



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Graetz für Alle

Graetz, Leo

Stuttgart, 1929

Elftes Kapitel. Die elektrischen Schwingungen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83225](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83225)

DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

Die Elektrizität, die wir als einen atomistisch zerteilten Stoff erkannt haben, der in den Leitern sich mit Leichtigkeit bewegt, verhält sich in vieler Beziehung wie eine Flüssigkeit, die ja auch aus Atomen sich zusammensetzt. Eine Flüssigkeit kann in drei Zuständen vorkommen. Sie kann erstens im Gleichgewicht, in Ruhe sein, wie ein ruhiger Wasserspiegel, sie kann zweitens strömen, wie in den Flüssen, und sie kann drittens in schwingender, wellenförmiger Bewegung sein. Dieselben drei Zustände zeigt auch die Elektrizität in Leitern. Wir haben die Elektrizität auf Leitern im Gleichgewicht, in der Ruhe, erkannt bei den elektrostatischen Erscheinungen, wir haben die strömende Bewegung der Elektrizität in Leitern als elektrischen Strom untersucht, und wir werden jetzt zeigen, daß sich die Elektrizität in Leitern auch in schwingende, wellenförmige Bewegung versetzen läßt.

Wenn ein Gleichgewichtszustand rasch und plötzlich gestört wird, so finden wir fast immer in der Natur, daß dann *periodische* Bewegungen stattfinden, daß sich der Gleichgewichtszustand durch solche periodische Bewegungen wieder einzustellen sucht. Wenn wir in einen ruhigen Wasserspiegel einen Stein fallen lassen, so wird das Gleichgewicht plötzlich gestört, und es entstehen periodische Schwankungen des Wassers, bis das Gleichgewicht sich wieder allmählich herstellt. Ebenso, wenn wir eine Klavier- oder Violine saite anschlagen oder zupfen oder streichen, so wird ihr Gleichgewicht plötzlich gestört, und der erzeugte Ton beweist die periodische Bewegung, die dabei entsteht. Ganz so wird auch durch einen plötzlich einsetzenden *Funken* das Gleichgewicht der Elektronen auf den Belegungen eines Kondensators gestört, und die Elektronen schwanken, wie die Luftteilchen bei einem Tone, hin und her, und zwar in sehr kurzer Zeit. Es entstehen durch einen solchen Funken in der Luft und in den Drähten, zwischen denen der Funke übergeht, elektrische Bewegungen, die in jeder Sekunde hunderttausendmal, millionenmal, ja sogar milliardenmal ihre Richtung ändern. Solche außerordentlich rasch wechselnde elektrische Bewegungen nennt man *elektrische Schwingungen* oder *Oszillationen*.

Daß in dem elektrischen Funken eine periodische Erscheinung, ein Hin- und Herschwingen der Elektrizitäten stattfindet, das wurde zum ersten Male von *Feddersen* experimentell bewiesen. Die Bedingung für das Auftreten solcher Oszillationen besteht darin, daß die beiden Belegungen einer Leidener Flasche oder allgemein eines Kondensators durch Drähte miteinander verbunden sind, die Selbstpotential besitzen, eine Eigenschaft, die ja Drähte immer haben und die besonders groß ist, wenn die Drähte die Form einer Drahtrolle besitzen.

DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

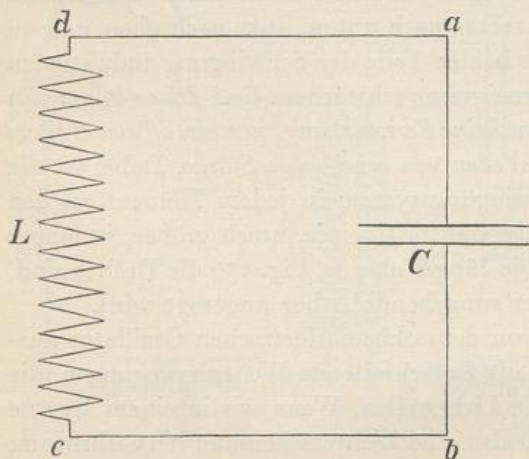
Wenn nämlich der geladene Kondensator durch die Verbindungsdrähte sich entladet, so treten in diesen, da die Stromstärke veränderlich ist, Extraströme (S. 54) auf, welche die entgegengesetzte Richtung haben. Dadurch wird die vorher positive Platte des Kondensators negativ geladen, und da nun diese sich wieder entladet usw., so entstehen abwechselnd Ströme in der einen und anderen Richtung, also Oszillationen, Schwingungen.

Die Dauer einer solchen elektrischen Schwingung ist umso größer, je größer die ganze in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge ist, also umso größer, je größer die *Kapazität* der Körper ist, zwischen denen die Funken übergehen. Außerdem hängt sie von der Größe der Selbstinduktion des Schließungskreises ab. Sir W. Thomson und nachher G. Kirchhoff haben aus der Theorie dieser Erscheinungen das Gesetz abgeleitet, daß die Schwingungsdauer elektrischer Schwingungen umso größer ist, je grösser die *Quadratwurzel aus dem Produkt der Kapazität und Selbstinduktion* ist. Dieses Grundgesetz aller elektrischen Schwingungen bezeichnet man als das *Thomson-Kirchhoffsche Gesetz*.

Ebenso wie eine Pfeife umso langsamere Schwingungen macht, umso tiefere Töne gibt, je länger sie ist, je größer also die in Bewegung versetzte Luftmenge ist, ebenso sind auch die elektrischen Schwingungen umso langsamer, ist die Schwingungsdauer umso größer, je größer die in Bewegung versetzten Elektrizitätsmengen, je größer also die Kapazität des Kondensators ist. Daß auch die Selbstinduktion, also die Form der Drähte des Schließungskreises eine Rolle spielt, hat auch seine Analogie in der Akustik. Der Ton einer Trompete ist ja ein anderer als der einer Posaune oder einer Flöte, selbst bei gleichem Luftinhalt, weil eben die Form eine andere ist.

Man bezeichnet ein nahezu geschlossenes System, welches Kapazität (Kondensator) und Selbstinduktion enthält, als einen *Schwingungskreis*. Ein solcher Schwingungskreis ist durch **Fig. 175** dargestellt. C ist die Kapazität, und L,

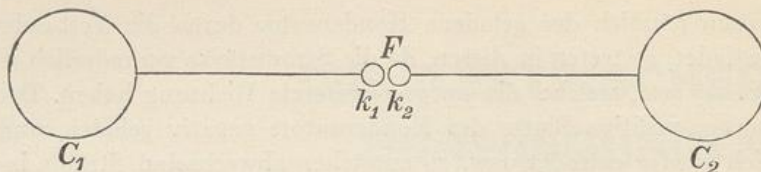
Fig. 175



die geringen Beträge der Selbstinduktion der Verbindungsdrähte und der Kondensatorplatten hinzukommen.

Während ein solcher Schwingungskreis nahezu geschlossen ist (bloß der Zwischenraum zwischen den Kondensatorplatten ist ja nichtleitend), ist es aber, wie zuerst Hertz zeigte, auch möglich, Schwingungen in offenen Systemen zu erzeugen, wie ein solches in **Fig. 176** dargestellt ist. In diesem sind zwei größere Kugeln C_1 C_2 auf Metallstangen angebracht, die

Fig. 176



andererseits in zwei nahe beieinander stehenden Kugeln $k_1 k_2$ endigen und eine Funkenstrecke F zwischen sich haben. Ladet man die beiden Hälften des Apparates mit entgegengesetzten Elektrizitäten von genügend hohem Spannungsunterschied, so springt ein Funke bei F über. Es entstehen auch hier Schwingungen, deren Schwingungsdauer in derselben Weise, wie oben angeführt, von der Kapazität der Kugeln und der Selbstinduktion der Drähte abhängt. Man bezeichnet ein solches System als ein *offenes Schwingungssystem*.

Bei einem offenen Schwingungssystem sind aber die elektrischen hin und her gehenden Bewegungen nicht durchaus auf das System der beiden Leiter mit ihren Verbindungsdrähten beschränkt. Die elektrischen Bewegungen auf den Leitern erregen auch den umgebenden Äther zu ebensolchen hin und her gehenden Bewegungen, und da der Äther überall zusammenhängt, so gehen diese periodischen Bewegungen weiter und breiten sich von dem in Schwingungen begriffenen Leitersystem nach allen Richtungen, soweit kein Hindernis vorliegt, aus. Das war die große Entdeckung, welche die Wissenschaft *Heinrich Hertz* verdankt, und diese Entdeckung wurde noch präzisiert durch die Feststellung, daß die Geschwindigkeit, mit der diese periodischen Bewegungen durch den Äther sich fortpflanzen, ganz enorm ist, nämlich gleich der Geschwindigkeit, mit der das Licht sich fortpflanzt, daß sie also in jeder Sekunde einen Weg von 300 000 km zurücklegen.

Nur ein *offenes* Schwingungssystem regt auch den Äther zu merklichen Schwingungen an, die sich fortpflanzen, nicht aber ein geschlossener Schwingungskreis. Man erkennt das leicht aus Fig. 175. Wenn in diesem Schwingungskreis einmal Schwingungen erregt sind und die Bewegung in einem bestimmten Moment von a nach b , c , d geht, so geht sie also rechts nach unten, links nach oben, und an einer entfernten Stelle bringen diese beiden Teile der Schwingung Induktionen hervor, welche sich aufheben oder wenigstens schwächen. Und daher folgt: *Ein geschlossenes schwingendes System hat keine Fernwirkung, nur ein offenes System erregt den Äther zu fortschreitenden Wellen von erheblicher Stärke*. Dabei ist die Energie, die von dem offenen Schwingungssystem in jedem Moment an den Äther abgegeben wird, also die ausgestrahlte Energie, umso größer, je länger das offene Schwingungssystem ist, je länger also in Fig. 176 die Drähte sind, da von jedem Teil des Drahtes der umgebende Äther angeregt wird.

Die elektrischen Bewegungen, die von dem obigen Hertzschen Oszillator ausgehen, erzeugen in dem Äther der Luft fortschreitende Wellenbewegungen, die ganz von derselben Art sind wie die Lichtwellen. Wenn wir in einem Raume irgendwo ein Streichholz anzünden, also eine Lichterscheinung hervorbringen,

so pflanzt sich die Bewegung, die durch das Leuchten verursacht ist, nach allen Seiten im Lichtäther fort, und zwar in Wellen, ähnlich den Wasserwellen, die ein in einen Teich geworfener Stein hervorbringt. In unserem elektrischen Fall nun wird die Stelle des brennenden Streichholzes von dem Hertz'schen Oszillator eingenommen. Von ihm aus pflanzt sich die Bewegung, die in der oszillierenden Funkenentladung erzeugt wurde, nach allen Seiten im Raume fort, ebenfalls als Wellen und mit derselben Geschwindigkeit wie die Lichtwellen.

Man kann aus der Dauer der Schwingungen auch die Länge der im Äther erregten Wellen berechnen. Denn die Wellenlänge ist immer diejenige Strecke, um welche sich die Bewegung während der Dauer einer Schwingung fortgepflanzt hat. Es ist also die Wellenlänge gleich dem Produkt aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Schwingungsdauer. Also z. B. eine Schwingung, die den fünfhunderttausendsten Teil einer Sekunde dauert, erzeugt eine Welle, deren Länge

$$\frac{300\,000}{500\,000} \text{ Kilometer} = 600 \text{ Meter}$$

ist. Es sind das also Ätherwellen, ganz von derselben Art wie die Lichtwellen. Ätherwellen, welche auf unser Auge als Licht wirken, haben Wellenlängen, die je nach der Farbe zwischen 4 und 7,6 Zehntausendsteln eines Millimeters liegen. Längere Wellen, bis zu einem Drittel eines Millimeters, wirken noch erwärmend, thermisch, auf feine Apparate. Elektrische Wellen sind zwar sehr viel größer; ihre Wellenlängen betragen einige Zentimeter bis zu Hunderten von Metern. Aber der Unterschied ist doch nur graduell. Man kann sagen: *Elektrische Wellen von sehr kurzer Schwingungsdauer erscheinen uns als Lichtwellen, oder Ätherwellen von verhältnismäßig sehr großer Schwingungsdauer sehen wir nicht mehr als Licht, sondern sie zeigen sich uns durch ihre elektrischen Wirkungen an.*

Wenn in einem (geschlossenen oder offenen) Schwingungskreis durch irgend eine

Vorrichtung (z. B. durch einen Funken) elektrische Schwingungen vorhanden sind, so kann man durch sie leicht auch einen anderen Schwingungskreis zum Schwingen anregen. Und zwar kann man das auf verschiedenfache Weise machen. Der übersichtlichste Fall ist in **Fig. 177** gezeichnet. Hier sind zwei Schwingungskreise I und II vorhanden, deren Selbstinduktion S_1 und S_2 ,

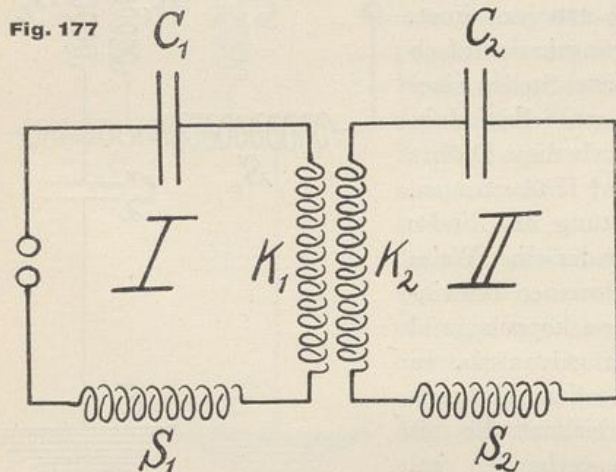
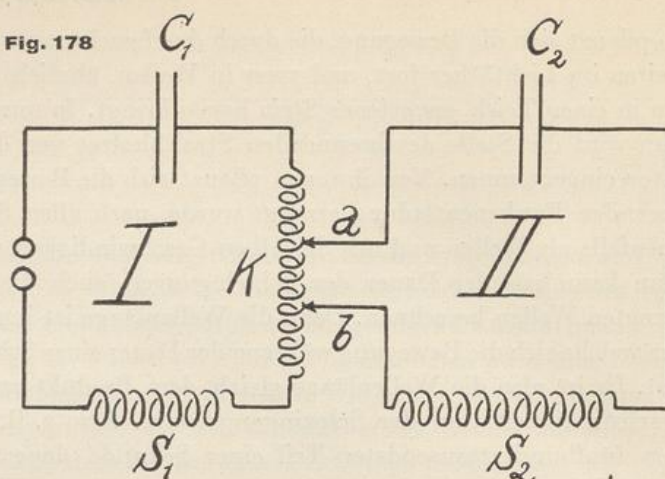
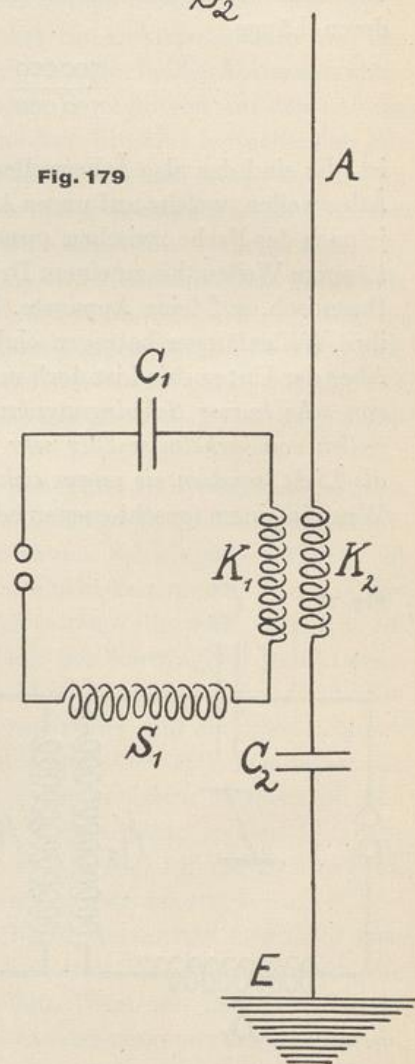


Fig. 178



deren Kapazitäten C_1 und C_2 sind. In jeden der Schwingungskreise ist noch eine Spule K_1 bzw. K_2 eingeschaltet (die natürlich mit zu der ganzen Selbstinduktion des betreffenden Kreises mitgerechnet wird), und diese beiden Spulen sind einander nahe gebracht. Dann werden durch Induktion die Schwingungen im Kreise I auch Schwingungen im Kreise II erregen. Man sagt dann, die beiden Schwingungskreise sind *gekoppelt*, und zwar bezeichnet man diese hier gezeichnete Koppelung, weil sie durch Induktionswirkungen die Schwingungen in II hervorbringt, als *induktive Koppelung*. Die beiden Spulen K_1 und K_2 bezeichnet man als *Koppelungsspulen*. Eine zweite Art der Koppelung ist in Fig. 178 gezeichnet. Hier wird der zweite Schwingungskreis einfach durch Drähte a und b mit zwei Stellen einer Spule K (die ein Teil der ganzen Selbstinduktion ist) verbunden, und durch diese Drähte werden die Schwingungen auf II übertragen. Man bezeichnet diese Schaltung als *direkte* oder *galvanische Koppelung*. In derselben Weise kann man auch einen geschlossenen Schwingungskreis mit einem offenen koppeln, und zwar entweder induktiv oder galvanisch. In Fig. 179 und 180 ist der offene Schwingungskreis als ein Draht gezeichnet, der mit Spulen und Kondensatoren verbunden ist.

Fig. 179

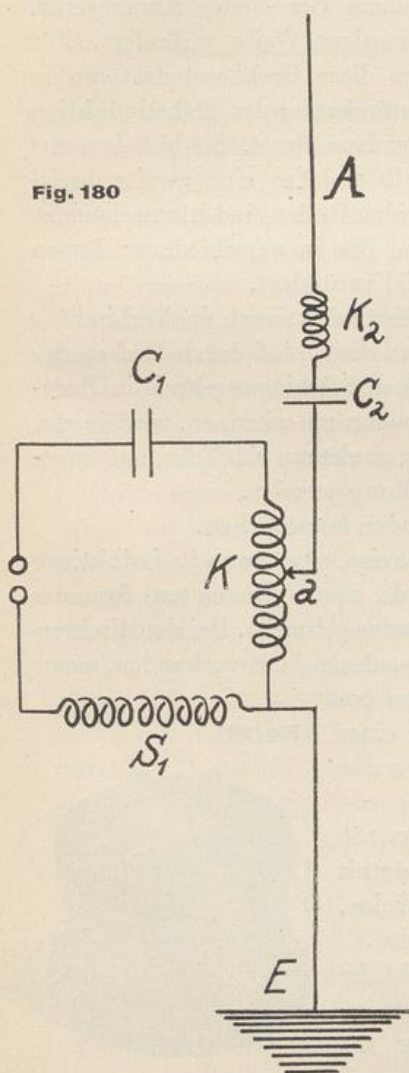


Praktisch wird ein solcher Draht, den man eine *Antenne* nennt, immer mit dem einen Ende zur Erde abgeleitet (geerdet). **Fig. 179** zeigt die induktive Koppelung der Antenne A mit dem geschlossenen Schwingungskreis, **Fig. 180** die galvanische Koppelung. Im letzteren Falle ist die Antenne a an einen Punkt der Spule K angelegt, die selbst zur Erde abgeleitet ist und dadurch auch die Antenne erdet. Die Schwingungen, die im Punkt a stattfinden, erregen auch die Elektronen in dem Antennendraht zu Schwingungen, die sich längs des Drahtes fortpflanzen.

Die Vorgänge bei einer solchen Koppelung zweier Systeme, speziell eines offenen Systems mit einem geschlossenen, lassen sich leicht übersehen. Ganz so, wie in der Akustik jede Pfeife, jede Trompete, jede Saite ihren Eigenton besitzt, den sie angibt, wenn sie zu Schwingungen angeregt wird, ganz so besitzt auch jedes

elektrisch schwingende System gewissermaßen seinen elektrischen Eigenton, d. h. es führt Oszillationen aus, deren Schwingungsdauer nur abhängt von seiner Beschaffenheit in elektrischer Beziehung. Und zwar sind es, wie wir wissen, die zwei Größen, die Kapazität und die Selbstinduktion, welche für die Dauer der Oszillationen maßgebend sind. Also auch eine solche Antenne besitzt eine gewisse ihr eigentümliche Eigenschwingung, die abhängt von ihrer Kapazität und von ihrer Selbstinduktion. Zu der letzteren gehört in **Fig. 180** auch das Drahtsystem der Spule K von a bis zur Erde. Wenn nun der zweite Schwingungskreis (die Antenne) durch die Schwingungen des ersten Schwingungskreises angeregt werden soll, so wird das in erheblichem Maße nur dann stattfinden können, wenn die Schwingungsdauer der Oszillationen in dem zweiten Kreis übereinstimmt mit der Schwingungsdauer der Oszillationen im anregenden Schwingungskreis. Dann findet, wie man es nennt, *Resonanz* zwischen den beiden Systemen statt. Ganz so, wie eine Klaviersaite, z. B. die für den Ton a, zum Tönen angeregt wird, wenn eine a-Stimmgabel in ihrer Nähe angeschlagen wird und ihre Schwingungen auf sie überträgt, weil eben da Resonanz, Übereinstimmung herrscht, ganz so ist es auch bei den elektrischen Schwingungen. Man muß also, um möglichst große Wirkungen zu

Fig. 180



ELFTES KAPITEL

bekommen, die beiden Schwingungskreise aufeinander, wie man es nennt, *abstimmen*. Das geschieht dadurch, daß man in den angeregten Schwingungskreis variable Kapazitäten oder variable Selbstinduktionen (oder beides) einschaltet und diese so lange variiert, bis die Resonanz erreicht ist.

Die Praxis hat die variablen Kapazitäten und die variablen Selbstinduktionen, die man zu jeder Abstimmung braucht, zweckmäßig und einfach gestaltet. Als variable Kapazitäten, die hauptsächlich bei den Empfangsapparaten benutzt werden, wendet man bequem *Drehkondensatoren* an. Dieselben bestehen aus einer Anzahl halbkreisförmiger Messingplatten, die in gleichem Abstand übereinander angebracht sind. Mitten zwischen diese festen Platten kann ein anderes System von halbkreisförmigen Platten, die auf einer Achse befestigt sind, durch Drehung der Achse mehr oder minder weit eingeschoben werden. In **Fig. 181** befinden sich die beiden Plattensysteme in einem Glas- oder Ebonitgefäß. Durch die Drehung wird die Kapazität in stetiger Weise verändert. Für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie werden diese Drehkondensatoren in verschiedenen Größen gebaut. Zur leichten Veränderung der Selbstinduktion werden Apparate gebaut, die man als *Variometer* bezeichnet. Sie bestehen aus einer festen kreisförmigen Drahtrolle, innerhalb welcher eine zweite kreisförmige Drahtrolle gedreht werden kann. Die beiden Rollen sind hintereinander verbunden. Durch ihre gegenseitige Induktion, die in verschiedenen Lagen verschiedene Werte hat, wird ihr Selbstpotential verändert.

Durch derartige variable Kapazitäten und Selbstinduktionen in Verbindung mit festen kann man nun mit der größten Leichtigkeit, bloß durch Drehen der Griffe am Drehkondensator und Variometer, einen Schwingungskreis in Resonanz mit einem anderen bringen. Um die Resonanz zu erkennen, wird in der Praxis, worauf wir noch zu sprechen kommen, meistens ein Telephon angewendet, dessen lautes Tönen die Resonanzstellung anzeigt.

Die Koppelung zweier Kreise kann man *eng* oder *lose* machen.

Bei *enger Koppelung* der beiden Schwingungskreise, und zwar in induktiver Schaltung, werden in **Fig. 179** die induzierende Spule des ersten Systems und die induzierte des zweiten sehr nahe aneinander gebracht. Bei der direkten Koppelung (**Fig. 178** und **180**) ist eine enge Koppelung dann vorhanden, wenn viele Windungen der Rolle K beiden Systemen gemeinsam sind. Speziell also bei der Koppelung einer Antenne in **Fig. 180**, wenn der Anschlußpunkt a der Antenne nach oben verschoben wird.

Bei *loser Koppelung* dagegen muß man in **Fig. 180** den Punkt a nach unten hin verschieben, damit wenige Windungen beiden Systemen gemeinsam seien, wodurch eben die Koppelung möglichst lose wird.

Der *außerordentliche Aufschwung*, den die drahtlose Telegraphie und Telephonie seit dem Kriege gewonnen hat, ist der *Elektronenröhre*, von der wir

Fig. 181

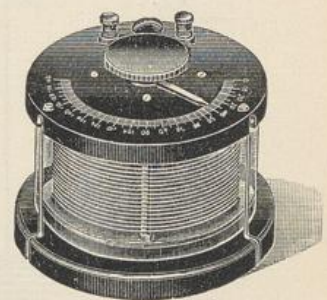
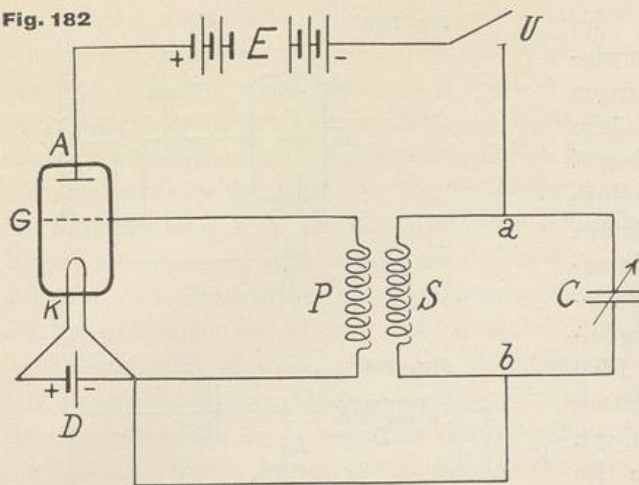


Fig. 182



geeignete Schaltung imstande, elektrische Schwingungen von durchaus gleichbleibender Stärke auszusenden, sie ist der *Sender von ungedämpften Schwingungen*.

In der Elektronenröhre unterscheiden wir zwei Kreise, den *Gitterkreis*, der in der Röhre zwischen Gitter und Kathode verläuft, und den *Anodenkreis*, der in der Röhre zwischen Anode und Kathode verläuft. Verbindet man außen die Anode und Kathode durch eine Batterie, in deren Leitung man noch einen Schwingungskreis (also eine Verbindung von Kapazität und Selbstinduktion) einschaltet, so wird durch Schließen des Batteriestromes, also durch plötzliche Störung des Gleichgewichts, dieser Kreis in Schwingungen geraten, und diese Schwingungen gehen dann auch durch die Röhre von der Anode zur Kathode. Diese Schwingungen sind an sich gedämpft und hören sehr bald auf. Nun aber, *und das ist der neue Gedanke dabei*, läßt man diese Schwingungen induzierend auf eine Rolle wirken, welche mit dem Gitter und der Kathode verbunden ist. Infolgedessen entstehen im Gitterkreis selbst wieder Schwingungen, und diese Schwingungen verstärken in bekannter Weise die des Anodenkreises, diese wieder die des Gitterkreises, und so *schraubt sich ganz von selbst* die Wirkung in die Höhe. In **Fig. 182** ist diese Schaltung gezeichnet. Die Elektronenröhre hat bei A die Anode, bei G die Gitterelektrode und bei K die Kathode, die durch die Batterie D geheizt wird. Von der Anodenbatterie E führt die Leitung einerseits zur Anode, andererseits durch einen Unterbrecher U zu dem Schwingungskreis SC mit Selbstpotential S und Kapazität C und von diesem zur Kathode. Die Rolle S aber wirkt induzierend auf eine zweite Rolle P, die mit der Gitterelektrode G und der Kathode verbunden ist. Diese Koppelung des Anodenkreises und des Gitterkreises nennt man die *Rückkoppelung*. Sie ist zuerst von A. Meißner (Telefunkengesellschaft) erfunden worden, und sie ist das wesentlich Wirksame bei der Anordnung. Man bezeichnet die ganze Anordnung als *Röhrensender*.

schon S. 173 ff. gesprochen haben, zu verdanken. Die Elektronenröhre ist heute das wichtigste Element der *Hochfrequenztechnik*, wie man die Technik der drahtlosen Telegraphie und Telephonie nennt.

Zunächst ist nämlich die Elektronenröhre, die wir bisher nur als Lautverstärker kennen gelernt haben, durch

ELFTES KAPITEL

Durch die Einschaltung des Stromes bei U wird der Schwingungskreis S C in Schwingungen versetzt, deren Periode abhängt von der Größe der Kapazität C und der Größe der Selbstinduktion S und die man durch den Drehkondensator C beliebig ändern kann. (Ein Drehkondensator wird in der Zeichnung immer durch einen schiefen Pfeil angegeben.) Diese Schwingungen verlaufen in der Röhre im Anodenkreis zwischen A und K. Durch Rückkoppelung werden aber in P Schwingungen von derselben Periode erregt, welche nun im Gitterkreis zwischen G und K verlaufen. Das Gitter G wird abwechselnd positiv und negativ geladen und beeinflusst so in der bekannten Weise die ursprünglichen Schwingungen des

Anodenkreises, indem es diese verstärkt und von ihnen wieder verstärkt wird. Die Schwingungen behalten dauernd dieselbe Stärke, sie sind *ungedämpft*, denn die nötige Energie wird ihnen dauernd von der Batterie E nachgeliefert. Je nach der Größe der Selbstinduktion S und der Kapazität C erhält man so ungedämpfte Schwingungen von einigen hundert bis zu vielen tausend Metern Länge.

Statt der induktiven Rückkoppelung, wie sie in Fig. 182 dargestellt ist, kann man auch eine *direkte* (galvanische) Rückkoppelung machen, wie sie in **Fig. 183** gezeichnet ist. Hier ist Rückkoppelung des Schwingungskreises (Selbstinduktion S, Drehkondensator C) mit der Röhre dadurch hervorgebracht, daß der Punkt a der Selbstinduktion mit der Kathode, der Punkt b mit dem Gitter verbunden ist. Es darf nicht etwa a mit dem Gitter und b mit der Kathode verbunden werden. Denn der Schwingungskreis in diesem Fall besteht aus der Kapazität C und den Windungen der Spule S von oben bis a. Dieser Schwingungskreis ist, wie es sein soll, mit Anode und Kathode verbunden. Die unteren Windungen der Spule S von a bis b werden nur induziert, verhalten sich also wie die Rückkoppelungsspule in Fig. 182, so daß deren anderes Ende b mit dem Gitter verbunden werden muß.

Aus praktischen Gründen (wegen der stets anzubringenden Verbindung des

Fig. 183

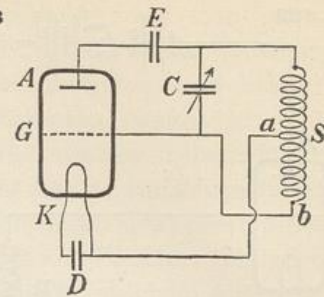
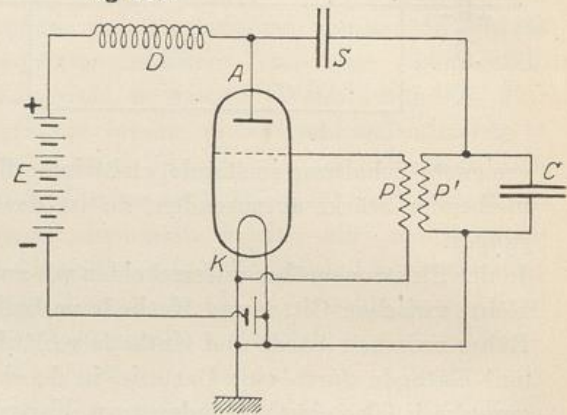


Fig. 184



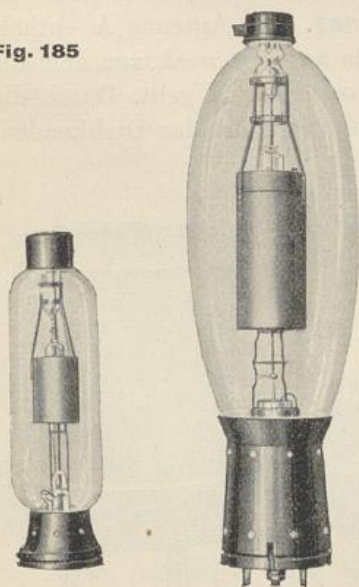
einen Endes des Glühfadens mit der Erde) macht man die Schaltung der verschiedenen Teile eines Röhrensenders gewöhnlich so, wie sie in **Fig. 184** gezeichnet ist¹). Die Anodenbatterie E wird in einen besonderen Zweig gelegt, der mit dem geerdeten Teil der Kathode K einerseits und durch eine Drosselspule D mit der Anode anderseits verbunden ist. Die Drosselspule hat die Aufgabe, die raschen Schwingungen von der Anodenbatterie abzuhalten. Links ist der Schwingungskreis P' C einerseits mit der Kathode, anderseits durch einen Sperrkondensator S mit der Anode verbunden. Der Kondensator S hat die Aufgabe, den Gleichstrom (von E) von dem Schwingungskreis abzuhalten, aber den Schwingungen den Durchtritt zu gestatten. Von dem Schwingungskreis geht die Rückkoppelung P zur geerdeten Kathode und zum Gitter.

Die Konstruktion der Elektronenröhren, die als *Röhrensender* wirken sollen, ist eine besondere, da es bei ihnen darauf ankommt, daß sie möglichst große Energie aufnehmen. In **Fig. 185** ist die Ansicht zweier von Telefunken konstruierten Senderröhren gegeben. Es sind das Röhren mit zylindrischer Anode (aus Tantal), in deren Innerm der Glühfaden, die Kathode gespannt ist, welche selbst von dem Gitter, einem gewebten Schlauch aus sehr dünnen Drähten, umgeben ist. Die erste dieser Röhren kann mit 500 Watt, die zweite mit 5 Kilowatt betrieben werden, und zwar beträgt die Spannung der Anodenbatterie bei der ersten 3000 Volt, bei der zweiten 20 000 Volt. Selbst bei den kleinsten Röhrensendern von 20 Watt Leistung beträgt die Spannung etwa 800 Volt. Diese hohen Gleichstromspannungen werden gewöhnlich durch Gleichrichtung von Wechselstromspannungen erzeugt, worauf wir aber hier nicht eingehen.

Die Schwingungen einer solchen Senderröhre müssen natürlich auch durch Koppelung auf die Antenne übertragen werden, welche die Schwingungen ausstrahlt. Bei der drahtlosen Telegraphie werden die Zeichen in Morseschrift gegeben durch längeres oder kürzeres Einschalten des Schwingungskreises in die Senderröhre.

Um nun in der Ferne die ankommenden Schwingungen zu erkennen, dazu werden jetzt hauptsächlich zweierlei Arten von Apparaten benutzt, die man *Detektoren* nennt, nämlich hauptsächlich das später zu besprechende Audion, vielfach aber auch noch die einfacheren und billigeren *Kristalldetektoren*. Die Detektoren werden immer in einen abstimmbaren Schwingungskreis (mit Drehkondensator) eingeschaltet. Die Kristalldetektoren sind kleine Apparate, wie sie

Fig. 185



¹ Aus Graetz, Handbuch der Elektrizität, Bd. 5. Leipzig 1926.

ELFTES KAPITEL

Fig. 186 geöffnet und geschlossen zeigt, bei denen eine Kontaktstelle zwischen der Spitze eines Drahtes und einem Mineral hergestellt ist, z. B. bei dem sogenannten *Pyritdetektor*, zwischen einer Spitze aus Golddraht und dem Mineral Eisenkies. Leitet man durch diese Kontaktstelle elektrische Schwingungen, so wird sie etwas erwärmt, und es tritt eine thermoelektrische Wirkung ein, die zur Folge hat, daß die nach der einen Richtung gehenden Schwingungshälften verstärkt, die nach der anderen Richtung gehenden geschwächt werden. Jeder ankommende Wellenzug, der auf den Kontaktdetektor auftrifft, bringt also einen schwachen Strom nach *einer* Richtung hervor und erregt dadurch ein mit dem Detektor verbundenes Telephon. Kommen eine Anzahl von solchen Wellenzügen kurz hintereinander auf den Detektor, so erzeugen sie in dem Telephon einen Ton, und zwar in derselben Tonhöhe, wie es der Zahl der pro Sekunde ausgesendeten und ankommenden Wellenzüge entspricht. Durch jeden ankommenden Wellenzug wird der Kristalldetektor angeregt. Schickt man also nur eine kurz dauernde Welle aus, so fließt durch den Kontaktdetektor nur ein kurz dauernder Strom, und man hört in dem Telephon ein kurzes Knacken, einen Punkt. Schließt man aber in der Aufgabestation den Schwingungskreis längere Zeit an, so entstehen eine Reihe von aufeinander folgenden Wellen, die auf den Kreis, in welchem sich der Kontaktdetektor befindet, fallen, so daß man ein längeres Knacken des Telephons hört. So erhält man also an der entfernten Station im Telephon hörbar Punkte oder Striche, kann also mit dem Morsealphabet ohne Draht telegraphieren.

Die Telegramme werden dabei also durch sogenannten *Hörfang* aufgenommen. Praktisch wird oft der Kreis des Kontaktdetektors nicht direkt an die Empfangsantenne angeschlossen, sondern von den ankommenden Schwingungen wird erst ein abstimmbarer *Zwischenkreis* erregt und von diesem erst der Kreis des Kontaktdetektors. Diese Schaltung zeigt **Fig. 187**. Die Antenne A enthält eine Spule S, an welche ein variabler Kontakt a angelegt wird, von dem die Verbindung zu dem Drehkondensator D und der Erde E geht. Durch die Spule S wird die Spule P des Zwischenkreises induziert, der den Drehkondensator D' enthält und der scharf auf die ankommenden Schwingungen abgestimmt wird. Endlich an diesen Zwischenkreis ist der Detektor mit Detektor K, Kondensator C und Telephon T gekoppelt, und zwar direkt (galvanisch) wie in der Zeichnung oder auch induktiv. Der Kondensator C, den man als *Blockkondensator* bezeichnet, hat den Zweck, die

Fig. 186

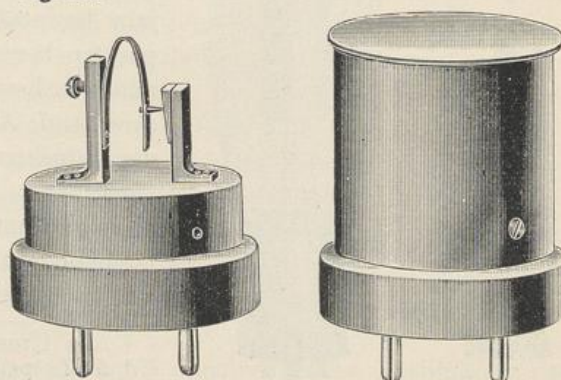
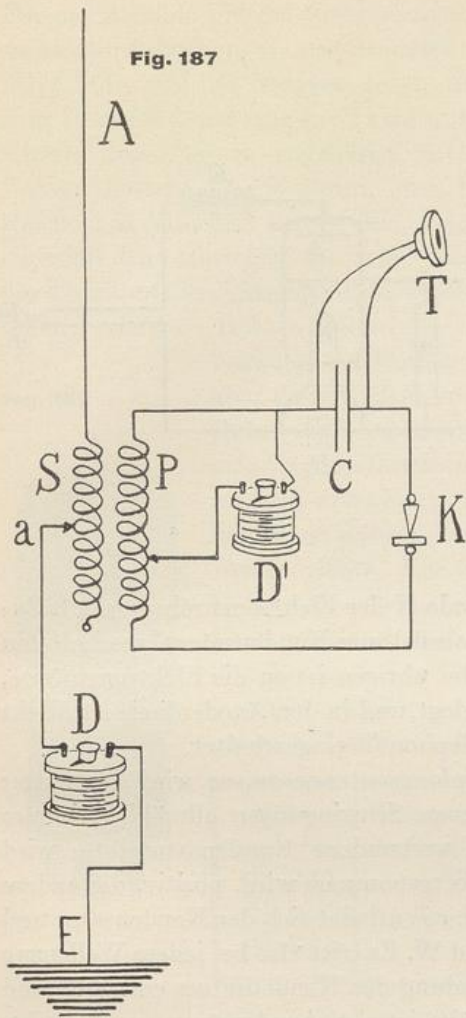


Fig. 187

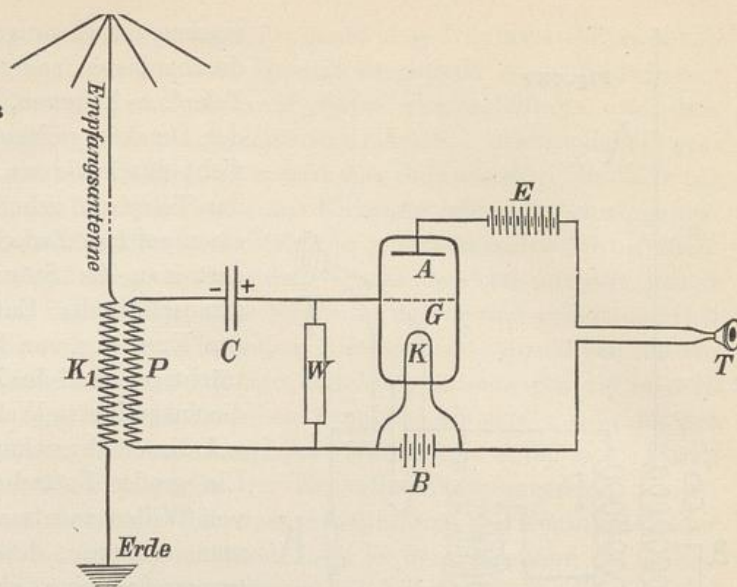


raschen Schwingungen durch sich hindurchzulassen, so daß sie nicht an das Telephon kommen, dagegen die von dem Detektor gleichgerichteten Ströme nicht durchzulassen, so daß sie durch das Telephon gehen müssen. Durch einen solchen Zwischenkreis vermindert man die Störungen, die durch atmosphärische Entladungen häufig den Empfang von Depeschen beeinträchtigen, weil der Zwischenkreis nur die ausgesiebten Wellen hindurchläßt, auf die er abgestimmt ist.

Ein großer Fortschritt im Empfang von Wellen wurde aber gemacht, als man erkannte, daß auch die *Elektronenröhre* eine ebensolche Gleichrichterwirkung wie die Kristalldetektoren, eine einseitige Wirkung bei auffallenden Wellen zeigt. Die Elektronenröhre kann in gewisser Schaltung, in der man sie als *Audion* bezeichnet, auch als Detektor wirken und ist jetzt sogar von allen Detektoren der zuverlässigste und am meisten benutzte. Der Anodenstrom führt ja positive Elektrizität von der Anode durch das Gitter zur Kathode, oder negative Elektrizität von der Kathode durch das Gitter zur Anode. Je stärker

also der Anodenstrom ist, desto mehr negative Elektrizität wird von der Kathode zum Gitter fortgeführt, je schwächer er ist, desto weniger. Läßt man nun auf den Gitterkreis (zwischen Gitter und Kathode) einen Wellenzug fallen, so wird durch die positiven Teile dieser Schwingungen dem Gitter positive Elektrizität zugeführt, die aber durch die von der Kathode ankommenden negativen Elektronen mehr oder minder neutralisiert wird, während die an das Gitter ankommenden negativen Teile der Schwingung das Gitter negativ laden, ohne daß diese Ladung neutralisiert wird. Es wird also dadurch das Gitter durch die aufeinander folgenden Schwingungen des Wellenzuges immer mehr *negativ* geladen. Um diese Eigenschaft des Audions für die Detektorwirkung zu benutzen, machen wir eine Schaltung wie in **Fig. 188**. Von der Empfangsantenne werden durch den Transformator K_1 P die Schwingungen auf den Gitterkreis P C übertragen, der bei C einen Kondensator besitzt. Dieser Kreis ist einerseits

Fig. 188



an das Gitter G, anderseits an die Kathode K der Elektronenröhre gelegt. Zugleich sind diese aber auch durch einen parallel zum Kondensator C geschalteten sehr großen Widerstand W verbunden. Im übrigen ist an die Elektronenröhre, wie gewöhnlich, die Anodenbatterie E gelegt, und in den Anodenkreis ist direkt oder durch einen Transformator ein Telephon T eingeschaltet.

Kommt nun ein Wellenzug an die Empfangsantenne an, so wird das Gitter durch die in dem Wellenzug vorhandenen Schwingungen allmählich immer stärker negativ geladen. Die mit ihm verbundene Kondensatorplatte wird dadurch, daß ihr negative Elektrizität fortgenommen wird, positiv, die andere negativ geladen. Hört der Wellenzug auf, so entladet sich der Kondensator und mit ihm das Gitter durch den Widerstand W. Es tritt also bei jedem Wellenzug (nicht bei jeder Schwingung) eine Entladung des Kondensators ein. Während nun das Gitter negative Ladung enthält, ist der Anodenstrom geschwächt, kommt das Gitter nach Abströmung seiner Ladung durch den Widerstand W wieder in den ungeladenen Zustand, so wird der Anodenstrom verstärkt. Man erhält also Abnahme und Zunahme des Anodenstromes in derselben Zahl, in der die Wellenzüge ankommen, und diese Schwankungen hört man im Telephon als Töne von bestimmter Höhe. *Dadurch ist das Audion zum Detektor geworden.* Es konkurriert darin nicht bloß mit den Kristalldetektoren, sondern, da ja die Anodenströme stärker sind als die Gitterströme, verstärkt es zugleich diese Ströme. Es wirkt gleichzeitig als Detektor und als Verstärker. Der große Widerstand ist jetzt gewöhnlich ein sogenannter *Löwe-Widerstand*, der aus zerstäubtem Metall auf Glas besteht, oder auch ein *Telefunken-Ohm-Widerstand*. Die in einem Audion (oder Kristalldetektor) erzeugten Schwingungen haben nicht die hohe Frequenz wie die ankommenden Schwingungen, sondern sie sind *niederfrequent*, ihre Frequenz ist so groß, wie sie die Töne des Telephons haben.

Für das Audion und die Verstärkerröhren, welche keine so große Energie aufzunehmen brauchen wie die Senderöhren, werden die Röhren jetzt in Formen hergestellt, wie sie **Fig. 189** zeigt. Die Zuleitung zum Gitter, zur Anode, zum Heizfaden und zur Erde sind mit den vier Füßen der Röhre verbunden, mittels deren sie in zugehörige Sockel eingesetzt werden. Der Faden der Röhren besteht aus Wolfram. Man hat aber gefunden, daß Wolframfäden, welche mit Thorium belegt sind, beim Glühen sehr viel stärkere Elektronenemission hervorbringen als reine Wolframfäden. Noch größere Emission als die Thoriumfäden geben Fäden, welche mit Bariumoxyd belegt sind (Oxydfäden). Solche Röhren brauchen also für dieselbe Emission einen viel

Fig. 189

schwächeren Heizstrom als die reinen Wolframfäden. Weil aber diese Fäden durch kleine Gasmengen, die etwa in der Röhre noch vorhanden sind, leiden, so wird das Glas durch eine Magnesiumschicht verspiegelt, weil Magnesium diese Gasmengen absorbiert. Infolge der Verspiegelung sieht man also bei diesen Röhren, von denen **Fig. 190** eine darstellt, von dem Innern nichts. Um einen Anhalt über die Verhältnisse der Röhren zu geben, sei angeführt, wieviel Heizspannung und Heizstrom drei vielbenutzte Röhren brauchen und wie groß ihre Emission ist. Unter *Emission* ist die Stromstärke verstanden, welche der glühende Faden der Röhre bei der gegebenen Temperatur aussendet.

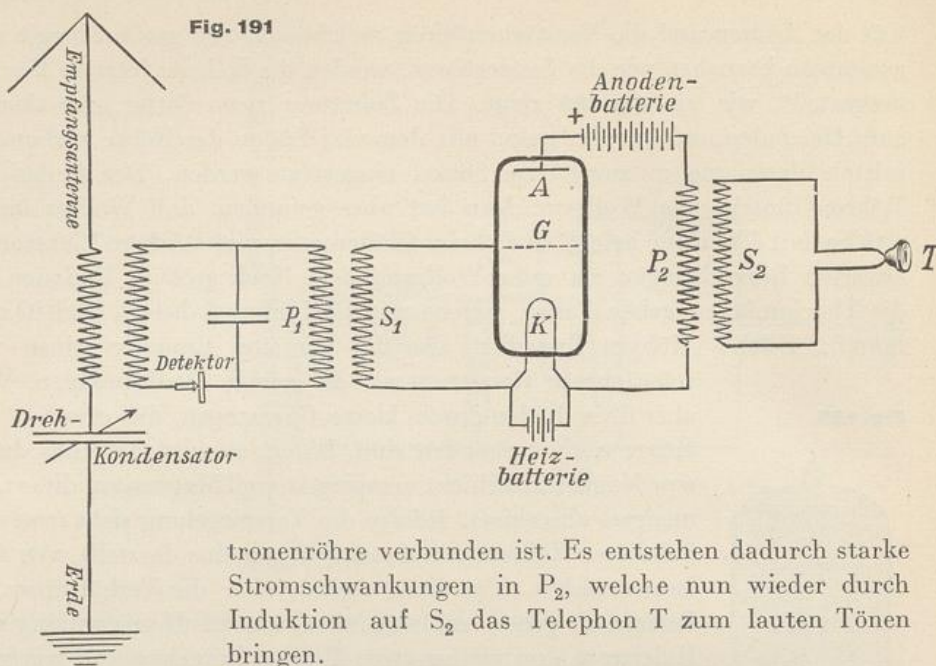
Röhre	Heizspannung	Heizstrom	Emission
RE 0,54	4 Volt	0,06 Amp.	5 Milliamp.
RE 0,74	4 „	0,06 „	20 „
RE 1,54	4 „	0,15 „	50 „

Fig. 190

Die erste Röhre enthält einen Thoriumfaden, die beiden anderen Oxydfäden.

Die niederfrequenten Schwingungen, wie sie durch einen Kristalldetektor oder ein Audion entstehen, kann man nun auch wieder verstärken, indem man sie auf eine Elektronenröhre, und zwar auf deren Gitterkreis, einwirken läßt. Eine dazu dienende Schaltung ist in **Fig. 191** gezeichnet. In der Empfangsantenne entstehen durch die ankommenden Wellen sehr schwache Schwingungen. Diese wirken induzierend auf den Kreis, in welchem der Detektor und eine Spule P_1 enthalten sind. Durch den Detektor entstehen in diesem Kreis bei jedem an die Empfangsantenne ankommenden Wellenzug langsame Stromänderungen. Diese wirken nun wieder induzierend auf die Spule S_1 , welche mit dem Gitter der Elek-

Fig. 191



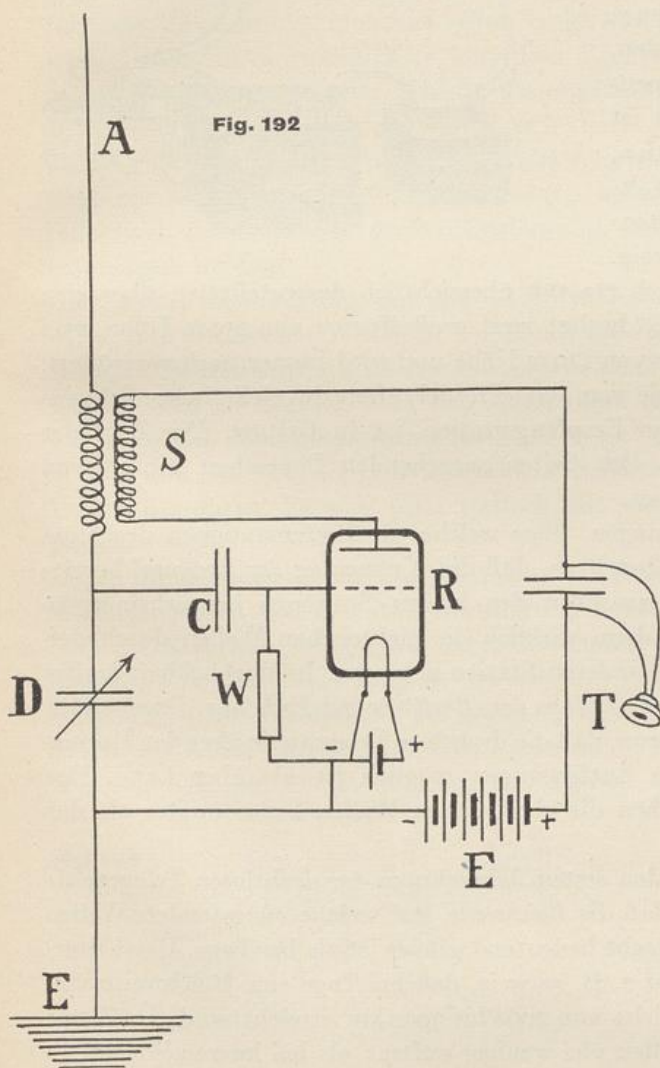
tronenröhre verbunden ist. Es entstehen dadurch starke Stromschwankungen in P_2 , welche nun wieder durch Induktion auf S_2 das Telephon T zum lauten Tönen bringen.

Man bezeichnet eine Elektronenröhre in dieser Anordnung als *Lautverstärker* oder *Niederfrequenzverstärker*, weil sie die langsamen Telefonschwingungen verstärkt. Indem man diese verstärkten Ströme durch eine zweite und eventuell noch eine dritte und vierte Röhre weiter verstärken läßt, kann man, wie erwähnt, ohne Verzerrung der Sprache die Stärke der Ströme auf das 20 000fache bringen und so die allerschwächsten ankommenden Wellenzüge in einem Telephon hören. Ja, man kann aber auch durch solche Röhren die ankommenden raschen Schwingungen, also bevor sie zum Detektor oder Audion gelangen, verstärken und bezeichnet sie dann als *Hochfrequenzverstärker*. Von der Antenne an gerechnet kommen also zuerst die Hochfrequenzverstärker, weiter dann das Audion (oder der Kristalldetektor) und dann die Niederfrequenzverstärker. Speziell beim Audion läßt sich die Wirkung noch erheblich steigern dadurch, daß man die Audionröhre mit der Empfangsantenne *rückkoppelt*. Denn in dem Audion entstehen ja durch die Koppelung mit der Antenne hochfrequente Schwingungen, die in der Röhre hin und her gehen. Aber das Audion benutzt diese an sich nicht, sondern es benutzt in seiner Wirkung nur die langsamen Impulse, welche durch das Aufladen und Entladen des Kondensators entstehen und welche auf das Telephon wirken. Wenn man die hochfrequenten Schwingungen, die im Audion vorhanden sind, rückwärts auf die Antenne (oder eventuell einen Hochfrequenzverstärker) überträgt, so kann man die Schwingungen noch verstärken. Die einfache Schaltung zeigt **Fig. 192**. An die Antenne wird, wie bei der früher betrachteten Audionschaltung, das Gitter mittels des Kondensators C und mit dem großen Widerstand W angeschaltet. In dem Anodenkreis der Batterie E liegt aber noch die Koppelungsspule S, welche

die Röhrenschwingungen auf die Antenne überträgt, so daß jetzt kräftigere Schwingungen durch das Telephon T gehört werden. Man darf aber die Rückkoppelung nicht zu eng machen, weil sonst die Schwingungen des Empfangskreises von der Antenne ausgesendet werden. Eine solche Sendeantenne in den Händen eines Laien stört dann alle benachbarten Empfänger. Deswegen ist die Rückkoppelung des Audions namentlich beim Rundfunk nur mit Kautelen erlaubt.

Bei der großen Empfindlichkeit der Empfangsapparate, wenn sie mit solchen Verstärkern ausgerüstet sind, ist es nun auch gar nicht mehr nötig, an der Empfangsstation große, hohe Antennen anzuwenden. Schon niedrige Antennen, von wenigen Metern Höhe, nehmen oft genügend Schwingungsenergie auf, um mit den Lautverstärkern die Morsezeichen hören zu lassen. Ja, man ist jetzt sogar

dazu übergegangen, Antennen für die Empfangsstationen zu benutzen, die nicht mehr aus hochgespannten Drähten bestehen, sondern aus einem niedrigen Rahmen von vielleicht 1—2 m Seitenlänge, der mit einer Anzahl von Drähten umgeben ist. Solche *Rahmenantennen*, von denen eine in Verbindung mit einem Drehkondensator, einem Hochfrequenzverstärker, dessen letzte Röhre ein Audion ist, und einem dahintergeschalteten Niederfrequenzverstärker in Fig. 193 gezeichnet ist, kann man in jedem Zimmer aufstellen, und sie genügen, um mit den Lautverstärkern von nicht zu weit entfernten Stationen die ankommenden Zeichen zu hören. Dabei zeigen die Rahmenantennen eine ganz ausgesprochene Richtwirkung. Sie reagieren nämlich am stärksten auf diejenigen



ELFTES KAPITEL

Wellen, die in der Richtung der Rahmenenebene ankommen, und reagieren gar nicht auf Wellen, deren Richtung senkrecht zur Ebene des Rahmens ist. Indem man den Rahmen drehbar anordnet, kann man also immer den stärksten Empfang erzielen und zugleich die Richtung erkennen, aus der die Wellen ankommen.

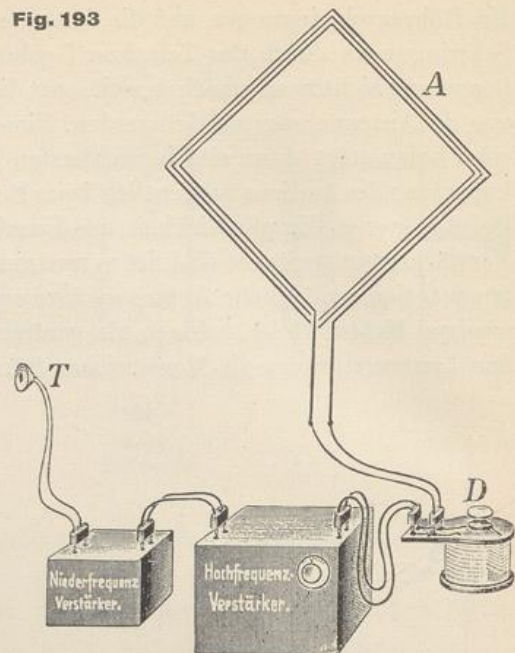
Die großen Sendestationen dagegen, welche über die ganze Erde ihre Telegramme senden, haben enorm große Antennenanlagen. In Deutschland ist Nauen die größte Station, welche den telegraphischen Weltverkehr unterhält. Die Antennenanlage in Nauen ist riesig.

Sie erstreckt sich, wie durch **Fig. 194** übersichtlich dargestellt ist, über eine Länge von fast $2\frac{1}{2}$ km. Sie besitzt zwei große Türme von 250 m Höhe, zwei weitere von 150 m und vier von 120 m Höhe und wird immer noch vergrößert. Die Station setzt die Energie von 1000 Pferdekraften in elektrische Schwingungen um. Die zugehörige Empfangsstation ist in Geltow. Die Zahl der drahtlos von Nauen nach allen Seiten ausgehenden Depeschen nimmt von Monat zu Monat erheblich zu.

Bei diesen großen Entfernungen, über welche die Riesenstationen drahtlose Telegramme senden, ist zu beachten, daß die *Krümmung der Erdkugel* bereits kilometerhohe Hindernisse zwischen den beiden Stationen hervorbringt, so daß die Frage auftritt, ob denn wirklich die elektrischen Wellen durch den Luftraum von der einen zur anderen Station gelangen. In Wirklichkeit *breiten sich die Wellen zum großen Teil längs der Oberfläche der Erde aus*. Daraus läßt sich auch die Tatsache erklären, daß die drahtlose Telegraphie über der Meeresoberfläche auf viel weitere Entfernungen möglich ist als über Land. Das Wasser des Meeres leitet eben die elektrischen Wellen besser weiter als das Gestein des Erdbodens.

Die Beobachtungen, die in den ersten Jahrzehnten der drahtlosen Telegraphie gemacht wurden, zeigten, daß die *Reichweite*, auf welche ausgesendete Wellen noch erkannt werden, bei Nacht bedeutend größer ist als bei Tage. Der Unterschied ist oft enorm, er geht z. B. so weit, daß bei Tage eine Reichweite von 200, bei Nacht aber eine solche von 2000 bis 3000 km erreicht wird. Da dieser Unterschied bei langen Wellen viel weniger auftrat als bei kurzen Wellen, so

Fig. 193



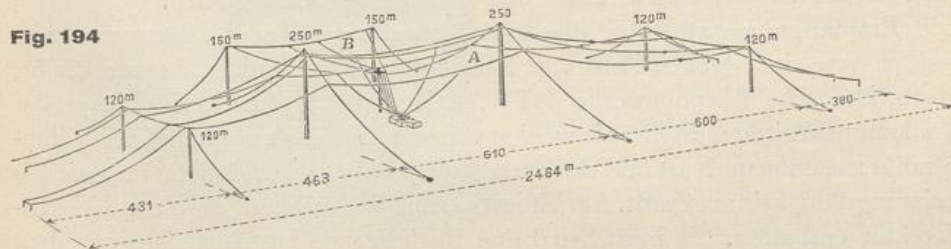
hat sich die drahtlose Telegraphie zuerst so entwickelt, daß man mit der Wellenlänge der angewendeten Schwingungen immer mehr in die Höhe ging. Man arbeitete mit Wellen, deren Länge mehr als 10 000 m betrug. Bei kurzen Wellen, solchen unter 1000 m, war auf so große Entfernungen kein Empfang mehr zu erhalten. Überraschenderweise aber hat sich später gezeigt, daß man mit sehr kurzen Wellen, solchen von 10 bis 100 m Länge, wieder große Reichweiten unter Umständen erlangen kann. Dabei hat sich weiter gezeigt, daß diese Ausbreitung kurzer Wellen eine sehr merkwürdige ist. Um den Sender herum, auf verhältnismäßig kleine Entfernung, geben sie guten Empfang, dann aber kommt oft eine Zone, in der man sie durchaus nicht empfangen kann, die sogenannte *tote Zone*, und nach dieser Zone erhält man wieder guten Empfang, und zwar bis auf enorme Reichweiten. Die Erklärung dafür ergibt sich durch folgende Betrachtung. Man hat schon lange aus theoretischen Gründen vermutet, daß sich in großer Höhe über dem Erdboden (etwa in 100 km Höhe) in der Luft eine gut leitende Schicht, die sogenannte *Heavisideschicht*, befindet, welche die auf sie fallenden Wellen reflektiert. Daraus ergibt sich zur Erklärung der Reichweite der kurzen Welle folgendes: Die vom Sender ausgestrahlten Wellen gehen scharf nach oben, werden an der Heavisideschicht reflektiert und treffen in großer Entfernung wieder auf den Boden, wo sie empfangen werden.

Eine zweite Erscheinung, die mit dieser vielleicht zusammenhängt, besteht darin, daß bei kurzen Wellen in der Nacht die Empfangsstärke oft innerhalb weniger Minuten sehr stark schwankt, indem sie oft um das Vier- bis Fünffache stärker wird als normal. Man bezeichnet diese Erscheinung als *Fadingeffekt*. Sie kann auf dem Zusammenwirken der vom Sender ausgehenden direkten Wellen und der von der Heavisideschicht reflektierten und an ihr gleitenden Wellen herrühren. Es wird jetzt vielfach mit solchen kurzen Wellen telegraphiert.

Durch die bequeme Erzeugung ungedämpfter Schwingungen, wie sie in großer Vollkommenheit von den Röhrendern geliefert werden, ist nun aber nicht bloß die drahtlose Telegraphie vervollkommen worden, sondern es ist auch eine *drahtlose Telephonie* möglich geworden.

Man kann in der Tat drahtlos auf große Entfernungen telephonische Gespräche durch den Äther übermitteln. Wenn man nämlich bei solchen ungedämpften Schwingungen, die von Röhrendern ausgehen, in den Gitterkreis ein Mikro-

Fig. 194



ELFTES KAPITEL

phon einschaltet und in dasselbe spricht, so überlagern sich die raschen Röhrenschwingungen und die langsamen Tonschwingungen in der Weise, daß die Amplitude der raschen Schwingungen nicht dauernd konstant bleibt, sondern daß die Amplitude bei den aufeinander folgenden Wellen in dem Tempo der Mikrophonschwingungen vergrößert oder verringert wird. Je nach den in das Mikrophon hineingesprochenen Tönen gehen also von der Röhre und daher auch von der Sendeantenne Schwingungen variabler Stärke aus, die, an der Empfangsstation ankommend, ein dortiges Telephon zur Wiedergabe der Töne veranlassen.

Auf dieser Tatsache hat sich nun bekanntlich seit einigen Jahren ein ganz neues Gebiet der Technik entwickelt, der *Rundfunk*. In einer großen Sendestation, die von fachmännisch gebildeten Personen geleitet wird, werden Musikauführungen aller Art, aber auch Vorträge, politische Ansprachen, Märchen-erzählungen für Kinder veranstaltet, die in dieser Station durch Mikrophon auf die Senderöhren wirken und die dann durch die Ausstrahlung der Antenne nach allen Richtungen weitergegeben werden. Jeder, der im Besitz eines auf die betreffende Wellenlänge abstimmbaren Empfangsapparates von genügender Empfindlichkeit ist, kann dadurch ohne weiteres diese Darbietungen hören.

In Deutschland ist der Unterhaltungsrundfunk so eingerichtet und in gewisser Weise behördlich geregelt, daß an gewissen Orten große *Rundfunksender* von Reichs wegen aufgestellt sind, deren Programm von privaten Gesellschaftender „Deutschen Stunde“ und anderen, gemacht wird. Die deutschen Rundfunksender und die Wellenlänge, mit denen sie senden, sind folgende:

Nürnberg Wellenlänge 240 m, Köln 263,2 m, Kaiserslautern 272,7, Königsberg 280,4, Breslau 321,2, Gleiwitz 326,4, Leipzig 361,9, Stuttgart 374,1, Hamburg 391,6, Frankfurt a. M. 421,3, Kattowitz 422,5, Köln 462,2, Berlin W 475,4, München 536,7, Königswusterhausen (Berlin) 1649.

Außerdem sind an einigen Orten noch Nebensender aufgestellt.

Einige auswärtige Sender mit ihren Wellenlängen sind folgende:

Prag 348,9, London 358, Madrid 375, Toulouse 389,6, Bern 411, Rom 447,8, Brüssel 408, Wien 517,2, Budapest 555,6, Leningrad 1000, Warschau 1111, Konstantinopel 1200, Moskau 1450, Daventry (London) 1562,5, Paris 1750.

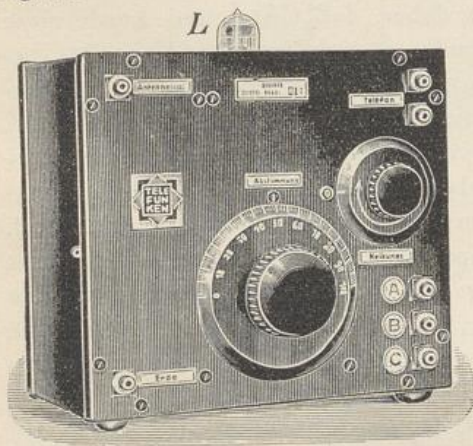
Von der Einrichtung der Sendeapparate, die natürlich sehr vielen Bedingungen genügen müssen, um die Musik und Sprache rein, ohne Störungen, von den Mikrophonen aufnehmen zu lassen und sie verstärkt auf die Senderöhren und die Antenne zu übertragen, kann hier nicht gesprochen werden.

Die Empfangsapparate, von den einfachsten bis zu den vollkommensten, werden von einer großen Zahl von Fabriken, wie Telefunken, Lorenz, Seibt, Huth, Deutsche Telephonwerke (DTW.), Siemens & Halske, AEG., in großer Vollkommenheit hergestellt. Sie werden von allen Firmen zweckmäßig und kompendiös zusammengebaut und den verschiedenen Wünschen und der finanziellen Leistungsfähigkeit angepaßt. Am billigsten sind die Apparate, die einen Kristall-detektor enthalten. Sie brauchen keine Batterie; sie bestehen bloß aus dem

DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

Detektor selbst und einem drehbaren Kondensator und einer Koppelungsspule, wobei auch diese variabel eingerichtet sein kann. Die Empfangsapparate der verschiedenen Firmen unterscheiden sich äußerlich und im Innern nur wenig voneinander. Alle zeigen von außen einen oder mehrere Drehknöpfe zur Abstimmung, ferner Anschlußstellen für die Antenne und die Erde, für die Telephone und für den Detektor. Für die unmittelbare Umgebung eines Rundfunktenders — bis auf 30—50 km Entfernung von ihm — reichen die einfachen Apparate mit Kristalldetektor vollkommen aus. Die Antenne wird an den Kasten angeschlossen und durch das Koppelungsvariometer mehr oder minder eng mit dem Empfangskreis gekoppelt, während der Drehkondensator die Abstimmung auf die ankommenden Wellen bewirkt. Das Umständlichste bei der ersten Einrichtung dieser Apparate ist, daß man eine Hochantenne benötigt. Am einfachsten spannt man eine T-Antenne auf dem Dach des Hauses aus und führt einen Draht von ihr längs der Hauswand, aber von ihr abstehend, in die Wohnung. Als behelfsmäßigen Ersatz für Hochantennen nimmt man oft sogenannte *Innenantennen*. Man spannt an der Decke eines Zimmers oder Flures einen Draht in vielen Gängen hin und her, durch Porzellanknöpfe isoliert, die Enden lötet oder verschraubt man zusammen und führt von dieser Stelle aus einen Draht, von der Wand isoliert, herunter bis zu dem Apparat, der anderseits mit der Erde verbunden wird. Man kann auch die Klingelleitung des Hauses ebenso benutzen, indem man an sie einen Zuführungsdraht für den Apparat anlegt. Benutzt man die Lichtleitung (sogenannte *Lichtantenne*), so muß man in diesen Zuführungsdraht einen Kondensator legen, damit nicht die Lichtströme in den Empfangsapparat und von diesem zur Erde gehen. Natürlich erhält man durch solche Innenantennen nur $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{30}$ der Lautstärke einer Hochantenne und kann mit solchen nur wenig entfernte Sender aufnehmen. Bedeutend leistungsfähiger sind die Apparate mit Elektronenröhren, wobei diese zunächst als Detektor (Audion) und als Niederfrequenzverstärker zur Anwendung kommen. Es gehören dann zum Empfangsapparat noch die Batterien (gewöhnlich 50—100 Volt für den Anodenstrom und 2—6 Volt für den Heizstrom) und die Elektronenröhren selbst. Aber die Abstimmungsschärfe und die Reichweite solcher Apparate ist eine bei weitem größere. Im übrigen sind die Apparate ebenso kompakt wie die vorher besprochenen. **Fig. 195** zeigt einen einfachen Röhrenempfänger der Telefongesellschaft. Man sieht oben die Elektronenröhre. Die Röhre ist ein Audion, aber mit Rückkoppelung

Fig. 195



ELFTES KAPITEL

versehen, wodurch sie zugleich die ankommenden Schwingungen verstärkt. Die Heizung der Röhre wird durch einen Widerstand reguliert, den man durch Drehen des rechts vorn sichtbaren Knopfes mehr oder minder ausschaltet. Der Drehknopf in der Mitte dient für die Abstimmung des Apparates und zugleich für die Regulierung der Rückkoppelung. Sollen die erzeugten Tonschwingungen verstärkt werden, so wird ein zweiter Kasten mit diesem Empfänger verbunden, in welchem die Röhren für die Niederfrequenzverstärkung mit den zugehörigen Transformatoren und Verbindungen enthalten sind. In ähnlicher Weise sind die einfachen Röhrenempfänger aller anderen Firmen eingerichtet, nur daß häufig Audionempfänger und Niederfrequenzverstärker in demselben Kasten vereinigt sind. Als Anodenbatterie nimmt man meistens Trockenelemente, wenn man nicht Akkumulatoren zur Verfügung hat.

Die Lichtleitung für den Anodenstrom zu benutzen, hat gewisse Schwierigkeiten, da die Ströme der Lichtleitung gewöhnlich von Dynamomaschinen geliefert werden und die — für gewöhnlich unmerklichen — Pulsationen in diesen durch die Hochfrequenzapparate aufgenommen und verstärkt wiedergegeben werden. Es werden aber jetzt von verschiedenen Firmen sogenannte *Netzanschlußgeräte* fabriziert, welche eben die Benutzung der gewöhnlichen Lichtleitung gestatten. Führt die Lichtleitung Gleichstrom, so braucht man ihren Strom nur durch Drosselspulen zu senden, die die Pulsationen nicht durchlassen, und dann zu einem großen Widerstand, an dem man Abzweigungen anbringt, die für den Anodenstrom und den Heizstrom die erforderliche Spannung liefern. Führt dagegen die Lichtleitung Wechselstrom, so muß man diesen erst gleichrichten, was jetzt auch durch Elektronenröhren erzielt werden kann.

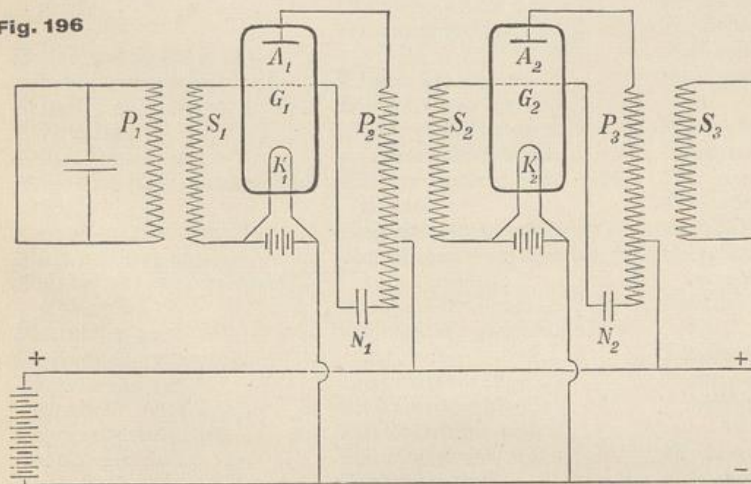
Will man aber von sehr entfernten Stationen noch die Rundfunkdarbietungen empfangen können, so muß man erstens eine Hochantenne und zweitens Apparate benutzen, die nicht bloß Niederfrequenzverstärker, sondern die auch noch Hochfrequenzverstärker enthalten. Aber solche Hochfrequenzverstärker in mehreren Stufen für den Rundfunkempfang einzurichten, war keine leichte Aufgabe. Die Hauptschwierigkeit lag in der *Pfeifneigung* der Röhren. Diese kommt im allgemeinen daher, daß Gitter und Anode einer Röhre zusammen ja einen kleinen Kondensator bilden, der Kapazität besitzt, wenn sie auch klein ist (10—20 cm) und der infolgedessen Schwingungskreise auch miteinander koppeln kann, die voneinander unabhängig sein sollen. Dadurch übt diese *Gitter-Anoden-Kapazität* oft die Funktion einer Rückkoppelung aus. Man mußte versuchen, diese unbeabsichtigte Rückkoppelungen zu verhindern. Das kann man dadurch, daß man eine zweite sehr kleine Kapazität noch zuschaltet, welche der Gitter-Anoden-Kapazität entgegenwirkt. Man bezeichnet diese jetzt häufig benutzte Schaltung als *Neutrodynschaltung*. In **Fig. 196** ist die Schaltung zweier Hochfrequenzverstärker mit Neutrodyn gezeichnet. Die zwei Röhren sind parallel an die von der Anodenbatterie ausgehenden (unten gezeichneten) Leitungen angeschlossen. An die Gitter G_1 und G_2 sind die kleinen Neutrodynkondensatoren N_1 N_2 so angeschlossen, daß sie in den

Spulen P_2 und P_3 gerade der Gitter-Anoden-Kapazität entgegenwirken. Denn die Anode und die rechte Platte von N_1 und N_2 haben dabei immer gleiche Wechselstromspannung, die sich also in den Spulen P_2, P_3 aufheben. Jede solche Stufe der Hochfrequenzverstärkung ist für sich also abgeglichen und störungsfrei, so daß man leicht mehrere Hochfrequenzstufen hintereinander schalten kann. Man erhält solche kleine Neutrodynekkondensatoren jetzt käuflich.

Die Empfangsapparate werden oft nach der Zahl der angewendeten Röhren unterschieden als Dreiröhren-, Vierröhren-, Fünfröhrenapparate usw. Eine der Röhren ist immer ein Audion, die anderen sind Niederfrequenzverstärker und eventuell Hochfrequenzverstärker. Bei dem Fünfröhrenapparat z. B. sind gewöhnlich zwei Hochfrequenzstufen, dann ein Audion und dann zwei Niederfrequenzstufen angebracht. Die Kondensatoren sind als Drehkondensatoren gebildet und regulierbar. Die Spulen, die jetzt gewöhnlich, um unbeabsichtigte Induktionen zu vermeiden, in Metallhüllen eingeschlossen sind, werden zuweilen so eingerichtet, daß sie durch Umschalten (Parallel- oder Hintereinanderschalten) einmal die nötige Selbstinduktion für kürzere Wellen, das andere Mal für längere Wellen geben. Die Abstimmung auf die ankommenden Wellen hat man, da die Apparate meistens in Laienhänden sind, sehr vereinfacht. Gewöhnlich sind nur die Wellenabstimmung, dann die Rückkoppelung und die Antennenkoppelung variabel und von dem Benutzer einzustellen.

In vielen Fällen ist der Rundfunkempfang ein subjektiver. Ein oder zwei Personen halten sich die Telephone an die Ohren, die an den Empfangsapparat angeschlossen sind, und hören die ankommenden Darbietungen. Immer mehr aber tritt das Bedürfnis und der Wunsch an den Tag, diese Musik- und Wortübertragungen gleichzeitig einem ganzen Auditorium vorzuführen, und dazu braucht man *Lautsprecher*. Die Lautsprecher sind in den letzten Jahren sehr vervollkommen worden. Es handelt sich bei ihnen immer darum, eine möglichst große Luftmasse in Schwingungen zu versetzen, damit die Töne laut sind,

Fig. 196



ELFTES KAPITEL

dabei aber zu bewirken, daß die Töne verschiedener Höhe gleichmäßig verstärkt werden und daß insbesondere der Lautsprecher nicht besondere Eigenschwingungen besitzt, wodurch jede Tonwiedergabe fremde Beimengungen erhalten würde. Die letztere Forderung hat man dadurch erfüllt, daß man Membranen von solcher Größe nahm und sie so einspannte, daß ihre Eigenschwingungen unterhalb der Hörbarkeitsgrenze lagen. Bei den einfachen *Protoslautsprechern* von Siemens & Halske wird ein großes gewölbtes Pertinaxblatt an den Rändern befestigt. In der Mitte ist es gefalzt, und an diesen Falz greift eine Strebe an, welche elektromagnetisch die Schwingungen auf das Blatt überträgt. Der Lautsprecher befindet sich in einem Holzgehäuse mit durchbrochener Vorder- und Rückwand, die mit Seide unterlegt sind. Er gibt die Sprache und Musik tadellos laut wieder. Andere derartige Lautsprecher, auch mit ausgezeichneter Wirkung, sind das Geaphon und das Geakkord der AEG. Für sehr große Räume und für das Freie ist von Siemens & Halske der *Blatt-haller* nach denselben Prinzipien konstruiert, welcher, mit Strömen von 20 Ampere betrieben, eine ganz außerordentliche Klangfülle aussendet, die viele hundert Meter weit gehört werden kann.

Die außerordentlichen Fortschritte, welche die drahtlose Telegraphie und Telephonie sowohl in der Erzeugung elektrischer Schwingungen, wie in dem Empfang elektrischer Wellen und in der lauten Wiedergabe der übermittelten Tonschwingungen gemacht hat, sind durch die unablässige wissenschaftliche und technische Forschung erzielt worden, welche alle Einzelheiten und insbesondere alle Unvollkommenheiten so lange studiert hat, bis sie ihre letzten Ursachen gefunden, und dadurch zur Beseitigung dieser Unvollkommenheiten geführt hat. Noch nie hat sich eine Technik von ihren Anfängen aus so rasch und so vollkommen entwickelt wie gerade die Technik der raschen elektrischen Schwingungen, die Hochfrequenztechnik.