

Theile-Weyres  
Grundlagen  
der  
Kathodenstrahlröhren



# Grundlagen der Kathodenstrahlröhren

VON

DR. R. THEILE UND DR. TH. WEYRES

Mit 172 Abbildungen

*Zweite Auflage*

19  50

TECHNISCHER VERLAG HERBERT CRAM

BERLIN W 35

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten  
Copyright 1950 by Technischer Verlag Herbert Cram, Berlin W 35  
Satz und Druck von Oswald Schmidt GmbH., Leipzig M 118  
Zahlungsgenehmigung 13/05 V

## Vorwort zur 2. Auflage

Die Kathodenstrahlröhren haben in den letzten Jahren eine stets wachsende Bedeutung erlangt. Als Oszillograph z. B. sind sie zu einem unübertroffenen Hilfsmittel bei allen Schwingungsuntersuchungen geworden, im Fernsehen werden sie als Bildwiedergabegerät im Empfänger und auch zur Bildaufnahme im Sender benutzt und viele Forschungsergebnisse in der modernen Naturwissenschaft sind erst durch exakte Messungen mit solchen Röhren möglich geworden.

Die rasche Verbreitung der Kathodenstrahlröhren in Wissenschaft und Technik bedingt, daß ein wachsender Kreis von Forschern und Technikern mit derartigen Röhren in Berührung kommt. Um mit den Röhren richtig und verständnisvoll arbeiten zu können, muß man aber von der grundsätzlichen Arbeitsweise gewisse Vorstellungen haben.

Das vorliegende Buch will eine solche Einführung in die Grundlagen der Kathodenstrahlröhren geben, in allgemeinverständlicher Darstellung, nur unter Voraussetzung gewisser elektrotechnischer Grundkenntnisse. Dabei glauben wir, daß auch für den Fachmann das Buch als eine in der vorliegenden Form wohl noch nicht vorhandene Zusammenfassung von Interesse und Wert sein kann.

Die Absicht, im wesentlichen nur die grundsätzlichen Vorgänge klar zu legen, bedeutete einen unvermeidlichen Verzicht auf die Darstellung interessanter theoretischer und spezieller Probleme (wie z. B. die Grenzleistungsfähigkeit der Röhren, Probleme der Hochfrequenzoszillographie, Mikrooszillographie usw.). Andererseits schien uns aber gerade eine übersichtliche Darstellung der Grundlagen in der Literatur zu fehlen, die dem Leser die notwendigen Grundkenntnisse für das eigene Arbeiten und zum Verständnis der Spezialliteratur vermittelt.

Weil die Grundlagen trotz der mannigfach variierenden Ausführungsformen der Röhren in der Technik die gleichen bleiben, konnten wir die vorliegende zweite Auflage nahezu unverändert gegenüber der ersten (im Jahre 1944 herausgegebenen) Auflage lassen, obwohl nicht alle der in den Abbil-

dungen gezeigten Röhren z. Zt. im Handel sind, bzw. noch nicht wieder hergestellt oder durch andere Formen in der kommenden Fertigung ersetzt werden. Die Bilder zeigen aber das Typische, und darauf kommt es in diesem Rahmen an.

Die früher benutzten Kathodenstrahlröhren mit kalter Kathode und solche mit Glühkathode und Gasfüllung werden nicht besprochen, da sie nur noch selten Verwendung finden und weil man heute praktisch nur noch Hochvakuumröhren mit Glühkathode baut.

Die praktische Erfahrung lehrt, daß die Erfolge bei dem Arbeiten mit Kathodenstrahlröhren zu einem großen Teil von dem richtigen Zusammenwirken der Röhre mit den angeschlossenen Betriebsgeräten abhängt. Aus diesem Grunde haben wir im letzten Abschnitt auch die Grundlagen dieser Geräte behandelt.

Unser Dank gebührt den verschiedenen Firmen (Telefunken GmbH, A. E. G., Fernseh GmbH, Opta Radio AG, Philips, Siemens & Halske) für die freundliche Überlassung von Abbildungen der von ihnen hergestellten Röhren und Geräte, und ebenso dem Verlag, der diesen Neudruck trotz der Fülle der nach dem Krieg notwendigen Druckerarbeiten so verständnisvoll bevorzugte.

Marburg/Bad Godesberg, August 1950

Die Verfasser

# Inhalt

Einführung . . . . .	1
I. Grundsätzliches über Aufbau und Wirkungsweise der Kathodenstrahlröhren . . . . .	4
1. Bauelemente der Kathodenstrahlröhre . . . . .	4
2. Die Bewegungsarten des schreibenden Elektronenstrahlbündels . . . . .	7
a) Rechtwinklige Koordinaten, gerade (lineare) „Zeitachse“ . . . . .	7
b) Bewegung auf einer Kreisbahn oder Spirale „Polarkoordinaten“ . . . . .	12
c) Parallelzeilenraster (Fernsehen) . . . . .	14
II. Das Strahlerzeugersystem . . . . .	18
1. Allgemeiner Überblick . . . . .	18
2. Die Elektronenquelle (Glühkathode) . . . . .	19
3. Die Beschleunigung der Elektronen . . . . .	22
4. Die Sammlung der Elektronen . . . . .	25
a) Die Vorsammlung . . . . .	25
b) Die Hauptsammlung . . . . .	32
5. Der Aufbau der Strahlerzeugersysteme . . . . .	41
III. Ablenkung des Elektronenstrahlbündels . . . . .	52
1. Ablenkung mit elektrischen Feldern . . . . .	52
2. Ablenkung mit magnetischen Feldern . . . . .	72
IV. Die technische Gestaltung der Kathodenstrahl- röhren . . . . .	80
1. Oszillographenröhren . . . . .	80
2. Fernsehröhren . . . . .	91
V. Betriebsgeräte für Kathodenstrahlröhren . . . . .	101
1. Geräte zur Erzeugung der Hochspannung für das Strahlerzeugersystem . . . . .	101
2. Geräte zur Erzeugung der elektrischen Zeitablenkung . . . . .	106
a) Sinusförmige Zeitablenkung . . . . .	106
b) Grundsätzliches zur Erzeugung von sägezahnförmigen Spannungen . . . . .	110
c) Grundschaltungen zur Erzeugung von Kippschwingungen . . . . .	114
3. Verstärker für Meßspannungen (Breitbandverstärker) . . . . .	127
4. Aufbau verschiedener Geräte mit Kathodenstrahlröhren. Anwendungs- beispiele . . . . .	131
Sachverzeichnis . . . . .	144





## Einführung

1. In der Technik spielen **Schwingungsvorgänge** eine besonders wichtige Rolle. In der **Elektrotechnik** haben sie z. B. für die gesamte **Nachrichtentechnik** grundlegende Bedeutung. Der technische Wechselstrom ist ein elektrischer Schwingungsvorgang, bei dem der Elektronenstrom fünfzigmal in der Sekunde hin- und herschwingt. Beim Telefongespräch sind es den Sprachlauten entsprechende **niederfrequente Schwingungen** des elektrischen Stromes, die in den Drähten fortgeleitet werden, bei der drahtlosen Telegraphie sind es **hochfrequente elektrische Schwingungen**, die von der Antenne als elektrische Wellen in den Äther ausgestrahlt werden. Diese wenigen Beispiele zeigen schon die Wichtigkeit der Schwingungstechnik und ihrer Hilfsmittel, von denen die Anzeige- und Meßgeräte eine besondere Bedeutung haben.

2. Zur **Anzeige** und **Messung** elektrischer Schwingungen kann man zwar die bekannten Strom- bzw. Spannungsmesser für Wechselströme benutzen, jedoch zeigen diese nur mittlere Werte oder Spitzenwerte an und lassen von der Eigenart des Schwingungsablaufs, von der **Schwingungskurve**, nichts erkennen. Aber gerade das ist oft von besonderer Wichtigkeit. Man möchte den Ablauf des Schwingungsvorgangs im einzelnen festhalten, ihn **aufschreiben** oder, wie man sagt, „**oszillographieren**“.

3. Solche Einrichtungen arbeiten nach verschiedenen Prinzipien. So ist z. B. der Aufnahmevorgang von Schallplatten ein Oszillographieren der Sprach- oder Musikschwingungen, indem die Nadel der aufnehmenden Schalldose die Schwingungszüge in die vorbeilaufende Wachsschicht einräbt. Mit einer Lupe kann man die den Schallschwingungen entsprechenden Kurven gut erkennen (Abb. 1).

Nach einem anderen Verfahren kittet man auf ein kleines, besonders leichtes elektrisches Meßsystem ein Spiegelchen und läßt einen



Abb. 1. Schwingungszug in den Rillen einer Schallplatte (Mikrophoto)

scharfgebündelten Lichtstrahl darauf fallen, der entsprechend der Spiegelstellung abgelenkt wird. Das Meßsystem (Abb.2 rechts) wird dabei meist in Form einer Leiterschleife im Magnetfeld ausgeführt (Schleifenoszillograph). Der durch die Schwingungen des Stromes abgelenkte Lichtstrahl kann entweder auf eine bewegte photographische Platte fallen oder aber man betrachtet ihn über einen Drehspiegel, der beim Rundlauf in das Auge schnell aufeinander folgende „Phasenbilder“ wirft und so die einzelnen Schwingungen in zusammenhängenden Kurvenbildern erscheinen läßt (Abb. 2 links). Solche

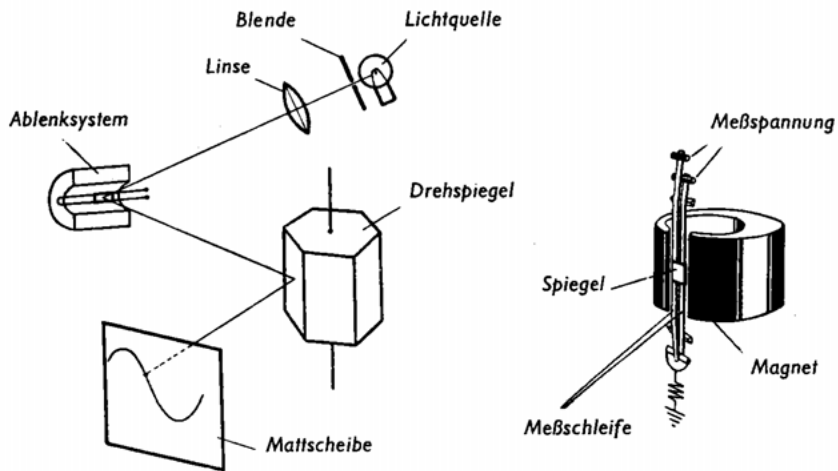


Abb. 2. Schema eines Schwingenspiegeloszillographen und Ablenssystem

Einrichtungen leisten in der Technik vielfach gute Dienste. Diese Art der Schwingungsbetrachtung bzw. -aufzeichnung hat jedoch den Nachteil, daß das mechanische Aufzeichnungssystem eine gewisse **Trägheit** besitzt, die eine Aufnahme sehr schneller Schwingungen (höhere Frequenzen) nicht mehr zuläßt.

4. Es ist daher ein großer Fortschritt durch Einführung der mit viel geringerer Trägheit arbeitenden **Kathodenstrahlröhren** für oszillographische Zwecke erreicht worden. Bei diesen wird der Lichtstrahl des Schleifenoszillographen ersetzt durch ein **dünnes Bündel** von schnell fliegenden **Elektronen**, das durch elektrische und magnetische Felder leicht beeinflusst werden kann. Die Bewegung des **Elektronenstrahlbündels** wird durch das Aufleuchten eines Leuchtschirms für das Auge sichtbar gemacht. Abb. 3

zeigt den Aufbau einer solchen für oszillographische Zwecke verwendeten Kathodenstrahlröhre, deren Bestandteile in den folgenden Abschnitten eingehend besprochen werden.

5. Die ersten brauchbaren Anordnungen dieser Art sind 1897 von dem deutschen Professor für Physik **F. Braun** angegeben worden, und man nennt daher die Röhren meist „**Braunsche Röhren**“. Der andere Name **Kathodenstrahlröhren** bringt zum Ausdruck, daß das Strahlenbündel, das die Schwingungsvorgänge aufzeichnet, von der elektrischen **Kathode** in der Röhre ausgeht. Da die Röhren zum großen Teil zur **Schwingungsaufzeichnung** benutzt werden, findet man auch oft die Bezeichnung

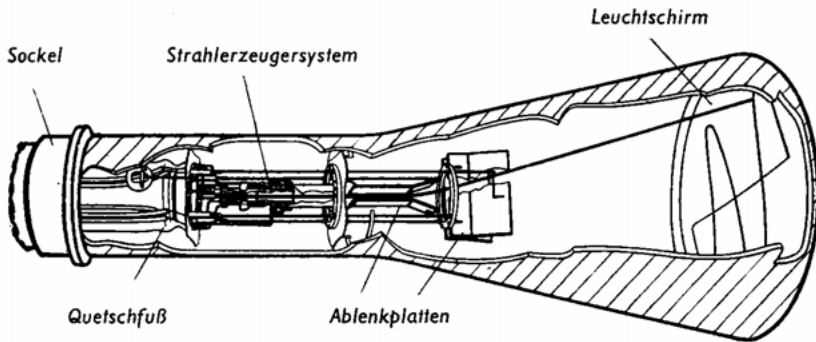


Abb. 3.  
Kathodenstrahloszillographenröhre (Zeichnung nach Philips Elektro Spezial)

„**Kathodenstrahloszillograph**“ oder, weil es Elektronen sind, die den Strahl bilden, auch „**Elektronenstrahloszillograph**“. Im vorliegenden Buch wird vorzugsweise die Bezeichnung **Kathodenstrahlröhre** benutzt.

Erfinder, Forscher und Ingenieure in aller Welt haben zu der Entwicklung der modernen Röhren beigetragen. Im Rahmen dieses Buches können wir aber nicht auf all' diese Einzelheiten eingehen, da unser Ziel die Darstellung der allgemeinen Grundlagen ist.

# I. Grundsätzliches über Aufbau und Wirkungsweise der Kathodenstrahlröhren

## 1. Bauelemente der Kathodenstrahlröhre

6. Um die auf den ersten Blick etwas verwirrend erscheinenden Einzelheiten einer Kathodenstrahlröhre (Abb. 3) stufenweise zu erläutern, sollen

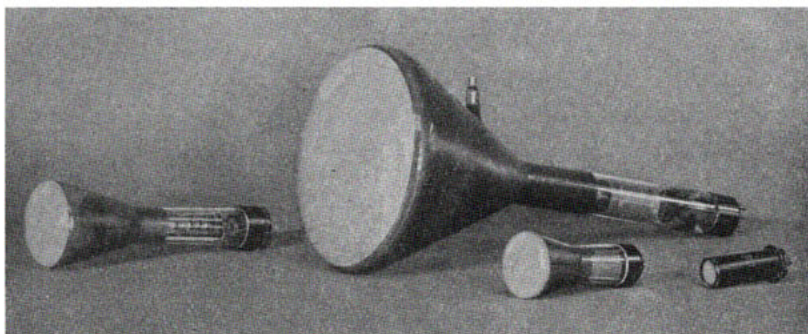


Abb. 4. Ansicht verschiedener Kathodenstrahlröhren. Links: Normale Oszillographenröhre; Mitte: Fernsehbildschreibröhre; rechts: kleine Oszillographenröhren

zunächst ganz allgemein die **Grundelemente** und ihr Zusammenwirken beschrieben werden.

Abb. 4 zeigt in vier Beispielen, wie Kathodenstrahlröhren aussehen können. Links ist eine normale, rechts sind zwei kleinere **Oszillographenröhren** und in der Mitte ist eine **Bildschreibröhre** für **Fernsehempfang** zu sehen.

Die typische äußere Form der Röhren ist in Abb. 5 schematisch dargestellt. Die Röhren werden mit wenigen Ausnahmen aus **Glas** hergestellt. Der **Glaskolben** ist luftleer gepumpt und bildet die äußere Hülle der Röhre; er hat einen zylindrischen Teil, den **Röhrenhals** und einen kegelförmig erweiterten Teil mit dem **Röhrenboden**.

7. Als Hauptbestandteil liegt in dem Röhrenhals ein **Elektrodensystem**

(Abb. 6), das aus einer Glühkathode und mehreren metallischen Blenden und Rohren besteht. Es hat die Aufgabe, ein feines Bündel von Elektronenstrahlen zu erzeugen und nach rechts in den erweiterten Teil des Röhren-

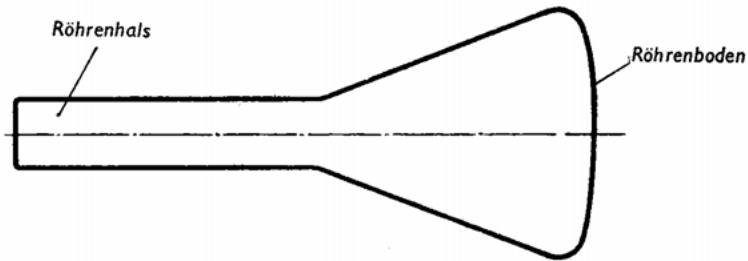


Abb. 5. Normaler Glaskolben für Kathodenstrahlröhren; das Innere wird luftleer gepumpt

kolbens einzustrahlen. Wir nennen es daher „Strahlerzeugersystem“. Die Zuleitungen zu den einzelnen Teilen des Systems werden durch einen **Quetschfuß** oder einen **Preßglasteller** in Leitungen aus besonderen Metallen geführt, die bei Erwärmung die gleiche Ausdehnung wie das Glas besitzen, damit bei hohen und tiefen Temperaturen der luftdichte Abschluß der Röhre gewährleistet bleibt.

Meist wird am Ende des Röhrenhalses ein **Sockel** aus Kunstharzstoffen aufge kittet, in den die Kontaktstifte eingesetzt sind.

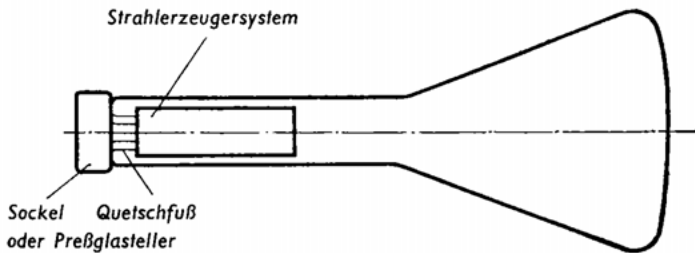


Abb. 6. Lage des Strahlerzeugersystems mit Quetschfuß und Sockel in Kathodenstrahlröhren

8. Das **Elektronenstrahlbündel** schießt aus dem Erzeugersystem in Richtung der Röhrenachse heraus und trifft, wenn es unbeeinflusst bleibt, am Ende des Röhrenkolbens die Mitte des Röhrenbodens. Dieser ist innen mit

einer **Leuchtschirm** versehen, die bei dem Aufprall von Elektronen je nach der chemischen Zusammensetzung in verschiedenen, dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßten Farben aufleuchtet (Abb. 7).

Schaltet man also die Kathodenstrahlröhre ein und sieht von vorn auf die Außenseite des **Leuchtschirmes**, so zeigt sich in der Mitte des meist kreisförmigen Schirmes ein hell aufleuchtender Punkt (**Leuchtfleck**, **Elektronenbrennfleck**, **Bildpunkt**).

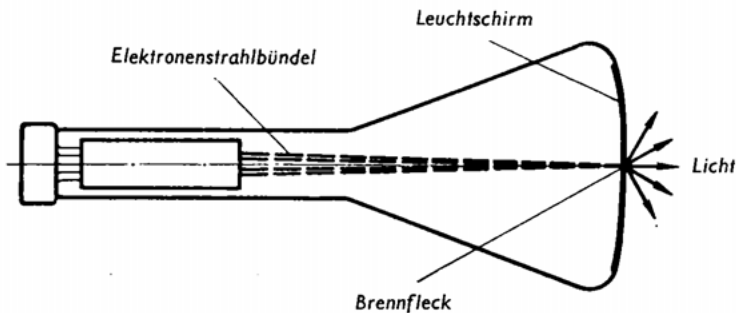


Abb. 7. Aufleuchten des Leuchtschirmes beim Aufprall des Elektronenstrahlbündels

9. Als weitere wichtige Einrichtungen der Röhre kommen die Ablenkvorrichtungen hinzu. Man will mit dem Elektronenstrahl auf dem Schirm Kurvenbilder schreiben und muß dazu das Strahlenbündel hin- und herbewegen. Dazu dienen die sogenannten **Ablenkorgane**; sie erzeugen entweder veränderliche **elektrische Felder** und sind dann als Kondensatorplattenpaare **innerhalb** der Röhre angeordnet (Abb. 8 oben), oder sie erzeugen **magnetische Felder** und werden von **außen** in Gestalt von besonders geformten Spulen über oder an den Röhrenhals geschoben (Abb. 8 unten).

Da der Leuchtschirm an der Stelle aufleuchtet, wo ihn der Elektronenstrahl trifft, macht der Leuchtfleck auf dem Bildschirm die Bewegung des abgelenkten Elektronenstrahles mit und „schreibt“ so auf dem Leuchtschirm ein Kurvenbild.

### Überblick

Die wesentlichen Bauteile der Kathodenstrahlröhre sind:

1. Der **Glaskolben**; er wird luftleer gepumpt.
2. Das **Strahlerzeugersystem** zur Erzeugung eines Elektronenstrahlbündels.

3. Der **Leuchtschirm**; er leuchtet beim Auftreffen der Elektronen hell auf.
4. Die **Ablenkorgane** zur Bewegung des Elektronenstrahlbündels auf dem Leuchtschirm durch elektrische oder magnetische Felder.

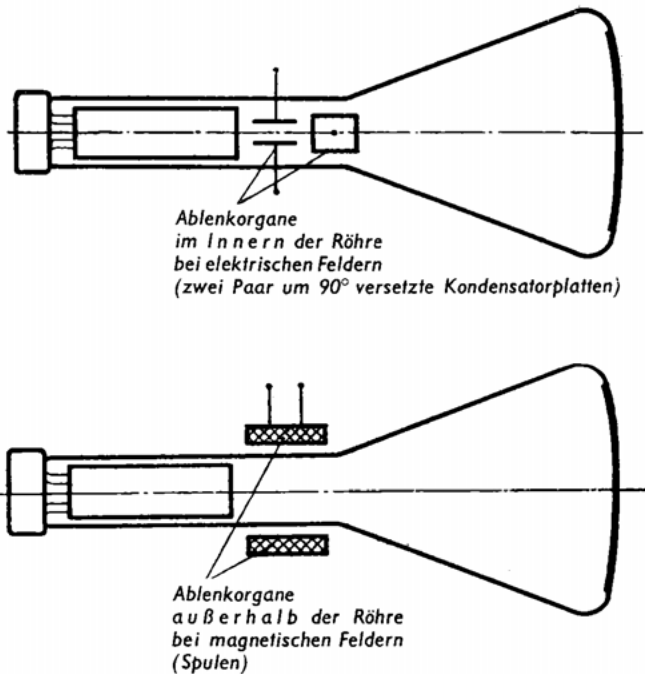


Abb. 8. Anordnung der Ablenkorgane zur Bewegung des Elektronenstrahlbündels in Kathodenstrahlröhren

## 2. Die Bewegungsarten des schreibenden Elektronenstrahlbündels

### a) Rechtwinklige Koordinaten, gerade (lineare) „Zeitachse“

10. Am häufigsten findet man in der Wissenschaft und Technik die bildliche (graphische) Darstellung von Kurven in sogenannten **rechtwinkligen Koordinaten**, wobei unter Koordinaten zwei **voneinander abhängige Maßzahlen** eines Vorganges (etwa: Bewegung und Zeit) verstanden werden.

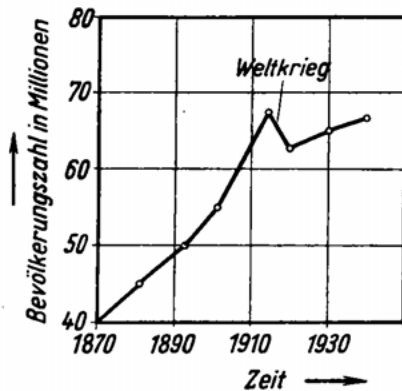


Abb. 9. Bevölkerungsdiagramm von Deutschland

Diese Art ist heute allgemein bekannt, man denke z. B. nur an die bildliche Darstellung von Bevölkerungsveränderungen in einem Schaubild.

Auf der horizontalen Achse, der „**Abszissenachse**“, sind die Jahreszahlen, Monate, Tage, kurz die Zahl der **Zeiteinheiten** angeschrieben und in Richtung der vertikalen Achse, der „**Ordinatenachse**“, die jeweilige Zahl der **beobachteten Größe**, z. B. die Einwohnerzahl eines Landes (Abb. 9).

Ein anderes Beispiel der Aufzeichnung in rechtwinkligen Koordinaten ist die selbsttätige Registrierung des Barometerstandes an einem **Barographen** auf einem Papierstreifen, der auf einer von einem Uhrwerk langsam gedrehten Trommel aufgespannt ist. Auch hier zeigt die **horizontale** Koordinate die Zeit an, die **vertikale** Koordinate die veränderliche Höhe des Luftdrucks.

11. Ganz entsprechend ist es bei der Aufzeichnung von elektrischen

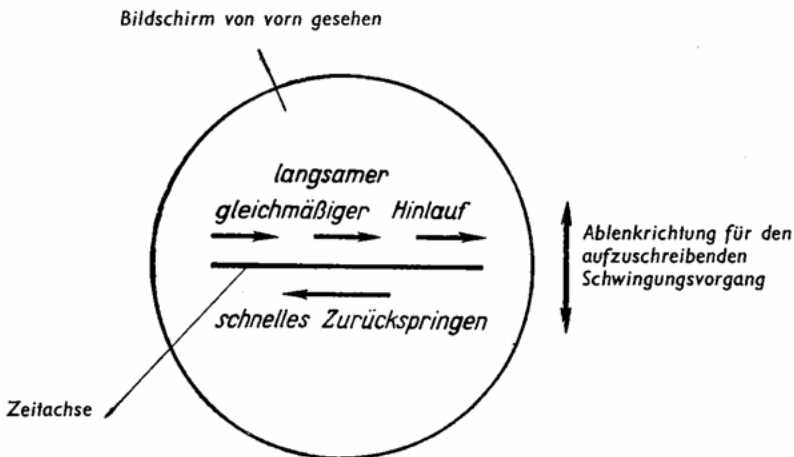


Abb. 10. Bewegung des Elektronenstrahlbündels und Leuchtfleckes auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre bei Ablenkung in rechtwinkligen Koordinaten mit horizontaler Zeitachse