

# Die Elektronenröhre als physikalisches Meßgerät

Röhrenvoltmeter · Röhrengalvanometer  
Röhrenelektrometer

Von

**Dr. Josef Schintlmeister**

Dozent für Experimentalphysik an der Universität Wien

Vierte unveränderte Auflage

Mit 126 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Wien GmbH

1945

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

© Springer-Verlag Wien 1942, 1943

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag OHG. in Vienna 1943

ISBN 978-3-662-37273-9      ISBN 978-3-662-38002-4 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-38002-4

## Vorwort zur ersten Auflage.

Fast alle Bücher über Elektronenröhren sind für die Bedürfnisse der Hochfrequenz-Nachrichtentechnik oder der Elektroakustik zugeschnitten. Daneben wird aber die Elektronenröhre auch noch bei Messungen im Forschungs- und Betriebslaboratorium verwendet. Es fehlte bisher an einer zusammenfassenden, für die Laboratoriumspraxis bestimmten Darstellung, die auch jedem in Röhrenfragen weniger Bewanderten in die Hand gegeben werden kann und welche die besonderen Anforderungen darlegt, die an die Röhrengeräte als physikalische Meßinstrumente gestellt werden. Jeder Wissenschaftler, der die Röhren nur als Hilfsmittel benutzt und sich Röhrengeräte selbst zusammenstellen muß, ohne dabei die Zeit zu finden, allen Sonderfragen, wie z. B. der Verwendung von Elektrometerröhren, Verringerung der Nullpunktswanderungen bei Gleichspannungsverstärkung usw. im einzelnen nachzugehen, findet in dem Buche die gesuchte Auskunft. Auf praktische Angaben und Hinweise für die konstruktive Ausgestaltung wurde größter Wert gelegt. Wenn solche Einzelheiten manchmal den glatten Fluß der Darstellung unterbrechen, so möge dabei bedacht werden, daß das Buch nicht geschrieben ist, um beim Durchlesen einen allgemeinen Überblick über das Thema zu geben, sondern um den praktisch mit Elektronenröhren arbeitenden Wissenschaftlern ein erfolgreiches Arbeiten zu ermöglichen. Gerade dieser Leserkreis wird es begrüßen, wenn manche Schwierigkeit durch eine Bemerkung behoben wird. Trotz dieser Zielsetzung und der für den Nichtspezialisten gerichteten Schreibweise hoffe ich, daß auch der Röhren- und Verstärkerfachmann manche interessante Einzelheit bemerken wird.

Elektronenröhrenmeßgeräte sind bei vielen Untersuchungen verwendet worden. Das Buch kann deshalb nur eine Auswahl bringen. Da für jedes Gebiet eine eingehende Darstellung notwendig ist, habe ich mich entschlossen, nur folgende drei Geräte zu behandeln: Die Röhrenvoltmeter für Gleichspannungen, die Röhrengalvanometer und die Röhrenelektrometer. Vorangesehen wurde ein Abschnitt über die Elektronenröhre und ihre Schaltung, der die notwendigen Voraussetzungen für das Verständnis von Elektronenröhrengeräten im allgemeinen vermittelt.

Bei der Besprechung der Röhrenvoltmeter für Gleichspannungen wurde die  $p_H$ -Messung und die acidimetrische Titration als Anwendungsbeispiel behandelt. Von verschiedensten Firmen werden dafür Röhren-

voltmeter auf den Markt gebracht. Diese Geräte abzubilden und zu besprechen, konnte ich mich nicht entschließen. Eine solche Aufzählung müßte wenigstens die deutsche Industrie vollständig umfassen. Auch hat der Leser von der Ansicht eines Gehäuses mit Drehknöpfen und eingebauten Meßinstrumenten nur einen sehr geringen Gewinn. Ich habe jedoch angestrebt, diesen Abschnitt so abzufassen, daß ein volles Verständnis für jedes beliebige käufliche Gerät beim Durchlesen vermittelt wird. Die Röhrenvoltmeter für Wechselspannungen fanden keine Aufnahme, da zusammenfassende Darstellungen darüber vorliegen. Auch werden mit ihnen meist hochfrequenztechnische und selten physikalische Messungen durchgeführt.

Bei den Röhrengalvanometern wurde die Messung von kleinen Photoströmen und von Ionisationsströmen durch radioaktive oder Röntgenstrahlen eingehender berücksichtigt.

Die Röhrenelektrometer schließlich gewinnen in der Atomkernforschung immer größere Bedeutung. Sie wurden besonders ausführlich auch nach der konstruktiven Seite hin behandelt, da Geräte für diesen Zweck bisher nicht im Handel sind. Jeder, der sich mit Kernforschung beschäftigt, muß also zur Zeit mit selbstgebaute Röhrenelektrometern arbeiten.

Viele Schaltungen, die in diesem Buche aufgenommen sind, wurden im Rahmen irgendeiner Experimentaluntersuchung veröffentlicht, deren Titel keinen Hinweis auf den röhrentechnischen Teil enthält. Dieser Umstand erschwerte sehr das Suchen nach Arbeiten, die zu berücksichtigen waren. Ich möchte daher bitten, von solchen neu erscheinenden Abhandlungen mir Mitteilung zu machen und gegebenenfalls Sonderabdrucke zu überlassen.

Fräulein Dr. LUPMILLA HOLIK danke ich für die Durchführung zahlreicher Messungen und die numerischen Berechnungen im vierten Abschnitt. Herrn Professor Dr. GEORG STETTER und Herrn Dr. WILLIBALD JENTSCHKE danke ich für eine kritische Durchsicht des Manuskripts.

Wien, im Oktober 1941.

J. Schintlmeister.

## Vorwort zur dritten und vierten Auflage.

In der kurzen Zeit seit der Bearbeitung der zweiten Auflage sind keine Ergänzungen nötig geworden. Präziser dargelegt wurde nur auf Seite 8 der Begriff des Kontaktpotentials. Auf Seite 140 wurde die inzwischen gewonnene Erklärung für die Größenunterschiede der Eichausschläge verschiedener Richtung eingefügt.

Wien, im September 1943.

II. Physikalisches Institut der Universität,  
Wien IX/66, Strudelhofgasse 4.

J. Schintlmeister.

# Inhaltsverzeichnis.

Literaturübersicht .....	Seite VII
--------------------------	--------------

## Erster Abschnitt.

### Die Elektronenröhre und ihre Schaltung.

1. Der Bau von Elektronenröhren .....	I
2. Der Elektronenübergang und die Röhrenkennlinie .....	2
3. Die Elektronenröhre als Verstärker .....	11
4. Der Gitterstrom .....	18
5. Elektrometerröhren .....	24
6. Die Messung kleiner Gitterströme .....	31
7. Der Betrieb von Elektronenröhren .....	35
a) Die Arbeitssteilheit einer Endröhre .....	35
b) Die Spannungsverstärkung einer Hochfrequenzpentode .....	37
c) Die Einstellung einer Elektrometerröhre auf Spannungsverstärkung .....	40

## Zweiter Abschnitt.

### Die Elektronenröhre als Voltmeter für Gleichspannungen.

1. Übersicht über die Verwendung, $p_H$ -Messung und Titration .....	45
2. Die Meßmethodik .....	48
a) Kompensation der zu messenden Spannung durch eine Gegenspannung ..	48
b) Die Ausschlagsmethode .....	50
c) Die Empfindlichkeit beider Methoden .....	51
3. Die Verringerung der Nullpunktswanderungen .....	53
a) Die Heizung der Röhren .....	53
b) Brückenschaltungen mit zwei Röhren .....	57
4. Gleichspannungsverstärkung .....	63
5. Sonstige Verstärker .....	72

## Dritter Abschnitt.

### Die Elektronenröhre als Galvanometer.

1. Übersicht .....	79
2. Messung des Stromes durch Messung des Spannungsabfalles an einem Widerstand .....	80
a) Prinzip der Methode .....	80
b) Der Einfluß des Gitterstromes .....	82
c) Die Empfindlichkeit .....	89
d) Herstellung hochohmiger Widerstände .....	91

	Seite
3. Strommessung durch Messung der transportierten Ladung .....	92
a) Die Auflademethode .....	92
b) Kompensation der Ladung mit einem Uran-Stromnormal .....	93
c) Kompensation der Ladung durch Influenzladungen .....	94
d) Entladungsmethode (Mekapion) .....	97

#### Vierter Abschnitt.

##### Die Elektronenröhre als Elektrometer.

1. Übersicht .....	100
2. Die Zeitkonstante einer Kondensatorentladung .....	104
3. Der Aufladevorgang in einer Ionisationskammer bei einmaliger Ionisation .....	107
4. Die Kapazität des Steuergitters .....	116
5. Der Gitterwiderstand und die Störschwankungen im Anodenstrom .....	120
6. Das Röhrenelektrometer mit großer Zeitkonstante und Gleichspannungs- verstärkung .....	127
a) Die Konstruktion .....	127
b) Die Eichung .....	139
$\alpha$ ) Bestimmung der Ladungsempfindlichkeit .....	139
$\beta$ ) Bestimmung der Spannungsempfindlichkeit .....	143
c) Das Doppelröhrenelektrometer .....	145
7. Das Röhrenelektrometer mit kleiner Zeitkonstante und Widerstands- Kapazitätskopplung .....	146
a) Die Wahl der Kopplungselemente .....	146
b) Die Konstruktion .....	161
c) Bestimmung der Ladungsempfindlichkeit .....	167
d) Mit Thyatron betriebene Meßzählwerke .....	170
Sachverzeichnis .....	187

## Literaturübersicht.

Es ist nicht das Ziel des ersten Abschnittes dieses Buches, eine umfassende Darstellung der Elektronenröhren zu liefern. Er soll vielmehr nur das Wesentliche zum Verständnis der folgenden Abschnitte bringen und dem Nichtfachmann dazu verhelfen, unter der für ihn meist verwirrenden Vielzahl von Röhrentypen die jeweils beste für eine bestimmte Schaltung auszuwählen und sie auch richtig und sinngemäß zu benutzen. Dazu ist aber vor allem eine klare Einsicht in die Wirkungsweise der Elektronenröhren erforderlich. Es wird aber darüber hinaus nicht zu umgehen sein, in ausführlichen Werken Einzelfragen nachzuschlagen. Folgende Bücher seien hierzu empfohlen:

L. RATHEISER: *Rundfunkröhren*, 5. Aufl., Berlin: Union Deutsche Verlagsgesellschaft Roth & Co., 1942.

*Philips Bücherreihe über Elektronenröhren*, 1. Bd.: Grundlagen der Röhrentechnik, 1939; 2. Bd.: Daten und Schaltungen moderner Empfänger- und Kraftverstärker, 1940; (ohne Verfasserangabe). N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Holland.

Diese Werke enthalten eine ausführliche Beschreibung jeder einzelnen handelsüblichen Rundfunk-Empfängerröhre, alle für deren Betrieb erforderlichen technischen Angaben, wie Kennlinien, normale Betriebswerte, Höchstwerte usw., wie auch Hinweise für die Verwendung jeder Röhre. An Hand guter Bilder wird über den technischen Aufbau und die Herstellung der Röhren unterrichtet. In leichtfaßlicher Weise wird auch alles für die Benutzung der Röhren in der Praxis notwendige Wissen vermittelt.

H. ROTHE und W. KLEEN: *Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren; Elektronenröhren als Anfangsstufen-Verstärker; Elektronenröhren als End- und Senderverstärker; Elektronenröhren als Schwingungserzeuger und Gleichrichter* (Bücherei der Hochfrequenztechnik, Bd. 2, 3, 4 und 5). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft. 1940 und 1941.

Sämtliche grundsätzliche Fragen werden in diesen Büchern eingehend behandelt. Ein Verzeichnis der wichtigsten Arbeiten, vor allem aus neuerer Zeit, ist jedem Kapitel beigegeben.

H. BARKHAUSEN: *Lehrbuch der Elektronenröhren und ihrer technischen Anwendung*, 4 Bände, 4. Aufl. Leipzig: S. Hirzel, 1931 bis 1937.

Eine umfassende lehrbuchartige Darstellung der Elektronenröhren. Was für die folgenden Abschnitte des vorliegenden Buches von Wichtigkeit ist, enthalten die beiden ersten, in technischen Einzelheiten allerdings schon etwas veralteten Bände.

M. J. O. STRUTT: *Moderne Mehrgitter-Elektronenröhren*, 2. Aufl. Berlin: Springer, 1940.

Eine Zusammenfassung des neuesten Standes der Entwicklung, die besonders dem ausgesprochenen Röhrenfachmann von Nutzen ist. Ein gewisses Maß von Vorkenntnissen ist zum vollen Verständnis des Werkes unerlässlich.

Über einschlägige elektrotechnische Fragen im allgemeinen unterrichten:

F. BENZ: *Einführung in die Funktechnik*. 2. Aufl. Wien: Springer, 1943, und das umfangreichere Buch:

F. VILBIG: *Lehrbuch der Hochfrequenztechnik*, 3. Aufl. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1942.

Noch ausführlicher ist das

*Lehrbuch der drahtlosen Nachrichtentechnik*, herausgegeben von N. v. KORSHE-NEWSKY und W. T. RUNGE, Berlin: Springer, von dessen 6 Bänden bisher vorliegen:

Bd. I. HANS GEORG MÖLLER: *Grundlagen und mathematische Hilfsmittel der Hochfrequenztechnik*, 1940.

Bd. II. L. BERGMANN und H. LASSEN: *Ausstrahlung, Ausbreitung und Aufnahme elektromagnetischer Wellen*, 1940.

Bd. IV. M. J. O. STRUTT: *Verstärker und Empfänger*, 1943.