1. Einrichtung zum Abdichten der Vakuumgefäße von Metalldampfgleichrichtern, welche so hoch liegen, daß sie dem auf dem Gefäßboden liegenden Quecksilber nicht unmittelbar ausgesetzt sind, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Innenseite der festen Dichtung besondere Flüssigkeitsdichtungsgürtel angebracht sind zwecks Erzeugung eines die Saugwirkung des Hochvakuums herabsetzenden Gegendruckes an dieser Stelle.

2. Abgekürzter Barometerverschluß als Gegendruck.

3. und 4. Weitere Ausführungsformen.

264675. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim.  
27. 2. 13. 27. 9. 13.

Einrichtung zur Erhaltung des Vakuums in Metalldampfgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Erhaltung des Vakuums in Metalldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Vakuumgefäß und Luftpumpe ein Vakuumbehälter von größerem Volumen zwischengeschaltet ist, wodurch es möglich ist, das gesamte Luftpumpenaggregat oder Teile desselben auf längere Zeit abzustellen.

2. Reservoir zwischen Hochvakuumpumpe und Vorpumpe.

3. und 4. Ausführungsformen.

264681. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim.  
24. 9. 12. 27. 9. 13.

Einrichtung an Metalldampfgleichrichtern. Zusatz zu Patent 260951.

1. Einrichtung an Metalldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß die Wände des Anodengürtels zu Begrenzungswänden von Kühlräumen ausgebildet sind, während die Elektrodeneinführungsstellen nach außen frei liegen.

2. und 3. Ausführungsformen.

265596. Westinghouse Electric Company Limited in London. 30. 12. 11.  
13. 10. 13.

Anordnung für luftdichte isolierte Verbindung einer elektrischen Endklemme und eines Behälters.

Anordnung für luftdichte isolierte Verbindung einer elektrischen Endklemme und eines Behälters mit einer Isolierpackung um die Klemme, welche einen Sitz für einen Flansch besitzt und selbst auf das Gehäuse gesetzt ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Flansch der Klemme gegen den Sitz der Packung und die Packung gegen ihren Sitz auf dem Gehäuse mittels einer einzigen Mutter, welche in einem Vorsprung des Gehäuses eingeschraubt ist, gepreßt wird, zu dem Zwecke, die Endklemme von außen adjustieren zu können.

266717. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim.  
25. 10. 12. 31. 10. 13.

Gasdichte Elektrodeneinführung. Zusatz zum Patent 225497.

1. Gasdichte Elektrodeneinführung, dadurch gekennzeichnet, daß bei Verwendung von mehreren, durch dichtende Zwischenlagen von beliebigen Stoffen, wie z. B. Asbest, getrennten Quecksilberschichten diese zu Gürteln von verschieden großem Umfang bzw. Durchmesser ausgebildet sind und derart miteinander in Verbindung stehen, daß beim Eintreten einer Saugwirkung die inneren Quecksilbergürtel durch die äußeren Quecksilbergürtel selbständig nachgefüllt werden.

2. bis 5. Ausführungsformen.

267298. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim.  
3. 12. 11. 13. 11. 13.

Metalldampfgleichrichter mit mehreren außerhalb der Gefäßachse befindlichen Anoden.

1. Metalldampfgleichrichter mit mehreren außerhalb der Gefäßachse befindlichen Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Anoden oder Anodengruppen innerhalb oben und unten offener, durch Vertikalwände begrenzter Zellen angeordnet sind.

2. bis 5. Ausführungsformen.

268991. The Westinghouse Cooper Hewitt Company Limited in London. 4. 8. 11. 8. 1. 14.

Dichtung für elektrische Metalldampfapparate, insbesondere für Gleichrichter.

Dichtung für elektrische Metalldampfapparate, insbesondere für Gleichrichter, bei denen der Behälter teilweise aus Metall, teilweise aus nichtleitendem Material besteht, wobei die Verbindungsstellen der leitenden und nichtleitenden Teile des Behälters durch eine Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, abgedichtet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die äußeren Oberflächen der Dichtungsflüssigkeit einem Druck unterworfen werden, welcher geringer ist als der der Atmosphäre, zu dem Zwecke, das Eindringen des Dichtungsmaterials in den Behälter zu vermeiden.

272436. Westinghouse Electric Company Limited in London. 13. 2. 13. 31. 3. 14.

Quecksilberdampfgleichrichter mit Wasserkühlung.

Quecksilberdampfgleichrichter mit Wasserkühlung, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlwasser zuerst den Behälter des Gleichrichters umkreist und alsdann das Innere der hohlen Anode durchströmt, zu dem Zwecke, die Temperatur der Anode höher als die der übrigen Teile des Gleichrichters zu halten und dadurch eine Kondensation an der Anode zu vermeiden.

273234. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 1. 11. 13. 22. 4. 14.

Anodenanordnung für Quecksilberdampfapparate.

Anodenanordnung für Quecksilberdampfapparate, dadurch gekennzeichnet, daß die Einführung durch einen Vorraum erfolgt, der einerseits als Vorvakuum, andererseits als Kondensationsraum für das zur Kühlung der Anode benutzte Quecksilber dient, wobei der Vorraum vom Hauptraum durch heberartig wirkende mit Quecksilber gefüllte Rinnen abgesperrt ist.

274127. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 14. 11. 13. 12. 5. 14.

Dichtung für Quecksilberdampfapparate.

Dichtung für Quecksilberdampfapparate, gekennzeichnet durch einen oder mehrere Ringe aus Elektrolyteisen zwischen den Dichtungsflächen.

275895. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 21. 9. 13. 30. 6. 14.

Einrichtung zur Verhütung schädlicher Rückzündungen bei Metalldampfgleichrichtern.

Einrichtung zur Verhütung schädlicher Rückzündungen bei Metalldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere den Lichtbogen beeinflussende Magnete, welche einerseits vom Gleichrichterstrom oder von einer um  $90^\circ$  gegen den primären Wechselstrom phasenverschobenen Wechselstromspannung und andererseits von einem gegebenenfalls konstanten Strom gleichbleibender Richtung erregt werden, derart angeordnet sind, daß sie den Lichtbogenwiderstand für den Rückstrom erhöhen, während sie für den normal verlaufenden Gleichrichterstrom keine wesentliche Erhöhung des Lichtbogenwiderstandes bewirken.

277670. Dr.-Ing. Eugen Hartmann in Frankfurt a. M.-Bockenheim. 3. 3. 11. 16. 9. 14.

Metalldampfapparat zur Gleichrichtung von Wechselstrom.

Metalldampfapparat zur Gleichrichtung von Wechselstrom, bestehend aus einem Metallgefäß, in das von oben oder unten eine oder mehrere Anoden eingeführt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die von den festen, aus dem Bereich der Kathodenflamme seitwärts herausgerückten und in die Nähe der Gefäßwände verlegten Elektroden oder Anoden ausgehenden Dampfstrecken durch besondere, voneinander getrennte und passend gekrümmte Leitflächen nach der wirksamen Kathodenfläche geleitet werden.

280705. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 5. 7. 13. 26. 11. 14.

Quecksilberdampfgleichrichter, bei welchem die Anoden mit entsprechend großen Kühlkörpern verbunden sind.

1. Quecksilberdampfgleichrichter, bei welchem die Anoden mit entsprechend großen Kühlkörpern verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlkörper sich in einem vor der Einwirkung der Kathodenflammen geschützten Kühlraum im Gehäuse des Gleichrichters befinden.

2. bis 4. Ausführungsformen.

281415. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 6. 12. 13. 6. 1. 15.

Verfahren und Einrichtung zum Kühlen von Quecksilberdampfgleichrichtern.

1. Verfahren und Einrichtung zum Kühlen von Quecksilberdampfgleichrichtern, gekennzeichnet durch tropfenförmige Zuführung des Kühlmittels.

2. bis 4. Ausführungsformen.

284047. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 14. 6. 14. 3. 5. 15.

Dichtungsanordnung für Vakuumgefäße, insbesondere zur Abdichtung von Metallgefäßen und Elektrodeneinführungen für Metaldampfapparate.

1. Dichtungsanordnung für Vakuumgefäße, insbesondere zur Abdichtung von Metallgefäßen und Elektrodeneinführungen für Metaldampfapparate, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere Dichtungsflächen aus elektrolytischem, auf die zu dichtenden Teile niedergeschlagenem Metall bestehen.

2. Weicheres Metall.

3. Eisenniederschläge.

4. Metalle verschiedener Härtegrade.

5. In Verbindung mit Quecksilberdichtungen.

284124. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 5. 11. 13. 5. 6. 15.

Elektrisches Ventil.

1. Elektrisches Ventil, dadurch gekennzeichnet, daß neben einer Ventilwirkung durch verschiedene Elektroden noch eine Ventilwirkung durch die Form des Stromweges vorhanden ist.

2. Striktionsventile innerhalb der Schutzrohre, die Rückströmungen zu den Anoden verhindern.

287249. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 1. 1. 15. 20. 9. 15.

Einrichtung zur Regulierung der Stromabgabe von Elektroden an Metaldampfapparaten.

Einrichtung zur Regulierung der Stromabgabe von Elektroden an Metaldampfapparaten unter Verwendung eines magnetischen Feldes, das auf die Dampfstrecke einwirkt, dadurch gekennzeichnet, daß das Feld durch den Elektrodenstrom selbst erzeugt wird.

290103. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 1. 1. 15. 4. 2. 16.

Einrichtung zur Herabminderung der Rückschlagsgefahr bei Metaldampfgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Herabminderung der Rückschlagsgefahr bei Metaldampfgleichrichtern durch Gegenspannungen an den Dampfstrecken, dadurch gekennzeichnet, daß die Dampfstrecken selbst die Gegenspannungen steuern, so daß sie im untätigen Dampfkreis auftreten und im tätigen verschwinden.

2. bis 4. Ausführungsformen.

290367. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 3. 1. 14. 19. 2. 16.

Verfahren zur Herstellung von Metaldampfgleichrichtern und ähnlichen Vorrichtungen für große Leistungen.

1. Verfahren zur Herstellung von Metaldampfgleichrichtern und ähnlichen Vorrichtungen für große Leistungen, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Elektroden oder ein Teil derselben vor der Einsetzung in das eigentliche Vakuumgefäß einer hinreichenden Entlüftung unterworfen werden.

2. Entlüftung in einem Vakuumgefäß.

3. und 4. Ausführungsformen.

290487. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 26. 8. 13.  
1. 3. 16.

Anordnung zur magnetischen Beeinflussung eines Lichtbogens in einem Vakuummetallgefäß.

1. Anordnung zur magnetischen Beeinflussung eines Lichtbogens in einem Vakuummetallgefäß, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektromagnet derart angeordnet ist, daß eine elektromotorisch wirksame Durchsetzung der Metallwand mit Kraftlinien nahezu ganz vermieden wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

290488. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 5. 2. 14. 28.3.16.  
Verfahren zum magnetischen Steuern von Lichtbögen in Vakuumgefäßen.

Verfahren zum magnetischen Steuern von Lichtbögen in Vakuumgefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtbogen jeder Anode in einem für jede Anode besonderen, an sich bekannten Führungsrohr durch den Steuermagneten periodisch gedrosselt bzw. gelöscht wird, wobei jeder Lichtbogen von seiner Anode bis in das magnetische Feld hinein räumlich von dem anderen Lichtbogen getrennt geführt wird, damit ein Ausweichen nach der anderen Seite verhindert wird.

291711. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 16. 10. 13.  
8. 5. 16.

Quecksilberdampfapparat mit geheizter Anode.

1. Quecksilberdampfapparat mit geheizter Anode, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizung die Temperatur der Anode und gegebenenfalls auch deren Umgebung ungefähr auf der Höhe des Siedepunktes von Quecksilber unter Atmosphärendruck erhält.

2. Heizung nur im unbelasteten oder schwach belasteten Zustande.

3. bis 9. Einzelheiten und Ausführungsformen.

291881. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 16. 5. 15.  
12. 6. 16.

Einrichtung zur Heizung der Anoden von Quecksilberdampfgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Heizung der Anoden von Quecksilberdampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß die Anoden und gegebenenfalls auf ihnen angebrachte Schutzzyylinder durch Induktionswirkung geheizt werden.

2. Ausführungsform.

293590. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 13. 11. 13.  
14. 8. 16.

Vakuumdichte Elektrodeneinführung für Metaldampfgleichrichter, insbesondere großer Leistung.

1. Vakuumdichte Elektrodeneinführung für Metaldampfgleichrichter, insbesondere großer Leistung, dadurch gekennzeichnet, daß der Rand des Metallgefäßes aus einem Stoffe hergestellt ist, der den gleichen Ausdehnungskoeffizienten besitzt wie das die Elektrode elektrisch vom Metallgefäß trennende Isoliermaterial.

2. Aufgeschweißter Nickelstahlring und Porzellanring.

294327. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 2. 12. 15.  
2. 10. 16.

Anordnung des Kathodenbehälters in Metaldampfgleichrichtern.

Anordnung des Kathodenbehälters in Metaldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß der Kathodenbehälter einerseits mittels des an ihm sitzenden Stromzuführungsbolzens luftdicht und isolierend in das Außengefäß eingeführt ist, andererseits innerhalb des Hauptgefäßes gegen dieses isoliert und gegen verpflanzendes Quecksilber abgedichtet ist.

294506. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 7. 12. 15. 10. 10. 16.  
Mehrphasen-Metaldampfgleichrichter.

Mehrphasen-Metaldampfgleichrichter, dessen Anoden sich in Kammern mit umgebogenen Enden befinden, dadurch gekennzeichnet, daß die umgebogenen Enden wie die Schaufeln eines Schaufelrades alle im gleichen Sinne und um an-

nähernd den gleichen Betrag in ihrer Richtung von den betreffenden durch die Gefäßachse gehenden Radialebenen abweichen.

294762. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 23. 5. 15. 25. 10. 16.

Zündvorrichtung für Metaldampfapparate.

1. Zündvorrichtung für Metaldampfapparate, gekennzeichnet durch einen Zündstift, der an einer vom Zündstrom durchflossenen Spirale hängt und von ihr bewegt wird.

2. und 3. Ausführungsformen.

295825. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 28. 5. 16. 20. 12. 16.

Vorrichtung zum Kühlen von Vakuumgefäßen von Quecksilberdampfgleichrichtern oder ähnlichen elektrischen Dampfapparaten.

Vorrichtung zum Kühlen von Vakuumgefäßen von Quecksilberdampfgleichrichtern oder ähnlichen elektrischen Dampfapparaten, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Kühlung der Anoden verwandte Luft von der zur Kühlung des Kolbens verwandten getrennt geleitet wird, zu dem Zwecke, den Kolben des Glasgefäßes durch frische unerwärmte Luft zu kühlen und mit einer gegebenen Luftmenge ein Maximum von Kühlwirkung zu erreichen.

296963. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 5. 3. 15. 13. 3. 17.

Kathode für Metaldampfapparate.

Kathode für Metaldampfapparate, gekennzeichnet durch eine freie Fläche, auf welcher die Lichtbogenbasis zum ständigen Wandern durch Anordnung eines hierzu an sich bekannten Magnetfeldes gezwungen wird.

297002. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 4. 12. 15. 15. 3. 17.

Verfahren zur künstlichen Kühlung von Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen elektrischen Dampfapparaten.

Verfahren zur künstlichen Kühlung von Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen elektrischen Dampfapparaten, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Belastungsstrom beeinflusste Kühlvorrichtung außer Wirkung bleibt, so lange der Strom eine bestimmte Grenze noch nicht erreicht hat, und selbsttätig in Gang gesetzt wird, sobald diese Belastungsgrenze überschritten wird, zu dem Zwecke, den Wirkungsgrad des Gleichrichters bei allen Belastungen möglichst hoch zu halten.

297368. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 1. 8. 16. 16. 4. 17.

Schaltanordnung zur Erleichterung der Inbetriebsetzung bei Gleichrichtern in Metallgefäßen.

1. Schaltanordnung zur Erleichterung der Inbetriebsetzung bei Gleichrichtern in Metallgefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfsanode dauernd oder vorübergehend leitend mit dem Hauptgefäß verbunden wird.

2. Zugleich wird die Stromstärke des Hilfslichtbogens vergrößert.

3. Im Stromkreis des Hilfslichtbogens eine Drosselspule.

297478. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 26. 11. 15. 17. 4. 17.

Einrichtung zur Verhinderung des Eintrittes von Luft durch die Dichtungen von Großgleichrichtern.

Einrichtung zur Verhinderung des Eintrittes von Luft durch die Dichtungen von Großgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß unter Anwendung fester Dichtungsbeilagen an den Dichtungsstellen ringförmige Zwischenräume geschaffen werden, die mittels Durchbohrungen der Einführungsisolatoren miteinander verbunden und an ein Vakuum angeschlossen sind.

297723. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 3. 8. 16. 10. 5. 17.

Geschweißtes Vakuumgefäß, insbesondere für Gleichrichter.

Geschweißtes Vakuumgefäß, insbesondere für Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißnähte von einem besonderen Hohlraum abgedeckt wer-

den, der entweder selbst evakuiert ist oder an das Vorvakuum angeschlossen ist, zum Zwecke der Unschädlichmachung der Poren der Schweißnähte.

298241. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 29. 8. 16. 12. 6. 17.

Vakuumgefäß für Quecksilberdampfgleichrichter und ähnliche Dampfapparate.

Vakuumgefäß für Quecksilberdampfgleichrichter und ähnliche Dampfapparate mit künstlicher Luftkühlung, dadurch gekennzeichnet, daß an einem sich allmählich konisch erweiternden und dann wieder verengenden Kolben im Querschnitt längliche (elliptische oder dergleichen) Anodenarme derart angesetzt sind, daß die Längsachse ihres Querschnittes in die Richtung des Luftstromes fällt, damit Luftwirbel vermieden werden und eine möglichst gleichmäßige Kondensierung an allen Teilen der Gefäßwandungen erfolgt.

301444. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 18. 5. 15. 22. 10. 17.

Einrichtung bei Metaldampfgleichrichtern zur Beseitigung von Entladungen zwischen den Anoden und neutralen Körpern im Gefäßinneren.

Einrichtung bei Metaldampfgleichrichtern zur Beseitigung von Entladungen zwischen den Anoden und neutralen Körpern im Gefäßinneren, dadurch gekennzeichnet, daß ein trichterförmiger, isolierender Sammler, in den sämtliche Dampfströcke münden, mit seiner der Kathode zugewandten Mündung in einem geringen Abstände oberhalb des freisich ausdehnenden Kathodenspiegels befestigt wird.

302648. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 16. 9. 16. 19. 12. 17.

Schaltung für zwei mit Hilferregung und selbsttätiger Zündvorrichtung versehene Gleichrichter.

1. Schaltung für zwei mit Hilferregung und selbsttätiger Zündvorrichtung versehene Gleichrichter, von denen immer nur einer nach beliebiger Wahl arbeitet, zur Speisung von Stromkreisen mit zeitweise unterbrochener Stromentnahme, dadurch gekennzeichnet, daß bei Versagen des einen der beiden sich gegenseitig als Reserve dienenden Gleichrichter infolge Stromloswerdens des entsprechenden Hilfsleichrichterstromkreises ein Relais die selbsttätige Zündvorrichtung und Hilferregung des anderen Gleichrichters einschaltet, wobei während des Umschaltens eine Anzeige- oder Signalvorrichtung in Tätigkeit gesetzt wird.

2. Ausführungsform.

302839. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 3. 8. 16. 4. 1. 18.

Einrichtung an Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen Apparaten zur selbsttätigen Zündung.

1. Einrichtung an Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen Apparaten zur selbsttätigen Zündung mittels in das Hauptgefäß eingeschlossenen, mit Drosselspulen zur Begrenzung seines Stromes auf den Minimalwert versehenen Hilfsleichrichters, der ebenso wie die Zündeinrichtung durch einen besonderen Hilfstransformator gespeist wird, dadurch gekennzeichnet, daß die im Gleichstromkreis des Hilfsleichrichters erforderliche Drosselspule als Schaltmagnet für den Hauptstromkreis und für den Zündstromkreis ausgebildet ist.

2. bis 7. Ausführungsformen.

304604. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 11. 3. 17. 22. 3. 18.

Einrichtung zur künstlichen Kühlung von elektrischen Apparaten, insbesondere von Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen elektrischen Apparaten. Zusatz zum Patent 297002.

1. Einrichtung zur künstlichen Kühlung von elektrischen Apparaten, insbesondere von Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen elektrischen Apparaten, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausschaltung des Hauptschalters des Gleichrichters von einem durch die Bewegung des Kühlmittels selbst in Tätigkeit gesetzten Schalter abhängig gemacht wird.

2. Ausführungsform.

304972. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 19. 3. 16. 20. 4. 18.

Elektrode für Vakuumapparate, insbesondere für Metalldampfapparate.

Elektrode für Vakuumapparate, insbesondere für Metalldampfapparate, mit einem aus Graphit bestehenden, auf einen Haltekörper aufgebrauchten Elektrodenkörper, dadurch gekennzeichnet, daß der Graphitkörper und der Haltekörper in Form konzentrischer Ringe miteinander verbunden sind.

305807. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 24. 10. 15. 22. 5. 18.

Gefäß für Vakuumapparate, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Gefäß für Vakuumapparate, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter, gekennzeichnet durch einen von den übrigen Räumen des Apparates getrennten Heizraum für die Anoden.

2. Gemeinsamer Heizraum für sämtliche Anoden.

3. Luftdichter Abschluß des Anodenheizraumes von den übrigen Räumen des Gleichrichters.

4. bis 7. Ausführungsformen.

307272. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 23. 8. 17. 10. 8. 18.

Metalldampfgleichrichter.

1. Metalldampfgleichrichter, gekennzeichnet durch eine Anordnung des Saugstutzens für die Luftpumpe an einer Stelle, wo der vom Kathodenmaterial vollführte Kreisprozeß eine Verdichtung der Gase hervorruft.

2. Der Saugstutzen für die Luftpumpe im unteren Teil des Gleichrichtergefäßes außerhalb des Sammeltrichters angeordnet.

307903. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 4. 4. 15. 14. 9. 18.

Durchflußkühlung für mehrere Elektroden von Metalldampfapparaten.

1. Durchflußkühlung für mehrere Elektroden von Metalldampfapparaten von einem gemeinsamen Kühlgefäß aus, dadurch gekennzeichnet, daß als Kühlmittel ein hochisolierendes Kühlmittel, wie z. B. Öl, verwandt wird.

2. und 3. Ausführungsformen.

309878. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 3. 6. 15. 3. 1. 19.

Metalldampfgleichrichter mit Metallgefäß.

1. Metalldampfgleichrichter mit Metallgefäß, dadurch gekennzeichnet, daß die Anoden in einem vom Kondensationsraum gesonderten, durch zwei koaxiale Zylinderflächen begrenzten Raume untergebracht sind, der durch einen ringförmigen Zwischenraum mit dem Kondensationsraum verbunden ist.

2. bis 5. Ausführungsformen.

310252. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 6. 6. 15. 6. 1. 19.

Einrichtung zur Erhaltung und Verbesserung des Vakuums von Metalldampfapparaten.

Einrichtung zur Erhaltung und Verbesserung des Vakuums in Metalldampfapparaten, bei der in an sich bekannter Weise mit dem Metalldampfapparat ein Gasentladungsraum verbunden ist, dessen Vakuum mittels Stromdurchganges zwischen zwei Elektroden verbessert wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Absperrventil zwischen Gasentladungsrohr und Metalldampfapparat selbsttätig in Abhängigkeit von der Gasspannung in beiden Räumen oder eines Raumes gesteuert wird.

310442. A. G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 29. 8. 13. 23. 1. 19.

Anordnung zur magnetischen Beeinflussung von elektrischen Lichtbögen großer Stromstärke in Vakuumgefäßen.

1. Anordnung zur magnetischen Beeinflussung von elektrischen Lichtbögen

großer Stromstärke in Vakuumgefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtbogen durch in das Vakuumgefäß gebrachte Einlagen (Scheiben) eingeeignet und derart in die Nähe der Gefäßwand geführt ist, daß ein außerhalb des Gefäßes angeordneter Magnet mit relativ kurzem Polabstand ihn wirksam beeinflussen kann.  
2. bis 4. Ausführungsformen.

310454. Gleichrichter-A.G. in Baden (Schweiz). 18. 1. 18. 25. 1. 19.

Schutzeinrichtung für Metalldampfapparate, insbesondere für Großgleichrichter mit Metallgefäß.

Schutzeinrichtung für Metalldampfapparate, insbesondere für Großgleichrichter mit Metallgefäß, gekennzeichnet durch ein in die zur Luftpumpe führende Rohrleitung eingesetztes isolierendes Zwischenstück, in dessen Achse ein zur Erde abgeleiteter Metallstift befestigt ist.

(Das isolierende Zwischenstück soll die Pumpe vor Spannung schützen. Dieses Zwischenstück wird durch stille Entladungen beim Betrieb allmählich mit einer Art Ruß überzogen und isoliert dann nicht mehr. Der Metallstift soll diese stillen Entladungen und die Rußbildung auf sich ziehen.)

312645. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 1. 9. 16. 17. 6. 19.

Einrichtung zur Überwachung der selbsttätigen Zündung von Quecksilberdampfgleichrichtern.

Einrichtung zur Überwachung der selbsttätigen Zündung von Quecksilberdampfgleichrichtern, bei der der Gleichrichter von einem in das Hauptgefäß eingeschlossenen, in sich kurzgeschlossenen Hilfsgleichrichter gezündet wird, gekennzeichnet dadurch, daß in dem Stromkreis des Hilfsgleichrichters eine Alarmvorrichtung vorgesehen ist, die die Unterbrechung des Stromkreises anzeigt.

313701. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 14. 8. 15. 19. 7. 19.

Vakuumapparat mit mehreren ringförmig ausgebildeten Anoden.

Vakuumapparat mit mehreren ringförmig ausgebildeten Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß die feste Körper bildenden Anoden konzentrisch zueinander angeordnet sind.

316161. Bergmann-Elektrizitäts-Werke A.G. in Berlin. 22. 10. 18. 21. 11. 19.

Zündvorrichtung für Metalldampfgleichrichter.

1. Zündvorrichtung für Metalldampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Einleitung der Zündung erforderliche Berührung zwischen Zündanode und Kathode bei feststehender Zündanode durch äußere Beeinflussung des flüssigen Kathodenmetalles hervorgerufen wird.

2. Wechselstrommagnet treibt das Kathodenmetall gegen die Zündelektrode.  
3. und 4. Ausführungsformen.

316589. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 21. 7. 16. 29. 11. 19.

Quecksilberdampfgleichrichter für niedrige Gleichstromspannung.

1. Quecksilberdampfgleichrichter für niedrige Gleichstromspannung, dadurch gekennzeichnet, daß die Anoden im Vakuumgefäß nahe an die Kathode gerückt und ihnen Drosselpulen vorgeschaltet sind, welche bei wechselnder Gleichstrombelastung eine so große Spannung abdresseln, daß selbst bei dauerndem Kurzschluß auf der Gleichstromseite der auftretende Strom unter der für das Vakuumgefäß gefährlichen Grenze bleibt, derart, daß eine leichte Zündung im Vakuumgefäß bei geringem Spannungsabfall unter Vermeidung der Gefahr der Rückzündung erhalten wird.

2. Ausführungsform.

317098. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 24. 10. 15. 9. 12. 19.

Vakuumgleichrichter, dessen Lichtbogen durch ein unipolar auf ihn wirkendes Feld in Umlauf gesetzt wird.

1. Vakuumgleichrichter, dessen Lichtbogen durch ein unipolar auf ihn wirkendes Feld in Umlauf gesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Stärke des

Feldes in Abhängigkeit von der Belastung des Gleichrichters geregelt wird, zu dem Zwecke, mit wachsender Belastung die durch die Drehung des Lichtbogens innerhalb des Magnetfeldes in ihm erzeugte genelektromotorische Kraft zu erhöhen.

2. bis 6. Ausführungsformen.

Der Zweck des Patentes ist, das Parallelarbeiten der Gleichrichter zu ermöglichen.

317411. Bergmann-Elektricitäts-Werke A.G. in Berlin. 3. 10. 18. 5. 1. 20.

Einrichtung zum selbsttätigen Anlassen elektrischer Quecksilberdampfgleichrichter mittels Kippzündung.

1. Einrichtung zum selbsttätigen Anlassen elektrischer Quecksilberdampfgleichrichter mittels Kippzündung, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerspule der elektromagnetischen Vorrichtung, die in an sich bekannter Weise beim Einschalten des Stromes das erforderliche Kippmoment unter Überwindung einer ständig wirkenden Gegenkraft hervorruft, zugleich im Zündstromkreis und an einer von dem Apparat erzeugten Gleichspannung liegt, die ihn in seiner Arbeitsstellung festhält.

2. Ausführungsform.

318619. Johannes Nienhold in Berlin. 16. 5. 17. 6. 2. 20.

Vorrichtung zum Gleichrichten von Hoch- und Niederfrequenzwechselströmen.

1. Vorrichtung zum Gleichrichten von Hoch- und Niederfrequenzwechselströmen, dadurch gekennzeichnet, daß in den Stromkreis des Wechselstromes, der zugleich den Gleichstromverbraucher enthält, ein in Edelgas zwischen einer Kathode aus einer elektropositiven Substanz (z. B. einem Alkalimetall) und einer Anode aus elektronegativer Substanz (z. B. Konstantan, Kupfer usw.) übergehender Glimmbogen von nur etwa 12 bis 15 V Spannung eingeschaltet ist.

2. Alkalikathode mit großer Oberfläche, Metallanode mit möglichst kleiner Oberfläche.

3. Mehrere Glimmbögen in Reihe geschaltet.

319088. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 18. 3. 19. 14. 4. 20.

Einführungsisolator aus Porzellan oder ähnlichem Stoff für Quecksilberdampfgleichrichter mit Eisengehäuse.

1. Einführungsisolator aus Porzellan oder ähnlichem Stoff für Quecksilberdampfgleichrichter mit Eisengehäuse, der an einer Öffnung des Gehäuses zwischen diesem und der zu isolierenden Elektrode liegt, dadurch gekennzeichnet, daß über den Isolator ein Stahlring geschoben und mit ihm verkittet ist, zu dem Zwecke, die bei der Erwärmung des Metallgehäuses und der Elektrode entstehenden Schubspannungen des Isolators aufzunehmen und unschädlich zu machen.

2. Ausführungsform.

319516. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 30. 10. 15. 6. 3. 20.

Ringförmige Anode für Vakuumapparate.

1. Ringförmige Anode für Vakuumapparate, dadurch gekennzeichnet, daß durch abwechselndes Aufeinanderschichten von Anodenringen und Trennstücken ein besonderer Anodenkörper gebildet wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

319852. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 15. 3. 19. 7. 4. 20.

Einrichtung an Metaldampfgleichrichtern, bei welchen in die vom metallischen Vakuumgefäß zur dauernd angeschlossenen Luftpumpe führende metallische Rohrverbindung ein isolierendes Zwischenstück eingeschaltet ist.

Einrichtung an Metaldampfgleichrichtern, bei welchen in die vom metallischen Vakuumgefäß zur dauernd angeschlossenen Luftpumpe führende metallische Rohrverbindung ein isolierendes Zwischenstück eingeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb des röhrenförmigen Isolators Elektroden, die mit den an diesem angeschlossenen Metallröhren elektrisch verbunden sind, einander so nahe

gegenüberstehen, daß infolge stark verkürzter freier Weglänge der Elektronen Entladungen längs der Innenwandung des Isolatorstückes so gut wie unmöglich sind.

320010. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 4. 3. 19. 9. 4. 20.

Einrichtung zum Schutz der Anoden von Metalldampfgleichrichtern gegen die schädlichen Einflüsse der Kathode.

1. Einrichtung zum Schutz der Anoden von Metalldampfgleichrichtern gegen die schädlichen Einflüsse der Kathode, dadurch gekennzeichnet, daß in der Strombahn zwischen der Anode und der Kathode eine jalousieartige Schutzwand sich befindet, die von der Kathode aus gesehen geschlossen erscheint.

2. Diese Schutzwand ist an der offenen Mündung der Lichtbogenführungshülse angebracht.

321 780. Westinghouse Electric Company Limited in London. 5. 8. 13. 14. 6. 20.

Gasdichter Isolierschluß für die in die Vakuumkammer von Quecksilberdampfgleichrichtern eintretenden Leitungsdrähte.

Gasdichter Isolierschluß für die in die Vakuumkammer von Quecksilberdampfgleichrichtern eintretenden Leitungsdrähte, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitungsstange eine nach der Außenseite der Kammer schräg verlaufende Schulter besitzt und eine konische Isolierbüchse, die ihren Sitz in der Kammer findet, gegen diese Schulter durch eine auf die Stange aufschraubbare Mutter gepreßt wird, derart, daß eine mit einem verbreiterten Ende versehene Leitungsstange leicht von der Isolierbüchse entfernt werden kann.

322 701. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 26. 3. 16. 7. 7. 20.

Einrichtung zur Erzeugung eines Magnetfeldes für die Bewegung des Lichtbogens im Inneren von Vakuumapparaten.

Einrichtung zur Erzeugung eines Magnetfeldes für die Bewegung des Lichtbogens im Inneren von Vakuumapparaten, dadurch gekennzeichnet, daß der jenes Feld erzeugende Magnet derart ausgebildet und an der Wand des Entladungsfäßes befestigt ist, daß er nach dem Zusammenbau einen Teil des geschlossenen Gefäßes bildet.

322 855. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 10. 4. 18. 10. 7. 20.

Gewölbte Anode für Metalldampfgleichrichter.

1. Gewölbte Anode für Metalldampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß sie dem Lichtbogenansatz nur konkave Flächen ohne irgendwelche scharfen Ecken oder Kanten darbietet.

2. bis 4. Ausführungsformen.

„Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Spitzen oder scharfen Kanten an den Anoden dazu Anlaß geben, daß der Lichtbogen sich mit Vorliebe an diesen Kanten ansetzt, daselbst eine örtliche Überheizung hervorruft, die zu solchen Temperaturen führt, daß diese überheizten Stellen selbst Elektronen aussenden, wodurch sich ein Kathodenkrater an dem betreffenden Punkte ausbildet.“

323 967. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 15. 6. 18. 17. 8. 20.

Ausschaltvorrichtung für Metalldampfapparate.

1. Ausschaltvorrichtung für Metalldampfapparate, gekennzeichnet durch einen an sich bekannten Metallbelag auf dem Gehäuseteil um die Anoden, der zur Unterbrechung des Stromdurchganges (Auslöschens des Lichtbogens) mit dem negativen Pol des Apparates stromleitend verbunden werden kann.

2. bis 4. Ausführungsformen.

324 153. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 5. 1. 19. 25. 8. 20.

Einrichtung zum Schutz des Porzellanisolators, der die Kathode eines aus Metall bestehenden Gleichrichters vom Hauptgefäß isoliert gegen die Wärme des Flammenbogens.

Einrichtung zum Schutz des Porzellanisolators, der die Kathode eines aus Metall bestehenden Gleichrichters vom Hauptgefäß isoliert gegen die Wärme des

Flammenbogens, gekennzeichnet durch einen flüssigkeitsgekühlten Zylinder im Innern des Isolators.

327256. Gleichrichter G. m. b. H. in Berlin und Fritz Kleeberg in Berlin-Südende. 9. 7. 19. 9. 10. 20.

Einrichtung zum selbsttätigen Aus- und Wiedereinschalten einzelner Anoden bei Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen Apparaten.

1. Einrichtung zum selbsttätigen Aus- und Wiedereinschalten einzelner Anoden bei Quecksilberdampfgleichrichtern und ähnlichen Apparaten, dadurch gekennzeichnet, daß in den Zuleitungen zu den einzelnen Anoden je ein elektrischer Überstromsicherheitsschalter liegt, der den Anodenstromkreis nur so lange unterbricht, als es zur Beseitigung des falschen Kathodenfleckes auf der zugehörigen Anode unbedingt nötig ist.

2. bis 5. Ausführungsformen.

331418. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 29. 1. 19. 7. 1. 21.

Einrichtung zur Verhütung von Rückzündungen bei Großgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Verhütung von Rückzündungen bei Großgleichrichtern mit seitlich in das Hauptgefäß eingeführten Anodenrohren, dadurch gekennzeichnet, daß die Rohre geschlossen in den Hauptraum münden und in der Nähe der Kathode für den Austritt des Lichtbogens mit zwei Seitenöffnungen versehen sind, so daß der Lichtbogen auf einer kurzen Strecke genötigt wird, sich in zwei Teile zu spalten und eine Schutzwand gegen mitgerissenes oder von oben herabfallendes Quecksilber entsteht.

2. und 3. Ausführungsformen.

332056. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 4. 3. 17. 23. 12. 21.

Metalldampf großgleichrichter mit elektromagnetisch betätigter Zündanode.

1. Metalldampf großgleichrichter mit elektromagnetisch betätigter Zündanode, dadurch gekennzeichnet, daß der wechselstromgespeiste Stromkreis eines die Zündanode gegenüber dem festen Metallgefäß verschiebenden Solenoids in Abhängigkeit von der primären Wechselspannung selbsttätig geschlossen und geöffnet wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

333073. Gleichrichter-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 28. 5. 19. 15. 2. 21.

Elektrodeneinführung bei Glasvakuumgefäßen von Quecksilberdampfgleichrichtern.

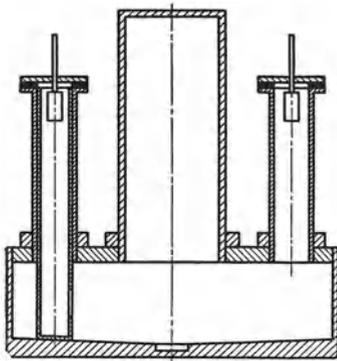


Abb. 283.

1. Elektrodeneinführung bei Glasvakuumgefäßen von Quecksilberdampfgleichrichtern mit einem von der Einführungsstelle bis zur Verbindung mit der Elektrode, insbesondere der Anode, freiliegenden Leiter, dadurch gekennzeichnet, daß zur nachgiebigen Abstützung des letzteren und zum Schutz seiner blanken Metallteile vor der Anodenwirkung ein an der Verbindungsstelle des Leiters mit der Anode befestigter, sich gegen die Gefäßwand legender Blechschirm angeordnet ist.

2. Ausführungsform.

334345. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 29. 4. 15. 17. 3. 21.

Metalldampfapparat mit Metallgefäß und Anoden in den Seitenarmen des Vakuumgefäßes.

Metalldampfapparat mit Metallgefäß und Anoden in den Seitenarmen des Vakuumgefäßes, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenarme aus zylindrischen

Röhren bestehen, die auf dem Abschlußdeckel eines von dem Hauptkondensationsraum gesonderten zylindrischen Kathodenraumes befestigt sind.

338969. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 19. 6. 20. 12. 7. 21.

Vakuungleichrichter mit Quecksilberdampfpumpe oder ähnlich zu heizender Pumpe.

1. Vakuungleichrichter mit Quecksilberdampfpumpe oder ähnlich zu heizender Pumpe, dadurch gekennzeichnet, daß der Erregerstrom des Gleichrichters der Heizung der Quecksilberdampfpumpe dient.

2. bis 4. Ausführungsformen.

339105. Johannes Nienhold in Berlin. 5. 6. 19. 13. 7. 21.

Vorrichtung zur Umwandlung von technischem Wechselstrom in Gleichstrom mittels einer Quecksilberdampfpentladungsröhre.

1. Vorrichtung zur Umwandlung von technischem Wechselstrom in Gleichstrom mittels einer Quecksilberdampfpentladungsröhre, dadurch gekennzeichnet, daß ein von der Quecksilberkathode der Röhre zu einer oder mehreren Kohleanoden (oder gleichwertigen elektropositiven Substanzen) in Edelgas von nicht über 5 mm Druck übergehender Glimmbogen zwischen die Wechselstromquelle und den Gleichstromverbraucher eingeschaltet ist.

2. Angesetzte Reinigungsröhre mit Alkalimetall als Kathode.

3. Ansatzpunkt des Lichtbogens, der durch einen Stift aus Glas, Mg, Porzellan, Wolfram od. dgl. oder aus einem auf der Oberfläche schwimmenden Netz oder Stern aus diesem Material geschaffen ist.

339153. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 12. 4. 18. 16. 7. 21.

Einrichtung zur Flüssigkeitskühlung von Gleichrichtern, die zur Zündung gekippt werden.

1. Einrichtung zur Flüssigkeitskühlung von Gleichrichtern, die zur Zündung gekippt werden, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichrichter, der in dem die Kühlflüssigkeit enthaltenden Gefäß beweglich eingebaut ist, mit einem an der Kippbewegung teilnehmenden Leitmantel für die Kühlflüssigkeit versehen ist.

2. bis 4. Ausführungsformen.

342287. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 15. 10. 20. 15. 10. 21.

Einrichtung zum Entfernen der unreinen Oberflächenschicht des Quecksilbers bei Gleichrichtern.

1. Einrichtung zum Entfernen der unreinen Oberflächenschicht des Quecksilbers bei Gleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß der Kathodenbehälter einerseits mit einem zur Aufnahme des unreinen Quecksilbers bestimmten, durch Hähne verschließbaren Gefäß, andererseits mittels eines Steigrohres mit einem unter ihm angeordneten Quecksilberbehälter verbunden ist, durch dessen Heben und Senken die Höhe des Quecksilberspiegels geändert bzw. eingestellt und das unreine Quecksilber dadurch zum Abfluß in das geschlossene Gefäß nach Öffnen der entsprechenden Hähne desselben gebracht werden kann.

2. bis 4. Ausführungsformen.

346468. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 9. 6. 20. 31. 12. 21.

Metallenes Anodenschutzrohr für Vakuumpumpe.

1. Metallenes Anodenschutzrohr für Vakuumpumpe, dadurch gekennzeichnet, daß das Schutzrohr in ein die Anode umgebendes Isolatorrohr lose eingehängt ist.

2. bis 6. Ausführungsformen.

347825. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 15. 8. 20. 25. 1. 22.

Einrichtung zur selbsttätigen Zündung von Quecksilberdampfgleichrichtern od. dgl.

Einrichtung zur selbsttätigen Zündung von Quecksilberdampfgleichrichtern

Güntherschulze, Elektr. Gleichrichter, 2. Aufl.

od. dgl., dadurch gekennzeichnet, daß das Unterbrechungsrelais *a* für den Zündstrom außer der sowohl zum Zündstrom als auch von dem gleichgerichteten Strom durchflossenen Schaltwicklung *c* noch eine Kurzschlußwicklung *b* trägt, welche so bemessen wird, daß die Stromstärke des Wechselstromes auch bei verringertem Ohmschen Widerstand des Zündstromkreises unter den für das Ansprechen des Relais erforderlichen Wert herabgedrückt wird und somit das Relais lediglich bei Erregung durch den gleichgerichteten Strom anspricht.

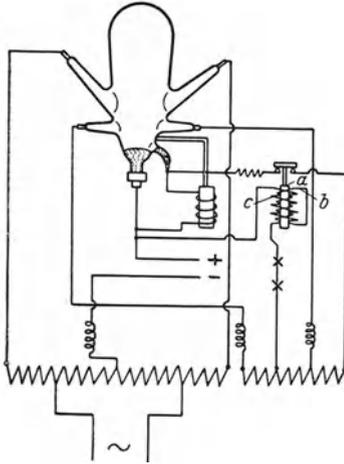


Abb. 284.

dadurch gekennzeichnet, daß sie aus drei Einzeldichtungen besteht, von denen die innere — Hilfsdichtung — hitzebeständig (Asbest), die mittlere — Schutzdichtung — im Betrieb flüssig, außer Betrieb fest (Rosesches, Woodsches Metall) und die äußere — Hauptdichtung — elastisch nachgiebig ist (Gummi).

2. Schutzdichtung von Heizspirale umgeben, um jederzeit durch Schmelzen Lösbarkeit zu erzielen.

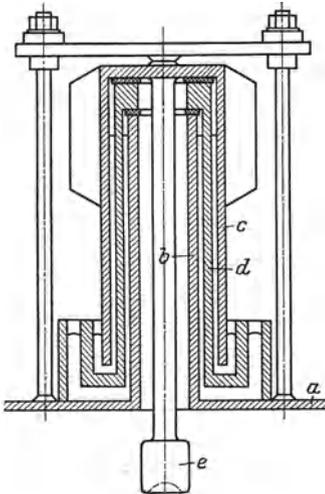


Abb. 285.

das angesetzte Rohr *b* als gegen die Glocke *c* abgedichtet.

349907. Dr. Ludwig Wolfrum in Augsburg. 22. 9. 17. 10. 3. 22.

Dichtung für gasdicht in einen Behälter, insbesondere in Gleich-

347910. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 2. 2. 21. 27. 1. 22.

Hochvakuumdichtung für Quecksilberdampfgleichrichter.

Hochvakuumdichtung für Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen zwei harten Dichtungsringen oder Dichtungen, vorzugsweise aus Aluminium, eine weiche Dichtung, vorzugsweise eine Bleidichtung, angeordnet ist.

348615. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 4. 4. 17. 13. 2. 22.

Dichtung für Vakuumapparate, insbesondere zur Einführung starker Elektroden.

1. Dichtung für Vakuumapparate, insbesondere zur Einführung starker Elektroden, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus drei Einzeldichtungen besteht, von denen die innere — Hilfsdichtung — hitzebeständig (Asbest), die mittlere — Schutzdichtung — im Betrieb flüssig, außer Betrieb fest (Rosesches, Woodsches Metall) und die äußere — Hauptdichtung — elastisch nachgiebig ist (Gummi).

2. Schutzdichtung von Heizspirale umgeben, um jederzeit durch Schmelzen Lösbarkeit zu erzielen.

349802. Bergmann-Elektrizitäts-Werke A.G. in Berlin. 27. 2. 21. 9. 3. 21.

Anordnung zur luftdichten Einführung der Anoden bei Quecksilberdampfgleichrichtern.

1. Anordnung zur luftdichten Einführung der Anoden bei Quecksilberdampfgleichrichtern mit Metallgefäß unter Verwendung einer doppelten Barometerdichtung, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweckmäßig außen mit Kühlrippen versehene Glocke *c*, die in ihrem Inneren unter Zwischenfügung eines besonderen Isolierrohres (*d*) über ein der Einführungsstelle des Gleichrichtergefäßes (*a*) angesetztes Rohr (*b*), dessen lichte Weite den Querschnitt der Anode *e* an Größe übertrifft, gestülpt ist und in einen am unteren Ende des Isolierrohres (*d*) gebildeten ringförmigen Quecksilberbehälter eintaucht, während das Isolierrohr *d* seinerseits in einen am unteren Ende des aufgesetzten Rohres *b* befindlichen ringförmigen Quecksilberbehälter taucht.

2. Das innere nicht vom Quecksilber benetzte Ende des Isolierrohres ist sowohl gegen das angesetzte Rohr *b* als gegen die Glocke *c* abgedichtet.

richterzellen, Röntgenröhren und ähnliche Apparate, einzusetzende Teile.

1. Dichtung für gasdicht in einen Behälter, insbesondere in Gleichrichterzellen, Röntgenröhren und ähnliche Apparate, einzusetzende Teile, dadurch gekennzeichnet, daß eine Metaldichtung, welche aus einer Legierung von Wismut, Blei, Kadmium, Zinn und Quecksilber ungefähr in dem Verhältnis 50 : 25 : 10 : 13 : 33 besteht, zwischen den einzufügenden, zweckmäßig mit Rillen versehenen Teil und die diesen aufnehmende Behälterwandung eingegossen ist.

2. bis 5. Ausführungsformen.

350587. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 12. 12. 20. 22. 3. 22.

Einführungsisolator für Elektroden von Quecksilbergroßgleichrichtern.

1. Einführungsisolator für Elektroden von Quecksilbergroßgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß er aus einer nach dem Inneren des Gefäßes weit überstehenden, zwischen zwei Stahlringe eingepreßten Asbestzwischenlage besteht, die nur so weit, als sie sich zwischen den aufeinandergepreßten Stahlteilen befindet, mit einem isolierenden Lack imprägniert ist, zu dem Zwecke, einerseits eine luftdichte, gut isolierende Verbindung zu erhalten, andererseits eine nicht gasende, den Wirkungen des Quecksilbergases gut widerstehendes große Kriechfläche zu erzielen.

2. bis 4. Ausführungsformen.

351815. A. G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 6. 2. 20. 15. 4. 22.

Einrichtung zur Kühlung von Metaldampfgleichrichtern.

Einrichtung zur Kühlung von Metaldampfgleichrichtern mit metallischen Gefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß die Gehäuse der Anoden, die an einer gemeinsamen, in einem gewissen Abstand vom Gefäßdeckel angeordneten Platte isoliert befestigt sind, dort, wo sie in den Arbeitsraum des Metaldampfgleichrichters hineinragen, von zweckmäßig zylindrischen, zur Aufnahme oder Führung eines Kühlmittels dienenden Hohlkörpern umgeben sind oder daß der Abstand zwischen Anodenträgerplatte und Gehäusedeckel so groß gewählt wird, daß in dem dadurch geschaffenen Zwischenraum die freiliegenden Außenseiten der Anodengehäuse eine genügend große Fläche für ihre wirksame Bespülung mit einem Kühlmittel darbieten.

354585. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 20. 4. 21. 13. 6. 22.

Einführungsisolator für die Elektroden von Großgleichrichtern. Zusatz zum Patent 350587.

1. Einführungsisolator für die Elektroden von Großgleichrichtern, gekennzeichnet durch eine in den äußeren Stahlring eingedrehte Nut, in die ein besonderer Preßring aus weichem Material (Kupfer, Aluminium) hineingelegt ist.

2. Ausführungsform.

354586. A. G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 6. 2. 20. 13. 6. 22.

Anodenkühlung für Metaldampfgleichrichter.

Anodenkühlung für Metaldampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlmittel in axialen Bohrungen der Anoden und in diese quer verbindenden Seitenkanälen fließt, wobei zur Erhöhung der Wärmeabfuhr das Kühlmittel unter Umständen einen Kühler durchströmt, dessen Rohre zur Vergrößerung ihrer Kühlfläche zweckmäßig Rippen aus dünnen Metallplatten erhalten.

354772. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 2. 11. 20. 14. 6. 22.

Anordnung der Stromzuführungen für die Anoden von Hochspannungsvakuungleichrichtern.

1. Anordnung der Stromzuführungen für die Anoden von Hochspannungsvakuungleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromzuleitungen außen dicht an den Anodenarmen entlang geführt sind, um durch das elektrische Feld der den Anoden benachbarten Leitungsstrecke die Zündung zu erleichtern.

2. Befestigungsklammern.

354797. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 24. 2. 20. 15. 6. 22.

Anodeneinführung für Metalldampfgleichrichter.

Anodeneinführung für Metalldampfgleichrichter mit einer zur selbsttätigen Kühlung der Anode in diese eingeführten Hülse, die außerhalb des Anodenkörpers teilweise von einem geschlossenen Hohlkörper umgeben ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem die Hülse (*f*) umgebenden Hohlkörper (*h*) Rohre (*i*) aufgesetzt sind, wovon das mittlere Rohr (*i'*) zur Verlängerung der Hülse (*f*) dient.

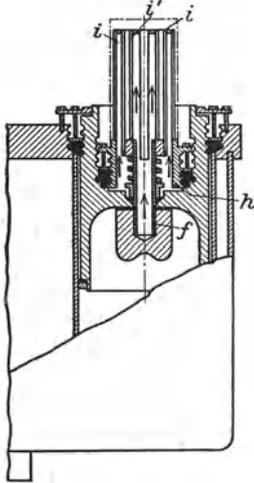


Abb. 286.

354966. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 6. 2. 20. 17. 6. 22.

Anodeneinführung für Metalldampfgleichrichter.

1. Anodeneinführung für Metalldampfgleichrichter mit einem aus einem Stück bestehenden, stufenweise ausgebildeten Einführungsporzellankörper, in welchen der Anodenkörper stopfbüchsenartig eingreift, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Einführungsporzellankörper auf einen Ring im Inneren eines Stahlrohres gelagert ist, das auf die Einführungsplatte aufgeschweißt oder aufgezogen ist und in den Vakuumraum hineinragt.

2. und 3. Ausführungsformen.

354968. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 5. 1. 21. 19. 6. 22.

Schaltung zur Erregung von Quecksilberdampfgleichrichtern mittels Hilfsanoden.

1. Schaltung zur Erregung von Quecksilberdampfgleichrichtern mittels Hilfsanoden, dadurch gekennzeichnet, daß die den Hilfsanoden eines Gleichrichters zugeführten Erregerströme magnetisch nicht

miteinander verkettet sind.

2. und 3. Ausführungsformen.

356771. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 20. 4. 21. 28. 7. 22.

Schaltungsanordnung für Großgleichrichter mit Zünd- oder Hilfsanoden.

1. Schaltungsanordnung für Großgleichrichter mit Zünd- oder Hilfsanoden, dadurch gekennzeichnet, daß die Zündspule in die Nullpunktleitung einer Hilfswicklung des Speisetransformators derart eingeschaltet ist, daß der von dem Zündstrom hochgehobene Magnetkern von dem nach dem Zünden der Hilfsanode durchfließenden Strom hochgehalten wird.

2. Ausführungsform.

357153. Hans Weiss in Baden (Schweiz). 2. 2. 21. 19. 8. 22.

Anodendurchführung für Metalldampfgleichrichter.

Verwendung eines aufgespritzten Metallüberzuges.

361874. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 13. 9. 21. 25. 11. 22.

Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß Arbeitsstromkreis und Erregerstromkreis magnetisch miteinander verkettet sind.

2. Die Glättungsdrosselspulen des Arbeitsstromkreises und des Erregerstromkreises sitzen auf einem gemeinsamen Eisenkern.

363289. Bergmann-Elektrizitäts-Werke A.G. in Berlin. 2. 12. 21. 7. 11. 22.

Dichtung für Quecksilberdampfapparate.

Bleidichtung. Blei gegen Quecksilberdämpfe durch ein Blech geschützt.

363720. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 23. 2. 21. 14. 11. 22.

Einrichtung zur Kühlung des Quecksilbers der Kathode bei Großgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Kühlung des Quecksilbers der Kathode bei Großgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß das unverdampfte Quecksilber durch mechanische oder elektrische Einwirkung im Inneren des Apparates derart zum Umlauf gezwungen wird, daß der Kathodenoberfläche dauernd gekühltes Quecksilber zugeführt wird.

2. bis 6. Ausführungsformen.

366167. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 17. 2. 22. 30. 12. 22.

Einrichtung zur Vermeidung von Rückzündungen bei Gleichrichtern in Metallgefäßen.

Einrichtung zur Vermeidung von Rückzündungen bei Gleichrichtern in Metallgefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß das Metallgehäuse über Ventilzellen und Widerstände mit den isoliert eingeführten Anoden verbunden ist, wobei Ventilzellen beliebiger Art, wie Elektrolytzellen, Glimmlichtröhren usw., verwandt werden können.

367417. Gleichrichter-Gesellschaft m. b. H. in Berlin und Fritz Kleeberg in Berlin-Südende. 10. 9. 20. 22. 1. 23.

Einführung des Stromleiters für Kathoden bei Glasgefäßen von Quecksilberdampfgleichrichtern od. dgl.

1. Einführung des Stromleiters für Kathoden bei Glasgefäßen von Quecksilberdampfgleichrichtern od. dgl., dadurch gekennzeichnet, daß die Einführung des Stromleiters statt von unten durch einen seitlich angesetzten Hals derart erfolgt, daß die Zuleitung in das Quecksilber von oben eintaucht und durch eine Abdeckung aus Quarz oder ähnlich schwer schmelzbarem Stoff gegen den Lichtbogen isoliert ist.

2. Ausführungsform.

367628. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 2. 7. 20. 24. 1. 23.

Starkstromeinführung für Vakuumgefäße.

Starkstromeinführung für Vakuumgefäße, die aus einem zur eigentlichen Stromleitung dienenden gut leitenden Kern und einem diesen umgebenden Mantel mit wesentlich gleicher Wärmeausdehnung wie die des Wandmaterials besteht, dadurch gekennzeichnet, daß jener Mantel in die Wand eingeschmolzen ist.

368998. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 5. 3. 20. 13. 2. 23.

Verfahren zum Anlassen von künstlich gekühlten Metaldampfgleichrichtern.

1. Verfahren zum Anlassen von künstlich gekühlten Metaldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß zur Inbetriebsetzung des Apparates das Kühlmittel vorübergehend erwärmt wird, um die Dampfbildung zu beschleunigen.

2. bis 4. Ausführungsformen.

369882. Schott & Gen. in Jena. 8. 2. 16. 24. 2. 23.

Gleichrichterkolben aus Glas.

Gleichrichterkolben aus Glas, dadurch gekennzeichnet, daß der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient des Glases höchstens 0,0000050 beträgt und sein 30-Min.-Kohäsionspunkt mindestens bei 580° liegt.

372674. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 1. 5. 20. 31. 3. 23.

Metallgefäß für Metaldampfgleichrichter.

1. Metallgefäß für Metaldampfgleichrichter, gekennzeichnet durch einen äußeren Überzug aus einem metallischen Schmelzfluß, zu dem Zwecke, undichte Stellen im Gehäuse zu schließen.

2. und 3. Ausführungsformen.

379687. Bergmann-Elektricitäts-Werke A.G. in Berlin. 2. 12. 21. 27. 8. 23.

Anordnung zur Vermeidung von Rückzündungen bei Metall-  
dampfgleichrichtern mit Hilfsanoden.

Anordnung zur Vermeidung von Rückzündungen bei Metalldampfgleichrichtern mit Hilfsanoden, dadurch gekennzeichnet, daß Hauptanoden und Hilfsanoden derart nahe beieinander, z. B. einander umfassend, angeordnet sind, daß die Hilfsanoden die Hauptanoden heizen und ein Kondensieren von Metalldampf auf ihnen verhindern.

382799. Johannes Nienhold in Charlottenburg. 22. 8. 22. 6. 10. 23.  
Kathodeneinführung für Quecksilberdampföhren.

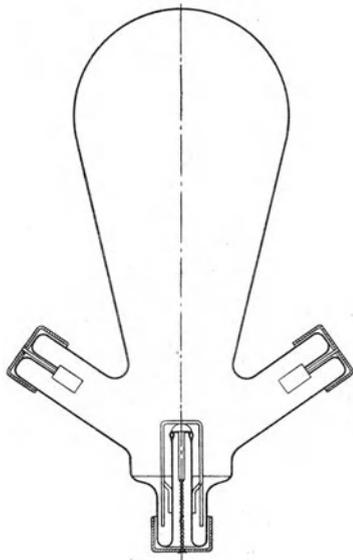


Abb. 287.

1. Kathodeneinführung für Quecksilberdampföhren, dadurch gekennzeichnet, daß im Boden oder in einem Hals der Röhre eine Einstülpung, die bis dicht über den Quecksilberspiegel emporgezogen ist, angeordnet ist, in deren oberes Ende mittels Quetschfußes oder Platineinschmelzung die Zuleitung luftdicht eingeführt und durch eine metallische Leitung bis in das Quecksilber hinabgeführt ist.

2. bis 4. Ausführungsformen.

Zweck: Ersparnis von Quecksilber.

384353. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 15. 12. 21. 6. 3. 24.

Einrichtung zum Schutz von Gleichrichteranlagen.

Einrichtung zum Schutz von Gleichrichteranlagen, insbesondere gegen Rückzündungen, bei denen mindestens auf der Wechselstromseite der Gleichrichter selbsttätige Ausschaltvorrichtungen angebracht sind, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Schnellausschaltvorrichtungen sind, bei denen die Zeit vom Überschreiten der Grenzstromstärke bis zur Trennung der Schaltkontakte (Auslösezeit) einen Wert von höchstens einer zwanzigstel Sekunde besitzt, so daß die Energie des Rückzündungslichtbogens nicht genügt, die

Oberfläche der Anoden anzugreifen.

384582. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 11. 2. 22. 24. 11. 23.

Quecksilberdampfgleichrichter für hohe Spannungen.

Quecksilberdampfgleichrichter für hohe Spannungen, dadurch gekennzeichnet, daß er aus zwei Konstruktionselementen besteht, nämlich aus einem ganz aus Glas hergestellten, die Anoden und die Kathoden enthaltenden Unterteil und aus einem metallischen Kondensationsgefäß, welches mit einem flüssigkeitsgekühlten Mantel umgeben ist oder durch Kühlrohre gekühlt wird.

385388. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 3. 8. 22. 11. 12. 23.

Gleichrichtergefäß aus Glas.

Gleichrichtergefäß aus Glas mit mehreren aus der Basis entspringenden Armen zur Aufnahme der Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß zur Vermehrung der Anodenzahl die oberen Enden der Arme in zwei oder mehrere Arme gegabelt sind, deren jeder eine Anode aufnimmt.

386818. Marius Latour in Paris. 11. 6. 21. 15. 12. 23.

Einrichtung zur Vermeidung der Gefahr von Rückzündungen bei Gleichrichtern.

Einrichtung zur Vermeidung der Gefahr von Rückzündungen bei Gleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß ein einziger, aus einem leitenden und einem isolierenden Segment bestehender Kommutator verwendet wird, dessen leitendes Segment über den Verbraucher hinweg mit der Kathode und dessen symmetrisch angeordnete Bürsten über die Wicklung des Speisetransformators hinweg mit den Anoden verbunden sind, so daß stets nur der Stromkreis derjenigen Anoden geschlossen ist, welche den Stromdurchgang gestatten sollen.

389932. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 22. 6. 20. 15. 2. 24.

Anode für Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Anode für Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß der Punkt, an welchem ihr der Netzstrom zugeführt wird, annähernd an ihrer tiefsten, d. h. der Kathode zunächst gelegenen Stelle liegt, zu dem Zwecke, ein Hochsteigen der Ansatzstelle des Lichtbogens an der Anode zu vermeiden.

2. bis 5. Ausführungsformen.

393049. Dr. Geo W. Heimrod in Hannover. 12. 6. 13. 5. 4. 24.

Quecksilberdampfgleichrichter.

Quecksilberdampfgleichrichter, gekennzeichnet durch die Anwendung von von Gasen völlig befreiten Anoden aus Tantal, Vanadium, Molybdän, Wolfram, Niob, Uran oder einer Legierung aus diesen unter Ausschließung irgendwelcher gasgebenden Teile im Entladungsraum.

394102. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 19. 6. 18. 23. 4. 24.

Metalldampfapparat, bei dem die Betriebsvorgänge selbst zur Verbesserung und Aufrechterhaltung des Vakuums ausgenutzt werden.

1. Metalldampfapparat, bei dem die Betriebsvorgänge selbst zur Verbesserung und Aufrechterhaltung des Vakuums ausgenutzt werden, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Prinzip der Diffusionsluftpumpe die von der Kathode aufsteigenden Metaldämpfe zur Anode und die in deren Nähe vorhandenen schädlichen Luft- und Gasteilchen in umgekehrter Richtung zur Kathode geführt werden.

2. und 3. Ausführungsformen.

395377. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 28. 7. 22. 17. 5. 24.

Anode für Großgleichrichter.

Anode für Großgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß ihre Flächen durch Kreuz- und Querriffelungen mit ausgeprägten Spitzen versehen sind, um eine ungleichmäßige Entladung auf ihrer Oberfläche durch zufällige Spitzenbildung zu verhindern.

397394. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 15. 5. 20. 21. 6. 24.

Vakuungleichrichter.

1. Vakuungleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß der Quecksilberdampf beim Eintritt in den die Restgase hauptsächlich enthaltenden, in der Nähe der Anoden befindlichen Gefäßraum durch einen besonderen schirmartigen Führungsteil gezwungen wird, eine kurze Strecke von den Anoden weg zu strömen, so daß er mit der durch ihn abzusaugenden Gasströmung unter spitzem Winkel zusammentrifft.

2. bis 4. Ausführungsformen.

398865. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 2. 6. 23. 25. 7. 24.

Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Quecksilberdampfgleichrichter, bei welchem die Anoden außerhalb der unmittelbaren Sichtlinie des Kathodenfleckes liegen, dadurch gekennzeichnet, daß die inneren Wände des Gleichrichtergefäßes mit einem Überzug oder Anstrich

von Stoffen versehen sind, welche die ultravioletten Strahlen stark absorbieren und nur in geringem Maße reflektieren.

## 2. Ausführungsform.

398867. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin 2. 10. 20. 17. 7. 24.

Sicherheitseinrichtung an Quecksilberdampfgleichrichtern zur Verhütung des Erlöschens des Flammenbogens.

1. Sicherheitseinrichtung an Quecksilberdampfgleichrichtern zur Verhütung des Erlöschens des Flammenbogens, gekennzeichnet durch einen Schirm, der die wirksame Kathodenoberfläche gegen die im Mittelraum des Quecksilberdampfgefäßes untergebrachte Kühlvorrichtung bis auf wenige Durchlaßöffnungen für das kondensierte Quecksilber abdeckt.

## 2. und 3. Ausführungsformen.

399544. Bergmann - Elektrizitäts-Werke A.G. in Berlin. 10. 3. 22. 6. 8. 24.

Anordnung für Metaldampfgleichrichter, bei denen das Kathodenmetall sich in einem Isoliergefäß befindet.

Anordnung für Metaldampfgleichrichter, bei denen das Kathodenmetall sich in einem Isoliergefäß befindet und der elektrische Anschluß der Kathode mittels einer von oben in das Isoliergefäß tauchenden Zuführung erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß das Isoliergefäß (*f*) für das Kathodenmetall in dem Metallgefäß (*a*) des Gleichrichters aufgehängt ist und dabei in eine Masse (*h*) eintaucht, die sich der Form beider Gefäße anpassen kann.

399762. Maurice Auguste Leblanc und Hewitt Electric Co. Ltd. in Suresnes-Seine. 2. 2. 21. 6. 8. 24.

Quecksilberdampfapparat aus Glas oder Quarz.

Quecksilberdampfapparat aus Glas oder Quarz, bei welchem außer der allgemeinen Kühlung des Gefäßes zwecks Steigerung der Leistung eine besondere Flüssigkeitskühlvorrichtung für die Elektroden sowie den Kondensationsraum vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß diese Kühlvorrichtung gleichzeitig als Träger für das Rohr dient.

403391. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 30. 7. 22. 2. 10. 24.

Quecksilberdichtung, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Quecksilberdichtung, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter, bei welcher hart an der Trennfuge der zu trennenden Räume ein Asbestring liegt, dadurch gekennzeichnet, daß sich über diesem Asbestring zunächst ein Gemisch von Asbestflocken und Specksteinpulver und darüber ein zweiter Asbestring befindet und daß auf diesen festen Teil der Dichtung das zum luftdichten Abschluß dienende Quecksilber aufgebracht ist.

## 2. bis 5. Ausführungsformen.

403545. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 21. 12. 23. 6. 10. 24.

Anode für Großgleichrichter. Zusatz zu Patent 395377.

Anode für Großgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß ihre Entladungsf lächen durch eingedrehte Nuten mit scharf zugespitzten Schneiden versehen sind.

404490. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 2. 7. 22. 21. 10. 24.

Metaldampfgleichrichter mit doppelwandigen, in das Innere hineinragenden zylindrischen Kühlgefäßen.

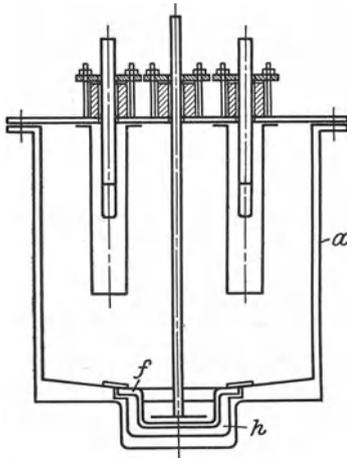


Abb. 288.

1. Metaldampfgleichrichter mit doppelwandigen, in das Innere hineinragenden zylindrischen Kühlgefäßen, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenwand jedes Kühlgefäßes als Träger einzelner Elektroden dient.

2. und 3. Ausführungsformen.

404644. Bergmann-Elektricitäts-Werke A.G. in Berlin. 9. 5. 22. 23. 10. 24.

Graphitanode für Metaldampfapparate, insbesondere Großgleichrichter.

1. Graphitanode für Metaldampfapparate, insbesondere Großgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß der Graphitkörper an dem einen Ende verdickt und mittels dieser Verdickung in eine Metallfassung eingesetzt ist, die mit dem Stromzuführungsleiter in Verbindung steht und das verdickte Ende des Graphitkörpers fest umschließt.

2. bis 5. Ausführungsformen.

405669. Johannes Nienhold in Charlottenburg. 17. 12. 19. 7. 11. 24.

Einrichtung zum Betrieb von Quecksilberdampfgleichrichtern, die auf elektrischem Wege gezündet werden.

Einrichtung zum Betrieb von Quecksilberdampfgleichrichtern, die auf elektrischem Wege gezündet werden, dadurch gekennzeichnet, daß der in einer für Quecksilberdampflampen bekannten Weise mit Edelgas gefüllte Gleichrichter eine an sich bekannte mit Alkalimetall legierte Quecksilberkathode enthält und durch einen einzigen Zündstromkreis, der durch eine von einer an sich bekannten Zusatzwicklung des Netzanschlußtransformators erzeugten niedrigen Spannung (etwa 500 V) gespeist wird, unmittelbar gezündet wird, wobei der Zündkreis in bekannter Art durch ein im Betriebsstrom der Röhre liegendes Relais selbsttätig abgeschaltet und beim Sinken des Betriebsstromes wieder eingeschaltet wird.

406066. Johannes Nienhold in Charlottenburg. 15. 2. 20. 27. 4. 25.

Quecksilberdampfgleichrichter, dessen Kathode mit Alkalimetall, Thallium, Gallium-Aluminium, Kadmium, Wismut usw. legiert ist.

1. Quecksilberdampfgleichrichter, dessen Kathode mit Alkalimetall, Thallium, Gallium-Aluminium, Kadmium, Wismut usw. legiert ist, dadurch gekennzeichnet, daß unter Benutzung einer Legierung, welche das Quecksilber in wesentlichem Überschuß gegenüber dem anderen Metall der Legierung enthält, die Entladungsröhre mit einem Edelgas oder Edelgasgemisch von solchem Druck (0,1 bis 0,8 mm) gefüllt ist, daß selbst bei festem Zustand der legierten Kathode, der außer Betrieb eintritt, die Röhre ohne Hilfsbewegung der Elektroden gezündet werden kann.

2. bis 6. Ausführungsformen.

406661. Gleichrichter-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 28. 5. 19. 29. 11. 24.

Elektrodeneinführung für Quecksilberdampfgleichrichter aus Glas.

1. Elektrodeneinführung für Quecksilberdampfgleichrichter aus Glas, dadurch gekennzeichnet, daß in den umgestülpten Hals des Glaskörpers ein aus dünnem Platinblech bestehender elastischer Topf eingeschmolzen ist, auf dessen dem Inneren des Vakuumgefäßes zugewandter Bodenseite ein aus einem quecksilberbeständigem, mit Platin gut verschweißbaren Metall bestehender Zuführungsleiter für die Elektrode aufgeschweißt ist, während in seinem verengten Bodenhals ein nach außen führendes aus gut elektrisch und gut wärmeleitendem Metall bestehendes Leitungsstück durch Hartlötten, Schweißen oder in ähnlicher Weise befestigt ist, zu dem Zwecke, bei guter Dichtung ohne Durchbrechung der Platinhaut eine möglichst gute Wärmeabfuhr zu erzielen und dadurch die Erwärmung der Glas-Platin-Schmelzstelle zu vermindern.

2. Ausführungsform.

410346. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 27. 10. 21. 5. 3. 25.

Gleichrichtermehrleiteranlage.

1. Gleichrichtermehrleiteranlage, dadurch gekennzeichnet, daß diejenigen sekundären an die Gleichrichter angeschlossenen Transformatorwicklungen, die durch die Vakuumstrecke des Gleichrichters vom Nulleiter (Ende) getrennt sind, über ein- oder mehrphasig angeschlossene Schutzwiderstände leitend mit Erde verbunden sind.

2. Ausführungsform.

410430. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 29. 9. 23. 6. 3. 25.

Haltevorrichtung für Gleichrichterglasgefäße mit Flüssigkeitskühlung nach Patent 385389. Zusatz zum Patent 385389.

1. Haltevorrichtung für Gleichrichterglasgefäße mit Flüssigkeitskühlung nach Patent 385389, dadurch gekennzeichnet, daß das Dach des Flüssigkeitsbehälters aus einem abnehmbaren Tragring (*e*) od. dgl. besteht, welcher das federnde Gegenlager (*f*) trägt, und daß ein am Tragring befestigter Bügel (*d*) das Gefäß (*a*) aufnimmt.

2. bis 4. Ausführungsformen.

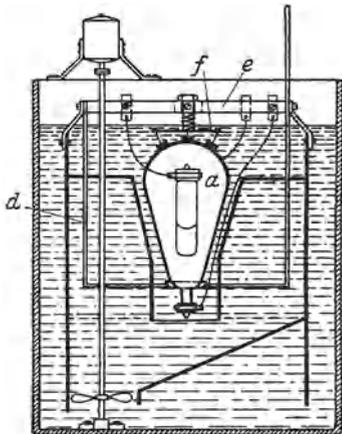


Abb. 289.

411971. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 6. 12. 21. 7. 4. 25.

Anordnung für Gleichrichter.

1. Anordnung für Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß die unwirksame Zone des Kathodenspiegels durch metallische Gitter, Siebe, Netze od. dgl. abgedeckt ist, welche ein höheres Potential haben als die Kathode.

2. und 3. Ausführungsformen.

412050. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 15. 7. 21. 7. 4. 25.

Dichtung für Metall-, namentlich Quecksilberdampfapparate mit einem die weiche elastische Hauptdichtung gegen des Vakuum abschließenden Schutzring.

1. Dichtung für Metall-, namentlich Quecksilberdampfapparate mit einem die weiche elastische Hauptdichtung gegen das Vakuum abschließenden Schutzring, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Schutzring hohl und federnd ausgebildet ist.

2. bis 7. Ausführungsformen.

412256. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 4. 3. 22. 21. 4. 25.

Kühlordnung für Gleichrichter.

1. Kühlordnung für Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlgefäß, das den Gleichrichter ringförmig umgibt, aus dem Gleichrichtermantel, dem Kopf eines Traggestelles und dem ringförmigen Tragsockel des Kopfes besteht.

2. bis 4. Ausführungsformen.

413087. A. G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 31. 7. 23. 6. 5. 25.

Einrichtung zur Heizung der in einen Gleichrichter eingebauten Quecksilberdampf-Hochvakuumpumpe.

1. Einrichtung zur Heizung der in einen Gleichrichter eingebauten Quecksilberdampf-Hochvakuumpumpe, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Erregeranode als Heizkörper für die Pumpe ausgebildet ist.

2. bis 6. Ausführungsformen.

413203. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 18. 6. 22. 7. 5. 25.

Elektrodenneinführung für Großgleichrichter.

1. Elektrodeneinführung für Großgleichrichter, gekennzeichnet durch Verkittung des Einführungsisolators mit dem Anodenschutzrohr.

2. Ausführungsform.

415202. Johannes Nienhold in Charlottenburg. 25. 5. 23. 16. 6. 25.  
Metalldampfgleichrichter für hochgespannte Ströme.

1. Metalldampfgleichrichter für hochgespannte Ströme, dadurch gekennzeichnet, daß die Anodenschutzrohre mit ihrer Mündung in je ein getrenntes vom Metalldampf durchströmtes Verbindungsrohr, das vom Kathoden- zum Kondensraum führt, derart eingelagert sind, daß für jede Anode eine die Restgase aus dem Anodenschutzrohr absaugende, als Dampfstrahlpumpe wirkende Doppelrohrdüse entsteht.

2. bis 5. Ausführungsformen.

415962. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 4. 11. 22. 7. 7. 25.  
Vakuumdichte Elektrodeneinführung in evakuierte Metallgefäße.

1. Vakuumdichte Elektrodeneinführung in evakuierte Metallgefäße, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektrodenisolator mit Metallbedeckungen (Ringern, Hülsen od. dgl.) verkittet ist, deren Paßflächen gleichartigen Flächen an der Elektrode einerseits und an dem Gehäuse andererseits entsprechen und die zusammen mit dem Isolator fertig auf Maß bearbeitet werden.

2. Ausführungsform.

415963. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 7. 7. 21. 7. 7. 25.

Dichtung für Metalldampfgleichrichter, bei der als Dichtungsmaterial Aluminium verwandt wird.

1. Dichtung für Metalldampfgleichrichter, bei der als Dichtungsmaterial Aluminium verwandt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zur Abdichtung — gegebenenfalls als Hauptdichtung oder als Vakuum in an sich bekannter Weise abschließende Vordichtung — ein Aluminiumring dient, der auf der dem Vakuum abgekehrten Seite mit Blei belegt ist.

2. und 3. Ausführungsformen.

416092. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 30. 10. 23. 8. 7. 25.

Einrichtung zum Entlüften von Quecksilberdampfgleichrichtern, bestehend aus einer mit dem Gleichrichtergefäß zusammengebauten Quecksilberdampfpumpe.

Einrichtung zum Entlüften von Quecksilberdampfgleichrichtern, bestehend aus einer mit dem Gleichrichtergefäß zusammengebauten Quecksilberdampfpumpe, dadurch gekennzeichnet, daß die Luft vom Gleichrichter in die unmittelbar auf den Zylinder des Gleichrichters aufgesetzte Pumpe durch ein düsenartiges, gleichzeitig als Spalt der Pumpe dienendes Rohr gelangt, welches sowohl die Decke des Gleichrichterzylinders als auch den Boden der Luftpumpe durchdringt und in dessen Inneren Kühleinrichtungen vorgesehen sind, welche die in die Luftpumpe strömende Luft vorkühlen.

416598. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 9. 10. 21. 17. 7. 25.

Einrichtung zum Betrieb von Quecksilberdampfgleichrichtern, die eine Kühlung mit auf Grund einer Temperaturmessung selbsttätig regelbarer Zuführung des Kühlmittels besitzt.

Einrichtung zum Betrieb von Quecksilberdampfgleichrichtern, die eine Kühlung mit auf Grund einer Temperaturmessung selbsttätig regelbarer Zuführung des Kühlmittels besitzt, dadurch gekennzeichnet, daß die die Kühlräume durchfließende Wassermenge auf konstante Ablauftemperatur des Kühlwassers geregelt wird.

416734. Bergmann-Elektricitäts-Werke A.G. in Berlin. 10. 3. 22. 24. 7. 25.

Anordnung bei Vakuumapparaten, insbesondere Metalldampfgleichrichtern.

Anordnung bei Vakuumapparaten, insbesondere Metalldampfgleichrichtern, mit einzeln oder gruppenweise in Schutzhüllen untergebrachten Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß die Vakuumleitung unmittelbar oder über eine besondere Öffnung mittelbar mit dem Innenraum der Schutzhülle verbunden ist und so auf das beim Elektrizitätsdurchgang in der Schutzhülle sich anhäufende Gas einwirkt.

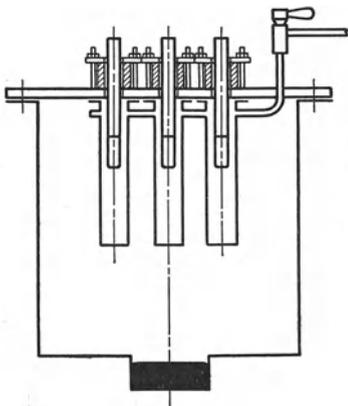


Abb. 290.

417091. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 17. 9. 22. 5. 8. 25.

Metalldampfgleichrichter. Zusatz zum Patent 342911.

1. Metalldampfgleichrichter, gekennzeichnet durch eine derartige Ausbildung der Abdichtung der unwirksamen Räume, daß zwischen wirksamen und unwirksamen Räumen eine große Anzahl labyrinthartiger Wege entsteht, in denen sich der eintretende Quecksilberdampf kondensiert.

2. bis 4. Ausführungsformen.

417165. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 22. 6. 23. 6. 8. 25.

Zündvorrichtung für Quecksilberdampfgleichrichter mit Metallgefäß und isolierter Kathode.

1. Zündvorrichtung für Quecksilberdampfgleichrichter mit Metallgefäß und isolierter Kathode, dadurch gekennzeichnet, daß als Zündanode eine vom Kathodenquecksilber durch Teile des Kathodenisolators getrennte Quecksilbermasse dient, die durch einen eisernen, elektromagnetisch bewegten Verdrängerkörper zeitweise mit dem Kathodenquecksilber in Berührung gebracht werden kann.

2. und 3. Ausführungsformen.

417583. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 13. 10. 23. 22. 8. 25.

Schaltung zum Betrieb der Erregeranoden von mit Dreiphasenstrom betriebenen Metalldampfgleichrichtern.

Schaltung zum Betrieb der Erregeranoden von mit Dreiphasenstrom betriebenen Metalldampfgleichrichtern, um die Erregeranoden mit Strömen von zwei um etwa 180° verschiedenen Phasen zu speisen, dadurch gekennzeichnet, daß die eine der Erregeranoden mit zwei hintereinandergeschalteten Phasen des Transformators gespeist wird, während die andere von der dritten Phase gespeist wird.

417622. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 10. 1. 23. 19. 8. 25.

Gleichrichteranode mit isoliert eingebautem Kühlkörper.

1. Gleichrichteranode mit isoliert eingebautem Kühlkörper, dadurch gekennzeichnet, daß der dem Lichtbogen ausgesetzte Teil der Anode von dem Kühlkörper durch eine mantelartige Luftschicht gleichmäßiger Stärke getrennt ist, zu dem Zwecke, eine Erwärmung der Anode bis zur Glühtemperatur zu ermöglichen.

2. und 3. Ausführungsformen.

419079. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 27. 6. 22. 19. 9. 25.

Einrichtung zur Verhinderung von Rückzündungen bei Metalldampfgleichrichtern.

Einrichtung zur Verhinderung von Rückzündungen bei Metalldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß das sich in der Nähe der Anoden niederschlagende Quecksilber in einer die Anode umgebenden Kammer, in welcher das flüssige Quecksilber gegen den Ionisierungsraum abgedichtet ist, gesammelt und durch ein Rohr zur Kathode zurückgeführt wird.

419080. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 28. 10. 22. 1. 10. 25.

Kühleinrichtung für Quecksilberkathoden von Großgleichrichtern.

1. Kühleinrichtung für Quecksilberkathoden von Großgleichrichtern, gekennzeichnet durch Taschen im Kathodenboden, durch die einerseits das Quecksilber, andererseits das Kühlmittel eintritt.

2. und 3. Ausführungsformen.

421583. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 10. 1. 23. 25. 11. 25.

Anordnung zur Kühlung von Gleichrichteranoden.

1. Anordnung zur Kühlung von Gleichrichteranoden, dadurch gekennzeichnet, daß der als dünnwandiger Körper ausgebildeten Anode in geringem gegenseitigen Abstände ein wärmeableitender, mit der Anode unmittelbar verbundener Körper derart zugeordnet ist, daß der Wärmeübergang sowohl durch Leitung als auch durch Strahlung erfolgt.

2. und 3. Ausführungsformen.

(Zweck der Verwendung eines dünnen Anodenkörpers ist, ihn beim Einschalten schnell auf die als rückzündungssicherer angesehene hohe Temperatur zu bringen.)

422776. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 1. 10. 22. 11. 12. 25.

Anordnung zum Schutz gegen Rückzündungen in Großgleichrichtern.

1. Anordnung zum Schutz gegen Rückzündungen in Großgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß ein auf den unwirksamen Konstruktionsteilen, insbesondere der Gefäßwand, unmittelbar aufliegender, aus mehreren Teilen lückenlos zusammengesetzter isolierender Belag dieselben gegen den Ansatz des Lichtbogens schützt.

2. und 3. Ausführungsformen.

426995. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 16. 1. 23. 22. 3. 26.

Quecksilberdampfgleichrichter mit Einrichtung zum Reinigen und Zerteilen des in den Kathodenbehälter zurückfließenden Quecksilbers.

1. Quecksilberdampfgleichrichter mit Einrichtung zum Reinigen und Zerteilen des in den Kathodenbehälter zurückfließenden Quecksilbers, bei welchem das kondensierte Quecksilber in einem besonderen, von dem Kathodenquecksilber elektrisch getrennten Raum gesammelt wird und von diesem durch einen heberartigen Überlauf zur Kathode zurückfließt, dadurch gekennzeichnet, daß der Sammelraum für das von den Wänden herabfließende Quecksilber durch einen am Kathodenabflußflansch des Gehäuses angebrachten, mit einem heberartigen Überlauf versehenen Ansatz und die schräg abfallende Bodenfläche des Gehäuses gebildet wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

427165. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 26. 10. 23. 8. 4. 26.

Schutzhülle für die Entladungsbahn in elektrischen Gas- und Dampfentladungsapparaten.

1. Aus teleskopartig ineinandergreifenden Teilen bestehende Schutzhülle für die Entladungsbahn in elektrischen Gas- und Dampfentladungsapparaten, dadurch gekennzeichnet, daß an den Teleskopfugen Schutzvorrichtungen angebracht sind, die das Eindringen von flüssigem Quecksilber in die Schutzhüllen verhüten.

2. und 3. Ausführungsformen.

428475. Firma Metallbank und Metallurgische Gesellschaft A.G. in Frankfurt (Main). 31. 1. 19. 6. 5. 26.

Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß abgesehen vom Quecksilberdampfe der Gesamtpartialdruck der übrigen in ihm eingeschlossenen — besonders aber der elektronegativen — Gase nur wenige hunderttausendstel Millimeter beträgt oder noch geringer ist, daß ferner das gesamte Quecksilber mit Hilfe eines mehrfach wiederholten Destillationsrücklaufes, die Anoden durch Unterbindung der Glaszersetzung mit Hilfe von Abschirmung, schließlich sämtliche Teile durch Erhitzung während des Auspumpens derartig weitgehend entgast sind, daß das angegebene Partialvakuum dauernd aufrechterhalten bleibt, selbst bei Gleichrichtung großer Stromdichten bei hohen Spannungen.

2 bis 6. Ausführungsformen.

429032. A. G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 14. 6. 21. 17. 5. 26.  
Einrichtung zur Verhinderung einer Metaldampfkondensation an den Anoden von Metaldampfgleichrichtern.

Einrichtung zur Verhinderung einer Metaldampfkondensation an den Anoden von Metaldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß an der Anodenhülse außer der Endöffnung mindestens eine seitliche Öffnung angebracht ist, die unmittelbar oder über ein angesetztes Rohr zu einer stark gekühlten Stelle des Gleichrichtergerätes führt.

430103. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 24. 11. 22. 16. 6. 26.

Selbsttätige elektromagnetische Kippvorrichtung für Quecksilbergleichrichter.

Selbsttätige elektromagnetische Kippvorrichtung für Quecksilbergleichrichter, die nach dem Zünden des Lichtbogens durch einen in einem Hilfsstromkreis liegenden Magnetschalter selbsttätig stillgesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der den Magnetschalter steuernde Hilfsstromkreis von den Anoden über einen, z. B. aus Widerständen gebildeten, künstlichen Nullpunkt zur Kathode des Gleichrichters führt.

430269. Firma Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie A. G. in Berlin. 8. 2. 24. 16. 6. 26.

Metaldampfgleichrichter.

Metaldampfgleichrichter, bei welchem zwecks Aufrechterhaltung des Vakuums in der Nähe der Anoden der Dampfstrahl mittels eines Sammelgefäßes an den offenen Enden der Anodenschutzrohre vorbeigeführt und sodann durch einen als Saugdüse wirkenden unterhalb der Anodenschutzrohre befindlichen Spalt hindurch in einen mit dem Kathodenraum in Verbindung stehenden Kondensations- und Gassammelraum geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Anodenschutzrohre derart gebogen sind, daß ihre offenen Enden in Richtung der nach dem Spalt zurückkehrenden Dampfströmung liegen.

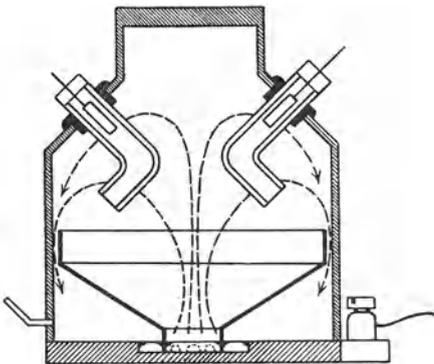


Abb. 291.

432499. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 11. 8. 22. 9. 8. 26.

Sicherheitsvorrichtung für Metaldampfapparate.

1. Sicherheitsvorrichtung für Metaldampfapparate, dadurch gekennzeichnet, daß eine die Anode in bekannter Weise umgebende Metallhülle mit der Anode leitend verbunden und von einer isolierenden Hülle eingeschlossen ist.

2. und 3. Ausführungsformen.

432920. A. G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 9. 11. 22. 17. 8. 26.

Anode für Vakuumentladungsapparate, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Anode für Vakuumentladungsapparate, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter, bei welcher mindestens ein Teil der ans Vakuum grenzenden Anodenoberfläche mit Unebenheiten von solcher Form und Tiefe versehen ist, daß an möglichst vielen Stellen dieses Oberflächenteiles die Flächennormale in einem gewissen Abstände die Anodenoberfläche wieder trifft, dadurch gekennzeichnet, daß der Höchstwert des durch die Flächennormale gemessenen Oberflächenabstandes der Unebenheiten kleiner ist als die Breite des Crookeschen Dunkelraumes, welche bei dem Betriebsvakuum des Gleichrichters entsprechenden Rückzündungsspannung auftritt.

2. bis 4. Ausführungsformen.

433210. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 3. 10. 22. 27. 8. 26.

Großgleichrichter mit in einem gemeinsamen Raum nebeneinander angeordneten Anoden.

Großgleichrichter mit in einem gemeinsamen Raum nebeneinander angeordneten Anoden, dadurch gekennzeichnet, daß die Anodenhülsen ihre Anoden derart eng umschließen, daß der Abstand zwischen Hülse und Anode über einen großen Teil der Anodenoberfläche kleiner ist als die von Anodenmitte radial gemessene Ausdehnung des Crookeschen Dunkelraumes bei dem zum Betrieb des Gleichrichters erforderlichen Gasdruck.

433363. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 26. 6. 21. 3. 9. 26.

Verfahren zum Betrieb von Metaldampfgleichrichtern.

1. Verfahren zum Betrieb von Metaldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß zwecks selbsttätiger Anpassung des Erregerstromes an die Belastung des Gleichrichters die Erregerspannung nicht wesentlich größer ist als die vom Hauptstrombogen an die Erregeranoden abgesetzte Spannung gewählt wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

435362. Dr.-Ing. Walter Dällenbach in Zürich. 21. 11. 24. 16. 10. 26.

Isolator für Vakuumgefäße aus Metall mit isolierter Elektroden-einführung, insbesondere für Metaldampfgleichrichter.

Isolator für Vakuumgefäße aus Metall mit isolierter Elektroden-einführung, insbesondere für Metaldampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß er aus gepreßtem Glas von hohem Quarzgehalt, insbesondere aus Borosilikatglas, besteht.

435536. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 10. 8. 23. 18. 10. 26.

Anode für Vakuumentladungsapparate, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter. Zusatz zum Patent 432920.

1. Anode für Vakuumentladungsapparate, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus einzelnen Teilen aufgebaut ist.

2. Anode nach Anspruch 1., dadurch gekennzeichnet, daß sie aus Blechen aufgebaut ist, die am Anodenkopf auseinandergebogen sind und am Anodenhals zusammengehalten werden.

436198. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 10. 5. 25. 26. 10. 26.

Einrichtung zur Vermeidung von Rückzündungen in Quecksilberdampfgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Vermeidung von Rückzündungen in Quecksilberdampfgleichrichtern, bei denen Behälter mit einer Wasserdampf stark absorbierenden Substanz, z. B. Phosphorpentoxyd, in dem Vakuumraum des Gleichrichters oder in besonderen Räumen, die mit diesem durch genügend weite Rohre in Verbindung stehen, angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß der die Substanz enthaltende Behälter von einem Gefäß mit poröser Wandung umgeben ist.

2. Ausführungsform.

437414. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 30. 10. 24. 20. 11. 26. Anodeneinführung für Quecksilberdampfgleichrichter mit Metallgefäß.

1. Anodeneinführung für Quecksilberdampfgleichrichter mit Metallgefäß mit einer im Innern des evakuierten Gleichrichtergefäßes angeordneten beweglichen Dichtung zwischen dem sich mit seiner unteren Stirnfläche auf den Anodenkopf abstützenden Anodenisolator und dem Anodenbolzen, durch welche der wirksame Vakuumraum des Gleichrichters gegen die unwirksamen Räume der Einführungsstelle auch beim Auftreten von Wärmedehnungen gedichtet ist, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Isolator und dem Anodenkopf eine metallische Hülse (*d*) angeordnet ist, die eine an der unteren Stirnfläche des Isolators unter Federdruck anliegende ebene Dichtungsfläche und eine gegen den Anodenkopf abdichtende und an diesem verschiebbare koaxiale zylindrische, geschliffene Führungsfläche (*i*) aufweist.

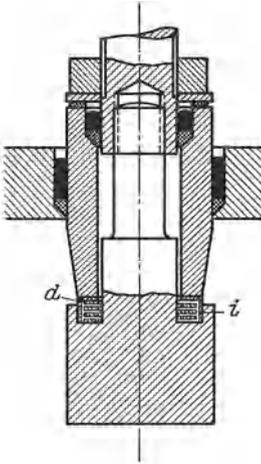


Abb. 292.

2. und 3. Ausführungsformen.

438639. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 6. 3. 25. 20. 12. 26.

Hochvakuumdichtung für Vakuumgefäße, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter mit Metallgefäß.

1. Hochvakuumdichtung für Vakuumgefäße, insbesondere für Quecksilberdampfgleichrichter mit Metallgefäß, bei der zwischen die zu dichtenden Teile eine aus porösem schmiegsamen Stoff bestehende Zwischenlage eingebaut ist, die auch ohne vorgelagerte Dichtungsmasse gegen Hochvakuum dichtet, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenlage mit einem überwiegend Leinöl enthaltenden Lack getränkt ist.

2. bis 4. Ausführungsformen.

439054. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 30. 7. 20. 3. 1. 27.

Zündvorrichtung für Quecksilberdampfgleichrichter und ähnliche Apparate.

Zündvorrichtung für Quecksilberdampfgleichrichter und ähnliche Apparate mit feststehendem Entladungsgefäß, bei denen eine elektrisch bewegliche und über der Quecksilberkathode schwebende Zündelektrode mit ihrem äußeren Ende an einem von der Sekundärseite des Gleichrichtertransformators abgezweigten Wechselstromkreis über einen vom Gleichstrom überwachten Schalter derart angeschlossen ist, daß die durch Eintauchen der Zündelektrode erfolgende Zündung lediglich durch Einleiten des Betriebswechselstromes zu standekommt und die Zündelektrode unter diesem Einflusse so lange schwingt, bis sie nach erfolgter Zündung von dem Gleichstrom selbsttätig abgeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, daß der die Zündvorrichtung enthaltende Stromzweig zwei Unterbrechungsstellen, die eine vor und die andere hinter der Zündvorrichtung, aufweist.

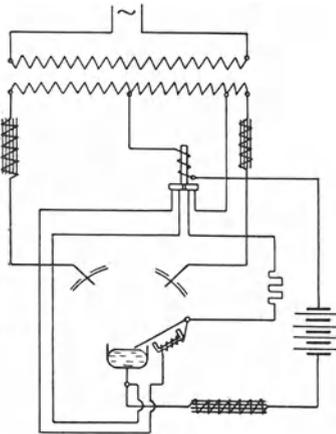


Abb. 293.

439088. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 1. 1. 26. 3. 1. 27.

Gleichrichtergefäß aus Eisen.

1. Gleichrichtergefäß aus Eisen, dadurch gekennzeichnet, daß seine Wandung zum Zwecke der Abdichtung mit einem vulkanisierten Gummiüberzug versehen ist.  
2. Ausführungsform.

439847. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 9. 8. 24. 20. 1. 27.  
Metalldampfgleichrichter.

1. Metalldampfgleichrichter mit metallischem Gehäuse, bei welchem zwischen den einzelnen Elektroden und dem Metallgefäß besondere Stromwege angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromwege Funkenstrecken und Ohmsche Widerstände zum Zwecke der Vermeidung von Überspannungen enthalten.

2. Ausführungsform.

441387. Dr.-Ing. Walter Dällenbach in Zürich. 21. 11. 24. 1. 3. 27.

Verfahren zur Herstellung von chemisch reinen Überzügen aus Kohlenstoff auf Elektroden von Vakuumentladungsgefäßen, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichtern.

1. Verfahren zur Herstellung von chemisch reinen Überzügen aus Kohlenstoff auf Elektroden von Vakuumentladungsgefäßen, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der Überzüge dienende gasförmige Körper durch die zu überziehenden Elektroden hindurch in das Vakuumentladegefäß eingeführt werden, derart, daß die Gase in unmittelbarer Nähe der aktiven Elektrodenoberfläche in den Entladungsraum ausströmen und durch die elektrischen Entladungen innerhalb des Vakuumgefäßes chemisch zerlegt werden.

2. Ausführungsform.

444597. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 7. 11. 24. 25. 5. 27.

Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen auf Metallelektroden für Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Verfahren zur Herstellung von Metallüberzügen auf Metallelektroden für Quecksilberdampfgleichrichter aus im Lichtbogen verdampften Metall, dadurch gekennzeichnet, daß das Grundmetall vor dem Einbringen der Elektrode in den Quecksilberdampfgleichrichter durch Behandlung mit einem Quecksilberlichtbogen im Vakuum an der Oberfläche amalgamiert wird.

2. Ausführungsform.

446185. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 8. 10. 24. 25. 6. 27.

Glasgleichrichter mit innerer Kühlung.

1. Glasgleichrichter mit innerer Kühlung, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme des strömenden Kühlmittels ein von dem Boden des Gleichrichtergefäßes durch die Kathode hindurch bis in den Kondensationsraum des Glaskolbens hinein reichender Kühlkörper dient.

2. Der Kühlkörper besteht aus einer allseitig geschlossenen Glasblase, die nur am Boden des Gleichrichterkolbens von den Anschlüssen für Zu- und Ablauf des Kühlmittels oder die Kühlmittleitungen durchbrochen ist.

452132. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 26. 2. 25. 7. 11. 27.

Vorrichtung zum Zünden und Löschen von mit besonderen Zünd- und Erregeranoden versehenen Metalldampfapparaten, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichtern.

452176. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 28. 11. 25. 4. 11. 27.

Anordnung zum selektiven Abschalten eines Metalldampfgleichrichters bei einer in ihm selbst auftretenden Rückzündung. Zusatz zum Patent 441124.

452236. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 23. 12. 23. 8. 11. 27.

Formation von Gleichrichtergefäßen aus Metall durch Induktionsheizung mittels Niederfrequenzstrom.

452709. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 25. 1. 25. 21. 11. 27.

Großgleichrichter für hohe Stromstärken.

Güntherschulze, Elektr. Gleichrichter, 2. Aufl.

1. Großgleichrichter für hohe Stromstärken, dadurch gekennzeichnet, daß seine Quecksilberkathode in zwei oder mehrere räumlich getrennte, jedoch untereinander elektrisch kurzgeschlossene Teilkathoden unterteilt ist, denen je eine besondere Zünd- und Erregervorrichtung zugeordnet ist.

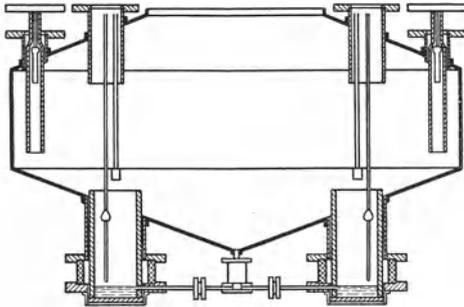


Abb. 294.

2. bis 4. Ausführungsformen.

453084. Emil Hegemann in Gotha. 24. 10. 22. 28. 11. 27.

Quecksilberdampfgleichrichter aus Glas mit durch Ventilator gekühltem Gefäß.

1. Quecksilberdampfgleichrichter aus Glas mit durch Ventilator gekühltem Gefäß, dadurch gekennzeichnet, daß die Glaswandung zum Zwecke der Kühlung

auf ihrer ganzen freien Oberfläche mit einem durch Aufbringen von Metallfarbe, z. B. Silberbronze oder Kupferbronze, oder durch Bewickeln mit einem Metallband hergestellten festanliegenden Metallüberzug versehen ist.

2. bis 4. Ausführungsformen.

454043. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 18. 10. 25. 27. 12. 27.

Quecksilberdampfgleichrichter mit einer über der Kathode befindlichen, nach oben sich erweiternden Düse.

1. Quecksilberdampfgleichrichter mit einer über der Kathode befindlichen, sich nach oben erweiternden Düse, welche dem an sie anschließenden Kondensationsraum den aufsteigenden Quecksilberdampf zuführt, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensationsraum, wenigstens in seinem unteren Teile, als stetig sich nach oben erweiternder gekühlter Blechkamin ausgebildet ist.

2. Ausführungsform.

454129. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 14. 6. 21. 6. 1. 28.

Einrichtung zur Verhinderung von Feldstörungen in Metallampfgleichrichtern.

1. Einrichtung zur Verhinderung von Feldstörungen in Metallampfgleichrichtern mittels Potentialausgleichs zwischen den Anoden und einer den Anodenraum umschließenden Hülle durch einen Hilfsstromkreis, dadurch gekennzeichnet, daß als die auf das Potential der jeweils arbeitenden Anode aufzuladende Hülle der gegen die Kathode isolierte Teil des Gleichrichtergefäßes selbst dient.

2. bis 7. Ausführungsformen.

455699. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 24. 10. 26. 2. 2. 28.

Großgleichrichter mit in den Anodenkranz ragenden Kühlrohren.

Großgleichrichter mit in den Anodenkranz ragenden Kühlrohren, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Durchleitung des Kühlmittels dienenden, zwischen dem Kathodenraum und den Anodenräumen angebrachten Kühlrohre sowohl im Boden als auch im Deckel des Gleichrichtergefäßes eingeschweißt sind.

456367. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 31. 8. 26. 25. 2. 28.

Abschluß zwischen Anodenkopf und Anodenisolator bei Quecksilberdampfgleichrichtern mit Metallgefäß mittels nachgiebigen und wärmeisolierenden Stoffes, insbesondere Kohlepulvers o. dgl.

1. Abschluß zwischen Anodenkopf und Anodenisolator bei Quecksilberdampf-

gleichrichtern mit Metallgefäß mittels nachgiebigen und wärmeisolierenden Stoffes, insbesondere Kohlepulvers oder dgl., dadurch gekennzeichnet, daß dieser Stoff in eine dünne Blechkapsel eingeschlossen ist.

2. Ausführungsform.

456368. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 12. 5. 25. 20. 2. 28.

Metalldampfgleichrichter mit Zwischenlage zwischen dem Anodenkopf und dem Anodenisolator zum Abschluß des wirksamen vom unwirksamen Raume.

1. Metalldampfgleichrichter mit Zwischenlage zwischen dem Anodenkopf und dem Anodenisolator zum Abschluß des wirksamen vom unwirksamen Raume, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenlage aus einem Stoffe besteht, der überwiegend Kohlenstoff enthält.

2. und 3. Ausführungsformen.

458740. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 22. 5. 24. 18. 4. 28.

Glasgleichrichter mit gesondertem, von der Entladung nicht durchsetztem Kondensationsraum.

Glasgleichrichter mit gesondertem, von der Entladung nicht durchsetztem Kondensationsraum, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensationsraum aus seitlichen, vorzugsweise zur Rückführung des kondensierten Quecksilbers gegen die Kathode geneigten rohrförmigen Ansätzen besteht.

458709. A.G. Brown, Boveri & Cie. in Baden (Schweiz). 2. 11. 26. 19. 4. 28.

Kühleinrichtung für in Kreisen angeordnete Anoden von Metalldampfgleichrichtern.

1. Kühleinrichtung für in Kreisen angeordnete Anoden von Metalldampfgleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß jede Anode von einer Kühleinrichtung umgeben ist, deren Querschnitt in Richtung senkrecht zur Anodenachse keilförmig gestaltet ist.

2. bis 4. Ausführungsformen.

460491. Dr.-Ing. Walter Dällenbach in Zürich. 8. 9. 25. 30. 5. 28.

Quecksilberdampfapparat, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichter.

1. Quecksilberdampfapparat, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß der Kathodenquecksilberbehälter federnd gegen das Gehäuse abgestützt ist und daß ferner der stromzuführende Leiter wagrecht das Gefäß des Quecksilberdampfapparates durchsetzt und seitlich am Quecksilberbehälter anschließt.

2. Ausführungsform.

Grund: Transporterleichterung.

461320. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 28. 1. 26. 18. 6. 28.

Vorrichtung zum Zünden von Quecksilberdampfgleichrichtern durch mittels elektromagnetisch gesteuerten Verdrängerkörpers gegen eine feste Anode gespritztes Kathodenquecksilber.

Vorrichtung zum Zünden von Quecksilberdampfgleichrichtern durch mittels elektromagnetisch gesteuerten Verdrängerkörpers gegen eine feste Anode ge-

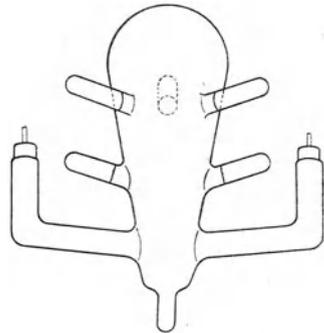


Abb. 295.

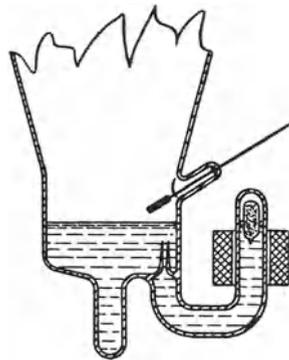


Abb. 296.

spritztes Kathodenquecksilber, dadurch gekennzeichnet, daß der in einem mit dem Kathodenbehälter kommunizierenden Nebenbehälter angeordnete Verdrängerkörper mit einer im Kathodenbehälter feststehenden Spritzdüse in der Weise zusammenwirkt, daß seine Bewegung einen Quecksilberzündstrahl durch die Düse treibt.

461380. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 27. 10. 26. 22. 6. 28.

Großgleichrichter für hohe Stromstärken. Zusatz zum Patent 452709.

1. Großgleichrichter für hohe Stromstärken, dadurch gekennzeichnet, daß die den Teilkathoden zugeordneten Züandanoden an einem gemeinsamen steuerbaren Träger angebracht sind.

2. bis 4. Ausführungsformen.

461565. Gleichrichter-Gesellschaft m. b. H. in Berlin. 25. 12. 26. 22. 6. 28.

Einrichtung zum Kühlen von Quecksilberdampfgleichrichtern mittels Ventilators.

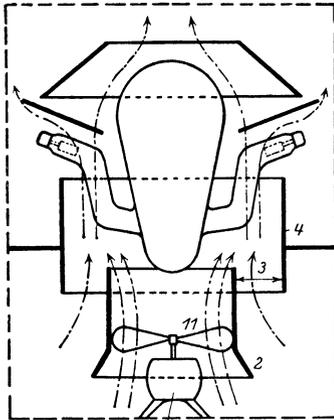


Abb. 297.

1. Einrichtung zum Kühlen von Quecksilberdampfgleichrichtern mittels Ventilators, gekennzeichnet durch ein von dem Ventilator (10, 11) angesaugten Luftstrom führendes Rohr (2), welches injektorartig in ein Rohr (4) größeren Durchmessers derart einmündet, daß in dem von beiden Rohrenden gebildeten Ringspalt eine Saugwirkung entsteht.

2. und 3. Ausführungsformen.

462140. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. 21. 10. 20. 5. 7. 28.

Quecksilberdampfgleichrichter mit Kippzündung.

Quecksilberdampfgleichrichter mit Kippzündung, dadurch gekennzeichnet, daß feste Erregeranoden dicht über dem Quecksilberspiegel angeordnet sind, so daß bei Schrägstellung des Glasgefäßes eine Berührung der Erregeranoden mit dem Quecksilber stattfindet und bei darauffolgender Geradestellung des Gefäßes durch den entstehenden Funken

der zur Zündung erforderliche Lichtbogen der Erregeranode einsetzt.

465279. Maschinenfabrik Oerlikon in Oerlikon (Schweiz). 16. 1. 27. 13. 9. 28.

Quecksilberdampfgleichrichter.

Quecksilberdampfgleichrichter, gekennzeichnet durch eine derartige Anordnung zweier oder mehrerer hintereinander geschalteter Lichtbogenstrecken in demselben Vakuumraum, daß nur die Anode einer einzigen dieser Lichtbogenstrecken vakuumdicht und isoliert durch die Gefäßwand hindurchgeführt ist.

Zweck: Vermeidung der Gefahr der Rückzündung.

465280. Dr. Ezechiel Weintraub in Paris. 29. 4. 27. 12. 9. 28.

Quecksilberdampfapparat, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichter.

Quecksilberdampfapparat, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichter mit Glasbehälter und einem an der Kondensationskammer angeordneten, während des Transportes die ganze Quecksilbermenge aufnehmenden Hilfsbehälter, dadurch gekennzeichnet, daß der Hilfsbehälter (B) von der Kondensationskammer (A) durch eine auf die Bewegung des Quecksilbers dämpfend einwirkende Vorrichtung, z. B. eine gelochte Scheidewand, getrennt ist.

465831. Maschinenfabrik Oerlikon in Oerlikon (Schweiz). 1. 3. 27. 22. 9. 28.

Verfahren zur Regelung der von einem mit unveränderlicher

Drehzahl angetriebenen Ventilator bewirkten Luftkühlung von Glas-Quecksilberdampfapparaten, insbesondere Gleichrichtern.

1. Verfahren zur Regelung der von einem mit unveränderlicher Drehzahl angetriebenen Ventilator bewirkten Luftkühlung von Glas-Quecksilberdampfapparaten, insbesondere Gleichrichtern, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlluftstrom von dem anzublasenden Apparateteil abgelenkt wird.

2. bis 4. Ausführungsformen.

466893. Bergmann-Elektricitäts-Werke A.G. in Berlin. 2. 11. 26.  
12. 10. 28.

Metalldampfgleichrichter mit elektromagnetisch betätigter, in der Ruhelage außerhalb des Kathodenquecksilbers befindlicher Zündanode.

1. Metallgleichrichter mit elektromagnetisch betätigter, in der Ruhelage außerhalb des Kathodenquecksilbers befindlicher Zündanode, gekennzeichnet durch Einrichtungen, welche die Zündanode nach erfolgter Zündung selbsttätig, vorzugsweise in Abhängigkeit von der auftretenden Gleichspannung, über ihre Ruhelage hinaus von der Kathodenoberfläche entfernen.

2. bis 5. Ausführungsformen.

## 201. Gruppe 15.

Schwingende und umlaufende elektrische Gleichrichter.

197123. Koch & Sterzel in Dresden. 5. 12. 06. 8. 4. 08.

Vorrichtung zur Entnahme von Gleichstrom aus einer Wechselstromquelle durch einen synchron gesteuerten Unterbrecher.

Vorrichtung zur Entnahme von Gleichstrom aus einer Wechselstromquelle durch einen synchron gesteuerten Unterbrecher, bei welcher über die Gleichstromklemmen des Verbraucherkreises zur Erzielung eines wellenden, aber nicht aussetzenden Gleichstromes eine Kapazität geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß in Reihe mit dem Verbraucherapparat eine Selbstinduktion geschaltet ist, um mit der Vorrichtung bei Erzielung wellenden, aber nicht aussetzenden Gleichstromes auch Verbraucherapparate ohne oder mit unzureichendem induktiven Widerstand speisen zu können.

197185. Koch & Sterzel in Dresden. 13. 7. 07. 8. 4. 08.

Vorrichtung zur Entnahme von Gleichstrom aus einer Wechselstromquelle durch einen oder mehrere synchron gesteuerte Unterbrecher oder Stromwender.

Vorrichtung zur Entnahme von Gleichstrom aus einer Wechselstromquelle durch einen oder mehrere synchron gesteuerte Unterbrecher oder Stromwender, bei welcher über die Gleichstromklemmen des Verbraucherkreises zur Erzielung eines wellenden, aber nicht aussetzenden Gleichstromes eine Kapazität geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die parallel zum Verbraucherkreis liegende Kapazität durch eine Kontaktvorrichtung oder ein Relais zeitlich nach dem Verbraucherkreis eingeschaltet wird zum Zwecke der Vermeidung eines zur Netzspannung voreilenden Stromes im Unterbrecher oder Stromwender.

223893. Siemens & Halske A.G. in Berlin. 23. 3. 09. 5. 7. 10.

Hochspannungsgleichrichter für Wechselstrom.

Hochspannungsgleichrichter für Wechselstrom, bei dem zwei Paare synchron zu diesem umlaufender Leiter abwechselnd verschiedene Paare fest angeordneter Kontakte verbinden, dadurch gekennzeichnet, daß von den mit zwei Paaren fester, parallel zueinander angeordneter Kontakte abwechselnd in elektrische Verbindung tretenden Leiterpaaren das eine aus zwei diametral angeordneten, gegenüberliegende feste Kontakte verbindenden Leitern, das andere Paar aus zwei gegenüberliegenden, parallel zur Welle angeordneten und dementsprechend nebeneinander liegende feste Kontakte verbindenden Leitern besteht, wobei die Stromquelle und die den Gleichstrom verbrauchende Vorrichtung an diagonal angeordnete Kontakte angeschlossen sind.

225500. Siemens & Halske A.G. in Berlin. 2. 3. 09. 15. 9. 10.

Hochspannungsgleichrichter für Wechselstrom.

Hochspannungsgleichrichter für Wechselstrom, bei dem synchron zu diesem umlaufende Leiter abwechselnd verschiedene Paare fest angeordneter Kontakte verbinden, dadurch gekennzeichnet, daß an der Welle, um  $90^\circ$  versetzt, zwei aus diametral angeordneten achsparallelen Stäben bestehende Leiterpaare vorgesehen sind, die sich zwischen drei parallel angeordneten Paaren von festen, diametral liegenden Einzelkontakten bewegen, wobei die Mittelkontakte für sich und die über Kreuz liegenden Außenkontakte zusammen an die Pole der Stromquelle bzw. der Verbrauchervorrichtung angeschlossen sind.

226878. Ernst Fäzler in Frankfurt a. M. 2. 12. 08. 13. 10. 10.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker.

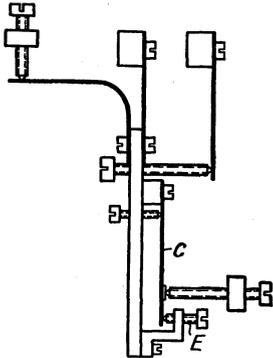


Abb. 298.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker, dessen Kontaktfeder während der Stromunterbrechung an einem Anschlag anliegt und während der Kontaktdauer durch den Kontaktstift von dem Anschlag abgehoben wird, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die Kontaktfeder (c) als auch der Anschlag (B) entweder an dem schwingenden Anker oder an einem im Raume feststehenden Punkte befestigt ist, wobei der Stromschluß mit der Ablenkung der Kontaktfeder aus ihrer Ruhelage zeitlich zusammenfällt.

234960. Ernst Fäzler in Frankfurt a. M. 25. 2. 09. 27. 5. 11.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker.

1. Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker, dessen Erregung durch die Wechselstromquelle entnommene unterbrochene

Stromimpulse gleicher Richtung erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß die Eigenschwingungszeit des Ankers der Frequenz des Wechselstromes unter Vermeidung voller Übereinstimmung so nahe gebracht ist, daß beim Vorhandensein einer Gleichstrom-EMK im Stromkreis der Gleichrichter nur dann anspricht, wenn sich die für den Betrieb des Gleichrichters erforderliche Erregerstromstärke durch die Differenz der Gleichstrom-EMK und der Spannung des gleichgerichteten Stromes ergibt.

2. Ladeeinrichtung.

235217. Ernst Fäzler in Frankfurt a. M. 19. 3. 09. 3. 6. 11.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker. Zusatz zum Patent 226878.

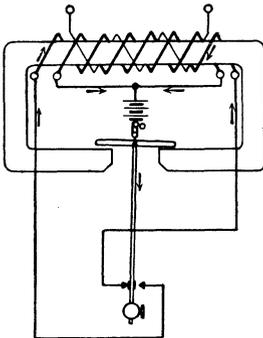


Abb. 299.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Zeitdauer des Stromschlusses zu der Zeitdauer der Unterbrechung dadurch geregelt wird, daß die freie Weglänge der Kontaktfeder eingestellt werden kann.

235267. Deutsche Telephonwerke G. m. b. H. in Berlin. 8. 4. 10. 3. 6. 11.

Vorrichtung zur Umformung von Gleichstrom in Wechselstrom und umgekehrt mit im Wechselfeld eines Wicklungssystems schwingendem polarisiertem Anker.

Vorrichtung zur Umformung von Gleichstrom in Wechselstrom und umgekehrt mit im Wechselfeld eines Wicklungssystems schwingendem polarisierten Anker, welcher das Wicklungssystem periodisch umschaltet, dadurch gekennzeichnet, daß mit dem den Anker (i) in Schwingungen erhaltenden Wicklungssystem (P) ein gleichartiges auf den Anker (i) nicht wir-

kendes Wicklungssystem ( $M$  oder  $N$ ) mit eigenem Eisenkreis derart zusammengeschaltet ist, daß beide Systeme mit homologen Punkten ( $1, 2$  bzw.  $1', 2'$ ) der Wicklung an die Stromzuführungsschienen ( $a, b$ ) angeschlossen sind und die Spulnmitte ( $5'$ ) des Nebensystems entweder (bei  $M$ ) mit derjenigen ( $5$ ) des Hauptsystems ( $P$ ) oder für sich allein (bei  $N$ ) mit einem Stromverbraucher ( $B$ ) verbunden ist, während die Stromrückleitung ( $r$ ) sämtlicher Stromverbraucher ( $A, B$ ) an den Anker ( $i$ ) angeschlossen ist.

235302. Ernst Fäßler in Frankfurt a. M. 8. 9. 08. 6. 6. 11.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem unpolarisierten Anker.

1. Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem unpolarisierten Anker, dessen Erregung durch unterbrochene Stromimpulse gleicher Richtung erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß sein magnetischer Kreis einer von der Haupterregung unabhängigen Magnetisierung unterworfen ist.

2. bis 4. Ausführungsformen.

239438. Erwin Falkenthal in Berlin-Friedenau. 26. 4. 11. 13. 10. 11.

Vorrichtung zum Umformen elektrischer Ströme.

Vorrichtung zum Umformen elektrischer Ströme mit völlig geschlossenem Eisenkern, dadurch gekennzeichnet, daß die Stoßfugen ( $o, p$ ) desselben den Polen des Ankers gegenüberliegen und letzterer unmittelbar durch die von den Stoßfugen erzeugten Streufelder bewegt wird, zu dem Zwecke, den Wirkungsgrad der Vorrichtung zu erhöhen und die Herstellung zu vereinfachen.

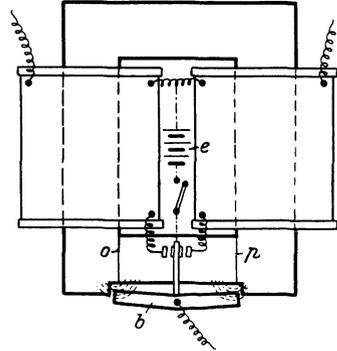


Abb. 300.

248468. Ernst Fäßler in Frankfurt a. M. 23. 11. 09. 22. 6. 12.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker. Zusatz zum Patent 234960.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingendem Anker, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerwicklung dem Unterbrecherkontakt parallelgeschaltet ist, wobei sich die für den Betrieb des Gleichrichters erforderlichen Erregerströme durch Summierung der Gleichstrom-EMK zu der nicht gleichgerichteten Wechselstromwelle ergibt.

267895. Erwin Falkenthal in Berlin-Friedenau. 4. 6. 12. 4. 12. 13.

Vorrichtung zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt.

1. Vorrichtung zur Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt, dadurch gekennzeichnet, daß in einer nach Art der Wheatstoneschen Meßbrücke angeordneten Widerstands- bzw. Kondensatorschaltung der bewegliche Diagonalzweig, welcher einen Gleichstromverbraucher oder -erzeuger ( $g$ ) enthält, synchron mit den Wechsellagen des im anderen Diagonalzweig ( $f$ ) der Brücke fließenden (zugeführten oder erzeugten) Wechselstromes zwischen seinen beiden Endlagen ( $m, n$ ) hin und her geführt oder umgeschaltet wird.

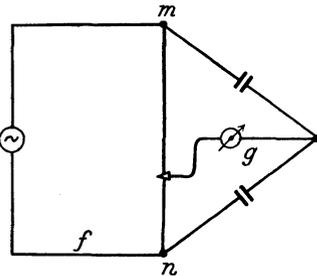


Abb. 301.

2. Ausführungsform.

280708. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 18. 12. 13. 26. 11. 14.

Pendelumformer mit Unterbrecher zum Umformen von Gleichstrom in Wechselstrom.

1. Pendelumformer mit Unterbrecher zum Umformen von Gleichstrom in Wechselstrom, dadurch gekennzeichnet, daß das Pendel die Bewegung des Unterbrechergliedes nur mittelbar oder unmittelbar einleitet, sonst aber frei ausschwingt, während die Kontaktschließung durch eine besondere Kraft (Feder, Magnet) erfolgt.

2. und 3. Ausführungsformen.

295049. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 12. 8. 15. 8. 11. 16.

Hochspannungsgleichrichter, bei dem radial in zwei Ebenen angeordnete umlaufende Leiter mit je 4 ruhenden Kontaktbögen zusammenwirken.

1. Hochspannungsgleichrichter, bei dem radial in zwei Ebenen angeordnete umlaufende Leiter mit je 4 ruhenden Kontaktbögen zusammenwirken, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromzuleitungen außer an den ruhenden Kontaktbögen auch mittels Schleifkontakten, Funkenstrecken od. dgl. an den beweglichen Leitern angeordnet sind.

2. bis 6. Ausführungsformen.

297316. Rudolf Knoll in Ennetbaden (Schweiz). 8. 9. 15. 13. 4. 17.

Wechselstromgleichrichter mit schwingender stromführender Bandfeder.

1. Wechselstromgleichrichter mit einer einseitig eingespannten, durch den Hohlraum einer Wechselstromspule hindurchgehenden stromführenden Bandfeder, dadurch gekennzeichnet, daß das freie Ende der Stahlbandfeder synchron mit der Netzspannungsphase zwischen den Polen eines Dauermagneten schwingt und sich mit dem schwingenden Ende abwechselnd an zwei feste Kontakte derart anlegt, daß der Wechselstrom in pulsierenden Gleichstrom verwandelt wird.

2. und 3. Ausführungsformen.

300273. Rudolf Knoll in Ennetbaden (Schweiz). 3. 11. 15. 4. 9. 17.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingender Ankerfeder. Zusatz zum Patent 297316.

Wechselstromgleichrichter mit synchron schwingender Ankerfeder, dadurch gekennzeichnet, daß für die Erregung der Ankerfeder eine zusätzliche Spule vorgesehen ist, welche an die Sekundärseite eines Hilfstransformators angeschlossen ist, dessen zwei Primärwicklungen abwechselnd von den im Apparat auftretenden Stromstößen durchflossen werden.

302147. Rudolf Knoll in Ennetbaden (Schweiz). 2. 8. 16. 5. 12. 17.

Wechselstromgleichrichter. Zusatz zum Patent 297316.

Wechselstromgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß die Gleichrichtung des Stromes durch zwei von der Ankerfeder unter Spannung gehaltene und gesteuerte Kontaktfedern ( $f$  und  $f'$ ) erfolgt, von denen jeweils die eine Kontaktfeder dämpfend auf die Bewegung des Ankers wirkt, während sich die andere an einen festen Kontakt anlegt.

313276. Dr. Julius Frederic Georg Poul Hartmann in Kopenhagen. 29. 12. 16. 8. 7. 19.

Vorrichtung zum Umformen, besonders Gleichrichten, von Wechselströmen.

1. Vorrichtung zum Umformen, besonders Gleichrichten, von Wechselströmen, bei der wenigstens ein leitender Flüssigkeitsstrahl vorhanden ist, der ein senkrecht zu ihm stehendes Magnetfeld passiert und eine Elektrode trifft, dadurch gekennzeichnet, daß diese Elektrode von dem Felde in einem solchen Abstände angebracht ist, daß die durch den Abstand herbeigeführte Phasenverschiebung des Treffpunktes in der Elektrode gegenüber der mechanischen Kraft, die die Bewegung des Treffpunktes veranlaßt, bewirkt, daß der genannte Treffpunkt die Begrenzung der Elektrode in dem für das Umformen oder Gleichrichten günstigen Moment der Wechselstromperiode passiert.

2. bis 7. Ausführungsformen.

318139. Dr. Julius Frederic Georg Poul Hartmann in Kopenhagen. 29. 1. 19. 13. 1. 20.

Gleichrichter für elektrische Wechselströme mit einem ein Magnetfeld passierenden, eine Elektrode treffenden, leitenden Flüssigkeitsstrahl.

Gleichrichter für elektrische Wechselströme mit einem ein Magnetfeld passierenden, eine Elektrode treffenden, leitenden Flüssigkeitsstrahl, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zu diesem Strahl eine besondere Hilfsstromquelle mit Kommutator liegt, der gleichfalls aus einem ein Hilfsmagnetfeld passierenden, eine Elektrode treffenden, leitenden Flüssigkeitsstrahl besteht, und daß der Kommutator den Hilfsstromkreis über die Hauptelektrode des Gleichrichters immer nur dann selbsttätig schließt, wenn diese gerade von dem Hauptstrahl getroffen wird, zu dem Zwecke, die für das Gleichrichten notwendige Bewegung des Treffpunktes des Hauptstrahles auf der Hauptelektrode unabhängig von der Stärke des gleichzurichtenden Hauptstromes zu unterhalten.

320051. C. Lorenz A.G. in Berlin-Tempelhof. 26. 10. 16. 19. 4. 20.  
Polwechsler.

1. Polwechsler mit einem ein Pendel bildenden Anker T-förmiger Gestalt aus weichem Eisen, bei dem zu beiden Seiten des den Steg bildenden Teiles des Ankers je ein Elektromagnet angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden in sich geschlossenen, in ihrer Höhenlage vollkommen unabhängig voneinander einstellbaren Elektromagnete abwechselnd jeder für sich eingeschaltet werden, derart, daß die beiden Flanschen des Ankers abwechselnd angezogen werden und letzteren hierdurch in eine gleichmäßig schwingende Bewegung versetzen.

2. und 3. Ausführungsformen.

323207. Western Electric Company Ltd. in London. 6. 9. 13. 17. 7. 20.  
Vorrichtung zum Umformen elektrischen Gleichstromes in Wechselstrom.

Vorrichtung zum Umformen elektrischen Gleichstromes in Wechselstrom mit aus einem geschlossenen Ring bestehenden Eisenkern des Elektromagneten und einem federnd aufgehängten Anker, dadurch gekennzeichnet, daß der federnd aufgehängte, nicht polarisierte Anker einseitig unmittelbar vor dem Magnetfelde angeordnet ist, das an der ganz oder teilweise durchgeführten Stoßfuge des Eisenkerns gebildet wird.

331420. Eduard Baas in Brandenburg a. H. 6. 11. 19. 7. 1. 21.

Induktionsspule mit selbsttätigem Gleichrichter für Sekundärwechselströme.

Induktionsspule mit selbsttätigem Gleichrichter für Sekundärwechselströme, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Enden der Sekundärspule mit zwei voneinander isolierten Kontakten auf dem Schenkel des magnetischen Hammers verbunden sind, die bei den beiden verschiedenen Stellungen des Hammers mit je zwei kreuzweise untereinander verbundenen Stellschrauben in Berührung kommen, so daß von diesen die sekundär erzeugten Stromstöße als gleichgerichtete Ströme abgeleitet werden können.

333074. Leo Schüler und Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy in Berlin. 17. 6. 19. 17. 2. 21.

Mechanischer Wechselstromgleichrichter mit schwingendem, vom Betriebswechselstrom gesteuerten und unter dem Einfluß einer oder mehrerer Federn stehenden Anker.

1. Mechanischer Wechselstromgleichrichter mit schwingendem, vom Betriebswechselstrom gesteuerten und unter dem Einfluß einer oder mehrerer Federn stehenden Anker, dadurch gekennzeichnet, daß die zum funkenfreien Gang notwendige Schwingungsphase des Ankers lediglich durch eine auf diesen einwirkende Bremskraft herbeigeführt wird.

2. und 3. Ausführungsformen.

333075. Friedrich Schmitt in Thun, Bern (Schweiz). 16. 12. 19. 6. 2. 21.  
Wechselstromgleichrichter mit einem mit dem Wechselstrom synchron und in Phase schwingenden Federkontakt.

Wechselstromgleichrichter mit einem mit dem Wechselstrom synchron und in Phase schwingenden Federkontakt, der den an die Wechselstromquelle angeschlossenen Gleichstromkreis immer nur während der einen Periode des Wechselstromes schließt, dadurch gekennzeichnet, daß der Federkontakt durch einen Elektromagneten betätigt wird, der in Reihe mit wenigstens einer Unipolarzelle parallel zum Gleichstromkreis an die Wechselstromquelle angeschlossen ist.

352565. Telephonapparatefabrik E. Zwietusch & Co. G. m. b. H. in Charlottenburg. 1. 2. 19. 29. 4. 22.

Pendelumformer mit geschlossenem, fugenlosem Eisenkern, dessen zugehöriger Anker durch ein Streufeld in Schwingungen versetzt wird.

Pendelumformer mit geschlossenem, fugenlosem Eisenkern, dessen zugehöriger Anker durch ein Streufeld in Schwingungen versetzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß dieses Streufeld allein von einer auf dem völlig glatten Eisenkern angeordneten Spule herrührt, die zu beiden Seiten dicht an den Pendelanker heranreicht und in an sich bekannter Weise aus zwei nebeneinanderliegenden, voneinander getrennten Teilen besteht, die abwechselnd vom Erregerstrom durchflossen werden.

367629. Leo Schüler und Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy in Berlin. 18. 1. 21. 24. 1. 23.

Mechanischer Wechselstromgleichrichter mit schwingendem Anker. Zusatz zum Patent 333074.

1. Mechanischer Wechselstromgleichrichter mit schwingendem Anker, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Erzielung der richtigen Schwingungsphase des Ankers erforderliche Bremskraft oder ein Teil derselben nur so lange auf den Anker einwirkt, als dieser den Kontakt berührt.

2. und 3. Ausführungsformen.

369966. Rudolf Knoll in Jägerndorf (Tschechoslowakei). 5. 4. 21. 24. 2. 23.

Wechselstromgleichrichter mit einseitig eingespannter, durch den Hohlraum einer Wechselstromspule hindurchgehender, stromführender Blattfeder. Zusatz zum Patent 297316.

1. Wechselstromgleichrichter mit einseitig eingespannter, durch den Hohlraum einer Wechselstromspule hindurchgehender, stromführender Blattfeder, dadurch gekennzeichnet, daß die auf das Pendel wirkende Kraft des Dauermagneten veränderlich einstellbar ist.

2. und 3. Ausführungsformen.

371484. Dr. Fritz Schröter in Berlin-Schmargendorf und Franz Knoll in Siemensstadt bei Berlin. 20. 2. 20. 16. 3. 23.

Pendelgleichrichter.

1. Pendelgleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß sein Pendel und die zugeordneten Kontakte in einem evakuierten Gehäuse eingeschlossen sind, zu dem Zwecke, Störungen im Gange des Pendels bei etwaigen Frequenz- und Spannungsschwankungen zu vermeiden.

2. und 3. Ausführungsformen.

371630. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 25. 5. 21. 17. 3. 23.

Gleichrichter mit schwingendem Umschalter.

1. Gleichrichter mit schwingendem Umschalter, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem von dem Wechselstrom in Schwingungen versetzten Magneten der eine Kontakt federnd, der Gegenkontakt starr befestigt ist.

2. Ausführungsform.

397036. Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate Dr. Max Levy in Berlin. 25. 1. 21. 13. 6. 24.

Wechselstromgleichrichter mit schwingendem Anker.

1. Wechselstromgleichrichter mit schwingendem Anker, dessen magnetischer Kreis durch eine von der zu ladenden Batterie gelieferte Gleichstromerregung polarisiert wird, dadurch gekennzeichnet, daß die magnetische Sättigung des

magnetischen Kreises oder statt dessen bzw. gleichzeitig hiermit die „elektrische Sättigung“ seines Erregerstromkreises, die durch Einschaltung eines Widerstandes von hohem Temperaturkoeffizienten in demselben herbeigeführt wird, derart gewählt wird, daß bei zunehmender Batteriespannung die Schwingungen des Ankers schwächer werden oder doch einen Grenzwert nicht überschreiten, so daß innerhalb eines bestimmten Spannungsbereiches die Dauer des Kontaktschlusses bei zunehmender Batteriespannung entsprechend verkürzt oder wenigstens nicht vergrößert wird.

2. und 3. Ausführungsformen.

403210. Otto Mühlenbein in München. 25. 7. 22. 27. 9. 24.

Pendelgleichrichter mit schwingendem Anker.

1. Pendelgleichrichter mit schwingendem Anker, dadurch gekennzeichnet, daß bei jeder Kontaktgebung der Anker nacheinander mehrere Kontaktstücke berührt, welche über Widerstände parallel in den Stromweg gelegt sind, so daß bei Kontaktschluß die Widerstände nacheinander ausgeschaltet, bei Kontaktöffnung nacheinander eingeschaltet werden.

2. und 3. Ausführungsformen.

403546. Gleichrichter-A.G. in Glarus (Schweiz). 11. 9. 20. 2. 10. 24.

Synchrongleichrichter mit schwingendem oder rotierendem Kontaktgeber.

1. Synchrongleichrichter mit schwingendem oder rotierendem Kontaktgeber, dadurch gekennzeichnet, daß unmittelbar parallel zu den Unterbrechungsstellen des Kontaktgebers ein oder mehrere elektrische Ventile angeschlossen sind, wobei die Wirkungsdauer des mechanischen Kontaktgebers durch geeignete Wahl der Abmessungen kürzer gewählt wird als die Dauer der Durchlässigkeit des elektrischen Ventiles, zu dem Zwecke, den Kontaktgeber vor und nach dem Stromschluß zu entlasten.

2. bis 5. Ausführungsformen.

408373. Fritz Tellert in Berlin-Pankow. 25. 12. 23. 15. 1. 25.

Pendelgleichrichter.

1. Pendelgleichrichter, bei welchem eine Bandfeder, deren Ende sich zwischen den Polen eines permanenten Magneten befindet, mittels einer sie umgebenden, von dem gleichzurichtenden Wechselstrom gespeisten Spule in dem Wechselstrom synchrone Schwingungen versetzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere Federn in der Mitte auf einem von der Wechselstromspule umschlossenen Träger befestigt sind, auf jedem Ende Kontakte tragen und jedem Ende ein permanentes Magnetsystem zugeordnet ist.

2. Ausführungsform.

410064. Fritz Tellert in Berlin-Pankow. 30. 6. 23. 23. 2. 25.

Wechselstromgleichrichter mit an den Polen des permanenten Magneten befestigten Stahlzungen, welche durch einen vom Wechselstrom erregten Elektromagneten in dem Wechselstrom synchrone Schwingungen versetzt werden.

Wechselstromgleichrichter mit an den Polen des permanenten Magneten befestigten Stahlzungen, welche durch einen vom Wechselstrom erregten Elektromagneten in dem Wechselstrom synchrone Schwingungen versetzt werden und die Stromwandlung herbeiführen, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens je eine Stahlzunge an den Polen eines Magneten ohne Luftspalt ein Joch des Verbraucherkreises bildet, während der andere Pol an dem Mittelpunkt des Speisetransformators liegt.

417605. Koch & Sterzel A.G. in Dresden. 1. 12. 21. 17. 8. 25.

Hochspannungstransformator mit dem Deckel des Transformatorgehäuses aufgebautem Gleichrichter.

Hochspannungstransformator mit dem Deckel des Transformatorgehäuses aufgebautem Gleichrichter, dadurch gekennzeichnet, daß bei liegender Anordnung des Transformatorkernelns die eine der Phasen mit bezug auf die beiden Enden in an sich bekannter Weise gegenläufig gewickelt ist und die drei im Dreieck liegenden Hoch-

spannungsanschlüsse, durch die in bekannter Weise die Stützen für die feststehenden Polstücke bildenden Hochspannungsdurchführungen herausgeführt sind.

422737. Dr. Julius Frederik Georg Poul Hartmann in Kopenhagen. 18. 6. 24. 10. 12. 25.

Unbewegliche Elektrode für Wellenstrahlkommutatoren und Unterbrecher.

1. Unbewegliche Elektrode für Wellenstrahlkommutatoren und -Unterbrecher, dadurch gekennzeichnet, daß der stromschließende Teil der Elektrode aus einem oder mehreren aus der Elektrode ausströmenden leitenden Flüssigkeitsstrahlen gebildet wird.

2. bis 7. Ausführungsformen.

427114. Fritz Tellert in Dresden-Laubegast. 10. 12. 24. 25. 3. 26.  
Wechselstromgleichrichter. Zusatz zum Patent 410064.

1. Wechselstromgleichrichter mit an den Polen eines permanenten Magneten befestigten Stahlzungen nach Patent 410064, dadurch gekennzeichnet, daß die Stahlzungen mechanisch durch ein geeignetes Organ derart gekuppelt sind, daß sie zwangsläufig gleiche Schwingungen ausführen.

2. bis 4. Ausführungsformen.

427166. Dr. Julius Frederik Georg Poul Hartmann in Kopenhagen. 24. 6. 24. 25. 3. 26.

Strahlenabschneidevorrichtung für elektrische Wellenstrahlkommutatoren.

1. Strahlenabschneidevorrichtung für elektrische Wellenstrahlkommutatoren oder -Unterbrecher, gekennzeichnet durch ein oder mehrere Messer oder Keile aus leitendem Material, vorzugsweise mit hohem Schmelzpunkt, welche eine derartige Form haben und in der Weise geordnet sind, daß die Unterbrechung zwischen dem wellenförmigen Strahl und einer von der Schneide entfernten Stelle des Messers stattfindet, so daß die Schneide der abnutzenden Wirkung des Kommutations- oder Unterbrecherfunks entzogen wird.

2. bis 6. Ausführungsformen.

432219. Dr. Julius Frederik Georg Poul Hartmann in Kopenhagen. 27. 3. 25. 30. 7. 26.

Elektrischer Wellenstrahlkommutator oder -Unterbrecher.

1. Elektrischer Wellenstrahlkommutator oder -Unterbrecher, gekennzeichnet durch eine in der Richtung der Wellenstrahlachse oder quer zu dieser eine gegenüber derjenigen der Strahlenabschneidevorrichtung bedeutende Länge aufweisende Hilfselektrode aus festem Material, die aus einer oder mehreren zur Ebene des Wellenstrahles ungefähr senkrechten leitenden Wänden besteht, die in der Richtung Ausbreitung der Flüssigkeitsteilchen des Wellenstrahles oder nahezu in dieser Richtung liegen und mehr oder weniger in den Wellenstrahl hineinragen.

2. bis 13. Ausführungsformen und Einzelheiten.

434418. Dr. Paul Hoyer in Merseburg a. S. 16. 3. 24. 29. 9. 26.  
Wechselstromgleichrichter.

435363. Firma Ferdinand Schuchardt Berliner Fernsprech- und Telefonwerk A.G. in Berlin. 27. 4. 04. 16. 10. 26.

Vorrichtung zum Gleichrichten von Wechselströmen.

1. Vorrichtung zum Gleichrichten von Wechselströmen mit Transformator und einem im Streufeld des magnetischen Nebenschlusses pendelnden polarisierten Anker, dadurch gekennzeichnet, daß die Phase des Streufeldes durch ein überlagertes Hilfsfeld derart verschiebbar ist, daß die Kommutierung im Nullpunkt der Spannung erfolgen kann.

2. Ausführungsform.

437070. Gyrorector G. m. b. H. in Berlin. 29. 4. 24. 13. 11. 25.

Gleichstromtransformator.

Gleichstromtransformator, bestehend aus einem Wechselstromtransformator und elektromagnetisch angetriebenem Polwender für Primär- und Sekundärkreis,

dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Magnetpendel (*b* und *c*) mit Hilfe von besonderen Kontaktgruppen einander wechselweise derart steuern, daß das eine Pendel durch jede Schwingung, die es ausführt, immer einen Kontaktschluß herbeiführt, durch welchen der das andere Pendel in Bewegung setzende Elektromagnet umgepolt wird.

438640. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 22. 4. 23. 22. 12. 26.

Mechanische Gleichrichteranlage für Hochspannung.

1. Mechanische Gleichrichteranlage für Hochspannung, dadurch gekennzeichnet, daß im Stromkreis des Gleichrichters außer den zwischen Kontaktstücken und rotierenden Gleichrichterarmen vorhandenen Funkenstrecken noch besondere, die oszillatorischen Schwingungen dämpfende Funkenstrecken (Löschfunkenstrecken) angeordnet sind, die das Auftreten von Überspannungen verhindern.

2. bis 5. Ausführungsformen.

439848. Koch & Sterzel A.G. und Dr. Ing. Kurt August Sterzel in Dresden. 20. 1. 25. 26. 1. 27.

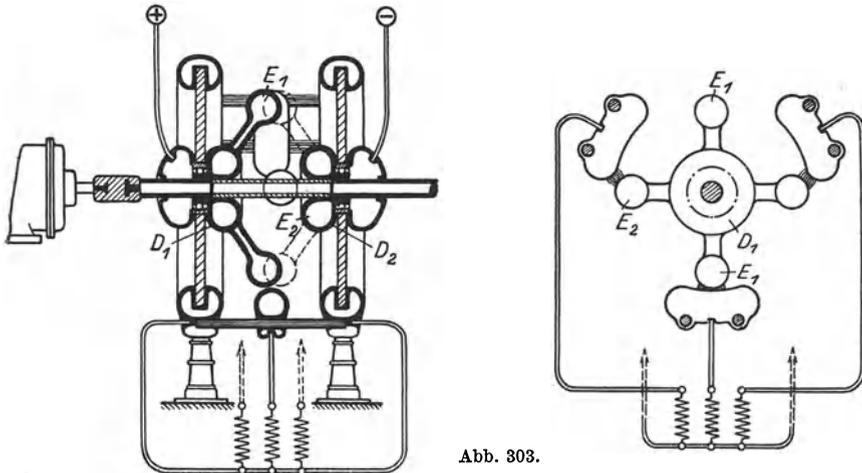


Abb. 303.

Hochspannungsgleichrichter für Drei- und Mehrphasenstrom.

1. Hochspannungsgleichrichter für Drei- und Mehrphasenstrom, bei welchem zwei in einer Ebene liegende Paare einander diametral gegenüberliegender und leitend verbundener, umlaufender, als rundliche Hohlkörper ausgebildeter Strom-

geber mit drei feststehenden Polkörpern zusammenwirken, dadurch gekennzeichnet, daß die zusammengehörigen Stromgeber ( $E_1, E_2$ ) durch metallene röhrenförmige Arme und metallene hohlringförmige Naben ( $D_1, D_2$ ) zu V-förmigen Gebilden gestaltet sind, deren Naben nächst den Lagern der zwischen den Naben aus isolierendem Stoff bestehenden Läuferachsen liegen.

2. bis 9. Ausführungsformen.

442348. Ferdinand Kraus in Rodenkirchen bei Köln. 25. 4. 25. 30. 3. 27.

Wechselstromgleichrichter mit am einen Ende eingespannter und durch die Kraftimpulse eines Wechselstrommagneten in Schwingung gesetzter Pendelfeder.

1. Wechselstromgleichrichter mit am einen Ende eingespannter und durch die Kraftimpulse eines Wechselstrommagneten in Schwingung gesetzter Pendelfeder, dadurch gekennzeichnet, daß die Pendelfeder ( $b$ ), zunächst an einem Anschlag (1) anliegend, nur mit einem Teil ( $g$ ) ihrer Federlänge, und zwar auf die Polwechselzahl abgestimmt schwingt, nach genügender Aufschaukelung jedoch diese Schwingung nur nach der einen Seite  $y$  beibehält, nach der anderen Seite  $x$  dagegen sich vom Anschlag abhebt und mit entsprechend größerer Federlänge derart schwingt, daß die Gesamtschwingungszeit die doppelte Dauer eines Polwechsels des gleichzurichtenden Wechselstromes besitzt.

2. Ausführungsform.

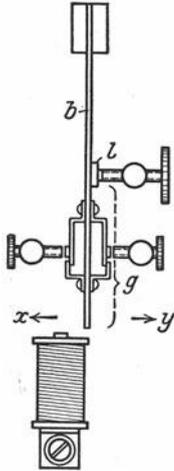


Abb. 304.

455952. Ferdinand Kraus in Rodenkirchen bei Köln und W. Semer G. m. b. H. in Düren (Rhld.). 8. 4. 26. 15. 2. 28.

Wechselstromgleichrichter. Zusatz zum Patent 442348.

Wechselstromgleichrichter mit einem im Streufeld der Magnetpole angeordneten Eisenkern, dadurch gekennzeichnet, daß der Eisenkern auf einer Achse befestigt ist, die in der Mitte zwischen den Magnetpolen liegt und in einem Lager mit Gewinde derart längsverschiebbar angeordnet ist, daß der Eisenkern unter gleichbleibendem Abstand auf beiden Seiten zwischen seinen Kanten und den Magnetpolen nur in senkrechter Richtung zur Verbindungslinie der Magnetpolmittelpunkte bewegbar ist.

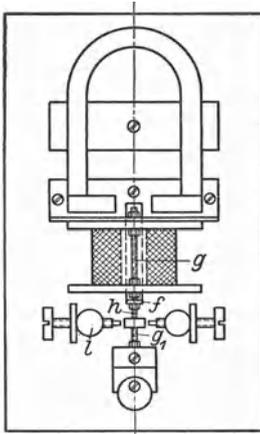


Abb. 305.

465281. Siemens-Schuckert-Werke G. m. b. H. in Siemensstadt bei Berlin. 27. 4. 26. 18. 9. 28.

Hochspannungsgleichrichteranlage.

1. Hochspannungsgleichrichteranlage, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangskontakte am mechanischen Gleichrichter sämtlich oder teilweise aus Halbleitern bestehen.

2. und 3. Ausführungsformen.

465832. Peter Heckel in Nürnberg. 25. 9. 26. 26. 9. 28.

Mechanischer Gleichrichter mit einem innerhalb der Erregerspule schwingenden Anker.

1. Mechanischer Gleichrichter mit einem innerhalb der Erregerspule schwingenden Anker, dadurch gekennzeichnet, daß der als doppelarmiger Hebel wirkende Anker in einer am Spulenträger mittels der Bolzen ( $g, g_1$ ) befestigten Blattfeder ( $f$ ) derart eingespannt ist, daß die in einem geeigneten Längenverhältnis zueinander stehenden Arme des Ankers

auch der Spulenträger ( $b$ ) in synchrone, aber entgegengesetzt zu denjenigen des die Kontakte tragenden Ankerarmes ( $h$ ) gerichtete Schwingungen versetzt wird.

2. Ausführungsform.

466998. Metallbank und Metallurgische Gesellschaft A.G. in Frankfurt a. M. 2. 2. 27. 15. 10. 28.

Mechanisch angetriebener Gleichrichter für Mehrphasenstrom für Hoch- und Niederspannung. Zusatz zum Patent 399165.

1. Mechanisch angetriebener Gleichrichter für Mehrphasenstrom für Hoch- und Niederspannung, bei welchem die sekundäre Mehrphasenspannung an die umlaufenden Kontakte gelegt ist, dadurch gekennzeichnet, daß jede Phase in dauernder Verbindung mit dem gleichen umlaufenden Kontakte steht und außerdem die feststehenden, den umlaufenden Kontakten gegenüber angeordneten Kontakte sowohl den abzunehmenden Gleichstrom als auch den bei Unterbrechung der Phasenströme auftretenden Ausgleichsstrom führen.

2. bis 5. Ausführungsform.

467652. Siemens & Halske A.G. in Siemensstadt bei Berlin. 9. 11. 24 27. 10. 28.

Pendelgleichrichter zum Laden einer Akkumulatorbatterie.

Pendelgleichrichter zum Laden einer Akkumulatorbatterie, bei welcher das magnetische Feld, in welchem der Pendel schwingt, durch eine parallel zur Batterie liegende Magnetisierungsspule erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einschaltung des Gleichrichters ein Schalter dient, der zwangsläufig zuerst die Magnetwicklung des Gleichrichters an die von der Batterie gelieferte Gleichspannung und den Gleichrichter an die Wechselfspannung legt und dann erst den Gleichstromkreis schließt.

# Literaturverzeichnis.

## 1. Zusammenfassende Abhandlungen.

- Güntherschulze, A.: Elektrische Ventile. Handwörterbuch der Naturwissenschaften 1911.
- Güntherschulze, A.: Übersicht über den heutigen Stand der Gleichrichter. Helios Bd. 26, S. 125. 1920.
- Prince, D. C.: Mathematical treatment of rectification phenomena. Proc. Inst Radio Eng. Bd. 10, S. 393. 1923.
- Güntherschulze, A. u. W. Germershausen: Übersicht über den heutigen Stand der Gleichrichter. Helios Bd. 31, S. 1. 1925.
- Holler, H. D. und J. P. Schrott: Rectifiers. Technol. Pap. Bur. of Stand. Bd. 18, Nr. 265, S. 465. 1924; ETZ Bd. 47, S. 1299. 1926.
- Güntherschulze, A.: Elektrische Ventile, Gleichrichter, Verstärkerröhren, Relais. Handbuch der Physik Bd. 16, S. 121. Berlin: Julius Springer 1927.
- Jolley, L. B. W.: Alternating Current Rectification. London: Chapman & Hall 1928.
- Prince, D. C. und Vogdes: Principles of Mercury Arc Rectifiers and their Circuits. New York: MacCraw-Hill Book Co. 1927.
- Seeliger: Einführung in die Physik der Gasentladungen. Halle: Johann Ambrosius Barth 1927.

## 2. Die Berechnung der Gleichrichter.

- Greinacher, H.: Über einen Gleichrichter zur Erzeugung konstanter Gleichspannung. Verh. D. Phys. Ges. Bd. 16, S. 320. 1914.
- Nielsen, H.: Die Vorausberechnung von Einphasen-Wechselstromgleichrichtern. ETZ Bd. 40, S. 224. 1919.
- Greinacher, H.: Erzeugung einer Gleichspannung vom vielfachen Betrage einer Wechselspannung ohne Transformator. Bull. Schweiz. Elektrot.-Ver. 1920.
- Greinacher, H.: Über eine Methode, Wechselstrom mittels elektrischer Ventile und Kondensatoren in hochgespannten Gleichstrom umzuwandeln. Z. techn. Phys. Bd. 4, S. 195. 1921.
- Nielsen, H.: Die Vorausberechnung von Drehstrom-Quecksilbergleichrichtern. ETZ Bd. 42, S. 1185. 1921.
- Joos, G.: Über den Stromverlauf in einem Wechselstromkreis mit Selbstinduktion und elektrischem Ventil von beliebiger Charakteristik. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef. Bd. 19, S. 109. 1922.
- Greinacher, H.: Eine umschaltbare elektrische Ventilröhre. ETZ Bd. 42, S. 1039. 1922.
- Duncan, R. D.: Theoretical and practical aspects of low voltage rectifier design, when employing the three-electrode vacuum tubes. Radio Rev. Bd. 3, S. 39. 1922.
- Taeger, W.: Der Einfluß der Gleichstromdrosselspule auf den Leistungsfaktor des Wechselstromes beim Quecksilberdampf-Gleichrichter. ETZ Bd. 45, S. 774. 1924.
- Prince, D. C.: Rectifier Wave Forms. Gen. El. Rev. Bd. 27, S. 608. 1924.
- Krijger, L. P.: Die Sechphasenschaltung des Quecksilberdampfgleichrichters. Arch. Elektrot. Bd. 13, S. 441. 1924.
- Faye-Hansen, K.: Primäre Stromkurvenform und Leistungsfaktoren bei Gleichrichtern. ETZ Bd. 46, S. 1104. 1925.

- Cockcroft, J. D., R. T. Coe, J. A. Tyacke and Miles Walker: An electric harmonic analyser. *J. Inst. El. Eng.* Bd. 63, S. 69. 1925.
- Brenzinger, M.: Vergleichende Betrachtungen über Ventilcondensatorschaltungen zur Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom. *Arch. Elektrot.* Bd. 18, S. 354. 1927.
- Beetz, Wilhelm: Beitrag zur Messung der Energie im Anodenstromkreis von Quecksilberdampfgleichrichtern. *El. u. Maschinenb.* Bd. 45, S. 921. 1927.
- Müller-Lübeck, Kurt. E.: Zur Frage der Definition des Leistungsfaktors. *ETZ* Bd. 49, S. 251, 633, 1168. 1928.

### 3. Die einzelnen Gleichrichtertypen.

#### a) Die mechanische Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom.

- Soulier, A.: Mechanische Gleichrichter. *ETZ* Bd. 41, S. 1039. 1920 (Ref.).
- Schüler, L.: Ein neuer Pendelgleichrichter. *ETZ* Bd. 42, S. 841. 1921.
- Dowling, J. J. and J. T. Harris: A vibrating-flame rectifier for high-tension currents. *Proc. Dublin Soc.* Bd. 16, S. 171. 1921.
- Schäfer, B.: Mechanische Gleichrichter. *ETZ* Bd. 44, S. 561. 1923.
- Hartmann, Julius: Undesøgler over Gnisten ved en Kvaegselvstraalekommulator. *Danske Vidensk. Selsk. Math.-fys. Meddelelser* Bd. 5, Nr. 10. 1924.
- Hartmann, Julius: The Jet Wave Rectifier. *Electr.* Bd. 99, S. 339. 1927.
- Hartmann, J.: Development of the Jet-wave Rectifier. *Engg.* Bd. 338, S. 377. 1927.
- Hartmann, J.: Den konstruktive Udvikling af Straalebølgeensretteren. *Elektroteknikeren* 1927, Nr. 23.
- Tellert, Fritz: Ein neuer Wechselstromgleichrichter. *ETZ* Bd. 48, S. 460. 1927.

#### b) Elektrolytische Gleichrichter.

- Mitkiewicz, W.: Ein Aluminiumstromrichter für Wechselstrom und seine Anwendung. *Phys. Z.* Bd. 2, S. 747. 1901.
- Holtz, W.: Sehr ungleiche Elektroden, Ventilzellen, Metallvegetationen. *Phys. Z.* Bd. 6, S. 480. 1905.
- Morse and Shuddemagen: On the Properties of an Aluminium Anode. *Proc. Am. Acad.* Bd. 44, S. 367. 1909.
- Carman, A. P. and G. J. Balzer: The effect of pressure on the aluminium rectifier. *Phys. Rev.* Bd. 30, S. 776. 1910.
- Bairsto, G. E. and R. Mercer: Some Properties of Aluminium Anode Films. *Chem. News* Bd. 103, S. 153. 1911.
- Güntherschulze, A.: Der Einfluß der Elektrolyte auf die Maximalspannung der elektrolytischen Ventilwirkung. *Ann. Physik* Bd. 34, S. 657. 1911.
- Güntherschulze, A.: Die Maximalspannung der elektrolytischen Ventilwirkung in geschmolzenen Salzen. *Z. Elektrochem.* Bd. 17, S. 509. 1911.
- Güntherschulze, A.: Zum elektrochemischen Verhalten des Eisens. *Z. Elektrochem.* Bd. 18, S. 327. 1912.
- Güntherschulze, A.: Über die Kapazitäten der elektrolytischen Ventilwirkung in geschmolzenen Salzen und in absoluter Schwefelsäure. *Z. Elektrochem.* Bd. 18, S. 22. 1912.
- Winter, W.: Ergebnisse einer Untersuchung von Metallen auf Gleichrichterwirkung. *Phys. Z.* Bd. 14, S. 823. 1913.
- Zenneck, J.: Das Verhalten von Aluminiumzellen, besonders bei Hochfrequenz. *Phys. Z.* Bd. 14, S. 535. 1913.
- Güntherschulze, A.: Die Mindestspannung der elektrolytischen Ventile in der undurchlässigen Richtung. *Ann. Physik* Bd. 41, S. 593. 1913.
- Sborgi, U.: Über das anodische Verhalten des Urans. *Z. Elektrochem.* Bd. 19, S. 115. 1913.
- Fichte und Jablczynski: Über das Berylliummetall. *Ber. Dt. Chem. Ges.* Bd. 46, S. 1604. 1913.
- Walter, L. H.: Valve action of zirconium anodes. *Electr.* Bd. 71, S. 1057. 1913.
- Greene, Clarence W.: Polarisation in the Aluminium rectifier. *Phys. Rev.* Bd. 3, S. 264. 1913.

- Güntherschulze, A.: Die maximal möglichen Wirkungsgrade des elektrolytischen Aluminiumgleichrichters bei Verwendung wässriger Lösungen. Arch. Elektrot. Bd. 3, S. 43. 1914.
- Güntherschulze, A.: Die elektrolytische Metallabscheidung in Ventilzellen. Ann. Physik Bd. 44, S. 1106. 1914.
- Güntherschulze, A.: Über den Einfluß von Verunreinigungen des Elektrolyten auf die elektrolytische Ventilwirkung von Aluminium. Z. Elektrochem. Bd. 20, S. 307. 1914.
- Fitch, Albert Lewis: Counter electromotive Force in the Aluminium rectifier. Phys. Rev. Bd. 9, S. 15. 1917.
- Vaillant, L.: Sur la production d'un courant continu par application d'une force électromotrice alternative à un voltamètre à électrodes à platine. Comptes Rendus Bd. 168, S. 687. 1919.
- Streintz, Franz: Die Polarität einer Aluminiumzelle. Phys. Z. Bd. 21, S. 477. 1920; Bd. 22, S. 141. 1921.
- Gouboreff: Electrolytic Rectifiers in the Chains of Alternative Current. Ukrainische Phys. Abh. Bd. 1, S. 9. 1926.
- Meserve, W. E.: Some current-time relations in the aluminium cell. Phys. Rev. (2), Bd. 30, S. 215. 1927.
- Audubert, René: Sur l'effet de soupape présenté par une anode au silicium et son mécanisme. Comptes Rendus Bd. 185, S. 768. 1927.

#### 4. Detektoren und Trockenplattengleichrichter.

- Brandes, H.: Über Abweichungen vom Ohmschen Gesetz, Gleichrichterwirkung und Wellenanzeiger der drahtlosen Telegraphie. ETZ Bd. 27, S. 1015. 1906.
- Leimbach, G.: Unipolares Leitvermögen von Kontaktdetektoren und ihre Gleichrichterwirkung. Phys. Z. Bd. 12, S. 229. 1911.
- Rinkel, R.: Die Wirkungsweise des Kontaktdetektors. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef. Bd. 9, S. 88. 1915.
- Hausrath, H.: Die Wirkungsweise des Kontaktdetektors. Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef. Bd. 10, S. 64. 1916.
- Greinacher, H. und C. W. Miller: Anomale Gleichrichterwirkung. Verh. Dt. Phys. Ges. Bd. 18, S. 283. 1916.
- Ettenreich, R.: Reaktionszeit von Kontaktdetektoren. Wiener Ber. Bd. 128, S. 1169. 1919.
- Huizinga, M. J.: Die Gleichrichterwirkung von Kristalldetektoren. Phys. Z. Bd. 21, S. 91. 1920.
- Streintz und Wesely: Über unipolare Leitung an Kristallen. Phys. Z. Bd. 21, S. 42. 1920.
- Florisson, C.: Sur le contact rectifiant galène-métal, sensibilisation artificielle et remarques diverses. Comptes Rendus Bd. 171, S. 106. 1920.
- Hoffmann, G.: Zur Erklärung der unipolaren Leitung. Phys. Z. Bd. 22, S. 422. 1921.
- Dowsett, H. M.: Carborundum and its rectification effect. Radio Rev. Bd. 2, S. 583. 1921.
- Luchsinger, F.: Über die Wirkungsweise des Siliziumkarbid-Detektors. Phys. Z. Bd. 22, S. 487. 1921.
- Hoffmann, G.: Der Elektronenausritt aus Metallen unter der Wirkung hoher Feldstärken. Phys. Z. Bd. 24, S. 1909. 1922.
- Rotter, F.: Über Elektronenentladung bei kleinen Elektrodenabständen. Phys. Z. Bd. 23, 423. 1922.
- Zahn, H.: Über den Gleichrichtereffekt an belichteten Zinkblendekristallen. Z. techn. Phys. Bd. 8, S. 382. 1922.
- Schottky, W.: Über kalte und warme Elektronen-Entladungen. Z. techn. Phys. Bd. 14, S. 63. 1923.
- Precht, J.: Versuch über Detektorwirkung. Verh. Dt. Phys. Ges. (3) Bd. 6, S. 38. 1925.
- Cayrel, J.: Sur la détection des galènes. Comptes Rendus Bd. 180, S. 1728. 1925.

- Cayrel, J.: Propriétés détectrices du bioxyde de plomb. Comptes Rendus Bd. 181, S. 1127. 1925.
- Merritt, E.: On Contact Rectification by Metallic Germanium. Proc. Nat. Acad. Amer. Bd. 11, S. 743. 1925.
- Merritt, Ernest: The effect of light on the behavior of selenium contact rectifiers. Proc. Nat. Acad. Amer. Bd. 11, S. 572. 1925.
- André, H.: Conductibilité par les colloïdes métalliques et ses applications électrotechniques. Comptes Rendus Bd. 181, S. 243. 1925.
- Merritt, Ernest: On contact rectification by metallic germanium. Proc. Nat. Acad. Amer. Bd. 11, S. 743. 1925.
- Stransky, J.: Über die Gleichrichterwirkung der Kontakt-detektoren. Z. phys. Chem. Bd. 113, S. 131. 1925.
- Frey, F.: Über Unipolaritätserscheinungen an gepreßten Pulvern. Phys. Z. Bd. 26, S. 849. 1925.
- Ball, A. und E. Ball: Die Gleichrichterwirkung des Kontakts: Halbleiter—Metall. Z. techn. Phys. Bd. 35, S. 207. 1925.
- Guillet, A.: Sur la contact rectifiant. Comptes Rendus Bd. 183, S. 350. 1926.
- Rother, F.: Austritt von Elektronen aus kalten Metallen. Phys. Z. Bd. 27, S. 471. 1926.
- Steinberg, D. S.: Lichtelektrische Erscheinungen und unipolares Leitvermögen in Molybdänitkristallen. Ukrainische Phys. Abh. Bd. I, S. 44. 1926.
- Ippisch, Karl: Die Leistungspolarität bei Ventileffekten. Phys. Z. Bd. 27, S. 199. 1926.
- Grondahl, L.: A new type of contact rectifier. Phys. Rev. Bd. 27, S. 813. 1926.
- Grondahl, L. O.: Theories of new solid junction rectifier. Science (Am.) Bd. 64, S. 306. 1926.
- Pélabon, H.: Sur la détection par les contacts métalliques. Détecteur symétrique. Comptes Rendus Bd. 182, S. 1605. 1926.
- Pélabon, H.: Sur la détection et la stabilité de certains détecteurs. Comptes Rendus Bd. 182, S. 124. 1926.
- Pélabon, H.: Sur le mécanisme de la détection. Comptes Rendus Bd. 182, S. 449. 1926.
- Pélabon, H.: Sur les contacts rectifiants. Comptes Rendus Bd. 183, S. 491. 1926.
- Morris-Airey, H., G. Shearing and H. G. Hughes: Silica valves in wireless telegraphy. J. Inst. El. Eng. Bd. 65, S. 786. 1927.
- Grondahl, L. O. and P. H. Geiger: A new Electronic Rectifier. J. Am. Electr. Eng. Bd. 46, S. 215. 1927.
- Schleede, Arthur und Heinz Buggisch: Untersuchungen am Bleiglanz- und Pyritdetektor. Z. anorg. Chem. Bd. 161, S. 85. 1927.
- Lilienfeld, J. E. and C. H. Thomas: High pressure powder contact rectifier. Phys. Rev. (2) Bd. 29, S. 367. 1927.
- Cayrel, M.: Sur la rectification de contact. J. phys. et Radium (6) Bd. 8, S. 88. 1927.
- Dubar: Sur une vérification de la théorie des détecteurs et redresseurs à contact. Comptes Rendus Bd. 185, S. 1023. 1927.
- Ogawa, W., C. Nemoto and S. Kaneko: A further investigation of synthetic galena detector and a new theory of crystal rectifiers. Res. Electrot. Lab. Tokyo 1927, Nr. 196.
- Ogawa Wakasabro: Analogy between the Crystal Detector and a Vacuum Tube. Phil. Mag. (7) Bd. 6, S. 175. 1928.
- Ogawa, Wakasabro, Chujiro Nemoto and Seiji Kaneko: The effect of chemical composition on the sensitivity of galena as a radiodetector and the cold emission from crystals. Res. Elektrot. Lab. Tokyo 1928, Nr. 230.
- Reissaus, Georg Günther: Mitteilung zum Kristalldetektorproblem. Phys. Z. Bd. 29, S. 223. 1928.
- Beck, Paul: Weitere Mitteilungen zum Kristalldetektorproblem. Phys. Z. Bd. 29, S. 436. 1928.
- Regler, Fritz: Vorläufige Mitteilung über die Theorie des Kontakt-detektors. Phys. Z. Bd. 29, S. 429. 1928.

### 5. Glühkathodengleichrichter.

- Moullin, E. B. and L. B. Turner: The thermionic triode as rectifier. *J. Inst. El. Eng.* Bd. 60, S. 706. 1922.
- Eppen, Ferd.: Über Gleichrichter für funkentelegraphischen Schnellempfang. *Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef.* Bd. 20, S. 173. 1922.
- Leblanc, Maurice: Sur les lampes à trois électrodes, anode, cathode et grille intermédiaire où le courant est transporté par des ions et leurs applications. *Comptes Rendus* Bd. 175, S. 132. 1922.
- Hull, Albert W.: A combined kenotron rectifier and plotron receiver capable of operation by alternating current power. *Proc. Inst. Radio Eng.* Bd. 11, S. 89. 1923.
- Maxstadt, F. W.: Obtaining Steady High-Voltage Direct Current from a Thermionic Rectifier without a Filter. *J. Am. Electr. Inst. Eng.* Bd. 43, S. 1055. 1924.
- Loewenherz, A.: Improvisation des elektrischen Ventils mit Holtzschen Fußklemmen. *Z. phys. Unterr.* Bd. 38, S. 89. 1925.
- Knoll, Hermann: Ein Wechselstromgleichrichter für höhere Spannungen. *Z. phys. Unterr.* Bd. 38, S. 89. 1925.
- Norden, K.: Rectigongleichrichter. *ETZ* Bd. 46, S. 1730. 1925.
- Messungen an Kleingleichrichtern. *Bull. Schweiz. Elektrot. Ver.* Bd. 16, S. 606. 1925.
- MacWellauer: Messungen des Spannungsabfalles an Hochspannungs-Elektronenröhren sowie an einer Einrichtung zur Beeinflussung derselben. *Arch. Elektrot.* Bd. 16, S. 13. 1926.
- Bareiss, M.: Kleingleichrichter für Rundfunkzwecke. *Z. techn. Phys.* Bd. 8, S. 449. 1927.
- Fortescue, C. L.: The characteristics of thermionic rectifiers. *Proc. Phys. Soc.* Bd. 39, S. 313. 1927.
- Picken, W. J.: Cooled anode valves, and lives of transmitting valves. *J. Inst. El. Eng.* Bd. 65, S. 791. 1927.
- Simon, H.: Die Entwicklung im Elektronenröhrenbau. *Z. techn. Phys.* Bd. 8, S. 434. 1927.
- The K L I-Valve (Indirekt beheizte Elektronenröhre). *Electr.* Bd. 98, S. 118. 1927.
- Elwell, C. F.: The Holweck demountable type valve. *J. Inst. El. Eng.* Bd. 65, S. 784. 1927.
- Owen, D.: Demonstration with magnetron. *Proc. Soc. Phys.* Bd. 39, S. 466. 1927.
- Gehrts, A.: Glühkathodengleichrichter von Siemens & Halske mit thorierter Molybdänkathode. *Helios* Bd. 33, S. 471. 1927.
- Germershausen, Werner: Vollautomatische Gleichrichter-Ladeeinrichtungen für Elektrokarren-Batterien. *Helios* Bd. 33, S. 316. 1927.
- Morris-Airey, H., G. Shearing and H. G. Hughes: Silica valves in wireless telegraphy. *J. Inst. El. Eng.* Bd. 65, S. 786. 1927.
- Picken, W. J.: Cooled-anode valves and lives of transmitting valves. *J. Inst. El. Eng.* Bd. 65, S. 792. 1927.
- Benhan, W. E.: A Study of the Rectification Efficiency of Thermionic Valves at Moderately High Frequencies. *Phil. Mag.* (7) Bd. 5, S. 323. 1928.
- Simon, H.: Herstellung der Glühelktroden. *Handbuch der Experimentalphysik* Bd. 13, 2, S. 283. 1928.
- Rothe, H.: Technische Elektronenröhren und ihre Verwendung. *Handbuch der Experimentalphysik* Bd. 13, 2, S. 341. 1928.
- Schottky, W. und H. Rothe: Physik der Glühelktroden. *Handbuch der Experimentalphysik* Bd. 13, 2, S. 1. 1928.
- Kuhlmann, John H. and James P. Barton: The Vacuum Tube Rectifier. *Oscillographie and Vacuum Tube Voltmeter. Study of its Application to B-Voltage. Supply for Radio Receivers.* *J. Am. Electr. Eng.* Bd. 47, S. 17. 1928.

### 6. Glimmlichtgleichrichter.

- Schröter, Fritz: Glimmlichtgleichrichter. *Z. Fernmeldetechn.* Bd. 4, S. 67. 1923.
- Kneser, Hans: Untersuchungen an einem Glimmlichtgleichrichter für Wechselstrom. *Ann. Physik* Bd. 72, S. 519. 1923.

- Schröter, Fritz: Über Edelgas-Ventilröhren. *El. u. Maschinenb.* Bd. 41, S. 417. 1923.
- Schröter, Fritz: Überspannungsventile. *ETZ* Bd. 44, S. 1016. 1923.
- Brown, Hugh A. and Chas. T. Knipp: Alkali vapor detector tubes. *J. Am. Electr. Engs.* Bd. 43, S. 26. 1924.
- Millon, James: The Raytheon „A“ Rectifier. *Radio News* Bd. 9, S. 128. 1927.
- Seibt, Georg: Das Glimmlichtrohr als Gleichrichter von Wechselströmen. *El. Z.* Bd. 49, S. 1077. 1928.

### 7. Lichtbogengleichrichter, insbesondere Quecksilberdampfgleichrichter.

- Güntherschulze, A.: Versuche an Quecksilbergleichrichtern *ETZ.* Bd. 30, S. 295. 1909.
- Güntherschulze, A.: Betrag und Kurvenform des Rückstromes im Quecksilbergleichrichter. *ETZ.* Bd. 31, S. 28. 1910.
- Schäfer, Bela B.: Ein neuer Quecksilberdampfgleichrichter für große Leistungen. *ETZ.* Bd. 32, S. 2. 1911.
- Busch, Hans: Verhalten des Quecksilberlichtbogens und des Quecksilbergleichrichters bei schnellen Schwingungen. *Phys. Z.* Bd. 14, S. 524. 1913.
- Güntherschulze, A.: Die Abhängigkeit der Verluste im Quecksilbergleichrichter von der Stromstärke und Frequenz des gleichgerichteten Stromes. *Arch. Elektrot.* Bd. 1, S. 491. 1913.
- Tschudy, W. M.: Meßverfahren und Definition für den Quecksilberdampfgleichrichter. *ETZ.* Bd. 38, S. 6, 23. 1917.
- Schäfer, Bela B.: Parallelschaltung und Spannungsregelung von Großgleichrichtern. *ETZ.* Bd. 39, S. 321. 1918.
- Keller, Gottfried: Untersuchungen am Quecksilberdampfgleichrichter. *Diss.* Zürich 1919.
- Nielsen, Hans: Über die Kurvenform des Stromes und der Spannungen an Quecksilberdampfgleichrichtern für Einphasenstrom. *ETZ* Bd. 40, S. 224. 1919.
- Clarnfeld: Der Quecksilberdampfgleichrichter. *Umschau* Bd. 24, S. 327. 1920.
- Wolff, W.: Quecksilberdampfgleichrichter. *Zentralbl. Optik u. Mech.* Bd. 41, S. 56. 1920.
- Kleeberg, Fritz: Der Quecksilberdampfgleichrichter der Glastype, seine Theorie und praktische Ausführung. *ETZ* Bd. 41, S. 145. 1920.
- Nielsen, H.: Zur Theorie der Gleichrichter. *ETZ* Bd. 41, S. 323. 1920.
- Höpp, W.: Fortschritt im Bau von Quecksilberdampfgleichrichtern. *ETZ* 1921.
- Jotte, Ch.: Les redresseurs à vapeur de mercure avec considération particulière du courant inverse. *Rev. gén. électr.* Bd. 11, S. 322. 1922.
- Schenkel und Schottky: Über die Beteiligung des metallenen Gehäuses an den Entladungsvorgängen in Großgleichrichtern. *Wiss. Veröff. Siemens-Konz.* Bd. 2, S. 252. 1922.
- Krämer, Ch.: Die Umformung durch Quecksilberdampfgleichrichter. *ETZ* 1922.
- Höpp, W.: Fortschritte im Bau von Quecksilberdampfgleichrichtern. *ETZ* Bd. 42, S. 1032. 1922.
- Odermatt, A.: Der Großgleichrichter. *El. u. Maschinenb.* Bd. 41, S. 57. 1923.
- Krijger, L. P.: Der Einfluß eines Quecksilberdampfgleichrichters auf den Leistungsfaktor des Netzes. *ETZ* Bd. 44, S. 286. 1923.
- Jungmichl, H.: Primäre Stromkurvenform und Leistungsfaktoren bei Großgleichrichteranlagen. *El. u. Maschinenb.* Bd. 41, S. 57. 1923.
- Eppen, Ferd.: Über Gleichrichter für funkentelegraph. Schnellempfang. *Jahrb. drahtl. Telegr. u. Telef.* Bd. 20, S. 173. 1922.
- Güntherschulze, A.: Die Zündspannung der Quecksilbergleichrichter. *Arch. Elektrot.* Bd. 12, S. 121. 1923.
- Müller, Gustav W.: Quecksilberdampfgleichrichter für elektrische Bahnen. *AEG-Mitt.* Nov. 1923.
- Sahulka, Johann: Zur Entwicklung des Quecksilberdampfgleichrichters. *El. u. Maschinenb.* Bd. 41, S. 246. 1923.

- Kaden, H.: Zur Theorie des Gleichrichters. Die Änderung des Leistungsfaktors auf dem Wege vom Generator zum Gleichrichter. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. Bd. 3, S. 41. 1923.
- Pflieger-Haertel, H.: Zur Theorie des Gleichrichters. Die Konstruktion der genauen Strom- und Spannungskurven für Mehrphasenquecksilberdampf-anlagen. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. Bd. 3, S. 61. 1923.
- Morrison, R. L.: High-Power Mercury Arc Rectifiers. El. Review Bd. 90, S. 353. 1922.
- Güntherschulze, A.: Die physikalischen Vorgänge im Quecksilberdampfgleich-richter. Z. techn. Phys. Bd. 5, S. 33. 1924; Helios Bd. 30, S. 17. 1924.
- Güntherschulze, A.: Überspannungen an Quecksilberdampfgleichrichtern und ihre Ursache. Z. techn. Phys. Bd. 5, S. 132. 1924.
- Hellmuth: Spannungsabfall und Minimalstromstärke des Argonalggleichrichters. ETZ Bd. 45, S. 579. 1924.
- Dunoyer, L. et P. Toulon: Sur une propriété remarquable de la colonne positive de l'arc au mercure. Relais à arc de grande puissance. J. phys. et radium (6) Bd. 5, S. 104. 1924; ferner: Comptes Rendus Bd. 179, S. 148. 1924; Bd. 179, S. 386. 1924; Bd. 179, S. 461. 1924.
- Demontvignier, M.: Méthode générale de calcul des redresseurs à vapeur de mercure. Rev. gén. électr. Bd. 13, S. 493. 1924.
- Prince, D. C.: Mercury Arc Rectifiers. J. Am. Electr. Engs. Bd. 43, S. 1021. 1924.
- Krijger, L. P.: Die Messung der Blindleistung beim Quecksilberdampfgleich-richter. ETZ Bd. 46, S. 48. 1925.
- Schenkel, M.: Der Blindleistungsverbrauch von Gleichrichtern und seine Mes-sung. ETZ Bd. 46, S. 1369. 1925.
- Schenkel, M.: Der Blindleistungsverbrauch von Gleichrichteranlagen. ETZ Bd. 46, S. 1369, 1399. 1925.
- Dällenbach, W., E. Gerecke und E. Stoll: Vorgänge an negativ geladenen Sonden und an Teilchen, die in Gasentladungen suspendiert sind. Phys. Z. Bd. 26, S. 10. 1925.
- Hellmuth: Zur Berechnung von Transformatoren für Quecksilberdampf- und Argonalggleichrichter. ETZ Bd. 46, S. 458. 1925.
- Kleeberg, Fritz: Sechshephasenschaltung des Quecksilberdampfgleichrichters. Arch. Elektrot. Bd. 15, S. 41. 1925.
- Krijger: Erweiterung auf die Entgegnung Kleeberg: Sechshephasenschaltung des Quecksilberdampfgleichrichters. Arch. Elektrot. Bd. 15, S. 42. 1925.
- Wagner, R.: Rotierender Umformer oder Gleichrichter? Helios Bd. 31, S. 545. 1925.
- Dällenbach, W. und E. Gerecke: Die Strom- und Spannungsverhältnisse der Gleichrichter. Arch. Elektrot. Bd. 14, S. 171. 1925.
- Güntherschulze, A.: Technische Quecksilberdampfgleichrichter. Handb. d. Phys. Bd. 17, S. 238—306. 1926.
- Hellmuth: Der Einfluß der Wechselstromnetzerdung auf Gleichrichter mit Transformatoren in Sparwicklung. Helios Bd. 32, S. 113. 1926.
- Müller, Curt Emil: Eine elementare Gleichung für den pulsierenden Gleich-strom des Quecksilberdampfgleichrichters. Arch. Elektrot. Bd. 16, S. 113. 1926.
- Prince, D. C.: Mercury Arc Rectifiers. J. Am. Electr. Engs. Bd. 45, S. 1087. 1926.
- Partzsch, A.: Neuerungen an Großgleichrichtern. ETZ Bd. 47, S. 1056. 1926.
- Dällenbach, Walter und Eduard Gerecke: Die Strom- und Spannungsver-hältnisse der Großgleichrichter. Arch. Elektrot. Bd. 15, S. 490. 1926.
- Müller, G. W.: Die Diagramme des Quecksilberdampfgleichrichters. ETZ Bd. 47, S. 328. 1926.
- Marti, O. K. and W. Winograd: Mercury arc power rectifiers. Their applications and characteristics. J. Am. Electr. Engs. Bd. 46, S. 818. 1927.
- Müller, G. W.: Quecksilberdampfgleichrichter. Berlin: Verlagsanstalt Norden 1927.
- Beetz, Wilhelm: Beitrag zur Messung der Energie im Anodenstromkreis von Quecksilberdampfgleichrichtern. El. u. Maschinenb. Bd. 45, S. 921. 1927.

- Shand, E. B.: Steel-tank mercury arc rectifiers. A phase of their development in America. J. Am. Electr. Engs. Bd. 46, S. 597, 1927.
- Butcher, C. A.: Application of mercury arc power rectifiers. J. Am. Electr. Engs. Bd. 46, S. 446. 1927.
- Dällenbach, W.: Messungen des Rückstromes von Quecksilberdampfgleichrichtern. ETZ Bd. 48, S. 1032. 1927.
- Fleischmann, L.: Der Blindleistungsverbrauch von Gleichrichteranlagen und seine Messung. ETZ Bd. 48, S. 12. 1927.
- Jungmichl, Heinrich: Der Stromwandler im Anodenkreis von Gleichrichtern. El. u. Maschinenb. Bd. 45, S. 423. 1927.
- Wechmann, W.: Die Elektrisierung der deutschen Reichsbahn unter besonderer Berücksichtigung der Berliner Stadt- und Vorortbahn. ETZ Bd. 49, S. 887. 1928.
- Heinrich: Störungen im Rundfunkempfang durch Quecksilbergleichrichter. ETZ Bd. 49, S. 1296. 1927.
- Müller-Lübeck, Kurt E.: Der Quecksilberdampf-Gleichrichter. II. Konstruktive Grundlagen. Berlin: Julius Springer 1929.

### 8. Gleichrichteranlagen.

- Obach, J.: Die Großgleichrichteranlage im städt. Elektrizitätswerk in Hirschberg in Schlesien. ETZ Bd. 39. S. 414. 1918.
- Schenkel, M.: Größere Glas-Gleichrichteranlagen. Siemens-Z. Bd. 1, S. 65. 1921.
- Schumacher, R.: Gleichrichteranlagen. AEG-Mitt. Bd. 17, S. 91. 1921.
- Idelberger, H. und M. Schenkel: Eine Großgleichrichteranlage für Bahnbetrieb. Siemens-Z. Bd. 2, S. 271. 1922.
- Weber: Über Quecksilber-Großgleichrichteranlagen. Mitt. V. El.-Werke Bd. 21, S. 129. 1922.
- Odermatt, A.: Gleichrichter und Gleichrichteranlagen. Bull. Schweiz. El.-V. Bd. 14, S. 657. 1923; ETZ Bd. 46, S. 665. 1925.
- Lassen, Hans: Experimentelle Untersuchungen über das Auftreten von Überspannungen in Stromkreisen mit Quecksilberdampfgleichrichtern. Arch. Elektrot. Bd. 13, S. 311. 1924.
- Zimmermann, W.: Eine Großgleichrichteranlage im Hüttenwerksbetrieb. ETZ Bd. 46, S. 1253. 1925.
- Zastrow, A. und E. R. Benda: Einwirkungen von Gleichrichteranlagen auf Fernspreitleitungen. ETZ Bd. 46, S. 1478. 1925.
- Kern, E.: Der Blindverbrauch von Gleichrichteranlagen und seine Messung. ETZ Bd. 47, S. 1005. 1926.
- Kern, E. und M. Schenkel: Der Blindleistungsverbrauch von Gleichrichteranlagen und seine Messung. ETZ Bd. 47, S. 1005. 1926.
- Breslauer, M.: Blindleistung und Tarifgestaltung von Quecksilbergleichrichteranlagen. ETZ Bd. 47, S. 926. 1926.
- Partzsch, A.: Gleichrichteranlage der Berliner Nord-Südbahn. ETZ Bd. 47, S. 1357. 1926.
- Partzsch, A.: Gleichrichteranlage der Forchbahn. ETZ Bd. 47, S. 1029. 1926.
- Schumacher, R.: Zur Frage der Betriebsbrauchbarkeit von Großgleichrichteranlagen. ETZ Bd. 47, S. 354, 388. 1926.
- Haag, L.: Ein neuer Gleichstrom-Schnellschalter. ETZ Bd. 48, S. 1727. 1927.
- Leithäuser, G.: Über die Beseitigung der Hochfrequenzstörungen, hervorgerufen durch einen Quecksilberdampfgleichrichter. El. Nachr. Techn. Bd. 4, S. 434. 1927.
- Jungmichl, Heinrich: Die Saugdrosselspule in Großgleichrichteranlagen. Wiss. Veröff. Siemens-Konz. Bd. 6, S. 34. 1928.
- Reichel, W.: Gleichstromversorgung der Deutschen Reichsbahn, insbesondere durch Gleichrichteranlagen. ETZ Bd. 49, S. 903. 1928.
- Gerecke, Eduard: Sechshephasengleichrichteranlage mit Einphasentransformatoren. Arch. Elektrot. Bd. 19, S. 449. 1928.

### 9. Verwendung der Ventile zu Meßzwecken.

- Voege, W.: Ein neues Meßgerät für schwache Wechselströme. ETZ Bd. 27, S. 467. 1906.
- Wertheim-Salomonsohn, J. K. A.: Die Messung von schwachen Wechselströmen. Phys. Z. Bd. 7, S. 463. 1906.
- Schering, H.: Zeigerinstrumente mit geringem Eigenverbrauch zur Messung kleiner Wechselstromstärken und Wechselspannungen. Z. Instrumentenk. Bd. 32, S. 69 und 101. 1912.
- Szekely, A.: Die Kontaktdetektoren als Meßinstrumente für Wechselstrom. Wien. Ber. Bd. 131, S. 39. 1921.
- Szekely, A.: Über die Verwendung der Hochvakuum-Eingitterröhre zur absoluten Messung schwacher Wechselspannungen im Gitterkreis. Wien. Ber. Bd. 131, S. 39. 1923.
- Schallreuter, W.: Über Schwingungserscheinungen in Entladungsröhren. Braunschweig: Vieweg & Sohn 1923.
- Baggally, W.: The valve bridge. A new method of measuring the anode impedance and voltage factor. J. scient. instr. Bd. 4, S. 46. 1926.
- Moll, W. J. H.: A reliable thermo-converter. J. scient. instr. Bd. 3, S. 209. 1926.
- Geyger, Wilhelm: Messung der Wechselstromkomponente von Gleichrichterströmen nach der Kompensationsmethode. Arch. Elektrot. Bd. 18, S. 641. 1927.
- Barreca, P.: Valore medio elettrolitico della corrente raddrizzata fornita da alcuni cimoscopii. Cim (NS) Bd. 4, S. 214. 1927.
- Marx, E.: Die Erzeugung sehr hoher Gleichspannungen. ETZ Bd. 49, S. 199. 1928.

### 10. Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom.

- Prince, D. C.: The Direct-current Transformer. Utilizing Thyatron Tubes. Gen. El. Rev. Bd. 31, S. 347. 1928.

## Sachverzeichnis.

- A**hemotrockengleichrichter 199.  
Amperestundenzähler 114.  
Anodenfall im Quecksilbergleichrichter 77.  
Anodengleichrichtung 168.  
Anotron 189.  
Anregungsspannung 27.  
Argonalggleichrichter 209.
- B**airstoschaltungen 117.  
Balkitegleichrichter 167.  
Berechnung der Gleichrichter 121, 124.  
Berechnung von Glühkathodengleichrichtern 173.  
Bleiglanz-Nickelin-Detektor 6.
- C**harakteristik 3, 4.  
Constanzventilröhre 190.  
Cuproxgleichrichter 195.
- D**elonschaltung 118.  
Drehspulinstrumente 113.  
Dynamometer 114.
- E**ffektivwert pulsierenden Gleichstromes 107.  
Einankerumformer 144.  
Einatomige Gase 26.  
Einsetzen des Stromes 128.  
Einteilung der Ventile 3.  
Einventilschaltung 120.  
Elektrodenentgasung 61.  
Elektrolytgleichrichter 92, 165.  
Elektrolytzähler 113.  
Elektronenablösearbeiten 18.  
Elektronenerzeugung 14.  
Elektronennapf 9.  
Elektronenströmung 31.  
Elektronenstoß an festen Oberflächen 23.  
Elektronenemission durch hohe Feldstärke 21.  
Elkongleichrichter 194.  
Energieverluste der Ventile 121.  
Entladungshindernis 51.  
Erlöschen des Quecksilbergleichrichters 89.
- F**alkenthalgleichrichter 153.  
Fallraum 48.  
Flammgleichrichter 164.  
Formfaktor 106.  
Formierungsgradienten der Elektrolytgleichrichter 96.  
Freie Weglänge 24.  
Fremdgase im Quecksilbergleichrichter 73.
- Funkenentladung 91.  
Funkenspannung der Elektrolytgleichrichter 96.
- G**asdruck 37.  
Gasgemische 53.  
Gefäßwände 67.  
Gittergleichrichtung 169.  
Gleichrichteranlagen 225.  
Gleichrichterpatente 254.  
Gleichstromtransformierung 251.  
Glimmentladung 45.  
Glimmlichtgleichrichter 186.  
Glühelctrische Ventile 40.  
Glühelctronen 15.  
Glühkathoden 41.  
Glühkathodengleichrichter 168.  
Glühkathodengleichrichter der Afa 179.  
Glühventile mit Gasfüllung 43.  
Graetzsche Schaltung 116.  
Greinacherschaltungen 118.  
Großgleichrichter 212.  
Großgleichrichteranlage 240.
- H**armonische Analysatoren 113.  
Hilfsapparate der Großgleichrichter 221.  
Hilfserrcgung 207.  
Hitzdrahtapparate 114.  
Hochspannungsglimmlichtgleichrichter 190.  
Hochspannungsglühkathodengleichrichter 170.  
Hohlkathode 52.  
Hydragleichrichter 152.
- I**onenerzeugung 14.  
Ionenstoß an festen Oberflächen 23.  
Ionisierungsspannung 29.  
Isolierung der Großgleichrichter 221.
- K**askadenumformer 145.  
Kathode des Lichtbogens 64.  
Kathodenfall 48.  
Kationenströmung 34.  
Kochgleichrichter 154.  
Kolloidgleichrichter 14, 191.  
Kontaktdetektoren, Theorie 8.  
Kristalldetektoren 5.  
Kupferjodürgleichrichter 200.  
Kurvenanalyse 109.
- L**adestation 181.  
Leistungsfaktor 126, 238.  
Leistungsmessungen 114.  
Lichtbogenentladung 63.  
Lichtbongleichrichter 200.

- Lichtelektrische Elektronenemission 22.  
 Lichtelektrische Ventile 40.  
**M**agnetfeld 33.  
 Magnetroneneffekt 43, 172.  
 Maximalspannung der Elektrolytgleichrichter 97.  
 Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung 25.  
 Mehratomige Gase 30.  
 Mehrphasenstrom 105.  
 Messungen an Gleichrichtern 113.  
 Mindestspannung der Elektrolytgleichrichter 101.  
 Mittelwert pulsierenden Gleichstromes 107.  
 Molisierung 30.  
**N**adelgleichrichter 147.  
 Niedervoltige Strömung 35.  
**O**sramladegleichrichter 183.  
 Oxydkathoden 41.  
**P**endelgleichrichter 150.  
 Phasendauer 131.  
 Phasenverschiebung 126.  
 Phasenzündspannung 88.  
 Philipsgleichrichter 183.  
 Phywegleichrichter 166.  
 Positive Ionen 20.  
 Protos-Trockengleichrichter 197.  
 Pseudohochvakuum 55, 57.  
**Q**uecksilberdampfdruck 67.  
 Quecksilberdampfgleichrichter 200.  
 Quecksilberdampflichtbogen 64.  
 Quecksilberwellenstrahlgleichrichter 156.  
**R**aumladung 19.  
 Raytheongleichrichter 188.  
 Rectifexgleichrichter 186.  
 Rectrongleichrichter 186.  
 Rekombination 30.  
 Rotierende Maschinen 143.  
 Rückstrom 83.  
 Rückzündung 82, 205.  
**S**ättigungsstrom 17.  
 Saugdrossel 229.  
 Schaltungen 115.  
 Schaltungen der Gleichrichteranlagen 231.  
 Scheibengleichrichter 149.  
 Scheitelfaktor 106.  
 Schichtdicken der Elektrolytgleichrichter 99.  
 Schwingende Kontakte 150.  
 Selbständiges Ventil 3.  
 Sicherheitsapparate 234.  
 Siebketten 171.  
 Siemensglühkathodengleichrichter 184.  
 Spannungskurven von Großgleichrichtern 237.  
 Spannungsregelung 227.  
 Spannungsteilung 227.  
 Spannungsverlust in Quecksilbergleichrichtern 227.  
 S-Röhren 191.  
 Stadtbahngleichrichterwerke 242.  
 Stoßionisierung 26.  
 Strahlgleichrichter 156.  
 Stromdichte der Glimmentladung 49.  
 Stromdurchführung bei Quecksilbergleichrichtern 203.  
 Stromkurven von Großgleichrichtern 237.  
 Synchronkommutatorumformer 146.  
**T**ellorgleichrichter 155.  
 Temperatur im Quecksilbergleichrichter 70.  
 Thermobrücke 246.  
 Thermokette 248.  
 Thermokreuz 245.  
 Thermoventile 5.  
 Thyatron 252.  
 Transformatoren für Gleichrichter 225.  
 Transformatorschaltung 116.  
 Transport der Glasgleichrichter 212.  
 Transverter 146.  
 Trockenplattengleichrichter 191.  
 Trockenplattenventile 13.  
 Typengrößen der Quecksilberglassgleichrichter 209.  
 Unselbständiges Ventil 4.  
**V**akuummeter der Großgleichrichter 223.  
 Vakuumpumpen der Großgleichrichter 222.  
 Vakuumventile 40.  
 Ventile mit Hilfsspannung 12.  
 Verzerrungsfaktor 126.  
 Voltmeter 113.  
 Voltgeschwindigkeit 27.  
**W**andwirkung 56.  
 Wattmeter 114.  
 Weglänge, freie 24.  
 Wehneltgleichrichter 176.  
 Wehneltkathode 177.  
 Wellenfilter 171.  
 Wellenform 102.  
 Wirkungsgrad der Großgleichrichter 239.  
 Wolframlichtbogen 90.  
 Wolframlichtbogengleichrichter 200.  
**Z**ündeinrichtung 225.  
 Zündeflektroden 207.  
 Zündung der Gleichrichter 89.

# Der Quecksilberdampf-Gleichrichter

Von

Ing. Kurt E. Müller-Lübeck

Erster Band:

## Theoretische Grundlagen

Mit 49 Textabbildungen und 4 Zahlentafeln. IX, 217 Seiten. 1925  
Gebunden RM 15.—

Inhaltsübersicht:

Allgemeines. — Das Reduktionsproblem. — Der Normalgleichrichter. — Einige Anwendungen auf spezielle Gleichrichterformen. — Zahlentafeln. Zeichnungen. Literatur-Verzeichnis. Sachverzeichnis.

Zweiter Band:

## Konstruktive Grundlagen

Mit 340 Textabbildungen und 4 Tafeln. VI, 350 Seiten. 1929  
Gebunden RM 42.—

Inhaltsübersicht:

Die Spannungscharakteristik. — Die Welligkeitscharakteristik. — Die Leistungscharakteristiken. — Der Kurzschlußstrom des Gleichrichters. — Die Berechnung von Gleichrichteranlagen. — Die Konstruktion des Vakuumgefäßes. — Die Ausführung von Gleichrichteranlagen. — Über Schnellschalter. — Die Gleichrichteranlage der Berliner Stadt-, Ring- und Vorortbahn. — Literaturverzeichnis. Sachverzeichnis.

---

**Die Stromwendung großer Gleichstrommaschinen.** Von Dr.-Ing. Ludwig Dreyfus, Västerås, Schweden. Mit 101 Textabbildungen. XII, 191 Seiten. 1929. RM 16.—; gebunden RM 17,50

---

**Die Transformatoren.** Von Dr. techn. Milan Vidmar, ord. Professor an der jugoslawischen Universität Ljubljana. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 320 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. XVIII, 751 Seiten. 1925. Gebunden RM 36.—

---

**Der Transformator im Betrieb.** Von Dr. techn. Milan Vidmar ord. Professor an der jugoslawischen Universität Ljubljana. Mit 126 Abbildungen im Text. VIII, 310 Seiten. 1927. Gebunden RM 19.—

*Über beide Transformatoren-Bücher*

*steht ein ausführlicher Sonderprospekt auf Wunsch zur Verfügung.*

---

**Elektrotechnik.** Redigiert von W. Westphal, Mit 360 Abbildungen. VII, 392 Seiten. 1926. RM 31,50; gebunden RM 33,60  
(Bildet Band XVII des Handbuches der Physik, herausgegeben von H. Geiger und Karl Scheel.)

Inhaltsübersicht:

Telegraphie und Telephonie auf Leitungen. Von Dr. F. Breisig, Berlin. — Drahtlose Telegraphie und Telephonie. Von Prof. Dr. F. Kiebitz, Berlin. — Röntgentechnik. Von Dr. Hermann Behnken, Berlin. — Elektromedizin. Von Dr. Hermann Behnken, Berlin. — Transformatoren. Von Dr. R. Vieweg und Dipl.-Ing. V. Vieweg, Berlin. — Elektrische Maschinen. Von Dr. R. Vieweg und Dipl.-Ing. V. Vieweg, Berlin. — Technische Quecksilberdampf-Gleichrichter. Von Prof. Dr. A. Güntherschulze, Berlin. — Hochspannungstechnik. Von Prof. Dr. W. O. Schumann, München. — Überströme und Überspannungen. Von Dr. A. Fraenckel, Berlin. — Sachverzeichnis.

**Die Wechselstromtechnik.** Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. E. Arnold, Karlsruhe. In fünf Bänden.

- I. Band: **Theorie der Wechselströme.** Von J. L. la Cour und O. S. Bragstad. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 591 in den Text gedruckten Figuren. XIV, 922 Seiten. 1910. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 30.—
- II. Band: **Die Transformatoren.** Ihre Theorie, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 443 in den Text gedruckten Figuren und 6 Tafeln. XII, 450 Seiten. 1910. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 20.—
- III. Band: **Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen.** Von E. Arnold. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 463 Textfiguren und 5 Tafeln. XII, 371 Seiten. 1912. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 16.—
- IV. Band: **Die synchronen Wechselstrommaschinen.** Generatoren, Motoren und Umformer. Ihre Theorie, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 530 Textfiguren und 18 Tafeln. XX, 896 Seiten. 1913. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 28.—
- V. Band: **Die asynchronen Wechselstrommaschinen.**
  1. Teil: **Die Induktionsmaschinen.** Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold und J. L. la Cour unter Mitarbeit von A. Fraenkel. Mit 307 in den Text gedruckten Figuren und 10 Tafeln. XVI, 592 Seiten. 1909. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 24.—
  2. Teil: **Die Wechselstromkommutatormaschinen.** Ihre Theorie, Berechnung, Konstruktion und Arbeitsweise. Von E. Arnold, J. L. la Cour und A. Fraenkel. Mit 400 in den Text gedruckten Figuren und 8 Tafeln. XVI, 660 Seiten. 1912. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 26.—

---

**Vorlesungen über die wissenschaftlichen Grundlagen**

**der Elektrotechnik.** Von Prof. Dr. techn. Milan Vidmar, Ljubljana. Mit 352 Abbildungen im Text. X, 451 Seiten. 1928.

RM 15.—; gebunden RM 16,50

---

**Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik.**

Von Prof. Dr. Gustav Benischke. Sechste, vermehrte Auflage. Mit 633 Abbildungen im Text. XVI, 682 Seiten. 1922. Gebunden RM 18.—

---

**Hilfsbuch für die Elektrotechnik.** Unter Mitwirkung namhafter

Fachgenossen bearbeitet und herausgegeben von Dr. Karl Strecker. Zehnte, umgearbeitete Auflage.

**Starkstromausgabe.** Mit 560 Abbildungen. XII, 739 Seiten. 1925. Gebunden RM 20.—

**Schwachstromausgabe (Fernmeldetechnik).** Mit 1057 Abbildungen. XXII, 1137 Seiten. 1928. Gebunden RM 42.—