

Fortschritte im Bau von Hochleistungs- Kathodenstrahl-Oszillographen

Von der Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte
Dissertation.

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Heinz Thielen
aus Eschweiler.

Referent: Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. W. Rogowski

Korreferent: Professor Dr. phil. W. Grösser

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Juni 1939.

ISBN 978-3-662-27244-2 ISBN 978-3-662-28730-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-28730-9

Inhalts-Übersicht.

1. Über Nachbeschleunigung bei Braunschen Röhren.
2. Ein Entladungsrohr für hohe Leistungen und niedrige Erregerspannungen beim Kalkathoden-Oszillographen.
3. Der Kalkathodenstrahl-Oszillograph bei sehr niedrigen Erregerspannungen.
4. Ein empfindlicher Zweistrahl-Hochleistungs-Oszillograph mit getrennten Entladungsrohren für niedrige Erregerspannung.
5. Ein Mehrfachoszillograph hoher Schreibleistung nach dem Voranodenprinzip.

Über Nachbeschleunigung bei Braunschens Röhren.

Von

H. Thielen VDE*, Aachen.

(Eingegangen am 3. 4. 1939.)

DK 621.385.832

Übersicht. Es wird nachgewiesen, daß im Gegensatz zu den üblichen Anschauungen es vorkommen kann, daß mit wachsender Nachbeschleunigungsspannung die Empfindlichkeit der Braunschens Röhre zunimmt. In einem anderen Spannungsbereich der Nachbeschleunigung kann die Empfindlichkeit auf sehr kleine Werte und sogar auf Null herabgedrückt werden. Erst in einem weiteren Spannungsbereich (kleine Spannungen) erhält man das übliche Ergebnis, daß die Empfindlichkeit mit der Nachbeschleunigungsspannung abnimmt.

1. Ziel.

Bekanntlich nimmt die Empfindlichkeit einer Braunschens Röhre zu, wenn die Elektronengeschwindigkeit herabgesetzt wird. Aber dieser Vorteil wird nicht ohne Nachteil erkauft: Mit sinkender Elektronengeschwindigkeit läßt die Auftreffwirkung

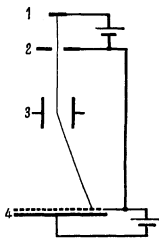


Bild 1. Anordnung mit Beschleunigungsgitter. 1 Kathode, 2 Anode, 3 Ablenkensystem, 4 Beschleunigungsgitter und Auffangschirm.

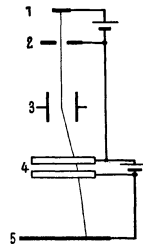


Bild 2. Beschleunigungsanordnung mit zylindrischen Elektroden. 1 Kathode, 2 Anode, 3 Ablenkensystem, 4 Beschleunigungslinse, 5 Auffangschirm.

der Elektronen (Helligkeit des Fluoreszenzflecks, Schwärzung der photographischen Platte) nach. Infolgedessen hat man sich veranlaßt gesehen, die Elektronen nach ihrer Ablenkung wieder zu beschleunigen (Nachbeschleunigung). Dies läßt sich dadurch erreichen, daß man vor die Auffangplatte eine netzförmige Elektrode bringt ¹⁾ (Bild 1). In diesem Falle ist ein Bild des Netzes auf der Auftreffplatte nicht ganz zu vermeiden. Bei einem anderen Weg, mit dem wir uns im folgenden ausschließlich befassen werden, ordnet man axialsymmetrisch ausgestaltete, zylindrische Beschleunigungselektroden an (Bild 2). Man muß ihnen schon, den merklichen Ablenkungen des Elektronenstrahls entsprechend, verhältnismäßig große Öffnung geben. Man erreicht aber den Vorteil, daß die siebartige Struktur des Netzes von vorhin nicht auf der Auffangplatte in Erscheinung tritt. Selbstverständlich geht durch diese Art der Nachbeschleunigung die Empfindlichkeit der Röhre wieder zurück und soweit wir sehen, ist bisher nur der Fall erörtert worden, daß dieser Rückgang um so stärker ausfällt, je höher die Beschleunigungsspannung gewählt wird.

* Dieser Teil der Dissertation entstand als Gemeinschaftsarbeit mit Herrn Prof. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. W. Rogowski.

¹⁾ O. Scheller, DRP. 349334 (1920). Eine experimentelle Prüfung des Schellerschen Vorschlages findet sich bei E. Sommerfeld, Arch. Elektrotechn. 20 (1928) S. 607 und bei H. Graupner, Arch. Elektrotechn. 28 (1934) S. 727. Vgl. auch hierzu: Brüche-Scherzer, Geometrische Elektronenoptik, S. 177, 190, 194. Berlin: J. Springer 1934. — Über eine letzte zusammenfassende Arbeit siehe E. Schwartz, Hausmitt. d. Fernseh-A.G. 1 (1938) H. 2, S. 19. Ausführliche Schrifttumzusammenstellung über Nachbeschleunigung bei A. Bigalke, Arch. techn. Messen J 834—24, Februar 1939.

Die vorliegende Mitteilung will nun zeigen, daß mit dieser Aussage die Wirkung der Nachbeschleunigung keineswegs erschöpft ist. Wir werden darlegen, daß durch Wachsen der Nachbeschleunigung die Empfindlichkeit nicht nur herabgemindert, sondern bei einem gewissen Wert der Spannung sogar auf Null reduziert wird. Beim Überschreiten dieser Spannungsgrenze nimmt mit weiter wachsender Beschleunigungsspannung die Empfindlichkeit überraschenderweise wieder zu. Dabei kehrt sich die Richtung der Ablenkung auf der Auftreffplatte um.

2. Allgemeine Grundlage.

Unsere Aussage begründet sich folgendermaßen: Ein dünner Elektronenstrahl (Einzelstrahl) wird durch ein Ablenkplattenpaar abgelenkt (Bild 3). Bekanntlich verläßt er dieses so, daß seine virtuelle Verlängerung in die Mitte des Ablenkfeldes M hereinfällt. Um den weiteren Verlauf eines so abgelenkten Strahles durch ein Nachbeschleunigungsfeld zu übersehen, denken wir uns ein von M ausgehendes kegelförmiges Vollbündel (Öffnungswinkel α). Unser Einzelstrahl (stark gezeichnet,

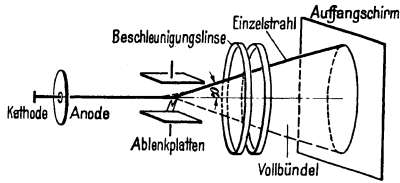


Bild 3.

läßt er dieses so, daß seine virtuelle Verlängerung in die Mitte des Ablenkfeldes M hereinfällt. Um den weiteren Verlauf eines so abgelenkten Strahles durch ein Nachbeschleunigungsfeld zu übersehen, denken wir uns ein von M ausgehendes kegelförmiges Vollbündel (Öffnungswinkel α). Unser Einzelstrahl (stark gezeichnet,

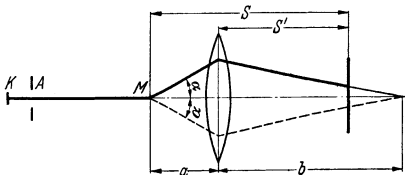


Bild 4 a.

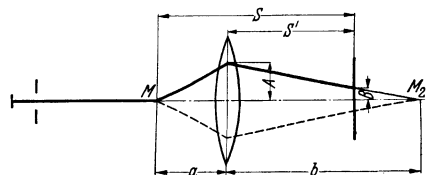


Bild 6.

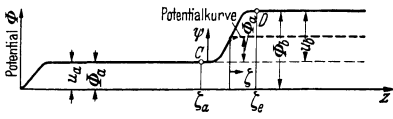


Bild 4 b.

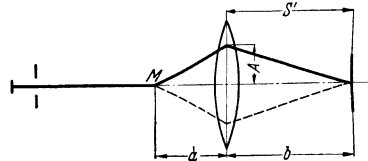


Bild 7.

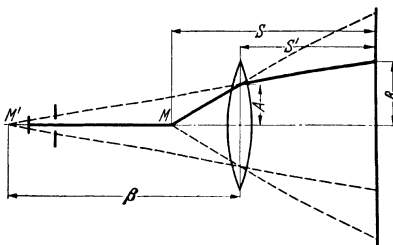


Bild 5.

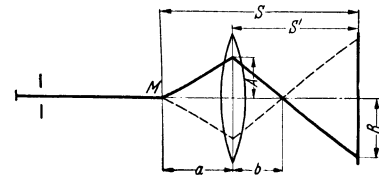


Bild 8.

Bild 3 bis 8. Zur Wirkung der Nachbeschleunigungslinse.

Bild 3) ist dann (auch bei etwaiger Änderung der Ablenkung) ein winziger Ausschnitt aus dem Vollbündel. Der Vorteil dieser Betrachtungsweise liegt darin, daß das Schicksal des Vollbündels, als eines auf der Achse der Röhre entspringenden Bündels, leicht zu übersehen ist. Und mit diesem gewinnen wir eine einfache Grundlage für die Beurteilung der Wirkung der Nachbeschleunigung auf unseren Einzelstrahl.

Ersetzen wir in erster Näherung das Nachbeschleunigungsfeld durch eine Linse mit der Brennweite f , so gilt bekanntlich (vgl. auch Abschnitt 5) bei den Bezeichnungen

von Bild 4a

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}. \quad (1)$$

Hierin ist (vgl. Bild 4b)

$$a' = a \sqrt{\frac{\Phi_b}{\Phi_a}} = a \sqrt{\frac{U_a + U_b}{U_a}}. \quad (2)$$

Mit Φ wollen wir die Veränderlichkeit des Potentials auf der Achse kennzeichnen. Für die Spannungswerte an den Elektroden verwenden wir den Buchstaben U .

U_a ist die Spannung der Kathode gegen Anode; $U_a + U_b$ die Spannung der Kathode gegen Beschleunigungselektrode.

Bleibt das Potential auf der Achse auf längere Strecke hinreichend konstant (Käfigwirkung), so muß der konstante Wert von Φ mit einem U -Wert übereinstimmen.

U_b ist die Spannung der Nachbeschleunigung (vgl. Bild 4b). Indem wir a durch die größere Länge a' ersetzen, haben wir der bekannten virtuellen Rückverlegung durch Beschleunigungslinsen (Immersionlinsen) Rechnung getragen. b ist der Abstand des Wiedervereinigungspunktes von der Mitte der Beschleunigungslinse.

3. Einzelfälle.

Wir haben folgende Fälle zu unterscheiden:

I. *Niedrige Beschleunigungsspannung.* f sehr groß. In diesem Falle wird

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}; \quad \frac{1}{b} = \frac{a' - f}{a' \cdot f} \quad \text{und} \quad f > a'. \quad (3)$$

Wir rechnen daher besser mit

$$\beta = -b = \frac{a' \cdot f}{f - a'}. \quad (4)$$

Nach dem Durchgang durch das Beschleunigungsfeld scheinen die Strahlen des Vollkegels von einem in Bild 5 links gelegenen Punkt M' herzukommen. Das gleiche gilt von unserem Einzelstrahl. Hier überblicken wir sehr anschaulich die Herabsetzung der Empfindlichkeit durch die Nachbeschleunigung. Man leitet leicht her, wenn A der Ausschlag unseres Einzelstrahls am Ort der Beschleunigungslinse, und B der gemessene Ausschlag auf den Fluoreszenzschirm ist:

$$B = A \left(\frac{S'}{\beta} + 1 \right) = A \left[\frac{S' (f - a')}{a' \cdot f} + 1 \right]. \quad (5)$$

Für $f = \infty$ ($\Phi_b = \Phi_a$; $U_b = 0$; $a' = a$) geht Gl. (5), wie es sein muß, über in:

$$B = A \cdot \frac{(S' + a)}{a}, \quad (6)$$

d. h. der Strahl fliegt gradlinig weiter fort. Im äußersten Falle fällt M' links in Bild 5 in das Unendliche. Dies geschieht, wenn $f = a'$ wird. Die Ausschläge B und A werden dann gleich groß. Wir haben alsdann eine erhebliche Herabminderung im Ausschlag auf dem Auffangschirm.

Das eben Dargelegte scheint uns den Bereich zu umfassen, an den man bisher bei Beurteilung der Nachbeschleunigung gedacht hat (Ersatz des Nachbeschleunigungsfeldes durch eine elektrische Doppelschicht).

II. *Mittlere Beschleunigungsspannung.* Wir steigern die Nachbeschleunigungsspannung weiter. Jetzt wird b positiv, und zwar gleich

$$b = \frac{a' \cdot f}{a' - f}. \quad (7)$$

Die Strahlen unseres Vollbündels vereinigen sich nunmehr in einem Punkt M_2 , rechts auf der Achse, der anfangs noch weit rechts vom Auffangschirm liegen möge (Bild 6). Wir sehen, daß der Auftreffpunkt unseres Einzelstrahls noch weiter als in Bild 5 an die Achse herangedrückt wird. Es setzt sich die Verkleinerung der Empfindlichkeit weiter fort. Wenn bei weiterem Wachsen der Beschleunigungsspannung f noch

weiter abnimmt, rückt der Vereinigungspunkt des Vollbündels sogar in den Achsenpunkt der Auftrefffläche hinein. Die Empfindlichkeit ist auf Null reduziert (Bild 7). Wir können in diesem Fall Wechselfspannungen an das Ablenkkfeld legen, der Auftreffpunkt auf dem Fluoreszenzschirm rührt sich hierdurch nicht von seiner Stelle. Er bleibt in Ruhe. In diesem ganzen Gebiet ist für den Ausschlag B zu setzen:

$$B = A \frac{(b - S')}{b}; \quad B = A \left[1 - \frac{S' \cdot (a' - f)}{a' \cdot f} \right]. \quad (8)$$

Wir erhalten den Grenzfall $B = 0$ mit

$$S'(a' - f) = a' f \quad \text{oder} \quad f = \frac{S' \cdot a'}{a' + S'}. \quad (9)$$

III. Hohe Beschleunigungsspannung. Wir steigern die Beschleunigungsspannung noch weiter und drücken die Brennweite f noch mehr herab. Dann erhalten wir Fälle nach Bild 8. Der Schnittpunkt des Vollbündels rückt nunmehr in den Bereich zwischen Beschleunigungslinse und Auftreffplatte. Es ergibt die Rechnung

$$B = A \left[\frac{S'(a' - f)}{a' \cdot f} - 1 \right], \quad (10)$$

oder wenn $A = \alpha a$ gesetzt wird

$$B = \alpha \cdot a \left[\frac{S'(a' - f)}{a' \cdot f} - 1 \right]. \quad (11)$$

Wir erhalten somit, wie ein Blick auf Bild 8 lehrt und wie sich auch durch Formel (11) begründen läßt, das überraschende Ergebnis, daß es Fälle gibt, bei denen die Empfindlichkeit mit der Beschleunigungsspannung zunimmt. Die Ablenkung kehrt dabei ihre Richtung gegen früher um. Könnten wir die Brennweiten beliebig verkleinern, so würden wir in diesem Gebiete hohe Empfindlichkeiten, unter Umständen sogar die anfängliche ($f = \infty$) oder eine höhere erzielen können. Es ließe sich dann ohne Einbuße an Empfindlichkeit der Vorteil der hohen Auftreffgeschwindigkeit voll ausnutzen.

4. Lage der Beschleunigungselektroden und Empfindlichkeitssteigerung.

Man wird im allgemeinen die Strecke $S' + a = S$ nicht über ein gewisses Maß, der Baulänge der Röhre wegen, steigern wollen. Dann erhebt sich die Frage, an welche Stelle man die Beschleunigungslinse setzen soll. Offensichtlich muß es für den Ausschlag B [vgl. Formel (11)] einen *günstigsten* Wert a geben. Um hierüber Klarheit zu erhalten, vernachlässigen wir in Gl. (11) f gegen a' , was bei hoher Nachbeschleunigung immer für eine erste Übersicht zulässig sein dürfte. Wir haben dann die einfache Formel

$$B = \alpha \cdot a \left[\frac{(S - a)}{f} - 1 \right] \quad (12)$$

zu diskutieren. Aus der Forderung für den Differentialquotienten $dB/da = 0$, folgt die Bedingung

$$a = \frac{S - f}{2}. \quad (13)$$

Es ergibt sich für diesen Bereich von Beschleunigungsspannungen

$$B_{\max} = \alpha \frac{(S - f)^2}{4f}. \quad (14)$$

Bedenkt man nun, daß αS der Ausschlag B_0 ohne Beschleunigungsspannung sein würde, so hat man:

$$\eta = \frac{B_{\max}}{\alpha \cdot S} = \frac{(S - f)^2}{4S \cdot f}. \quad (15)$$

Nun wird f auch als klein gegen S angesehen werden müssen, so daß sich angenähert für das Maximum des Empfindlichkeitsverhältnisses ergibt:

$$\eta \cong \frac{S}{4f}. \quad (16)$$

Für $f = S/4$ ergibt sich $\eta = 1$; wir haben alsdann keine Einbuße an Empfindlichkeit und können den Vorteil der Nachbeschleunigung uneingeschränkt ausnutzen.

5. Beschleunigungsspannung und Brechkraft.

Wir betrachten nochmals in Bild 4b die uns interessierende Anordnung und die zugehörigen Potentiale Φ gegen die Kathode. Bekanntlich ist für die Axialgeschwindigkeit:

$$v_z = \frac{dz}{dt} = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{m} \Phi},$$

ε Ladung, m Masse des Elektrons, Φ potentielle Energie der positiven Einheitsladung gegen Kathode. Für die Radialkraft ergibt sich ¹⁾

$$\mathfrak{R}_r = m \cdot \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{\varepsilon \cdot r}{2} \Phi'''. \quad (17)$$

Die Verquickung beider Gleichungen führt auf die bekannte Differentialgleichung

$$\sqrt{\Phi} \frac{d}{dz} \sqrt{\Phi} \frac{dr}{dz} = -\frac{r}{4} \Phi'''. \quad (18)$$

Aus dieser folgt:

$$\left(\frac{dr}{dz}\right)_e \sqrt{\Phi_e} - \left(\frac{dr}{dz}\right)_a \sqrt{\Phi_a} = -\frac{r}{4} \int_{\xi_a}^{\xi_e} \frac{\Phi''}{\sqrt{\Phi}} d\xi. \quad (19)$$

Die Indizes a und e beziehen sich auf Anfang und Ende der Beschleunigungslinse, etwa auf die Punkte C und D (Bild 4b). Die genaue Lage ist gleichgültig, wenn sie nur auf dem horizontalen Verlauf der Φ -Kurve liegen. Gleiches gilt für ξ_a und ξ_e . Mit den Werten

$$\left(\frac{dr}{dz}\right)_a = \frac{r}{a}; \quad \left(\frac{dr}{dz}\right)_e = -\frac{r}{b}$$

geht diese Gleichung bekanntlich über in

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}, \quad (20)$$

wo

$$a' = a \sqrt{\frac{\Phi_e}{\Phi_a}}; \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{4\sqrt{\Phi_e}} \int_{\xi_a}^{\xi_e} \frac{\Phi''}{\sqrt{\Phi}} d\xi = \frac{1}{8\sqrt{\Phi_e}} \int_{\xi_a}^{\xi_e} \frac{\Phi'^2}{\sqrt{\Phi^3}} d\xi. \quad (21)$$

Für uns ist die Frage von Wichtigkeit, wie wird sich die Brechkraft mit der Beschleunigungsspannung ändern? Um hierüber Klarheit zu gewinnen, führen wir als Normalbeschleunigungsspannung die Spannung U_a ein, so daß also die Elektronen, die bereits eine Spannung U_a durchlaufen haben, durch sie im ganzen auf die Spannung $2U_a$ gebracht werden (Bild 4). Die hierbei sich einstellende beschleunigende Potentialverteilung auf der Achse nennen wir ψ .

Es ist also $\psi_a = 0$, $\psi_e = U_a$. Allgemein setzen wir die Beschleunigungsspannung gleich $k \cdot U_a$. Der Faktor k mißt also den Beschleunigungsaufwand in Vielfachem der Spannung U_a . Alsdann ist Φ innerhalb der Beschleunigungslinse gegeben durch

$$\Phi = \Phi_a + k \cdot \psi; \quad \Phi' = k \cdot \psi'$$

und es ist

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{8} \frac{1}{\sqrt{\Phi_a + k \cdot \psi_e}} \int_{\xi_a}^{\xi_e} \frac{k^2 \cdot \psi'^2}{\sqrt{(\Phi_a + k \cdot \psi)^3}} d\xi. \quad (22)$$

¹⁾ Vgl. Brüche-Scherzer, Geometrische Elektronenoptik, 1934.

Ein Entladungsrohr für hohe Leistungen und niedrige Erregerspannungen beim Kaltkathodenszillographen.*)

Von H. Thielen, Aachen.

621. 317. 755. 004. 12

Übersicht. Ein Kaltkathoden-Entladungsrohr für niedrige Erregerspannung (von 2 bis 20 kV) wird beschrieben, das mit oder ohne Hilfsentladung bei Spannungen von 10 bis 15 kV die Grenzleistung des Kathodenstrahloszillographen erreicht, aber auch noch bei niedrigen Spannungen von nur 2,5 kV mit hoher Ablenkempfindlichkeit betrieben werden kann.

I. Ziel.

Ohne Zweifel hat sich der Glühkathodenszillograph für niedrige Frequenzen ein weites Gebiet erobert. Andererseits sind die hohen und höchsten Schreibleistungen bisher dem Kaltkathodenszillographen vorbehalten geblieben. Es ist daher von Vorteil, ein Rohr zu haben, das sowohl mit den niedrigen Spannungen des Glühkathodenszillographen und seiner hohen Ablenkempfindlichkeit als auch mit höheren Spannungen bis zur Grenzleistung des Kathodenszillographen betrieben werden kann. Je tiefer dabei die erforderlichen Spannungen liegen, desto besser. Einen Fortschritt in dieser Hinsicht stellt bereits das von Westermann¹⁾ beschriebene Rohr dar, der nach einem Vorschlag von Rogowski und Malsch²⁾ ein enges Entladungsrohr und höhere Drucke benutzte, um die erforderlichen Strahlströme zu erhalten.

Nun hat inzwischen Becker³⁾ bei einem abgeschmolzenen Glasoszillographen mit einheitlichem Vakuum mit Erfolg den ebenfalls von Rogowski und Malsch⁴⁾ angegebenen Kunstgriff der Hilfsentladung und deren Begünstigung durch Gegenkathode und Magnetfeld angewandt.

Dieses Verfahren bringt als Vorteil die Benutzung niedrigen Druckes und niedriger Spannung und erzielt trotzdem die erforderlichen hohen Strahlströme. Es lag nahe, diese Vorteile nicht nur beim abgeschmolzenen Rohr, sondern auch bei der an

*) D 82 (Teil).

¹⁾ E. Westermann, Arch. Elektrotechn. 30 (1936) S. 109. — v. Borries hat darauf hingewiesen [Z. VDI 80 (1936) S. 1137], daß der von Westermann beschriebene Metalloszillograph mit einer eisengepanzerten Spule nach Ruska und Knoll und mit einer Strahlsperrung nach Berger betrieben werde. Der Vollständigkeit wegen sei hinzugefügt, daß das Wesentliche an diesem Oszillographen in dem engen Entladungsrohr nach Rogowski und Malsch [Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 131], der Vereinigung von Vor- und Nachkonzentrierung nach Rogowski, Gröber, Flegler und Tamm [Arch. Elektrotechn. 15 (1925) S. 377; 18 (1927) S. 513] und der Strahlsperrung nach Rogowski, Flegler und Tamm [Arch. Elektrotechn. 18 (1927) S. 513] besteht.

²⁾ W. Rogowski u. F. Malsch, Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 131.

³⁾ F. A. Becker, Arch. Elektrotechn. 30 (1936) S. 791.

⁴⁾ F. A. Becker, Arch. Elektrotechn. 29 (1935) S. 873.

Pumpen liegenden Anordnung zu benutzen. Denn sie lassen voraussehen, daß man ein ruhiges Brennen der Entladung, eine höhere Sicherheit in bezug auf Durchschlag der Sperr-, Zeit- und Vorgangsplatten, eine geringere Zerstreung des Strahls selbst bei Verwendung nur einer Pumpe erhält, und daß man außerdem eine Herabsetzung der aufzuwendenden Leistung bei gleicher Schreibleistung erzielen kann.

Ich habe auf Vorschlag von Herrn Prof. Rogowski ein solches Entladungsrohr für die an Pumpen liegende Anordnung durchgebildet und erprobt. Die Erwartungen sind voll bestätigt worden. Überdies ergab sich, daß man ohne besondere Mühe den Kaltkathodenoszillographen noch bei 2,5 kV verwenden, also zu bereits recht tiefen Erregerspannungen und den entsprechenden Ablenkempfindlichkeiten vorstoßen konnte. Dies rechtfertigt, die gewonnenen Erfahrungen im folgenden mitzuteilen.

II. Aufbau des neuen Rohres.

Der eigentliche strahlerzeugende Entladungsraum (I) wurde grundsätzlich abgetrennt von dem Raum (II), in dem die Vorkonzentrierung des Strahles vorgenommen wird, um Einflüsse, die ein ruhiges Brennen behindern könnten, von vornherein zu beseitigen (Bild 1). Dies hat schon Dicks¹⁾ durch Einführung einer Voranode getan und dadurch einen günstigen Wirkungsgrad²⁾ und mithin eine Herabsetzung des Druckes erreicht. In dem zweiten Raum können der Hilfsentladungszyylinder, die Gegenkathoden und das Magnetfeld untergebracht werden. Bei der Wahl der Größe und Lage von Anode und Kathode wurde versucht, dem ebenen Fall, bei dem die Verhältnisse für stabile Entladungen am günstigsten liegen, nahezukommen. Es war zu befürchten, daß Magnetfelder in diesem Raum die freie Weglänge vergrößerten und Nebenentladungen begünstigten. Um dies zu vermeiden, wurde zur Abschirmung des Magnetfeldes der Vorkonzentrierungsspule die Voranode aus vakuumgeschmolzenem Eisen hergestellt. Doch sind auch mit unmagnetischem Werkstoff (Reinaluminium) als Voranode gute Ergebnisse erzielt worden.

Bei dem Entladungsrohr, wie es Bild 1 zeigt, strömt die Luft durch ein besonders durchgebildetes Ventil (1), das eine gleichmäßige Strömung gewährleistet, in einen Luftausgleichsraum (2). Der Raum ist durch mehrere übereinandergelegte und verschraubte Gummi- und Metallscheiben entstanden, so daß er neben seiner eigentlichen Aufgabe — nämlich einen gleichmäßigen Druck im Entladungsraum herzustellen — auch die sich bei hohen Stromdichten an der Kathode bildende Wärme vom Ventil abhält. Die Luft gelangt durch einen engen Kanal innerhalb des Kathodenbolzens (4) und durch vier kleine Bohrungen, deren Mittellinien parallel zu der Entladungsrohrachse liegen, in den eigentlichen Entladungsraum (I). Die Luftströmung in der Entladung verläuft also symmetrisch und gleichmäßig.

Von Bedeutung für einen guten Wirkungsgrad des Rohres ist die mechanische Zentrierung von Kathode (5), Voranode (8), Blende (11) und Sperrplattensystem. Die Zentrierung der Kathode gegenüber der Voranode wird dadurch erreicht, daß der Kathodenbolzen in ein kalibriertes Glasrohr (7) eingepaßt wird, das wiederum seinerseits in der Voranode zentriert ist. Eine genaue Zentrierung zwischen Voranode und Blende bzw. Sperrplatten und Ablenkensystem läßt sich ohne weiteres erreichen, da diese Teile als Metalldrehkörper ausgebildet werden. Die Aluminiumkathode (5) wird in der Weise ausgewechselt, daß zuerst der Flansch mit Ventil abgenommen und dann der Kathodenbolzen mittels Schlüssel herausgedreht wird. Zur genauen Einstellung des Abstandes Kathode—Voranode wird die Kathode bis zur Berührung mit der Voranode hineingedreht und dann der an einer Teilung ablesbare Abstand durch Herausdrehen eingestellt. Die Voranode selbst ist leicht auswechselbar mittels Ge-

¹⁾ H. Dicks, Arch. Elektrotechn. 28 (1934) S. 53.

²⁾ H. Dicks, wie Fußnote 1, und W. Schnabel, Arch. Elektrotechn. 30 (1936) S. 463.

winde angebracht, so daß, falls das kalibrierte Glasrohr ersetzt werden müßte, die bei der Lötung von Glas auf Messing sich bildenden Rückstände von Löt- und Flußmittel ohne weiteres entfernt werden können. Der Hilfszylinder (10) ist gegen die Wandungen des Hilfsentladungsraumes durch Specksteinringe (9) abgestützt, die Spannung wird von oben durch eine vakuumdichte Gummidurchführung zugeführt. Zur Fernhaltung von Quecksilber- und Öldämpfen aus dem Hauptentladungsraum sind die Wandungen des Hilfsentladungsraumes wassergekühlt, so daß Quecksilber- und Öldämpfe, die in dem großen Raum mit höherem Vakuum keine Beunruhigung hervorrufen können, hier kondensieren. Die Nützlichkeit einer solchen Kühlung ließ sich einwandfrei dadurch nachweisen, daß der Hilfszylinder und die Voranode aus Reinaluminium, das besonders empfindlich gegenüber Quecksilberdampf ist, hergestellt wurden. Brachte man diese Teile nach längerer Betriebsdauer in Berührung mit der Luft, so zeigte sich an der inneren unteren Hälfte des Hilfszylinders ein weißlicher Belag, dessen Dicke zur Mitte hin abnahm. Im oberen Teil des Hilfszylinders und an der Voranode fehlten diese Einwirkungen des Quecksilbers gänzlich. Die auswechselbare Blende (11) ist zur guten Wärmeableitung aus Kupfer hergestellt. Nur der innere Teil wird aus einem schwer schmelzbaren oder nicht gasenden Metall (Wolfram bzw. Nickel) ausgeführt, um zu vermeiden, daß von entstehenden Metaldämpfen in der Gasentladung Strahlen ausgehen, die zur Bildung eines Flecks (Abbild der Sperrkammerblende) auf der Photoplatte Anlaß geben. Sich etwa dennoch bildende Strahlen, die auch aus der Gasentladung selbst stammen können, werden durch Schrägstellung oder exzentrische Lage des Entladungsrohres samt dem Sperrplattensystem von der Platte ferngehalten werden können. Das Entladungsrohr wird entweder mit Fettschliff oder Messingflansch mit Gummidichtung auf den Oszillographenkörper aufgesetzt. Die waagerechte Übergangsfläche dient als Aufsatz für die Magnetspule mit breitem Luftspalt (12), mit der die Hilfsentladung begünstigt und der Strahl auf die Blende konzentriert und ausgerichtet wird. Die Spule wird durch Stellschrauben eingestellt.

Da bei niedrigen Erregerspannungen eine intensivere Begünstigung der Hilfsentladung durch das Magnetfeld erforderlich ist, wurde, um den Wickelraum nicht zu groß werden zu lassen, eine Spule mit Wasserkühlung vorgesehen. Die Spule ist mit dem Schliff oder Flansch starr verbunden, der Strahl wird durch in die Spule eingebaute Kreuzspulen ausgerichtet.

Um das störende Erdfeld abzuhalten, wird über das Entladungsrohr ein Eisenzylinder gesetzt mit einer Durchführung für die Spannung und einer Öffnung für das Ventil, so daß das Rohr gefahrlos eingestellt werden kann. — Das Rohr läßt sich also ohne Schwierigkeiten in seine Einzelteile zerlegen und leicht reinigen (s. Bild 2a, b und 5). Nach dem Zusammenbau erübrigt sich eine besondere Nachzentrierung.

III. Betriebserfahrungen mit dem neuen Rohr.

Die Grenzen für die Verwendbarkeit des Entladungsrohres bezüglich der Ströme und Spannungen sind bei konstanter Hilfsentladungsspannung gegeben durch den jeweiligen Abstand von Kathode und Voranode. Im allgemeinen wird man bestrebt sein, den Abstand möglichst gering zu wählen, um noch bei einem bestimmten Druck unter der freien Weglänge zu bleiben, so daß die Verluste, die als Glimmen am Kathodenspiegel in Erscheinung treten, vermieden werden. Der von Malsch¹⁾ angegebene Mindestabstand trifft für dieses Entladungsrohr nicht zu, da immer durch die Hilfsentladung bzw. durch die begünstigende Wirkung des Magnetfeldes auf den Hauptstrom bei abgeschalteter Hilfsspannungsquelle genügend Elektronen zur Verfügung stehen. Dieses Minimum des Abstandes wird, abgesehen von dem Einfluß

¹⁾ F. Malsch, Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 648.

des Werkstoffes der Voranode, nur begrenzt durch die Autoelektronenemission zwischen Kathode und Voranode. Der Strahlstrom kann entweder durch Verändern der Luftzufuhr oder der Hilfsentladungsspannung eingestellt werden. Es hat Vorteile, den Strahlstrom durch Veränderung der Hilfsentladungsspannung und eventuell auch durch Regulierung des Magnetfeldes einzustellen; denn dieses Verfahren gewährleistet ein leichtes, stetiges Verändern des Strahlstroms und eine Anpassung der Strahlleistung an die jeweiligen Erfordernisse, was zu einer beträchtlichen Erhöhung der Lebensdauer einer Kathode beiträgt. Je nach den Anforderungen, die im Betrieb an das Entladungsrohr gestellt werden, wird man also Spannung, Stromstärke und Abstand wählen können. Für die normalen Anforderungen wird man allerdings mit einem konstanten Abstand auskommen.

Das Entladungsrohr läßt sich ohne weiteres auch ohne Hilfsentladungsquelle als einfaches Entladungsrohr benutzen, wenn auch dadurch der Wirkungsgrad etwas herabgesetzt wird. Der Hilfszylinder ist dann zu erden. Im allgemeinen wird man aber die Hilfsentladungsquelle nicht entbehren wollen, da nämlich der Hilfsstrom aus einer einfachen Trockenanodenbatterie entnommen werden kann und daher keine besondere Gleichstromanlage notwendig ist. Folgende Versuchswerte beweisen die Nützlichkeit der Hilfsentladung und des diese begünstigenden Magnetfeldes:

		Druck $p = \text{konst.}$	
Hilfsspannung	Magnetfeld	Strahlstrom	Strahlspannung
0	0	0,5 mA	16 kV
200 V	3000 AW	4,5 mA	8 kV

Beim Anbrennen einer neuen Kathode zeigen sich die von Westermann¹⁾ erwähnten Erscheinungen. Das elektronenoptische Bild zeigt nach etwa 30 min einen intensiven, engbegrenzten Fleck, der übrige Teil der Kathodenfläche emittiert keine Elektronen mehr. Nach 5 h bildet sich innerhalb des hellen Flecks ein noch hellerer, der sich durch einen engen, dunklen Ring von dem äußeren Fleck abhebt. Nach etwa 10 h Brenndauer entsteht ein weiterer Absatz mit den gleichen Eigenschaften. Dadurch, daß es möglich ist, die dunklen Ringe durch Abbilden der Blende auszublenzen, wird die Schrift immer feiner. Ein Auswechseln der Kathode bietet keine Schwierigkeiten, da das Vakuum durch Umwegpumpen in einigen Minuten wiederhergestellt werden kann.

Trotz des kleinen Ansatzpunktes am Kratergrund erhält man genügend Elektronen für eine intensive Entladung und damit eine Erhöhung der Betriebsstunden-dauer einer Kathode. Dies liegt in der Art der Ausbildung des Kraters begründet, der bei niedrigen Spannungen aus einer Reihe von genau zentrisch verlaufenden, zylindrischen Bohrungen besteht. Nach der Oberflächenstruktur der Bohrungen ist darauf zu schließen, daß die Wände auch Elektronen aussenden, die sämtlich zur Kraterachse konzentriert werden (Bild 4b). Die Beobachtung der Entladung selbst zeigte, daß aus diesen Bohrungen ein feiner fadenförmiger Strahl herauskommt. Es handelt sich also ohne Zweifel um eine ähnliche Entladungsform wie sie Krug²⁾ durch künstlich hergestellte Bohrungen, allerdings größeren Durchmessers, erhielt, die sich hier aber im Verlauf des Einbrennens von selbst bilden. Irgendwelche Exzentrizitäten zwischen Bohrung und Anode sind ausgeschlossen, da sich nämlich die Bohrung je nach der Lage der Voranode richtet. Diese Tatsache läßt sich auch zur Erzeugung von Mehrfachkathodenstrahlen ausnutzen³⁾. Bei höheren Spannungen (> 12 kV) sind wegen der Autoelektronenemission Abstände erforderlich, die die Einwirkung der Voranode auf die Gestalt des Kraters gering machen. Daher verschwinden bei solchen Spannun-

¹⁾ E. Westermann, a. a. O.

²⁾ W. Krug, Arch. Elektrotechn. 30 (1936) S. 157.

³⁾ Boekels u. Dicks, Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 134.

gen auch die einzelnen Absätze, und der Krater nimmt die Form eines spitzen Kegels an (Bild 4a). Der geringe Durchmesser des Ansatzpunktes und der Bohrungen auch bei höheren Strömen ist wahrscheinlich außer der Voranodenwirkung auch auf das doppelte Vakuum zwischen Entladungsraum I und II zurückzuführen. Das höhere Vakuum im Hilfsentladungsraum bewirkt außerdem, daß eine Zerstreung des Strahles durch Zusammenstöße mit Molekeln auf ein Minimum beschränkt wird. Die Hilfsentladungsspannung und die Raumladung wirken konzentrierend auf den Strahl, so daß durch die untere Blende ein schlanker Strahl hoher Kernstromdichte hindurchgeht. Der Wirkungsgrad der Entladung ist aus diesen Gründen ziemlich hoch (17–22%).

IV. Die Leistungsfähigkeit des neuen Rohres.

Mit dem vorher beschriebenen Rohr wurden einige Aufnahmen charakteristischer Schwingungen gemacht. Mit diesen Aufnahmen sollte die Betriebssicherheit und die Leistungsfähigkeit des neuen Rohres in bezug auf Intensität und Strichfeinheit des Strahles nachgewiesen werden, auf die kopplungsfreie Aufzeichnung der Vorgänge, die lediglich eine Sache der Durchbildung von Sperr- und Ablenkammer und der Schaltanordnung ist, wurde geringer Wert gelegt (vgl. Bild 7). Die Aufnahmen sind durch ein maliges Überschreiben der lichtempfindlichen Schicht erhalten worden. Es wurden Agfa-Isoschro- und Isopan-Filme ohne jede Vorbehandlung benutzt.

Bild 5 zeigt die Schwingung eines 500-m-Senders, Bild 6 den Spannungsverlauf am Ende einer 50 m langen Wanderwellenleitung. Die mit diesen Aufnahmen erreichte Schreibleistung dürfte für alle praktisch vorkommenden Aufgaben vollkommen ausreichend sein. Bemerkenswert an diesen Aufnahmen ist die Tatsache, daß trotz der großen Schreibgeschwindigkeit nur geringe Strahlströme und Leistungen notwendig sind. So wurde die Wanderwellenaufnahme bei nur 12 W einwandfrei geschrieben. Es ist mithin auch nur eine Hochspannungsanlage geringer Leistung notwendig, was für die Vereinfachung des Oszillographen wichtig ist. Außerdem wird durch die geringen Strahlströme eine zweite Forderung für ein leistungsfähiges Kalkkathodenrohr erfüllt, nämlich eine Erhöhung der Lebensdauer der Kathode. So konnte die Brennstundenzahl einer Kathode, verglichen mit den Kathoden in einem Rohr mit hohem Druck, um ein Mehrfaches heraufgesetzt werden. Nach 40stündigem Betrieb mit Strahlströmen von 0,5 bis 4,0 mA ließ sich noch eine Schwingung von $0,5 \cdot 10^7$ Hz mit 9 W Rohrleistung einwandfrei aufnehmen. Wie nun aber Bild 7 zeigt, gibt das Entladungsrohr auch die Intensität für die Aufzeichnung des äußerst schnellen Vorganges eines elektrischen Stoßdurchschlages her. Es handelt sich dabei bekanntlich um die schnellsten Vorgänge, die überhaupt in der Technik aufzunehmen sind.

Eine Schriftprobe bei höherer Ablenkempfindlichkeit gibt Bild 8. Die Schwingung einer 500-Hz-Maschine ist, wie das Oszillogramm zeigt, bei der niedrigen Spannung von 2,8 kV scharf und ohne Schwierigkeit geschrieben, was einer Ablenkempfindlichkeit beim Oszillographen der Aachener Bauart von rd. 2 mm/V entspricht.

Die gesamten Aufnahmen von 14 bis 2,8 kV wurden mit ein und demselben Entladungsrohr aufgenommen. Lediglich wurde bei den verschiedenen Spannungen der Abstand Kathode—Voranode entsprechend gewählt. Bei passender Ausbildung des Rohres¹⁾ für niedrige Spannungen lassen sich wahrscheinlich einwandfreie Aufnahmen bei noch merklich tieferen Spannungen machen. Die entsprechenden Versuche sind bereits im Gange.

Herr Professor Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Rogowski hat die Anregung zu dieser Arbeit gegeben. Für seine vielseitigen Ratschläge und seine stets bereitwillige Unterstützung möchte ich ihm auch an dieser Stelle aufrichtig danken.

¹⁾ Das hier beschriebene Entladungsrohr wird von der Hochspannungs-Gesellschaft in Köln-Zollstock auf den Markt gebracht.

Zusammenfassung.

Mittels eines engen Entladungsrohres mit Hilfsentladung und Vorkonzentrierungsspule gelingt es, mit einem Kalkathodenszillographen bei einer Spannung von 14 kV die Grenzleistung des Kathodenszillographen zu erreichen. Dasselbe Entladungsrohr vermag bei einer Spannung von 2,8 kV mit der hohen Empfindlichkeit von 2 mm/V Vorgänge von 500 Hz und schneller ohne Schwierigkeit aufzunehmen. Dabei ist die für die Aufnahmen notwendige Strahlleistung infolge des guten Wirkungsgrades des Rohres relativ niedrig. Als zusätzlicher Vorteil für eine schnelle Anpassung der Strahlleistung an die jeweiligen Erfordernisse kommt hinzu, daß sich durch Verändern der Hilfsentladungsspannung jede beliebige Strahlstromstärke mühelos einstellen läßt. Die erforderlichen Vakua werden mit einer einzigen Pumpe hergestellt.

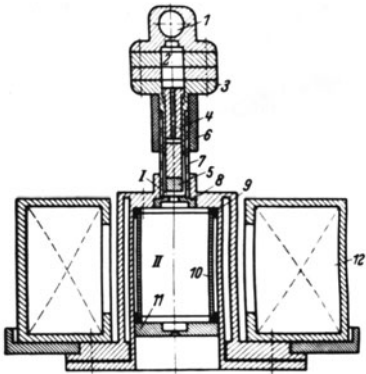
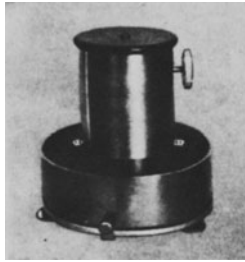
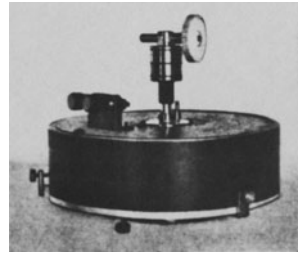


Bild 1. Vertikalschnitt durch das Entladungsrohr (schematisch). 1 Luft-einlaßventil, 2 Luftausgleichsraum, 3 Kathodenträger, 4 Kathodenbolzen, 5 auswechselbarer Kathodentift, 6 Gummidichtung, 7 Glasisolator, 8 Voranode, 9 Specksteinringe, 10 Hilfsentladungszylinder, 11 Hauptblende, 12 Vorkonzentrierungsspule.



a



b

Bild 2a und b. Entladungsrohr mit und ohne Schutzkappe.

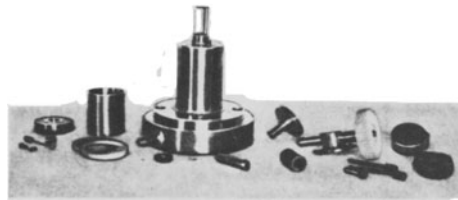


Bild 3. Einzelteile des Entladungsrohres.

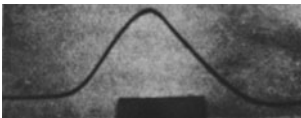
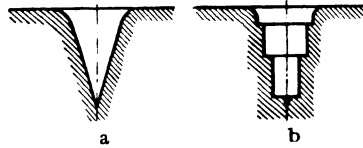


Bild 8.

Schwingung einer 500 Hz-Maschine, Erregerspannung 2,8 kV, Strahlstrom 2,5 mA.



a

b

Bild 4a und b. Querschnitt des Kraters in der Kathode.

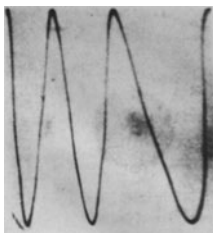


Bild 5.

Bild 5. Schwingung eines Röhrensenders. Frequenz 10^6 Hz, Erregerspannung 9,5 kV, notwendige Leistung 7 W.

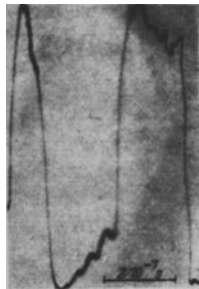


Bild 6.

Bild 6. Spannungsverlauf am offenen Ende einer 30 m langen Freileitung, Erregerspannung 12 kV, Strahlleistung 12 W.



Bild 7.

Bild 7. Durchbruch einer Funkenstrecke bei Stoßspannung, Erregerspannung 14 kV, Rohrleistung 35 W.

Der Kaltkathodenstrahl-Oszillograph bei sehr niedrigen Erregerspannungen*.

Von

H. Thielen VDE, Aachen.

(Mitteilung aus dem Elektrotechnischen Institut I der T. H. Aachen.)

(Eingegangen am 13. 2. 1939.)

DK 621. 317. 755

Übersicht. Es wird ein Entladungsrohr beschrieben, mit dem es gelingt, bei Kaltkathodenstrahl-Oszillographen hohe Schreibleistungen bei recht niedrigen Spannungen zu erzielen. Noch bei 1000 V Strahlspannung und sogar darunter kann ein gut zu konzentrierender Schreibstrahl hoher Kernstromdichte erhalten werden.

Ziel.

Die Schwärzung einer lichtempfindlichen Schicht bzw. die Anregung eines Leuchtstoffes durch Elektronenstrahlen wird um so geringer sein, je niedriger die Geschwindigkeit der Elektronen ist. In der Kathodenstrahloszillographie sind aber niedrige Elektronengeschwindigkeiten aus mancherlei Gründen erwünscht. Man kann sich nun so helfen, daß man den Verlust an Schwärzung bzw. Anregung durch die niedrige Elektronengeschwindigkeit mittels einer erhöhten auftreffenden Ladungsdichte ausgleicht. Eine solche Erhöhung der Ladungsdichte bedingt eine Steigerung des Strahlstroms, die mit den verschiedensten Mitteln versucht werden kann.

Einen ersten Weg beschreibt Westermann¹⁾, der den Kunstgriff eines engen Entladungsrohres mit hohem Druck²⁾ verwendet. Doch wird bei Spannungen unterhalb 4 kV der notwendige Druck so hoch, daß ein einwandfreier, feiner Schreibstrahl und ein ausreichender Schirmstrom nur schwierig zu erhalten sind. Das Entladungsrohr mit Hilfsentladung³⁾ liefert noch bei 2,5 kV einen guten Strahlansatz, da der Druck wegen der begünstigenden Wirkung der durch Gegenkathoden und Magnetfeld verstärkten Hilfsentladung praktisch um eine Größenordnung niedriger gehalten werden kann, und es würde sogar möglich sein, bei passender Bemessung der Entladungsräume noch zu tieferen Spannungen vorzustoßen. Doch scheint es aus Gründen eines guten Wirkungsgrades zweckmäßiger, diese weitere Herabsetzung der Strahlspannung durch Anwendung eines von Rogowski⁴⁾ aufgezeigten Weges durchzuführen. Die Elektronen werden mit höherer Spannung aus der Kathode gesaugt und durch eine Gegelektrode abgebremst. Durch Verwendung dieses Kunstgriffes gelingt es⁵⁾, schon bei normalen Entladungsrohren Schreibstrahlen bis zu rd. 1,5 kV herzustellen. Es ist also vorauszusehen, daß bei Verwendung eines Entladungsrohres mit verstärkter Hilfsentladung selbst bei sehr niedrigen Spannungen noch gute Ergebnisse erzielt werden können. Die gewählte Anordnung ist dabei so ausgeführt, daß ein Entladungsrohr mit kleinen Abmessungen ohne weiteres brauchbar für einen Oszillographen der Aachener Bauart⁶⁾ entsteht.

Auf die Ausnutzung des Gegenfeldes zur Konzentrierung wird dabei verzichtet, vielmehr werden die Elektronen an einer Linse mit großer Brennweite wieder abgebremst. Diese neue Bauart hat sich bewährt, und es ergab sich außerdem, daß nicht nur

* Teil der von der Technischen Hochschule Aachen genehmigten Dissertation des Verfassers (D 82).

¹⁾ E. Westermann, Arch. Elektrotechn. 30 (1936) S. 109.

²⁾ W. Rogowski u. F. Malsch, Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 131.

³⁾ H. Thielen, Arch. Elektrotechn. 32 (1938) S. 38.

⁴⁾ W. Rogowski, Elektrotechn. u. Masch.-Bau 51 (1933) S. 250.

⁵⁾ F. Malsch u. E. Westermann, Arch. Elektrotechn. 28 (1934) S. 63.

⁶⁾ St. Buchkremer, ETZ 59 (1938) S. 1035.

Schreibstrahlen hoher Kernstromdichte bis zu 1000 V und noch darunter (500 V) zu erhalten sind, sondern daß bei recht niedrigen Spannungen hohe Schreibleistungen erzielt werden können. Es scheint daher gerechtfertigt, hierüber zu berichten. Da besonders für die niedrigen Erregerspannungen die Beschaffenheit des Filmmaterials von besonderer Bedeutung ist, werden im Anschluß noch einige Erfahrungen mit neuen Spezialfilmen mitgeteilt.

Der Aufbau des Rohres und seine Leistungsfähigkeit.

Bild 1 zeigt einen schematischen Vertikalschnitt durch das Entladungsrohr. Aus der Beschriftung ist auch der nähere Aufbau zu ersehen. Aus Gründen eines

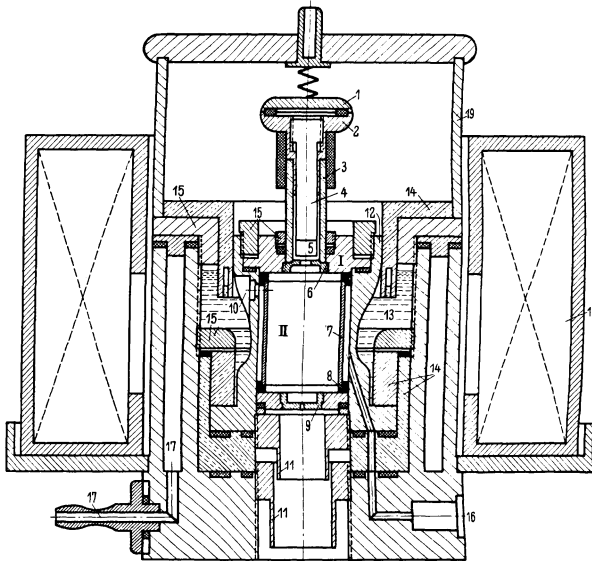


Bild 1. Schematischer Vertikalschnitt durch das Entladungsrohr. 1 Abschlußflansch, 2 Kathodenträger, 3 Isolator, 4 Kathodenbolzen, 5 auswechselbare Kathode, 6 Voranode, 7 Hilfsentladungszylinder, 8 Abstützringe, 9 Blende, 10 Hilfsentladungsdurchführung, 11 Verzögerungslinse, 12 Anodenzylinder, 13 Öl zur Isolierung und Wärmeableitung, 14 Isolierteile, 15 Druckmutter, 16 Öffnung für das Lufteinlaßventil, 17 Kanäle für die Wasserkühlung, 18 Vorkonzentrierungsspule, 19 Schutzkappe.

robusten und betriebssicheren Aufbaus wurden Kitt- und Lötstellen vermieden und Schraubverbindungen mit Gummidichtungen gewählt (Bild 2 und 3). Die Teile sind aus quecksilberbeständigem Duraluminium hergestellt. Der Anodenzylinder (12) liegt auf positivem Potential, so daß die Elektronen mit einer um diesen Betrag höheren Geschwindigkeit den Hilfsentladungsraum (II) durchfliegen, wo wegen der höheren Geschwindigkeit eine wesentlich geringere Strahlerstreuung eintritt. Außerdem ist der notwendige Druck im Entladungsraum (I) gering, da eine hohe Saugspannung zur Verfügung steht. Die als Linse mit großer Brennweite durchgebildete Gegenelektrode zur Abbremsung liegt praktisch im Hochvakuum, so daß Durchschläge ausgeschlossen sind. Einige Schriftproben einmalig geschriebener Vorgänge zeigen die Bilder 4 und 5. Die Oszillogramme wurden als Innenaufnahmen auf Agfa-Isopan-Superspezialfilm erhalten. Bei Verwendung handelsüblicher Filme und Negativpapiere tritt unterhalb der in der Aufnahme von Bild 5 erreichten Spannung von 1,8 kV keine genügende Schwärzung mehr ein, während noch bei etwa 1000 V Restspannung der Kurvenzug bei einmaligem Überschreiben auf dem Leuchtschirm sehr



Bild 2. Gesamtansicht des Entladungsröhres ohne Schutzkappe und Konzentrierungsspule.



Bild 3. Einzelteile des Entladungsröhres.

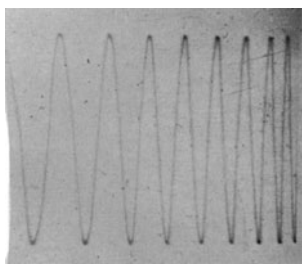


Bild 4. Schwingung eines Eichsenders 10^6 Hz. Das Oszillogramm ist einmalig überschrieben. Strahlspannung 5 kV.

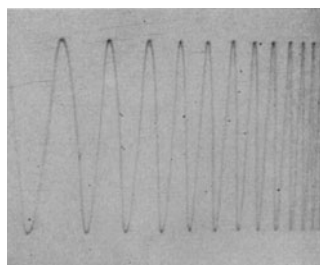


Bild 5. Schwingung 10^8 Hz. Einmalig überschrieben. Strahlspannung 1,8 kV.

gut zu beobachten ist¹⁾. Untersuchungen an Spezialfilmen, die zwar noch nicht abgeschlossen sind, haben nun in dieser Richtung einen guten Fortschritt gebracht. Die Art der Untersuchung und die Wirkungsweise eines Spezialfilms ist aus Bild 6 zu ersehen, wo im oberen Teil ein solcher Spezialfilm und im unteren Teil der Aufnahme ein normaler Film gleicher Lichtempfindlichkeit benutzt sind, die mit der gleichen Schwingung gleichzeitig überschrieben wurden. Der erhebliche Gewinn an Schwärzung steht außer Zweifel.

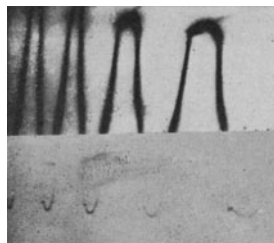


Bild 6. Filmuntersuchungen. Normalfilm (untere Hälfte) und Spezialfilm (obere Hälfte des Oszillogramms) gleichzeitig mit der gleichen Schwingung 500 Hz überschrieben.

¹⁾ Aber selbst diese Restspannung kann ohne wesentliche Verminderung der Bildhelligkeit noch weiter herabgesetzt werden (500 V), wenn für eine genügende Abschirmung des Erdfeldes, das eine Achsenverlagerung des Strahls in den Sperrkammern und mithin eine Intensitätsschwächung bewirkt, Sorge getragen wird. Bei der vorhandenen Apparatur ließ sich dies aber nur bis zu Strahlspannungen von etwa 1000 V einwandfrei durchführen.

Durch die Entwicklung leistungsfähiger Rohre und hochempfindlicher Filme für niedrige Elektronengeschwindigkeiten lassen sich beim Kalkkathodenoszillographen die Vorteile hoher Empfindlichkeit mit denen feinsten Schrift und hoher Schreibleistung wegen der jetzt möglichen Innenaufnahme verbinden.

Zusammenfassung.

Ein Entladungsrohr, das den Kunstgriff der Hilfsentladung und deren Begünstigung durch Gegenkathoden und Magnetfeld und den der Anwendung einer erhöhten Saugspannung mit nachheriger Abbremsung des Elektronenstrahls benutzt, wird beschrieben. An Hand von Oszillogrammen wird bewiesen, daß selbst bei sehr niedrigen Spannungen die Schreibleistungen noch beträchtlich sind.

Herrn Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Rogowski danke ich an dieser Stelle für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit. Herrn Dipl.-Ing. Pauly, der einen Teil der Filmuntersuchungen durchführte, spreche ich ebenfalls meinen Dank für seine Mitarbeit aus.

Ein empfindlicher Zweistrah-Hochleistungsoszillograph mit getrennten Entladungsrohren für niedrige Erregerspannung.

Von

H. Thielen VDE, Aachen.

(Mitteilung aus dem Elektrotechnischen Institut I der T. H. Aachen.)

(Eingegangen am 8. 11. 1938.)

DK 621. 317. 755

Übersicht. Ein Zweistrah-Oszillograph mit getrennten Entladungsrohren hoher Leistung bei niedriger Erregerspannung und gemeinsamem Sperr-, Ablenk- und Schreibgehäuse wird beschrieben und an Hand von Aufnahmen bewiesen, daß der Oszillograph bezüglich Beeinflussungsfreiheit der Strahlen und Ablenkensysteme gegeneinander und der Gleichheit der Phasenlage für die einzelnen Strahlen allen Anforderungen an ein technisch brauchbares Meßgerät gerecht wird. Dabei sind die räumlichen Abmessungen und der apparative Aufwand kaum größer als bei einer Einstrahlauführung gleicher Leistungsfähigkeit.

Ziel.

Für viele Untersuchungen mit dem Kathodenstrahloszillographen ist es wertvoll, ähnlich wie beim Schleifenoszillographen mehrere Schreibstrahlen zur Verfügung zu haben, um so selbst bei den schnellsten Vorgängen die zeitliche Lage verschiedener Größen zueinander auf der photographischen Platte festhalten zu können. Für den Bau solcher Mehrfachoszillographen besteht eine Reihe von Möglichkeiten. Als solche kommen hauptsächlich in Frage: die Ausführungsform aus getrennten Einzeloszillographen¹⁾, die mit gemeinsamem Vakuumgehäuse und getrennten Entladungsrohren²⁾ und diejenige mit gemeinsamem Vakuumgehäuse und gemeinsamer Kathode, bei der die Strahlen entweder nach dem Verfahren der Anodenausblendung³⁾, dem Voranodenverfahren⁴⁾ oder der Strahlteilung⁵⁾ erzeugt werden. Für eine technisch brauchbare Ausführungsform, gleich welcher Type, sind nun eine Reihe von Gesichtspunkten ausschlaggebend. Es sind dies vor allem: kleiner apparativer Aufwand, leichte Auswertbarkeit der Oszillogramme, Vermeidung gegenseitiger Beeinflussungen und fremder Störfelder. Eine wesentliche Verringerung des apparativen Aufwandes und der Abmessungen wird leicht durch Verwendung von Hochleistungs-Entladungsrohren mit niedriger Erregerspannung möglich sein, während die leichte Auswertbarkeit der Oszillogramme ein betriebssicheres Arbeiten der Entladungsrohre, eine zwangsläufig gleiche Druckeinstellung in den einzelnen Rohren durch eine Druckausgleichverbindung und die Aufnahme der Kurven auf eine gemeinsame Platte erforderlich macht. Gegenseitige Beeinflussungen können durch zweckmäßige Anordnung und Abschirmung der Ablenkensysteme und der Spannungszuführungen auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Für die Vermeidung fremder Störfelder kommen praktisch die gleichen Mittel in Frage, wie sie schon bei Einfachoszillographen in Verwendung sind⁶⁾.

Unter Berücksichtigung der vorhin erwähnten Gesichtspunkte ist ein Zweistrahloszillograph mit getrennten Entladungsrohren, gemeinsamem Vakuumgehäuse und gemeinsamem Leuchtschirm entwickelt worden, der den wesentlichen Anforderungen an solche Typen gerecht wird.

¹⁾ K. Berger, Bull. schweiz. elektrotechn. Ver. 22 (1931) S. 421.

²⁾ J. Kock, Phys. Z. 15 (1914) S. 840. — A. Dufour, Onde électr. 1 (1922) S. 638; 2 (1923) S. 19.

³⁾ M. Knoll, ETZ 53 (1932) S. 1101.

⁴⁾ Vorschlag von Rogowski; Näheres bei H. Boeckels u. H. Dicks, Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 134.

⁵⁾ K. Kasai u. I. Satoh, Arch. Elektrotechn. 31 (1937) S. 551.

⁶⁾ Vgl. hierzu: St. Buchkremer, ETZ 59 (1938) S. 1035.

Das Entladungsrohr.

Wie vorhin erwähnt, wird man zweckmäßigerweise bei Mehrfachoszillographen zur Beschränkung der räumlichen Anordnung Hochleistungsentladungsrohre für niedrige Erregerspannung verwenden. Ein solches Rohr, ein Entladungsrohr mit

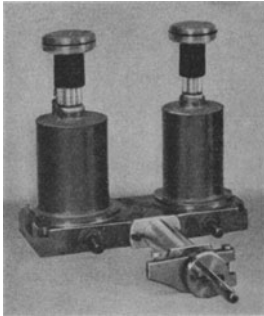


Bild 1. Entladungsrohr in Zweistrahlaustrittsführung.

der Strahlspannung eines Systems zur Folge haben könnte. Aus Gründen einer sicheren Auswertbarkeit, d. h. zur Erzielung einer wenigstens

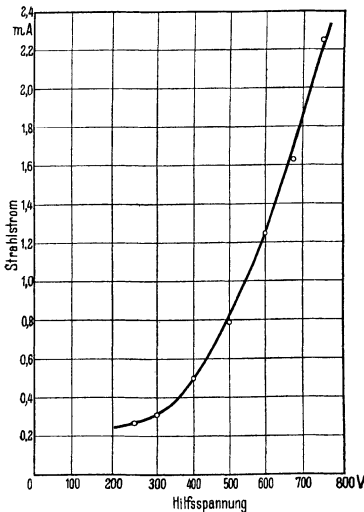


Bild 2. Wirkung der Hilfsspannung auf den Strahlstrom. Strahlspannung 10 kV.

Bemessung der Spannung und der Hilfssentladungskammer eine elektrostatische Vorkonzentrierung durchaus möglich ist. Doch wird hierüber näher an anderer Stelle berichtet werden. Bei Verwendung dieses Kunstgriffes können die Vorkonzentrierungsspulen wesentlich verkleinert werden, sie dienen hauptsächlich zur Strahleinstellung in axialer Richtung und zum geringen Teil zur Vorkonzentrierung. Da sich also, wie vorhin gezeigt,

Hilfsentladung, ist schon früher hier¹⁾ beschrieben worden. Zur Verwendung für den Mehrfachoszillographen wurde bei diesem Rohr der Luftereinlaß zum Kathodenbolzen zum Hilfsentladungsraum hin verlegt, da sich nämlich dann eine, wie weiter unten gezeigt wird, beim Mehrfachoszillographen notwendige Druckausgleichverbindung leicht anbringen läßt. Es hat sich aber weiter herausgestellt, daß auch für das Einstrahlrohr diese Verlegung des Luftereinlasses erhebliche Vorteile besonders bezüglich einer konstanten Luftzufuhr bringt. Trotzdem ist es unter Umständen dennoch möglich, daß besonders bei höheren Strahlströmen innerhalb einiger Stunden eine, wenn auch nur geringe Änderung des Druckes im Rohr eintritt, was bei der Einstrahlaustrittsführung an sich unwesentlich ist, was aber bei der Mehrfachausführung eine unkontrollierbare Änderung

des Systems und somit der Ablenkempfindlichkeit dieses Systems zur Folge haben könnte. Aus Gründen einer sicheren Auswertbarkeit, d. h. zur Erzielung einer wenigstens relativ gleichen Änderung der Empfindlichkeit bei solchen Druckschwankungen, müssen daher die Einzelrohre untereinander durch eine weite Druckausgleichverbindung verbunden sein, so daß sich Druckänderungen in beiden Rohren zwangsläufig gleich einstellen können. Bei dem Entladungsrohr mit Hilfsentladung ist dies insofern leicht möglich, als in dem weiten Hilfsentladungsraum Ausgleichbohrungen ohne Störung auf die Hauptentladung angebracht werden können. Sowohl aus Gründen einer erhöhten Betriebssicherheit als auch einer vereinfachten Bedienung wurde die Luft durch ein einziges Ventil beiden Rohren zugeführt. Bei dieser Anordnung (Bild 1) ist selbst nach langem Dauerbetrieb die Empfindlichkeit beider Strahlen immer noch die gleiche.

Aber noch einen anderen Vorteil bringt das Entladungsrohr mit Hilfsentladung. Zur Änderung des Strahlstromes selbst in weiten Grenzen braucht der Luftdruck nicht verändert zu werden, da zur StrahlstromEinstellung eine Regelung der Hilfsspannung ausreichend ist. Die Wirkung der Höhe der Hilfsspannung auf den Strahlstrom zeigt Bild 2. Weiterhin hat sich gezeigt, daß bei passender

¹⁾ H. Thielen, Arch. Elektrotechn. 32 (1938) S. 38.

der Strahlstrom durch die Höhe der Hilfsspannung einstellen läßt, können demnach durch Regelung der Hilfsspannung ohne Schwierigkeit und ohne zeitraubende Einstellung der Luftzufuhr Schreibstrahlen mit gleicher Empfindlichkeit bei verschiedener Schreibleistung leicht erzeugt werden. Beim vollständigen oder teilweisen Ineinander-schreiben ist eine solche Intensitätssteuerung sehr erwünscht, da nämlich die einzelnen Kurvenzüge bei verschiedener Helligkeit besser unterschieden werden können. Weiterhin besteht aber auch bei getrennten Entladungsrohren die Möglichkeit, diese aus verschiedenen Hochspannungsanlagen zu speisen, so daß Oszillogramme auch bei verschiedener Empfindlichkeit mit gleicher Schreibleistung geschrieben werden können. Aber selbst beim Betrieb der Rohre aus einer Hochspannungsanlage sind die Fehler, die durch etwa notwendige Strahlstromunterschiede zwischen den einzelnen Rohren bedingt sind, praktisch vernachlässigbar, da nämlich wegen der steigenden Kennlinie des Rohres mit Hilfsentladung die Vorwiderstände verhältnismäßig klein gewählt werden können. Außerdem gestattet die Verwendung dieses Strahlrohres, das auch bei der Mehrfachausführung in vielstündigem Betrieb seine große Betriebssicherheit bewies, ein weites Anwendungsgebiet, da nämlich dieses Rohr, wie schon früher bewiesen, bei 14 kV die Grenzleistung des Kathodenstrahloszillographen erreicht und noch bei rd. 3 kV mit großer Ablenkempfindlichkeit betrieben werden kann.

Der Aufbau des Sperr- und Ablenk-systems.

Bild 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch den Zweistrahloszillographen mit getrennten Entladungsrohren. Weniger wichtige Teile wurden dabei der Deutlichkeit halber weggelassen. Eine Gesamtansicht bringt Bild 4. Bei der Type mit getrennten Entladungsrohren hat man an sich den Verlauf der Strahlen durch geeignete Wahl der Lage der Einzelrohre gänzlich in der Hand. Man kann die Strahlen parallel führen; man erhält dann ohne sonstige Hilfsmittel auf dem Leuchtschirm mehrere Punkte in bestimmtem Abstände. Durch eine entsprechende Neigung der Einzelrohre lassen sich aber auch die Strahlen ohne zusätzliche Hilfsspannungen auf dem Leuchtschirm zu einem Punkt vereinen. Sogar ein divergenter Strahlengang wird mitunter von Vorteil sein, da in diesem Falle leicht eine einzige Sammellinse — allerdings eine solche ohne Bild-drehung — verwendet werden kann. Unter Berücksichtigung der Erfordernisse bezüglich Abschirmung und leichter Herstellbarkeit der Einzelsysteme schien die Anordnung mit parallelen Strahlen am zweckmäßigsten. Sie wurde daher für diesen Oszillographen gewählt. Aufgebaut ist er aus drei Teilen, dem Sperrkammergehäuse mit den Vorkonzentrierungsspulen, dem Ablenkgehäuse und dem Schreibgehäuse (Bild 5). Die Einzelteile werden verbunden durch Flansche mit Gumdichtungen, die durch Zentrierringe geführt sind. Denn nur so konnte eine ausreichende Betriebssicherheit besonders bezüglich der Vakuumdichtigkeit mit möglichst einfachen Mitteln erreicht werden. Zur Hauptkonzentrierung wurden für jeden Strahl getrennte magnetische Linsen gewählt, denn der damit verbundene größere Aufwand wird bei weitem durch den bedeutend größeren Spielraum im Betrieb des Oszillographen mit gänzlich verschiedenen Strahlspannungen ausgeglichen. Bei der Raumfrage sind die Abmessungen der Spulen wegen der niedrigen Strahlgeschwindigkeiten ohne Be-

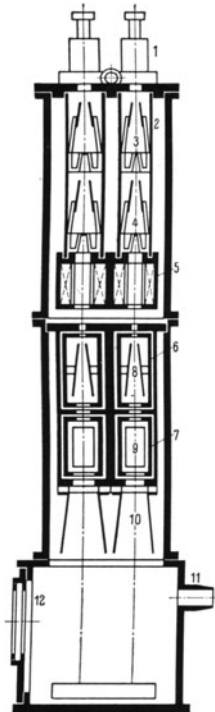


Bild 3. Zweistrahloszillograph. (Schnitt, schematisch.) 1 Entladungsrohr, 2 Sperrkammerführungsrohr, 3 u. 4 Sperrkammern, 5 Hauptsammelspule, 6 u. 7 Faradayscher Käfig, 8 u. 9 Ablenkplatten, 10 Koordinateneinstellplatten, 11 Pumpstützen, 12 Beobachtungsfenster.

deutung. Der Abstand zwischen den einzelnen Strahlen ist vielmehr durch den notwendigen Empfindlichkeitsbereich des Ablensystems und durch die Abschirmung der Systeme gegeneinander gegeben. Zur Vermeidung gegenseitiger Beeinflussungen wurden eisengekapselte Spulen benutzt. Im allgemeinen kann man von einer zusätzlichen getrennten Einstellung des Nullpunktes in der Zeitrichtung durch besondere Ablenkplatten oder Ablenkspulen selbst bei genauester mechanischer Herstellung und vollständiger Abschirmung der Störfelder nicht absehen. Dennoch wird es zweckmäßig sein, schon von vornherein die Verdrehungen der magnetischen Linsen rückgängig zu machen, da sonst bei jeder Strahlspannungsänderung eine Nachstellung der Nullpunktlage notwendig ist. Ein Verfahren, diese Verdrehung zu beseitigen, findet sich schon in einer Arbeit von Boeckels und Dicks¹⁾. Dort wird vorgeschlagen, den Magnetisierungsstrom durch entsprechend bemessene Vor- und Hauptkonzentrierungsspulen in entgegengesetztem Sinne zu führen, wodurch sich die Verdrehungen gegenseitig aufheben. Bringt man diese beiden Magnetfelder nun nahe zueinander, so erhält man eine Spule ohne Bilddrehung²⁾. Solche Spulen ohne Bilddrehung wird man zweckmäßigerweise zur Hauptkonzentrierung benutzen.

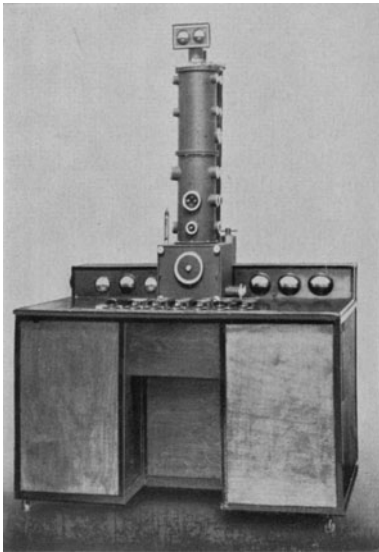


Bild 4.
Gesamtansicht des Zweistrahloszillographen.

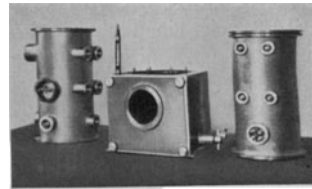


Bild 5. Einzelteile des Oszillographen.

Bei dem ausgeführten Zweistrahloszillographen beträgt das Abbildungsverhältnis: Gegenstandsweite zu Bildweite, bezogen auf die Hauptblende, 1:1,6, die Gesamtbaulänge 1,05 m. Selbst bei diesem Abbildungsverhältnis liegt die Schriftbreite noch unter 0,3 mm, da bei der Kaltkathode mit Voranode stets ein äußerst feiner Strahlansatz zur Verfügung steht und der Strahl durch Blenden weiter verfeinert werden kann. Für einen guten Wirkungsgrad des Rohres und einen gut konzentrierten Schreibfleck ist die mechanische Zentrierung von Kathode, Blende, Sperrplattensystem und Konzentrierungsspulen unerlässlich. Dies wird dadurch erreicht, daß in den Flansch, auf dem das Entladungsrohr befestigt ist, zentrisch zu den Strahlachsen Führungsrohre eingelassen sind (Bild 6). Diese Führungsrohre sind zur Abschirmung des Erdfeldes aus Eisen hergestellt, da sonst ohne Anwendung einer Erdschule der Strahl durch das Erdfeld aus der Oszillographenmitte gedrückt wird, was eine Intensitätsschwächung zur Folge hat. In diese Führungsrohre werden Hülsen mit vorgeschobener Sperrblende hineingeschoben, an denen auch die Sperrplatten angeschraubt sind.

¹⁾ H. Boeckels u. H. Dicks, wie Fußnote 4 auf S. 189.

²⁾ Vgl. hierzu: Stabenow, Z. Phys. 96 (1935) S. 643. Der Gedanke der Beseitigung der Bilddrehung in dieser Arbeit ist somit nicht neu.

Der Oszillograph ist mit einer doppelten Strahlsperrung ausgerüstet. Die Konzentrierungsspulen werden durch zylindrische Führungsflächen in den Führungsrohren zentriert gehalten.

Die Ablensysteme sind freistehend aufgebaut (Bild 7) und gegeneinander durch eine metallische Trennwand abgeschirmt. Für die Zeitablenkung werden für jedes System getrennte Ablenkcondensatoren verwandt. Es ist nützlich, schon von vornherein ohne Nachstellung eine möglichst genaue Übereinstimmung der Ablenkempfindlichkeit für beide Strahlen zu erhalten. Zu diesem Zwecke werden die Ablenkplatten, die mit Führungsschlitten versehen sind, in kurze, sorgfältig ausgerichtete Führungsschienen eingeschoben. Diese Schienen sind in Metallkäfige isoliert eingebracht, die ihrerseits wiederum in einem Traggestell isoliert befestigt werden. Durch diese Anbringungsart der Ablenkplatten und durch geeignete Vorbehandlung der Isolier- und Abstützteile im Vakuum ist es ohne Nachstellung möglich, eine gleiche Empfindlichkeit für beide Systeme zu erreichen. Hierdurch erübrigt sich ebenfalls eine Nachstellungsmöglichkeit für ein Plattenpaar von außen oder die Anwendung einer fehlerbehafteten Potentiometerschaltung. Elektrisch gesehen, haben die Käfige

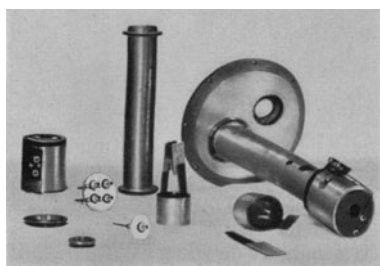


Bild 6. Einzelteile der Sperrkammern.

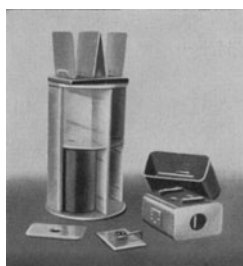


Bild 7. Aufbau der Ablensysteme.

folgende Aufgabe: Bei unsymmetrischer Potentialverteilung im Ablenkkfeld tritt leicht, wie Deserno¹⁾ zeigte, eine Störung der Proportionalität zwischen Ausschlag und Ablenkspannung wegen etwa auftretender Beschleunigungen oder Verzögerungen im Ablenkkfeld ein. Außerdem ergibt sich noch der weitere Nachteil eines unscharfen Brennflecks. Nach einem Vorschlag von Rogowski wurde zur Vermeidung dieses Nachteils das Ablenkplattenpaar durch einen metallischen Käfig abgeschirmt, der auf ein gewisses Potential gebracht werden konnte²⁾. Dieser Kunstgriff wurde bei dem Zweistrahloszillographen in die Praxis umgesetzt³⁾.

Durch die Trennung von Plattenhalterung und Spannungszuführung wird eine kleine Durchführungskapazität erzielt. Die kapazitätsarmen Durchführungen sind unmittelbar seitlich senkrecht zu den Ablenkplatten angebracht. Außerdem erübrigt sich durch diese Anordnung eine große, um den Oszillographen führende Schleife der Anschlußverbindungen, und die bei Mehrfachoszillographen leicht vorhandenen Teilkapazitäten zwischen den Ablensystemen werden auf ein Mindestmaß herab-

¹⁾ Deserno, Arch. Elektrotechn. 29 (1935) S. 139.

²⁾ H. Pieplow u. E. Steudel befassen sich im Arch. Elektrotechn. 32 (1938) S. 627 mit dem Symmetrierungsproblem bei Braunschen Röhren. Den Verfassern scheint die vorhin angegebene Anordnung zur Aufhebung von Verzerrungen bei unsymmetrischer Ablenkspannung entgangen zu sein.

³⁾ Bei negativem oder positivem Potential des Käfigs gegenüber der Anode zeigt sich eine mit der Vorspannung steigende bzw. fallende Ablenkempfindlichkeit. Für Mehrstrahl-oszillographen bringt dieser Kunstgriff die Möglichkeit, eine Abgleichung der Ablensysteme bei jeder beliebigen Strahlspannung für die gleiche Ablenkspannung durchzuführen. Über Versuche hierüber und die weitere Anwendung dieses Kunstgriffes wird in anderem Zusammenhang berichtet werden.

gesetzt. Der Koordinateneinstellung und Fleckverlagerung gegeneinander in der Ablenkrichtung des Vorganges dienen zur Erzielung eines homogenen Feldes breite Ablenkplatten, die von einer symmetrisch aufgebauten Hochspannungsanlage gespeist werden. Zur zusätzlichen Einstellung des Nullpunkts in der Zeitrichtung für beide Strahlen wird die Kasette mechanisch von außen mittels Spindel und Zahnradübersetzung verschoben, wodurch Verzerrungen in der Aufzeichnung trotz beschränkter Baugröße der Schreibkammer vermieden werden. Die Kasette wird von vorne durch den abnehmbaren Deckel mit Gummidichtung eingesetzt.

Der Oszillograph läßt sich daher ohne Schwierigkeit mit wenigen Handgriffen in seine Einzelteile zerlegen, innere Konstruktionsteile lassen sich leicht auswechseln, ein Zusammenbau geht ebenso schnell vonstatten. Der Oszillograph ist als netzanschlußfertiges verfahrenbares Gerät gebaut. In dem Schaltpult sind sämtliche Spannungsquellen, Pumpen und sonstige Hilfsgeräte untergebracht; sie werden von einer übersichtlichen Schalttafel auf dem Oszillographenpult aus betätigt, die Meßinstrumente sind in die Rückwand eingebaut. Durch die passende Einfügung der Ablensysteme und der Schaltgeräte sind die Abmessungen des Apparates nicht wesentlich größer als bei einer Einstrahlausführung gleicher Leistungsfähigkeit.

Die Leistungsfähigkeit des neuen Oszillographen.

Bei den Aufnahmen braucht kein umfassender Beweis für die Leistungsfähigkeit des Strahlrohres erbracht zu werden. Dies ist schon an anderer Stelle für das Einstrahlrohr geschehen. Die gezeigten Aufnahmen sind keine zufällig erreichten Spitzenleistungen, vielmehr wurde der betreffende Vorgang mehrmals aufgenommen und das hier gezeigte Oszillogramm als Durchschnittsaufnahme herausgenommen. Bei sämtlichen Aufnahmen war kein einziger Versager zu verzeichnen. Die Oszillogramme sollen den Nachweis für eine verzerrungsfreie Schrift, die Freiheit von gegenseitigen Beeinflussungen der Strahlen und der Ablensysteme und für die Übereinstimmung der Phasenlage und des Nullpunktes erbringen. Sämtliche Oszillogramme sind einmalig überschrieben worden. Bild 8 zeigt eine Schwingung von 10^7 Hz bei einer Rohrleistung von etwa 18 W mit Strahl I aufgenommen, die Zeitlinie ist mit der gleichen Zeitgeschwindigkeit mit Strahl II geschrieben. Das Oszillogramm beweist einwandfrei, daß selbst bei sehr hohen Frequenzen störende Beeinflussungen nicht auftreten. Was die Übereinstimmung des Nullpunkts und der Ablenkempfindlichkeit, d. h. weiterhin der Phasenlage anbetrifft, so bringen die Oszillogramme in Bild 9 und 10 hierfür einen ausreichenden Beweis. Hierbei wird auch gezeigt, daß durch eine Nullpunktsverlagerung in Richtung der Vorgangachse die beiden Kurvenzüge beliebig zueinander geschrieben werden können, ohne daß dabei Verzerrungen auftreten. Gerade bei teilweise ineinandergeschriebenen Oszillogrammen ist ein leichter Vergleich der Phasenlage möglich. In dem Oszillogramm in Bild 11 wurden die Spannungen an einem Widerstand bzw. einem Kondensator in einem Schwingkreis bei einer Frequenz von 10^5 Hz gemessen (Schaltbild 12). Aus der Phasenverschiebung zwischen den beiden Spannungen läßt sich bei bekanntem Widerstand die Kapazität bestimmen. Soweit sich übersehen läßt, eignet sich dieses Verfahren zur Messung

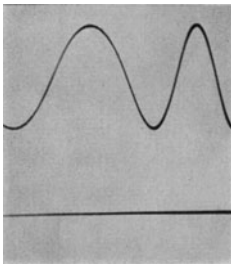


Bild 8. Innenaufnahme, einmalig geschrieben: 10^7 Hz-Schwingung mit Zeitlinie, Strahlleistung 18 W, Strahlspannung 15 kV; zum Nachweis der Freiheit von gegenseitigen Beeinflussungen.

sehr hohen Frequenzen störende Beeinflussungen nicht auftreten. Was die Übereinstimmung des Nullpunkts und der Ablenkempfindlichkeit, d. h. weiterhin der Phasenlage anbetrifft, so bringen die Oszillogramme in Bild 9 und 10 hierfür einen ausreichenden Beweis. Hierbei wird auch gezeigt, daß durch eine Nullpunktsverlagerung in Richtung der Vorgangachse die beiden Kurvenzüge beliebig zueinander geschrieben werden können, ohne daß dabei Verzerrungen auftreten. Gerade bei teilweise ineinandergeschriebenen Oszillogrammen ist ein leichter Vergleich der Phasenlage möglich. In dem Oszillogramm in Bild 11 wurden die Spannungen an einem Widerstand bzw. einem Kondensator in einem Schwingkreis bei einer Frequenz von 10^5 Hz gemessen (Schaltbild 12). Aus der Phasenverschiebung zwischen den beiden Spannungen läßt sich bei bekanntem Widerstand die Kapazität bestimmen. Soweit sich übersehen läßt, eignet sich dieses Verfahren zur Messung

kleinster Kapazitäten, wenn man mit einer entsprechend hohen Frequenz des Schwingkreisgenerators arbeitet. Für viele Zwecke werden teilweise ineinandergeschriebene Oszillogramme weitaus übersichtlicher,

wenn die Kurvenzüge mit verschiedener Helligkeit geschrieben sind. Daß dies durch die eingangs erwähnte Regelung der

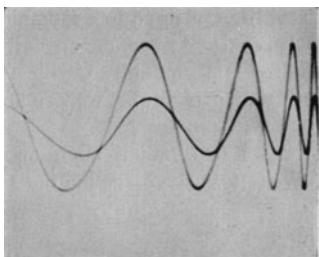


Bild 11. Spannung an Widerstand und Kondensator in einem Schwingkreis nach Schaltbild 12. Die auftretende Phasenverschiebung ist deutlich erkennbar.

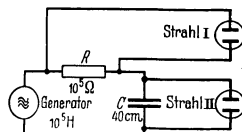


Bild 12. Die bei der Aufnahme von Bild 11 benutzte Schaltanordnung.

Hilfsspannung leicht möglich ist, zeigen die Oszillogramme in Bild 13 und 14. Weitere Schriftproben, besonders solche von unwillkürlichen Vorgängen, werden im Zusammen

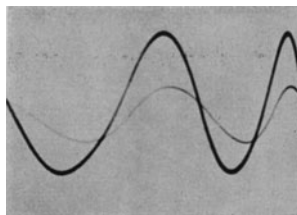
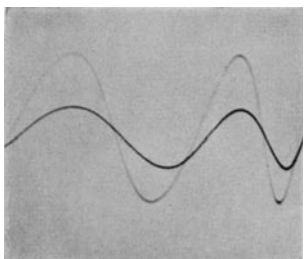


Bild 13 u. 14. Zum Nachweis der Intensitätssteuerung mittels Hilfsspannungsänderung.

hang mit einer anderen Arbeit veröffentlicht werden. Doch sind die gezeigten Aufnahmen schon ohne Zweifel ein ausreichender Beweis dafür, daß dieser Oszillograph

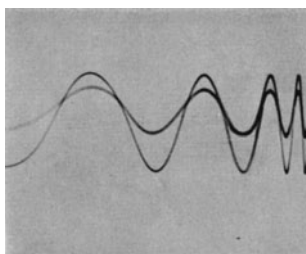
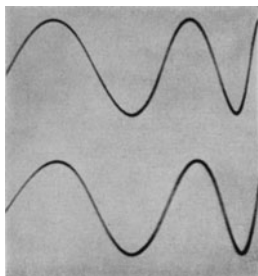


Bild 9 u. 10. Zum Nachweis der Phasengleichheit und der verzerrungsfreien Nullpunktverlagerung, Schwingung 10^6 Hz, Strahlspannung 10 kV.

als zweckmäßiges Hilfsmittel mit Erfolg dort verwandt werden kann, wo es vorteilhaft ist, mehrere Größen in ihrer wechselseitigen Beziehung zueinander zu erfassen.

Die vorhin beschriebene Art des Aufbaues von Mehrfachoszillographen gestattet nicht nur die Ausführung von Zweistrahloszillographen, sondern es ist durchaus der

Bau einer Vierstrahlausführung möglich, da bei dieser Strahlzahl noch ohne Schwierigkeit die gegenseitigen Beeinflussungen durch Teilkapazitäten auf ein Mindestmaß herabgedrückt werden können. Bei höherer Strahlzahl lassen sich aber unter Inkaufnahme einer gewissen Einschränkung in der Zeitablenkung durch Kombination von zwei oder drei Plattensystemen ebenfalls einwandfreie Anordnungen aufbauen. Darüber hinaus haben weitere Versuche ergeben, daß leistungsfähige Oszillographen nach dem Voranodenverfahren mit sehr geringem Aufwand ausgeführt werden können.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. W. Rogowski danke ich auch an dieser Stelle herzlich für die Anregung und die vielen wertvollen Ratschläge bei der Durchführung dieser Arbeit.

Zusammenfassung.

Ein Zweistrahloszillograph mit getrennten Entladungsrohren mit Hilfsentladung wird beschrieben. Die hohe Schreibleistung, die leichte Intensitätssteuerung der Einzelstrahlen mittels Hilfsspannungsregelung, die einfache Empfindlichkeitsänderung durch Einstellen der Strahlspannung und die gänzliche Unabhängigkeit der Einzelstrahlen voneinander beweisen, daß diese Anordnung selbst bei einem geringen Mehr an apparativem Aufwand wohl geeignet ist, ein technisch brauchbares Meßgerät darzustellen.

Ein Mehrfachoszillograph hoher Schreibleistung nach dem Voranodenprinzip.*)

Von

H. Thielen VDE, Aachen.

Inhaltsübersicht:

Auf der Grundlage des Voranodenprinzips nach Rogowski ist ein Zweistrahloszillograph hergestellt worden. Es wird nachgewiesen, daß dieses Prinzip für den Bau leistungsfähiger Mehrstrahloszillographen sehr gut geeignet ist und sogar, wenn der geringere Aufwand an Zusatzapparaten und in der Bedienung berücksichtigt wird, anderen Mehrfachtypen überlegen sein kann.

*) Die ausführliche Arbeit erscheint demnächst im „Archiv für Elektrotechnik“ und wird der Dissertation als Beilage angefügt.

Lebenslauf.

Am 27. Januar 1915 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Christian Thiel en zu Esweiler (Kr. Aachen) geboren. Nach Besuch der Volksschule in Esweiler-Bergrath und des Realgymnasiums zu Esweiler bis zur Reifeprüfung im März 1933 studierte ich nach einer halbjährigen praktischen Arbeitszeit Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Aachen, wo ich im April 1938 die Diplomprüfung mit Auszeichnung bestand. Von April 1937 bis heute bin ich Assistent am Elektrotechnischen Institut der TH. Aachen (Vorsteher: Prof. Dr.-Ing. E. h. Rogowski).

Heinz Thielen.

Sonderabdruck

aus

Archiv für Elektrotechnik.

Herausgegeben

vom Verband Deutscher Elektrotechniker und vom Elektrotechnischen Verein

durch

Harald Müller VDE

XXXIV. Band — 1940 — 1. Heft.

(Im Buchhandel durch Julius Springer in Berlin W 9)

H. Thielen VDE,

Ein Mehrfachoszillograph hoher Schreibleistung nach dem Voranodenprinzip.

Beilage zur Dissertation des Verfassers

T. H. Aachen 1939

D 82

Ein Mehrfachoszillograph hoher Schreibleistung nach dem Voranodenprinzip¹⁾.

Von

H. Thielen VDE, Aachen.

(Mitteilung aus dem Elektrotechnischen Institut der T. H. Aachen.)

(Eingegangen am 6. 7. 1939.)

DK 621.317-755

Übersicht. Auf der Grundlage des Voranodenprinzips nach Rogowski ist ein Zweistrahloszillograph hergestellt worden. Es wird nachgewiesen, daß dieses Prinzip für den Bau leistungsfähiger Mehrstrahloszillographen sehr gut geeignet ist.

1. Ziel.

Vor kurzem²⁾ ist an dieser Stelle ein Zweistrahloszillograph beschrieben worden, bei dem die Schreibstrahlen in getrennten Entladungsrohren mit Hilfsentladung³⁾ erzeugt werden. In dieser Arbeit wurde nachgewiesen, daß bei Verwendung der Entladungsrohre mit Hilfsentladung solche Oszillographen allen Anforderungen für die Mehrfachoszillographie selbst bis zu den höchsten Schreibgeschwindigkeiten bei recht niedrigen Strahlspannungen gerecht werden. Doch sind Anordnungen, die bei gleicher oder annähernd gleicher Schreibleistung eine merkliche Vereinfachung im Aufbau und in der Bedienung des Apparates bringen, immerhin von Interesse, selbst wenn damit einige Einschränkungen im Anwendungsbereich in Kauf genommen werden müssen. Einen gewissen Fortschritt in dieser Richtung werden daher ohne Zweifel Anordnungen darstellen, bei denen die Erzeugung der Schreibstrahlen an einer gemeinsamen Kathode geschieht, wodurch ohne besondere Hilfsmittel eine zwangsläufig gleiche Elektronengeschwindigkeit von vornherein gewährleistet wird. Als solche Verfahren mit gemeinsamer Kathode sind bekannt geworden: das Verfahren der Anodenausblendung⁴⁾, das der Voranode⁵⁾ und dasjenige der Strahlteilung⁶⁾.

Das Verfahren der Voranode scheint dabei vor allem geeignet zu sein, da mit diesem eine Reihe von Vorteilen verbunden ist, die bei anderen Verfahren nur in beschränktem Umfange vorhanden sind. Auf dieses Verfahren wird nun im ersten Teil der Arbeit kurz eingegangen werden, während im zweiten Teil ein auf dieser Grundlage entwickelter Zweistrahloszillograph beschrieben und der Nachweis für seine Leistungsfähigkeit erbracht wird.

2. Das Voranodenprinzip und seine Eignung für Mehrfachoszillographen.

Bringt man bei einem Ionenrohr die Anode (Voranode) VA , die mit mehreren Bohrungen versehen ist, in genügende Nähe der Kathode K (1 bis 5 mm), so entstehen auf der Oberfläche der kalten Kathode getrennte Ansatzpunkte für die einzelnen Kathodenstrahlen (Bild 1). Auf die Möglichkeit der Ausnutzung dieser Tatsache für die Mehrfachoszillographie hat Rogowski⁵⁾ aufmerksam gemacht. Dabei ist es bei dieser

¹⁾ Teil der von der T. H. Aachen genehmigten Dissertation des Verfassers (D 82).

²⁾ H. Thielen, Arch. Elektrotechn. 33 (1939) S. 189.

³⁾ Vorschlag von Rogowski und Malsch. Näheres bei H. Thielen, Arch. Elektrotechn. 32 (1938) S. 38.

⁴⁾ M. Knoll, ETZ 53 (1932) S. 1101.

⁵⁾ Vorschlag von Rogowski. Näheres bei H. Boeckels und H. Dicks, Arch. Elektrotechn. 27 (1933) S. 134.

⁶⁾ K. Kasai und I. Satoh, Arch. Elektrotechn. 31 (1937) S. 557.

Methode ohne weiteres möglich, durch eine besondere Formgebung der Voranode und der Kathode die Form, den Durchmesser, die Schlankheit und den Austrittswinkel der Strahlen weitgehend zu beeinflussen. Auch was die Ladungsmenge der Strahlen und ihre Intensität anbetrifft, so besitzen die Strahlen hierin bei gleichen Verhältnissen volle Gleichwertigkeit. Berücksichtigt man weiter, daß sich bei der Voranode ohne Schwierigkeit der Kunstgriff der Hilfsentladung¹⁾ verwenden läßt, daß das Voranodenrohr einen erhöhten Wirkungsgrad²⁾ und einen größeren Spannungsbereich besitzt, so tritt seine Eignung für die Zwecke des Mehrfachoszillographen deutlich gegenüber den anderen Verfahren, z. B. dem Verfahren der Anodenausblendung, hervor. Während bei dem Voranodenmehrstahlrohr jeder der Strahlen, da getrennt entstanden, größte Kernstromdichte besitzt und im Vergleich zum Einstrahlrohr also keine weitere Strahlenergie unnütz verlorengelht, der Wirkungsgrad mithin ungefähr der gleiche ist, wird bei dem Verfahren der Anodenausblendung stets nur ein äußerst geringer Teil aus dem gesamten Strahlkegel ausgeblendet, der weitaus größere Teil geht verloren und trägt noch zu einer nicht unwesentlichen Erwärmung des Strahlrohres und den damit verbundenen Nachteilen bei, so daß der Leistung des Verfahrens durch diese Tatsache enge Grenzen gesetzt zu sein scheinen.

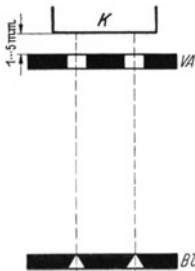


Bild 1. Versuchsanordnung zur Erzeugung von mehreren Schreibstrahlen an einer gemeinsamen Kathode mittels Voranode.

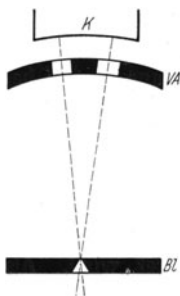


Bild 2. Versuchsanordnung mit geneigten Strahlen (Hohlkathode, gemeinsame Blende).



Bild 3. Lichtbild der Hohlkathode nach mehrstündigem Betrieb.

Auch was eine zweckmäßige konstruktive Durchbildung des Oszillographen anbetrifft, so wirkt bei der Voranode die bereits oben angeführte Tatsache, daß der Gang der Strahlen frei wählbar ist, recht günstig, und es kann also von Fall zu Fall die Führung des Strahles durch das Sperr- und Ablenssystem frei entschieden werden. Bei der unten beschriebenen Versuchsausführung hat sich als besonders zweckmäßig die in Bild 2 angegebene Anordnung mit geneigten Strahlen erwiesen, da hierbei nur eine Hauptblendenöffnung erforderlich ist, was zu einer vakuumtechnischen und herstellungsmäßigen Vereinfachung führt. Ein Lichtbild der Hohlkathode nach mehrstündigem Betrieb, aus dem die Gleichheit und Feinheit der beiden Ansatzstellen zu ersehen ist, bringt Bild 3. Selbst bei dieser geneigten Strahlführung bringt die Verwendung einer Magnetspule zur Vorkonzentrierung, vorausgesetzt einer ohne Bildrotation, keine prinzipiellen Schwierigkeiten, so daß bei dem Mehrstrahlrohr mit Hilfsentladung ohne weiteres von dem Aachener Kunstgriff der Doppelkonzentrierung³⁾ mit seinen Vorteilen einer erhöhten Schreibleistung Gebrauch gemacht werden kann.

3. Die konstruktive Ausführung eines Zweistrahl- oszillographen und seine Leistungsfähigkeit.

Bild 4 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Zweistrahloszillographen nach dem Voranodenprinzip. Der Strahlengang wurde dabei so gewählt, daß das Ablenssystem und die Aufnahmekammer eines früher⁴⁾ an dieser Stelle beschriebenen Zweistrahloszillographen mit getrennten

¹⁾ Siehe Fußnote 3, S. 57.

²⁾ H. Dicks, Arch. Elektrotechn. 28 (1934) S. 53.

³⁾ Rogowski, Größer, Flegler und Tamm, Arch. Elektrotechn. 15 (1925) S. 377; 18 (1927) S. 513.

⁴⁾ Siehe Fußnote 2, S. 57.

Entladungsrohren benutzt werden konnte, also nur die Auswechslung des Entladungsrohres und der Sperrkammer erforderlich war. Auf eine Beschreibung der Ablenk- und Aufnahmeordnung und ihrer konstruktiven und elektrischen Anforderungen kann daher verzichtet, es muß schon auf die frühere Schrifttumsstelle verwiesen werden. Hierdurch war allerdings von vornherein eine gewisse Beschränkung in der Anordnung des Sperrsystems und der Hauptkonzentrierung bedingt, so daß diese Anordnung keinesfalls Anspruch auf die günstigste Ausnutzung der durch die zwangsläufig gleiche Elektronengeschwindigkeit geschaffenen Möglichkeiten erheben kann. Der bei dieser Ausführung gewählte Strahlenweg ist nun folgender: Die Strahlen verlassen die Hauptblende des Entladungsrohres mit Hilfsentladung unter dem durch die Lage und Form der Kathode und Voranode bestimmten Winkel. Unter diesem Winkel durchlaufen sie das Sperrplattensystem, werden durch Ablenkplatten parallel gebogen, als solche konzentriert und in den Ablenkkfeldern beeinflusst. Durch eine Nullpunkteinstellung in der Richtung der Vorgangachse lassen sie sich dann beliebig zueinander auf dem Leuchtschirm verstellen. Um eine sichere Gewähr für die richtige Lage der Sperrplatten und der Sperrblenden zu haben, wurden diese Teile als Drehkörper ausgebildet und auf eine Mittelspindel aufgekeilt (s. Bild 4, 6 und 7). Eine solche Sperrkammer eignet sich dann gleich gut zur Sperrung von zwei oder mehreren Strahlen. Das Entladungsrohr (Bild 5) ist auf der gleichen Spindel zentriert aufgesetzt und durch einen Keil festgelegt, so daß stets die richtige Lage zur Sperrkammer und mithin auch ein möglichst verlustfreier Durchgang der Einzelstrahlen durch die Sperrblenden gewährleistet ist. Als Hauptlinsen sind für jeden Strahl getrennte Magnetspulen, zweckmäßigerweise auch hier solche ohne Bilddrehung, benutzt worden, da in diesem Falle die Nulllage auf dem Leuchtschirm auch bei etwaiger exzentrischer Lage der Strahlen zur Spulenchse bei den verschiedenen Spannungen die gleiche bleibt. Vor Eintritt in das Konzentrierungsfeld werden die Strahlen durch breite Ablenkplatten, deren horizontale und vertikale Lage auch wiederum durch die Mittelspindel festgelegt ist, parallel gerichtet. Diese Ablenkkondensatoren schließt man vorteilhaft über einen Spannungsteiler an die Strahlspannung an, so daß auch bei etwaiger Änderung der Strahlspannung sich ein Nachstellen erübrigt. Zur Abschirmung des auf Strahl- lage und Intensität wirkenden Erdfeldes wird ein Eisenrohr über das Sperrplattensystem geschoben.

Bild 8 bringt als Probeaufnahme das Oszillogramm einer 1 Mill Hz-Schwingung mit Strahl I einmalig geschrieben, während mit Strahl II die Zeitlinie mit gleicher Zeitgeschwindigkeit aufgenommen ist. Diese Aufnahme beweist ohne Zweifel ausreichend die hohe Leistungsfähigkeit des Voranodenrohres, und es erübrigt sich daher schon der Kürze halber, an dieser Stelle noch weitere Schriftproben hinzuzufügen, da auch diese weniger zur Beurteilung der Schreibleistung in bezug auf die zur Verfügung stehende Intensität des Voranodenrohres beitragen, vielmehr ein Bild für die verzerrungsfreie Schrift und die Freiheit von störenden Beeinflussungen geben würden, was aber schon in der vorhin erwähnten Arbeit ausreichend für das Ablenk- system des Oszillographen

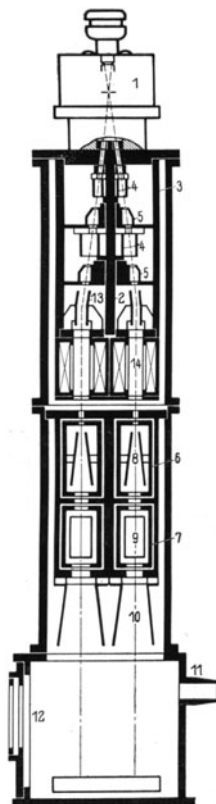


Bild 4. Schematischer Schnitt durch den Zweistrahloszillographen. 1 Entladungsrohr, 2 Mittelspindel, 3 Abschirmrohr, 4 Sperrzylinder, 5 Sperrblenden, 6 und 7 Faradayscher Käfig, 8 und 9 Ablenkplatten, 10 Koordinateneinstellplatten, 11 Beobachtungsfenster, 12 Beobachtungsfenster, 13 Strahlrichtplatten, 14 Haupt-sammelspule.

geschehen ist. Die Aufnahme zeigt aber schon zur Genüge, daß dieser Oszillograph demjenigen mit getrennten Entladungsrohren vollkommen ebenbürtig, wenn nicht

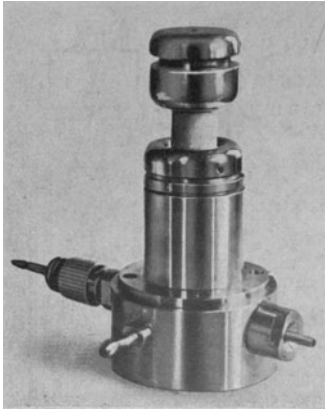


Bild 5. Zweistrahlvoranodenrohr (ohne Vorkonzentrierungsspule).

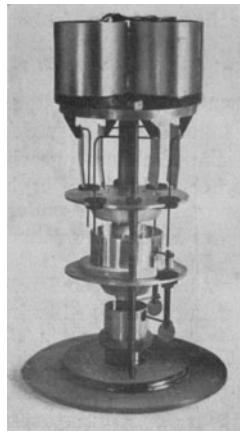


Bild 6 und 7. Sperrkammer mit und ohne Eisenabschirmung.

auf Grund der einfacheren und sicheren Handhabung überlegen ist. Selbstverständlich ist nach dem Voranodenverfahren der Bau von Oszillographen größerer Strahlzahl (Vier- und Achtstrahloszillographen) durchaus und vielleicht leichter als bei anderen Verfahren möglich.

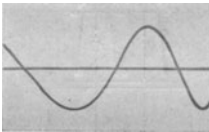


Bild 8. Schwingung 1 Mill Hz eines Eichsenders mit Zeitlinie. Strahlspannung 12kV.

Nach den Erfahrungen, die im letzten Jahre sowohl mit der Type mit getrennten Entladungsrohren als auch mit der auf der Grundlage der soeben beschriebenen Voranode bei an Pumpen liegenden Anordnungen gemacht worden sind, scheint es durchaus berechtigt anzunehmen, daß die Mehrfachtype gegenüber der Einstrahlanordnung erhöhte Bedeutung erlangen wird, da selbst bei Einkurvenaufnahmen die Anwendung von mehreren Schreibstrahlen gleichzeitig mit einer Reihe von Vorteilen verbunden sein dürfte. So ist es z. B. für viele Fälle durchaus erwünscht, die gleiche Kurve mit verschiedenen Zeitgeschwindigkeiten zu schreiben, um einen Gesamtüberblick und Einzelausschnitte des zu untersuchenden Vorganges gleichzeitig zur Verfügung zu haben.

Zusammenfassung.

Ein auf der Grundlage des Prinzips der Voranode nach Rogowski, das in der Arbeit kurz behandelt wird, entwickelter Zweistrahlloszillograph wird beschrieben und nachgewiesen, daß solche Voranodenanordnungen gegenüber anderen Mehrfachtypen sehr wohl für die Mehrfachoszillographie geeignet sind und, wenn der geringere Aufwand an Zusatzapparaten und in der Bedienung berücksichtigt wird, diesen vielleicht überlegen sind.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Rogowski für seine freundliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.