

Grundversuche mit Detektor und Röhre

Von

Dr. Adolf Semiller

Studienrat am Askanischen Gymnasium und Real-Gymnasium
zu Berlin

Mit 28 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1925

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

ISBN-13:978-3-642-47292-3 e-ISBN-13:978-3-642-47726-3
DOI: 10.1007/978-3-642-47726-3

Herrn Ministerialrat Dr. Metzner
Honorar-Professor an der Technischen Hochschule
zu Charlottenburg

in Verehrung gewidmet.

Vorwort.

Die Funkentelegraphie und die drahtlose Telephonie üben immer mehr bestimmenden Einfluß auf das Wirtschafts- und Verkehrsleben der Völker aus. Mit dem Augenblick, wo die Funkentelegraphie als sicheres Nachrichtenmittel ausgebaut war, begann ihr Siegeszug Hand in Hand mit ihrer älteren Schwester, der Drahttelegraphie. Es ist bekannt, wie beide einander ergänzen, insofern namentlich der Nachrichtendienst mit den auf der Fahrt begriffenen Schiffen von Land aus und der Schiffe untereinander aufrechterhalten werden kann, und wie die immer mehr beanspruchten Land- und Seekabel durch die Funkentelegraphie Entlastung erfahren; beispielsweise die Überseekabel durch die drahtlose Übersee Verbindung Nauen-Marion.

Besonders geeignet erweist sich die Funkentelegraphie zur Übermittlung kurzer Nachrichten, die gleichzeitig an mehrere Stellen gelangen sollen; Nachrichtendienst; Signale von in Not befindlichen Schiffen.

Diese gleichen Aufgaben kann die Radiotelephonie erfüllen. Als Rundfunk wirkt sie unterhaltend und belehrend auf alle Schichten des Volkes ein und verspricht damit zu einem wichtigen Kulturfaktor zu werden.

Insofern der Rundfunk ein starkes Mittel zur Beeinflussung der öffentlichen Meinung, zur Hebung und Vervollkommnung von Volksbildung und Volkserziehung darstellt, muß er zu gewaltiger Macht anwachsen.

Dadurch, daß viele Amateure und Schüler der höheren Schulen und der Hochschulen sich bemühen, in die physikalischen Grundlagen und die Technik der Hochfrequenz einzudringen, verfolgen sie humanistische Ziele und fördern damit die Kultur. An sie wendet sich vorliegende Arbeit, die nachstehende Zwecke verfolgt:

1. Sie dient dem Lehrer an höheren Schulen und den Leitern von Radiokursen für Amateure, welche die Audionversuchserlaubnis erlangen wollen, als Grundlage für ihren experimentellen Unterricht und ihre Übungen mit Detektor und Röhre.

2. Sie will dem Schüler und Amateur die Möglichkeit geben, die im Unterricht gesehenen Versuche wiederholen zu können, um dadurch das im Unterricht Gesehene zu geistigem Gut werden zu lassen.

3. Sie will dem Bastler die Herstellung einiger Grundgeräte der Radiotelephonie zeigen und eine genaue Beschreibung einfacher Versuche mit Grundgeräten der Radiotelephonie geben, damit er nach Absolvierung des in der Schrift Gebotenen in den Stand gesetzt wird, durch weitere selbständige Untersuchungen sein auf Erkenntnis gerichtetes Streben befriedigen zu können.

Daß wir heute einen Rundfunk haben und daß die Funkentelegraphie immer mehr eine wirkungsvolle Ergänzung der Drahttelegraphie bildet, verdanken wir hauptsächlich der Einführung des Detektors bei den Empfängern und dem präzisen Ausbau der Elektronenröhre als Verstärker, Gleichrichter und Generator.

Als Verstärker ermöglicht die Röhre die Verkleinerung und damit die Verbilligung von Sendestationen.

Als Gleichrichter ist sie infolge ihrer größeren Zuverlässigkeit besser geeignet als der Kristalldetektor.

Als Generator oder Schwingungserzeuger läßt sie infolge der Abstimmstärke ihres Schwingungskreises den Schwebungsempfang, dann die Überbrückung weiter Räume mit kleinen Energien und schließlich das gleichzeitige ungestörte Arbeiten vieler räumlich eng beieinander liegenden Funksender ohne weiteres zu. Durch die Konstanz der Schwingungen fand die Röhre für akustische Übertragung bald Eingang.

Trotz ihrer großen praktischen Bedeutung und ihrer feinen Physik ist es zum mindesten fraglich, ob dem Detektor und der Röhre im Physikunterricht der höheren Schulen ein Platz eingeräumt werden kann oder nicht.

Die meisten Physiklehrer werden sich gegenwärtig noch für nein entscheiden, und manche von ihnen werden es mit Recht tun, solange sie an der in unseren Schulphysikbüchern angegebenen Behandlung der Elektrizität festhalten. Sie werden sagen, daß bei der Fülle des notwendig zu behandelnden Stoffes und bei der geringen Physikstundenzahl für neuen Stoff kein Platz mehr ist. Das ist aber noch nicht der schwerwiegendste Grund, den sie für ihre Ansicht ins Feld führen können. Sie werden weiter sagen, daß bei den vielseitigen Interessen unserer

heutigen Jugend schon viel erreicht ist, wenn die Elemente der Physik geistiges Gut ihrer Schüler geworden sind.

Das bei Schülern beliebte Verfahren, nur einige Versuche mit Detektoren und Elektronenröhren vorgeführt zu sehen, werden fast alle Lehrer ablehnen. Dadurch wird zu leicht bei den Schülern der Dünkel geweckt, nun könnte ihnen niemand mehr etwas Neues über die Wirkungsweise moderner Stationen sagen, selbst der Hochschullehrer nicht.

Vielleicht ist es aber möglich nach dem Verfahren unseres Meisters Grimsehl, die Elektronenröhre und den Detektor mit ihren hauptsächlichsten Anwendungen eingehend zu behandeln unter Verzicht auf einen gleichmäßigen Überblick über die ganze Physik. An Anregungen seitens der Schüler, gerade dieses Gebiet eingehender zu behandeln, wird es nicht fehlen.

Für physikalische Schülerübungen sind wohl einige messende Versuche: Charakteristik des Detektors und der Röhre, Aufnahme von Kennlinien, Steilheit, Durchgriff, Widerstand der Röhre und Eichung eines Schwingungskreises mit dem Wellenmesser geeignet.

An den Schulen, an welchen ein naturwissenschaftlicher Verein besteht, könnten Detektor und Elektronenröhre den Stoff zu einer Vortragsreihe bilden, allerdings wäre dazu nötig, wenn die Vorträge durch einen Schüler gehalten werden sollen, daß dieser dazu sich schon durch häuslichen Fleiß einige Kenntnisse über elektrische Schwingungen angeeignet hätte, und daß der Physiklehrer dem Schüler mit Rat und Tat zur Verfügung stünde. Die behelfsmäßigen Apparate könnte der Schüler in den Schülerübungen anfertigen und ebenso die Versuche unter Aufsicht des Lehrers anstellen.

Die Literatur über die Elektronenröhre ist sehr ausgedehnt, ich erinnere nur an die Fülle von Abhandlungen über Physik und Technik der Röhre im Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie, sowie an die populären Darstellungen in der Zeitschrift „Der Radio-Amateur“, dem Organ des Deutschen Radio-Clubs. Recht beträchtlich ist auch der Raum, der diesem Gebiet in Lehrbüchern der Elektrizität gewidmet wird. Selbst Abhandlungen, die sich ausschließlich mit diesem interessanten Gebiet beschäftigen, sind erschienen, manche sind sogar populär gehalten und entbehren jeglicher Mathematik.

Für möglich halte ich es, daß ein Lehrer, dem Fragen über Hochfrequenz besondere Freude bereiten, die Literatur verfolgen kann, vorausgesetzt, daß ihm Fachzeitschriften in genügender Anzahl zur Verfügung stehen. Selbst wenn ein Lehrer die Zeit für eingehende Studien aus erster Quelle aufbringen könnte, so verbliebe ihm zur Vorbereitung auf seinen Unterricht noch die zeitraubende Arbeit, mit den oft nur dürftigen Mitteln seiner Sammlung die wichtigsten Versuche auf dem Gebiete der Hochfrequenz nachzumachen, um damit zu prüfen, welche davon als Unterrichtsversuche aufgenommen werden können und welche nicht.

Für ausgeschlossen halte ich es, daß jeder Physiklehrer sich dieser Mühe unterziehen kann; dafür ist die freie Zeit für manche zu kärglich bemessen, und außerdem bedürfen andere Gebiete, ich erinnere nur an die Atomphysik, ähnlicher Beackerung.

Die Zeitschriften für den naturwissenschaftlichen Unterricht stellen für umfangreiche didaktische Bearbeitungen von Sondergebieten nicht den notwendigen Raum zur Verfügung; sie referieren höchstens über Versuche. Referate nützen dem Fachlehrer in den meisten Fällen nur wenig. Dieser muß, um sich in Kürze in ein ihm bisher fremdes Sondergebiet einzuarbeiten, restlos in die Werkstatt und Arbeit seines Fachkollegen schauen können.

Den Versuch, diesen Forderungen gerecht zu werden, stellt vorliegende Arbeit dar. Stets war ich bemüht, komplizierte Geräte für die grundlegenden Versuche zu vermeiden.

Die in der Arbeit beschriebenen Versuche sind ausnahmslos mit Geräten aus der Sammlung des Askanischen Gymnasiums, aus Heeresgut zugewiesenen und von Schülern angefertigten Apparaten in den Jahren 1920/21 angestellt worden. Die Absicht, sie zu veröffentlichen, habe ich nicht gehabt.

Mit den Teilnehmern an den von dem Direktor der Staatl. Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Herrn Prof. Matthée, eingerichteten Lehrgängen zur Hochfrequenztechnik im physikalischen Institut der Handelshochschule zu Berlin habe ich des öfteren über die Behandlung der Hochfrequenz in der Schule gesprochen. Durch diese Besprechungen bin ich zu der Auffassung gelangt, daß das vorliegende Bändchen vielen Kollegen willkommen sein wird.

Um der Aufforderung möglichst schnell zu entsprechen, habe ich von einer Erweiterung des behandelten Gebietes Abstand

genommen, habe aber die Absicht, den ganzen Komplex der hier in Frage kommenden Erscheinungen demnächst ausführlicher darzustellen.

Das Verzeichnis der verwendeten Apparate findet sich auf Seite 5. Die mit einem Stern verzeichneten Geräte befinden sich wohl in den meisten Sammlungen höherer Lehranstalten. Die als wünschenswert bezeichneten Apparate können für die Einführung in die Physik der Elektronenröhre entbehrt werden.

Meinem lieben Kollegen, Herrn Studienrat Dipl.-Ing. Kapfer, spreche ich auch hier für seine mir stets bereitwilligst gewährte Hilfe beim Aufbau der Versuchsanordnungen und Ausführung der Messungen meinen aufrichtigsten Dank aus.

Berlin, im Juni 1925.

Dr. Adolf Semiller.

Inhaltsverzeichnis.

1. Apparateverzeichnis	I
Notwendige Apparate	1
Wünschenswerte Apparate	2
2. Die Relais	3
3. Montierung einer Elektronenröhre	6
4. Versuche mit der Elektronenröhre	7
5. Der Kristalldetektor	10
Schaltung des Detektors	11
Wirkungsweise des Detektors	11
6. Charakteristik eines Detektors	14
7. Die Ventil- oder Gleichrichterröhre	15
8. Charakteristik der Röhre	17
9. Der Durchgriff D	20
10. Definition und Messung des inneren Widerstandes R_i einer Röhre	22
11. Steilheit der Kennlinie	23
12. Zusammenhang zwischen S , D und R_i	24
13. Röhrgleichung	25
14. Der Niederfrequenzverstärker	25
15. Der Hochfrequenzverstärker und Widerstandsverstärker	30
16. Die Elektronenröhre als Generator, der Röhrensender	33
17. Wirkungsweise der Röhre als Generator	37
18. Schwebungen	38

I. Apparateverzeichnis.

1. Notwendige Apparate.

a) Von Fabriken oder Händlern zu beziehende Apparate.

1. 2 Elektronenröhren, Metallfaden pro Stück 6,30 M.
Sparröhren pro Stück 8,30 M.
2. 2 Stative als Träger für Röhren*.
3. Leitungsklemmen aller Art* 0,10 M. bis 0,25 M.
4. Akkumulatorenbatterie 4 Volt, 17 Amperestunden* 19,— M.
Akkumulatorenbatterie 6 Volt, 40 Amperestunden* 35,— M.
5. 16 Volt Akkumulatorenbatterie oder Trockenbatterie (s. Nr. 4 bzw. Nr. 13).
6. Regulierwiderstände bis 10 Ohm, 20 Ohm, 50 Ohm
1,— M. bis 1,35 M.
7. 1 Regulierwiderstand bis mindestens 100 Ohm*.
8. Blockkondensatoren $\frac{1}{2}$ Mikrofarad 2,— M.
1 MF 2,50 M.
2 MF 3,— M.

Bei Verwendung von Nr. 13 unnötig.

9. a) 1 Milliampere-meter (hierzu ist jedes Nullinstrument, wie es beispielsweise in der Wheatstoneschen Brücke Verwendung findet, brauchbar. Es ist zu eichen).*
- b) 1 Galvanometer (Empfindlichkeit 10^{-5} bis 10^{-7} Ampere; ist besser geeignet als 9a; es gestattet objektive Messungen).
10. 1 Telephoninduktor (permanenter Magnet mit Doppel-T-Anker).*
11. 2 Glühlampen von 110 Volt (wenn Zentrale 220 Volt Gleichspannung liefert).* (Unnötig bei Vorhandensein von 13.)
12. 1 Fernhörer * 9,— M. bis 14,— M.
13. 1 Anodenbatterie 60 Volt, 90 Volt, 100 Volt 6,— M. bis 15,— M.

b) Behelfsmäßige Apparate.

1. 1 Gestell für Elektronenröhre (Abb. 3).
2. 1 Kristalldetektor (Abb. 8).

3. 2 Plattenkondensatoren (Abb. 23).
4. 2 bzw. 4 Selbstinduktionen (Abb. 22 und 25).
5. 1 Mikrophon (Abb. 19).
6. 2 Stromwender.

2. Wünschenswerte Apparate.

1. 4 Holzsche Fußklemmen.
 2. 1 Voltmeter bis 150 Volt.
 3. 1 Wechselstrommaschine.
 4. 2 Drehkondensatoren (500 cm bzw. 1000 cm) mit Feineinstellung fertig montiert, je nach Größe von 19,— M. an.
 5. 1 Antenne (Kupferdraht oder besser Siliciumbronzedraht) über Schulhof in Schulhaushöhe mit Antennenzuführung nach Physikaal oder Zimmerantenne.
Antennenlitze 100 m 5,— M.
 6. 1 Detektorempfänger in bester Ausführung . . . 25,— M.
 7. 1 Thermoelement.*
 8. 1 Wellenmesser bis 1600 m mit Summerbrett und Seibt-Summer und Detektorbrett mit Detektor vollständig, jedoch ohne Fernhörer: 118,— M.
 9. 1 Niederfrequenzverstärker
 10. 1 Widerstandsverstärker
 11. 1 Hochfrequenzverstärker
- | | |
|---|---|
| } | Preis nach Anfrage; empfehlenswert ist die Anschaffung der Einzelteile eines Verstärkers und die eigenhändige Zusammenstellung der Einzelteile zu einem Verstärker nach mitgelieferter Zeichnung. |
|---|---|
12. 1 Spule (Fig. 25) (anstelle von Ib4).
 13. 1 Experimentierdetektor (anstelle von Ib2) . . . 4,50 M.
 14. Honigwabenspulen je nach Größe (anstelle von Ib4) von 1,50 an
 15. Röhrensockel (anstelle von Ib1) pro Stück . . . 1,— M.
 16. 1 Lautsprecher z. B. MW 99 68,— M.

Sämtliche in vorstehendem Verzeichnis angegebenen Apparate werden von der Firma Dr. Friedrich Moeller & Co., Radioingenieurbüro, Berlin-Neukölln, Kaiser Friedrichstr. 237 zu den angefügten Preisen in bester Ausführung geliefert. Herr Dr. Moeller ist Beirat für Radiowesen an der Staatl. Hauptstelle für den naturw. Unterricht in Berlin.

II. Die Relais.

Eine wesentliche Vervollkommnung hat die Drahttelegraphie durch Einführung der elektromagnetischen Relais erfahren. Auf langen Fernleitungen werden die von einer Gebestation ausgesandten Ströme zu schwach, um den Schreibstift eines Morseapparates direkt betätigen zu können. Die schwachen Ströme sind aber imstande, wenn sie die Wicklungen eines Elektromagneten durchfließen, ein durch eine Feder geführtes Stück weichen Eisens anzuziehen und nach Aufhören des Fließens des Stromes wieder freizugeben. Wird auf der Gebestation die Taste gedrückt, so fließt in der Fernleitung ein Strom. Das Stück Eisen wird angezogen und damit der Strom einer Lokalbatterie an der Empfangsstation geschlossen. Durch den Lokalstrom wird der Schreibapparat betätigt und auf dem Papierband ein Strich aufgezeichnet. Wird die Taste auf der Gebestation losgelassen, so ist die Fernleitung und damit der Elektromagnet des Relais stromlos. Das Eisenstück des Relais kehrt in seine Ruhelage zurück. Der Lokalstrom wird unterbrochen, und der Schreibstift berührt nicht mehr das Papierband.

Anfänglich benutzte man auch in der drahtlosen Telegraphie diese Relais. Sie wurden betätigt durch die Antennenströme der Empfangsstation unter Verwendung eines Kohärens.

Bei größeren Entfernungen von einer Sendestation reichten aber die schwachen Antennenströme der Empfangsstation nicht mehr aus, selbst das Relais zu betätigen. Man mußte also, um größere Reichweiten zu erzielen, entweder die von der Antenne ausgestrahlte Energie vergrößern, was nur durch Vergrößern der Maschinenanlage und Apparate der Sendestation zu erreichen war (der Größe der Sendestationen waren aber für manche Zwecke [Militärstationen] Grenzen gesetzt), oder man mußte das Relais mit Lokalstrom und Morseschreiber der Empfangsstation durch einen empfindlicheren Stromanzeiger ersetzen. Dies geschah durch Einführen von empfindlichen Kristalldetektoren und des Telephons. Allerdings war damit in Kauf zu nehmen, daß der objektive Empfang durch den subjektiven ersetzt war. Ähnlich lagen die Verhältnisse bei der Telephonie mit Draht. Wollte man auf größere Entfernungen hin telephonieren, so war dies nur durch die Einführung des Telephonrelais zu erreichen.

Im Jahre 1906 meldete Lieben-Reiss ein Telephonrelais als Patent an. Durch sein Telephonrelais wurden die Wechselströme in der Fernleitung zu in allen Teilen gleichartigen Wechselströmen umgewandelt, nur waren die Amplituden der Wechselströme nach Passieren seines Relais vergrößert. Die Röhre von Lieben-Reiss war mit Gas gefüllt und zeigte deshalb Inkonzanz bei längerem Arbeiten und größere Abhängigkeit von der Außentemperatur. Erst als man nach dem Vorschlag von Langmuir dazu überging, die Röhren vollkommen zu evakuieren und als Elektronenquelle einen erhitzten Glühfaden aus Wolfram zu verwenden, der dann bekanntlich Elektronen aussendet, waren diese Unvollkommenheiten beseitigt. In einer solchen Röhre hat man reine Elektronenströme, deren Verhalten durch einfache Gesetze mathematisch festgelegt ist.

Die Elektronenröhren, welche der Verstärkung, als Gleichrichter und als Generator geringer Energie dienen, tragen in einer Glasröhre drei Elektroden.

Den Heizdraht K , Kathode genannt, aus Wolfram. Der Heizdraht wird durch eine Akkumulatorenbatterie von 4—6 Volt Spannung über einen Widerstand bei einer Stromstärke von etwa 0,5 Ampere gespeist.

2. Ein Metallsieb G , Gitter genannt. Die Gestalt dieses Siebes ist bei den einzelnen Röhrenkonstruktionen verschieden.

a) G hat die Gestalt einer ebenen Spirale, K liegt G gegenüber (Abb. 1, Telefunkenröhre älterer Konstruktion).

b) G hat die Gestalt einer zylindrischen Spirale, durch deren Achse der Heizfaden geführt ist (Seddig-Rohr).

c) G hat die Gestalt eines U-förmig gebogenen Rostes (Studien-gesellschaft für elektrische Leuchtröhren).

3. Die Anode A . Im Falle a) ist A ein kleines Aluminiumblättchen, im Falle b) ein um G liegender Zylindermantel aus Metall, im Falle c) ein ebenso wie G gestaltetes Aluminiumblättchen.

Bei allen diesen Röhrenkonstruktionen ist die Anode A von der Kathode K durch das Gitter G getrennt.

Elektronenröhren, in welchen A von G durch K getrennt ist, haben bis jetzt keine praktische Bedeutung erlangt.

Jede Elektronenröhre hat 4 Anschlüsse A_1 , K_1 , K_2 und G_1 (Abb. 1) die auf den Ecken eines Quadrats angeordnet sind. A_1 ist ein hohler Messingzylinder zur Aufnahme des Stiftes eines

Steckers. K_1 , K_2 und G_1 sind drei gleiche Messingstifte. A_1 , der Anschluß der Anode, ist also stets von K_1 , K_2 und G_1 unterschieden. G_1 , der Anschluß zum Gitter, liegt A_1 gegenüber und ist durch K_1 und K_2 , die Anschlüsse zum Heizdraht, getrennt.

An jeder im Betrieb befindlichen Röhre unterscheidet man drei Kreise (Abb. 2): 1. den Heizkreis (punktiert), bestehend aus dem Glühfaden der Kathode K , einem Regulierwiderstand r und einer Batterie B von 4—6 Volt. Der Strom dieses Kreises fließt vom positiven Pol der Batterie B über den Widerstand r , über K zum negativen Pol N der Batterie.

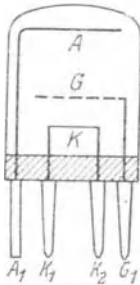


Abb. 1.

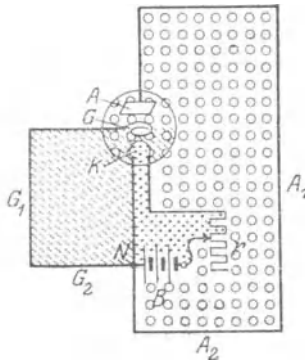


Abb. 2.

2. den Anodenkreis AA_1A_2NKA (durch kleine Kreise gekennzeichnet). Er besteht aus der Anode A , der metallischen Verbindung A_1 und A_2 , der Kathode K und der Gasstrecke KA . Zwischen A und N (an Stelle von A_1 und A_2) ist beim Gleichrichter, beim Verstärker und beim Generator eine 100 Volt-Anodenbatterie eingeschaltet, beim Verstärker noch ein Telefon bzw. die Primärspule eines Transformators, beim Generator ein Schwingungskreis.

3. den Gitterkreis $KN G_2 G_1 K$ (gestrichelt). Er besteht aus dem Gitter G , der Gasstrecke Gitter G , Kathode K , der leitenden Verbindung $G_2 G_1$. In diesen Kreis kann an Stelle von G_1 beim Niederfrequenzverstärker die Sekundärspule eines Transformators, beim Generator beispielsweise eine Selbstinduktionsspule eingeschaltet sein.

An dem Punkt N , dem einen Ende des Glühfadens, kommen alle drei Kreise zusammen. Alle auftretenden Spannungen sollen stets auf die Spannung des Punktes N , das negative Ende des Glühfadens K , bezogen werden. N habe stets die Bezugsspannung Null.

III. Montierung einer Elektronenröhre.

Behelfsmäßig kann man die Röhre in ein Stativ einspannen und die Hülse A , sowie die Steckerstifte K_1 , K_2 und G_1 (Abb. 1) mit dünnem, isoliertem Kupferdraht umwickeln. Die Enden der Kupferdrähte kann man dann zu den Gebrauchsstellen

(Akkumulatoren, Galvanometer usw.) führen. Stehen Holz'sche Fußklemmen zur Verfügung, so empfiehlt es sich zur Erreichung größerer Übersicht der Schaltung die Enden der 4 Kupferdrähte zu je einer Holz'schen Klemme zu führen und auf dem Experimentiertisch mit Kreide an der Stelle, wo z. B. eine Holz'sche Klemme steht, durch G anzudeuten, daß die Klemme zum Gitter G führt; A heiße Verbindungsklemme mit

Anode, $H +$ Verbindungsklemme mit dem positiven, $H -$ Verbindungsklemme mit dem negativen Pol der Heizbatterie.

Für Unterrichtszwecke habe ich mir von einem Schüler in den Schülerübungen ein Gestell anfertigen lassen, das in Abb. 3 dargestellt ist. BB ist eine Grundplatte aus Holz. Auf ihr steht die Holzsäule C , welche die Hartgummiplatte FF trägt. Durch die Holzschraube S ist FF an C befestigt. K_1 , K_2 und G_1 sind Messingbuchsen, A_1 der Stift eines Steckers. K_1 , K_2 , G_1 und A_1 sind durch FF geführt und münden in Klemmschrauben, von denen zwei in der Abbildung (D und E) zu sehen sind. L_1 , L_2 , L_3 , L_4 sind Leitungsschnüre, welche von diesen Klemmschrauben ausgehen. K_1 , K_2 und G_1 nehmen die Steckerstifte und A_1 die Buchse der Elektronenröhre auf. K_1 , K_2 , G_1 und A_1 sind an der Grundplatte unterhalb der Klemmschrauben D , E usw. bezeichnet, um Verwechslungen bei der Schaltung zu vermeiden

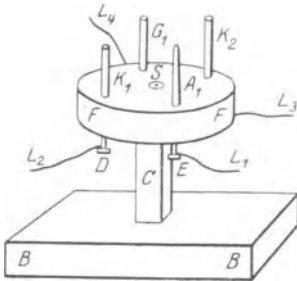


Abb. 3.

oder aber zu vier Tischklemmen geführt, die in den Ecken der Grundplatte *B B* aufgeschraubt sind.

IV. Versuche mit der Elektronenröhre.

Versuch 1 (Abb. 4). Elster u. Geitel haben gezeigt, daß glühende Metalle Elektronen aussenden. Diese Tatsache wollen wir durch den Versuch bestätigen.

Der Glühfaden *K* der Elektronenröhre, die für folgende Versuche verwendet wurde, besteht aus Wolfram.

Legen wir über den Regulierwiderstand *r* und das Ampere-meter *J* an *K* die Pole einer 4–6 Volt-Batterie *B*, so daß *K* mit etwa 0,5 Ampere brennt, und verbinden wir den positiven Pol von *B* über einen Schalter *S* und (*E* ist mit *C* verbunden) das Galvanometer *Ga* (Empfindlichkeit 10^{-5} Ampere/Skalenteil) mit dem Gitter *G*, dann zeigt *Ga* einen Strom an.

Die von *K* ausgesandten Elektronen fliegen gegen *G* und laden es negativ. *G* besitzt also jetzt gegen den positiven Pol der Batterie *B* eine negative Spannung. Dieser Spannungsunterschied gleicht sich durch *Ga* aus. *Ga* zeigt einen Strom an.

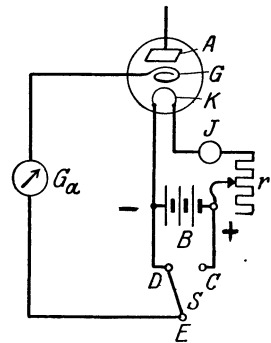


Abb. 4.

Versuch 2. Legen wir *Ga* zwischen *G* und den negativen Pol der Batterie *B* (*E* ist mit *D* verbunden!) so hat *G* eine negative Spannung gegen *K*. Die von *K* ausgesandten Elektronen werden größtenteils von *G* nach *K* zurückgetrieben. In *Ga* kann nur ein schwacher Strom fließen. Erniedrigt man die Gitterspannung durch Einschalten einer Akkumulatorenbatterie etwa zwischen *E* und *Ga*, bei nicht zu starker Heizung von *K* bis etwa -6 Volt gegen den negativen Pol von *B*, dann werden alle von *K* ausgesandten Elektronen zurückgetrieben. *Ga* bleibt stromlos.

Versuch 3. Legt man das Galvanometer *Ga* zwischen Anode *A* und den positiven Pol von *B*, so fließt ein schwächerer Strom, als wenn *Ga* zwischen Gitter und positivem Pol von *B* liegt. Der Versuch zeigt, daß der größte Teil der von *K* ausgesandten Elektronen von *G* zurückgehalten wird. *G* wird durch die von *K* aus-

gehenden Elektronen negativ geladen. Nur der Rest vermag durch die Löcher des Gitters hindurchzutreten und nach *A* zu gelangen.

Versuch 4. An die städtische Zentrale (Abb. 5) von +220 Volt und Null Volt Gleichspannung sind zwei hintereinander geschaltete 110 Volt-Glühlampen H_1 und H_2 gelegt. Die Spannung Null an H_1 führt nach *A*, die positive Spannung (+ 110 Volt) an H_1 über *Ga* nach dem negativen Pol von *B*. Glüht *K*, dann fließt im Anodenkreis kein Strom, *Ga* bleibt stromlos. Dies ist auch zu erwarten. In der Röhre herrscht nämlich ein elektrisches Feld, welches von *K* nach *A* gerichtet ist. *K* hat eine Spannung von über + 100 Volt gegen *A*. Gitter *G* und Anode *A* sind kurzgeschlossen.

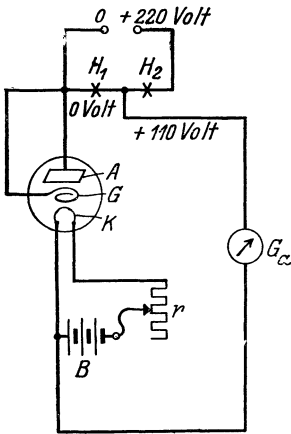


Abb. 5.

von *A* ausgehen. Kalte Elektroden senden aber keine Elektronen aus.

Versuch 5. Legt man die Spannung von + 110 Volt der Lampe H_2 (Abb. 6) an die Anode *A*, die Spannung Null von H_2 an den negativen Pol der Batterie *B* und heizt *K*, so zeigt *Ga* einen starken Strom an.

Der Versuch läßt sich folgendermaßen erklären. Die von *K* ausgehenden Elektronen gelangen zum Gitter *G* und zur Anode *A*, geben dort ihre Ladung ab und rufen im Anodenkreis einen Strom hervor, der durch *Ga* angezeigt wird.

*) Bei den Versuchen wurde aus Sparsamkeitsrücksichten von der Verwendung einer Anodenbatterie Abstand genommen und stets die Anodenspannung dem Netz entnommen. Trockenbatterien halten bekanntlich, auch wenn ihnen kein Strom entnommen wird, nur etwa 4 Monate.

Bei Versuch 5 ist das elektrische Feld von A nach K gerichtet; die Elektronen als negativ geladene Elektrizitätsteilchen erfahren ponderomotorische Wirkungen, welche dem elektrischen Feld entgegengerichtet sind. Sie fliegen also von K nach A .

Die Versuche 4 und 5 zeigen, daß man das Elektronenrohr ohne weiteres dazu verwenden kann, einen Wechselstrom in einen Gleichstrom zu verwandeln. Nur in dem Falle, daß an A die positive Phase der Wechselspannung liegt, wird das Elektronenrohr einen Strom hindurchlassen. Die negative Phase der Wechselspannung an A ruft im Rohr keinen Elektronenstrom hervor; das

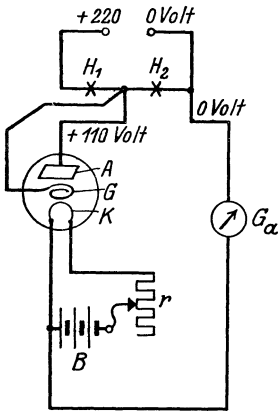


Abb. 6.

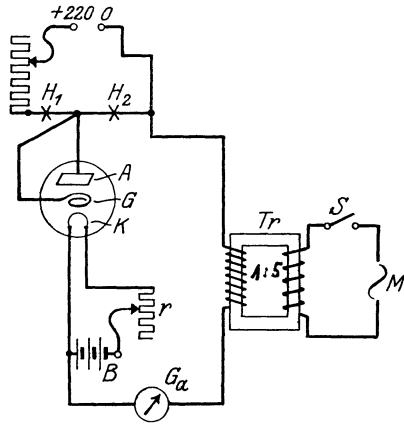


Abb. 7.

Rohr wirkt also als Ventil, das im Falle positiver Spannung an A einen Strom hindurchläßt, im Falle negativer Spannung an A den Strom im Anodenkreis absperrt.

Die Richtigkeit dieser Überlegungen wird durch die Versuche 6 und 7 bestätigt.

Die Wechselspannung von 12 Volt der kleinen Wechselstrommaschine M (Einankerumformer) ist über den Stromschlüssel S (Abb. 7) zur Primärwicklung des Eisentransformators Tr mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 5 geführt. Das eine Ende der Sekundärwicklung von Tr liegt über die 110 Volt Lampe H_2 an A , das andere Ende über Ga am negativen Pol von B .

Versuch 6. Brennt H_2 , liegt also an A die Gleichspannung + 110 Volt, und ist S offen, dann zeigt Ga den Anodengleichstrom

an. Schließt man S , dann überlagert sich dem Anodengleichstrom in der Anodenleitung der durch Tr transformierte Wechselstrom der Maschine M . Die positive Phase des Wechselstromes vermehrt die Spannung an A , nicht aber den Anodenstrom, denn dieser war schon vor dem Anlegen der Wechselspannung gesättigt.

Liegt aber die negative Phase der Wechselspannung an A , dann erniedrigt diese die Anodenspannung und verkleinert damit den Anodenstrom. Das Galvanometer Ga zeigt also nach Schließen von S einen geringeren Anodenstrom an.

Versuch 7. Ist H_2 abgeschaltet, liegt also das eine Ende der Sekundärwicklung von Tr direkt an der Anode, dann ist der Anodenstrom bei offenem Schlüssel S nur gering (Versuch 3).

Schließt man S , dann trägt nur die positive Phase der Wechselspannung an A zur Vermehrung des Anodenstromes bei. Die negative Phase an A sperrt den Anodenstrom ab; da dieser vor Schließen von S gering war, so kommt diese Phase fast nicht zur Geltung. Ga zeigt also einen starken Anodenstrom an, der durch die positive Phase des Wechselstromes an A ausgelöst wird.

Ist keine Wechselstrommaschine geeigneter Spannung vorhanden, dann verwende man an Stelle der Maschine mit Transformator einen Telephoninduktor (permanenter Magnet mit Doppelt-Anker) und lege diesen direkt in den Anodenkreis. Dreht man den Anker, dann erhält man bei Versuch 6 einen verminderten, bei Versuch 7 einen vergrößerten Anodenstrom, durch Ga angezeigt.

V. Der Kristalldetektor.

Der von Branly entdeckte Kohärer bestand bekanntlich aus einer Glasröhre mit zwei Metallelektroden. Zwischen den Elektroden befand sich in der Glasröhre Metallpulver. Der Kohärer war in den Antennenkreis der Empfangsstation eingeschaltet. Mit dem Kohärer in Reihe geschaltet waren eine galvanische Batterie und eine elektrische Klingel, deren Hammer sowohl gegen die Glocke als auch gegen den Kohärer schlug, wenn die Klingel ertönte.

Trafen auf die Antenne einer Empfangsstation für drahtlose Telegraphie elektrische Wellen, dann wurde der Kohärer leitend, der Lokalstrom war damit geschlossen, und die Klingel ertönte. War die Antenne wieder stromlos, dann war auch der Kohärer nichtleitend, weil der Hammer auch gegen den Kohärer schlug und diesen dadurch nichtleitend machte.

Der verhältnismäßig unempfindliche Kohärer wurde bald durch den Kristalldetektor, auch Zelle genannt, ersetzt. In einer Hartgummi- oder Fiberplatte A (Abb. 8) ist ein Stück Bleiglanz PbS in Woodsches Metall eingelassen. PbS ist mit einer Klemmschraube K_2 leitend verbunden. Gegen PbS drückt eine Messingspiralfeder M , die durch einen Kupferstab Cu , der in dem Gelenk G drehbar angeordnet ist, geführt wird. G ist mit einer Klemmschraube K_1 leitend verbunden.

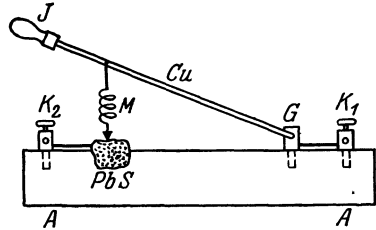


Abb. 8.

1. Schaltung des Detektors (Abb. 10).

Zu dem Drehkondensator C_1 parallel ist die Selbstinduktion K_1 geschaltet. Die Antenne führt zur einen, die Erde zur anderen Klemme des Drehkondensators C_1 . Mit der Selbstinduktion K_1 ist eine zweite Selbstinduktion K_2 magnetisch gekoppelt. K_2 ist mit dem Detektor D und dem Blockkondensator C_2 in Reihe geschaltet. K_2 , D und C_2 bilden den Detektorkreis. Parallel zu C_2 liegt das Telefon.

2. Wirkungsweise des Detektors.

Der Detektor wirkt: a) als Ventil, b) als Thermoelement.

a) Die Erfahrung lehrt, daß elektrische Ströme beim Detektor in der Richtung PbS nach Cu einen geringen Ohmschen Widerstand (Größenordnung 700 Ohm), in der entgegengesetzten Richtung Cu nach PbS aber einen hohen Ohmschen Widerstand (Größenordnung 20000 Ohm) finden.

b) Berühren sich zwei Metalldrähte, z. B. Eisen und Platin, und wird die Berührungsstelle erwärmt, so entsteht an dieser eine elektromotorische Kraft.

Schaltet man ein solches Thermoelement in einen Hochfrequenzkreis, der durch einen Summer erregt wird, während man die freien Enden des Platin- und des Eisendrahtes (Abb. 9) mit dem Gleichstrommesser Ga verbindet, so zeigt Ga einen Gleichstrom an. Dies rührt daher, daß a) die eine Phase des Wechselstromes im Detektor einen zu hohen Widerstand findet, und b) der