

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. ....

~~26~~

chen

nik

Von

Prof. J. Herrmann

I

Allgemeine Einführung

Mit 75 Figuren und 16 Tafeln



888

# Sammlung Götschen

Unser heutiges Wissen  
in kurzen, klaren, allgemeinverständlichen  
Einzeldarstellungen

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Götschen'sche Verlagsbuchhandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.

Berlin W. 10 und Leipzig

Zweck und Ziel der „Sammlung Götschen“ ist, in Einzeldarstellungen eine klare, leichtverständliche und übersichtliche Einführung in sämtliche Gebiete der Wissenschaft und Technik zu geben; in engem Rahmen, auf streng wissenschaftlicher Grundlage und unter Berücksichtigung des neuesten Standes der Forschung bearbeitet, soll jedes Bändchen zuverlässige Belehrung bieten. Jedes einzelne Gebiet ist in sich geschlossen dargestellt, aber dennoch stehen alle Bändchen in innerem Zusammenhang miteinander, so daß das Ganze, wenn es vollendet vorliegt, eine einheitliche, systematische Darstellung unseres gesamten

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295844

21  
bet

n i s s e  
und postfrei

# Elektrotechnische Bibliothek

aus der Sammlung Göschen

- Elektrotechnik.** Einführung in die Starkstromtechnik von Prof. J. Herrmann.
- I. Die physikalischen Grundlagen. Mit 95 Fig. u. 16 Taf. Nr. 196
  - II. Die Gleichstromtechnik. Mit 121 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 197
  - III. Die Wechselstromtechnik. Mit 153 Figuren u. 16 Tafeln. Nr. 198
  - IV. Die Erzeugung u. Verteilung der elektrischen Energie. Mit 96 Figuren und 16 Tafeln. . . . . Nr. 657
- Die Baustoffe des Maschinenbaues und der Elektrotechnik** von Prof. Ing. Hermann Wilda. Mit 13 Figuren. Nr. 476
- Luftlektrizität** von Dr. Karl Kähler. Mit 18 Figuren . . . Nr. 649
- Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht** von Prof. Dr. A. Nippoldt. Mit 16 Figuren und 7 Tafeln . . . . . Nr. 175
- Radioaktivität** von Prof. Dr. P. Ludewig. Mit 21 Figuren. Nr. 317
- Physikalische Tabellen** von Dr. A. Leick . . . . . Nr. 650
- Technische Tabellen u. Formeln** v. Dr.-Ing. W. Müller. Mit 106 Figuren . . . . . Nr. 579
- Technisches Wörterbuch**, enthält d. wichtigst. Ausdrücke des Maschinenbaues u. Schiffbaues von Ing. Erich Krebs.
- Deutsch-Französisch . . . . . Nr. 453
  - Französisch-Deutsch . . . . . Nr. 454
  - Deutsch-Englisch . . . . . Nr. 395
  - Englisch-Deutsch . . . . . Nr. 396
- Englisch für Techniker.** Ein Lese- und Übungsbuch für Ingenieure u. zum Gebrauch an Techn. Lehranstalten. Unter Mitarbeit von Albany Featherstonhaugh herausgegeben von Ing. Carl Volk. 2 Teile. Mit 44 Figuren. Nr. 705, 706
- Elektrische Schaltapparate** von Prof. Dr.-Ing. Erich Beckmann. Mit 54 Figuren und 107 Abb. auf 20 Tafeln. Nr. 711
- Elektrische Schaltanlagen** von Prof. Dr. F. Niethammer.
- I. Allgemeines. Schaltpläne. Einfache Schalttafeln. Mit 46 Figuren . . . . . Nr. 796
  - II. Schaltanlagen für hohe Spannungen. Schaltkästen. Schutzvorrichtungen. Mit 53 Figuren . . . . . Nr. 797
- Einführung in die Hochspannungstechnik** v. Dr.-Ing. K. Fischer. I. Mit 77 Figuren . . . . . Nr. 609
- Ströme und Spannungen in Starkstromnetzen** von Diplom-Elektro-Ing. Josef Herzog und Prof. Feldmann. Mit 68 Figuren . . . . . Nr. 456
- Die zweckmäßigste Betriebskraft** von Ober-Ing. Friedrich Barth.
- I. Einleitung. Dampfkraftanlagen. Verschiedene Kraftmaschinen. Mit 27 Figuren . . . . . Nr. 224
  - II. Gas-, Wasser- und Wind-Kraftanlagen. Mit 31 Figuren. Nr. 225
  - III. Elektromotoren. Betriebskostentabellen. Graph. Darstellungen. Wahl der Betriebskraft. Mit 27 Figuren. Nr. 474

- Straßenbahnen** von Dipl.-Ing. A. Boshart. Mit 72 Figuren. Nr. 559
- Die Elektrizität im Dienste der Kraftfahrzeuge** von Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 46 Figuren. Nr. 815
- Die Elektromotoren, ihre Arbeitsweise u. Verwendungsmöglichkeit** von Prof. Dr. F. Niethammer.
- I. Gleichstrommotoren, Mehrphas. Synchron- u. Asynchronmotoren. Mit 55 Figuren . . . . . Nr. 798
- II. Kommutatormotoren. Mech. Aufbau. Wirtschaftlichkeit u. a. Mit 48 Figuren . . . . . Nr. 799
- Die Gleichstrommaschine** von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. 2 Bände. Mit 135 Figuren . . . . . Nr. 257, 881
- Wechselstromerzeuger** von Prof. Dipl.-Ing. Fr. Sallinger. Mit 77 Figuren . . . . . Nr. 547
- Elektrische Förderanlagen** von Dr.-Ing. A. Schwaiger. Mit 30 Figuren . . . . . Nr. 678
- Elektrische Öfen** v. Prof. Dr. Osw. Meyer. Mit 68 Figuren. Nr. 704
- Das Fernsprechwesen** von Dipl.-Ing. W. Winkelmann. 2 Bände. Mit 114 Figuren . . . . . Nr. 155, 773
- Bildtelegraphie** von Prof. Dr. A. Korn. Mit 41 Fig. und 8 Taf. Nr. 873
- Radiotechnik** von Prof. J. Herrmann. I. Allgem. Einführung. Mit 72 Figuren und 16 Tafeln . . . . . Nr. 888
- Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen** von Oberbaurat a. D. S. Scheibner. 2 Bände. Mit 72 Figuren. Nr. 689, 690
- Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen** von Geh. Baurat K. Fink. Mit 50 Figuren . . . . . Nr. 707
- Die elektrischen Meßinstrumente.** Darstellung der Wirkungsweise der gebräuchlichsten Meßinstrumente der Elektrotechnik und kurze Beschreibung ihres Aufbaues von Prof. J. Herrmann. Mit 195 Figuren . . . . . Nr. 477
- Die elektrische Meßtechnik I** von Prof. J. Herrmann. Mit 85 Figuren . . . . . Nr. 885
- Physikalische Messungsmethoden** von Professor Dr. Wilh. Bahrdt. Mit 49 Figuren . . . . . Nr. 301
- Elektrizität und Magnetismus** von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 33 Figuren . . . . . Nr. 78
- Elektromagnet. Lichttheorie und Elektronik** von Prof. Dr. G. Jäger. Mit 21 Figuren . . . . . Nr. 374
- Elektrische Schwingungen** von Privatdozent Dr. Herm. Rohmann. 2 Bände. Mit 114 Figuren . . . . . Nr. 751, 752
- Elektrochemie** von Dr. Heinrich Danneel.
- I. Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 16 Figuren . . . . . Nr. 252
- II. Experiment. Elektrochemie. Meßmethoden, Leitfähigkeit, Lösungen. Mit 26 Figuren . . . . . Nr. 253
- Die Akkumulatoren für Elektrizität** v. Geh. Reg.-Rat Dr.-Ing. Rich. Albrecht. Mit 52 Figuren . . . . . Nr. 620
- Luftsalpeter.** Seine Gewinnung durch den elektrischen Flammenbogen von Prof. Dr. G. Brion. Mit 50 Figuren. Nr. 616

---

Weitere Bände sind in Vorbereitung

Sammlung Göschen

# Radiotechnik

Von

**J. Herrmann**

Professor der Elektrotechnik  
an der Technischen Hochschule Stuttgart

I

Allgemeine Einführung



Mit 75 Figuren und 16 Tafeln

M. 61.



Berlin und Leipzig

**Walter de Gruyter & Co.**

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag, Verlags-  
buchhandlung — Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp.

1924

By 40

I 301450

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht  
von der Verlagshandlung vorbehalten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

I 26

Druck von  
C. G. Röder G. m. b. H., Leipzig.  
849924.

Akc. Nr.

311 | 50

BPK-B-1/2014

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

## I. Die elektrischen Schwingungen und die elektromagnetischen Wellen.

1. Die Vorgänge im allgemeinen . . . . .	5
2. Die elektrischen Schwingungen . . . . .	8
3. Die Maschinensender . . . . .	10
4. Der elektrische Schwingungskreis . . . . .	15
5. Der Funkensender . . . . .	19
6. Der Lichtbogensender . . . . .	22
7. Die Sendeantenne . . . . .	25
8. Die magnetische Welle . . . . .	29
9. Die elektrische Welle . . . . .	33
10. Die elektromagnetischen Wellen . . . . .	36
11. Die Empfangsantenne . . . . .	40
12. Der Kristalldetektor . . . . .	44

## II. Die Glühkathodenröhre.

13. Die Röhre im allgemeinen . . . . .	48
14. Die Anode und die Kathode . . . . .	51
15. Das Gitter . . . . .	54
16. Der Niederfrequenzverstärker . . . . .	57
17. Der Hochfrequenzverstärker . . . . .	60
18. Das Audion . . . . .	62
19. Die Empfängerschaltung mit Audion . . . . .	65
20. Die Röhre als Schwingungserzeuger . . . . .	68
21. Der Überlagerungsempfang . . . . .	71
22. Das Schwingaudion . . . . .	74
23. Die Kennlinien der Glühkathodenröhre . . . . .	76
24. Die Röhre als Gleichrichter . . . . .	80

**III. Der drahtlose Verkehr.**

A. Die drahtlose Telegraphie.		Seite
25. Die Steuerung der Sender . . . . .		83
26. Die Ausstrahlung der Sendeantenne . . . . .		88
27. Der Telegraphieempfang . . . . .		91
28. Der Duplexverkehr . . . . .		96
29. Der Rundverkehr . . . . .		99
30. Die Empfangsstörungen . . . . .		102
B. Die drahtlose Telephonie.		
31. Die Modelung der elektromagnetischen Wellen . .		104
32. Die Telephoniesender . . . . .		108
33. Der Telephonieempfang . . . . .		113
34. Die Kopfhörer und die Lautsprecher . . . . .		116
35. Der Rundfunkverkehr . . . . .		121
36. Internationale und nationale Organisation . . .		124
Register . . . . .		126
Tafeln . . . . .		I—XVI



# I. Die elektrischen Schwingungen und die elektromagnetischen Wellen.

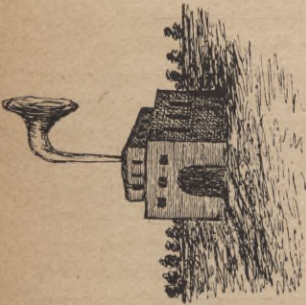
## 1. Die Vorgänge im allgemeinen.

Die Vorgänge bei der drahtlosen Telegraphie und Telephonie (der Radiotechnik) lassen sich mit den Vorgängen beim Schall (der Akustik) vergleichen. Im Innern des Hauses, links oben in der Abb. 1, werden durch eine Signalpfeife, eine große Hupe, eine Sirene oder sonst einen passenden Apparat Luftschwingungen erzeugt und dem großen Schalltrichter oben auf dem Hause zugeführt. Von ihm aus pflanzen sich diese Luftschwingungen als Schallwellen durch die Luft nach allen Seiten hin fort. Irgendwo treffen sie auf ein Ohr und bringen dessen Trommelfell zum Schwingen. Diese Schwingungen werden als Ton wahrgenommen.

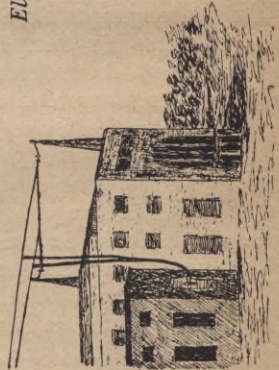
Ganz ähnlich ist es bei der Radiotechnik. In der Sendestation werden elektrische Schwingungen erzeugt und auf den hoch in die Luft geführten Sendedraht (Antenne) übertragen. Infolge davon führt der Strom in diesem Draht Schwingungen aus. Diese teilen sich dem umgebenden Raume mit und pflanzen sich als elektromagnetische Wellen drahtlos nach allen Seiten durch den Raum hin fort. Irgendwo treffen sie auf einen Empfangsdraht, der hoch in die Luft emporgeführt



Schallwellen



Elektromagnetische  
Wellen



ist, und bringen in ihm elektrische Schwingungen hervor. Da der Mensch keinen Sinn besitzt, mit dem er diese Wellen oder Schwingungen unmittelbar wahrnehmen könnte, so werden sie in der Empfangstation in eine andere Form übergeführt und dadurch wahrnehmbar gemacht.

Der allgemeine Vorgang ist also bei den Schallwellen und bei den elektromagnetischen Wellen der gleiche. Ein großer Unterschied liegt aber in der Geschwindigkeit, mit der die Schwingungen vor sich gehen. Die Luftsäule in der Pfeife schwingt mit 100 bis 10000, im Mittel mit 1000 Schwingungen in der Sekunde; der elektrische Strom im Sendedraht dagegen mit 10000 bis 1 Million, im Mittel mit 100000 Schwingungen in der Sekunde. Man nennt die sekundliche Schwingungszahl auch die **Frequenz** der Schwingungen. Da sie bei der drahtlosen Telegraphie sehr hoch ist, so nennt man sie Hochfrequenz; im Unterschied von der viel kleineren Frequenz der Tonschwingungen, die man deshalb Niederfrequenz oder auch Tonfrequenz nennt.

Ebenso verschieden ist auch die **Fortpflanzungsgeschwindigkeit**, mit der die beiden Arten von Wellen durch den Raum wandern. Die Schallwellen legen in der Sekunde 330 m zurück, wenn sie sich durch die Luft fortbewegen; im Wasser oder einem andern Übertragungsmittel ist die Geschwindigkeit eine andere. Im luftleeren Raum, im sog. Vakuum, gibt es keine Schallwellen. Die elektromagnetischen Wellen verbreiten sich dagegen mit der Geschwindigkeit des Lichts, die 300000 km in der Sekunde beträgt, auch durch den luftleeren Raum.

Während die Schallwellen aus Verdünnungen und Verdichtungen der Luft bestehen, sind die **elektromagnetischen** Wellen, wie ihr Name sagt, durch Veränderungen

des magnetischen und elektrischen Zustandes des Raumes gekennzeichnet, durch den sie wandern. Sie sind wesensgleich mit den Lichtstrahlen und heißen deshalb auch elektromagnetische Strahlen. Weil der Strahl auf lateinisch Radius heißt, so bezeichnet man die Technik dieser Strahlen auch als **Radiotechnik**.

## 2. Die elektrischen Schwingungen.

Wenn der elektrische Strom seine Richtung dauernd beibehält, so spricht man von Gleichstrom. Die Vorstellung, die man dabei hat, ist die, daß die positive Elektrizität in der Richtung des Stromes fließt, die negative in entgegengesetzter. In neuerer Zeit hat man die Elektronen als die kleinsten Teilchen der negativen Elektrizität kennengelernt, so daß man sich denken muß, daß diese negativen Elektronen bei Gleichstrom in umgekehrter Richtung, also der Stromrichtung entgegen, durch die Leitung sich bewegen. Die positive Elektrizität, die nach der alten Vorstellung mit dem Strom wandert, bleibt nach der neueren Anschauung in einem Draht in Ruhe, nur die negative bewegt sich fort. Anders in einer leitenden Flüssigkeit, in ihr wandern die positiv geladenen Teilchen (Ionen) mit dem Strom, die negativ geladenen gegen den Strom. Trotzdem behält man aber die alte Ausdrucksweise immer noch bei und spricht so, als ob die positive Elektrizität immer in der Richtung des Stromes fließen würde.

Wenn der elektrische Strom seine Richtung in regelmäßigem Rhythmus wechselt, hat man einen Wechselstrom und man spricht von Schwingungen, die der Strom ausführt. Eine solche elektrische Schwingung besteht aus einem Hin- und einem Hergang des Stromes,

enthält also zwei Stromwechsel. In Abb. 2 ist der Stromverlauf während einer Schwingung dargestellt. Von Null ansteigend erreicht er einen Höchstwert und nimmt dann wieder auf Null ab. Hier ändert er seine Richtung und wird, wenn er vorher positiv war, nunmehr negativ, erreicht wieder einen Höchstwert und wird wieder zu Null. Dann beginnt das Spiel wieder von vorn. Die Länge  $T$  der Schwingung oder der Welle der Abb. 2 bedeutet ihre

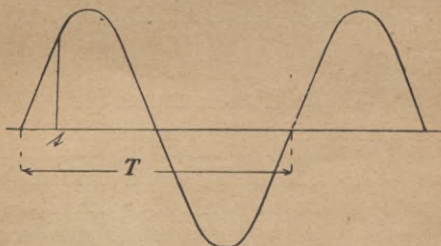


Abb. 2. Darstellung elektrischer Schwingungen.

Zeitdauer. Der Wechselstrom unserer Elektrizitätswerke macht 50 Schwingungen in der Sekunde. Seine Frequenz oder sekundliche Schwingungszahl ist also 50. Er wechselt 100mal in der Sekunde seine Richtung. Der Strom, der durch ein Telephon fließt und dort einen Ton in der Höhe des Normal-A erzeugt, macht 435 Schwingungen in der Sekunde. Seine Frequenz (Tonfrequenz) ist also 435. Der Strom im Sendedraht einer Rundfunkstation führt rund 1 Million Schwingungen in der Sekunde aus, so daß er also 1 Million Male in der Sekunde von unten nach oben schießt und dazwischen ebensooft von oben nach unten.

Diese hochfrequenten elektrischen Schwingungen der Radiotechnik werden in verschiedener Weise erzeugt:

in Maschinen, durch den elektrischen Lichtbogen und mit der Glühkathodenröhre. Die zu Beginn der drahtlosen Telegraphie gebräuchliche Erzeugungsart mit Hilfe des elektrischen Funkens ist jetzt veraltet und wird nur noch selten angewendet. Deshalb ist zu empfehlen, den bei uns in gewissen Kreisen üblichen Ausdruck Funkerei, Funkwesen, Rundfunk als unzutreffend aufzugeben und den international üblichen Ausdruck Radiotechnik, Radiotelegraphie usw. als den richtigeren zu verwenden.

### 3. Die Maschinensender.

Sie ähneln den üblichen Maschinen unserer Elektrizitätswerke. In einem solchen Wechselstromerzeuger befindet sich ein Polrad (Abb. 3), d. h. ein Rad, auf dessen Kranz sich eine Anzahl Magnetpole befinden, wobei immer ein Nordpol mit einem Südpol abwechselt. Dieses Polrad dreht sich innerhalb eines Hohlzylinders, der aus aufeinandergepreßten, entsprechend ausgeschnittenen oder ausgestanzten Eisenblechen besteht. An dem inneren Mantel dieses Hohlzylinders, also dem Polrad zugekehrt, sind Nuten in die

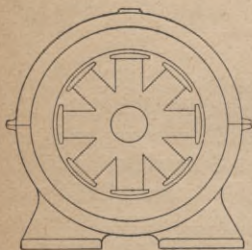


Abb. 3. Schema einer Wechselstrommaschine.

Eisenbleche eingestanzt und in diesen Nuten ist eine Wicklung aus isoliertem Kupferdraht untergebracht. Streicht nun ein Nordpol an den Drähten der Wicklung vorbei, so wird in ihnen ein Strom einer bestimmten Richtung erzeugt. Kommt gleich

nächher der Südpol, so wird die Richtung des Stroms umgekehrt. Der Vorbeigang eines Nord- und eines Südpols, also eines Polpaars, bringt eine elektrische Schwingung nach Art der Abb. 2 in der Wicklung hervor. Will man einen Wechselstrom von 50 Schwingungen in der Sekunde haben, so müssen in jeder Sekunde 50 Polpaare an der Wicklung vorbeistreichen. Dies geschieht, wenn ein Polrad mit zwei Polen, einem Nord- und einem Südpol, 50mal in der Sekunde innerhalb der entsprechenden Wicklung umläuft, ebenso aber auch, wenn ein Polrad mit 50 Polpaaren, also 100 Polen, einmal in der Sekunde in der entsprechenden Wicklung sich herumdreht.

Will man aber die Schwingungen der drahtlosen Telegraphie, also etwa 50000 Schwingungen in der Sekunde haben, so muß man viel größere Umdrehungszahlen und viel mehr Polpaare anwenden. So hat der Amerikaner **Alexanderson** Maschinen mit 20000 Umdrehungen in der Minute und 300 Polpaaren auf dem Polrad gebaut und damit einen Wechselstrom von 100000 Schwingungen in der Sekunde erzielt. Da die Umfangsgeschwindigkeit des Polrads mit Rücksicht auf die Festigkeit des Materials nicht mehr als 300 m in der Sekunde betragen darf, so kann der Durchmesser des Polrads bei dieser großen Drehzahl nicht größer als etwa 0,3 m sein. Die Breite der einzelnen Pole beträgt dabei nur wenige Millimeter. Schwingungen mit kleineren Frequenzen zu erzielen, also 25000 und darunter, bietet erheblich weniger Schwierigkeiten und so baut man nach diesem System Alexanderson Maschinen mit Leistungen bis zu 500 Kilowatt. In amerikanischen Großstationen stehen solche Maschinen in großer Zahl und in dauerndem einwandfreien Betrieb.

Ein ganz anderes Prinzip führt auch zum Ziel. Ein in der Elektrotechnik viel angewandter Apparat ist der Transformator. Er besteht aus einem ruhenden Körper aus Eisenblechen, der mit zwei Wicklungen versehen ist. Man schickt in die eine Wicklung Wechselstrom einer bestimmten Spannung und kann dann aus der zweiten

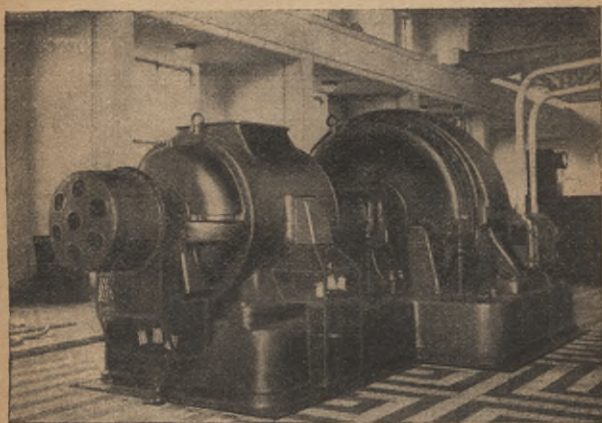


Abb. 4.

Hochfrequenzmaschine von Telefunken (hinten) mit Antriebsmotor (vorne).

Wicklung einen Wechselstrom von anderer Spannung herausholen. Diese Transformatoren sind also Spannungswandler. Wenn man nun in einem solchen Transformator die magnetischen Verhältnisse passend beeinflusst, so läßt er sich auch dazu benützen, die Frequenz zu vervielfachen. Man schickt dann in die eine Wicklung eines solchen Frequenzwandlers einen Strom von z. B. 12000 Schwingungen in der Sekunde



und erhält aus der zweiten Wicklung einen Strom von der doppelten, drei- oder mehrfachen Frequenz. Dadurch ist die Konstruktion der Hauptmaschine wesentlich erleichtert. So baut die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie System **Telefunken** in Berlin Maschinen mit nur 1500 Umdrehungen in der Minute (Abb. 4) und erzielt in ihnen durch eine entsprechende

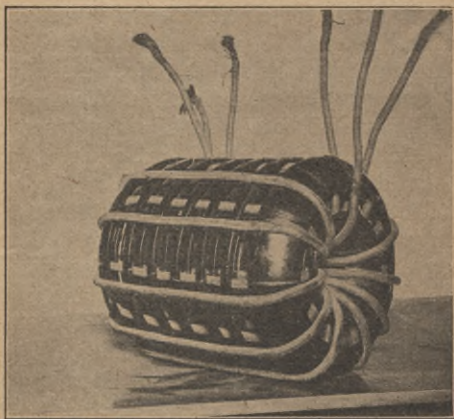


Abb. 5. Frequenzwandler von Telefunken.

Polzahl einen Strom von der Frequenz 6000. Dieser wird in einen ruhenden Frequenzwandler (Abb. 5) gesandt und kommt aus ihm mit der doppelten Frequenz von 12000 heraus. Will man nun die Frequenz 48000 haben, so hat man nichts weiter zu tun, als zwei weitere Frequenzwandler anzuwenden, und den Strom aus dem dritten Frequenzverdoppler mit der gewünschten Frequenz der Antenne zuzuführen. Zwei derartige Maschinen

samt den zugehörigen Frequenzwandlern mit einer Leistung von je 400 Kilowatt stehen seit 1914 in der Großstation Nauen bei Spandau (Tafel I) in ununterbrochenem Dauerbetrieb. Sie dienen in erster Linie zum Überseeverkehr, insbesondere auch mit der in der Nähe von Neuyork befindlichen amerikanischen Gegenstation. Sie haben aber jetzt auch den Betrieb mit Südamerika auf 12000 km aufgenommen und sind sogar in der Lage, unsere Antipoden, über eine Entfernung von 20000 km, zu erreichen.

Tafel II zeigt die Ansicht des Monumentalbaues der Radio-Großstation Nauen, gebaut von Telefunken.

Tafel III zeigt die Montage der Hochfrequenzmaschinen von Telefunken in der deutschen Radiogroßstation in Nauen. An dem herausgezogenen Rotor (Polrad) sind die schmalen Zähne (Pole) deutlich zu sehen.

Tafel IV zeigt eine von Telefunken gebaute Maschinenanlage der holländischen Radio-Großstation von Malabar auf Java. Links die Hochfrequenzmaschine, rechts der Antriebsmotor.

Tafel V zeigt die Hochfrequenzmaschine von Telefunken mit abgenommenem Seitenschild, so daß man die Zähne (Pole) des Rotors von der Seite sieht. Die Wicklung auf dem stehenden Teile der Maschine sieht man nicht. Dagegen sind die kupfernen Kühlschlangen, die zur Abführung der Wärme von Wasser durchflossen sind, rings am stehenden Teil der Maschine deutlich sichtbar.

Andere Hochfrequenzmaschinen sind von Goldschmidt, von Latour, von Schmidt und anderen angegeben und ausgeführt worden, so daß man für alle Größen und Frequenzen brauchbare Maschinensender besitzt.

Tafel VI zeigt den Maschinensaal in Eilvese, der zweiten deutschen Radio-Großstation bei Hannover. Dort sind

zwei Maschinenanlagen System Goldschmidt aufgestellt, die wie Nauen für den Überseeverkehr bestimmt sind.

Tafel VII zeigt eine der Hochfrequenzmaschinen System Goldschmidt mit herausgezogenem Rotor.

#### 4. Der elektrische Schwingungskreis.

Man kann die elektrischen Schwingungen auch auf ganz anderem Wege erzeugen, indem man die Eigenschaften des elektrischen Schwingungskreises benützt. Wie ein körperliches Gebilde von bestimmter Beschaffenheit mechanische Schwingungen auszuführen imstande ist und es nur eines entsprechenden Anreizes bedarf, um solche hervorzurufen, so besitzen auch gewisse elektrische Stromkreise die Fähigkeit, in Schwingungen zu geraten, und man hat nur nötig, sie in richtiger Weise anzustoßen, um elektrische Schwingungen der hochfrequenten Art zu bekommen, wie man sie in der Radiotechnik benötigt.



Abb. 6.  
Leidener Flasche.

In erster Linie gehört zu einem elektrischen Schwingungskreise ein Kondensator, d. h. ein Apparat, der imstande ist, Elektrizität in sich aufzunehmen (zu kondensieren). Ein wohlbekannter Vertreter dieser Kondensatoren ist die Leidener Flasche (Abb. 6). Sie besitzt zwei Metallflächen (Belegungen) aus Stanniol, die innen und außen auf die Flasche geklebt und durch das Glas der Flasche voneinander getrennt sind. Verbindet man sie mit den beiden Polen einer Batterie, so strömt die positive Elektrizität auf die eine Belegung, die negative

auf die andere. Die Leidener Flasche wird geladen. Beide Ladungen, die positive und die negative, üben nach dem bekannten Gesetz von Coulomb Anziehungskräfte aufeinander aus und halten sich also durch das Glas hindurch gegenseitig fest. Da das Glas ein Isolationsmaterial ist, so können sie nicht zueinander gelangen, bleiben aber als aufgespeicherte Ladung in der Flasche, auch wenn man die Batterie wegnimmt.

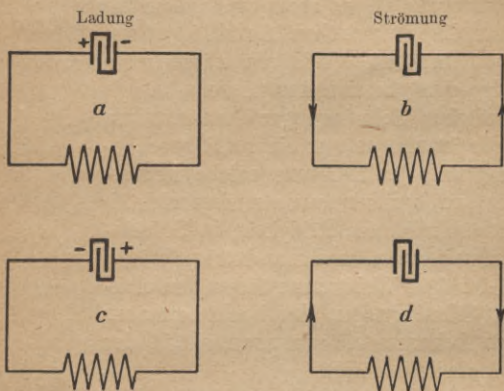


Abb. 7.

Die vier Vorgänge der Ladung und Strömung in einem Schwingungskreis.

Verbindet man nun die beiden Belegungen außen herum durch eine Leitung, wie in Abb. 7a, in der die Flasche ganz schematisch angedeutet ist, so können sich die beiden Elektrizitäten durch den Draht hindurch erreichen. Es entsteht infolgedessen eine Strömung der positiven Elektrizität durch die Drahtleitung herüber zur negativen und umgekehrt. Der Strom wird größer und größer, bis die ganze bisher ruhende Elektrizität in Strömung über-

gegangen ist. Die Flasche (der Kondensator) ist nun entladen (Abb. 7b); der Strom findet keine weitere Nahrung und sollte eigentlich in diesem Augenblick plötzlich aufhören. Das tut er aber nicht.

Zugleich mit dem Strom treten, wie bekannt, in der Umgebung der stromdurchflossenen Drähte magnetische Kräfte auf. Auch in der Spule, die in der Abb. 7 angedeutet ist, entstehen solche magnetischen Kräfte. Sie wachsen mit dem Strome an und können nun nicht plötzlich wieder verschwinden. Sie erzeugen vielmehr bei ihrem Verschwinden einen neuen Strom, der häufig mit dem Namen Extrastrom bezeichnet wird und dessen Richtung die gleiche ist, wie die des schon bestehenden. Die Folge davon ist, daß der Strom noch einige Zeit andauert, nachdem der Kondensator entladen ist. Dabei strömt nun aber in den leeren Kondensator eine neue Ladung hinein, und zwar in umgekehrter Richtung wie vorher. Schließlich verschwindet das magnetische Feld und der Strom, aber der Kondensator ist wieder aufs neue geladen (Abb. 7c), in umgekehrtem Sinne wie zuerst.

Diese Ladung hat aber das Bestreben, sich sofort wieder zu entladen. Es wird also, sobald der alte Strom zu Ende ist, ein neuer Strom einsetzen, und zwar natürlich in umgekehrter Richtung wie vorher (Abb. 7d). Mit dem Strom entsteht wieder ein magnetisches Feld, das dafür sorgt, daß der Strom nach der Entladung des Kondensators noch eine Zeitlang weiter fließt und den Kondensator aufs neue auflädt, diesmal wieder in der Weise wie zu Anfang. So geht diese Strömung hin und her, ebenso wechseln die Ladungen miteinander ab, bis schließlich die zuerst in den Kondensator hineingeladene Energie verbraucht ist, genau wie eine

durch einen Schlag mit dem Klöppel ins Tönen gebrachte Glocke längere Zeit tönt, bis die ihr beim ersten Schlag mitgeteilte Schwingungsenergie aufgebraucht ist.

Der **Rhythmus**, in der die Strömung mit der Ladung und diese wieder mit der Strömung abwechselt, hängt, wie leicht einzusehen ist, einmal von der Größe des Kondensators ab. Je größer dieser oder, wie man sagt, seine Kapazität, seine Aufnahmefähigkeit für die Elektrizität, ist, um so länger dauert es, bis jeweils die Ladung zu Ende ist.

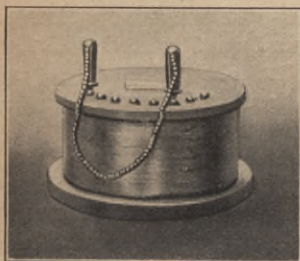


Abb. 8. Abstimmspule.

Ähnlich ist es mit dem magnetischen Feld. Je größer die magnetischen Kräfte sind, die ein Strom in einem solchen Schwingungskreis hervorbringt, um so länger dauert jeweils ihre Erzeugung und ihr Verschwinden. Nun bringt

ein und derselbe Strom in einem zu einer Spule gewickelten Draht viel stärkere magnetische Wirkungen hervor als im gleichen Draht, wenn er einfach geradeausgestreckt ist. Fügt man also in einen solchen Schwingungskreis Spulen ein, mit vielen Windungen und großer Windungsfläche, in denen also große magnetische Kräfte auftreten oder die, wie man kurz sagt, eine große Induktivität besitzen, so dauert der Schwingungsvorgang bedeutend länger als ohne sie.

Überläßt man also einen solchen Schwingungskreis der Abb. 7 nach vorgenommener Ladung des Kondensators sich selber, so führt der Strom in ihm solche Schwingungen aus. Man nennt sie seine Eigenschwingungen.

Man hat es ganz in der Hand, den Rhythmus oder die Frequenz dieser Eigenschwingungen zu bestimmen. Es dienen zu diesem Zwecke Spulen, deren Windungszahl man mit Hilfe von Stöpseln durch Anzapfen verändern kann (Abb. 8), und Kondensatoren, deren Platten man durch Drehen einander mehr oder weniger gegenüberstellen kann (Abb. 9). Die letzteren nennt man Drehkondensatoren. Macht man die Induktivität der Spulen und die Kapazität der Kondensatoren groß, so erhält man Eigenschwingungen mit einer niederen Frequenz, die man etwa in ein Telephon schicken und dort als schönen Flöten-ton wahrnehmen kann. Macht man beide klein, so erhält man die Hochfrequenzschwingungen der drahtlosen Telegraphie, die man nicht mehr hören kann und auf die auch die Telephonmembran nicht mehr anspricht.

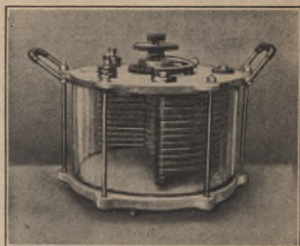


Abb. 9. Drehkondensator.

Nun kommt es darauf an, wie ein solcher Schwingungskreis angestoßen wird.

## 5. Der Funkensender.

Die ersten Forscher auf unserem Gebiet, Hertz 1888 und Marconi 1896, haben ihre Schwingungen dadurch erzielt, daß sie in den Schwingungskreis eine Unterbrechungsstelle, eine sog. Funkenstrecke zwischen zwei Kugeln eingebaut und mit einem Hochspannungsapparat, z. B. einem Ruhmkorffschen Funkeninduk-

tor, die Leidener Flaschen geladen haben (Abb. 10). In der Abbildung sind zwei Leidener Flaschen je durch zwei parallele Striche, ihre Belegungen, angedeutet. Sobald bei einer solchen Anordnung die Spannung hoch genug ist, wird die Funkenstrecke durchschlagen. Der auftretende Funke stellt eine leitende Verbindung zwischen den beiden Kugeln der Funkenstrecke her und der geladene Kondensator kann sich nun durch den Funken

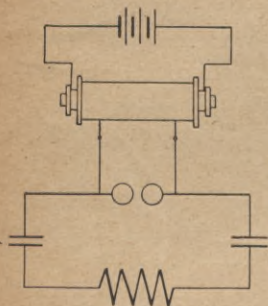


Abb. 10. Geschlossener Schwingungskreis mit Funkenstrecke.

entladen. Dabei treten nun wie in Abb. 7, S. 16 die elektrischen Schwingungen auf. Sie sind aber bald zu Ende. Denn die Energie der Ladung ist klein und wird sehr rasch aufgezehrt, besonders durch die Wärme des Funkens. Mit den Schwingungen hört dann auch der Funke auf, er erlischt und die Funkenstrecke bildet wieder eine Unterbrechungstelle in dem Stromkreis. Der Induktor kann nun seine hohe Spannung wieder

entwickeln und die Leidener Flaschen aufladen. Sobald die Spannung wieder genügend groß ist, tritt ein neuer Funke auf und mit ihm eine neue Reihe von hochfrequenten Schwingungen in dem Schwingungskreis.

Diese Schwingungen sind nun keine gleichbleibenden, wie sie eine der S. 10 ff. beschriebenen Maschinen liefert, sondern abklingende oder, wie es üblich ist zu sagen, gedämpfte Schwingungen (Abb. 11). Eine Funkenentladung besteht aus einer Gruppe von solchen abklingenden Schwingungen. Überträgt man eine solche abklingende Schwingungsgruppe auf die Sendeantenne,



so geht von ihr eine Gruppe von Wellen aus, die ebenso stark abklingen. Im Empfangsdraht entsteht ebenfalls eine kurz dauernde gedämpfte Schwingung, und in einem dort eingeschalteten Telephon hört man infolge davon bei den entsprechenden später beschriebenen Anordnungen ein einfaches Knacken (S. 47).

Man hat es nun fertig gebracht, solche Funken in regelmäßiger und sehr rascher Folge zu erzeugen, etwa 500 mal in der Sekunde. Eine so rasche Funkenfolge hört sich, wenn die Funken gleichmäßig erfolgen, wie ein Ton an und man nennt deshalb eine solche Anordnung einen **Tonfunkensender**. Jeder dieser Funken besteht aber, wie oben beschrieben, aus einer Gruppe abklingender hochfrequenter Schwingungen. Treffen sie in der Empfangsstation ein, so wird

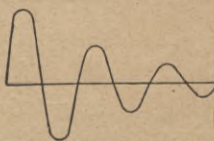


Abb. 11. Gedämpfte Sinusschwingungen.

die Membran des dort eingeschalteten Telephons 500 mal in der Sekunde angezogen und wieder losgelassen, und gibt dabei einen flötenartigen Ton von sich. Läßt man die tönenden Funken im Rhythmus der Striche und Punkte von Morsezeichen aufeinander folgen, so hört man diese als kurze und lange Flötentöne im Empfangstelephon.

Um sich das ganz klarzumachen, seien noch Zahlen angeführt. Ein Morsestrich dauere den zehnten Teil einer Sekunde lang. Er besteht nach dem Gesagten aus einem Ton, der in dieser Zehntelsekunde 50 Schwingungen ausführt, d. h. die Telephonmembran schwingt so oft hin und her. Die Ursache davon sind 50 Funken, die in der Sendestation in dieser Zeit übergesprungen sind.



Jeder Funke besteht aber aus sagen wir 10 abklingenden Schwingungen von der hochfrequenten Zahl von 100000 in der Sekunde. Die 10 Schwingungen des Funkens dauern also nur den zehntausendsten Teil einer Sekunde. Da für einen Funken die Zeit von einer fünfhundertstel Sekunde

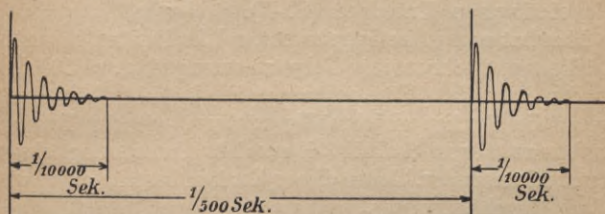


Abb. 12. Zwei Funkenentladungen; jede besteht aus 7 hochfrequenten Schwingungen.

zur Verfügung steht, so ist zwischen zwei Funken eine Pause von 19 zehntausendstel Sekunden. Vgl. Abb. 12.

Bis in die neueste Zeit hat man mit diesen tönenden Funkensendern in zufriedenstellender Weise gearbeitet. Sie sind heute aber fast ganz verdrängt durch andere, weit bessere Anordnungen, die statt der gedämpften oder abklingenden Schwingungen ungedämpfte oder gleich stark bleibende erzeugen.

## 6. Der Lichtbogensender.

Eine bessere Art, einen Schwingungskreis zu elektrischen Schwingungen anzuregen, als der elektrische Funke, bietet der elektrische Lichtbogen. Schaltet man (Abb. 13) parallel zu einem Lichtbogen, der wie bei einer gewöhnlichen Bogenlampe zwischen zwei Kohlen brennt, eine Spule und einen Kondensator oder, wie man sagt, eine Induktivität und eine Kapazität und speist

den Lichtbogen mit gewöhnlichem Gleichstrom, so entstehen in dem aus Lichtbogen, Spule und Kondensator gebildeten Kreis elektrische Schwingungen. Diese merkwürdige Eigentümlichkeit des elektrischen Lichtbogens ist schon lange bekannt. Man kann sie sehr hübsch in der Weise zeigen, daß man die Spule und den Kondensator auf eine Tonfrequenz, also etwa 1000 Schwingungen in der Sekunde, einstellt. Dann fließt durch den Lichtbogen ein Strom, der 1000mal in der Sekunde an- und

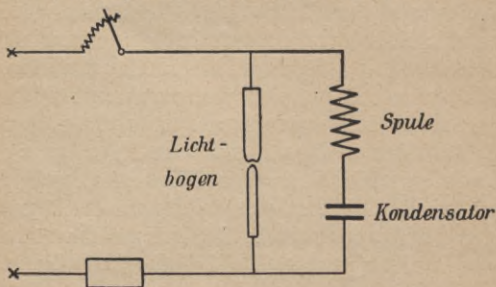


Abb. 13. Erzeugung elektrischer Schwingungen nach Duddell.

abschwillt. Beim Anschwellen wird die Hitze im Lichtbogen größer, beim Abschwellen wird sie geringer. Die glühenden Gase des Lichtbogens dehnen sich also in gleichmäßigem Rhythmus 1000mal in der Sekunde etwas aus und ziehen sich wieder zusammen. Sie teilen diese Bewegung der umgebenden Luft mit und die Folge ist, daß Wellen von dem Lichtbogen ausgesandt werden, die im Ohr als Ton wahrgenommen werden. Man hat damit den sog. selbsttönenden Lichtbogen, den der Engländer Duddell im Jahre 1899 zuerst angegeben hat.

Es ist das Verdienst des Dänen Valdemar **Poulsen** (sprich: Paulsen), diese Anordnung im Jahre 1902 auf die

Erzeugung hochfrequenter Schwingungen angewandt zu haben. Es scheint zunächst nur nötig, die Kapazität und die Induktivität immer mehr zu verkleinern, um die hohen Frequenzen zu erhalten. Das genügt aber nicht, um kräftige Schwingungen zu erzeugen. Man muß eine Reihe Abänderungen der einfachen Anordnung treffen. Der Lichtbogen wird in eine wassergekühlte Flammenkammer eingeschlossen und in dieser wird durch Eintröpfeln von Spiritus eine Wasserstoffatmosphäre erzeugt. Der Lichtbogen wird der Wirkung eines Blasmagneten ausgesetzt. Die Kohlen- oder Kupferelektroden werden gekühlt und während des Betriebs gedreht usw. Durch alle diese Maßnahmen ist es gelungen, durchaus betriebsichere und brauchbare Schwingungserzeuger, Lichtbogen- oder Poulsensender zu bauen und zwar bis zu ganz großen Leistungen von Hunderten von Kilowatt. Solche Sender sind auf vielen Großstationen in dauerndem Betrieb. So hat auch die Hauptfunkstelle Königswusterhausen südöstlich von Berlin einen solchen Lichtbogensender.

Der große Vorzug dieser Lichtbogensender vor den Funksendern ist der, daß sie keine abklingenden oder gedämpften, sondern wie die Maschinensender gleichbleibende, also ungedämpfte Schwingungen erzeugen. Denselben Vorzug hat der Röhrensender, welcher auf S. 68 ff. beschrieben ist.

Tafel VIII zeigt einen Lichtbogensender der Lorenz A.-G. in Tempelhof bei Berlin. Rechts und links sieht man die Wicklungen des Blasmagneten. Zwischen ihnen befinden sich in horizontaler Lage die Kohlenelektroden. Die vordere trägt vorne eine Scheibe mit Handgriff zum Drehen. Oben sitzt das Spiritusgefäß.

Tafel IX zeigt einen solchen Lichtbogensender (Poulsengenerator) von Lorenz eingebaut in eine Schalttafel mit allen Nebenapparaten.

## 7. Die Sendeantenne.

Um mit solchen Schwingungen elektromagnetische Wellen zu erzeugen, müssen sie auf den in die Luft ragenden Sendedraht, die Antenne, übertragen werden. Dies geschieht meist mit Hilfe eines Transformators oder Übertragers. Er besteht z. B. aus zwei Wicklungsspulen, die mehr oder weniger ineinander geschoben sind (Abb. 14), so daß die eine mit Hilfe des magnetischen

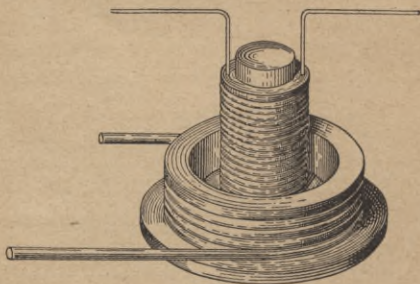


Abb. 14. Transformator.

Feldes, das der durchfließende Strom in ihr hervorruft, auf die andere einwirkt. Schaltet man also die eine Spule in den Schwingungskreis z. B. eines Lichtbogensenders ein und verbindet die andere mit der Antenne, so entstehen in dieser ebenfalls die hochfrequenten Schwingungen.

Abb. 15 zeigt, wie der Schwingungskreis eines Funkenders mit Hilfe eines solchen Übertragers mit dem Stromkreis der Antenne verbunden ist.

Man kann aber die beiden Spulen auch in eine einzige zusammenschmelzen lassen und bekommt dann z. B.

für einen Lichtbogensender die Schaltung der Abb. 16. Mit Hilfe von veränderlichen Anschlüssen an dieser Spule lassen sich die Verhältnisse nach Wunsch einstellen.

Diese Verbindung zweier Schwingungskreise nennt man Kopplung; diejenige der Abb. 15 heißt induktive, die der Abb. 16 galvanische Kopplung.

Um nun möglichst kräftige Schwingungen in der Antenne zu erzielen, sorgt man dafür, daß sie dieselbe Eigen-

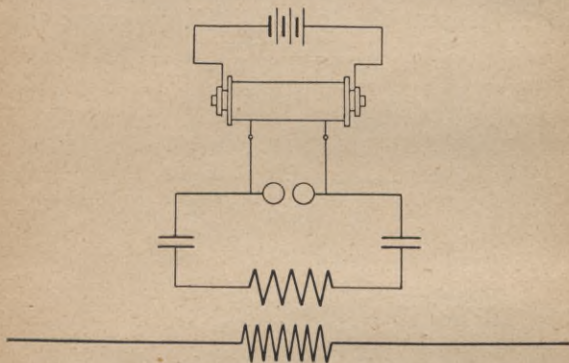


Abb. 15. Geschlossener Schwingungskreis mit induktiv erregtem Sendedraht.

schwingungszahl besitzt, wie der Schwingungskreis des Lichtbogens. Dies geschieht, wie S. 18 f. angegeben, mit Hilfe von Kondensatoren und Spulen. Man sagt, die Antenne wird auf die Schwingungen abgestimmt, so daß zwischen beiden Resonanz besteht. So entstehen außerordentlich starke Schwingungen in solchen Antennen. In einer Großstation schießen Ströme von mehreren hundert Ampere in dem Sendedraht auf und ab.

Damit die großen Ladungen, welche diese Ströme mit sich führen, am oberen Ende des Luftdrahtes unter-

kommen, werden dort mächtige Drahtnetze zwischen riesigen Masten von 250 m Höhe aufgehängt, die eine Fläche von Tausenden von Quadratmetern bedecken. Ihnen entsprechen ebenso ausgedehnte Netze dicht über

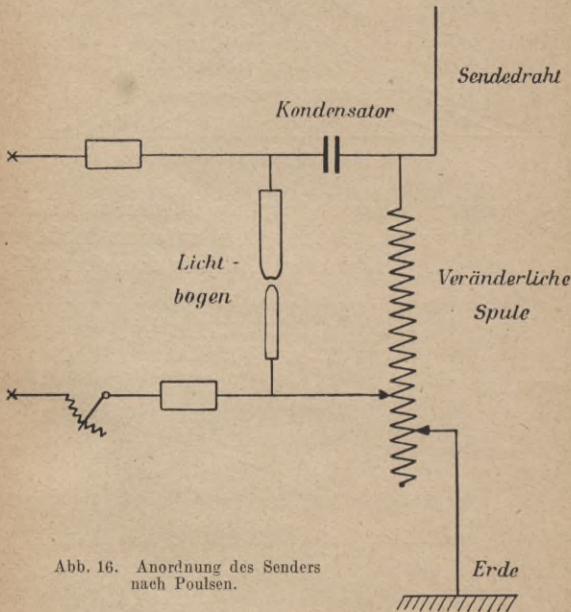


Abb. 16. Anordnung des Senders nach Poulsen.

dem Erdboden, oder auch etwas in den Erdboden vergraben, so daß das Netz hoch oben in der Luft die eine Belegung eines Kondensators darstellt, dessen andere Belegung von dem Erdnetz gebildet wird. Die Spannung, mit der dieser Riesenkondensator geladen wird, beträgt bei großen Sendestationen mehr als 100000 Volt.

Abb. 17 zeigt die Schirmantenne von Nauen, wie sie vor dem Kriege bestand. Sie wurde abgelöst von einer über 2 km lang gestreckten Antenne, deren höchste Masten in der Mitte 260 m hoch waren (Abb. 18).



Abb. 17. Die frühere Schirmantenne von Nauen.

Der Vorgang in diesen Antennen ist nun so, daß die positive Elektrizität, die mit dem aufwärts fließenden Strom nach oben befördert wird, sich in dem oberen Teil

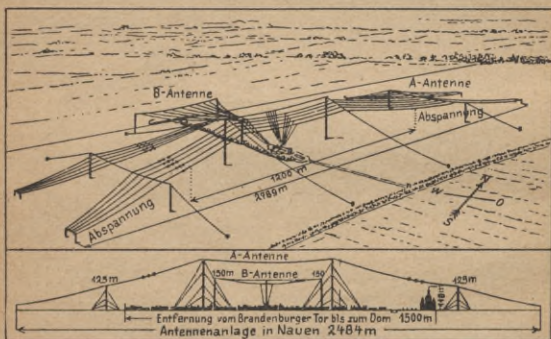


Abb. 18. Die spätere langgestreckte Antenne von Nauen.

des Sendedrahts bzw. in dem Luftnetz ansammelt und dort einen Augenblick in Ruhe sich befindet, während zur gleichen Zeit die negative Elektrizität sich in dem unteren Teile des Drahtes oder in dem Erdnetz ansammelt



und dort ebenfalls einen Augenblick in Ruhe ist. Gleich darauf schießt dann die positive Elektrizität von oben nach unten und die negative von unten nach oben, wobei die Strömung wieder so lange andauert, bis alle vorhandene Elektrizität nach oben bzw. nach unten befördert ist, und dort wieder, natürlich mit umgekehrtem Vorzeichen wie vorhin, einen Augenblick in Ruhe bleibt. So geht das Spiel in gleichmäßiger Stärke fort, wenn eine Stromquelle, z. B. ein Lichtbogensender, da ist, welcher die dabei auftretenden Verluste deckt, d. h. dem Draht immer neue elektrische Energie zuführt. Der elektrische Strom führt dann in der Antenne ungedämpfte Schwingungen, d. h. solche von gleichbleibender Stärke aus.

### 8. Die magnetische Welle.

Der elektrische Strom bringt nun, wie schon S. 17 bemerkt wurde, in seiner Umgebung magnetische Erscheinungen hervor. Man sieht das am besten, wenn man eine Magnetnadel in seine Nähe bringt. Sie wird aus ihrer Nord-Süd-Richtung abgelenkt, und zwar durch den in dem Sendedraht nach oben fließenden Strom in der einen Richtung, durch den nach unten fließenden Strom in umgekehrter Richtung. Untersucht man die Verhältnisse näher, so findet man, daß die magnetischen Kräfte, die in der Umgebung auftreten, sich symmetrisch, und zwar kreisförmig um den Draht anordnen (Abb. 19), ferner daß sie um so kleiner werden, je weiter man sich von dem Draht entfernt. Diese magnetischen Wirkungen treten nun sogleich mit dem Strom auf, wachsen mit ihm von kleinen Werten bis auf einen Höchstwert an und verschwinden wieder, wenn auch er

verschwindet. In kürzester Zeit sind sie schon in großer Entfernung wahrnehmbar, denn sie wandern mit Lichtgeschwindigkeit, d. h. mit 300000 km in der Sekunde vom Drahte in den Raum hinaus fort. Das Auftreten des Stromes im Sendedraht ist also in einer Entfernung von 300000 km schon nach einer Sekunde wahrnehmbar, vorausgesetzt, daß man dort genügend empfindliche Instrumente hat, die gestatten, die außerordentlich winzigen Kräfte noch festzustellen.

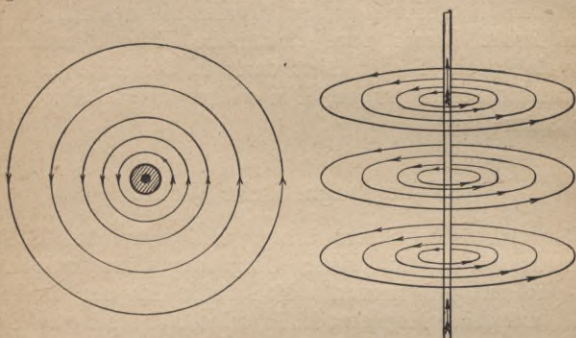


Abb. 19. Magnetisches Kraftlinienfeld eines Stromleiters.

In der Abb. 20 soll der Kreis den Querschnitt eines Sendedrahts von oben her gesehen andeuten. Zunächst ist er stromlos, die Nachbarschaft zeigt keine magnetischen Eigenschaften. Das ist durch die Punkte der ersten Reihe dargestellt. Nun beginnt der Strom nach aufwärts, dem Beschauer entgegen, zu fließen. In der Figur ist dies durch die Pfeilspitze, den Punkt im Drahtquerschnitt, angedeutet. Mit ihm entstehen die magnetischen Kräfte in der Umgebung und sie pflanzen sich mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum hinaus fort, zu-

erst klein, dann immer größer werdend. Dies zeigen die Pfeile der zweiten Reihe. Der Strom erreicht hier sein Maximum und nimmt nun wieder ab. Dabei werden auch die ausgesandten magnetischen Kräfte wieder kleiner, bis sie samt dem Strom zu Null werden (Abb. 20, dritte Reihe). Die einmal fortgewanderten vom Draht

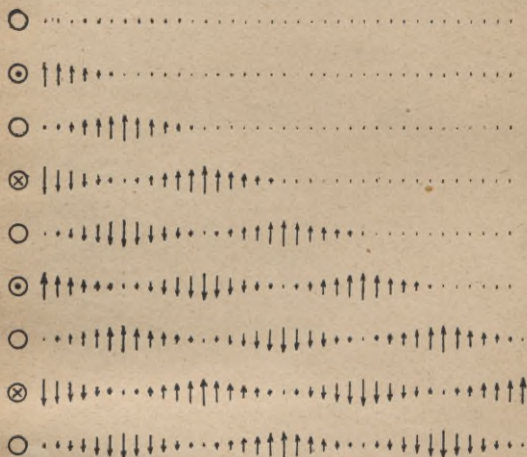


Abb. 20. Die Entstehung der magnetischen Welle.

losgelösten Kräfte wandern inzwischen immer weiter. Die Richtung dieser magnetischen Kräfte im Raum ist wagrecht, senkrecht zum Sendedraht und senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung, wie aus ihrer Entstehung ohne weiteres hervorgeht.

Nun beginnt der Strom von neuem (vierte Reihe), aber in umgekehrter Richtung, dargestellt durch das Kreuz, das Gefieder eines Pfeils. Er fließt vom Beschauer

weg, im Luftdraht nach abwärts. Dabei entstehen wieder magnetische Kräfte, aber in umgekehrter Richtung wie vorher. Sie wandern den andern nach hinaus in den Raum. Der Strom nimmt wieder ab (fünfte Reihe), mit ihm die ausgesandten magnetischen Kräfte. So geht das Spiel

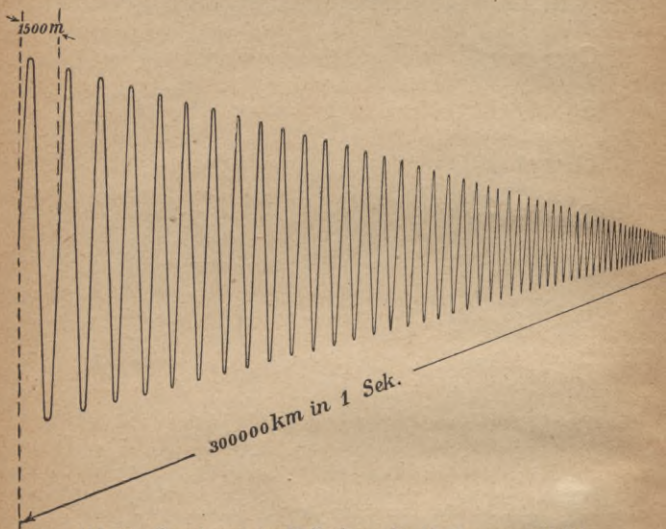


Abb. 21. Berechnung der Wellenlänge für die Frequenz 200 000.

weiter. Man sieht aus der Abbildung deutlich: infolge der Schwingungen des Stromes in dem Draht wandern die magnetischen Kräfte wellenartig in den Raum hinaus.

Bei diesen Wellen spricht man von ihrer Länge. Man bezeichnet damit die Strecke, um welche zwei gleichartige Zustände des von den Wellen durchzogenen Raumes

voneinander entfernt sind. Also z. B. die Entfernung zweier größter nach oben gerichteter Pfeile in der sechsten Reihe der Abb. 20. Man kann diese Wellenlänge leicht berechnen, wenn man die Frequenz der elektrischen Schwingungen kennt, d. h. wenn man weiß, wieviel Schwingungen der Strom in der Sekunde ausführt. Hat man die Frequenz 200 000, so stelle man sich vor (Abb. 21), daß zu Beginn einer Sekunde die erste Welle dieser 200 000 Wellen den Draht verläßt und daß sie nach Beendigung dieser Sekunde in der Entfernung von 300 000 km anlangt. In diesem Augenblick verläßt aber gerade die 200 000. Welle den Sendedraht. Auf einer Strecke von 300 000 km lagern sich also in diesem Augenblick 200 000 Wellen. Somit ist die Länge der einzelnen Welle 1,5 km.

### 9. Die elektrische Welle.

Genau in derselben Weise entsteht die elektrische Welle. Oben wurde gezeigt, daß in dem Zeitpunkt zwischen zwei Strömungen, einer nach aufwärts und der gleich darauffolgenden nach abwärts, die positive Elektrizität einen Augenblick auf dem oberen Teil des Drahtes oder im Luftnetz in Ruhe ist, die negative auf dem unteren Teil oder in der Erde. Dabei treten nun elektrische Kräfte zwischen oben und unten auf. Sie sind dadurch wahrnehmbar zu machen, daß man in den von ihnen besetzten Raum leichte, elektrisch geladene Kügelchen bringt. Die positiv geladenen Kügelchen werden dann von dem negativen unteren Drahtnetz, die negativ geladenen von dem positiven oberen Drahtnetz angezogen. Auch hier kann man die Richtung der Kräfte näher verfolgen und findet z. B., daß zwischen zwei elektrisch geladenen Metallkugeln die Kräfte so verlaufen, wie dies die Abbildung

andeutet. Wenn nun die Ladung zwischen den beiden Kugeln der Abb. 22 oder zwischen dem oberen Teil des Luftdrahts und seinem unteren Teil mit bestimmter Frequenz abwechselt, so wandern die elektrischen Kräfte wellenartig mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum hinaus.

Dies läßt sich in der Abb. 23 deutlich zeigen. Statt der Kugeln oder des Sendedrahts sind der einfacheren

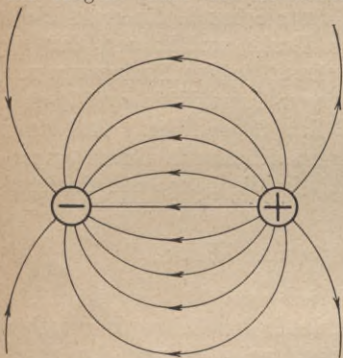


Abb. 22. Elektrisches Kraftlinienfeld zwischen zwei geladenen Kugeln.

Zeichnung halber horizontale Platten angenommen, die in größerer Entfernung einander gegenüberstehen, also etwa wie das Luftnetz und das Erdnetz einer großen Antenne. Zunächst sind sie nicht geladen (erste Reihe). Infolgedessen ist auch der umgebende Raum frei von elektrischen Kräften. Nun werden die Platten geladen, un-

ten positiv, oben negativ, und zwar immer stärker bis zu einem Höchstwert (zweite Reihe). Es entwickeln sich deshalb in der Nachbarschaft elektrische Kräfte, zuerst schwach, dann immer stärker werdend, und diese wandern nun mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum hinaus. Nun läßt man die Ladung wieder abnehmen (dritte Reihe). Die ausgesandten elektrischen Kräfte werden dann ebenfalls kleiner und schließlich verschwinden sie mit der Ladung. Die einmal abgeschnürten Kräfte wandern aber nach wie vor in den Raum hinaus.

Nun kehrt die Ladung der Platten ihre Richtung um (vierte Reihe), die elektrischen Kräfte natürlich auch, es wird ein Höchstwert erreicht und bald darauf verschwindet die Ladung wieder samt ihren elektrischen Kräften. Dabei wandern nun elektrische Kräfte in umgekehrter

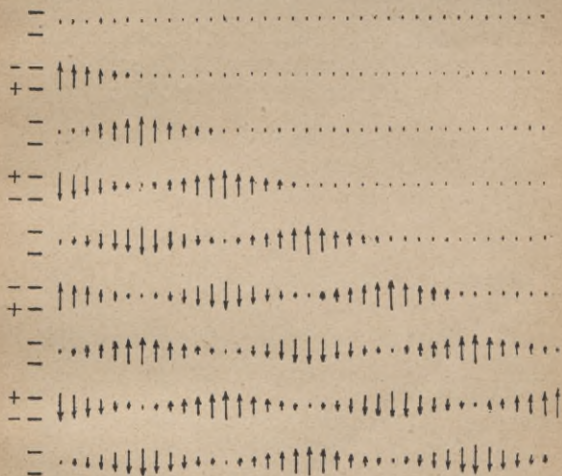


Abb. 23. Die Entstehung der elektrischen Welle.

Richtung den vorher ausgesandten nach. Geht das Spiel der Ladung und Entladung weiter, so werden auch fortdauernd solche elektrische Wellen in den Raum hinaus geschickt. Wie diese Platten, so sendet der Luftdraht einer Antenne entsprechend seiner abwechselnden Ladungen elektrische Wellen in den Raum hinaus. Auch sie haben eine bestimmte Wellenlänge, die sich ebenso berechnen läßt wie bei der magnetischen Welle.

Die Richtung der elektrischen Kräfte ist, wie man leicht sieht, parallel zum Sendedraht, also im Raume senkrecht, senkrecht zu den horizontalen magnetischen Kräften und senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung.

### 10. Die elektromagnetischen Wellen.

Nun wechseln in dem Luftdraht Strömung und Ladung miteinander ab. Infolgedessen wechseln auch die magnetischen und die elektrischen Kräfte miteinander ab. Dies

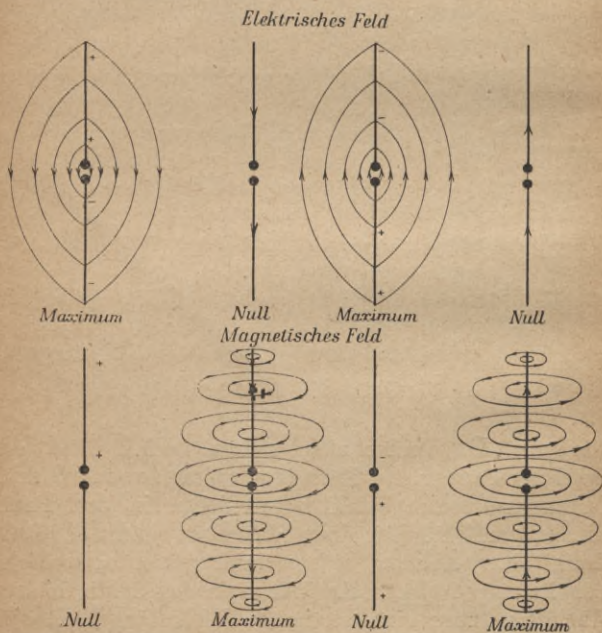


Abb. 24. Elektrische Schwingung in der offenen Strombahn und ihre Felder.



zeigt die Abb. 24 ganz deutlich. In der oberen Hälfte der Abbildung sind die Ladungen der Drähte und die mit ihnen verbundenen elektrischen Kräfte, die man zusammenfassend auch das elektrische Feld nennt, dargestellt. In der unteren Hälfte sind die Strömungen in dem Drahte und die damit verbundenen magnetischen Kräfte, das magnetische Feld genannt, gezeichnet. Luft-

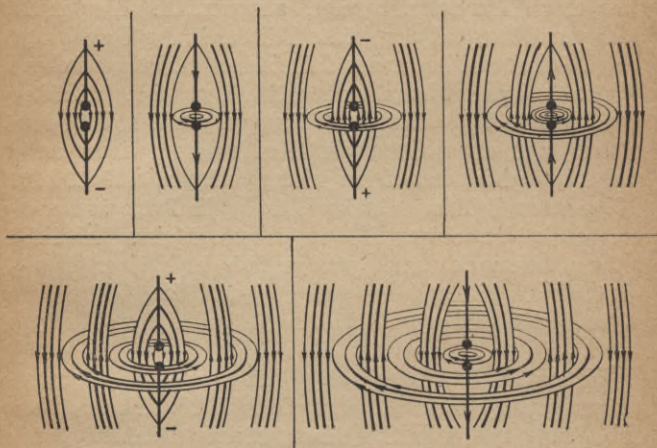


Abb. 25. Der Sendedraht und seine elektromagnetischen Wellen.

und Erdnetz sind dabei weggelassen und die Mitte des Drahtes ist durch eine Funkenstrecke angedeutet. Man kann sich also vorstellen, daß die elektrischen und die magnetischen Wellen abwechselnd vom Draht ausgestrahlt werden, etwa so wie es die Abb. 25 darstellt, und man sieht, wie beide Wellen notwendig miteinander verbunden sind, so daß wir also die elektromagnetische Doppelwelle haben.

An dieser ganz einleuchtenden und einfachen Vorstellung sind aber zwei Korrekturen anzubringen. Die eine bezieht sich auf die Frage: Wird die ganze zur Verfügung stehende Kraft jeweils sofort ausgestrahlt oder nur ein Teil davon? Die Antwort lautet: Von der im Draht hin und her schwingenden Energie wird bei jeder Schwingung im allgemeinen nur ein geringer Teil, der nur einige Hundertel beträgt, ausgestrahlt. Man muß sich vorstellen, daß der größte Teil der in der Umgebung des Luftdrahts auftretenden elektrischen und magnetischen Kräfte zu dem Sendedraht zurückkehrt, wobei diese Kräfte die auf S. 16 f. geschilderten Wirkungen ausüben, d. h. den Strom aufrechterhalten, den Kondensator wieder aufladen und gleich darauf ihn wieder entladen, und daß nur ein geringer Teil davon in der Weise in die Ferne wandert, wie es in den obigen Bildern dargestellt ist. Ähnlich pflanzt sich auch nur ein geringer Teil der in einer tönenden Glocke hin und her schwingenden Energie bei der einzelnen Schwingung als Schallwelle in den Raum hinaus fort.

Die zweite Korrektur hängt mit der ersten eng zusammen und bezieht sich auf die Abb. 25. Nach dieser Abbildung und ihrer Entstehung könnte es scheinen, als ob die elektrischen und die magnetischen Wellen in der Weise hintereinander dreinlaufen, daß immer ein magnetischer Wellenberg mit einem elektrischen Wellental und ein elektrischer Wellenberg mit einem magnetischen Wellental verbunden ist. Das ist aber nicht richtig. In Wirklichkeit wechseln nämlich die Strömungen und die Ladungen im Sendedraht nicht so sauber miteinander ab, wie es oben geschildert ist. Sie greifen vielmehr ineinander über, und zwar deshalb, weil die Ausstrahlung dem schwingenden Luftdraht Energie entzieht. Die aus-

gesandten Strahlen bedeuten ausgesandte Energie und in solchen Energiestrahlen treten die magnetischen und die elektrischen Wellen stets, wie man sagt, gleichphasig auf, d. h. ein elektrischer Wellenberg ist mit einem magnetischen Wellenberg und ein elektrisches Wellental mit einem magnetischen Wellental verbunden. Es können also nur diejenigen Teile der elektrischen und magnetischen Kräfte in die Ferne wandern, die miteinander in Phase sind. An einem Punkt des Raumes, durch welchen solche elektromagnetische Wellen in der Richtung des nach rechts gerichteten Pfeils  $F$  der Abb. 26 hindurchziehen, tritt in einem bestimmten Augenblick senkrecht nach oben gerichtet der Höchstwert der elektrischen Kraft  $\mathcal{E}$  auf. Gleichzeitig damit tritt in diesem Punkt auch der Höchstwert der magnetischen Kraft  $\mathcal{H}$  auf, und zwar in horizontaler Richtung nach vorn gerichtet.

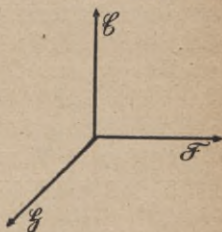


Abb. 26.

Auf eines soll noch besonders aufmerksam gemacht werden. Magnetische Wellen können nur von einem gerade gestreckten Draht, der keine Rückleitung besitzt, ausgesandt werden. Zeichnet man sich nämlich in der Figur zwei Drähte unmittelbar nebeneinander auf, so werden zwar die magnetischen Kräfte zwischen den Drähten verdoppelt, aber außerhalb der beiden Drähte wirken sich die von ihnen herrührenden magnetischen Kräfte entgegen, weil die Drähte ja von entgegengesetzten Strömen durchflossen werden. In einer größeren Entfernung heben sich ihre Wirkungen vollkommen auf. Ein Strom, der eine Hin- und eine Rückleitung durchfließt, oder, wie man sagt, ein geschlossener

Stromkreis, kann keine magnetischen Wellen aussenden.

Ähnlich ist es mit der elektrischen Welle. Je weiter man die beiden Kugeln der Abb. 22 auseinandernimmt, um so mehr breitet sich das elektrische Feld nach der Seite hin aus, um so größer ist seine Fernwirkung. So ist es bei den Riesenantennen der Großstationen, wo das obere Drahtnetz 200 m und mehr von dem Erdnetz unten entfernt ist. Umgekehrt, je näher die Platten zueinander gebracht werden wie bei der Leidener Flasche oder den Plattenkondensatoren, um so mehr werden die elektrischen Kräfte zusammengehalten, um so weniger strahlen sie aus. Ein Kondensator der Abb. 9 z. B. kann keine elektrischen Wellen ausstrahlen.

Nur offene Stromkreise, also weit entfernte Belegungen für die Ladungen und einfache gerade gestreckte Stromträger ohne Rückleitung sind geeignet, elektromagnetische Wellen auszustrahlen.

## 11. Die Empfangsantenne.

Die elektromagnetischen Wellen breiten sich von der Sendestation nach allen Seiten hin aus, auch in den Weltraum zu fernen Weltkörpern, in ähnlicher Weise wie das Licht. Die Strahlen oder Wellen der Radiotechnik sind ja gleichen Wesens mit den Lichtstrahlen und unterscheiden sich von ihnen nur durch ihre Wellenlänge. Statt einer Länge von Hunderten von Metern haben die Lichtstrahlen nur eine Wellenlänge von rund der Hälfte eines tausendstel Millimeters. Infolge ihrer kurzen Wellenlängen pflanzt sich das Licht geradlinig fort, während die langen Wellen der drahtlosen Telegraphie von der geradlinigen Bahn sich abbiegen, über Berge

steigen, in Täler sich hinuntersinken und um den ganzen Erdball rundherum laufen können.

Diese Abweichung von der geradlinigen Bahn tritt vor allem deshalb ein, weil die elektromagnetischen Wellen besonders gerne an leitenden Körpern entlanggleiten. Daher kommt es auch, daß die Wellen von einer Sendestation vorwiegend an der leitenden Erdoberfläche entlang, also von der senkrechten Sendeantenne aus vorwiegend in horizontaler Richtung fortwandern.

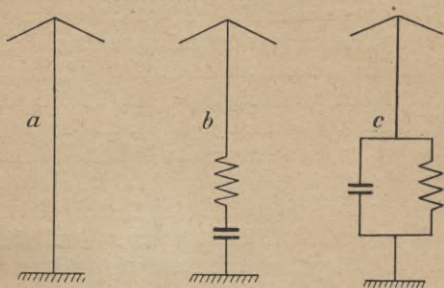


Abb. 27. Empfangsantennen.

Treffen sie nun irgendwo auf einen senkrecht in die Luft ragenden Empfangsdraht (Abb. 27a), so erzeugen sie in ihm elektrische Schwingungen. Die mit der durch-eilenden Welle ankommenden elektrischen Kräfte treiben nämlich im Rhythmus der Wellen die Elektrizität im Draht bald nach oben, bald nach unten. Dieselbe Wirkung hat auch die magnetische Welle. Auch sie erzeugt im gleichen Rhythmus eine bald nach oben, bald nach unten gerichtete Strömung im Empfangsluftdraht. Ist die Empfangsantenne auf diesen Rhythmus abgestimmt, so bringen auch äußerst schwache Wellen merkbare elektrische Schwingungen in ihr hervor.

Zur Abstimmung werden in die Antennenleitung veränderliche Spulen und Kondensatoren eingeschaltet (Abb. 27b und c). Die Induktivität der dabei verwendeten Spulen wird am einfachsten geändert, wenn man es so einrichtet, daß die Zahl ihrer Windungen beliebig gewählt werden kann. Das geschieht am allereinfachsten, wenn man die Spule in einer Lage auf einen Isolierkörper aufwickelt und mit einem Schieber, den man längs einer Mantellinie über die Spule hinführen kann, die gewünschte Zahl von Windungen abgreift. Etwas besser ist die Ausführung, wenn man die Windungen anzapft und die Zapfstellen mit Buchsen oder Kontaktstücken verbindet, so daß man mit einem Stöpsel oder einer Kurbel eine beliebige Zahl von Windungen einschalten kann. Auf diese Weise ist eine stufenweise Einstellung der Induktivität möglich.

Will man eine stetige Regelung haben, so verwendet man zwei hintereinander geschaltete Spulen, deren gegenseitige Stellung veränderlich ist, etwa so, daß man zwei kreisförmige Flachspulen konzentrisch ineinander anordnet, wobei die eine gegen die andere um einen gemeinsamen Durchmesser gedreht werden kann. Die größte Induktivität ist vorhanden, wenn die Spulen so ineinander liegen, daß sie gleichsinnig vom Strom durchflossen werden, die kleinste, wenn die innere Spule um 180 Grad gedreht wird, so daß sie entgegengesetzt vom Strom durchflossen wird.

Als Kondensatoren verwendet man zur Regelung der Kapazität Stöpsel- oder Drehkondensatoren. Schaltet man in einer Antennenleitung den Abstimmkondensator hinter die Abstimmspule, so wird die Kapazität der Antenne verkleinert, also ihre Welle verkürzt (Abb. 27b). Schaltet man ihn parallel zur Spule, so wird ihre Welle verlängert (Abb. 27c).

Die Energie der Empfangsschwingungen ist allerdings gegenüber den Schwingungen in der Sendeantenne äußerst gering. Während in der Sendestation Hunderte von Ampere bei Spannungen von 100000 Volt und mehr ihre Schwingungen ausführen, handelt es sich bei der entfernten Empfangsstation nur um weniger als den millionsten Teil eines Ampere und um eine ebenso winzige Spannung. Der Wirkungsgrad einer solchen drahtlosen Übertragung zwischen zwei Stationen ist somit außerordentlich niedrig und es ist erst dann eine Besserung zu erhoffen, wenn es gelingt, die Strahlen in der Sendestation zusammenzufassen und ausschließlich nach der gewünschten Richtung zu lenken, damit sie gehindert werden, in unnötiger Weise nach allen Richtungen hin zu zerflattern.

Etwas besser liegt die Sache dann, wenn die Nachrichten einer Sendestation nicht bloß für eine einzige Gegenstation bestimmt sind, sondern als eine „Nachricht für alle“ möglichst vielen Empfängern zukommen sollen. Aber auch so ist das Verhältnis der in den vielen Empfangsantennen aufgefangenen Energie zu der von der Sendestation ausgestrahlten außerordentlich gering. Da es sich jedoch nicht um Übertragung von Energie handelt, spielt dieser Wirkungsgrad nur eine untergeordnete Rolle. Die Hauptsache ist, daß die Empfangsstationen die Strahlen überhaupt sicher und deutlich auffangen.

Diese zarten Schwingungen müssen nun wahrnehmbar gemacht werden. Einen Sinn dafür, wie es unser Auge für die Lichtstrahlen ist, haben wir nicht. Es sind besondere Apparate nötig, welche die Schwingungen anzeigen und wo möglich auch messen. Man nennt sie Schwingungsanzeiger oder Detektoren (Entdecker). Strommesser, die für so winzige Wechselströme empfindlich genug sind, besitzen wir nicht. Auch das Telephon, das

im allgemeinen auf Wechselströme von verschwindender Stärke noch anspricht, ist nicht ohne weiteres zu gebrauchen, weil diese hochfrequenten Schwingungen viel zu rasch vor sich gehen. Die Telephonmembran kann ihnen nicht folgen und spricht deshalb überhaupt nicht an, wenn Hochfrequenzschwingungen das Telephon durchfließen. Man hat zuerst den Ausweg gefunden, daß man diese hochfrequenten Schwingungen in Gleichstrom verwandelt. Dazu benützt man die Kristalldetektoren, die im nächsten Kapitel beschrieben werden.

Diese Detektoren kann man nun unmittelbar mit dem Stromkreis der Empfangsantenne verbinden. Es ist aber meist vorzuziehen, noch einen zweiten geschlossenen Kreis anzuwenden und ihn induktiv oder galvanisch mit dem Antennenkreis zu verbinden, also ähnlich wie in Abb. 15 und 16 S. 26f. Nur ist der Sinn der Übertragung im vorliegenden Fall gerade umgekehrt. Diesen geschlossenen Schwingungskreis nennt man Sekundärkreis im Gegensatz zum Primärkreis der Antenne, und man muß ihn natürlich auf die ankommende Wellenlänge abstimmen wie den Antennenkreis. Er bietet dann den Vorteil, daß die Aussiebung nichtgewünschter Wellen noch schärfer wird als mit nur einem Abstimmkreis, und so ist leicht verständlich, daß dieser zweite Abstimmkreis, manchmal sogar noch ein dritter, gerne angewendet wird, wenn es sich darum handelt, fremde Wellen von der Empfangsstation abzuhalten.

## 12. Der Kristalldetektor.

Er besteht aus einer Metallspitze, die leicht federnd gegen eine Kristallfläche gedrückt wird (Abb. 28), und hat die Eigenschaft, daß er den elektrischen Strom



in der einen Richtung leichter durchläßt als in der andern. Schickt man also einen Wechselstrom durch einen solchen Kontakt, so kommt ein Strom nur dann zustande, wenn der Wechselstrom die passende Richtung hat. Kehrt er seine Richtung um, so läßt ihn der Kontakt in dieser Richtung nicht oder nur sehr schwer hindurch. Statt

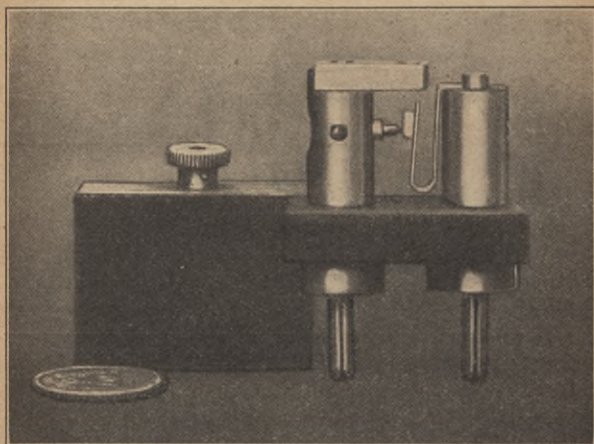


Abb. 28. Kristalldetektor.

des Wechselstroms, der in gleicher Stärke bald nach der einen, bald nach der andern Richtung fließt, bekommt man infolgedessen einen Strom, der in der einen Richtung seine seitherige Stärke beibehält, in der andern Richtung aber ganz oder fast ganz unterdrückt wird. Der Strom wird also gleichgerichtet (Abb. 29).

Als Material für solche Detektoren nimmt man z. B. Eisenpyrit und Gold, Karborundum und Bronze, Silizium

und Aluminium, Bleiglanz und Graphit. Die Kristallfläche wird etwas geglättet und die Metall- oder Graphitspitze federnd dagegen gedrückt. In der Regel ist die Einrichtung getroffen, daß man die Berührungstelle verändern und so eine besonders wirksame Stelle finden kann.

Kommen nun die Wellen in langdauerndem Zuge an und treten infolgedessen in der Empfangsantenne langdauernde Schwingungen auf, so bekommt man mit Hilfe des Gleichrichters zwar keinen richtigen Gleichstrom,

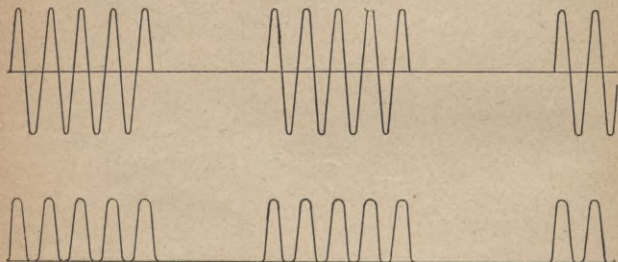


Abb. 29. Gleichrichtung hochfrequenter Schwingungsgruppen durch den Kristalldetektor.

aber eine längere Reihe äußerst rasch hintereinander folgender kleiner Stromstöße in der gleichen Richtung. Diese leitet man nun durch eines der hochempfindlichen Gleichstrominstrumente mit Spiegelablesung (Abb. 30), durch das noch Ströme von der Größe des milliardsten Teils eines Ampere festgestellt werden können. Da das Instrument natürlich nicht nach jedem Stoß wieder auf Null zurückkehren kann, weil es dazu viel zu träge ist, so zeigt sich ein Dauerausschlag, solange die Wellen an der Empfangsantenne eintreffen. Erst wenn die Wellen zu Ende sind, kehrt das Instrument wieder in seine Nullage zurück. Man hat also ein sicht-

bares Zeichen für die elektromagnetischen Wellen. Der Detektorkreis der Abb. 30 ist galvanisch mit dem Antennenkreis verbunden. Der Kondensator leitet die Hochfrequenzstromstöße am Galvanometer vorbei, so daß dieses von einem geglätteten Strom durchflossen wird.

Auch das Telephon spricht auf so kleine Ströme an. Schaltet man es an Stelle des Spiegelinstruments in den Detektorkreis (Abb. 31), der in diesem Fall induktiv mit der Antenne verbunden ist, so zieht es bei Beginn des gleich-

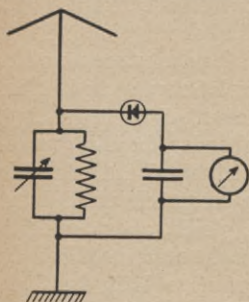


Abb. 30. Detektorempfang mit galvanischer Kopplung u. Stromzeiger.

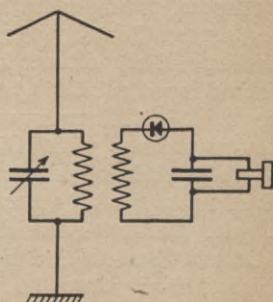


Abb. 31. Detektorempfang mit induktiver Kopplung und Telephon.

gerichteten Stroms seine Membran an und läßt sie nach Beendigung wieder los. Man hört also ein zweimaliges Knacken im Telephon. Das würde keine gute Beobachtung zulassen. Zur wesentlichen Verbesserung kommt man, wenn die Wellen aus der Sendestation nicht dauernd, sondern abgehackt (Abb. 29) gesandt werden, z. B. 500 Stöße in der Sekunde, wobei jeder dieser Stöße eine tausendstel Sekunde dauert, also bei 200 000 Schwingungen in der Sekunde aus 200 hochfrequenten Schwingungen besteht. Dann wird das Telephon 500 mal in der Sekunde je eine tausendstel Se-

kunde lang angezogen und ebensooft und ebensolange wieder losgelassen. Seine Membran gibt also einen Ton von 500 Schwingungen in der Sekunde von sich und man hat in diesem Falle Hörempfang. Man hört so lange einen Ton, als solche in einem Tonrhythmus abgehackte Wellen eintreffen.

Diesen Hörempfang hatte man z. B. von selbst bei den tönenden Funksendern und ihren gedämpften Schwingungen (S. 21). Arbeitet man mit ungedämpften Schwingungen, so muß man diesen die Tonfrequenz erst überlagern, entweder durch einen Wechselstrom der entsprechenden Schwingungszahl oder durch einen Unterbrecher. Statt dessen kann man den ungedämpften gleichbleibenden Schwingungen auch Schwingungen überlagern, die von Mikrofonen herrühren, gegen die gesungen oder gesprochen wird. Die abgehenden hochfrequenten Wellen erscheinen dann in ganz gleicher Weise gemodelt. Die Empfangsantenne macht ganz entsprechende Schwingungen. Der Detektor richtet sie gleich, aber die gleichgerichteten Ströme sind wiederum ein genaues Abbild der Wechselschwingungen und infolgedessen läßt das Telefon die Töne und Worte erklingen, welche in das Mikrophon der fernen Sendestation hineingegeben wurden.

Tafel Xa zeigt einen Detektorempfänger der Dr. Erich Huth G. m. b. H., Berlin.

## II. Die Glühkathodenröhre.

### 13. Die Röhre im allgemeinen.

Die Glühkathodenröhre, auch Elektronenröhre genannt, ist wohl der wichtigste und interessanteste Apparat der neuzeitlichen Radiotechnik. Äußerlich sehen diese Röhren etwa wie elektrische Glühlampen aus. Wie diese

bestehen sie aus einer Glasbirne, die hoch evakuiert, d. h. so gut wie ganz luftleer gemacht ist. In dem von materiellen Atomen fast vollkommen freien Innenraum befinden sich drei voneinander getrennte Metallkörper, die sog. Elektroden. Sie sind ganz schematisch in der Abb. 32 dargestellt. Ganz innen sitzt der Glühdraht, von unten her nach oben und in spitzem Winkel wieder nach unten geführt. Um ihn herum in kleinem Abstand ist über zwei Glasstäbchen ein Metalldraht schraubenförmig gewickelt: das Gitter. Rechts und links davon sitzt als dritte Elektrode je ein Metallblech, beide Bleche sind leitend miteinander verbunden. Mit der Außenwelt stehen die Elektroden durch 4 Drähtchen in Verbindung, die in das Glas der Röhre eingeschmolzen und in der Abb. 32 angedeutet sind.

Diese Röhren haben eine außerordentlich vielseitige Anwendung nicht bloß in der Radiotechnik, sondern in der ganzen Fernmelde-technik gefunden und werden wohl auch sonst noch vielfach benützt

werden. Ihr Bau weicht im einzelnen vielfach von dem in Abb. 32 gegebenen Schema ab. Insbesondere gibt man den Röhren zu manchen Zwecken zwei Gitter statt nur eines einzigen. In der Radiotechnik verwendet man sie vor allem in dreifacher Weise.

Einmal als Generatoren zur Erzeugung ungedämpfter hochfrequenter Schwingungen. Wegen ihrer

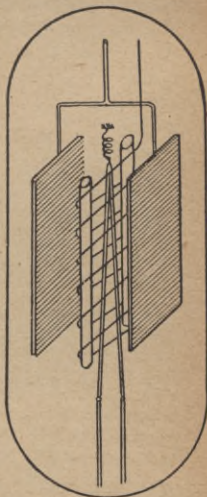


Abb. 32.  
Schema einer Röhre.

Einfachheit haben sie die alten Funkensender so gut wie vollständig verdrängt und stehen in scharfem Wettkampf mit den Maschinen- und Lichtbogensendern, dessen Ausgang noch in keiner Weise abzusehen ist.

Als Audion dienen sie wie die Kristalldetektoren dazu, die winzigen elektrischen Schwingungen der Emp-

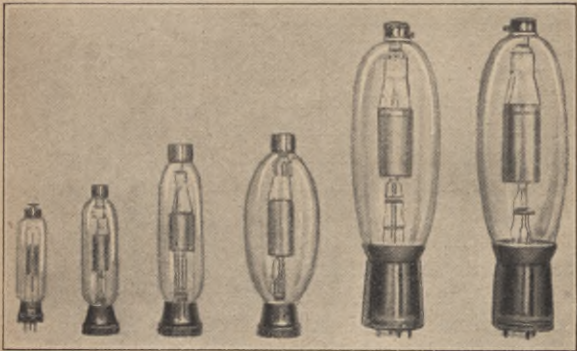


Abb. 33.

Senderöhren verschiedener Größe von Telefunken. Ganz links Type RS 50 von 10 Watt und 1000 Volt, ganz rechts Type RS 54 von 5 KW und 20 000 Volt.

fangsantenne wahrnehmbar zu machen. Man kann sagen, daß die Kristalldetektoren durch die Audionröhren ziemlich in den Hintergrund geschoben worden sind.

Schließlich dienen sie als Verstärker dazu, Schwingungen jeder Art kräftiger zu machen. Davon wird insbesondere in den Empfangsstationen ausgiebiger Gebrauch gemacht, um einerseits die ankommenden winzigen hochfrequenten Schwingungen wesentlich zu verstärken, andererseits hinter dem Detektor die Stärke der niederfrequenten Telefonschwingungen ganz erheblich zu

steigern. Man spricht im ersteren Fall von Hochfrequenzverstärkern, im zweiten von Niederfrequenzverstärkern.

Die Größe der Röhren ist außerordentlich verschieden. Die als Verstärker oder als Audion benützten Röhren haben ein kleines Format, etwa die Größe einer gewöhnlichen zehnerkerzigen Glühlampe in Form einer Birne von etwa 5 cm Höhe. Bei ihnen handelt es sich um ganz winzige Ströme und Spannungen. Die Senderöhren dagegen haben Energie zu liefern, wie der Lichtbogensender oder die Hochfrequenzmaschine. So gibt es Senderöhren mit der kleinen Leistung von 10 Watt, einer Anodenspannung von 400 Volt und einer Höhe von etwa 15 cm bis hinauf zu Röhren von einer Leistung von 2 oder 10 Kilowatt mit Spannungen von mehreren 1000 Volt und einer Höhe von 50 cm und darüber. Abb. 33 (siehe vorhergehende Seite) zeigt einen Satz solcher Röhren von Telefunken. Tafel Xd zeigt zwei Verstärkerröhren der Dr. Erich Huth G. m. b. H., Berlin.

#### 14. Die Anode und die Kathode.

Die erste der drei Elektroden in der Röhre ist ein kürzerer oder längerer Draht aus Wolfram, einem Metall, das sehr hohe Temperatur verträgt, ohne zu schmelzen oder zu zerstäuben, und deshalb vielfach als Glühdraht in den gewöhnlichen Glühlampen verwendet wird. Auch im vorliegenden Falle wird der Wolframdraht erhitzt, und zwar dadurch, daß seine beiden Enden durch das Glas der Röhre hindurchgeführt sind (Abb. 34) und mit einer Stromquelle, meist einer Akkumulatoren-

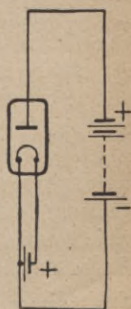


Abb. 34.

batterie von wenigen Zellen, verbunden werden. Aus ihr fließt ein Strom durch den Draht, der ihn bis zur Weißglut erhitzt. Die Batterie heißt deshalb die Heizbatterie. Ihre Spannung beträgt bei kleinen Röhren vier bis sechs Volt und der Heizstrom etwa ein halbes Ampere, bei großen Röhren entsprechend mehr.

Wie jeder glühende Körper sendet dieser glühende Wolframdraht Elektronen aus, das sind die kleinsten negativ-elektrischen Teilchen. Sie fliegen von dem glühenden Draht mit großer Geschwindigkeit in den leeren Raum der Röhre hinein, und zwar in geradliniger Bahn, weil sie wegen der gründlichen Entleerung der Röhre von allen materiellen Atomen nirgends ein Hindernis finden, das sie aus ihrer Bahn ablenken könnte. Diese negativen Elektronen werden nun dazu benutzt, um in der Röhre einen Dauerstrom zu erzeugen.

Dazu braucht man noch eine andere Elektrode, die in der Röhre sitzt. Sie besteht aus einem Metallblech von Kupfer oder Aluminium und steht dem Glühdraht entweder einfach gegenüber, oder sie ist rund um den gerade gestreckten Glühdraht herumgebogen oder es wird dem Glühdraht zu beiden Seiten ein solches Blech gegenübergestellt, so daß er sich zwischen zwei Blechen befindet, die zusammen die Elektrode bilden. Dieses Blech wird nun mit dem positiven Pol einer Batterie, der Glühdraht mit dem negativen Pol verbunden. Dadurch wird das Blech gegenüber dem Gitter positiv geladen. Infolgedessen werden die aus dem Glühdraht herauskommenden negativen Elektronen nach dem Gesetz der Anziehung ungleichnamiger Elektrizität nach diesem Blech hingezogen. Es entsteht also eine Strömung negativer Elektrizität von dem Glühdraht zum Metallblech. Diese Strömung tritt nach außen und fließt dauernd, solange man die



Pole der Batterie an die Röhre anlegt, durch die Röhre und die Batterie.

So, wie bis jetzt besprochen, fließt die negative Elektrizität von dem Glühdraht zum Metallblech und zum positiven Pol der Batterie. Die positive Elektrizität fließt also gerade in umgekehrter Richtung, und da wir gewöhnt sind, wenn wir von der Stromrichtung sprechen, nur die positive Elektrizität ins Auge zu fassen, so müssen wir sagen: Der Strom fließt aus dem positiven Pol der Batterie über die Metallblechelektrode durch die Röhre zum Glühdraht und von diesem zurück zum negativen Pol der Batterie.

Nach der üblichen Bezeichnungsweise nennt man die Metallblechelektrode, an welcher der Strom in der Röhre ankommt, die Anode, und den Glühdraht als diejenige Elektrode, durch welche der Strom die Röhre verläßt, die Kathode. Die Batterie, welche diesen Strom aufrechterhält, heißt die Anodenbatterie im Gegensatz zu der obengenannten Heizbatterie. Der Strom heißt der Anodenstrom im Gegensatz zum Heizstrom.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß der Strom niemals in umgekehrter Richtung durch die Röhre fließen kann. Denn wenn man die Anode mit dem negativen Pol der Batterie verbinden würde, so würden ja die Elektronen, die vom Glühdraht herkommen, von ihr abgestoßen und sie selbst, da sie kalt ist, kann keine Elektronen aussenden und einen Strom veranlassen. Schließt man statt der Batterie eine Wechselstromquelle zwischen Anode und Kathode an, so tritt eine Wirkung wie bei dem Kristalldetektor ein. Der Strom wird von der Röhre nur in einer Richtung durchgelassen, von der Anode zur Kathode, nicht aber in der andern. Die Röhre arbeitet als Gleichrichter (S. 80 ff.).

Es ist ferner einleuchtend, daß der Elektronenstrom um so stärker fließt, je heißer der Glühdraht ist, je stärker also der Heizdraht erwärmt wird. Kühlt man ihn immer mehr ab, so wird auch der Strom kleiner, und bei kaltem Wolframdraht hört der Strom gänzlich auf. Damit der Heizstrom bei Röhren, die für bestimmte Zwecke ausprobiert und eingestellt sind, während ihrer Benutzung auch bei veränderlicher Heizspannung sich nicht ändert, wird dem Heizdraht ein Widerstand aus einem dünnen Eisendraht in einer mit Wasserstoff gefüllten Glasröhre vorgeschaltet.

Endlich ist klar, daß der Anodenstrom mit der Anodenspannung wächst. Bei einer bestimmten kleinen Spannung setzt der Strom ein und wächst mit steigender Spannung, aber nur bis zu einem größten Wert, dem Sättigungswert, der auch bei erheblicher Steigerung der Spannung nicht überschritten wird (S. 77).

Bei Röhren kleiner Leistung besitzt der Anodenstrom die Stärke von etwa einem tausendstel Ampere und die Spannung etwa 40 Volt. Größere Röhren benötigen eine Anodenspannung von einigen 1000 Volt und einen Anodenstrom bis zu einem Ampere.

In neuerer Zeit wird der Glühdraht mit Oxyden der Erdalkalien überzogen, weil diese schon bei geringer Erhitzung lebhaft Elektronen aussenden. Die angenehme Folge davon ist eine geringe Heizenergie.

## 15. Das Gitter.

Die dritte Elektrode sitzt zwischen den beiden andern und heißt das Gitter. Der Name rührt davon her, daß diese Elektrode entweder aus einem durchlöcherten Blech oder einem Drahtnetz oder einer Drahtspirale oder etwas

Ähnlichem besteht. Durch die Öffnungen dieses Gitters müssen die Elektronen auf ihrem Wege von der Glühkathode zur Anode hindurchtreten.

Nun besteht das Wunderbare der Sache darin, daß man durch dieses Gitter den Anodenstrom in leichter Weise beeinflussen kann. Gibt man nämlich dem Gitter (Abb. 35) eine negative elektrische Ladung dadurch, daß man es mit dem negativen Pol einer Batterie verbindet, so werden die Elektronen, die von der Glühkathode herkommen und der Anode zustreben, durch das vom Gitter ausgehende elektrische Feld zurückgestoßen, und zwar um so mehr, je größer die negative Ladung des Gitters ist. Der Anodenstrom wird also genau im Verhältnis zu dieser negativen Ladung des Gitters geschwächt und sogar bei entsprechender Ladung vollständig unterdrückt. Ladet man das Gitter dagegen positiv, so zieht es die Elektronen an und unterstützt die Wirkung der Anode. Der Anodenstrom wird also kräftiger, und zwar um so mehr, je höher die positive Ladung ist.

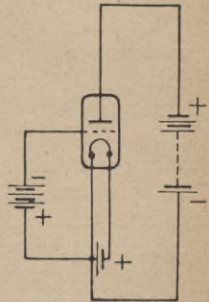


Abb. 35.

Um nun das Gitter zu laden, braucht man nur einen verhältnismäßig kleinen Strom bzw. nur eine kleine Ladenspannung. Hat man z. B. eine Anodenspannung von 100 Volt und einen Strom von 10 Milliampere, so genügt eine negative Gitterspannung von 5 Volt, um diesen Strom vollkommen zu unterdrücken. Das Gitter bringt also eine Wirkung, zu welcher die Anode 100 Volt nötig hat, mit nur 5 Volt hervor, also mit einem 20mal kleineren Aufwand. Ebenso umgekehrt. Wenn man

den Anodenstrom dieser Röhre von 5 Milliampere auf 10 steigern will, so muß die Anodenspannung von 50 auf 100 Volt wachsen. Läßt man nun die Anodenspannung auf ihren 50 Volt und läßt auf das Gitter eine positive Spannung wirken, so hat man nur eine Steigerung dieser Gitterspannung auf 2,5 Volt nötig, um den Anodenstrom auf das Doppelte zu bringen. Also auch hier eine 20 mal stärkere Beeinflussung der Verhältnisse durch das Gitter.

Man hat also eine Einrichtung, welche es ermöglicht, mit kleiner Spannung und ganz kleinem Ladestrom eine vielmal größere Wirkung zu erzielen und man nennt infolgedessen das Gitter auch das **Steuer** der Röhre. Man löst mit diesem Steuer eine 10- bis 20 fache Wirkung aus.

Auch hier ist zu beachten, daß ein Strom zum Gitter nur von der Anode aus stattfinden kann, und daß vom Gitter aus nur bei positiv geladenem Gitter ein Strom zur Glühkathode fließt. Man kann den letzteren vollkommen vermeiden, wenn man dafür sorgt, daß das Gitter stets negativ geladen ist, indem man dem Gitter z. B. mit einigen Elementen eine negative Vorspannung gibt.

Man hat nun in dieser Röhre mit Gitter das, was man sonst ein Relais nennt, d. h. eine Einrichtung, welche die Fähigkeit verleiht, mit einem schwachen Strom einen stärkeren Strom hervorzurufen oder zu steuern. Vor den anderen vielfach in der Telegraphie üblichen Relais hat diese Gitterröhre den großen Vorzug, daß keinerlei Massen zu bewegen sind, daß also die Trägheit und die Reibung keine störende Rolle spielen. Gerade die letzteren Eigenschaften haben es bis jetzt verhindert, die seitherigen Relaisanordnungen für die rasch und kompliziert verlaufenden Sprechströme der Telephonie einzu-

richten. In der Röhre ist nun ein Relais gefunden, das auch die feinsten Änderungen der niederfrequenten Sprechströme mitmacht, ja noch viel mehr, es kann wegen seiner Masselosigkeit auch auf hochfrequente Schwingungen angewendet werden.

## 16. Der Niederfrequenzverstärker.

Ein sehr schwacher Telephonierstrom, der — etwa aus einer Empfangsantenne oder auch von einer fernen Fernsprechstation — einem Telephon zugeführt werden soll, aber nicht imstande ist, dieses in genügender Weise zu erregen, kann mit einer solchen Röhre verstärkt werden. Es geschieht in folgender Weise. Der schwache, in Abb. 36

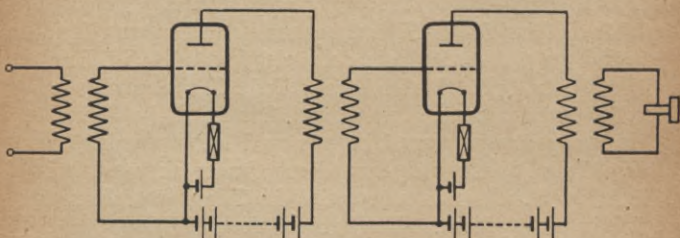


Abb. 36. Schaltung eines Zweifach-Niederfrequenzverstärkers.

von links kommende Strom wird, statt in das Telephon, in die eine (Primär-)Wicklung eines passenden Transformators geschickt. Ein solcher besitzt einen Kern aus dünnen Eisenblechen und zwei Wicklungen aus ganz feinen, gut isolierten Drähten mit einigen 1000 Windungen, z. B. 3000 und 60000 Windungen. Aus der zweiten Wicklung nimmt man den auf passende Spannung hinauftransformierten Strom ab und läßt ihn auf das Gitter

einer Röhre wirken. Dadurch wird der Anodenstrom dieser Röhre veranlaßt, die gleichen Schwingungen auszuführen wie der ankommende schwache Telephonierstrom, aber in 10- bis 20 mal verstärktem Maße. Unter Umständen genügt das noch nicht. Dann steht nichts im Wege, wie in Abb. 37 noch einen zweiten Transformator zu nehmen und den Anodenstrom der ersten Röhre statt dem Telephon zunächst der einen Wicklung dieses Transformators zuzuführen. Den Strom aus der zweiten Wicklung läßt man auf das Gitter einer zweiten Röhre einwirken. Ihr Anodenstrom führt wieder dieselben Schwingungen und wiederum 10- bis 20 mal verstärkt aus und so kann man noch eine dritte und vierte Röhre nehmen. Man hat so einen Zweifach-, Dreifach- oder Vierfach-Niederfrequenzverstärker.

Einen Zweiröhren-Niederfrequenzverstärker von Telefunken zeigt Abb. 37. Ein ebensolcher von der Dr. Erich Huth G. m. b. H., Berlin ist auf Tafel Xb abgebildet.

Der Anodenstrom der letzten Röhre führt die Schwingungen genügend verstärkt aus und kann unmittelbar dem Telephon zugeführt werden. Da es aber ein pulsierender Gleichstrom ist, so wird das Telephon nicht ganz richtig beansprucht. Man schiebt deshalb wieder einen Transformator ein, der auf seiner zweiten Spule nur Wechselstromschwingungen ausführt und noch den wesentlichen Vorteil bringt, auf den für das Telephon günstigsten Strom hin aufzutransformieren. So erzielt man eine außerordentliche Verstärkung, die bei einer vierfachen Anordnung sechstausendfach sein kann.

Diese Niederfrequenzverstärker haben zunächst noch zwei Nachteile. Einmal verstärken sie auch die Nebengeräusche, die teils unmittelbar mit den Sprechströmen übertragen werden, teils unterwegs durch atmosphärische

Einflüsse hinzukommen. Auch haben manche dieser Nebengeräusche ihren Grund in den Stromkreisen der Lautverstärker selbst. Die Übertragung wird also zwar sehr viel lauter, aber nicht deutlicher, weil die Nebengeräusche störend wirken.

Der zweite Fehler ist der, daß die hintereinandergeschalteten Röhren der Lautverstärker gelegentlich

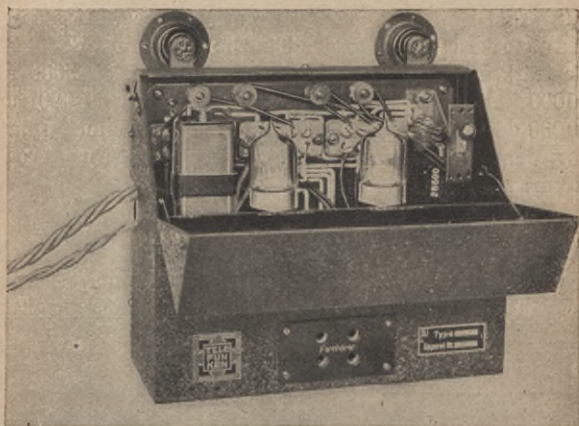


Abb. 37. Zweifach-Niederfrequenzverstärker von Telefunken, Berlin.

selbst anfangen, Eigentöne von sich zu geben, die außerordentlich stören. Wenn es gelingt, das letztere zu vermeiden, und wenn die vorhin genannten störenden Nebengeräusche gegen die eigentliche Mitteilung zurücktreten, so ist die Wirkung der Lautverstärker ausgezeichnet.

Damit die Verstärker ganz ohne nennenswerten Gitterstrom arbeiten, gibt man dem Gitter eine negative Dauerspannung, die man Vorspannung nennt. Man erzielt

dies einfach dadurch, daß die zweite Wicklung des Transformators nicht unmittelbar mit dem Heizdraht verbunden wird, sondern vor dem Eisendrahtwiderstand (S. 54), einem Punkt, der gegenüber dem Gitter eine negative Spannung besitzt.

Die Wicklung der Transformatoren besteht aus sehr dünnen Kupferdrähten bis herunter zu 0,05 mm Durchmesser, die ausgezeichnet isoliert sein müssen. Die Windungszahl ist sehr hoch. Ein normaler sog. Eingangstransformator, d. h. der Transformator vor der ersten Verstärkerröhre, hat z. B. die Windungszahlen 3000 und 60000, die Zwischentransformatoren 15000 und 60000 oder 15000 und 45000. Den letzten Transformator vor dem Telephon nennt man den Ausgangstransformator.

### 17. Der Hochfrequenzverstärker.

Die Glühkathodenröhre als Elektronenrelais besitzt keine Trägheit. Infolgedessen kann sie auch den ungeheuer

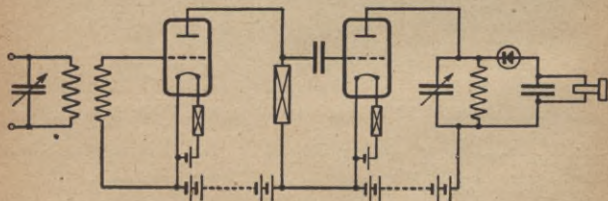


Abb. 38. Schaltung eines Hochfrequenzverstärkers mit zwei Röhren und Kristalldetektor.

raschen Hochfrequenzschwingungen ohne Schwierigkeit folgen. Man kann deshalb die in der Empfangsantenne erregten hochfrequenten Schwingungen dem Gitter einer



Röhre zuleiten. Dies kann in derselben Weise geschehen wie bei den Niederfrequenzverstärkern, indem man (hier eisenlose) Transformatoren nimmt. Wenn man aber dabei eine gute Wirkung erzielen will, müssen die einzelnen Kreise auf die Empfangsschwingungen abgestimmt werden, was nicht sehr leicht ist.

Man nimmt deshalb lieber eine Anordnung, bei der auf Abstimmung verzichtet werden kann. Von der Antenne

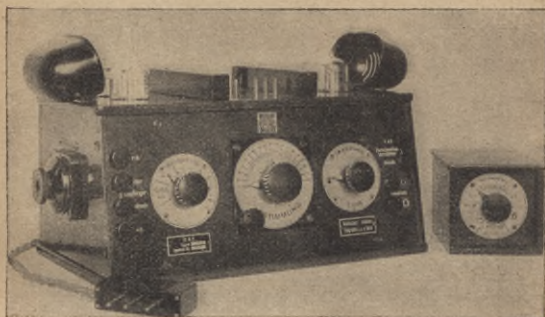


Abb. 39. Vierfach-Hochfrequenzverstärker von Telefunken, Berlin.

werden die Schwingungen einem Schwingungskreis zugeführt (Abb. 38), der auf die ankommenden Wellen abgestimmt ist. Von ihm aus wird das Gitter der ersten Röhre über einen Transformator erregt, so daß der Anodenstrom dieser Röhre die Schwingungen in verstärktem Maß ausführt. In den Anodenstromkreis ist nun ein hochohmiger Widerstand von 1 Million Ohm, z. B. ein Silitstäbchen oder eine Drosselspule eingeschaltet. Infolge der Schwankungen des Anodenstroms entstehen dann in dem Widerstand oder der Spule kräftige Span-

nungsschwankungen und diese läßt man unter Zwischenschalten eines Kondensators von einigen 100 cm Kapazität auf das Gitter einer zweiten Röhre wirken. Auch in dieser zweiten Röhre werden die Hochfrequenzschwingungen verstärkt und man führt sie dann einem Detektor und einem Telephon zu, wie in Abb. 38. Wenn es erforderlich ist, werden aber noch weitere, bis zu 5 Röhren im ganzen, vor den Detektor geschaltet.

Einen Vierfach-Hochfrequenzverstärker von Telefunken zeigt Abb. 39 (siehe vorhergehende Seite).

### 18. Das Audion.

Die zweite wichtige Anwendung der Glühkathodenröhre ist die als Detektor. Sie übernimmt die Rolle des Kristalldetektors, d. h. die Aufgabe, die hochfrequenten Schwingungen wahrnehmbar zu machen, in vollkommenerer Weise. Man heißt sie in diesem Fall nach dem Vorgang von de Forest (1907) das Audion. Die Wirkungsweise des Audions ist die folgende.

Wenn man die elektrischen Hochfrequenzschwingungen der Empfangsantenne über einen Übertrager und unter Zwischenschaltung eines Kondensators dem Gitter einer Röhre zuleitet (Abb. 39), so wirkt diese Röhre in erster Linie, wie schon beschrieben, als Verstärker. Der Anodenstrom führt die ankommenden Hochfrequenzschwingungen als Gleichstromschwankungen in verstärktem Maße aus. Daneben tritt aber noch eine zweite Wirkung auf.

Infolge der Schwingungen wird das Gitter in äußerst rascher Folge abwechselnd positiv und negativ geladen, ebenso wie der vorgeschaltete Kondensator abwechselnd mit positiver oder negativer Ladung versehen wird. Man stelle sich vor, in einem bestimmten Augenblick sei

während einer halben Schwingung der Kondensator auf seiner rechten Belegung negativ, auf seiner linken positiv geladen (Abb. 40). Dabei wird positive Elektrizität auf das Gitter getrieben und ein Teil davon wandert von dort mit dem Anodenstrom zur negativen Kathode hinunter. Wenn dann die Ladung des Kondensators zu Null wird, so ist auf dem Leitungszweig zwischen rechter Belegung und Gitter ein Überwiegen der negativen Ladung zu verzeichnen. Nun

kehrt die Schwingung ihre Richtung um und der Kondensator wird umgekehrt wie vorher geladen. Das Gitter erhält also negative Elektrizität zugetrieben. Diese kann aber nicht in der gleichen

Weise, wie vorher die positive, zur Kathode abfließen, sondern verbleibt auf dem Gitter, weil der Strom nie in dieser Richtung durch eine solche Röhre fließen kann. Der vorhin genannte Leitungsabschnitt mit dem Gitter behält also seine überwiegend negative Ladung. Bei der nächsten halben Schwingung erhält das Gitter wieder positive Ladung und ein Teil davon fließt wieder der Kathode zu. Die Folge ist, daß die negative Ladung auf dem Gitter weiter steigt.

Man sieht, bei Eintreffen von Schwingungen wird das Gitter eine sich immer mehr steigende negative Ladung annehmen. Die Wirkung auf den Anodenstrom

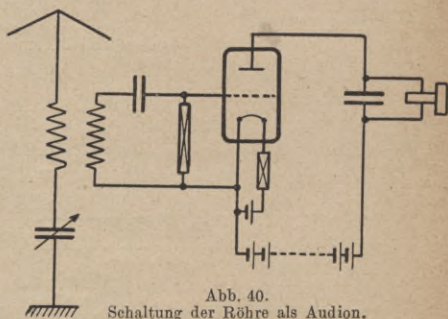


Abb. 40.  
Schaltung der Röhre als Audion.

ist dabei die, daß er zwar nach wie vor seine hochfrequenten Schwingungen ausführt, aber nebenbei immer kleiner wird. Ohne diese Audionwirkung würden die Schwingungen gleichmäßig um eine wagrechte Linie hin und her pendeln (Abb. 41, Linie a). Die negative Aufladung des Gitters hat zur Folge, daß die Schwingungen sich um eine sich zuerst senkende und schließlich einen Dauerzustand erreichende wagrechte Linie gruppieren. Der Mittelwert des

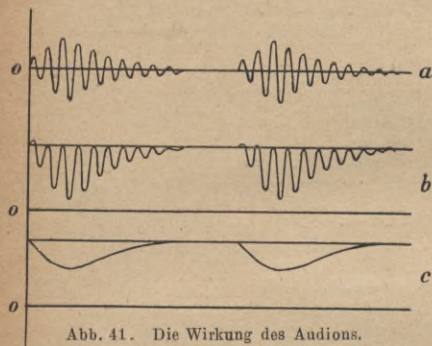


Abb. 41. Die Wirkung des Audions.

Anodenstroms wird kleiner, als er es ohne die hochfrequenten Schwingungen sein würde. Schaltet man also in den Anodenstromkreis einen empfindlichen Strommesser ein, so zeigt er durch Kleinerwerden seines Aus-

schlags an, daß Wellen auf die Antenne auftreffen. Wenn die Wellen aufhören oder, wie in Abb. 41, kleiner werden, so gleicht sich die negative Gitterladung durch den zwischen Kondensator und Gitter eingeschalteten Widerstand (1 Megohm) wieder gegen die Kathode aus und der Anodenstrom nimmt seinen früheren Wert an (Abb. 41, Linie b).

Kommen die Wellen in Wellengruppen an (Abb. 41), dadurch, daß der Sender abgehackte Wellenzüge aussendet, Wellenzüge, die vielleicht 500 mal in der Sekunde einsetzen und ebensooft wieder verschwinden, so ist es zweckmäßiger, statt des Strommessers ein Telephon in

den Anodenstromkreis einzuschalten. Es spricht auf die hochfrequenten Schwingungen, die der Anodenstrom ausführt, nicht an, weil es zu träge dazu ist. Wohl aber wird seine Membran 500 mal in der Sekunde weniger stark als im Ruhezustand angezogen, weil der Anodenstrom 500 mal in der Sekunde schwächer wird. Infolgedessen tönt das Telephon in dieser Tonhöhe, solange die Wellen eintreffen. Werden die Wellengruppen ihrerseits wieder in kurzen und langen Strichen des Morsealphabets gegeben, so kann der Abhörer an der kürzeren und längeren Dauer der Töne in seinem Telephon die übersandte Depesche verstehen und niederschreiben. Man hat dann einen Hörempfang mit Audion. Einen hübsch zusammengebauten Audion-Empfänger mit einem Satz verschiedener Abstimmspulen von Telefunken zeigt Tafel XIa.

### 19. Die Empfängerschaltung mit Audion.

Ein Empfänger hat also im allgemeinen folgende Einrichtung. Die Antenne enthält eine Spule und einen Drehkondensator zur Abstimmung. Für lange Wellen wird der Kondensator parallel zur Spule geschaltet, für kurze Wellen dagegen hinter sie, zur sog. Antennenverkürzung. Mit Hilfe eines Transformators (eines Übertragers oder zweier Kopplungspulen) werden die Schwingungen der Antenne auf einen Sekundärkreis übertragen, der ebenfalls genau abgestimmt wird. Durch die Verwendung dieses zweiten Kreises wird die Aussonderung fremder und nichtgewünschter Schwingungen, die in der Antenne erzeugt werden, ganz erheblich gefördert. Man wendet zu diesem Zweck gelegentlich sogar noch einen dritten, ebenfalls abgestimmten Schwingungskreis an und erreicht mit ihm eine weitere Erhöhung der Selektivität oder der Abstimmstärke.

Diese Schwingungen können nun entweder unmittelbar einer Audionröhre zugeführt werden (Abb. 42) oder zunächst einem Hochfrequenzverstärker mit so viel Röhren, als man für nötig findet. Die letzte Röhre läßt man neben ihrer Verstärkerwirkung noch als Audion arbeiten und kann nun an sie das Telephon anschließen. Sollte jedoch die erzielte Lautstärke im Telephon nicht genügen, so wendet man hinter dem Audion einen Ein-

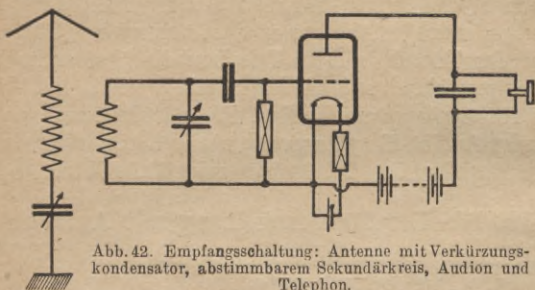


Abb. 42. Empfangsschaltung: Antenne mit Verkürzungskondensator, abstimmbarem Sekundärkreis, Audion und Telephon.

oder Mehrfachlautverstärker an und bekommt auf diese Weise einen mehreremillionenmal verstärkten Empfang. Eine Schaltung mit einer Hochfrequenzverstärkerröhre und einem Audion nach Leithäuser zeigt die Abb. 43.

Ein allgemeines Schema einer Empfängerschaltung mit einer sog. Rahmenantenne (S. 91), mit Hoch- und Niederfrequenzverstärkern und Audion zeigt Abb. 44.

Tafel XIb zeigt links einen Audion-Empfänger (Telefunken G) und damit verbunden einen Lautverstärker C (rechts) von Telefunken, Berlin.

Eine wesentliche Verstärkung des Empfangs wird durch die sog. Rückkopplung erzielt. Sie besteht darin, daß man die in der Röhre erzielte verstärkte

Schwingung des Anodenstroms auf den Antennenkreis zurückwirken läßt. Zu diesem Zweck wird eine Spule,

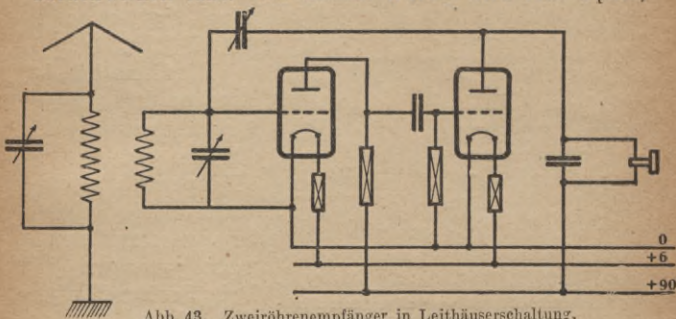


Abb. 43. Zweiröhrenempfänger in Leithäuserschaltung.

die Rückkopplungsspule, in den Antennenstromkreis geschaltet (Abb. 45) und in die Nähe der Antennenspule

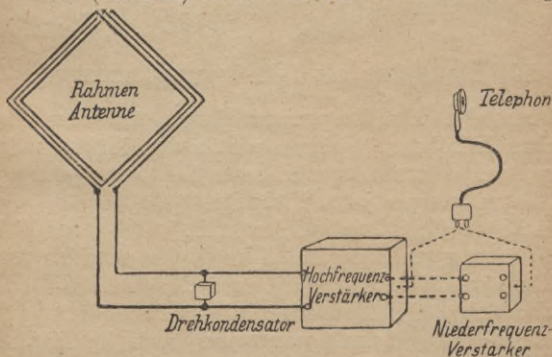


Abb. 44. Schema einer Empfangsstation mit Rahmenantenne, Hoch- und Niederfrequenzverstärker.

gebracht. Sie führt der Antennenspule im Rhythmus der von außen ankommenden Wellen neue Energie aus der

Anodenbatterie zu und schaukelt sie so zu weit kräftigeren Schwingungen an als ohne diese Rückkopplung (vgl. übrigens auch S. 70, 72 u. 76).

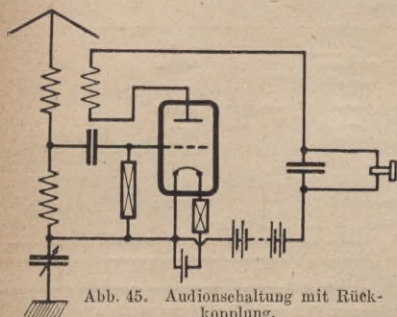


Abb. 45. Audioschaltung mit Rückkopplung.

Mit diesen Schaltungen lassen sich reine ungedämpfte Wellen nicht im Telefon aufnehmen, wohl aber alle modulierten Wellen, also entweder die abgehackten Wellen der Tonsender oder

die modulierten Wellen der Telephoniesender. Um ungedämpfte Morsezeichen aufnehmen zu können, ist noch die sog. Überlagerung notwendig (S. 71 ff.)

## 20. Die Röhre als Schwingungserzeuger.

Neben den Hochfrequenzmaschinen und dem elektrischen Lichtbogen besitzen wir in der Glühkathodenröhre einen dritten ausgezeichneten Schwingungserzeuger von Schwingungen jeder Frequenz.

Man könnte eine solche Röhre z. B. in folgender Weise zu Schwingungen anregen. Eine kleine Hochfrequenzmaschine werde mit dem Gitter und der Kathode verbunden (Abb. 46). Dadurch wird der Anodenstrom veranlaßt, dieselben Schwingungen wie die kleine Maschine in verstärktem Maße auszuführen. Schaltet man nun in die Anodenleitung einen Schwingungskreis aus Spule und Kondensator herein und stimmt ihn auf die Schwingungszahl der kleinen Maschine ab, so werden durch die



anschaukelnden Impulse des Anodenstroms in dem Schwingungskreis außerordentlich kräftige Schwingungen erzeugt. Man hat auf diese Weise einen, wie man sagt, fremd erregten Schwingungserzeuger, der allerdings keinen wesentlichen Fortschritt bedeutet, weil man ja erst einen andern, wenn auch nur kleinen Schwingungserzeuger haben muß.

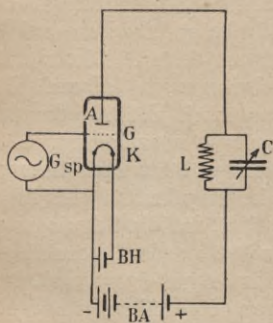


Abb. 46. Die Kathodenröhre als Generator mit Fremderregung.

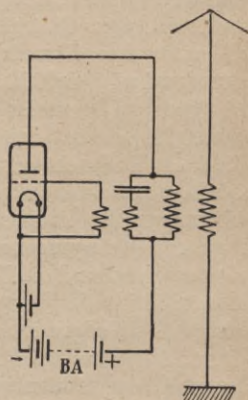


Abb. 47. Die Röhre als selbst-erregter Generator.

Man kann aber diese Fremderregung entbehren und die Röhre sich selbst erregen lassen. Bringt man nämlich in der Leitung der Anodenbatterie einen Schalter an, so erkennt man, daß sich der Kondensator im Schwingungskreis beim Einschalten dieses Schalters aufladen muß. Er kann sich aber sofort wieder durch die Spule entladen und dabei entstehen nun einige Schwingungen, wie auf S. 16 geschildert wurde. Sie sind natürlich gleich zu Ende und es wird sehr rasch sich ein Zustand einstellen, bei dem die Spule von Gleichstrom durchflossen wird und



der danebenliegende Kondensator mit der an der Spule auftretenden Spannung geladen bleibt. Man kann nun aber die eingeleiteten Schwingungen zu dauernden machen, wenn man das Gitter zu Hilfe nimmt (Abb. 47 siehe vorhergehende Seite).

Zu diesem Zwecke schiebt man in die Spule des Schwingungskreises eine zweite Spule hinein und verbindet diese einerseits mit dem Gitter, andererseits mit der Kathode. Sobald nach dem Einschalten eine Schwingung in dem Schwingungskreis auftritt, überträgt sie sich auf die zweite Spule und von ihr auf das Gitter. Dieses erhält also im Rhythmus der Schwingungen abwechselnde Ladungen. Dadurch wird natürlich der Anodenstrom veranlaßt, ebensolche Schwingungen auszuführen. Diese Schwingungen des Anodenstroms stoßen aber ihrerseits wieder den Schwingungskreis im Rhythmus seiner Eigenschwingungen an und die Folge ist, daß die Schwingungen nicht nur nicht daran gehindert werden, abzuklingen, sondern daß sie sogar immer mehr gesteigert werden bis zu einem Höchstwert, der von der Röhre, den beiden Spulen und der Anodenbatterie abhängt.

Man hat also einen Schwingungserzeuger, der überaus einfach in seinem ganzen Aufbau ist. Er erlaubt ferner, jede beliebige Frequenz zu erzeugen, von der Tonfrequenz bis zu der kleinsten Welle der drahtlosen Telegraphie, wobei man ohne die geringste Schwierigkeit sehr rasch von der einen zur andern Frequenz übergehen kann. Die erzeugte Schwingungszahl bleibt dabei vollkommen konstant, wenn alles übrige konstant bleibt, wozu abgesehen von Induktivität und Kapazität insbesondere der Heizstrom gehört.

Große Hochfrequenzleistungen erhält man entweder durch entsprechende Vergrößerung der einzelnen Röhre

oder durch Parallelschaltung einer entsprechend großen Zahl von Röhren. Die Rundfunkstationen arbeiten mit Röhrensendern von 1 bis 10 KW. In Großradiostationen für Überseeverkehr arbeiten Röhrensender bis zu 1000 KW.

Tafel XII zeigt den 5-KW-Röhrensender von Königswusterhausen.

Die angegebene Schaltung wird viel angewendet. Doch gibt es noch andere Möglichkeiten. Eine davon ist auf S. 72 angegeben.

Tafel XIII zeigt ein Bild aus dem Röhrenlaboratorium von Telefunken. Rechts vorne die Schalttafel der Hochspannungsverteilung für die Senderöhren-Abteilung, im Hintergrunde ein 5000-Volt-Röhrensender.

## 21. Der Überlagerungsempfang.

Wenn Morsezeichen nicht in abgehackten Wellengruppen mit Tonfrequenz, also mit sog. tönenden Sendern gegeben werden, wie dies S. 64 angenommen wurde, sondern wenn ein Morsestrich durch eine ununterbrochene Reihe gleichbleibender ungedämpfter Wellen gegeben wird, so kann dieser Strich wohl durch einen empfindlichen Strommesser angezeigt werden, indem dieser infolge der Wirkung des Audions die ganze Strichlänge hindurch einen kleineren Ausschlag zeigt als vorher. Aber er kann nicht mit dem Hörer aufgenommen werden, was sehr viel angenehmer ist als die Verfolgung der Bewegung eines Zeigers mit dem Auge, und deshalb ein sehr viel rascheres Arbeiten ermöglicht.

Es läßt sich jedoch durch eine einfache Einrichtung auch in diesem Falle der Hörempfang bewerkstelligen. Man stellt nämlich in der Empfangsstation außer den schon S. 44 u. 65 ff. beschriebenen Apparaten, z. B. einem Detektor

(Abb. 48), noch einen kleinen Röhrengenerator auf und erzeugt in diesem hochfrequente Schwingungen von derselben Größenordnung wie die an der Empfangsantenne eintreffenden Schwingungen. Mit Hilfe eines Übertragers läßt man sie auf den Empfangskreis einwirken, so daß dieser zwei hochfrequente Schwingungen ausführen muß, eine aufgenommene und eine selbst-erzeugte. Dabei treten nun sog. Schwebungen auf.

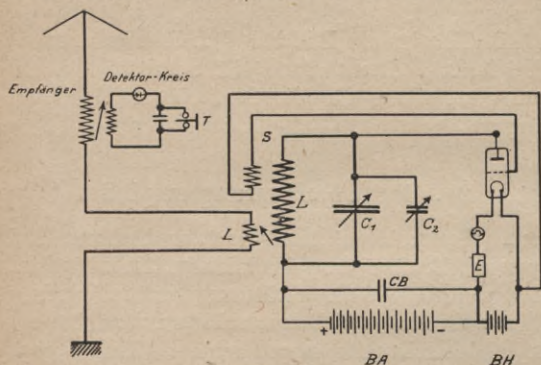


Abb. 48. Empfangsschaltung für Kristalldetektor und kleinen Röhrengenerator als Überlagerer.

Zeichnet man die beiden Schwingungen auf (Abb. 49), z. B. eine Reihe, die in einer bestimmten Zeit 40 Schwingungen ausführt, und eine zweite, die in der gleichen Zeit nur 36 Schwingungen macht. Setzt man dann diese beiden Schwingungsreihen zusammen (dritte Reihe), so sieht man, daß in bestimmten Augenblicken die Schwingungen in gleicher Richtung zusammentreffen, daß sie sich also in einem solchen Augenblick addieren, daß sie aber in dazwischenliegenden Augenblicken einander entgegengesetzt sind und sich infolgedessen aufheben.

In der Figur ist das erste der Fall bei der 0ten, der 10ten, der 20sten, der 30sten und der 40sten Schwingung der ersten Reihe, bzw. bei der 0ten, der 9ten, der 18ten, der 27sten und der 36sten der zweiten Reihe. Beide Schwingungen heben sich auf in den Augenblicken, die gerade in der Mitte der genannten Zeitpunkte liegen. Setzt man die beiden Schwingungsreihen zusammen, so erhält man eine Schwingungskurve, die ansteigt und abfällt. Derartige Schwingungen nennt man Schwebungen. Die Zahl solcher Schwebungen in der Sekunde ist gegeben

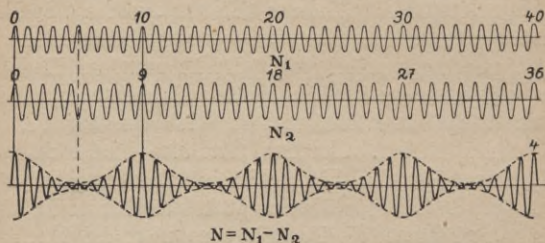


Abb. 49. Entstehung von Schwebungen durch Überlagerung.

durch die Differenz der beiden Schwingungszahlen, die sich überlagern. Also in dem gezeichneten Beispiel:  $40 - 36 = 4$  Schwebungen in der angenommenen Zeiteinheit.

Kommt nun in einer Empfangsstation eine Welle von der Länge 3000 m an, also mit der Frequenz 100000, so erzeugt man in der eigenen Station die Frequenz 101000 und lagert beide übereinander. Dann treten 1000 Schwebungen in der Sekunde auf. Leitet man die in dieser Weise an- und abschwellenden Schwingungen dem Audion zu, so verhält sich dieses ganz ähnlich, wie wenn Wellen eintreffen, die in 1000 Gruppen pro Sekunde abgehackt

daher kommen. Das Telephon gibt also einen Ton von der Schwingungszahl 1000 von sich.

Es ist ohne weiteres deutlich, daß man die Tonhöhe in einfacher Weise beliebig ändern kann. Mit Hilfe eines Drehkondensators ist man in der Lage, die Schwingungszahl des eigenen kleinen Generators stetig zu ändern, insbesondere wenn man wie in Abb. 48 zur Feinabstimmung noch einen kleinen Drehkondensator parallel schaltet. Macht man also seine Frequenz kleiner, so wird der Ton, den man im Telephon beim Eintreffen der Wellen von der Frequenz 100000 hört, immer tiefer und tiefer. Schließlich hört man gar keinen mehr, wenn die beiden Schwingungen gleich geworden sind. Dreht man am Kondensator weiter, so werden die eigenen Schwingungen noch langsamer und ihre Zahl entfernt sich von der der ankommenden Wellen. Der Ton tritt also wieder auf und wird immer höher und höher, bis die Schwebungsfrequenz so hoch wird, daß man überhaupt keinen Ton mehr hört. Praktisch wird man die Tonhöhe einstellen, die dem Aufnehmenden am angenehmsten ist.

## 22. Das Schwingaudion.

Es lag nahe, eine und dieselbe Röhre sowohl als Audion als auch zur Überlagerung zu verwenden. Man erhält dazu im einfachsten Falle die Schaltung der Abb. 45, S. 68; wenn man einen Sekundärkreis anwendet, ergibt sich Abb. 50. Eine Röhre ist mit ihrem Gitter unmittelbar an die abgestimmte Antenne bzw. an den Sekundärkreis gelegt und mit Blockkondensator und Ableitungswiderstand wie in Abb. 40, S. 63 als Audion geschaltet. Sie wirkt also einmal als Hochfrequenzverstärker, insofern als der Anodenstrom die Antennenschwingungen ver-

stärkt mitmacht. Sodann beeinflußt das Gitter den Anodenstrom derart, daß seine Stärke abnimmt, sobald elektromagnetische Wellen an der Antenne eintreffen. Damit dieses zunächst ganz gleichmäßige Abnehmen des Anodenstroms im Telephon hörbar wird, muß es in Schwebungen erfolgen und dazu wird die Röhre nun drittens als Generator geschaltet. Dazu wird die Rückkopplungsspule benutzt. Sie liegt in der Leitung des Anodenstroms in der Abb. 50 unmittelbar vor der Anode und wird in die

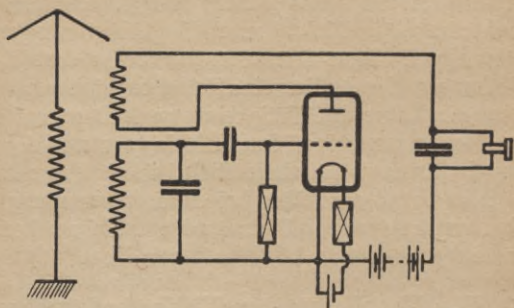


Abb. 50. Die Röhre als Verstärker, als Audion und als Überlagerer.  
(Schwingaudion.)

Nähe der in der Antenne liegenden Spule gebracht, so daß sie magnetisch auf sie einwirkt. Dadurch wirkt der vom Gitter gesteuerte, also verstärkte Pulsationen ausführende Anodenstrom auf den Antennenkreis zurück.

Wird die Kopplung lose gemacht, so hat sie lediglich die schon S. 66f. geschilderte Bedeutung, die ankommenden Schwingungen weiter aufzuschaukeln und dem Antennenkreis aus dem Anodenkreis Energie zuzuführen. Sie wirkt also als weitere Verstärkung und verbessert auf diese Weise den Empfang ganz wesentlich. Damit können dann

gedämpfte Wellen, z. B. von Tonsendern, sehr gut mit dem Fernhörer aufgenommen werden.

Sollen nun aber ungedämpfte Wellen aufgenommen werden, so macht man die Rückkopplung fester, so fest, daß die Röhre ins Schwingen kommt, genau so, wie wenn sie einfach als Generator nach der Abb. 47, S. 69 geschaltet wäre. Die Frequenz, mit der sie schwingt, entspricht der Abstimmung der Antenne. Ist diese also ein wenig gegen die ankommenden Wellen verstimmt, so entstehen in der Antenne Schwebungen dadurch, daß die ankommenden Wellen und die Hilfsschwingungen sich überlagern. Diese Schwebungen werden dann durch die Wirkungen des Audions im Telephon hörbar.

So hat die Röhre drei Tätigkeiten zugleich auszufüllen: sie ist Hochfrequenzverstärker, Überlagerer und Audion, ein Beweis für die wunderbare Vielseitigkeit dieses Apparates. Man nennt die Röhre bei dieser Verwendung deshalb in Amerika auch das Ultraaudion. Bei uns benutzt man mehr den Ausdruck Schwingaudion.

### 23. Die Kennlinien der Glühkathodenröhre.

Einen Einblick in die Vorgänge in der Glühkathodenröhre gewährt ihre Kennlinie (Charakteristik).

Hat die Röhre kein Gitter, oder läßt man es zunächst außerhalb der Betrachtung, so ist der Anodenstrom einer fertigen Röhre vor allem von zwei Größen abhängig, einmal von der Temperatur des Glühdrahtes und sodann von der Anodenspannung. Die Abb. 51 zeigt die Stärke der Elektronenausstoßung aus der Glühkathode bei verschiedenen Temperaturen des Glühdrahtes. Man sieht daraus, daß die Aussendung der Elektronen erst bei etwa 2000 Grad Celsius beginnt und von da ab mit steigender Temperatur immer lebhafter wird (Abb. 51).



Bei einer bestimmten Temperatur wird eine ganz bestimmte Zahl von Elektronen ausgestoßen, die natürlich von der Länge und dem Durchmesser des Glühdrahtes abhängt. Diese Elektronen bilden nun nicht etwa einen Strom, sondern sie lagern sich in dem luftleeren Raum der Röhre und bilden so das, was man die negative Raumladung nennt. Diese wirkt auf die aus dem Glühdraht herauskommenden Elektronen zurück und unterdrückt schließlich, weil gleichnamige Elektrizitäten sich abstoßen, die Elektronenaussendung vollständig.

Sobald aber eine Spannung zwischen Anode und Glühkathode wirkt, derart, daß die Anode positiv gegen den Glühdraht ist, wird die Raumladung überwunden, bei kleiner Anodenspannung nur

wenig, bei wachsender immer stärker und schließlich so, daß alle von dem Glühdraht ausgesandten Elektronen sogleich zur Anode gezogen werden. So kommt bei steigender Anodenspannung ein immer stärker werdender Strom zustande, bis schließlich der größtmögliche Strom bei der betreffenden Glühdrahttemperatur erreicht ist. Man nennt den Strom den Sättigungsstrom, eine weitere Steigerung der Spannung hat keine Zunahme dieses Sättigungsstroms mehr zur Folge (Abb. 52).

Bringt man nun eine Spannung an das Gitter und hält die Anodenspannung auf gleicher Höhe, so kann

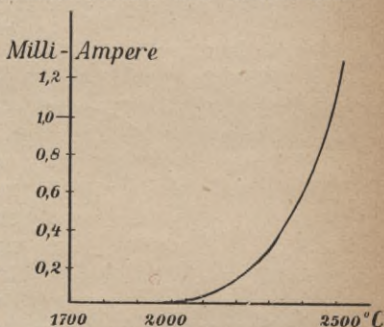


Abb. 51. Die Abhängigkeit der Elektronenaussendung von der Temperatur des Glühdrahts.

man durch Änderung der Gitterspannung wiederum eine Änderung des Anodenstroms hervorrufen. Ist die Gitterspannung Null, so entspricht die Stärke des Anodenstroms dem Wert, der aus der Kurve der Abb. 52 für die gewählte Anodenspannung entnommen werden kann. Wählt man die Anodenspannung 50 Volt, so ergibt sich aus Abb. 52 ein Strom von 0,6 Milliampere. Dieser Wert ist in Abb. 53 auf der Kurve I dort vorhanden, wo die

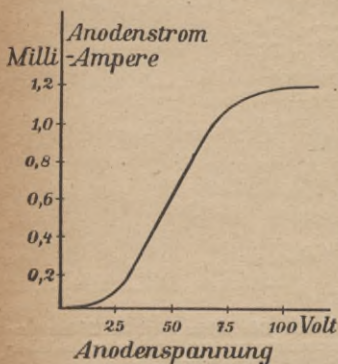


Abb. 52. Die Abhängigkeit des Anodenstroms von der Anodenspannung.

Gitterspannung 0 Volt beträgt. Gibt man nun dem Gitter eine wachsende negative Spannung gegen die Kathode, so treibt sie die Elektronen immer mehr zurück, der Anodenstrom wird also immer kleiner und bei einer bestimmten negativen Gitterspannung, für die Kurve I in Abb. 53  $-5$  Volt, wird der Anodenstrom vollständig unterdrückt. Mit positiver Gitterspannung wird die Wirkung der

ebenfalls positiven Anodenspannung unterstützt, der Anodenstrom steigt und erreicht bei einer bestimmten Gitterspannung, für die Kurve I in Abb. 53  $+5$  Volt, seinen größten Wert der Sättigung. Vergleicht man die beiden Kurven, Abb. 52 und Kurve I in Abb. 53, so sieht man: die Anodenspannung mußte von 0 auf 100 Volt gesteigert werden, um den Sättigungsstrom zu erzielen, das Gitter hat dazu nur eine Steigerung von  $-5$  bis auf  $+5$  Volt nötig. Sein Einfluß ist also 10 mal größer als der der Anode.

Man kann der Anode auch eine andere Spannung geben, z. B. 75 Volt bei Gitterspannung 0 (Kurve II in Abb. 53). Bei negativer Gitterspannung sinkt der Anodenstrom wieder auf 0, bei positiver steigt er bis zum Sättigungsstrom an. Man erhält so in Abhängigkeit von der Gitterspannung für jede Anodenspannung wieder eine neue Kennlinie, z. B. für 25 Volt die Kurve III. Mit steigender Anodenspannung rücken diese Kennlinien naturgemäß immer weiter nach links.

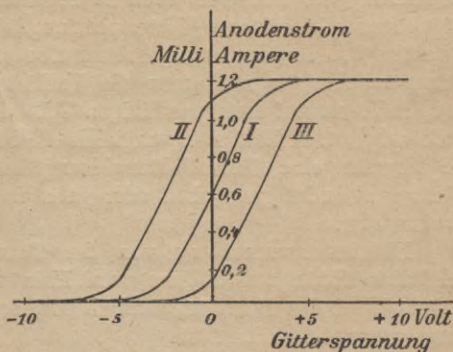


Abb. 53. Die Abhängigkeit des Anodenstroms von der Gitterspannung.

Man spricht von der Steilheit der Kurve und meint damit das Verhältnis der Steigerung des Anodenstroms zur Steigerung der Gitterspannung. Je steiler die Kurve ist, um so größer ist die Steuerwirkung des Gitters.

Man spricht ferner von dem Steuergrad des Gitters und meint damit das Verhältnis der Anodenspannung, die zu einer bestimmten Änderung des Anodenstroms nötig ist, zu der Gitterspannung, welche dieselbe Änderung des Anodenstroms hervorruft. In unserm Fall wäre

dieser Steuergrad 10,0. Den reziproken Wert des Steuergrades nennt man auch den Durchgriff und verbindet damit die Vorstellung, daß die Anode mit ihrer Spannung durch die Öffnungen des Gitters hindurch auf die Glühkathode einwirkt. Der Durchgriff gibt dann an, in welchem Verhältnis die zu einer bestimmten Wirkung notwendige Änderung der Gitterspannung zu der zum gleichen Zwecke aufzuwendenden Anodenspannung steht. In unserm Fall beträgt er also 0,1.

Zur Benutzung der Röhre ist noch zu beachten: Will man Proportionalität zwischen Gitterspannungsänderung und Änderung des Anodenstroms haben, also z. B. zu Verstärkungszwecken, so muß man die Verhältnisse so einrichten, daß man auf dem geradlinigen Teile der Charakteristik arbeitet. Will man ungleiche Wirkungen, also beispielsweise eine Gleichrichterwirkung haben, so arbeitet man entweder ganz oben oder ganz unten auf der Charakteristik.

Da die Elektronenaussendung von der Temperatur des Glühdrahts abhängt und diese vom Heizstrom, so muß natürlich bei der Benutzung der Röhre der Heizstrom durchaus gleichbleiben.

## 24. Die Röhre als Gleichrichter.

Die Röhre wird vermöge ihrer Gleichrichterwirkung (S. 53) in der Radiotechnik auch dazu verwendet, Wechselstrom in Gleichstrom umzuformen. Man hat dann einen ähnlichen Apparat, wie den Quecksilberdampf-Gleichrichter, nur mit dem Unterschied, daß die hochevakuierte Glühkathodenröhre mit einem Edelglas gefüllt und für hohe Spannungen bestimmt ist. Sie dient vor allem dazu, die bei den großen Senderöhren nötigen

hohen Gleichstrom-Anodenspannungen von mehreren 1000 Volt herzustellen. Gleichstromkommutatormaschinen für hohe Spannungen zu bauen, ist sehr schwierig, während es sehr einfach ist, hochgespannten Wechselstrom in einer Maschine zu erzeugen. Für die Gleichrichterröhre wird meist 500 periodischer Wechselstrom von entsprechend hoher Spannung verwendet.

Die Schaltung der Gleichrichterröhre zeigt Abb. 54. Einer geheizten Glühkathode (unten) stehen zwei Anoden (oben) gegenüber. Dies hat den Zweck, beide Halbwellen

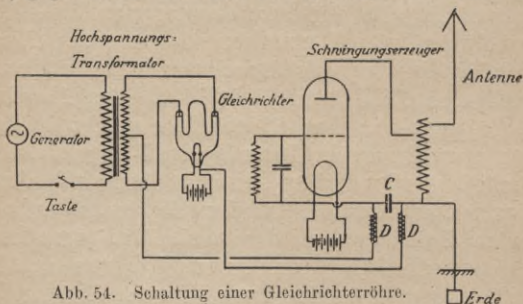


Abb. 54. Schaltung einer Gleichrichterröhre.

des Wechselstroms auszunützen. Man schickt den Wechselstrom aus der Maschine zunächst in einen Transformator, der die gewünschte Spannung erzeugt. Die beiden Enden der Sekundärspule schließt man an die beiden Anoden an. Die Mitte der Sekundärspule führt man dorthin, wo Gleichstrom benötigt wird, in der Abb. 54 zu der Kathode einer zu speisenden Senderöhre. Der Gleichstrom fließt also von dieser negativen Klemme in den Gleichrichter als Stromquelle hinein, und zwar während der einen Halbwelle durch die obere Hälfte der Sekundärspule des Transformators, bei der zweiten Halbwelle

durch ihre untere Hälfte je in die betreffende Anode, von da durch das Vakuum der Gleichrichterröhre zur Glühkathode und von hier zur Anode der Senderöhre.

Die Gleichspannung, welche eine solche Gleichrichterröhre liefert, ist natürlich zunächst entfernt nicht gleichmäßig, sondern schwankt im Rhythmus der Wechselstromquelle auf und ab. Sie kann als Gleichstrom mit übergelagertem Wechselstrom aufgefaßt werden. Um ihn zu glätten, wird zwischen die beiden Gleichstromleitungen ein Kondensator  $C$  von großer Kapazität geschaltet. Er bildet für den übergelagerten Wechselstrom einen Kurzschluß und saugt ihn infolgedessen auf, so daß ein völlig glatter, als Anodenspannung vollkommen brauchbarer Gleichstrom übrigbleibt. Zur Abwehr der Hochfrequenz von dem Gleichrichter werden in die Zuleitungen zur Senderöhre Drosselspulen  $D$  eingeschaltet. Der Stromkreis der Senderöhre ist unmittelbar mit der Antenne (galvanisch) verbunden. Der den Rhythmus der hochfrequenten Schwingungen der Senderöhre veranlassende Schwingungskreis ist, im Unterschied von der früher (S. 69) angegebenen Schaltung, hier im Gitterkreis angeordnet. Die Antenne muß natürlich auf denselben Rhythmus abgestimmt werden.

Statt einer Gleichrichterröhre mit zwei Anoden werden für größere Leistungen über 1000 Watt auch zwei Röhren mit je einer Anode und je einer Kathode verwendet. Ihre Kathoden verbindet man unmittelbar miteinander. Jede Röhre spielt dabei die Rolle einer Hälfte der Doppelanodenröhre der Abb. 54. Der Bau ist genau der gleiche wie bei den üblichen Senderöhren, nur natürlich ohne das Gitter. Auch die Doppelanodenröhre wird häufig, z. B. von Telefunken, mit zwei Glühkathoden versehen, die als geradlinig ausgespannte glühende Drähte von dem zylind-

drisch um sie herumgebogenen Blech der Anoden umfaßt werden.

Als Glühkathode verwendet man in der Gleichrichter-röhre entweder auch einen einfachen Glühdraht oder häufiger ein Oxydstäbchen eines Erdalkalis (Kalzium, Strontium, Barium) bzw. einen mit diesem Oxyd überzogenen Glühdraht. Die Verwendung eines solchen Oxyds erleichtert die Abstoßung der Elektroden und vermindert infolge davon den Aufwand an Heizstrom ganz wesentlich. Auch für Sende- und Verstärkerröhren macht man seit neuerer Zeit von diesen Oxyden Gebrauch.

### III. Der drahtlose Verkehr.

#### A. Die drahtlose Telegraphie.

##### 25. Die Steuerung der Sender.

Zur Übermittlung von Nachrichten benützt man in der Radiotechnik die gleichen Methoden wie in der Drahttelegraphie, also im einfachsten Fall das Morsealphabet (Abb. 55). Es ist von dem Amerikaner Samuel Finley Breese Morse erdacht und seit 1840 in beinahe unveränderter Weise im Gebrauch. Die Buchstaben sind durch bestimmte Kombinationen von kurzen und langen Strichen dargestellt, die entweder von einem Schreibapparat aufgezeichnet oder mit einem Telephon abgehört werden. Gegeben wird in der Sendestation durch Aus- und Einschalten des hochfrequenten Schwingungsstroms in der Antenne, bei langsamem Betriebe mit der Hand, bei Schnellbetriebe mit Maschinen.

Der am meisten angewandte Betrieb ist der Hör-empfang, bei dem die Morsezeichen im Telephon als kurze und lange Töne aufgenommen und die Nachrichten sogleich in gewöhnlicher Schrift niedergeschrieben werden. Früher, in der Zeit der Tonfunksender, wurden die Wellen im Rhythmus des Tones von der Sendestation abgegeben. Heute wird meist ungedämpft gegeben und der Ton wird

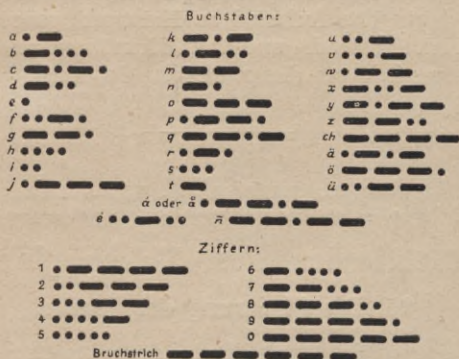


Abb. 55. Das Morsealphabet.

erst in der Empfangsstation durch Überlagerung erzeugt (S. 71 ff.).

Wenn man die Anlagen möglichst gut ausnützen will, geht man zum Schnellbetrieb über. In diesem Fall ist es auch dem gewandtesten Telegraphisten nicht mehr möglich, mit dem Ohre zu folgen. Es muß dann der Schreibempfang angewandt werden. Auch die Hand ist nicht mehr imstande, so rasch zu geben. Man gibt mit Lochstreifen (Abb. 56), die man in schreibmaschinenartigen Lochern vorbereitet und durch den Sendeapparat





unterbrochen und wieder eingeschaltet werden. Das ist einfach zu machen, wenn es sich um kleine Leistungen handelt. Man hat dann nur nötig, einen Ausschalter in die Antennenleitung zu legen und nach Bedarf den Antennenstrom zu schließen oder zu unterbrechen.

Wenn aber bei größeren Stationen Strom und Spannung in der Antenne einen hohen Betrag annehmen, geht es nicht mehr so einfach. Der Schalter wird dann sehr groß und beim Unterbrechen entstehen starke Funken. In diesem Fall betätigt man ihn auf elektromagnetischem Wege durch ein Relais, d. h. der Telegraphenbeamte bedient nach wie vor einen kleinen Ausschalter und schaltet mit ihm einen Hilfsstrom ein und aus, der seinerseits den eigentlichen großen Schalter betätigt. Eine weitere Schwierigkeit entsteht für die Hochfrequenz-erzeuger durch die plötzliche Entlastung und gleich darauf folgende Wiederbelastung. Eine Maschinenanlage ist dabei sehr geneigt, mit der Belastung auch die Umdrehungszahl zu verändern. Das bedeutet aber Änderung der Wellenlänge und diese ist natürlich wegen der Abstimmung der Empfänger durchaus zu vermeiden.

Man hat die darin liegende Schwierigkeit zuerst dadurch umgangen, daß man die Maschine oder den Lichtbogen nicht entlastet, sondern nur ihre Energie statt auf die Antenne in einen andern Belastungskreis umgeleitet hat. Die Maschine oder der Lichtbogen blieben also dauernd gleich belastet. Darin liegt natürlich eine gewisse Energievergeudung, die man zu vermeiden suchte. Es ist auch gelungen, die Schwierigkeit zu überwinden, und man kann heute mit Hilfe von hochempfindlichen Reglern die Maschinen und auch die Lichtbogen in rascher Folge belasten und entlasten, ohne daß die abgegebene Schwingungszahl verändert wird.

Um die Funkenbildung bei der Unterbrechung des Stromes zu vermeiden, hat man sog. Tastdrosseln eingeführt. Drossel nennt man eine Spule mit Eisenkern, die so gebaut ist, daß der durch die Wicklung fließende Wechselstrom ein starkes magnetisches Feld erzeugt und durch die dabei auftretende elektromotorische Kraft für den Strom ein starkes Hindernis darstellt. Sie drosselt

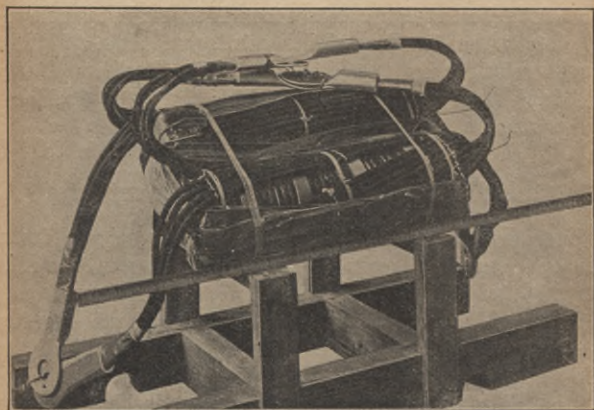


Abb. 57. Tastdrossel der 400-KW-Maschinenanlage in Nauen (geöffnet).

den Strom ab. Schaltet man also eine solche Drossel abwechselnd in die Bahn des Hochfrequenzstroms ein und aus, so wird er abwechselnd schwach und stark und die Ausstrahlung der Antenne wird dabei bald verhindert, bald veranlaßt. Nun kann die Drosselwirkung einer solchen Spule in einfacher Weise durch Gleichstrom beeinflußt werden. Wird nämlich das Eisen der Drossel-spule durch eine aufgebraachte Gleichstromwicklung sehr

stark gesättigt, so hat der Wechselstrom in seiner Wicklung keine Möglichkeit, magnetische Wirkungen hervorzurufen. Die Drosselwirkung ist also aufgehoben. Wird der Gleichstrom ausgeschaltet und damit das Eisen entmagnetisiert, so ist der Wechselstrom wieder in der Lage, die wechselnde Magnetisierung hervorzurufen, und er drosselt sich dadurch wieder selbst ab. Auf diese Weise lassen sich die Morsezeichen durch Ein- und Ausschalten dieses schwachen Magnetisierungsgleichstroms in der Tastdrossel hervorbringen. Abb. 57 (siehe vorhergehende Seite) zeigt eine solche Tastdrossel von Telefunken im geöffneten Zustand, die für die große Hochfrequenzmaschine in Nauen bestimmt ist.

## 26. Die Ausstrahlung der Sendeantenne.

Von der in der Antenne hin und her schwingenden Energie kommt nur ein sehr geringer Teil zur Ausstrahlung, genau wie bei einer Glocke, die durch einen Schlag mit dem Klöppel in zitternde Schwingungen versetzt wurde, bei jeder Schwingung nur ein geringer Teil der hin und her vibrierenden Energie an die Luft abgegeben wird. Würde die ganze Energie sofort durch Strahlung abgegeben, so würde damit auch die Schwingung sofort aufhören, falls nicht neue Nahrung zugeführt wird. Damit nun die ausgestrahlte Energie groß genug wird, um die ferne Station zu erreichen, muß eben die schwingende Energie groß gemacht werden.

Während einer Schwingung geht die Energie der ruhenden Elektrizität oder des mit der Ladung verbundenen elektrischen Feldes über in die Energie der strömenden Elektrizität oder des damit verbundenen magnetischen Feldes. Würde keine Strahlung und auch sonst kein

Verlust auftreten, so wären diese beiden sich abwechselnden Energien einander immer gleich und die Schwingung würde ewig fort dauern. Da dies unmöglich ist, so nehmen die Energien von Schwingung zu Schwingung ab, und man bekommt eine abklingende oder gedämpfte Schwingung. Führt man bei jeder Schwingung so viel Energie aus einem Generator zu, als jeweils verlorenggeht, so wird die Schwingung wieder gleichbleibend oder ungedämpft.

Beträgt die Induktivität  $L$  Henry und die Kapazität  $C$  Farad, der Strom  $J$  Ampere und die Spannung  $E$  Volt, so ist der Ausdruck für die Energie des magnetischen Feldes  $\frac{1}{2} C \cdot E^2$  und der für die des elektrischen Feldes  $\frac{1}{2} L \cdot J^2$ .

Wenn es nun gilt, den ersteren Ausdruck groß zu machen, so ist das vor allem durch Steigerung der Spannung möglich. Ihre obere Grenze hängt von der Güte der Isolation des Luftnetzes ab. Die Antennendrähte müssen natürlich irgendwie gehalten werden, etwa an 200 m hohen Eisenmasten. Die letzteren werden z. B. in Nauen durch 6 Säulen aus 4 aufeinandergestellten Porzellan-körpern an ihrem Fußpunkt von der Erde isoliert, was bei dem Gewicht von etwa 100 t für einen solchen Mast immerhin etwas bedeutet. Des weiteren werden die Drähte des Luftnetzes oben an den Masten durch Zwischenschalten von mehreren Porzellanisolatoren isoliert. So ist man in der Lage, die effektive Spannung des Luftnetzes auf 120000 Volt zu steigern. Die Kapazität der großen Antennen ist natürlich wegen der notwendigen großen Entfernung zwischen Luftnetz und Erde klein und kann nur durch die Anwendung sehr ausgedehnter Drahtnetze eine einigermaßen annehmbare Größe erreichen. Man kommt dabei auf Kapazitäten von 13000

Mikromikrofarad. Die Energie, welche ein solches Luftnetz bei maximal 170000 Volt aufnimmt, beträgt also 187 Joule. Die Leistung ist dabei sehr groß, da der Energiewechsel so ungeheuer rasch vor sich geht. Von dieser Energie werden beim jeweiligen Wechsel nur wenige Joule 'ausgestrahlt, und zwar hängt ihre Zahl von dem Verhältnis der wirksamen Antennenhöhe zur

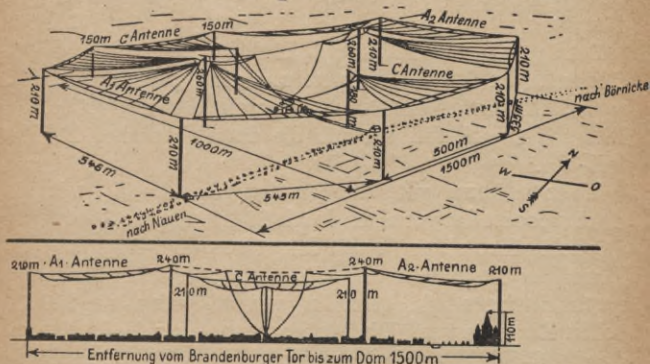


Abb. 58. Die neueste Antenne von Nauen, bestehend aus 8 dreiecksförmigen Drahtnetzen, deren Spitzen an 240 m hohen Masten hängen.

Wellenlänge ab; im besten Fall, wenn dieses Verhältnis etwa 0,2 beträgt, also z. B. bei einem Draht, der so hoch in die Luft geführt ist, daß er geradeso lang wie der vierte Teil der ausgestrahlten Wellenlänge ist. Die Strahlung wird um so schlechter, je kürzer die wirksame Antennenhöhe im Verhältnis zur Wellenlänge wird.

Da bei dem Hin- und Herpendeln der Energie außer der nützlichen Strahlwirkung noch durch Stromwärme und andere Verlustquellen Energie verbraucht wird, so ist der Wirkungsgrad einer solchen Anlage nicht sehr

hoch. Außerdem wird die Strahlungsenergie nach allen Seiten hin ausgesandt, auch wenn sie nur von einer einzigen Stelle in Empfang genommen wird. Sog. gerichtete Antennen oder Richtsender, die ihre Strahlen nur in der gewünschten Richtung aussenden, gibt es leider noch nicht. Infolgedessen ist der Wirkungsgrad bezogen auf die Empfangsstation verschwindend gering. Doch kommt es bei dem drahtlosen Telegraphenbetrieb in erster Linie auf den Erfolg, d. h. die Vermittlung der Nachrichten an. Erst in zweiter Linie steht der Wirkungsgrad.

Abb. 58 zeigt die neueste Antenne von Nauen, deren Luftnetz aus einer Reihe von dreieckigen Drahtflächen besteht, die nach Bedarf zusammengeschaltet oder allein benutzt werden.

## 27. Der Telegraphieempfang.

Der Empfang der telegraphischen Zeichen geschieht sowohl mit der offenen als auch mit der Rahmenantenne. Bei der letzteren sind Drähte in mehrfacher Windung über einen viereckigen quadratischen Holzrahmen oder auch einfach frei über ein gleichschenkliges rechtwinkliges Holzkreuz gewickelt (Abb. 59). Zum Senden wäre diese Anordnung ganz unbrauchbar. Dagegen werden von herankommenden elektromagnetischen Wellen in dem Rahmen Schwingungen erzeugt, wenn der Rahmen senkrecht auf dem Boden aufgestellt und mit seiner Ebene in die Richtung der Wellenwanderung, also mit einer Seite des Rahmens nach der Sendestation zu aufgestellt wird. Die Wellen treffen dann die Drähte auf der Stirnseite des Rahmens, geben an sie, wie an die gewöhnliche Antenne, ihre Energie ab und kommen geschwächt zu

den hinteren Windungen. Dadurch bekommt man trotz des geschlossenen Stromkreises und der kleinen Windungsfläche einen ganz annehmbaren Erfolg.

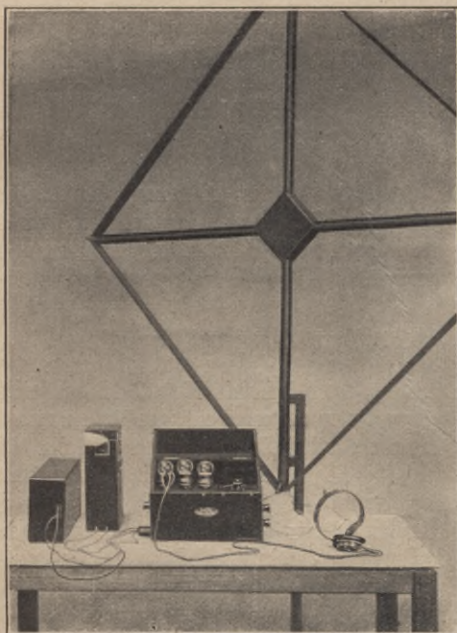


Abb. 59. Rahmenantenne mit Verstärkerröhren und Kopfhörer.

Dreht man den senkrecht stehenden Rahmen um 90 Grad um eine vertikale Achse, so daß die Wellen senkrecht auf die Rahmenebene treffen, so werden die Win-



dungsdrähte des Rahmens auf beiden Seiten gleichzeitig und gleich stark von den Wellen getroffen. Infolgedessen werden gleich starke, gleichgerichtete Schwingungen in ihnen erzeugt und diese heben sich innerhalb des Rahmens auf. Auf diese Weise trifft der Rahmen schon von selbst eine Auswahl unter den vielen die Empfangsstation durchwandernden Wellenzügen, die von allen möglichen Sendestationen herkommen. Man muß den Rahmen in die Richtung der aufzunehmenden Sendestation einstellen. Der Rahmen arbeitet also an sich schon störungsfreier als eine gewöhnliche Hochantenne. Mit Hilfe eines Drehkondensators wird der Rahmenkreis genau auf die Wellenlänge der Sendestation abgestimmt, so daß die zunächst äußerst schwachen Schwingungen ziemlich stark aufgeschaukelt werden. Dies ist um so leichter zu erzielen, als die Rahmenantenne nicht strahlt und infolgedessen weniger Verluste hat als die offene Antenne. Sie läßt sich auch infolgedessen viel schärfer abstimmen. Wendet man dann noch Hoch- und Niederfrequenzverstärker an, so erhält man einen ganz ausgezeichneten Empfang mit dieser Rahmenantenne.

Damit die eigene Sendestation, insbesondere eine mit sehr starker Leistung, die Empfangsstation nicht zu sehr beeinflußt, wenn mit dieser während des Sendens gleichzeitig aufgenommen werden soll, hat man in der ersten Zeit des drahtlosen Telegraphieverkehrs diese letztere mit ihrem Rahmen ziemlich weit von jener aufgestellt. So war die deutsche Empfangsstation für Nordamerika zuerst 200 km weit von der deutschen Sendestation in Nauen entfernt aufgebaut worden, in Naumburg a. d. Saale. Es hing dort an einem großen Holzmast von 40 m Höhe ein Rahmen mit seiner Ebene senkrecht zur Richtung Nauen—Naumburg und

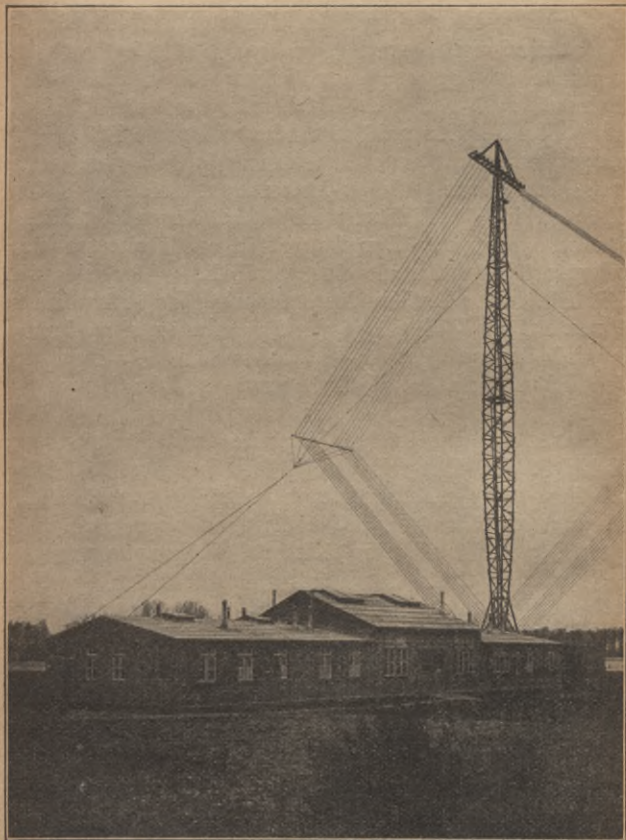


Abb. 60. Geltow: Empfangshaus und 40 m-Holz mast mit zwei Rahmenantennen der Duplexanlage.

mit der vorderen Rahmenseite nach Neuyork gewendet (Abb. 60).

Anfang 1919 ist man mit dieser Empfangsstation bis auf 30 km südlich von Nauen nach Geltow bei Potsdam heran-

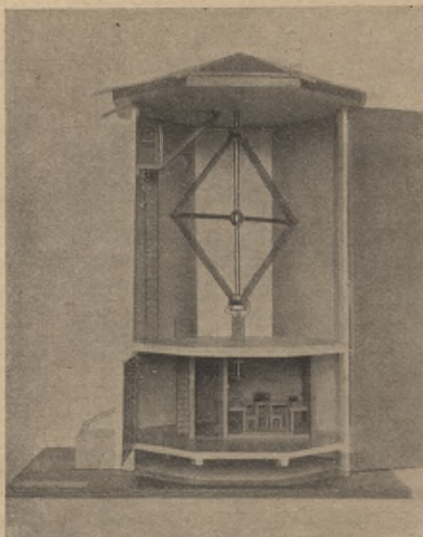


Abb. 61. Modell der Empfangsanlage für den Überseeverkehr in Geltow.  
Unten der Raum mit den Empfangsapparaten: darüber die drehbare Rahmenantenne mit 16 qm Windungsfläche.

gegangen und hat den Rahmen auf 4 m Seitenlängen vergrößert. Er steht jetzt drehbar in einem Häuschen (Abb. 61), das auch die andern Empfangsapparate enthält. Die ankommenden ungedämpften Wellen werden für Hörempfang überlagert und einem Telephon zugeleitet, für Schreibeempfang



dagegen unmittelbar einem empfindlichen Relais zugeführt, das den Schreibapparat oder die Typendrucker betätigt.

Bei Verwendung von Schnellmorsezeichen oder den unregelmäßigen Stromstoßfolgen der Typendrucker ist das Auffangen der Depeschen von anderer Seite so gut wie ausgeschlossen. Mit dem Gehör ist nichts mehr zu machen, der Lauscher müßte dieselben Schnelltelegraphenapparate aufstellen wie die Transradiogesellschaft. Ihre Einstellung ist für einen fremden Lauscher aber nahezu ausgeschlossen. Würde die so schon von selbst vorhandene Geheimhaltung der telegraphischen Nachrichten nicht genügen, so bliebe immer noch der Ausweg der Chiffrierung, d. h. die Verwendung der Buchstaben nach geheimer Verabredung (Geheimschlüssel). Wenn diese auch nicht absolut schützt, da man hinter jedes Geheimnis kommen kann, so hat man zur Entzifferung bzw. Aufsuchung des Geheimschlüssels doch längere Zeit nötig und bis dahin hat in den meisten Fällen die Depesche schon ihre Dienste getan.

### 28. Der Duplexverkehr.

Aus zwei Gründen ist es schon bei der Drahttelegraphie notwendig, die Sendestation dauernd geben zu lassen und gleichzeitig in der Empfangsstation die Nachrichten der Gegenstation aufzunehmen. Einmal sollen die Sendeparate mit ihrer ganzen Anlage, die einen bedeutenden Wert darstellen, so gut wie möglich ausgenützt werden. Sodann ist es zur Durchführung eines guten Betriebs nötig, bei verstümmeltem Eintreffen der Nachrichten sogleich die Sendestation darauf aufmerksam zu machen. Man nennt den Betrieb, bei dem man während des Gebens gleichzeitig empfängt, den Gegensprechbetrieb oder den Duplexverkehr. Bei der Drahttelegraphie hat

man ihn dadurch möglich gemacht, daß man mit Hilfe sinnreicher Schaltungen auf einer und derselben Leitung von beiden Seiten her sowohl Stromstöße gibt als auch solche empfängt, so daß die Ströme in der Leitung gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung fließen und doch den richtigen Empfangsapparat betätigen.

Bei der Radiotelegraphie wird dieser Betrieb dadurch ermöglicht, daß man mit zwei verschiedenen Wellen gibt; von Nauen nach Neuyork derzeit z. B. mit einer Wellenlänge von 17,9 km, von Neuyork nach Nauen dagegen mit 19,2 km. Die abgesandten Wellen stören

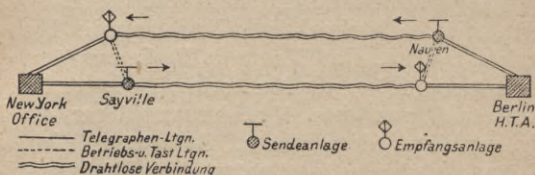


Abb. 62. Schema des Gegensprechverkehrs.

also die auf die andere Wellenlänge abgestimmte eigene Empfangseinrichtung nicht, um so weniger als der senkrecht zu der Richtung dieser Wellen aufgestellte Rahmen unempfindlich gegen diese Wellen ist.

Damit die beiden immerhin 30 km entfernten Stationen sich bequem verständigen können, sind sie durch Telefonleitungen miteinander verbunden. Außerdem aber sind von beiden Stationen, von Nauen und von Geltow, Kabelleitungen ins Postamt Berlin Nr. 24 gelegt. Dort endigen sie am gleichen Tisch und von diesem aus wird der Duplexbetrieb geregelt (Abb. 62). Ein Beamter tastet von dort aus unmittelbar den Antennenstrom von Nauen dadurch, daß er bei Handbetrieb mit einer ge-

wöhnlichen Telegraphentaste oder bei Schnellbetrieb mit einem Maschinentelegraphen einen gewöhnlichen Telegraphierstrom nach Nauen schickt und mit Hilfe der S. 87 beschriebenen Tastdrossel den Maschinenstrom steuert. Die Beamten in Nauen haben also ausschließlich die dortigen Anlagen zu überwachen. Die Nachrichtenübermittlung erfolgt unmittelbar von Berlin aus.

Ebenso werden die von Nordamerika ankommenden Depeschen nicht in Geltow selbst aufgenommen, sondern in Berlin von einem zweiten Beamten, der am gleichen Tisch sitzt wie der Sendebeamte. In Geltow werden nur die Apparate richtig eingestellt und dauernd beaufsichtigt, mit den Nachrichten selbst haben die Beamten dort nichts zu tun. Der Beamte in Berlin empfängt entweder mit dem Hörer die Morsezeichen, oder er läßt bei Schnellbetrieb von dem Maschinenempfänger die Depesche schreiben oder drucken. So ist es möglich, daß bei Störungen oder bei sonst notwendigen Rückfragen der Sende- und der Empfangsbeamte sich unmittelbar verständigen können und jede unnötige Pause vermieden wird.

Tafel XIV zeigt einen elektrisch angetriebenen Schnellmorse- (Wheatstone-) Sender und -Empfänger in der neuesten Ausführung von Siemens u. Halske in Siemensstadt bei Berlin.

Tafel XV zeigt einen Schnellschreiber, der die Morsezeichen als Wellenlinien wiedergibt, wie es bei der Kabeltelegraphie üblich ist. Der Apparat arbeitet nach dem Johnsen-Rahbeck-Verfahren, das auf S. 120 beschrieben ist.

Wie hier beim Transradioverkehr wird es natürlich überall gehandhabt, wo lebhafterer Betrieb herrscht, bei den Funkstellen innerhalb des Deutschen Reiches, beim Verkehr der europäischen Hauptstädte unter-

einander und im Betrieb des Weltradionetzes. Ist der Betrieb zwischen zwei Stationen nicht sehr lebhaft, so genügt der Einfachverkehr, d. h. die eine Station gibt, die andere empfängt, und nach einiger Zeit wird abgewechselt. So ist es insbesondere beim Verkehr zwischen beweglichen Stationen auf Schiffen, auf Luftfahrzeugen und in Eisenbahnen.

### 29. Der Rundverkehr.

Das eigentliche Wesen der Radiotechnik wird dann ausgenutzt, wenn Nachrichten gleichzeitig für viele Stationen in weitem Umkreis ausgegeben werden, also beim sog. Rundverkehr. Solange es nicht möglich ist, durch sog. Richtsender die elektromagnetischen Strahlen nur dorthin zu lenken, wohin sie bestimmt sind, solange sie also überall hinflattern, ist der drahtlose Verkehr zwischen zwei Stationen nur in den Fällen berechtigt, wenn entweder keine festen Leitungen vorhanden sind, weil sie zur Zeit oder überhaupt nicht ausführbar oder zu teuer sind, oder wo die vorhandenen Leitungen überlastet sind und vorläufig keine weiteren gebaut werden konnten, also beim Verkehr über das Meer oder undurchdringliche Gegenden oder zwischen beweglichen Stationen. Gelingt es dagegen, vielleicht durch Anwendung kurzer Wellen ähnliche Anordnungen zu treffen, wie es die Scheinwerfer für die Lichtstrahlen sind, um alle von der Antenne ausgesandten Wellen in einem geschlossenen Bündel nach einer Richtung zu treiben, dann wird auch die Radiotelegraphie zwischen zwei festen Stationen wirklich rationell sein und vielleicht die Leitungstelegraphie ersetzen.

Man hat zwar schon geglaubt, durch bestimmte Antennenformen eine solche Richtwirkung zu erzielen. So

hat Marconi seiner geknickten Antenne (Abb. 63) nachgerühmt, sie strahle in der Richtung ihrer horizontalen Antennendrähte kräftiger aus als senkrecht dazu. Aber auch diese Richtwirkung ist viel zu gering, als daß man eine wesentliche Energieersparnis dadurch erzielen könnte.

Der Rundverkehr ist sehr frühzeitig von der Radiotelegraphie benützt worden, und zwar in erster Linie für Zeit- und Wetternachrichten. Schon mehrere internationale Konferenzen haben sich damit befaßt und werden sich in Zukunft noch eingehender damit abgeben müssen. Zeit und Wetter sind ja besonders für die Schiff-



Abb. 63. Die geknickte Marconi-Antenne.

fahrt so außerordentlich wichtig. Auf Grund des Standes der Sonne und der Gestirne zu einer ganz bestimmten Zeit kann der Kapitän den Ort seines Schiffes bestimmen. Der erstere wird jeweils beobachtet, die Zeit dagegen muß bekannt sein. Da ist es von größtem Wert, die Schiffsuhr auch auf langen Fahrten ständig kontrollieren zu können. Aus diesem Grunde wird täglich in einer bestimmten, allen Schiffen bekannten Reihenfolge von allen großen Sendestationen der Welt ein Zeitsignal ausgegeben.

Als internationales Zeitzeichen ist das Onogog-Signal eingeführt. Zuerst kommt eine Vorankündigung, bestehend aus zwanzig hintereinander gegebenen  $v \dots$  — zum Abstimmen, aus dem Namen der Sendestation und



aus der Angabe der Zeitart, z. B. MEZ (mitteleuropäische Zeit). Dabei verstreichen zwei Minuten. Dann kommt das Hauptsignal. Zunächst eine Minute lang  $x \dots -$ , am Schluß dieser Minute  $o \text{ ---}$ . Der letzte Strich schneidet genau mit der 60sten Sekunde ab. Dann kommt eine Minute lang alle zehn Sekunden der Buchstabe  $n \text{ ---}$  und am Schluß dieser Minute wieder  $o \text{ ---}$ , dann eine Minute lang alle zehn Sekunden der Buchstabe  $g \text{ ---}$ , und am Schluß der Minute wieder  $o \text{ ---}$ .



Abb. 64. Die Radiostation Königswusterhausen.

Alle Striche dieses Hauptsignals sind genau eine Sekunde lang, ebenso die Pausen zwischen zwei Zeichen eines Buchstabens.

Wetternachrichten werden ebenfalls in regelmäßiger Folge über den ganzen Erdball verbreitet. Auf den verschiedenen meteorologischen Stationen der Welt wird das Wetter fortlaufend beobachtet und die Beobachtungen an Sammelstellen weitergegeben. Hier werden sie verarbeitet und dann zu bestimmten Zeiten drahtlos nach einem international verständlichen Schlüssel von den Hauptstationen der einzelnen Länder ausgegeben.

In ähnlicher Weise werden wirtschaftliche Nachrichten, Börsenkurse, Regierungserlasse für Behörden, politische Pressemitteilungen, Wetternachrichten für den Landwirt u. a. m. drahtlos verbreitet. Die Stelle in Deutschland, von der die für das Inland bestimmten Nachrichten ausgehen, ist Königswusterhausen (Abb. 64 siehe vorhergehende Seite); sie steht unter Leitung der Reichstelegraphenverwaltung. Die Eildienst G. m. b. H. besorgt die Nachrichten und der Empfangsapparat wird von der Post gegen entsprechende Gebühren deren Abonnenten zur Verfügung gestellt.

### 30. Die Empfangsstörungen.

Die elektromagnetischen Wellen folgen bei ihrer Wanderung zur Empfangsstation einerseits der Erdoberfläche (S. 41), was insbesondere von den langen Wellen gilt, andererseits strahlen sie nach dem Raum außerhalb unseres Planeten aus und werden, wenn sie dabei auf eine leitende Schicht stoßen, reflektiert und wieder zur Erdoberfläche zurückgetrieben. Das letztere gilt vor allem für die kurzen, mehr dem Licht ähnlichen Wellen. Wo sie auf ihrer Bahn leitende und daher schwingungsfähige Körper treffen, wird ihnen durch die Erregung von solchen Schwingungen Energie entzogen. Dies geschieht durch die Bäume der Wälder, durch die Metallflächen der Städte, durch Gebirge mit ihren leitenden Erzen u. a. m. Daher kommt es auch, daß die Wellen einer Station über den Ozean weiter reichen, als über Landstrecken. Ferner wird die Luft durch das Sonnenlicht leitend gemacht und wirkt dann energieentziehend auf die Radiowellen. Daher kommt es, daß die Übertragung bei Nacht in größere Fernen geht, als bei Tag. An der Grenze der Atmosphäre

denkt man sich eine leitende Schicht, die sog. Heavisideschicht, die reflektierend auf die Wellen wirkt, und je nach ihrer Höhe über der Erdoberfläche, die 50—200 km beträgt, werden die Wellen anders zurückgeworfen. Von all diesen Einflüssen kommt es her, daß die Wellen in einer nach Stunden, nach Tages- und nach Jahreszeiten wechselnden Stärke an einer Empfangsstation ankommen.

Störende Nebenwellen, die im Hörer als Geräusche auftreten und zum Teil den Hörempfang geradezu unmöglich machen, und die auch den Schreibempfang empfindlich verstümmeln, haben ihre Ursache in mehr oder weniger plötzlichen Veränderungen des elektrischen Zustandes der Atmosphäre. Als höchste Steigerung solcher Veränderungen ist die Blitzentladung aufzufassen, bei der ja ohne weiteres klar ist, daß sie wie ein Funksender unregelmäßige elektrische Wellen ausstrahlt. Diese überlagern sich über die Wellen unserer Sender und erscheinen im Hörer als unangenehmes Zischen, Brausen, Brodeln, Rasseln und Knacken. Je größer die Entfernung zwischen Sender und Empfänger ist, um so mehr haben solche Störwellen Gelegenheit, sich über die Nutzwellen zu lagern, und um so seltener ist ein tadellos reiner Empfang.

Außer den genannten treten noch Störungen durch fremde Sender auf, die vielleicht sogar nur mit ihren Oberschwingungen dazwischen kommen, ferner Störungen durch Elektrizitätswerke und ihre Freileitungen, durch Straßenbahnen und Elektromotoren der Nachbarschaft und schließlich noch durch Empfänger, die mit Schwingaudion arbeiten und mit ihren Hochantennen Wellen aussenden.

Scharfe Abstimmung, Verwendung mehrerer Abstimmkreise mit loser Kopplung, Anwendung von

Siebketten und Sperrkreisen und Ersetzung der Hoch- durch eine Rahmenantenne sind die Mittel, die man gegen solche Störungen anwendet. Außerdem ist es bei Empfang von Morsezeichen durch den Hörer meist möglich, die Signale mit ihrem ausgesprochenen Ton durch alle die Geräusche hindurch noch deutlich zu unterscheiden. Doch müssen insbesondere die atmosphärischen Einflüsse und die Absorption bzw. Reflexion der Wellen noch näher untersucht werden. Es wird dann wohl auch gelingen, über kurz oder lang Mittel zu finden, um diese Störgeräusche von der Empfangsstation fernzuhalten.

## B. Die drahtlose Telephonie.

### 31. Die Modelung der elektromagnetischen Wellen.

Bei der gewöhnlichen Telephonie über Drahtleitungen wird beim Sprechen Gleichstrom durch ein Mikrophon geschickt. In diesem befindet sich eine mehr oder weniger hohe Schicht von leicht sich berührenden Kohlenkörnern zwischen einer dünnen Membran aus gepreßter Kohle und einem starren Kohlenkörper. Der Strom muß diese losen Berührungsstellen durchfließen. Spricht oder singt man gegen die Kohlenmembran, so führt sie Schwingungen aus, die den auftreffenden Schallwellen ziemlich gut entsprechen. Dadurch wird auf die Kohlenkörner ein schwankender elastischer Druck ausgeübt, so daß sich der Ohmsche Widerstand ändert, den der Strom bei seinem Durchtritt durch die Berührungsstellen überwinden muß. Infolgedessen ändert sich die Stromstärke, und wenn alles richtig angeordnet ist, führt der Gleichstrom Schwankungen (Pulsationen) aus,

die ein genaues Abbild der Membranschwingungen und der Schallwellen darstellen. Der Gleichstrom ist damit gewissermaßen mit den Schallwellen beladen und kann sie zur Empfangsstation tragen.

Bei der Radiotelephonie müssen die hochfrequenten Schwingungen des Antennenstroms und die von der Antenne ausgesandten elektromagnetischen Wellen den Träger für die Schallwellen bilden. Daß dazu die abgehackten ungedämpften Schwingungen eines Funkensenders mit ihren verhältnismäßig langen Pausen zwischen den einzelnen Funkenstößen (S. 22) unbrauchbar sind, braucht nicht weiter ausgeführt zu werden. Als Telephoniesender kommen deshalb nur der Maschinensender, der Lichtbogensender und der Röhrensender in Betracht.

Wird ein solcher ungedämpfter hochfrequenter Wechselstrom durch ein Mikrophon geschickt, so erfährt er einen im Rhythmus der Schallwellen wechselnden Widerstand. Infolgedessen ändert sich natürlich auch seine Stärke. Da der hochfrequente Wechselstrom sowieso seine Stärke und Richtung fortwährend ändert, aber ungeheuer viel rascher als der Widerstand des Mikrophons beim Sprechen oder Singen, so äußert sich der Einfluß von dessen veränderlichem Widerstand darin, daß die Stärke (Amplitude) der Schwingungen sich ganz entsprechend den Schallwellen ändert (Abb. 65). Das vorher ganz gleichmäßige Bild der hochfrequenten

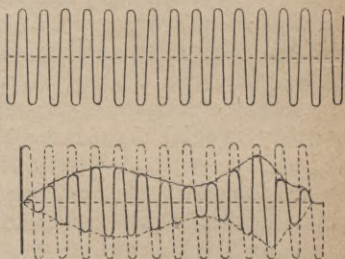


Abb. 65.

Wellen verwandelt sich in ein fortwährendes Auf- und Niederwogen der Wellenkämme. Hat z. B. die Hochfrequenz in jeder Sekunde eine Million und die Tonfrequenz 1000 Schwingungen, so kommen auf eine Tonschwingung 1000 hochfrequente Schwingungen. Daraus sieht man deutlich, daß die feinste Tönung des Schalles von den hochfrequenten Schwingungen ebenso nachgeahmt werden kann wie von einem Gleichstrom (Abb. 5).

Diese Schwankungen erinnern an die Schwebungen, die durch Überlagerung zweier hochfrequenter gleichmäßiger (ungedämpfter) Schwingungen entstehen. Man kann diese Schwankungen deshalb so auffassen, als ob sie durch Überlagerung einer zweiten hochfrequenten Schwingung auf die ursprünglich vorhandene hochfrequente Schwingung entstanden wären. Dort (S. 72f.) wurde gezeigt, daß die Schwebungsfrequenz so groß ist wie die Differenz der beiden hochfrequenten Schwingungen. Infolgedessen kann man hier rückwärts schließen, daß die scheinbar überlagerte Hochfrequenzschwingung sich von der Grundschwingung um die Frequenz des Tones unterscheidet. Führt die Grundschwingung eine Million in der Sekunde aus und wird ein Ton von 1000 Schwingungen in der Sekunde ins Mikrophon gesungen, so ist es geradeso, als ob die Antenne außer der Grundschwingung noch zwei hochfrequente Schwingungen von 999000 oder 1001000 Schwingungen in der Sekunde abgeben würde.

Nun besteht selbst ein gesungener Ton nicht aus den reinen Schwingungen der Grundwelle, sondern ihr sind weitere Schwingungen, sog. Oberschwingungen, überlagert. Ein Akkord, ein gesprochenes Wort usw. bestehen natürlich erst recht aus vielen Oberwellen, die der Grundwelle überlagert sind. Die Oberwellen haben eine 2-, 3-, usw. -fach höhere Frequenz als die Grundwelle.

Wenn diese der Grundwelle aufgeladen werden, also z. B. eine 5 mal höhere Oberwelle, so ist es geradeso, als ob der Grundwelle von einer Million eine weitere Hochfrequenz von einer 1005000 überlagert würde.

Damit das übermittelte Gespräch nun richtig in allen seinen Modulationen aufgenommen wird, muß die Empfangsstation natürlich nicht nur die Grundwelle aufnehmen, sondern auch die Nebenwellen, sie darf also nicht ganz scharf auf die Grundwelle abgestimmt sein, sondern muß in der Lage sein, ein breites Band von daneben gelagerten Wellen, ein sog. Tonspektrum, ebenfalls aufzunehmen. Denn aus ihren Schwebungen entsteht im Telephon der Empfangsstation wieder der richtige Ton.

Da man nun bei der Zartheit der ankommenden Wellen ohne Abstimmung nicht auskommt, so wird die Übertragung bei der Radiotelephonie um so besser sein, je schmaler man das Tonspektrum halten kann. Seine absolute Breite ist durch die Töne mit ihrer Grundwelle und ihren Oberwellen gegeben; im Mittel etwa 6000 nach beiden Seiten. Nun machen 6000 bei einer Hochfrequenz von einer Million oder von 10 Millionen nur 0,6 bzw. 0,06% aus, aber 30% bei einer Schwingungszahl von 20000. Man sieht daraus, daß für die drahtlose Telephonie die kleinen Wellenlängen von 300 oder gar nur von 30 m weitaus besser sind als die langen Wellen unserer Großstationen.

Zwar werden die kurzen Wellen leichter absorbiert, wenn sie lange Strecken durchlaufen müssen, aber die atmosphärischen Störungen machen sich auch weniger bemerkbar als bei den langen Wellen.

### 32. Die Telephoniesender.

Die drahtlose Telephonie ist nicht so alt wie die drahtlose Telegraphie, aus dem einfachen Grunde, weil es zunächst keine ungedämpften Sender gegeben hat. Zwar hat Poulsen im Jahre 1906 mit seinem Lichtbogensender versucht, drahtlos zu telephonieren. Aber es blieb bei Versuchen und erst die Erfindung der Glühkathoden-

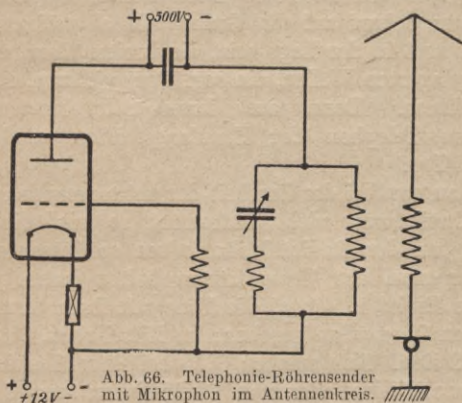


Abb. 66. Telephonie-Röhrensender mit Mikrophon im Antennenkreis.

röhre mit ihrer vielseitigen Anwendung hat brauchbare Lösungen ermöglicht.

Es kommt heute zu Telephoniezwecken in erster Linie der Röhrensender in Frage. Er hat wenig Raum nötig, ist einfach herzustellen und billig zu betreiben; er ist ferner am besten dazu geeignet, kurze Wellen von 100 bis 600 m zu erzeugen in einer Weise, daß Frequenz und Stärke durchaus gleichbleiben. Und solange es sich darum handelt, mit einem Telephoniesender nur einige 100 km zu bestreichen, wie es zur Zeit der Fall ist, ge-



nügen solche Röhrensender sogar in den kleinen Leistungen von 1—10 Kilowatt vollauf. Doch kann man ebensogut wie die Röhren auch die Lichtbogen- und Maschinensender als Stromquellen für die Radiotelephonie verwenden.

Bei ganz kleinen Stationen, bis zu rund 200 Watt, bei denen der Antennenstrom unterhalb von 1 Ampere bleibt, kann das Mikrophon einfach in die Antenne eingebaut werden (Abb. 66), ähnlich wie die Telegraphen-

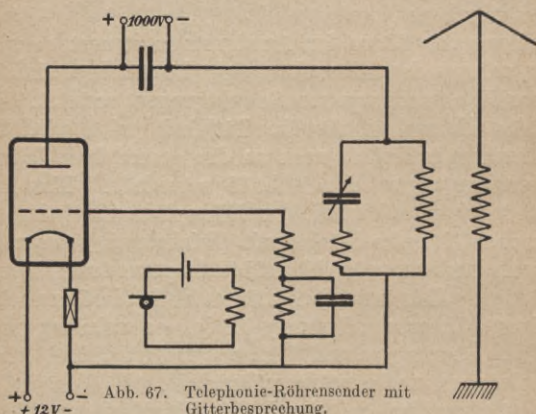


Abb. 67. Telephonie-Röhrensender mit Gitterbesprechung.

taste bei der Morsetelegraphie mit kleinen Stationen. Es können auch einige Mikrophone parallel geschaltet werden, um größere Ströme zu verarbeiten.

Bei größeren Sendern von 200 Watt aufwärts empfiehlt sich indessen ein anderes Verfahren viel mehr, nämlich die Gitterbesprechung, die in der Abb. 67 dargestellt ist. Die Röhre ist dabei zunächst als Schwingungserzeuger geschaltet nach der früher beschriebenen Generatorschaltung, Abb. 47 S. 69, und erzeugt in der

dort beschriebenen Weise mit Hilfe des Gitters ungedämpfte Schwingungen. Sodann wird das Gitter noch zu einer andern Tätigkeit herangezogen. Ein Mikrofonstromkreis wird über einen Übertrager, der eine passende Spannung zu erzeugen hat, mit dem Gitter, unter Zuhilfenahme eines die Hochfrequenz aufnehmenden Kondensators, verbunden. Dadurch werden die Tonfrequenzen des Mikrophons den Hochfrequenzen des Gitters überlagert.

Weil nun das Gitter den Anodenstrom steuert, so wird dieser, solange das Mikrophon nicht besprochen wird, in gleichmäßige hochfrequente Schwingungen versetzt. Sobald das Mikrophon aber in Tätigkeit tritt, wird der Anodenstrom außerdem noch zu den gemodelten Schwebungsschwingungen der Abb. 65 veranlaßt. Man hat damit den großen Vorteil, das Mikrophon wie beim gewöhnlichen Telephonbetrieb mit Gleichstrom verwenden und doch damit einen kräftigen Hochfrequenzstrom steuern zu können. Hat man bei stärkeren Senderöhren eine kräftigere Gitterbeeinflussung nötig, so schaltet man zwischen Übertrager und Gitter der Hauptröhre noch eine oder mehrere Verstärkerröhren ein.

Es ist aber klar, daß durch das Hinzukommen dieser Schwebungsschwingungen oder der neuen scheinbar überlagerten Hochfrequenzschwingungen die Arbeit der Röhre als Generators nicht unwesentlich beeinflußt und unter Umständen stark gestört wird, so daß die Generatorwirkung im schlimmsten Fall ganz aufhört, zum mindesten aber die Frequenz der Grundwelle nicht ganz gleichbleibt und dadurch Verzerrungen in Sprache und im Ton auftreten können.

Eine außerordentlich wichtige Rolle kommt natürlich dem Mikrophon zu. Man verwendet dabei in erster

Linie das gewöhnliche Kohlenkörnermikrophon und schaltet, um die Wirkung zu steigern, mehrere parallel oder man baut eine Reihe von Mikrophonen hinter einer größeren Membran zusammen. Ein Haupthindernis bereitet die träge Masse von Kohlenmembran und Kohlenkörnern.

Das Kondensatormikrophon ersetzt beides durch eine einfache sehr dünne Stahlmembran, der man durch entsprechende Einspannung eine sehr hohe Eigenschwingungszahl verleiht. Hinter ihr befindet sich in einem Luftabstand von nur 0,025 mm eine starre Metallscheibe. Der von den beiden Platten gebildete Kondensator besitzt eine Kapazität von  $400 \mu\mu F$ . Wird gegen die Membran gesprochen und kommt sie in Schwingungen, so ändert sich die Kapazität des Kondensatormikrophons und dadurch wird eine angelegte Spannung veranlaßt, schwankende Ladungen in den Kondensator zu schicken. Die so auftretenden Stromschwankungen werden zu einem Verstärker weitergeleitet.

Ein Mikrophon, das an Stelle der Membran eine gänzlich masselose Gasstrecke verwendet, ist das von der Firma C. Lorenz A.-G. in Berlin-Tempelhof angegebene Kathodophon oder Gasmikrophon. Es rührt von den Erfindern des sprechenden Films her, den Herren Vogt, Massolle und Engl. Wie bei der Glühkathodenröhre wird hier die Tatsache benützt, daß ein glühender Draht negative Elektronen aussendet. Zur erhöhten Wirkung wird die Drahtoberfläche mit dem Oxyd eines Erdalkalis überzogen und ihm gegenüber wird in passender Entfernung eine Anode aus einem Metallblech angeordnet. Wird die Anode mit dem positiven und die Glühkathode mit dem negativen Pol einer Batterie in Verbindung gebracht, so tritt genau wie bei der Glüh-

kathodenröhre ein Strom auf. Nun läßt man aber diesen Vorgang diesmal in gewöhnlicher Luft bei Atmosphärendruck vor sich gehen. Ein aus dem Glühdraht austretendes Elektron stößt also sogleich auf ein Luftmolekül,

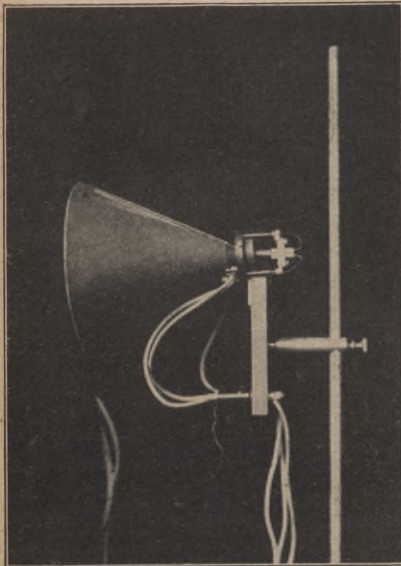


Abb. 68. Kathodophon der C. Lorenz A.-G. in Tempelhof bei Berlin.

lagert sich an dieses an und bildet mit ihm ein negatives Ion, d. h. ein elektrisch negativ geladenes Luftteilchen. Diese negativen Ionen wandern nun mit geringer Geschwindigkeit gegen die positiv geladene Anode hin, und auf diese Weise kommt ein Strom zustande. Man hat also einen Luftstrom, der gleichzeitig ein elektrischer Strom ist.

Wird nun dieser Luftstrom durch Schallwellen be-

einflußt, so ändert sich gleichzeitig und in der gleichen Weise auch der elektrische Strom, und zwar wegen der äußerst geringen Masse der Luftteilchen ganz genau proportional. Selbst die vom gewöhnlichen Mikrophon schwer zu übertragenden komplizierten Klänge eines

Orchesters werden durchaus genau wiedergegeben. Man bildet dazu das Metallblech der Anode als Düse aus, indem man es siebartig durchlöchert, so daß die darauf treffenden Schallwellen die Gasstrecke gleichmäßig beeinflussen.

Abb. 68 zeigt ein Kathodophon der C. Lorenz A.-G. in Tempelhof bei Berlin.

### 33. Der Telephonieempfang.

Die allgemeine Einrichtung ist ganz dieselbe, wie beim Telegraphieempfang. Man verwendet bald offene Hochantennen, bald Rahmenantennen, man arbeitet mit oder ohne Sekundärkreis, mit Kristalldetektor oder Audionröhre, mit oder ohne Hoch- und Niederfrequenzverstärker. Aus den S. 107 angegebenen Gründen darf die Abstimmung nicht so haarscharf sein, wie bei der Aufnahme von Telegrammen, und selbstverständlich ist Überlagerung ausgeschlossen. Wenn man schon eine Schaltung anwendet, welche Überlagerungsschwingungen erzeugt, so muß die Hilfsschwingung natürlich auf dieselbe Frequenz eingestellt werden, welche die ankommenden Trägerwellen besitzen, weil man ja sonst dauernd einen gleichbleibenden Überlagerungsnepton zu dem Telephongespräch hören würde.

Wenn die vom Radiorundsender herkommenden Wellen kräftig genug sind, ist der einfache Kristalldetektor mit einem Sekundärkreis der angenehmste und reinste Empfang. Natürlich ist meist nur eine hohe offene Antenne, selten eine Rahmenantenne mit ihrer schwächeren Wirkung brauchbar. Nimmt man keinen Sekundärkreis, so rufen auch alle in der Nähe liegenden Wellen von andern Telephoniesendern, die Straßenbahnen, nahe befindliche Elektromotoren usw., Empfangsschwin-

gungen hervor. Durch den Sekundärkreis kann man sie zu einem gewissen Teil abhalten. Zur Verstärkung des Tones im Telephon werden zum Kristalldetektor Niederfrequenzverstärker, seltener Hochfrequenzverstärker benützt. Als Anodenspannung kann zu ihnen das Lichtnetz, falls es Gleichspannung führt, verwendet werden.

Das Audion ist mindestens 50 mal empfindlicher, benötigt aber Heiz- und Anodenspannung. In der Regel benützt man auch hier einen Sekundärkreis und gleichzeitig verschiedene Verstärkungen, da man ja der Heiz- und Anodenspannung sowieso benötigt. Man kann mit ihnen auch Lautsprecher betreiben. Falls man Rückkopplung verwendet nach Art der Schaltung von Abb. 45 S. 68, ist zu beachten, daß diese Schaltung nichts anderes ist als die eines Generators. Bei fester Kopplung treten dabei eigene Schwingungen auf, genau wie bei der Überlagerung. Dies muß aber durchaus vermieden werden, wenn der Empfänger mit Hochantenne arbeitet. Denn diese strahlt die Schwingungen aus und die Ausstrahlung kann so stark werden, daß ein sogar einige Kilometer entfernter empfindlicher Empfänger sie auffängt. Infolge der Überlagerung über die Grundschwingung der aufzunehmenden Telephonieübertragung hört man dann zu seinem nicht geringen Ärger einen heulenden oder pfeifenden Ton, der die Aufnahme eines Radiorundsenders fast unmöglich macht.

Deshalb verlangen die postalischen Bestimmungen in Deutschland wie anderwärts, daß die Empfänger so gehandhabt werden müssen, daß sie keine Wellen ausstrahlen. Am gründlichsten würde dem vorgebeugt, wenn solche Empfänger nur Rahmenantennen verwenden dürften. Bei offenen Antennen muß durch richtiges und

zwar loses Einstellen der Kopplung das Auftreten der Schwingungen verhindert werden.

Der Rahmen empfiehlt sich auch noch aus einem andern Grund mehr als die offene Antenne. Die letztere muß mit der Erde über die Gas- oder Wasserleitung verbunden werden, um die Kapazitätswirkung zwischen oberem horizontalen Antennendraht und Erde auszunützen. Nun gleiten an diesen Röhren und dem Erdboden entlang die störenden Wellen der Elektrizitätswerke, der Straßenbahnen und anderer unfreiwilliger Wellenerzeuger. Sie gelangen über die Erdung auch in die Empfangsschaltung und können dort sehr störend wirken. Die Rahmenantenne dagegen braucht nicht geerdet zu werden, da sie keine Kapazitätswirkung auszunützen hat, und ist infolgedessen den genannten Störern auch nicht ausgesetzt.

Eine Schaltung mit Rückkopplung und Hochfrequenzverstärkung zeigt Abb. 69. Eine andere, viel gebräuch-

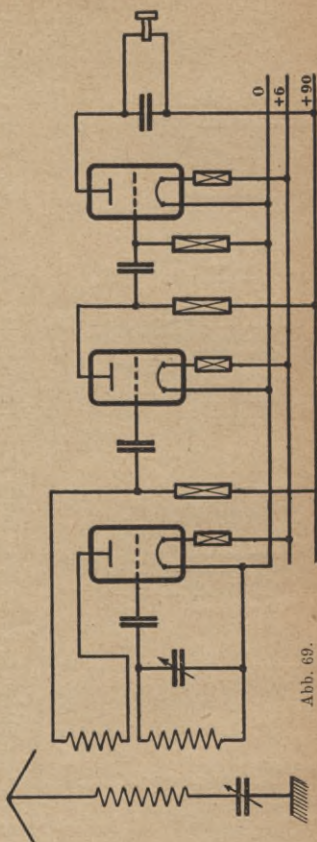


Abb. 69.

liche, nach Leithäuser, mit Sperrkreis für kurze Wellen zeigt Abb. 70. Sie hat ebenfalls Hochfrequenzverstärkung.

### 34. Die Kopfhörer und Lautsprecher.

Der einwandfreieste Hör-empfang ist noch immer der mit dem gewöhnlichen Fernhörer, der dicht ans Ohr gehalten oder, wenn die Hände frei bleiben sollen, als Einfach- oder Doppelkopfhörer mit einem federnden Band an die Ohren gedrückt wird. Ein solcher Hörer enthält üblicherweise eine kreisrunde dünne Eisenscheibe (Membran), die an ihrem Rande ringsherum festgeklemmt ist und in ihrer Mitte einem kleinen zweipoligen Elektromagneten gegenübersteht. Dieser Elektromagnet trägt zwei Spulen, die beim Betrieb von wechselndem oder pulsierendem elektrischen Strom durch-

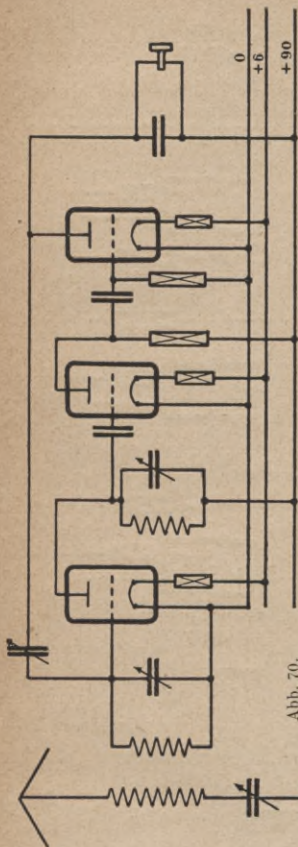


Abb. 70.

flossen werden. Er ist von vornherein magnetisiert (polarisiert oder gepolt) und zwar dadurch, daß seine



beiden in den Spulen steckenden Eisenkerne auf die beiden Pole eines Dauermagneten aufgesetzt sind. Der letztere hat entweder die Form eines schlanken Hufeisens, oder er besteht aus einem Halbkreisring von 3—5 cm Durchmesser, so daß er in einer kleinen Dose untergebracht werden kann, wie sie im Kopffernhörer benutzt wird.

Abb. 71 zeigt einen Doppelkopffernhörer der C. Lorenz A.-G. in Tempelhof bei Berlin.

Fließen elektrische Wechselströme niederer Frequenz durch die Spule eines solchen Telephons, so wird der vorhandene, von dem Dauermagneten herrührende Magnetismus der in den Spulen steckenden Eisenkerne je nach der Richtung des Stromes verstärkt

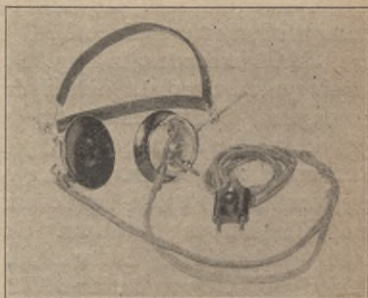


Abb. 71. Doppel-Kopffernhörer.

oder geschwächt. Infolge davon wird die Eisenmembran mehr oder weniger angezogen, als dies im Ruhezustand der Fall ist. Sie führt also im Rhythmus des Wechselstroms mechanische Schwingungen aus, von denen man erwartet, daß sie den feinsten Veränderungen des Wechselstroms folgen, damit alle die komplizierten Klangfarben der menschlichen Sprache oder eines Konzertsstücks wiedergegeben werden.

Solange die Membran nur ganz kleine Schwingungen ausführen muß, gibt sie alle Schallwellen ziemlich getreu wieder, wovon man sich täglich überzeugen

kann. Wenn man aber von ihr als Teil eines sogenannten Lautsprechers verlangt, daß sie größere Bewegungen ausführt, um die Schallwellen der Worte und Töne einer großen Zahl von Personen oder gar einer in einem Saal oder auf einem freien Platz versammelten Menge zu vermitteln, so versagt sie. Es treten dann Lautverzerrungen auf, welche insbesondere die gesprochenen Worte unverständlich machen. Dies hat verschiedene Gründe. Einmal werden gewisse Schwingungen, die etwa der Eigenschwingungszahl der Membran entsprechen, viel lauter wiedergegeben als andere. Ferner wird die Membran durch besonders kräftige Stromimpulse zu Eigenschwingungen veranlaßt, die sich dann den übrigen Lauten überlagern. Schließlich werden bei gemischten Schwingungen, wie sie jeder Akkord, jedes Wort, ja jeder Instrumententon als Klangfärbung enthält, einige Schwingungssorten vor den andern bevorzugt und so die charakteristische Färbung gefälscht. So sind die allermeisten heute vorhandenen Lautsprecher noch ziemlich unbefriedigend und nur für kleine Räume und geringe Lautstärken brauchbar. (Abb. 72.)

Man hat diesem Übelstand auf verschiedene Weise abzuhelpen versucht: Man hat die Form der Membran geändert und sie geriffelt oder konisch statt eben ausgeführt. Man hat die Eisenmembran verlassen und sie durch eine kleine, von dem Sprechstrom durchflossene Spule ersetzt, oder man hat das Eisen in Form einer leichten Zunge verwendet. Von Brown wurde der beste derartige Lautsprecher angegeben, bei welchem eine Weicheisenzunge im Felde von gepolten Magnetspulen schwingt, deren Ende mit der Spitze einer kegelförmigen Membran aus 0,01 mm dünnem Aluminium verbunden ist, die es in lebhaftes Schwingungen versetzt.

Einen ganz andern Weg haben die Ingenieure Johnsen und Rahbeck beschritten. Sie entdeckten die Möglichkeit, auf elektrostatischem Wege mit geringfügigen Ladungen sehr starke mechanische Kräfte auszuüben. Man weiß schon lange, daß zwischen den



Abb. 72. Telefunkenlautsprecher.

geladenen Belegungen einer Leidener Flasche durch das Glas hindurch eine mechanische Anziehungskraft besteht. Ihre Größe hängt von der Flächengröße dieser Belegungen, von ihrer Entfernung und von der Ladung ab. Aus Isolationsgründen ist man bei dieser Anord-

nung genötigt, stets einen gewissen Abstand zu halten, und so war die erreichbare Anziehungskraft nur klein.

Nun haben die genannten beiden Herren gefunden, daß man einen Halbleiter, z. B. einen Kalkstein oder Marmor, als die eine Belegung und eine unmittelbar auf die glatt geschliffene Oberfläche gelegte Stanniolschicht als zweite Belegung verwenden kann. Bei dem fast un-

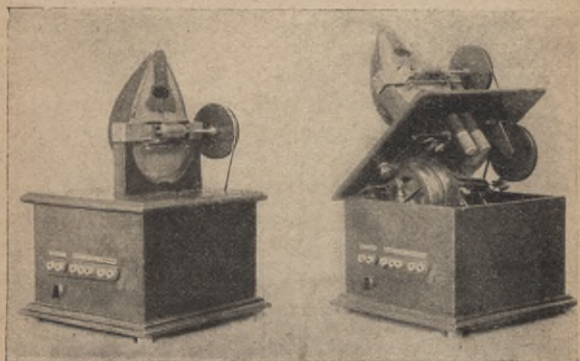


Abb. 73.

Abb. 74.

Lautsprecher von Johnsen-Rahbeck, ältere Ausführung der Dr. Erich Huth G. m. b. H. in Berlin.

endlich kleinen Abstand zwischen beiden ist man imstande, mit ganz winziger Ladung und Ladespannung, auch bei kleiner Berührungsfläche, eine ganz erhebliche mechanische Kraft auszuüben. Dies benützt man nun in folgender raffinierter Weise. Über eine kleine, ganz glatt geschliffene Walze wird ein biegsames Metallband gelegt, an dessen einem Ende eine konstante Kraft, etwa ein Gewicht, angreift und dessen anderes Ende mit dem Resonanzboden, z. B. einer Mandoline, verbunden ist. Nun wird

die Walze mit Hilfe eines Elektromotors gleichmäßig gedreht. Solange zwischen Stein und Metallband keine Spannung wirkt, gleitet die Walze fast reibungslos unter dem Metallband fort.

Läßt man aber eine Spannung in den rhythmischen Schwankungen eines Tones zwischen Steinwalze und Metallband wirken, so treten veränderliche Ladungen und damit veränderliche Anziehungskräfte auf, so daß das Band mit wechselnder Kraft an der Steinwalze klebt. Es führt also zitternde Bewegungen aus und überträgt diese auf den Resonanzboden, so daß dieser laut und schön den betreffenden Ton

von sich gibt. Die Abb. 73 und 74 zeigen einen derartigen Apparat in der älteren Ausführung dieses merkwürdigen und ausgezeichneten Lautsprechers. Die neuere Form ist durch Abb. 75 dargestellt.



Abb. 75. Lautsprecher nach Johnsen-Rahbeck, neue Form der Dr. Erich Huth G. m. b. H.

### 35. Der Rundfunkverkehr.

Die Anwendung der drahtlosen Telephonie ist durch die Einführung des Rundfunks, oder wie die Engländer und Amerikaner sagen, des Broad casting, außerordentlich gefördert worden. Das Ziel ist, jedermann in den

Stand zu setzen, im eigenen Heim alles das genießen zu können, wozu man sich seither in Konzert- und Vortragssäle begeben mußte. Die Mittel dazu sind Telephoniesender, die über ein Land zerstreut an passenden Stellen aufgebaut werden und vermöge ihrer Reichweite einen bestimmten Bezirk mit Sprache und Musik versorgen können. In Deutschland werden zunächst Röhrensender von einer Leistung von 1—2 Kilowatt verwendet, die einen Bezirk von 150 km Radius bestreichen sollen. Die Orte, wo sie aufgestellt werden sollen, sind Berlin (430 m), Frankfurt a. M. (467 m), Leipzig (452 m), München (485 m), Hamburg (392 m), Münster i. W. (407 m), Stuttgart (437 m), Breslau (415 m) und Königsberg (460 m).

Die vier erstgenannten sind seit April 1924 in Betrieb. In England sind schon seit 1923 acht solcher Stationen mit durchschnittlich 5 Kilowatt-Röhrensendern, 10000 Volt Spannung und 1 Kilowatt Antennenleistung eingerichtet. In den Vereinigten Staaten unterscheidet man zwei Klassen, solche erster Klasse mit großer Stärke, welche weite Gebiete versorgen, und solche zweiter Klasse, die etwa denen bei uns entsprechen.

Jedem Sender ist eine bestimmte Wellenlänge zugeteilt, so daß ein Empfänger sich auf jeden einzelnen sicher einstellen kann und auch dort nicht gestört wird, wo die Zonen gleich starker Sender sich überdecken. Die acht englischen Stationen benützen die Wellen zwischen 350 und 495 m. Unerläßliche Voraussetzung für einen guten Empfang ist ein nicht zu großer räumlicher Abstand zwischen Sender und Empfänger, und zwar deshalb, weil dann die bis jetzt leider noch nicht auszumerzenden atmosphärischen Störungen keine oder wenigstens keine störende Rolle spielen. Die Wellen des Senders müssen

eben die Störwellen stark übertönen; andernfalls ist der Genuß sehr fragwürdig, wovon man sich stets überzeugen kann, wenn man Telephoniesender aus mehreren 100 km Entfernung in seinem Hörer aufnimmt. Über die Einrichtung des Empfängers ist schon auf S. 113f. das Nötige gesagt. In der Sendestation kommt neben dem elektrischen Teil auch noch dem Besprechungsraum und seiner Einrichtung eine besondere Rolle zu. Das Sprechzimmer mit dem Mikrophon muß so eingerichtet sein, daß alle nicht hergehörigen Schallschwingungen vermieden werden: Widerhall, Resonanz, fremde Geräusche. Man erreicht es durch reichliche Verwendung von Teppichbelag auf dem Boden und Vorhängen an der Decke und durch dicke Polsterung der Wände.

Die Sendestationen geben Programme aus, die in den Zeitungen veröffentlicht werden, so daß der Empfänger in der Lage ist, die gewünschten Programmnummern sich herauszusuchen. Noch angenehmer wird es werden, wenn gleichzeitig mehrere Programme von einer solchen Station aus abgewickelt werden, natürlich jedes auf besonderer Wellenlänge. Dann kann man jederzeit zwischen ernster und heiterer Musik, belehrenden und unterhaltenden Vorträgen wählen.

Eine wichtige Einrichtung des Rundfunks ist auch die Übertragung der Vortragsstücke von einem Sender auf den andern oder die Übertragung an viele Sender gleichzeitig durch Drahtleitung von einer Zentralstation aus. Von letzterer Möglichkeit wird in England ausgedehnter Gebrauch gemacht.

Da die Entwicklung der Radiotelephoniesender erst begonnen hat, so ist ihr Ende noch gar nicht abzusehen.

Die Kosten für den Unterhaltungsrundfunk werden dadurch aufgebracht, daß eine staatliche Behörde, in

Deutschland die Reichstelegraphenverwaltung, die Oberaufsicht führt und die Erlaubnis, eine Empfangsstation einzurichten und zu betreiben, gegen eine laufende Abgabe erteilt. In Deutschland beträgt sie monatlich M. 2.— für einen einfachen Rundfunkteilnehmer.

Tafel XVI zeigt einen Rundfunkempfänger mit Niederfrequenzverstärker in Luxusausführung von Telefunken Berlin. Ein Lautsprecher sitzt oben auf dem Kasten.

### 36. Internationale und nationale Organisation.

Da die elektromagnetischen Wellen die Landesgrenzen hemmungslos überfliegen, müssen die Nachbarstaaten in ihrem Radiobetrieb aufeinander Rücksicht nehmen. Dies gilt insbesondere für die Festsetzung der Wellenlängen. Deshalb müssen auch für den Unterhaltungsrundfunk ebenso wie für die Zeit- und Wetternachrichten internationale Verabredungen getroffen werden. Dazu dienen die von Zeit zu Zeit einberufenen internationalen Radiokonferenzen, und es wird nicht lange dauern, bis wir eine Weltradioorganisation haben.

Die Radiofreunde selbst haben natürlich das größte Interesse an einer reibungslosen Abwicklung des Weltradioverkehrs. Auch ihre nationalen Vereinigungen müssen internationale Fühlung nehmen, um ihre Erfahrungen auszutauschen und ihre gegenseitigen Interessen auszugleichen.

Im Inland schließen sich die Radiofreunde zu Vereinen oder Klubs zusammen. Diese setzen sich einerseits das Ziel, ihren Mitgliedern die Möglichkeit einer guten Ausbildung in allen einschlägigen Fragen zu gewähren. Auf der andern Seite stellen sie sich eine ähnliche Aufgabe, wie sie die Revisionsvereine der Dampf- und elektrischen



Anlagen schon längst verfolgen. Sie sorgen dafür, daß der Radiobetrieb seitens der vielen Radiofreunde in guten geregelten Bahnen verläuft. Sie überwachen die Empfangsstationen, entfernen Störstationen und vor allem treten sie etwaigem Mißbrauch der Sender- und Experimentierlaubnis mit allem Nachdruck entgegen. Sie sorgen also für Aufklärung und Disziplin und bekleiden so ein äußerst wichtiges Amt für die Zukunft der Radiotechnik.

---

## Register.

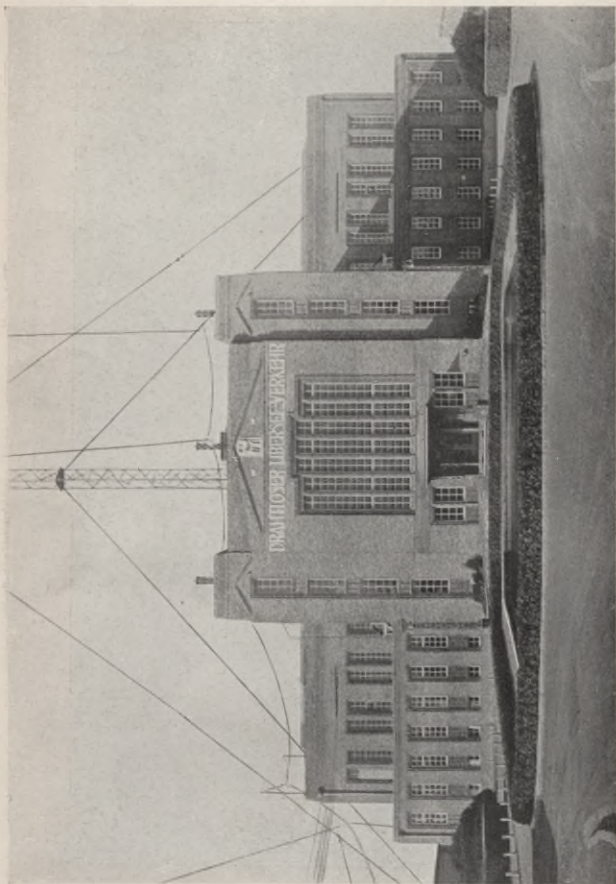
- Abstimmkondensator 42.  
Abstimmspule 42.  
Abstimmung 26, 41.  
Alexanderson 11.  
Anode 51ff.  
Anodenbatterie 53.  
Anodenstrom 54, 76ff.  
Antenne 5.  
— geknickte 100.  
Antennen von Nauen 28, 90.  
Antennenmast 89.  
Anzapfspule 18, 42.  
Atmosphärische Störungen 103.  
Audion 50, 62ff., 114.  
Audionempfänger 65.  
Ausbreitung der elektromagnet. Wellen 40ff.  
Ausgangstransformator 60.  
Ausstrahlung 88.
- Besprechungsraum 123.  
Blitzentladung 103.  
Broad casting 121.
- Charakteristik d. Röhre 76.  
Chiffrierung 96.
- Detektor 43.  
Drehkondensator 19.  
Drossel 87.  
Duddell 23.  
Duplexverkehr 96.  
Durchgriff 80.
- Eigenschwingungen 18.  
Eilvese 14.  
Eingangstransformator 60.  
Elektrische Kräfte 39f.  
— Schwingungen 8ff.  
Elektrisches Feld 34, 37.  
Elektroden der Röhre 49.  
Elektromagnetische Wellen 7, 36ff.  
Elektronen 8, 52.  
— -ausstoßung 77.  
— -röhre 48ff.  
— -strom 54, 77ff.  
Empfangsantenne 40ff., 91f.  
Empfangsschaltung 66f., 115f.  
Empfangsstörungen 102.  
Engl 111.  
Erdnetz 27.  
Extrastrom 17.
- Feinabstimmung 74.  
Feld, elektrisches 34, 37.  
— magnetisches 30, 37.  
Forest, de 62.  
Fortpflanzungsgeschwindigkeit d. Lichtes 7.  
— des Schalles 7.  
Frequenz 7.  
— -wandler 12.  
Funkeninduktor 19.  
Funkensender 19ff.  
Funkenstrecke 19f.
- Funkerei 10.  
Funksender 19ff., 48.
- Galvanische Kopplung 26  
Gasmikrophon 111.  
Gedämpfte Schwingungen 20, 64.  
Gegensprechbetrieb 96.  
Geknickte Antenne 100.  
Geltow 94f.  
Geschlossener Stromkreis 40.  
Gitter 54ff.  
— -besprechung 109.  
Gleichrichter 45f., 53, 80ff.  
Gleichrichterröhre 81.  
Glühdraht 51.  
Glühkathode 51f.  
Glühkathodenröhre 48ff. s. auch Röhre.  
Goldschmidt 15.  
Grundschwingung 106f.
- Heavisideschicht 103.  
Heizbatterie 52.  
Heizstrom 52.  
Hertz 19.  
Hochfrequenz 7.  
— -maschinen 10ff.  
— -verstärker 51, 60ff.  
Hörempfang 71, 84.  
Huth, Dr. Erich, G. m. b. H. 48, 58, 119f.

- Induktive Kopplung 26, 47.  
Induktivität 18.  
Induktor, Funken- 20.
- Johnsen-Rahbeck-Lautsprecher 120f.  
— -Schnelltelegraph 85, 98.
- Kapazität 18.  
Kathode 53.  
Kathodophon 111.  
Kennlinien der Glühkathodenröhre 76.  
Kohlenkörnermikrophon 111.  
Kondensator 15.  
— Abstimm- 42.  
— Dreh- 19.  
— -mikrophon 111.  
— Stöpsel- 42.  
Königswusterhausen 24, 101f.  
Kopfhörer 116.  
Kopplung 26.  
Kräfte, elektrische 33f.  
— magnetische 17, 29f., 37.  
Kraftlinien, elektrische 34.  
— magnetische 30.  
Kristalldetektor 44f.  
— -empfang 113.
- Ladung 16.  
Lautsprecher 117.  
Lautverstärker 59.  
Leidener Flasche 15, 20.  
Lichtbogen, selbsttönender 23.  
— -sender 22ff.  
Lichtgeschwindigkeit 7, 30.  
Lochstreifen 85.  
Lorenz A.-G. 24, 111.  
Luftnetz 27.
- Magnetische Kräfte 17, 29f., 37.  
— Welle 29.  
Magnetisches Feld 30, 37.  
Marconi 19, 100.  
Maschinensender 10ff.  
Massolle 111.  
Mikrophon, Bau 111f.  
— Schaltung 108ff.  
Morse 83.
- Morsealphabet 83f.  
— -zeichen 21, 84.
- Nauen, Antennen von 28, 90.  
— -Maschine 14.  
— -Neuyork-Verkehr 97.  
Naumburg 93.  
Neuyork-Nauen-Verkehr 97.  
Niederfrequenzverstärker 51, 57f.
- Oberschwingungen 106.  
Offener Stromkreis 40.  
Onogosal 100.  
Oszillator, offener 40.  
Oxydkathode 54, 83.
- Phase der elektrischen und magnetischen Kraft 39.  
Poulsen 23.  
— -sender 24.
- Quecksilberdampfgleichrichter 80.
- Radio-Klubs 124.  
— -konferenzen 124.  
— -technik 8.  
Rahbeck s. Johnsen.  
Rahmenantenne 66, 91ff., 115.  
Raumladung 77.  
Relais, Telegraphen- 68.  
— Telephon- 56.  
Rhythmus der Eigenschwingungen 18.  
Richtung der elektrischen Kräfte 36, 39.  
— d. magnetischen Kräfte 31, 39.  
Röhre als Audion 50, 62ff.  
— als Generator 49, 68ff.  
— als Gleichrichter 80.  
— als Verstärker 50, 57f.
- Röhren-Charakteristik 76ff.  
— -generator 68ff.  
— -kennlinie 76f.  
— -sender 68ff.
- Rückkopplung 66, 70, 72, 76.
- Ruhmkorff 19.  
Rundfunk 121ff.  
— -stationen in Deutschland 122.  
Rundverkehr 99ff.
- Sättigungsstrom 54, 77.  
Schnell-Betrieb 84.  
— -morsezeichen 96.  
— -telegraphen 85, 98.  
— -typendrucker 85.  
Schwebungen 72f., 106f.  
Schwingaudion 74.  
Schwingungen 5ff.  
— gedämpfte 20f.  
— ungedämpfte 11, 24.  
Schwingungskreis, elektrischer 15f.  
Sekundärkreis 65.  
Selektivität 65.  
Sendeantenne 25.  
— -ausstrahlung 88.  
— -röhren 50f.  
Siemens u. Halske 85, 98.  
Sinusschwingungen 21.  
Spule 19.  
Spulen, veränderliche 42.  
Steilheit 79.  
Steuer 56.  
— -grad 79.  
Steuerung des Senders 83ff.  
Steuerwirkung 79.]  
Stöpselkondensator 42.  
Störungen 102.  
Strahlen 40.  
Strahlung 38, 88.
- Tastdrossel 87.  
Telefunken 12ff., 50, 59, 61, 87, 124.  
Telefunkenmaschine 13.  
Telegraphenrelais 86.  
Telegraphie, drahtlose 83ff.  
Telephon 43, 47.  
Telephonie, drahtlose 48, 104ff.  
— -sender 108ff.  
Telephonrelais 56.  
Tonfrequenz 7.  
— -funkensender 21, 48.  
— -spektrum 107.  
Transformator 12, 25, 57.  
Typendrucker 85.

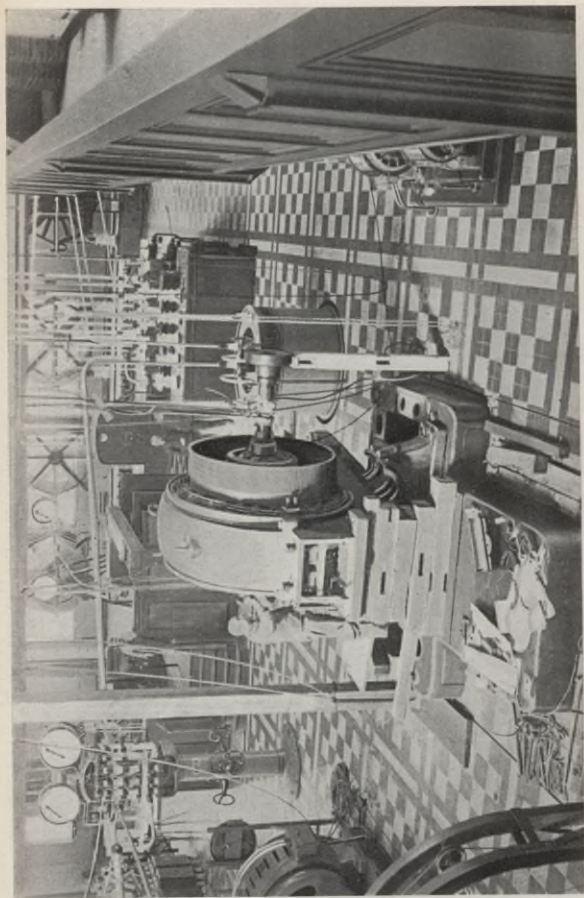
- Überlagerung** 73.  
**Überlagerungs Empfang**  
 71 ff.  
**Übertrager** 25.  
**Ultraaudion** 74.  
**Ungedämpfte Schwingun-**  
**gen** 11, 24.  
**Verkehr, drahtloser** 83 ff.  
**Verkürzungskondensator**  
 65.
- Verluste** 20, 29, 89.  
**Verstärker** 50.  
 — -röhre 51.  
**Vogt** 111.  
**Vorspannung** 56.
- Welle, elektrische** 33 ff.  
 — elektromagnetische  
 36 ff.  
 — magnetische 29 ff.
- Wellenlänge, Berechnung**  
 33.  
**Wetternachrichten** 100.  
**Wheatstone-Schnelltele-**  
**graph** 85, 98.  
**Wirkungsgrad** 43.  
**Wolframdraht** 51.
- Zeitnachrichten** 100.  
**Zeitsignal** 100.  
**Zwischentransformator** 60.



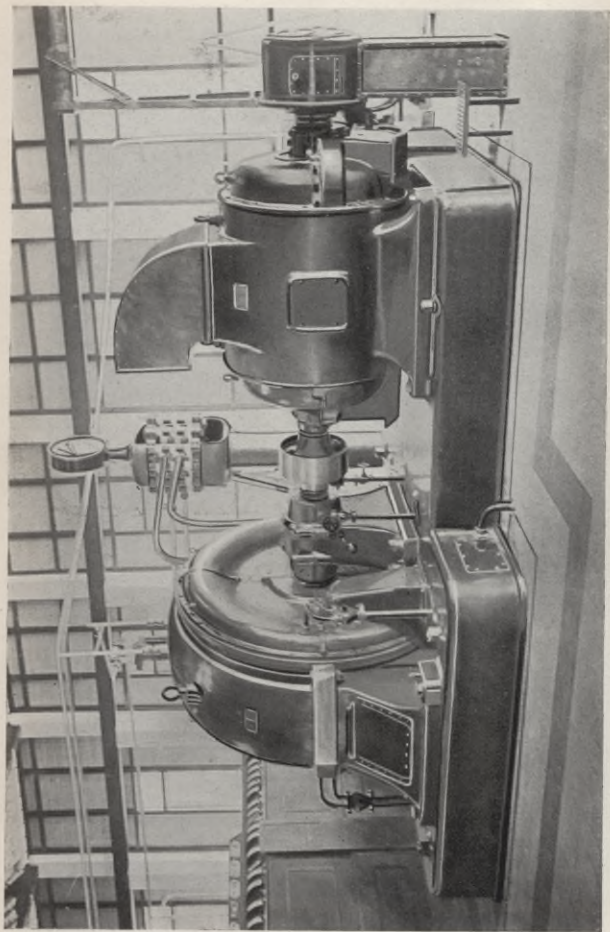
Tafel I. Telefunken-Großstation Nauen. Maschinensaal.



Tafel II. Telefunken-Großstation Naun. Ansicht von vorne.

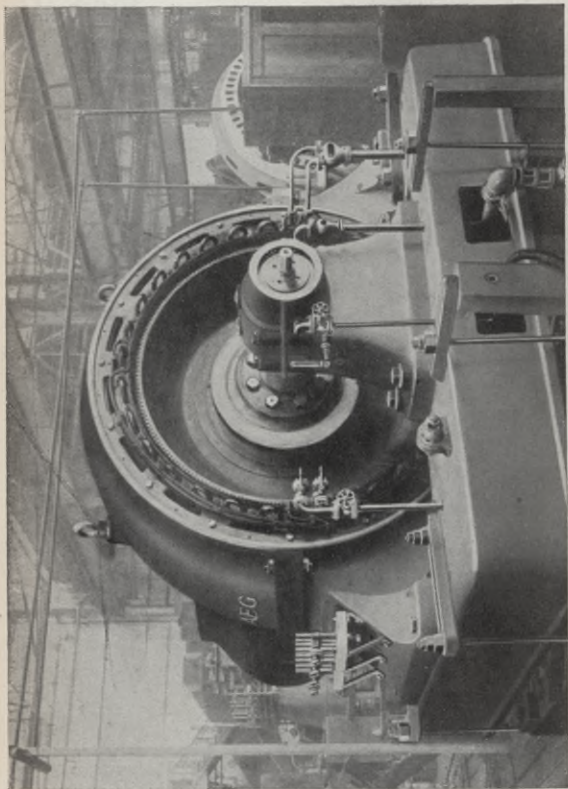


Tafel III. Montage einer großen Hochfrequenzmaschine in Nauen.

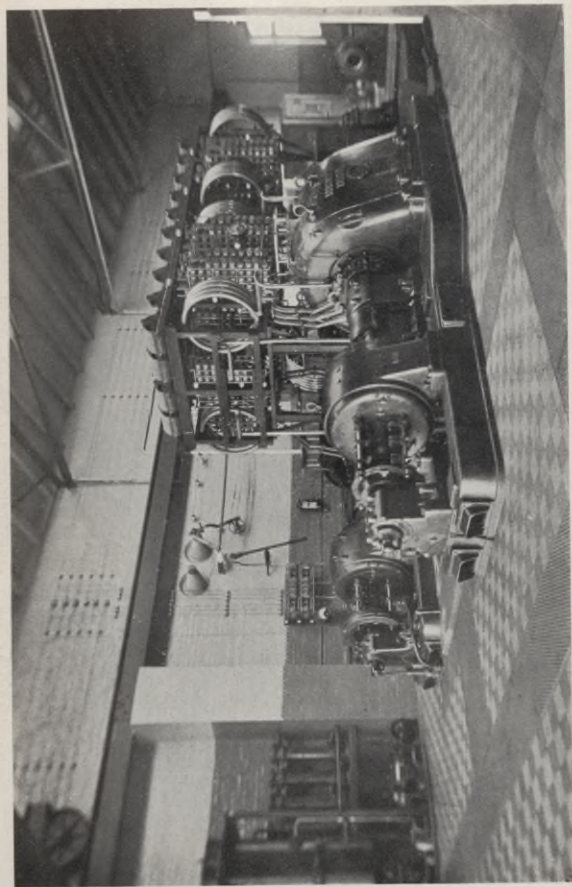


Tafel IV. Malabar (Java). Der Hochfrequenz-Maschinenformer von Telefunken.  
Links die Hochfrequenzmaschine, rechts der Antriebsmotor.

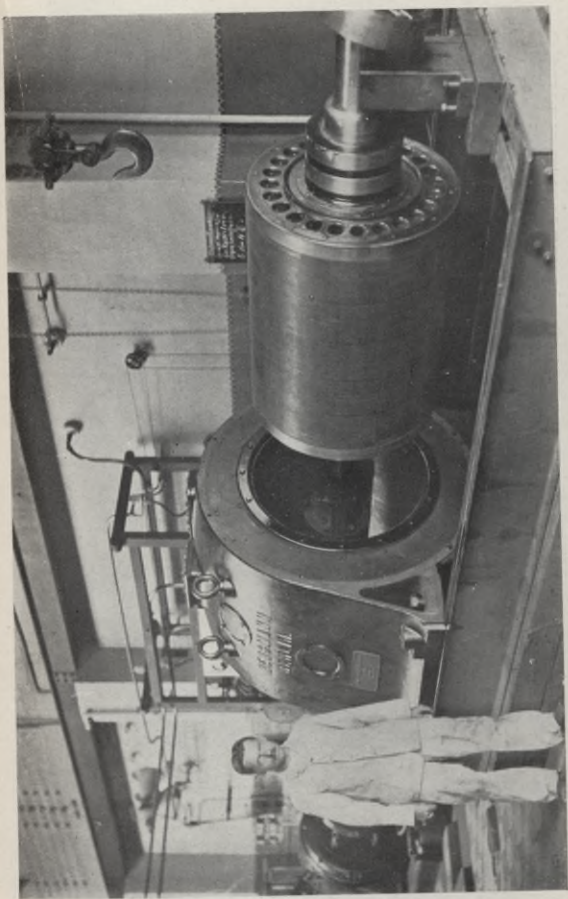




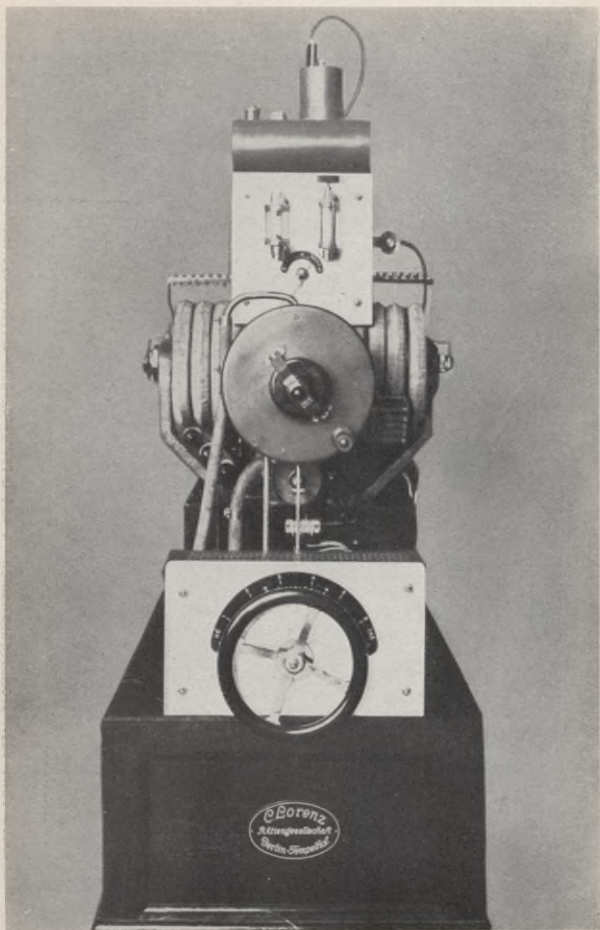
Tafel V. Hochfrequenzmaschine der Telefunken-Großstation Nauen.



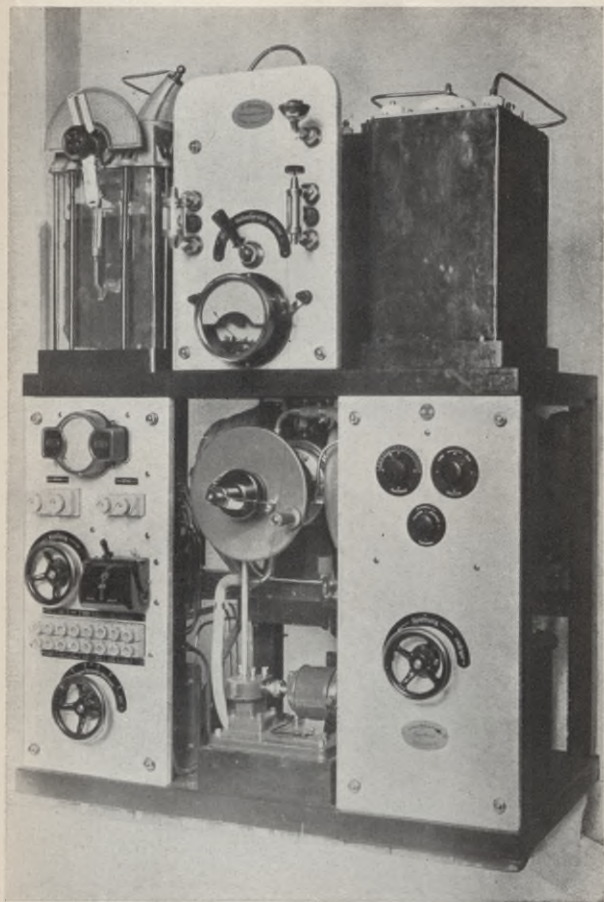
Tafel VI. Maschinensaal in der Großstation Eilvese mit Hochfrequenzmaschinen. System Goldschmidt.



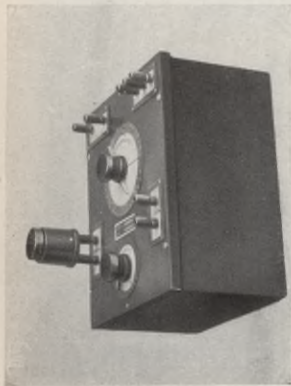
Tafel VII. Hochfrequenzmaschine, mit herausgezogenem Rotor, System Goldschmidt.



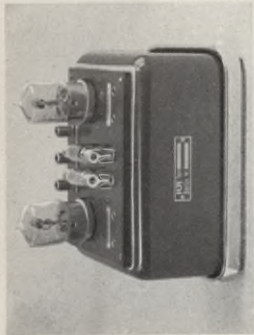
Tafel VIII. Pulsengenerator der C. Lorenz A. G. in Berlin-Tempelhof.



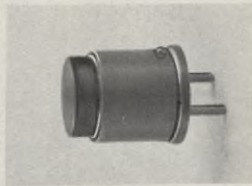
Tafel IX. Schalttafel mit eingebautem Poulsgenerator der C. Lorenz A. G. in Berlin-Tempelhof.



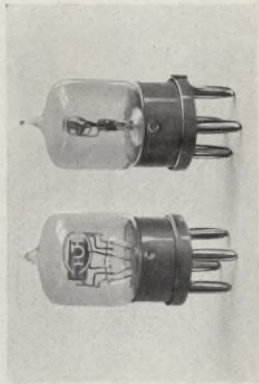
Tafel X a. Kristalldetektorempfänger.



Tafel X b. Zweifach-Niederfrequenz-Verstärker.



Tafel X c. Kristalldetektor.

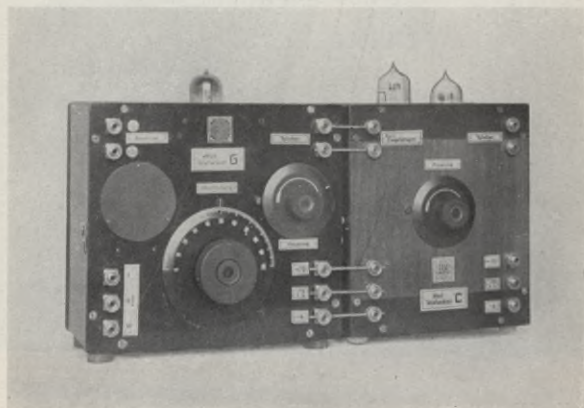


Tafel X d. Verstärkerröhren.

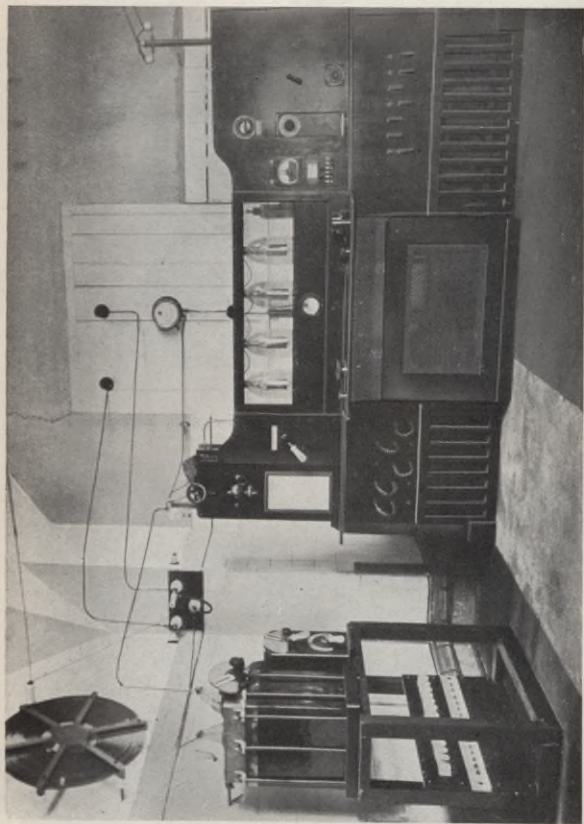
Tafel X. Apparate der Dr. Erich Huth G. m. b. H., Berlin.



Tafel XI a. Audion-Empfänger von Telefunken, Berlin.

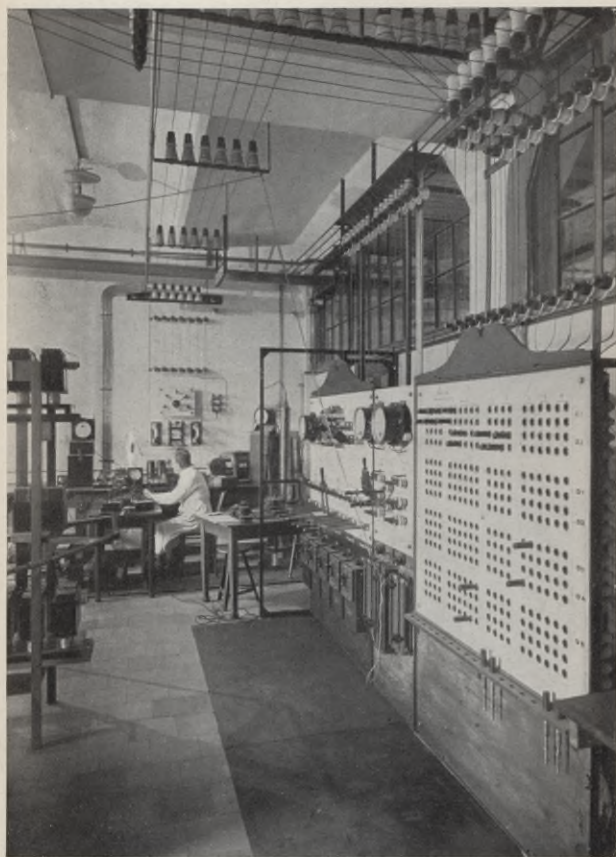


Tafel XI b. Empfänger Telefunken G (links) mit Lautverstärker C (rechts) von Telefunken, Berlin.

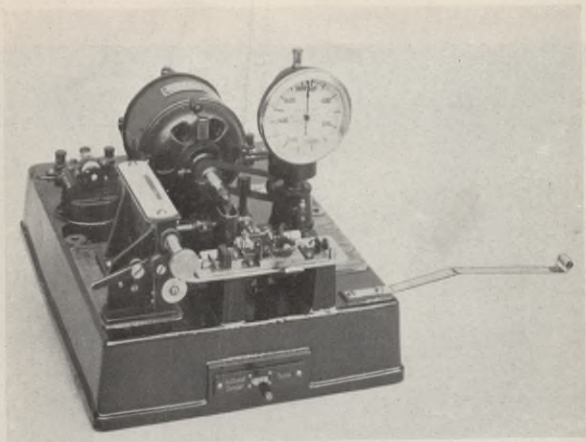


Tafel XII. 5-KW-Röhrensender in Königswusterhausen. Telefunken.

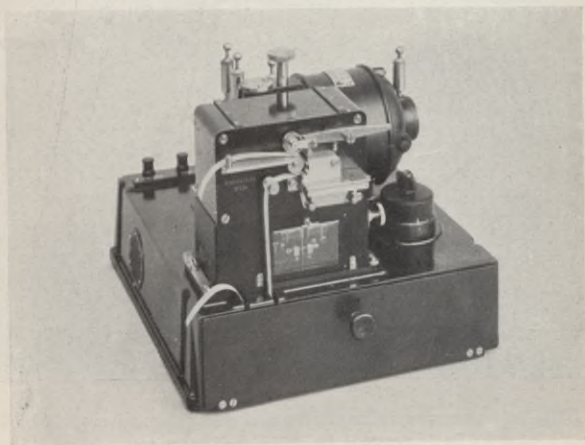




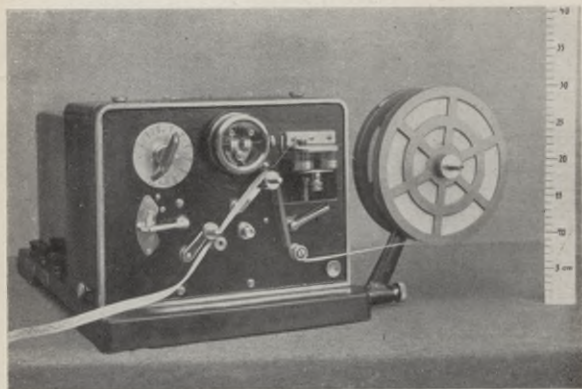
Tafel XIII. Hochspannungsverteilung für das Senderöhrenlaboratorium von Telefunken.  
Im Hintergrund der 5000-Volt-Röhrensender.



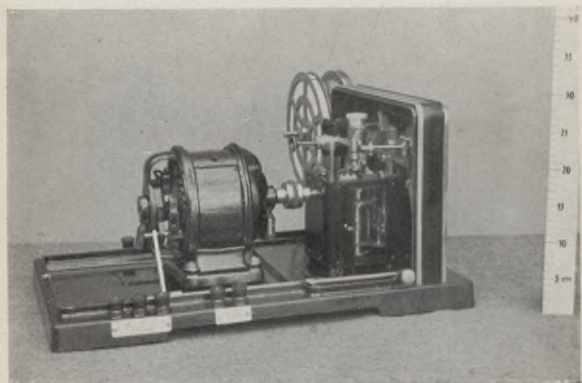
Tafel XIV a. Wheatstone-Sender von Siemens & Halske, Berlin.



Tafel XIV b. Wheatstone-Empfänger von Siemens & Halske, Berlin.



Tafel XV a. Johnsen-Rahbeck-Schnellschreiber (Vorderansicht)  
der Dr. Erich Huth G. m. b. H., Berlin.



Tafel XV b. Johnsen-Rahbeck-Schnellschreiber (Seitenansicht)  
der Dr. Erich Huth G. m. b. H., Berlin.



Tafel XVI. Telefunken-Rundfunk-Empfänger mit Niederfrequenz-Verstärker.  
(Luxusausführung.)

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

# Radio-Apparate

für den deutschen  
Rundfunk

und Einzelteile  
für Export

Eigene Fabrik —  
Eigenes physi-  
kalisches-techni-  
sches Labo-  
ratorium



Zur Herstellung  
von Rundfunk-  
gerät in ganz  
Deutschland  
zugelassen

\*

\*

## GLEITWIDERSTÄNDE

Mehrere D. R. P. und D. R. G. M.

Berechtigte Benutzung der Telefunken-Schutzrechte

**WATT** Elektrizitäts-  
Aktiengesellschaft **Dresden-N. 6**

Drahtanschrift: Wattaktien Dresden / Fernspr. 10589, 19644, 17100

A. B. C. Code 5th Ed., Rud. Mosse-Code

---

---

# W. A. BIRGFELDA.-G.

Telephon- und Telegraphenbau

## BERLIN W 8, UNTER DEN LINDEN 17/18

Fernruf: Zentrum 772/3362/3364/3366/3986, Moritzplatz 8785

Telegramm-Adresse: „Mikrofarad“-Berlin

---

---

### Sie empfangen mit unserem Apparat einwandfrei England

**Spezial-  
für Radio-Apparate**

Dr. Nesper-Hörer



Eingetr. Schutzmarke

**Fabrik  
und Zubehörteile**

Dr. Nesper-Antennen-  
Drehkondensator ersetzt  
jede Hochantenne

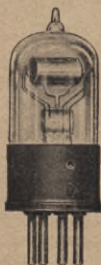
---

---

Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in  
Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten

\*

**KTD**



# **Röhren**

**Komplette Apparate  
Sämtliche Einzelteile**

\*

**Süddeutsche Telefon-Apparate-,  
Kabel- und Drahtwerke A.-G.  
Nürnberg**

vorm. Felten & Guillaume, Carlswerk A.-G.

Zweigniederlassung Nürnberg

Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten

# **Rundfunk Geräte**

EMPFANGS-APPARATE  
HOCH- UND NIEDER-  
FREQUENZVERSTÄRKER  
ANODENBATTERIEN  
ANTENNEN-ANLAGEN  
LAUTSPRECHER

BAUERLAUBNIS NACH  
TELEFUNKEN-PATENTEN



Druckschrift auf Wunsch

**SIEMENS & HALSKE A.-G.**

Wernerwerk, Siemensstadt bei Berlin

Technische Büros in allen größeren Städten

Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten

# Meirowsky & Co., A.-G.

## Porz am Rhein

*Emailedraht* mit und ohne Umspinnung, in allen Stärken

*Mikanit „B“*, lackreiches Glimmerfabrikat für allgemeine Isolation

*Pertinax*, Hartpapier-Isolationen in Platten, Röhren, Stäben und Formstücken

*Excelsior-Isolierstoffe* in Bündern aus Papier Seide, Leinen und

*Excelsior-Isolierschläuche* in Baumwolle und Seide

*Excelsior-Isolierlacke*, Verbundmasse

Weitere Bände von Professor **J. Herrmann** in der  
**SAMMLUNG GÖSCHEN:**

**Elektrotechnik.** Einführung in die Starkstromtechnik.

I: Die physikalisch. Grundlagen. Mit 87 Fig. und 16 Taf. Nr. 196.

II: Die Gleichstromtechnik. Mit 121 Figuren und 16 Tafeln. Nr. 197.

III: Die Wechselstromtechnik. Mit 153 Fig. und 16 Taf. Nr. 198.

IV: Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie. Mit 103 Figuren und 16 Tafeln. Nr. 657.

**Die elektrischen Meßinstrumente.** Mit 143 Fig. Nr. 477.

**Die elektrische Meßtechnik. I:** Die elektrischen Meßmethoden im Allgemeinen. Mit 85 Figuren. Nr. 888.

Eine Zusammenstellung der Bände über Elektrotechnik in der Sammlung Göschchen befindet sich in dem vollständigen Verzeichnis, das in den Buchhandlungen umsonst abgegeben wird.

**WALTER DE GRUYTER & CO.**

Berlin W 10, Genthinerstraße Nr. 38 — Leipzig, Marienstraße Nr. 18

Einrichtung und Betrieb drahtloser Send- und Empfangseinrichtungen ist in Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten





**Hartmann & Braun**  
A-G  
Frankfurt a.M. R 16



# Elektrische Meßgeräte für Rundfunk-Einrichtungen



**Kleine Weicheisen- u. Drehspul-Meßgeräte**  
für Anoden-Heizkathoden- u. Gitter-Spannungs-Messungen

**Hitzdraht- und Hitzband-Meßgeräte**

**Zungenfrequenzmesser**

**Normal-Induktionen und Kapazitäten**

**Induktions- u. Kapazitäts-  
Meßbrücken**

Man verlange Preisblatt K 33/54



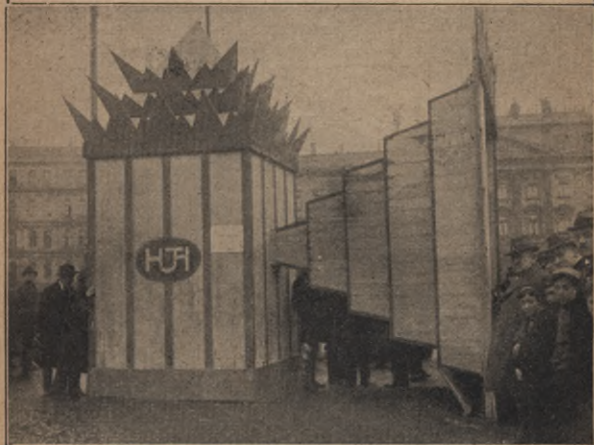
Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in  
Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten



**Dr. Erich F. Huth G.m.b.H.**

Gesellschaft für Funkentelegraphie

Wilhelmstr. 130/132 **Berlin SW 48** Gegründet 1906



Motorlautsprecher nach dem System HUTH-Johnsen-Rahbek  
auf der Leipziger Messe

## **Sämtliche Geräte für den deutschen Rundfunk**

Sämtliches Zubehör. Sämtliche Einzelteile zum Selbstbau

Drahtlose Telegraphie und Telephonie  
für Land-, See- und Luftverkehr

Apparate nach dem System Huth-Johnsen-Rahbek  
Schnellschreiber, Lautsprecher usw.

Telephonie von und zu fahrenden Eisenbahnzügen

Drahtwellen-Telegraphie und Telephonie

Drucksachen und Angebote auf Anfrage

Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in  
Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten

SEIBT

**RUNDFUNK  
EMPFANGS-APPARATE**

entsprechend den Vorschriften des Telegraphen-  
technischen Reichsamtes  
in verschiedensten Ausführungen

EXPERIMENTIER-EMPFÄNGER  
VERSTÄRKER

**TRICHTERLOSE LAUTSPRECHER**

Hervorragende Klangreinheit und Lautstärke  
D. R. P. und Auslandspatente angemeldet

TRICHTER-LAUTSPRECHER

DOPPELKOPF-FERNHÖRER

mit verbesserter Lautstärke D. R. P. 301 391, 342 138

EINZELTEILE

Eigene Patente und Telefunken-Bauerlaubnis

**DR. GEORG SEIBT**

Fabrik elektrischer und mechanischer Apparate  
BERLIN-SCHÖNEBERG, HAUPT-STRASSE 9

Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in  
Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten

**VARTA**  
ACCUMULATOR

bevorzugte Marke für  
**HEIZ- UND ANODEN-  
BATTERIEN**



**ACCUMULATOREN-FABRIK-  
AKTIENGESELLSCHAFT**  
ABTEILUNG „VARTA“

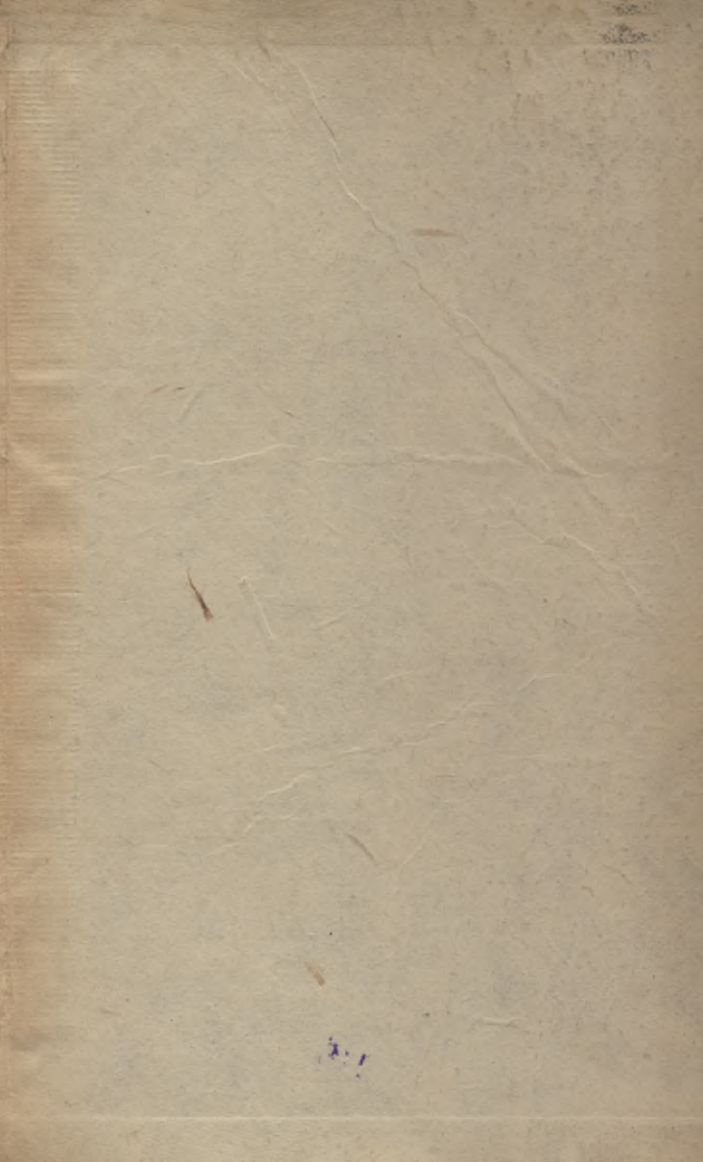
ZENTRALBÜRO: BERLIN SW 11, ASKANISCHER PLATZ 3

FABRIKEN: HAGEN IN WESTFALEN UND  
BERLIN-OBERSCHÖNEWEIDE

Einrichtung und Betrieb drahtloser Sende- und Empfangseinrichtungen ist in  
Deutschland ohne Genehmigung der Reichstelegraphenverwaltung verboten



96-5



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301450



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295844