

# Vom Quecksilberdampf-Gleichrichter

Autor(en): **[s.n.]**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71/72 (1918)**

Heft 13

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-34819>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Vom Quecksilberdampf-Gleichrichter. — Wettbewerb für eine Synagoge in Zürich. — Die Berechnung des durchlaufenden Brückengewölbes auf elastischen Pfeilern. — Miscellanea: Die Uebertragung des Geschützdonners auf grosse Entfernungen, Basler Münster-Photographien-Werk. Westinghouse-Elektrostahlofen. Eine einfache Muffendichtung für Rohrleitungen aus Eisenbeton. Zum Wettbewerb für eine Reuss-

brücke bei Gisikon. Der Verein deutscher Ingenieure. — Konkurrenzen: Bezirkshospital in Aarberg. Arbeiterkolonie der A.-G. Piccard, Pictet & Cie. in Aire bei Genf. — Nekrologie: G. Cuénod. A. Bourgeois. J. Keller. — Literatur: Das Dörren von Obst und Gemüse in der Industrie. Literar. Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. G. e. P.: Stellenvermittlung.

Band 72.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 13.

### Vom Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Im Laufe der letzten Jahre ist der Quecksilberdampf-Gleichrichter zu einem technisch vollkommenen Apparat ausgebildet worden, der schon in zahlreichen Betrieben als Ersatz für die rotierenden Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer Eingang gefunden hat. Erst vor Kurzem haben wir auf die Inbetriebnahme eines solchen Apparates für 800 Volt Spannung zur Speisung der Bahn Lausanne-Moudon hingewiesen (vergl. S. 104 lfd. Bd., 14. Sept. 1918). Weitere Anlagen für Bahnbetrieb mit Quecksilberdampf-Gleichrichtern für noch bedeutend höhere Spannungen sind im Bau. Ueber die Konstruktion des Gross-Quecksilberdampf-Gleichrichters nach Bauart Brown Boveri & Cie. haben wir seinerzeit in Band LXIX, Seite 18 und 25 (13./20. Januar 1917) Näheres mitgeteilt. Zur Ergänzung jener Veröffentlichung bringen wir im Folgenden einen Bericht über Untersuchungen, die vor etwa einem Jahre an einer Versuchs-Gleichrichteranlage im Laboratorium der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich ausgeführt wurden und die einen allgemein orientierenden Ueberblick geben über die Wirtschaftlichkeit und die Betriebsverhältnisse dieser Apparate. Wir entnehmen diesen, von Ingenieur A. E. Müller verfassten Bericht unter Weglassung einiger Abbildungen den „B B C Mitteilungen“ vom August dieses Jahres.

Die für die Untersuchungen benutzte Anlage besteht aus einem Gleichrichter für 80 Amp. bei 110 bis 220 Volt und 50 Perioden, mit sechs Anoden. Der Apparat, dessen Konstruktion aus Abbildung 1 ersichtlich ist, ist an einem Drehstrom-Transformator von 17,5 kVA Leistung, 347/250 Volt Primär- und  $6 \times 145$  Volt Sekundärspannung angeschlossen, der auf der Primärseite Dreieck-, auf der Sekundärseite Sechspannen-Sternschaltung aufweist. Zur Regulierung dient eine Drosselspule mit verschiebbaren Kernen, ohne Schlussjoch, mit je zwei Spulen pro Kern. Für die Messungen wurde die in Abbildung 2 dargestellte, für den Sechspannen-Betrieb (Sechsanoden-Betrieb) gültige Schaltung angewendet. Für Drei- und Zwei-Anoden-Betrieb vereinfacht sich die Schaltung entsprechend.

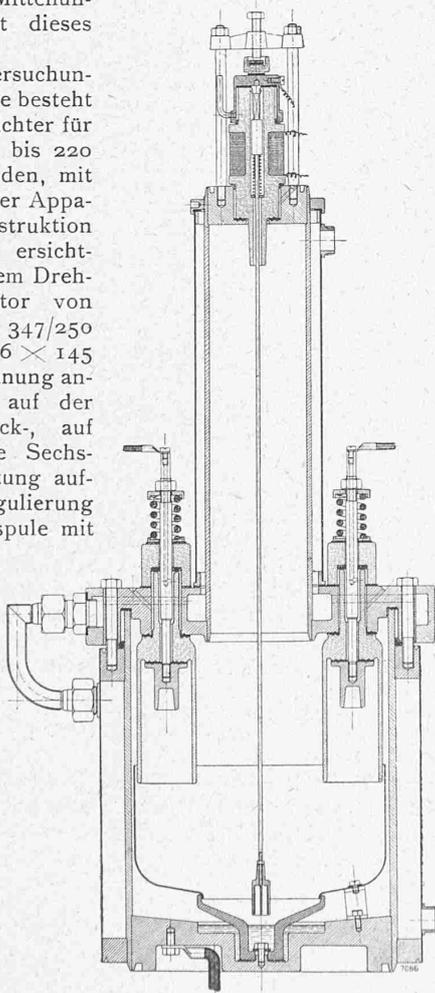


Abb. 1. Schnitt durch den Gleichrichter.

### Wirkungsgrade bei induktionsloser Belastung.

Für die Wirkungsgrad-Bestimmungen der Gleichrichter-Umformeranlage kommen die Verluste im Gleichrichter-Gefäss, in den Regulierdrosselspulen und im Transformator in Betracht. Dabei ist ein Unterschied zu machen, ob für die Wirkungsgrad-Messungen eine Regulierung auf konstante Verbrauchspannung vorgesehen ist, oder ob die bei fester Einstellung der Drosselspulen auftretende Spannungsabnahme im Wellenstromkreis (Gleichstromseite) bei Belastungszunahme als zulässig angenommen wird. Die Wirkungsgradkurven weichen, wie aus Abb. 3 bis 8 hervorgeht, für die beiden Betriebsfälle ziemlich stark voneinander ab.

Aus Abbildung 2 ist die Schaltung der Instrumente für die Wirkungsgrad-Bestimmungen ersichtlich. Auch im Falle des Zwei-Anodenbetriebes war der Transformator primär dreiphasig angeschlossen (vergl. Abb. 12, S. 119).

Die betreffenden Wirkungsgradkurven, die für Ein-, Drei- und Sechspannenbetrieb aufgenommen sind, zeigen den Verlauf des Wirkungsgrades des Gleichrichtergefässes allein, der ganzen Umformeranlage: Transformator-Drosselspule-Gleichrichter-Verbrauchsnetz und schliesslich des Transformators einschliesslich Regulierdrosselspule. Bezüglich des Gleichrichters hat man grundsätzlich zwei verschiedene Wirkungsgrade zu unterscheiden:

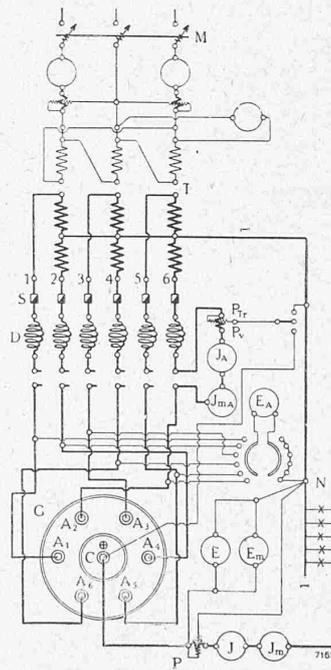


Abb. 2. Schaltungsschema der Gleichrichter-Anlage.

### LEGENDE:

- M Maximalautomat,
- T Transformator,
- S Sicherungen,
- D Drosselspulen,
- G Gleichrichter,
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> Anoden,
- C Kathode,
- N Gleichstromnetz,
- P<sub>Tr</sub> aus dem Transformator fließende Teileffekte,
- P<sub>v</sub> Effektivverlust in einer Dampfstrecke,
- J<sub>A</sub> Effektivwert des Anodenstromes mit Hitzdraht-Instrument gemessen,
- J<sub>mA</sub> Mittelwert des Anodenstromes mit Drehspulen-Instrument gemessen,
- E<sub>A</sub> Spannung zwischen Anode und Transformator-Nullpunkt, Effektivwert,
- E Effektivwert der gleichgerichteten Anodenspannung (Wellenspannung), mit Hitzdrahtinstrument gemessen,
- E<sub>m</sub> Mittelwert der Wellenspannung, mit Drehspulen-Instrument gemessen,
- J Effektivwert des gleichgerichteten Stromes (Wellenstrom), mit Hitzdraht-Instrument gemessen,
- J<sub>m</sub> Mittelwert des Wellenstromes, mit Drehspulen-Instrument gemessen,
- P wattmetrische Wellenstromleistung.

Wenn festgestellt werden soll, wie gross die *reine* Gleichstromleistung ist, die der Gleichrichter abgibt, — sie soll kurz „elektrolytische Leistung“ und der ihr entsprechende Wirkungsgrad „elektrolytischer Wirkungsgrad“ genannt werden, — so ist die abgegebene Leistung mit Drehspulen-Strom- und Spannungsmessern, die Mittelwerte anzeigen, zu messen. Der „elektrolytische Wirkungsgrad“ berücksichtigt somit die in der dem konstanten Gleichstrom überlagerten Wechselstromkomponente des Wellenstroms enthaltene Energie nicht. (Vergl. Oszillogramm Nr. 17 in Abbildung 13). Dieser Wirkungsgrad wird beispielsweise bei der Ladung einer Akkumulatorenbatterie mittels Gleich-

richter in Betracht kommen. Bezeichnet man den „elektrolytischen Wirkungsgrad“ des Gleichrichters mit  $\eta'$ , so stellt er sich dar als:

$$\eta' = \frac{P'}{P_1},$$

wobei  $P' = J_m \cdot E_m$  das Produkt aus den Mittelwerten von Wellenstrom und Wellenspannung, also die reine Gleichstromleistung, und  $P_1$  den wattmetrisch gemessenen, in das Gleichrichtergefäß eingeführten Effekt bedeutet.

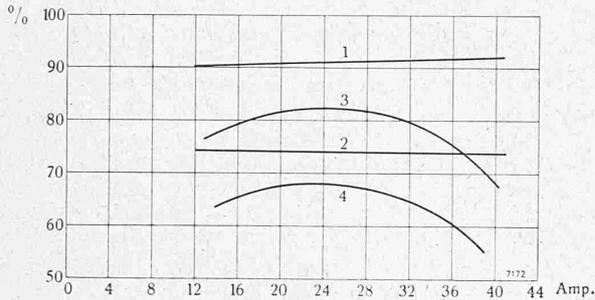


Abb. 3. Wirkungsgrade bei Zwei-Anoden-Betrieb,  $E_m = \text{konst.} = 198 \text{ Volt.}$

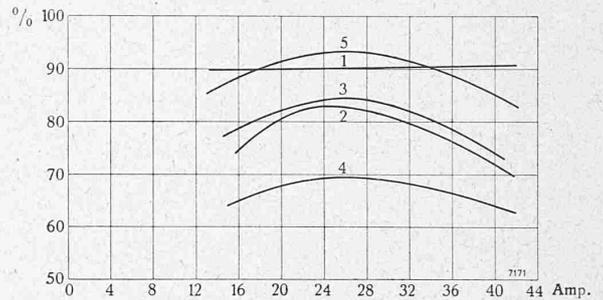


Abb. 4. Wirkungsgrade bei Zwei-Anoden-Betrieb,  $E_m$  nicht reguliert.

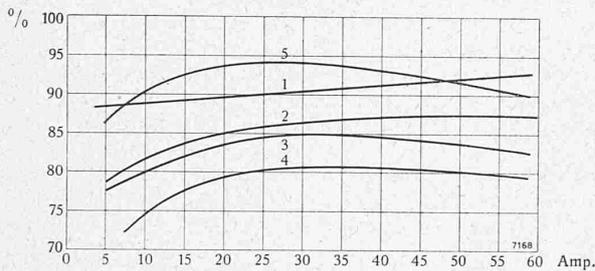


Abb. 5. Wirkungsgrade bei Drei-Anoden-Betrieb,  $E_m = \text{konst.} = 198 \text{ Volt.}$

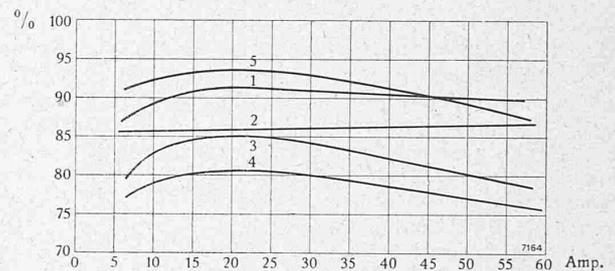


Abb. 6. Wirkungsgrade bei Drei-Anoden-Betrieb,  $E_m$  nicht reguliert.

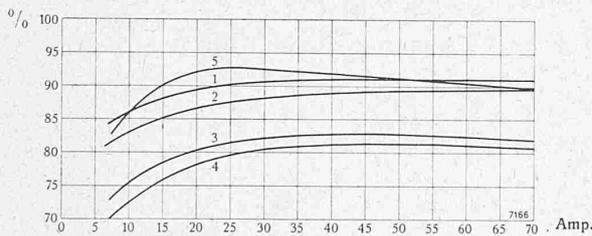


Abb. 7. Wirkungsgrade bei Sechs-Anoden-Betrieb,  $E_m = \text{konst.} = 140 \text{ Volt.}$

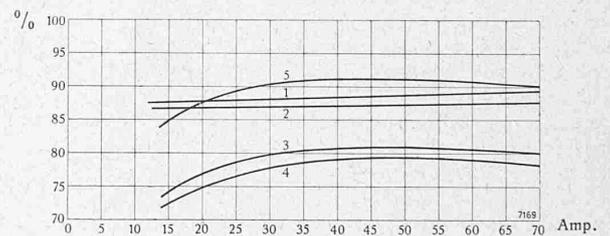


Abb. 8. Wirkungsgrade bei Sechs-Anoden-Betrieb,  $E_m$  nicht reguliert.

LEGENDE zu den Abb. 3 bis 8: Kurve 1 = energetischer (wattmetrischer) Wirkungsgrad  $\eta$  des Gleichrichters; Kurve 2 = elektrolytischer Wirkungsgrad  $\eta'$  des Gleichrichters; Kurve 3 = energetischer Systemwirkungsgrad  $\eta_s$  der ganzen Anlage; Kurve 4 = elektrolytischer Systemwirkungsgrad  $\eta'_s$  der ganzen Anlage; Kurve 5 = Wirkungsgrad von Transformator und Drosselspule  $\eta_{Tr}$ .

Der andere Fall der Wirkungsgrad-Bestimmung des Gleichrichtergefäßes ist der, dass die wattmetrisch gemessene, aus dem Gefäß ausgeführte Leistung mit der wattmetrisch gemessenen, in das Gefäß eingeführten Leistung verglichen wird. Dieser Wirkungsgrad soll kurz mit  $\eta$  bezeichnet und „energetischer Wirkungsgrad“ genannt werden. Er kommt beispielsweise bei Glühlampenbelastung voll zur Geltung und wird immer den günstigeren der beiden möglichen Fälle der Wirkungsgradmessung darstellen.

Mit  $\eta_{Tr}$  werde im fernern der Wirkungsgrad von Transformator und Regulierdrosselspule zusammen bezeichnet und mit  $\eta'_{Tr}$  bzw.  $\eta_s$ , entsprechend dem Sinn der Wirkungsgrade  $\eta'$  und  $\eta$ , der „elektrolytische“, bzw. „energetische“ Wirkungsgrad der Umformung (Systemwirkungsgrad), wobei die auf der Gleichstromseite nutzbare Leistung mit der in den Transformator eingeführten Leistung verglichen wird.

Es ist noch im besondern darauf hinzuweisen, dass die verhältnismässig niedrigen Werte der aufgestellten Wirkungsgradkurven bei höhern Spannungen und Leistungen bedeutend günstiger ausfallen.

Spannungsverhältnisse, Oszillogramme, Stromverhältnisse.

1. Spannungsverhältnisse. Vom Spannungsabfall in der Dampfstrecke und den Verlusten in derselben ist der Wirkungsgrad des Gleichrichters abhängig. Im Augenblick der Lichtbogenbildung sinkt der hohe Widerstand zwischen Anode und Kathode auf einen verhältnismässig geringen Wert herab, der solange auf diesem Betrag verbleibt, als der Kathode von der Anode her Strom zufliesst. Bezeichnet man die Spannung, die zwischen Anode und Kathode

herrscht, als Momentanwert mit  $e_{AC}$ , so ist diese während des Stromdurchgangs, wie aus Versuchen, insbesondere Oszillogramm-Aufnahmen ersichtlich ist (vergl. Oszillogramm Nr. 9 und 10 in Abbildung 13), konstant und gleich dem Spannungsabfall  $\varepsilon$  in der Dampfstrecke. Betrachtet man beispielsweise eine Dampfstrecke des Drei-Anoden-Gleichrichters und bezeichnet deren Effektverlust mit  $P_v$  und den in ihr fließenden Momentanwert des Anodenstromes mit  $i_A$ , so gilt:

$$P_v = \frac{1}{T} \int_0^{T/3} e_{AC} \cdot i_A \cdot dt;$$

wobei  $T$  die Periodendauer des Wechselstromes bedeutet. Während des Stromdurchgangs, also während der Zeit  $T/3$ , ist für eine Dampfstrecke nun  $e_{AC} = \varepsilon = \text{konstant}$ ; somit:

$$P_v = \varepsilon \cdot \frac{1}{T} \int_0^{T/3} i_A \cdot dt.$$

Wie später gezeigt wird, kann man setzen:

$$\frac{J_m}{3} = \frac{1}{T} \int_0^{T/3} i_A \cdot dt,$$

wobei  $J_m$  der mit Drehspulensinstrument gemessene Mittelwert des aus der Kathode fließenden Wellenstromes ist.

Die Verluste im Gleichrichter sind also auf die von ihm gelieferte mittlere Gleichstromstärke zu beziehen. War für den Dreiphasen-Gleichrichter der auftretende Verlust pro Dampfstrecke  $P_v = \frac{\epsilon \cdot J_m}{3}$ , so ist der totale Verlust allgemein für ein Gleichrichtergefäß:

$$P_{vg} = \epsilon \cdot J_m.$$

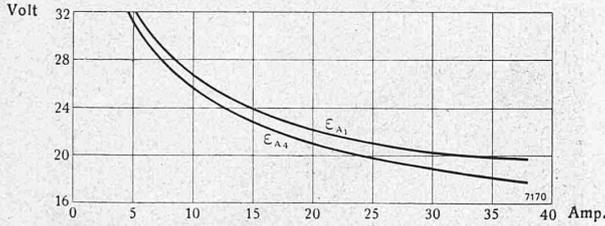


Abb. 9. Spannungsabfall in den Dampfstrecken der Anoden  $A_1, A_4$ , mit Gleichstrom ermittelt; Vakuum = 0,010 bis 0,015 mm Hg.

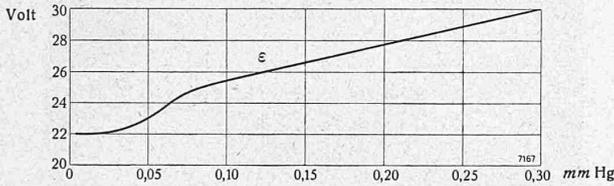


Abb. 11. Effektiver Spannungsabfall in der Dampfstrecke; aus direkter wattmetrischer Verlustmessung berechnet.

Abb. 10 (links). Spannungsabfall in der Dampfstrecke der Anode  $A_4$ , mit Gleichstrom 20 Amp. = konst. ermittelt.

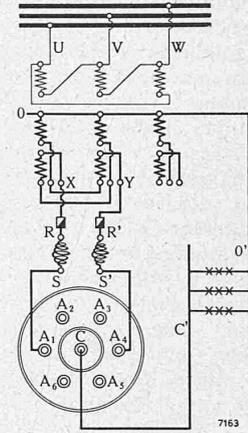


Abb. 12.

Der während der Durchlässigkeit vorhandene Spannungsabfall  $\epsilon$  der Dampfstrecke wird am zuverlässigsten und praktisch hinreichend genau mit Gleichstrom bestimmt, indem man beispielsweise die vorher jonisierte Dampfstrecke mittels einer Akkumulatoren-Batterie speist. Die erhaltenen Werte decken sich sehr gut mit den aus den Oszillogrammen ermittelten Werten. In Abbildung 9 ist für

luste im Gleichrichter bestimmen. Im vorliegenden Falle lässt sich eine Genauigkeit von höchstens 4% erreichen.

Man kann auch, nach der in Abbildung 2 angegebenen Schaltung, die Verluste in einer Dampfstrecke direkt mit einem Wattmeter messen. Durch Division dieser Verluste durch den Effektivwert des Anodenstromes erhält man einen effektiven Spannungsverlust  $\epsilon_{eff}$  in der Dampfstrecke.

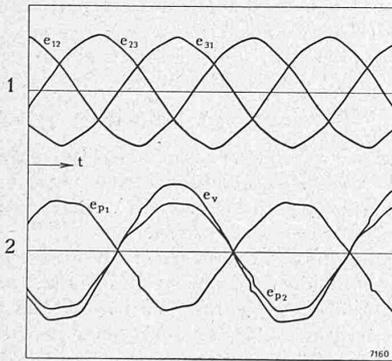
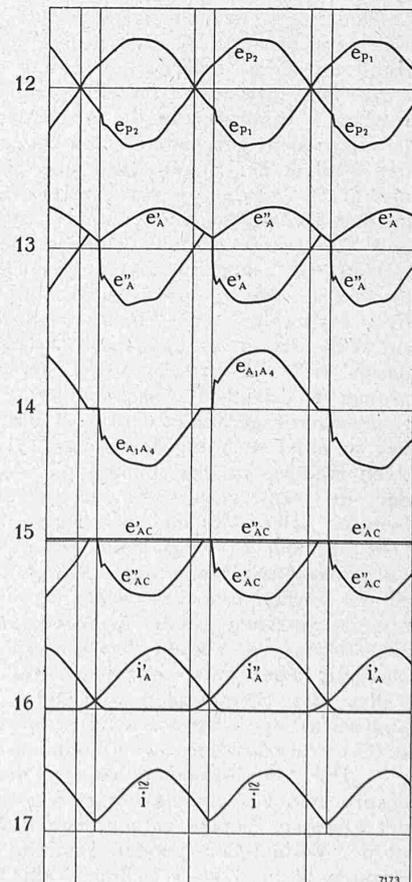
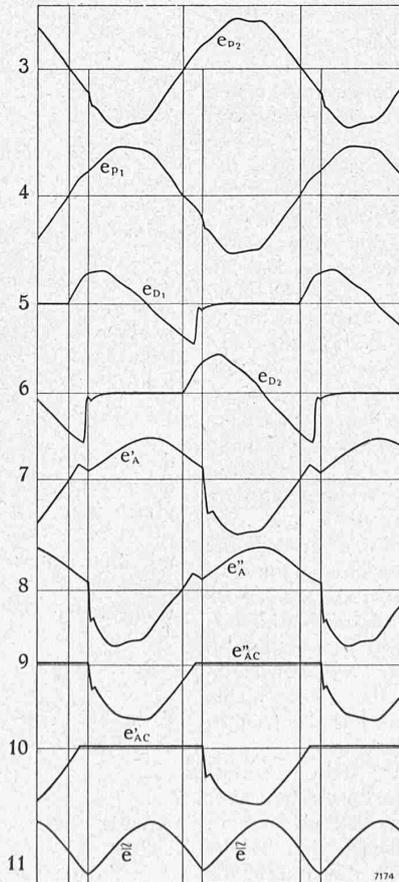


Abb. 13. Spannungs- und Strom-Oszillogramme.

- 1 Transformator-Primärspannungen zwischen UV, VW und UW (vergl. Abb. 12).
- 2 Transformator-Sekundärspannungen zwischen OX, OY und XY.
- 3 Spannung zwischen O und Y; Sekundäre Transformator-Phasen-Spannung.
- 4 Spannung zwischen O und X; Sekundäre Transformator-Phasen-Spannung.
- 5 Spannung über der Drosselspule RS.
- 6 Spannung über der Drosselspule R' S'.
- 7 Spannung zwischen Anode  $A_1$  und Transformator-Nullpunkt O.
- 8 Spannung zwischen Anode  $A_4$  und Transformator-Nullpunkt O.
- 9 Elektrodenspann. zwischen Anode  $A_1$  u. Kathode C.
- 10 Elektrodenspann. zwischen Anode  $A_4$  u. Kathode C.
- 11 Wellenspannung über der Belastung C' O'.
- 12 Oszillogramme 3 und 4 über der gleichen Zeitaxe.
- 13 Oszillogramme 7 und 8 über der gleichen Zeitaxe.
- 14 Anodenspannung zwischen Anode  $A_1$  und  $A_4$ .
- 15 Oszillogramme 9 und 10 über der gleichen Zeitaxe.
- 16 Anodenströme in den Anoden  $A_1$  und  $A_4$ .
- 17 Wellenstrom in der Belastung C' O'.



Weil aber der Formfaktor der durchfliessenden Stromstösse kaum ermittelt werden kann und wegen der sehr ungünstigen Belastung der Wattmeterspannungspule (Verlauf der Spannung  $e_{AC}$  in den Oszillogrammen 9 und 10 in Abbildung 13) ist diese Methode nicht angebracht. In Abbildung 11 ist der Verlauf des aus direkter wattmetrischer Verlustmessung bestimmten Spannungsabfalles  $\epsilon_{eff}$  dargestellt. Er weicht sehr stark von den Kurven der Abbildung 9 ab.

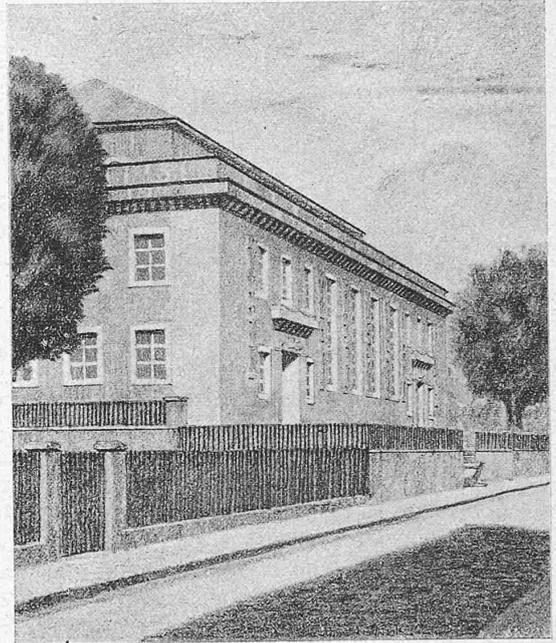
2. *Oszillogramm-Aufnahmen zur Demonstration der Spannungsverhältnisse.* Um die Spannungsverhältnisse, insbesondere die Umformung der dem Transformator zugeführten Wechselspannung in die dem Gleichrichter entnommene Wellenspannung zu zeigen, sind die Oszillogramme 1 bis 15 (Abbildung 13, Seite 119) aufgenommen worden. Dabei sind der Uebersichtlichkeit wegen die Verhältnisse für den *Einphasenbetrieb* zusammengestellt. Die Schaltung der Anlage bei der Aufnahme der Oszillogramme war die in Abbildung 12 dargestellte; die im Schema eingeführten Buchstaben bezeichnen Punkte, über denen Spannungskurven aufgenommen wurden. Die verschiedenen Oszillogramme sind so zusammengestellt, dass die Kurven zeitlich in die richtige Lage zu einander gesetzt sind. Die Richtung des Zeitpfeiles ist von links nach rechts und die Lage der Kurven zur Zeitaxe durchwegs so, dass ihrem Verlauf über der Zeitaxe der Verlauf in der „durchlässigen“ Zone entspricht.

Werden dem Transformator die in Oszillogramm Nr. 1 dargestellten, nahezu sinusförmigen Spannungskurven  $e_{12}$ ,  $e_{23}$ ,  $e_{31}$  aufgedrückt, so treten auf der Sekundärseite die in Oszillogramm 2 dargestellten Spannungen auf;  $e_{p1}$  und  $e_{p2}$  sind die Spannungen zwischen Transformator-Nullpunkt und Aussenleiter, während die Spannung  $e_v$  die Spannung zwischen den beiden Aussenleitern darstellt. Die in Oszillogramm 3 und 4 nochmals getrennt dargestellten, gegeneinander um  $180^\circ$  verschobenen Spannungen  $e_{p1}$  und  $e_{p2}$  werden nun allmählich in die Wellenspannung umgeformt. Die erwähnten Spannungen rufen in den Anodenzweigen Stromimpulse hervor, die sich zu einem Wellenstrom zusammensetzen, der periodisch den Wert Null erreicht und deshalb praktisch unmöglich ist, insofern nicht für eine dauernde Erregung der Kathode gesorgt wird. Die notwendige Ueberlappung der Spannungskurven wird nun durch die in die Anodenzweige eingeschalteten Drosselspulen geschaffen. Oszillogramm 5 und 6 zeigen den Verlauf der Spannungen über den Drosselspulen  $RS$  und  $R'S'$ . Durch ihre Wirksamkeit kommt der Verlauf der in den Oszillogrammen 7 und 8 dargestellten Kurven  $e'_A$  und  $e''_A$  zwischen den beiden Anoden und dem Transformator-Nullpunkt zustande. Vergleicht man die Kurven  $e'_A$  und  $e''_A$  mit  $e_{p1}$  und  $e_{p2}$ , so sieht man, dass die positiven Halbwellen der letzteren verzerrt worden sind. Die zur Wellenstrom-Erzeugung notwendige Ueberlappung wird durch diese Verzerrung bewerkstelligt, wie aus Oszillogramm 13 deutlich ersichtlich ist. Infolge der charakteristischen Eigenschaft der Quecksilberdampfstrecke, Strom nur in einer Richtung durchzulassen, werden *nur* die positiven Halbwellen der Spannungen  $e'_A$  und  $e''_A$  zur Bildung der in Oszillogramm 11 dargestellten Wellenspannung benutzt. Der Verlauf des Kurvenzuges  $e'_A e''_A \dots$  in Oszillogramm 13 zeigt daher bereits die zu erwartende Form der Wellenspannung. Aus Oszillogramm 9 und 10 ist der Verlauf der Elektroden Spannungen, d. h. der Spannungen zwischen Anode  $A_1$ , Anode  $A_4$  und der Kathode  $C$  zu ersehen. Der Verlauf dieser Spannungen in der „durchlässigen“ Zone entspricht dem Verlauf der positiven Halbwellen der Spannungen  $e'_A$  und  $e''_A$  und stellt nichts anderes als den konstanten Spannungsabfall  $\epsilon$  in der Dampfstrecke während des Stromdurchflusses dar.

Die Oszillogramme 12, 13 und 15 stellen bereits besprochene zusammengehörige Kurven nochmals dar, über der gleichen Zeitaxe aufgenommen. Aus Oszillogramm 14 ist der Verlauf der Anodenspannung zwischen den beiden Anoden  $A_1$  und  $A_4$  ersichtlich. Sie stellt die durch die

Drosselspulen bewirkte Umformung der Kurve  $e_v$  in Oszillogramm 2 dar. Oszillogramm 16 zeigt, entsprechend den Spannungen in Oszillogramm 13, die sich überlappenden Anodenströme, und Oszillogramm 17 den aus der Kathode fließenden Wellenstrom.

### Wettbewerb für eine Synagoge in Zürich.



I. Rang, Entwurf Nr. 55. — Architekt Gottfried Bachmann, Zürich.  
Ansicht von der Ecke Freigut- und Brandschenke-Strasse.

3. *Stromverhältnisse.* Die Wellenstromkurve als Superpositionskurve der einzelnen Anodenstromkurven pulsiert während einer Periode des Wechselstromes so manches Mal, als Anoden zur Gleichrichtung in Betrieb gesetzt werden. Die „Schwankung“ des Wellenstromes, das ist das

Verhältnis  $s = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{2 \cdot J_{\text{mittel}}}$  wird umso kleiner, je grösser die zur Gleichrichtung verwendete Phasenzahl. Bei einem bestimmten Versuche und Zwei-Anodenbetrieb war beispielsweise  $s_2 = 0,72$ , während unter gleichen Verhältnissen beim Drei-Anodenbetrieb  $s_3 = 0,45$  wurde.

Misst man die Anodenströme und den Kathodenstrom mit Drehspul-Instrumenten die Mittelwerte anzeigen, und sieht dabei von der Ueberlappung der einzelnen Stromimpulse ab (vergl. Oszillogramm 16), so misst beispielsweise beim *Zwei-Anodenbetrieb* das Instrument im Kreise der Kathode:

$$J_m = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i_A \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{T/2}^T i_A \cdot dt;$$

d. h.: Bezieht man ganz allgemein die Messungen auf Mittelwerte, so ist die Summe der Anodenströme allgemein gleich dem Kathodenstrom.

Misst man die Anodenströme und den Kathodenstrom mit Instrumenten, die Effektivwerte anzeigen, so gilt für gleichmässig über die Anoden verteilte Belastung beispielsweise beim *Drei-Anoden-Gleichrichter*:

$$J = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^{T/3} i_A^2 \cdot dt + \int_{T/3}^{2T/3} i_A^2 \cdot dt + \int_{2T/3}^T i_A^2 \cdot dt};$$

d. h. bei Anwendung von Strommessern, deren Ausschlag den Effektivwert angibt, ist beim *Drei-Phasen-Gleichrichter*

$$J = \frac{1}{T} \sqrt{3 J_A^2 \cdot T} = J_A \sqrt{3}.$$

Analog lässt sich zeigen, dass für den Einphasengleichrichter  $J = J_A \sqrt{2}$  und für den *Sechs-Phasen-Gleichrichter*  $J = J_A \sqrt{6}$  ist.