

Elektronenstrahl-Oszillograph

Geschichtliche Entwicklung

J

~~834-26~~

8340-4

DK 621.317.755

Verfasser: Dr.-Ing. A. Bigalke, Berlin

Die Braunsche Elektronenstrahlröhre stellt dank der praktisch leistungs- und trägheitslosen Ablenkbarkeit des Elektronenstrahls sowie ihrer Unempfindlichkeit gegen Überlastungen einen geradezu idealen Indikator für schnell verlaufende Vorgänge dar. Aus der anfangs nur vereinzelt Anwendung im Laboratorium konnte sie jedoch erst durch die Entwicklung von Geräten, die alle erforderlichen Betriebsspannungen liefern und Kippgeräte für die zeitliche Auseinanderziehung des Vorganges sowie Verstärker für kleine Meßspannungen enthalten, Eingang in die allgemeine Meßtechnik finden. Wie bereits im Literaturverzeichnis, Blatt J 834—24, 25, auf das sich die folgenden Zahlenangaben beziehen, erwähnt, soll hier unter einem Elektronenstrahl-Oszillograph (EO) ein Gerät mit abgeschmolzener Glühkathodenröhre verstanden sein. Der Kathodenstrahl-Oszillograph (KO) mit kalter Kathode und Gasentladungsstrecke dürfte auf Grund der Entwicklungsarbeiten der letzten Zeit, die zu einer wesentlichen Steigerung der Schreibgeschwindigkeit des EO führten, mehr und mehr in den Hintergrund treten. Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die Entwicklung des EO aus den ersten Anfängen bis zum Beginn der eigentlichen Elektronenoptik, die den Bau der heutigen leistungsfähigen Oszillographen ermöglichte.

Elektronenstrahlröhre. Nach der Entdeckung der Kathodenstrahlen (Plücker 1859) gelang es als erstem Braun¹² eine praktisch brauchbare Kathodenstrahlröhre (Bild 1), die mit einem Leuchtschirm ausgestattet war und mit magnetischer Ablenkung arbeitete, herzustellen.

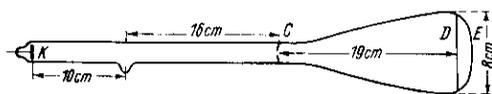


Bild 1. Erste von Braun angegebene Röhre¹² (1897).

Vorher waren bereits die magnetische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen (Plücker, Hittorf 1869) festgestellt und auch Versuche zum Nachweis der elektrischen Beeinflussung (Goldstein 1876, Hertz 1883, Jaumann 1896) vorgenommen worden. Der exakte Nachweis und die Aufstellung von Gesetzen für die elektrische Ablenkung gelang jedoch erst später (J. Thomson 1897, Kaufmann und Aschkinass 1897). Ferner war schon von Hess¹⁰ eine Lenard-Kathodenstrahlröhre, in die er eine bewegbare photographische Platte brachte, zur Aufzeichnung von elektrischen Vorgängen benutzt worden. Seine Anordnung wurde jedoch zunächst nicht weiterverfolgt und technisch durchgebildet.

Die in Bild 1 dargestellte erste Kathodenstrahlröhre erzeugt in einer Gasentladung von geringem Druck Kathodenstrahlen, die aus der Kathode K austreten und von der Anode A beschleunigt werden. Durch eine

bei C angebrachte kleine Öffnung wird ein schlanker Strahl ausgeblendet, der dann auf den mit einer fluoreszierenden Schicht überzogenen Schirm D fällt. In dem zwischen C und D liegenden Raum erfolgte die magnetische Ablenkung durch außen liegende Spulen. Braun selbst hat auch zahlreiche Anwendungsbeispiele für seine Röhre gegeben^{12, 15, 18}, insbesondere Lissajous-Figuren dargestellt und auch eine lineare Zeitauf Auflösung mit dem rotierenden Spiegel vorgenommen.

Nachdem die Wirkung einer Konzentrationsspule auf die Vergrößerung der Punktschärfe gefunden war (Wiechert²³), waren so die Grundlagen für die Entwicklung des KO (hierüber siehe Blatt J 834—2) gegeben.

Erst mit der Einführung der Glühkathode durch Wehnelt³⁰ unter Anwendung und Verbesserung der elektrostatischen Ablenkung (Thomson¹³) entstand die erste Elektronenstrahlröhre in unserem Sinne (1903). Im Gegensatz zur Kaltkathodenstrahlröhre, bei der die Entladung in einem kleinen Punkt ansetzt und wo sehr hohe Anodenspannungen angewendet werden, bereitet die Konzentrierung des aus der Glühkathode austretenden Elektronenbüschels bei der Elektronenstrahlröhre einige Schwierigkeiten. Bereits Wehnelt hatte bei seiner Röhre (Bild 2) eine geringe Gasfüllung benutzt und so eine Konzentrierung des Elektronenstrahls durch die in seiner Umgebung gebildeten positiven Ionen erreicht. Die Erkenntnis und Klärung dieses Effektes gelang van der Bijl⁵⁰ im Jahre 1920.

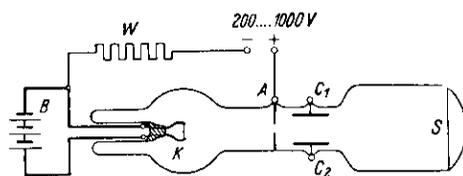


Bild 2. Elektronenstrahlröhre nach Wehnelt³⁰ (1905).

Schon frühzeitig wurden ohne Kenntnis der Elektronenoptik Maßnahmen vorgeschlagen, die zu einer Bündelung des Elektronenstrahls auf rein elektrischem Wege führten. Bild 3 zeigt eine Anordnung von Lillienfeld⁵⁰, bei der durch Hintereinanderschaltung mehrerer Blenden, deren Potentialfelder jeweils durch die vorhergehenden durchgreifen sollten, eine Konzentrierung erreicht werden konnte. Praktisch durchgeführt wurde diese Idee damals wohl nicht, doch hat eine von Wehnelt angegebene Sammelvorrichtung, der sogenannte Wehnelt-Zylinder²³⁷, große Verbreitung gefunden (Samson⁵³). Durch geeignete Ausbildung der Anodenblende und Anwendung einer magnetischen Sammelspule (Rogowski und Grösser²⁶⁴) sowie Kombination zwi-

schon einer Lochscheibe vor der Kathode, einer Anodenblende und Gasfüllung (Johnson²⁶¹) wurde die Elektronenstrahlröhre weiter verbessert und konnte bereits fabrikatorisch hergestellt werden. Einen wesentlichen

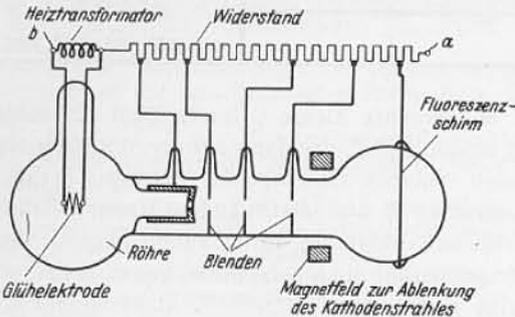


Bild 3. Von Lilienfeld²⁶ angegebene Röhre mit elektrostatischer Konzentrierung (1915).

Schritt vorwärts bedeutete auch die Anwendung der doppelten Strahlkonzentrierung (Jones und Tasker²⁶³), die wohl auch schon bei der Röhre mit Wehnelt-Zylinder vorgelegen hat. Die ersten technisch durchgebildeten deutschen Röhren mit Vorkonzentration wurden v. Ardenne⁴ und in recht vollkommener Weise von Dobke²⁸⁰ (Bild 4) entwickelt. Das System von Dobke (Bild 5) läßt bereits die Verwendung einer jetzt in der Elektronenoptik als Einzellinse bezeichneten Anordnung erkennen.



Bild 4. Eine der ersten technischen Elektronenstrahlröhren mit Vorkonzentration und Gasfüllung.

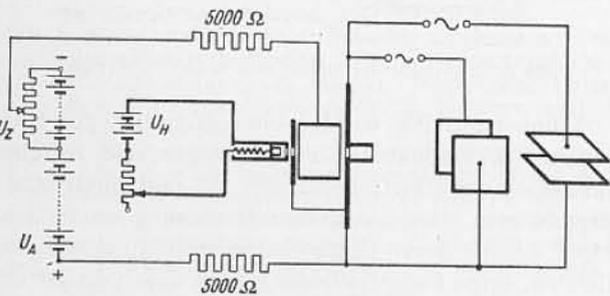


Bild 5. System der Röhre von Dobke²⁸⁰ (1932).

Über die neuere Entwicklung auf Grund der Ergebnisse der geometrischen Elektronenoptik berichtet das Blatt J 834—27.

Elektronenstrahl-Oszillograph. Parallel mit der Entwicklung der Elektronenstrahlröhre lief diejenige von Netzanschlußteilen, Kippgeräten zur Zeitablenkung, Verstärkern und photographischen Hilfsmitteln.

Bereits Braun¹² hat ein Gerät zur zeitlichen Auseinanderziehung des Vorganges vorgeschlagen: ein Magnetstab rotiert unterhalb der Braunschen Röhre und lenkt so den Kathodenstrahl ab; auch die Ver-

wendung eines senkrecht zum Meßspulenpaar angebrachten zweiten Spulenpaars zur Darstellung von Lissajous-Figuren wurde von ihm eingeführt. Wehnelt und Donath²⁵ benutzten eine Photokamera, bei der die Platte auf einem Schlitten bewegt und so eine Auflösung nach der Zeit erzielt werden konnte. Die ersten zeitlinearen Kippschwingungen wurden von Zenneck²⁴ 1899 mit einem motorangetriebenen Schleifdraht-Potentiometer erzeugt. Die Darstellung des funktionellen Zusammenhangs zweier verschiedener Meßgrößen wurde von Ångström²¹ durch die Aufnahme von Hysteresiskurven eingeführt. Mit der Anordnung von Zenneck konnten wegen der mechanischen Mittel nur niederfrequente Vorgänge aufgenommen werden. Simon und Reich²⁷ gelang die zeitliche Auflösung von Hochfrequenzschwingungen, indem sie einen elektrolytischen Unterbrecher in den Stromkreis der Zeitablenkspulen schalteten. Eine wesentliche Verbesserung der Aufnahmetechnik von Lissajous-Figuren, die eine quantitative Analyse ermöglichte, wurde von Ryan vorgeschlagen: die Grundwelle des zu messenden Stromes wurde herausgesiebt und auf das Zeitspulenpaar gegeben, so daß sich eine rein sinusförmige Zeitablenkung ergab. Mandelstam³⁷ gibt 1907 eine verhältnismäßig zeitlineare Ablenkung durch Kondensatorentladung im ersten praktisch linearen Bereich der Entladekurve an. Die Zeitablenkung erfolgt in Abhängigkeit vom Meßvorgang. 1912 führt Milner⁴⁵ die Kontaktfotografie, bei der die lichtempfindliche Schicht direkt auf den Leuchtschirm gelegt wird, ein. Diese Aufnahmetechnik hat sich wegen der Vergrößerung der Strichstärke beim Elektronenstrahl-Oszillographen jedoch nicht eingeführt. Dagegen hat die Aufnahme mittels rotierender Trommel (Kock⁴⁸) große Verbreitung gefunden. Eine Auflösung nach der Zeit und Darstellung in Polarkoordinaten erhält man durch Drehung der fotografischen Platte bei ausgelenktem Strahl (Grix 1921).

Durch die Anwendung einer im Sättigungsgebiet arbeitenden Elektronenstrahlröhre (Rogowski⁵⁸, 1920) in Verbindung mit der Glimmlampen-Schaltung (Kipping³²⁸) gelang es, zeitproportionale Kippschwingungen herzustellen (Rudolph³³⁰). Die Erzeugung einmaliger Zeitablenkspannungen wurde durch die Arbeiten von Rüdtenberg³³¹, Gabor³³⁴, Krug³⁴⁵, Freundlich, Knoll u. a. gefördert, wobei gleichzeitig Maßnahmen zur Dunkelsteuerung des Strahles bis zum Eintreffen des Meßvorganges getroffen wurden. Die Anordnungen arbeiten mit Funkenstrecken und Verstärkerröhren und dienen zur Aufnahme einmaliger kurzzeitig ablaufender Vorgänge. Sie wurden zunächst für den KO entwickelt, sind jedoch auch für die heutigen Hochleistungs-Elektronenstrahl-Oszillographen von Interesse.

Zur Aufnahme periodischer Vorgänge ist es, um ein stehendes Leuchtschirmbild zu erhalten, wichtig, die Kippfrequenz in Gleichlauf mit der Meßfrequenz zu bringen. Dies kann durch Überlagerung beider Spannungen (Bedell und Reich³³⁸) in einer Brückenanordnung erfolgen. Mehrere brauchbare Vorschläge haben Hudec^{341, 342} sowie van der Pol und van der Mark³³⁷ gemacht. Bei ihnen wird die Meßspannung der Anodenspannung der Glimmlampe oder einer Verstärkerröhre überlagert.