

# Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung [Schluss]

Autor(en): **Hamerak, Kurt**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **45 (1972)**

Heft 12

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-562686>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

üben kann. Das wird man im Westen nicht wahrhaben wollen. Aber das ändert nichts an der Tatsache, dass jede neue Verschlechterung des Kräfteverhältnisses politische und militärische Risiken für den schwächeren Partner in sich schliesst.

#### Konsequenzen für die Schweiz

Auch ich bin der Meinung, dass wir einer Einladung zu einer Sicherheitskonferenz werden Folge leisten müssen. Es ist nicht meine Sache zu prüfen, welche Vorschläge wir auf anderen als militärischen Gebieten (Schlichtung von Konflikten, intensiverer Reiseverkehr und freierer Gedankenaustausch) machen können. Aber wenn wir an der Konferenz teilnehmen, so sollten wir – im militärischen Bereich – folgendes bedenken:

1. Die Rüstung der Neutralen (also auch der Schweiz) ist im strategischen Kräftespiel ein Faktor der Stabilität. Abrüstung der Neutralen würde ein Vakuum schaffen, in das sofort fremde Macht einströmen würde. Der Verzicht auf unsere Landesverteidigung oder deren Schwächung würde uns der Gefahr aussetzen, zum Kriegsschauplatz in einem Konflikt fremder Mächte zu werden (neuere Beispiele: Laos und Kambodscha). Im Interesse der europäischen Sicherheit sollten die Neutralen als Letzte abrüsten!

Wir müssen uns hüten, angesichts der auch bei uns herrschenden euphorischen Stimmung irgendwelche militärische Vorleistungen zu erbringen.

2. Das Wesen unserer Neutralität besteht nicht nur darin, dass wir uns nicht an einem Kriege fremder Mächte beteiligen. Wir müssen vielmehr – im Rahmen des Zumutbaren – unser Gebiet und

den darüber gelegenen Luftraum vor dem Eindringen einer kriegführenden Partei zu schützen suchen. Neutralität ist nur als wehrhafte Neutralität sinnvoll.

3. Wir befinden uns heute schon hinsichtlich materieller Ausrüstung und Können von Führung und Truppe an der untersten, noch gerade zu verantwortenden Grenze. Wir haben nach keiner Richtung hin Manövrierefreiheit. Abstriche an der Bewaffnung und Ausrüstung wären verhängnisvoll. Noch schlimmer wäre eine Kürzung der ohnehin schon zu knapp bemessenen Ausbildungszeiten. Aber auch eine zahlenmässige Schwächung der Armee kann meines Erachtens nicht in Frage kommen. Sie hätte nur dann einen Sinn, wenn sie durch eine entsprechende Steigerung der Qualität kompensiert werden könnte. Dem stehen jedoch finanzielle Hindernisse im Wege. Dazu kommt, dass ein technisch hochgezüchtetes Instrument von Miliztruppen nicht mehr beherrscht werden könnte und dass uns die Übungsplätze fehlen, die für die Vorbereitung eines offensiven Bewegungskrieges unerlässlich wären. Auch eignet sich unser Land schlecht für einen solchen (Geländegestaltung, zunehmende Überbauung, begrenzter Raum). Bestandesreduktion ohne gleichzeitige erhebliche Steigerung der Angriffskraft würde lediglich eine Schwächung unserer Landesverteidigung bewirken.

Wir dürfen uns auf keinen Fall zu Zugeständnissen auf militärischem Gebiet verleiten lassen. Angesichts der zu erwartenden Druckversuche derer, die um jeden Preis eine Entspannung fordern und bereit sind, eine Schwächung unserer Abwehr in Kauf zu nehmen, ist eine frühzeitige, sachliche Aufklärung unseres Volkes über die wirkliche Problematik der heutigen Lage dringend geboten.

A. Ernst

## Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung

Von Dipl.-Ing. Kurt Hamerak

### Elektrische Schwingungen

In den Jahren 1875–1895 entdeckte B. W. Feddersen (1836 bis 1918) bei der Beobachtung der Funkenentladungen von Leidener Flaschen – wie man damals noch wegen ihrer eigentümlichen Form die elektrischen Kondensatoren nannte –, dass diese in Gestalt rascher elektrischer Schwingungen erfolgen. Zum Bestimmen der Schwingungsdauer benutzte er einen rotierenden Spiegel, der es ihm gestattete, auf einer Projektionswand ein zeitlich und räumlich gedehntes Bild der Funkenentladung zu entwerfen. Aus der Drehzahl des Spiegels und dem Abstand der einzelnen Bilder errechnete Feddersen eine Schwingungsdauer von max.  $10^{-6}$  sec.

Damit war der Nachweis erbracht, dass die Ladungen eines Kondensators sich nicht einfach dadurch ausgleichen, dass sie von der einen Elektrode zur andern hinüberwandern, sondern indem sie im Stromkreis hin und her schwingen. Um das zu verstehen, müssen wir lediglich berücksichtigen, dass nach unseren bisherigen Betrachtungen jede Ladungsbewegung ein magnetisches Feld hervorruft. Bei der Entladung eines Kondensators wird die ursprünglich im elektrischen Feld gespeicherte potentielle Energie zum grossen Teil in die kinetische Energie des magnetischen Feldes umgewandelt. Wenn die potentielle elektrische Feldenergie vollständig verschwunden, der Kondensator also entladen ist, beginnt der 2. Teil des Vorganges. Das magnetische Feld ist nämlich nicht beständig, sondern bricht allmählich zusammen, wobei sich sein Energieinhalt grösstenteils in elektrische Energie zurückverwandelt. Das aber bedeutet doch, dass der Kondensator erneut geladen wird, diesmal jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen. Nachdem die Energie des

magnetischen Feldes vollkommen aufgezehrt ist, beginnt wieder die Entladung des Kondensators usw. Mit der Zeit geht allerdings bei diesem ununterbrochenen Hin- und Herpendeln der Feldenergie immer mehr davon in den Zuleitungswiderständen verloren, genauer gesagt, wandelt sich die elektromagnetische Energie in nutzlose Wärme um, bis schliesslich nach sehr langer (theoretisch unendlich langer) Zeit im System weder elektrische noch magnetische Energie nachweisbar ist. Man bezeichnet solche Schwingungen, die allmählich abklingen, als gedämpfte Schwingungen.

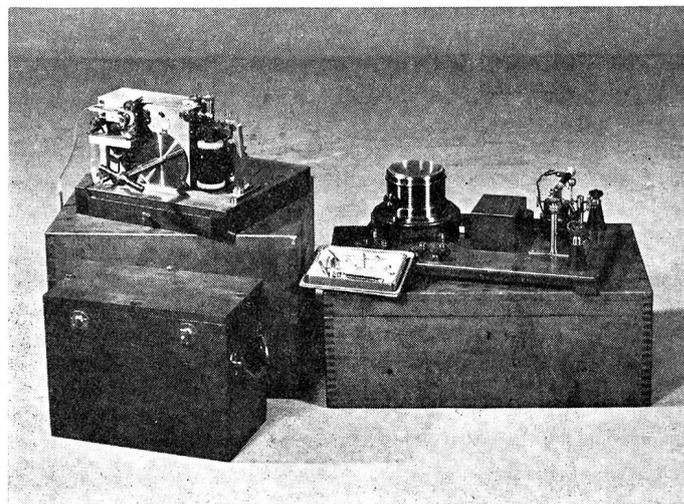


Fig. 19 Sender für drahtlose Telegraphie. Dieser Apparat wurde mit einem Empfänger von der Regierung von Transvaal für Versuchszwecke bei Siemens & Halske bestellt. Die Lieferung erfolgte im Jahre 1899.

Der elektrische Schwingungsvorgang hat grosse Ähnlichkeit mit dem eines Pendels oder einer Masse, die an einer Schraubenfeder aufgehängt ist. Auch hier wandelt sich in Form von gedämpften Schwingungen die ursprüngliche potentielle Energie in kinetische um und umgekehrt. Wir hatten bereits weiter oben die Kapazität  $C$  als ein Mass für die Speicherefähigkeit eines elektrischen Kondensators kennengelernt. In entsprechender Weise stellt nun die sogenannte Induktivität  $L$  in  $Vs/A = \text{Henry (H)}$  ein Mass für die magnetische Speicherefähigkeit einer Leiteranordnung, zum Beispiel einer Spule, dar. Man erhält die Induktivität  $L$ , wenn man den magnetischen Fluss  $\Phi$ , multipliziert mit der Windungszahl  $N$ , durch den ihn erregenden elektrischen Strom  $I$  teilt.

Es gilt also die Beziehung

$$N \cdot \Phi = L \cdot I. \quad (21)$$

Ohne auf Einzelheiten hier näher einzugehen, sei verraten, dass man die Schwingungsdauer  $T$  in sec seiner elektrischen Schwingung aus der einfachen Beziehung

$$T = 2\pi \sqrt{L \cdot C} \quad (22)$$

berechnen kann.

Eine Schaltungsanordnung, bei welcher das elektrische Feld durch einen Kondensator und das magnetische Feld durch eine Spule technisch verwirklicht werden, bezeichnet man als Schwingkreis. Da hierbei die elektrischen und magnetischen Felder räumlich stark konzentriert sind, kommt es bei einem solchen Schwingkreis nur in vernachlässigbar geringem Masse zur Abstrahlung von elektromagnetischen Wellen in den Raum. Schwingkreise mit konzentrierten Bauelementen werden daher in der Elektronik nur für die Erzeugung von elektrischen Schwingungen verwendet, für die Wellenausbreitung hingegen bedient man sich etwas anderer Anordnungen. Eine solche ist zum Beispiel die Zweidrahtleitung. Sie ist gleichzeitig Schwingkreis und Mittel zur Wellenausbreitung.

### Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen auf Leitungen

Für unsere weiteren Betrachtungen stellen wir uns vor, wir hätten eine aus 2 mehrere m langen, im Abstand von ca. 5 cm parallel zueinander ausgespannten unisolierten Drähten bestehende Leitung. Diese Leitung koppeln wir so mit einem Generator für hochfrequente Schwingungen, einem Oszillator, dass dessen Schwingungen auf den Anfang der Leitung übertragen werden. Wir wollen nun die Spannungsverteilung längs dieser Leitung untersuchen und benutzen dazu eine kleine Neon-Glimmröhre, wie sie häufig von Kraftfahrzeug-Elektrikern zum Prüfen von Zündkerzen verwendet wird. Wir bewegen die Glimmröhre so längs der Leitung auf und ab, dass ihre Anschlüsse die beiden Leitungsdrähte berühren.

Die Untersuchung zeigt, dass das Neonröhrchen nur an ganz bestimmten Stellen der Leitung aufleuchtet. Diese Stellen grösster Helligkeit und damit max. Spannung haben alle gleiche Abstände voneinander. Genau in der Mitte zwischen 2 solchen Stellen leuchtet die Glimmlampe überhaupt nicht und zeigt, dass dort die Spannung jeweils den Wert Null besitzt. In ähnlicher Weise untersuchen wir nun auch die Stromverteilung. Dazu verwenden wir

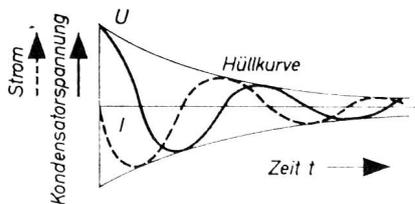


Fig. 20 Zeitlicher Verlauf der Kondensatorspannung und des zugehörigen Stromes eines Schwingkreises, dessen Kondensator ursprünglich (zur Zeit  $t = 0$ ) auf die Spannung  $U$  aufgeladen wurde. Beide Wechselgrössen verlaufen in Form von gedämpften Schwingungen, deren Hüllkurve eine Exponentialfunktion ( $e$ -Funktion) ist.

jedoch ein Glühlämpchen. Wir finden, dass auch das Glühlämpchen nur an ganz bestimmten Stellen hell aufleuchtet, und auch diese Stellen sind jeweils gleich weit voneinander entfernt. Eine nähere Untersuchung zeigt, dass an den Stellen grösster Spannung gerade der Strom verschwindet und umgekehrt. Das Ergebnis der Strom-Spannungsverteilung ist in den Figuren 21 und 22 festgehalten.

Die ermittelten Untersuchungsergebnisse werden uns sofort verständlich, wenn wir an die aus Mechanik und Akustik bekannten stehenden Wellen denken, die immer dann zustande kommen, wenn eine Welle in sich selbst reflektiert wird. Im Falle unseres Leitungssystems breiten sich die auf dessen Anfang übertragenen Spannungsschwankungen längs der beiden Drähte aus und werden am Leitungsende zurückgeworfen. Da das Leitungsende «offen» ist oder, wie man auch sagt, «leerläuft», muss an dieser Stelle der Strom und damit das magnetische Feld verschwinden. Dafür ist dort die ganze Wellenenergie im elektrischen Feld zwischen den Drähten gespeichert. Das Leitungsende ist infolgedessen durch einen Spannungsbauch und einen Stromknoten gekennzeichnet.

Würden wir nun das Ende unserer Versuchsleitung durch einen Leiter überbrücken und damit kurzschliessen, so würden sich auf der Leitung wieder stehende Wellen ausbreiten. In diesem Fall würden jedoch die Spannungsbauche und Stromknoten gerade ihre Rollen vertauscht haben. Am kurzgeschlossenen Ende muss nämlich zwangsläufig die Spannung verschwinden und dafür der Strom maximal sein.

Die hier beschriebenen Versuche mit parallelen Leiteranordnungen sind zuerst von E. Lecher (1856–1926) im Jahre 1889 durchgeführt

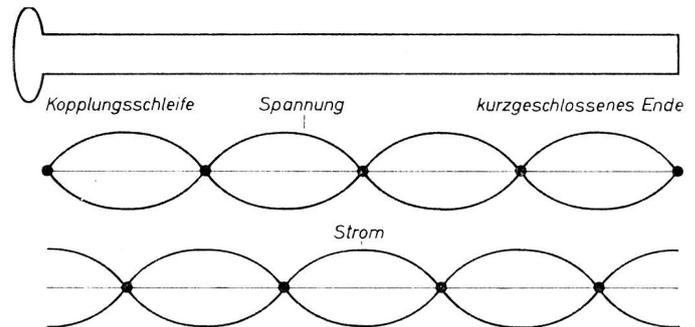


Fig. 21 Spannungs- und Stromverteilung auf einer Lecherleitung mit offenem (leerlaufendem) Ende. Das Ende ist durch einen Spannungsbauch und einen Stromknoten gekennzeichnet.

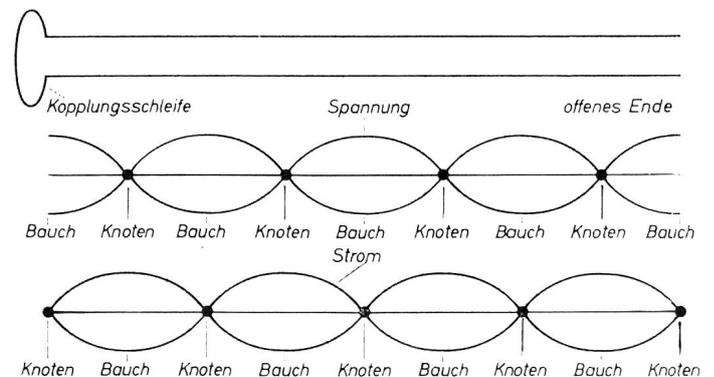


Fig. 22 Spannungs- und Stromverteilung auf einer Lecherleitung mit kurzgeschlossenem Ende. Das Ende ist durch einen Spannungsknoten und einen Strombauch gekennzeichnet. Lechersysteme werden heute vorwiegend zur Erzeugung von hochfrequenten elektromagnetischen Schwingungen mit Wellenlängen von gewöhnlich unterhalb 1 m bzw. Frequenzen oberhalb 300 MHz verwendet. Sie stellen Schwingkreise dar, deren räumliche Ausdehnung die Grössenordnung der erzeugten Wellenlänge besitzt.

worden. Man bezeichnet darum solche Leitungen auch als Lechersysteme.

Lecherleitungen können zum Beispiel dazu dienen, die Periodendauer hochfrequenter Schwingungen mit dem Zollstock zu ermitteln. Dazu braucht man nur den Abstand der aufeinanderfolgenden Spannungsknoten auszumessen. Er entspricht genau der halben Wellenlänge beziehungsweise der halben Schwingungsdauer, wobei zwischen der Schwingungsdauer  $T$  in sec und der Wellenlänge  $\lambda$  in cm die für alle elektromagnetischen Wellen gültige Beziehung

$$\frac{\lambda}{T} = c \quad (23)$$

besteht. Darin ist  $c$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum von  $3 \cdot 10^{10}$  cm/sec.

Taucht man das Lechersystem in ein anderes Medium ein, zum Beispiel in Isolieröl, so zeigt sich, dass bei gleicher Schwingungsdauer  $T$  die Wellenlänge  $\lambda$  eine andere geworden ist, weil sich auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen verändert hat. Hieraus kann nun aber gefolgert werden, dass die Ausbreitung der elektromagnetischen Feldenergie nicht etwa in den Drähten, sondern im Raum in der Umgebung der Drähte erfolgt. Die Drähte dienen in der Tat lediglich dazu, die Wellen zu führen und zusammenzuhalten, zu bündeln, wie man auch sagt. Diese wichtige Feststellung gilt übrigens ganz unabhängig von der Betriebsfrequenz  $f = 1/T$  in Hz, also zum Beispiel auch für die 50-Hz-Energieübertragung mittels Freileitungen. Auch hier dienen die Stahl-Aluminium-Seile nicht etwa zur Fortleitung der Energie, sondern lediglich als eine Art Schiene, auf der die Energie in Form von elektromagnetischen Wellen «entlangwandert».

### Elektromagnetische Wellen im Raum

Nachdem wir gesehen haben, dass elektrische Schwingungen sich längs einer Leitung wellenartig ausbreiten, erwarten wir, dass eine solche Ausbreitung auch im freien Raum ohne jede Leitung erfolgt. Es ist nun das Verdienst von H. Hertz (1857 bis 1894), diese Raumwellen im Jahre 1886 zum erstenmal experimentell nachgewiesen und untersucht zu haben. Die Hauptschwierigkeit bestand wohl darin, hinreichend kurze Wellen zu erzeugen, denn wenn man stehende Wellen im Laboratorium nachweisen will, dann darf ihre Wellenlänge nicht viel grösser als 5 cm sein. Um solche Wellenlängen zu erzielen, musste Hertz versuchen, die Kapazität und die Induktivität seines Schwingkreises möglichst klein zu halten. Er wählte deshalb eine Anordnung nach Figur 24. Die Kapazität wird hier durch die beiden Kugeln  $K$ , die Induktivität durch die Verbindungsdrähte zu der Funkenstrecke  $F$  gebildet. Er speiste diese Anordnung, den sogenannten Hertzschen Oszillator, durch einen Funkeninduktor.

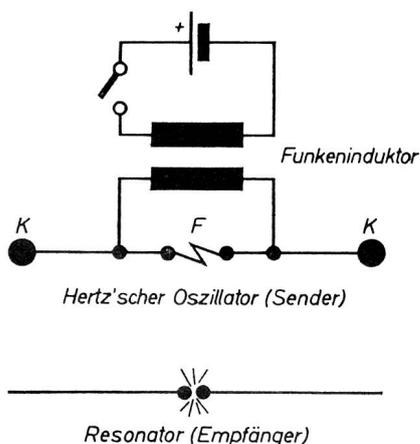


Fig. 24 Mit dieser an und für sich recht primitiven Anordnung, bestehend aus einem Funkenstrecken-Sender und einem Funkenstrecken-Empfänger, hat H. Hertz im Jahre 1886 die von J. Cl. Maxwell vorausgesagten und in ihren charakteristischen Eigenschaften bereits vorausberechneten elektromagnetischen Wellen experimentell nachgewiesen.

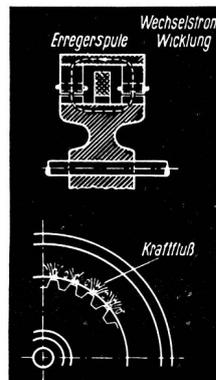
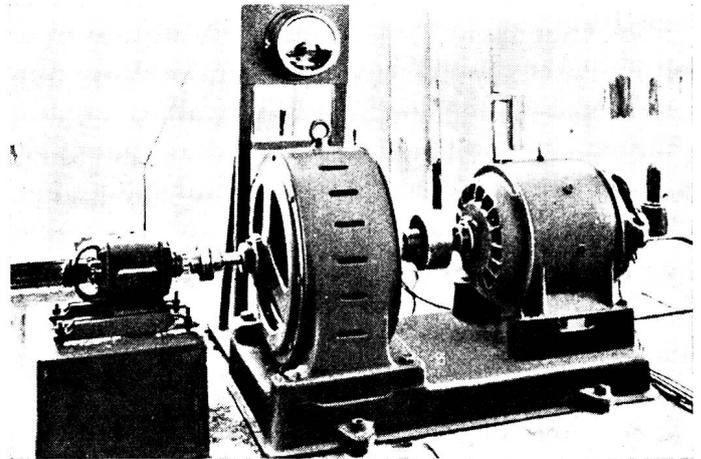


Fig. 23 Hochfrequenzgenerator nach Goldschmidt für die Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen.

Er speiste diese Anordnung, den sogenannten Hertzschen Oszillator, durch einen Funkeninduktor.

Im Abstand von wenigen Metern von seinem Oszillator errichtete Hertz eine Metallwand und untersuchte sodann den Raum zwischen seinem Sender und der Wand auf das Vorhandensein stehender Wellen. Zum Nachweis der Wellen bediente er sich eines Resonators, der aus einer Drahtschleife mit einer fein einstellbaren Funkenstrecke bestand. Jedesmal, wenn sich der Sender mit dem Empfänger in Resonanz befand, konnte er an manchen Stellen des verdunkelten Raumes mit der Lupe das Überspringen winziger Fünkchen am Resonator beobachten. Er fand in der Tat den Raum zwischen seinem Sender und der Wand in regelmässigen Abständen mit Knoten und Bäuchen elektromagnetischer Schwingungen durchsetzt.

Seine zahlreichen Versuchsergebnisse zeigten, dass die elektromagnetischen Wellen den gleichen Gesetzen gehorchen wie die bereits vor längerer Zeit weitgehend erforschten Lichtwellen; sie weisen insbesondere die gleichen Interferenz-, Beugungs-, Reflexions- und sogar Polarisationserscheinungen auf wie diese.

So war denn schliesslich nach immerhin fast 25 Jahren die Maxwellsche Theorie durch Hertz experimentell untermauert worden. Die grundlegende Bedeutung seiner Versuchsergebnisse kennzeichnete Hertz mit folgenden Worten:

«Die Herrschaft der Optik beschränkt sich nun nicht mehr auf Ätherwellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Wellen, deren Länge nach Dezimetern, Metern, Kilometern rechnen. Und trotz dieser Vergrößerung erscheint sie uns von hier gesehen nur als ein kleines Anhängsel am Gebiet der Elektrizität aus tausend Orten, wo wir bisher von ihrem Vorhandensein keine sichere Kunde hatten. In jeder Flamme, in jedem leuchtenden Atom sehen wir einen elektronischen Prozess. Auch wenn ein Körper nicht leuchtet, solange er nur noch Wärme strahlt, ist er der Sitz elektrischer Erregungen. So ver-

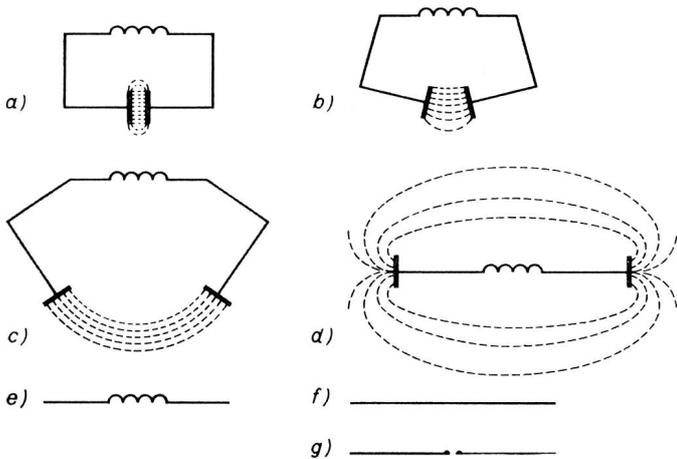


Fig. 25 An Hand dieses Bildes können wir uns recht anschaulich den allmählichen Übergang vom «geschlossenen» Schwingkreis a zum «offenen» Hertzischen Dipol d vorstellen. Vom ursprünglich aus einem Kondensator und einer Spule bestehenden Schwingkreis bleibt schliesslich nur noch ein einfacher langgestreckter Draht übrig, der aber wegen seiner gleichmässig verteilten Kapazitäten und Induktivitäten wie ein konzentrierter Schwingkreis ausgeprägte Resonanzstellen aufweist.

breitet sich das Gebiet der Elektrizität über die ganze Natur. Es rückt auch uns selbst näher, wir erfahren, dass wir in Wahrheit ein elektrisches Organ haben, das Auge.»

### Vom Schwingkreis zum Hertzischen Dipol

Um die beim Hertzischen Dipol beobachtete Abstrahlung von elektromagnetischen Raumwellen zu verstehen, gehen wir am besten vom bekannten Schwingkreis aus, der aus Kondensator und Spule besteht. Ist der Kondensator geladen, so müssen wir uns vorstellen, dass von seiner positiven Elektrode elektrische Feldlinien ausgehen und auf der gegenüberliegenden Elektrode einmünden. Entlädt sich der Kondensator über die Spule, so fliesst in dieser und in den Zuleitungen ein Leitungsstrom, der sich im Dielektrikum als Verschiebungsstrom fortsetzt.

Ein einfacher Gedankenversuch soll uns jetzt den Übergang vom geschlossenen Schwingkreis zum offenen Hertzischen Dipol veranschaulichen. Dazu biegen wir die Kondensatorplatten immer weiter

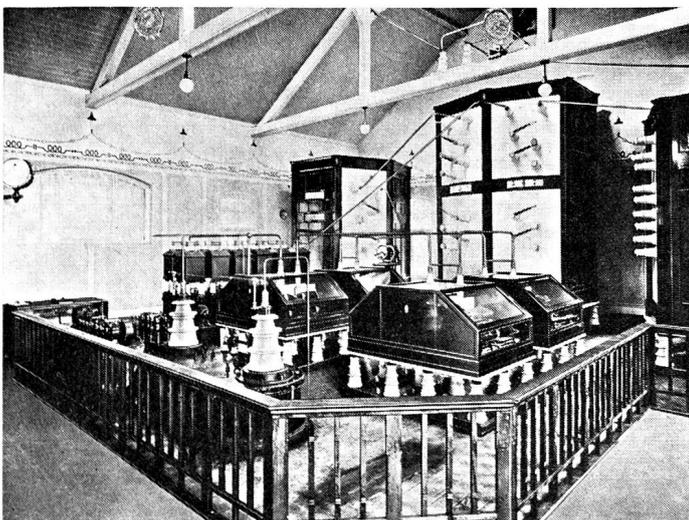


Fig. 26 Tönender Löschfunksender der Sendestation Nauen in den Jahren 1909–1911.

auseinander und erkennen dabei, dass die elektrischen Feldlinien immer weiter in den Raum hinaus verlaufen. Schliesslich können wir die Kondensatorplatten sogar ganz fortlassen, so dass der Schwingkreis nur noch aus einem langgestreckten Draht mit einer Spule in der Mitte besteht. Strecken wir jetzt auch noch die Spule, so bleibt in der Tat von unserem Schwingkreis nur noch ein einfacher langgestreckter Draht übrig. Denken wir uns nun noch diesen Draht in der Mitte aufgetrennt, so dass an dieser Stelle eine Funkenstrecke entsteht, so haben wir bereits einen Hertzischen Dipol (Fig. 25). Er ist, wie wir nunmehr ganz deutlich erkennen, nichts weiter als ein allerdings sehr weitgehend entarteter Schwingkreis, und man hat schon einige Mühe, in ihm überhaupt einen solchen zu erkennen. Im Dipol schwingen die Elektronen hin und her, wobei sich die Drahtenden abwechselnd positiv und negativ aufladen. An den Enden dieser beidseitig leerlaufenden Leitung entstehen, wie wir bereits von der Lecherleitung her wissen, immer Spannungsbäuche, während sich in der Mitte stets ein Spannungsknoten und dementsprechend ein Strombauch befindet.

Der Hertzische Dipol unterscheidet sich von einem geschlossenen Schwingkreis lediglich dadurch, dass er anstelle von räumlich konzentrierten Kapazitäten und Induktivitäten längs des Drahtes homogen verteilte Kapazitäts- und Induktivitätsbeläge besitzt. Er hat deshalb ebenso wie ein geschlossener Schwingkreis eine durch seine Länge genau bestimmte elektrische Resonanzwellenlänge, und zwar ist seine geometrische Länge gleich der halben elektrischen Wellenlänge.

Der Dipol verhält sich damit recht ähnlich wie eine schwingende Saite aus der Mechanik. Ebenso wie diese aber nicht nur in ihrer Grundschiwingung erregt werden kann, sondern auch in ihren höheren Harmonischen zu schwingen vermag, kann man auch einen Dipol so erregen, dass er in seinen höheren Harmonischen in Resonanz kommt. In Figur 27 sind die Stromspannungsverhältnisse längs des Dipols für die Erregung in der Grundschiwingung, in der 2. und 3. Harmonischen dargestellt. Wir erkennen, dass sich in jedem Fall längs des Dipols stehende elektrische Wellen ausbreiten und dass an den freien Enden des Drahtes grundsätzlich ein Spannungsbau auftritt. Wir können daher folgendes Ergebnis festhalten:

Bei einem in seiner Grundschiwingung oder in deren höheren Harmonischen schwingenden Dipol bildet der Leitungsstrom stehende Wellen mit Spannungsbäuchen an den Enden und einem Strombauch in der Mitte.

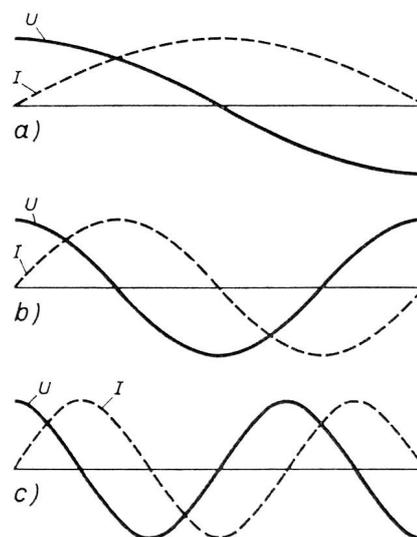


Fig. 27 Erregung eines Dipols a in seiner Grundschiwingung, b in der 2. Harmonischen und c in der 3. Harmonischen der Grundfrequenz. In dieser Beziehung verhält sich ein elektrischer Dipol recht ähnlich wie eine schwingende mechanische Saite.

Nachdem wir die Stromspannungsverhältnisse längs eines Dipols kennengelernt haben, wollen wir jetzt die Vorgänge untersuchen, die sich in der Umgebung eines solchen schwingenden Dipols abspielen. Dazu haben wir in Figur 29 einen Stromkreis aufgezeichnet, der an einer Stelle eine Funkenstrecke enthält. Bevor diese Funkenstrecke durchgeschlagen ist, spannen sich elektrische Feldlinien von dem positiven Drahtende zum negativen. Auf der Oberfläche des oberen Drahtes befinden sich positive, auf der des unteren Drahtes negative Ladungen.

Wir wollen nun verfolgen, wie sich das Feldbild ändert, wenn die Funkenstrecke zündet und damit elektrisch leitend wird. In Figur 29b ist gezeigt, wie unmittelbar nach der Funkenentladung die zuvor durch die isolierende Funkenstrecke getrennten Ladungen sich infolge der elektrischen Feldkräfte auszugleichen suchen. Dieser Ausgleich wirkt wie ein Strom, der von oben nach unten fließt. Dieser Strom baut das elektrische Feld ab, und in dem Masse, wie dieses verschwindet, entsteht ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien den Strom kreisförmig umschlingen. Das Entstehen des magnetischen Feldes hat wiederum ein elektrisches Feld zur Folge mit Feldlinien, die senkrecht auf den magnetischen Feldlinien stehen. Aus den Richtungsregeln ergibt sich, dass die induzierte elektrische Feldstärke so gerichtet ist, dass sie dem Strom entgegenwirkt. Mit anderen Worten, das magnetische Feld versucht stets, das Anwachsen des Leitungsstromes und damit den Abbau des ursprünglichen elektrischen Feldes zu verhindern.

Je rascher der Leitungsstrom anwächst, desto schneller nimmt auch das magnetische Feld zu, desto grösser wird aber auch die den Strom hemmende induzierte elektrische Feldstärke. Es stellt sich daher ein gewisser Gleichgewichtszustand zwischen der Feldstärke des ursprünglichen elektrischen Feldes und der durch das Anwachsen des magnetischen Feldes induzierten elektrischen Feldstärke in der Weise ein, dass der Abbau des elektrischen Feldes mit einer ganz bestimmten endlichen Geschwindigkeit vor sich geht.

So bestehen also in der näheren Umgebung des Dipols gleichzeitig ein elektrisches und ein magnetisches Feld, von denen jeweils das eine zunimmt, während das andere abnimmt. Es vollzieht sich hier also offenbar eine ganz ähnliche periodische Umwandlung von der einen in die andere Feldform, wie wir sie bereits vom geschlossenen Schwingkreis her kennen.

Wenn wir nun die Verhältnisse in der weiteren Umgebung des Dipols untersuchen, so stellen wir die bemerkenswerte Tatsache fest, dass die elektrischen Feldlinien sich bei einem mit genügend hoher Frequenz schwingenden Dipol vom Leiter ablösen. Wir erläutern diesen Vorgang der Abstrahlung am besten an einigen Momentbildern. Die Figuren 29c und 29d stellen axiale Querschnitte dar; in Wirklichkeit handelt es sich hier um räumliche Gebilde, die durch Rotation der in einer Ebene gezeichneten Kurven um die Dipolachse entstehen.

In Figur 29a ist das elektrische Feld bei max. Aufladung der Dipolenden dargestellt. Die Zahl der elektrischen Feldlinien ist maximal. Nunmehr beginnen sich die Ladungen auszugleichen. Dabei nimmt die Zahl der Feldlinien ab. Gleichzeitig weiten sich diese aber auch räumlich aus. Ein Teil von ihnen schnürt sich ab und bleibt schliesslich als selbständiges Gebilde von ringförmiger Gestalt bestehen. Dieser Vorgang wiederholt sich noch einmal bei der entgegengesetzten Ladung des Dipols. Unterdessen wandern die zuvor entstandenen ringförmigen geschlossenen elektrischen Feldlinien in den Raum hinaus.

Die magnetischen Feldlinien umschlingen zunächst den Dipol; allmählich breiten sie sich aber radial aus und umschlingen nun nicht mehr den Dipol, sondern die in den Raum hinausfliehenden geschlossenen elektrischen Feldlinien. Da die elektrischen und magnetischen Felder Energie enthalten, wird diese gleichmässig nach allen Seiten vom schwingenden Dipol abgestrahlt.

Wir hatten weiter oben die elektromagnetischen Wellen der besseren Anschaulichkeit wegen mit Wasserwellen verglichen und dabei einige gemeinsame Eigenschaften entdeckt. Das darf uns aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass es sich hierbei jedoch im Grunde genommen um zwei ganz verschiedene physikalische Vor-

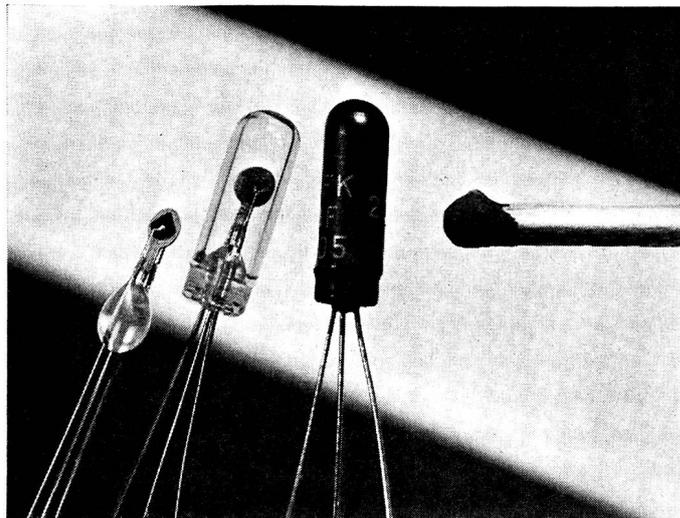


Fig. 28 Mit der Erfindung des Transistors im Jahre 1948 begann ein neues Zeitalter: die Ära der Halbleitertechnik, die heute in den integrierten Schaltungen einen Höhepunkt erreicht hat.

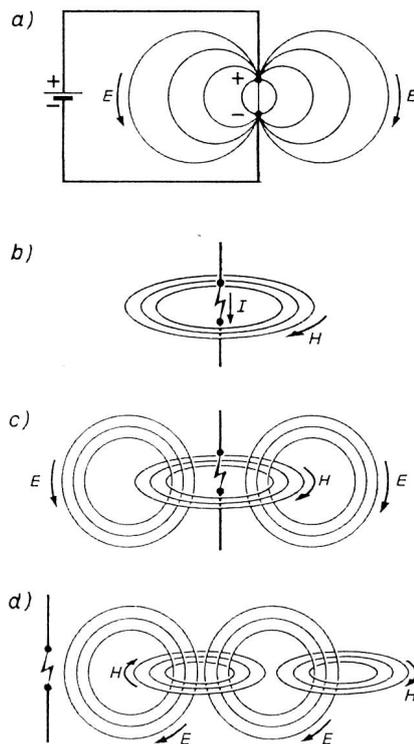


Fig. 29 An Hand von mehreren Momentbildern wird hier versucht, die Abstrahlung der elektromagnetischen Wellen von einem Hertzischen Dipol zu erklären. a die Funkenstrecke hat noch nicht gezündet, zwischen ihren Elektroden erstrecken sich elektrische Feldlinien. b die Funkenstrecke ist durchgeschlagen; das elektrische Feld wird abgebaut, und der dabei über die Funkenstrecke fließende Strom erregt gleichzeitig ein magnetisches Feld, dessen Feldlinien den Dipol kreisförmig umschlingen. c das magnetische Feld dehnt sich räumlich aus, wobei sich seine Felddichte zeitlich verändert; dieser Induktionsvorgang ist mit der Entstehung eines elektrischen Feldes verknüpft, welches die magnetischen Feldlinien umschlingt. d die elektrischen und magnetischen Felder gehen abwechselnd ineinander über, wobei sich die von dem Dipol abgestrahlte Energie in Gestalt elektromagnetischer Wellen in den Raum ausbreitet; die bevorzugte Abstrahlrichtung liegt dabei senkrecht zum Dipol.

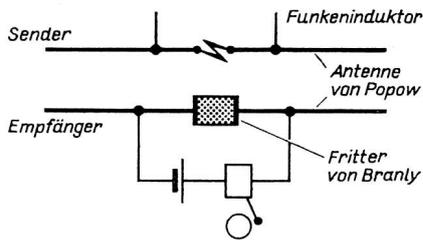


Fig. 30 Der italienische Ingenieur Marconi kombinierte in seinem Empfänger die Antenne des Russen Popow und den Fritter des Franzosen Branly. Beim Eintreffen der elektromagnetischen Wellen an seinem Empfänger ertönte jedesmal eine Klingel.

gänge handelt. Der wesentliche Unterschied besteht vor allem darin, dass es sich bei den Wasserwellen um die periodische Bewegung materieller Teilchen handelt, wohingegen die elektromagnetischen Wellen periodische, räumliche und zeitliche Veränderungen elektrischer und magnetischer Felder darstellen. Solche periodischen Feldänderungen sind aber auch ohne ein stoffliches Medium möglich.

Mit dieser Tatsache haben sich unsere Vorfahren, die im 17. und 18. Jahrhundert lebten, nur schwer oder, besser gesagt, überhaupt nicht abfinden können. Es erschien ihnen vollkommen unbegreiflich, dass sich das Licht – welches ja ebenfalls ein elektromagnetischer Wellenausbreitungsvorgang ist – so ganz ohne Trägersubstanz im leeren Raum ausbreiten sollte. Es war ausgerechnet das Licht, welches seinerzeit als einzige Naturerscheinung jeder noch so ausgeklügelten mechanischen Modellvorstellung beharrlich zu trotzen schien. Man hoffte schliesslich, dadurch einen Ausweg aus diesen schier unüberwindlichen Schwierigkeiten zu finden, indem man kurzerhand eine fiktive Trägersubstanz für Lichtwellen, den sogenannten Wellenäther, annahm. Erst als Maxwell den Nachweis erbrachte, dass das Licht ein elektromagnetischer Wellenvorgang ist, liess man endlich die unbefriedigende Hilfsvorstellung vom Wellenäther fallen. Wenn trotzdem auch heute bisweilen noch vom Äther als dem Träger elektrischer Eigenschaften gesprochen wird, so ist damit nichts anderes als einfach der leere Raum selbst gemeint, dem damit die leider gänzlich unanschauliche Fähigkeit zugeschrieben wird, an verschiedenen Stellen bestimmte physikalische Zustände anzunehmen.

### Die elektromagnetischen Wellen als Informationsträger

Der Forscher Hertz verfolgte bei der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen ausschliesslich streng wissenschaftliche Ziele. Er glaubte nicht an ihre praktische Verwendbarkeit, sondern begnügte sich damit, ihre physikalischen Eigenschaften zu ergründen. Es war ihm leider nicht mehr vergönnt, zumindest die allerersten Anfänge der drahtlosen Nachrichtenübertragung mitzuerleben, denn bereits mit 37 Jahren erlag er einer heimtückischen Krankheit.

Als im Jahre 1895 Prof. Righi an der Technischen Hochschule von Bologna seinen Hörern die Hertz'schen Versuche vorführte, befand sich unter ihnen auch der damals erst 21-jährige G. Marconi (1874–1937). Er war von dieser Vorführung beeindruckt und erkannte bereits von Anfang an die Möglichkeit, die elektromagnetischen Wellen zur Übertragung von Telegraphie-Signalen zu benutzen. Für seine ersten Versuche verwendete er auf der Senderseite zwar noch den Hertz'schen Oszillator, als Empfänger diente ihm aber schon eine dem Hertz'schen Resonator hinsichtlich Empfindlichkeit und praktischer Brauchbarkeit weit überlegene Anordnung. Sein Empfangssystem setzte sich nämlich aus der vom russischen Physiker A. S. Popow (1858–1906) kurz zuvor erfundenen Antenne und dem Fritter des Franzosen E. Branly (1846–1940) zusammen. Popow hatte 1894 damit begonnen, lange Metalldrähte mit Hilfe von aufsteigenden Ballonen auszuspannen, um damit heraufziehende Gewitter anzuzeigen. Der Fritter oder Kohärer, die Seele des Mar-

conischen Wellen-Detektors, bestand aus einer mit Metallfeilspänen gefüllten Glasröhre, in die 2 Elektroden hineinragten. Die sich nur lose berührenden Metallteilchen besitzen einen hohen elektrischen Übergangswiderstand von mehreren Mio Ohm. Branly hatte aber herausgefunden, dass elektromagnetische Wellen, welche auf die Metallspäne fallen, diese an ihren Kontaktstellen verschweissen, wodurch ihr Übergangswiderstand schlagartig auf wenige Ohm absinkt. Ein in den Stromkreis einer Spannungsquelle und einer elektrischen Klingel eingeschalteter Fritter lässt diese jedesmal beim Auftreffen elektromagnetischer Wellen ertönen. Um ihre ursprüngliche Empfangsbereitschaft wiederzuerlangen, müssen die Metallspäne des Fritters anschliessend immer durch eine leichte mechanische Erschütterung voneinander getrennt werden.

Man kann sich wohl vorstellen, dass mit einer derartigen Anhäufung von Wackelkontakten ein nicht eben zuverlässiger Empfang erzielt werden konnte. Dennoch gelang es Marconi, mit dieser Einrichtung Telegraphiesignale mehrere hundert Meter weit zu übertragen und am Empfangsort auch richtig zu lesen.

Am 2. 6. 1896 meldete er seine Erfindung zum Patent an und bot dieses der Regierung seines Landes an. Diese zeigte dafür jedoch kein Interesse.

Enttäuscht fuhr Marconi daraufhin nach England, wo er nach mehreren erfolglosen Vorführungen endlich die erforderliche finanzielle Unterstützung fand und zur Weiterführung seiner Versuche die Firma Wireless Telegraph and Signal Company gründete. Damit begann der Siegeszug der drahtlosen Telegraphie. Im Jahre 1898 wurde das Feuerschiff South Foreland mit einem drahtlosen Telegraphen ausgerüstet, mit dem der erste Seenotruf ausgesandt und die erste Rettungsaktion ermöglicht wurde. Ein Jahr darauf gelang bereits die Überwindung des Ärmelkanals und 1901 schliesslich die Verbindung der Insel Korsika mit dem Festland (ca. 150 km).

Ohne noch länger zu warten, holte Marconi nun zum grossen Schlag aus, nämlich zum Versuch einer drahtlosen Überbrückung des Atlantiks. Dazu errichtete er in Poldhu in Cornwall, England, eine Sendestation von 20 kW Leistung mit einer aus 50 Drähten bestehenden Antenne, die von 2 nahezu 50 m hohen Stahlmasten aus gespannt waren. Am 12. 12. 1901 wurden die von dieser ersten Großstation gesendeten Morsezeichen in Glace Bay in Neufundland empfangen. Damit war es zum erstenmal geglückt, eine Strecke von nicht weniger als 3540 km zu überbrücken.

Diesen Erfolg hatte Marconi jedoch nicht zuletzt dem vom deutschen Physiker F. Braun (1850–1918) entscheidend verbesserten Sender und Empfänger zu verdanken. Braun, der Erfinder der nach ihm benannten Kathodenstrahlröhre, hatte nämlich schon 1898 den aus 2 Koppelspulen bestehenden erweiterten Schwingkreis erfunden. Der Grundgedanke war hierbei der, die Schwingungen nicht unmittelbar in der Sendeantenne, sondern in einem geschlossenen Schwingkreis, bestehend aus Kondensator, Spule und Funkenstrecke, zu erzeugen und diesen induktiv an die Antenne anzukoppeln. Braun ersetzte auch den unzuverlässigen Kohärer durch den wesentlich zuverlässigeren Kristalldetektor. Dieser – eine Früh-

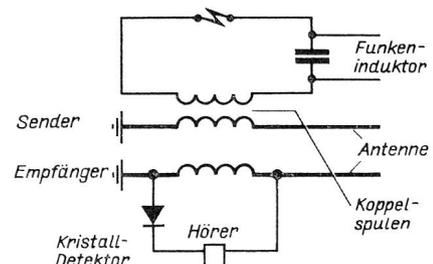


Fig. 31 Der deutsche Professor Braun erzeugte in seinem Sender die Schwingungen nicht mehr unmittelbar in der Antenne, sondern benutzte dazu einen geschlossenen Schwingkreis, welchen er induktiv mit der Antenne koppelte. Auf der Empfängerseite ersetzte er den unzuverlässigen Fritter durch einen Kristall-Detektor (heute würden wir dazu Halbleiter-Diode sagen). Er machte die empfangenen Telegraphiesignale bereits in einem Ohrhörer vernehmbar.

form der späteren Halbleiterdiode – war besonders geeignet, die elektromagnetischen Schwingungen in einem Kopfhörer vernehmbar zu machen, also von dem primitiven Klingelzeichen zum Hörempfang überzugehen und gleichzeitig die Empfindlichkeit des Empfängers heraufzusetzen.

Marconi erhielt zusammen mit Braun für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der Funktelegraphie im Jahre 1909 den Nobelpreis für Physik.

Aus jener Pionierzeit der Funktelegraphie wäre wohl noch der deutsche Professor A. Slaby (1849–1913) zu nennen. Zusammen mit dem Grafen von Arco unternahm er seit 1897 Versuche mit der drahtlosen Telegraphie in der Umgebung von Potsdam. Im Jahre 1889 gründeten Slaby und Arco eine «Funkentelegraphische Abteilung» bei der Firma AEG. Zwei Jahre später erfand Slaby bereits den abgestimmten Schwingkreis für den Empfänger.

Die Forschungsarbeiten von Hertz hatten seinerzeit die Gleichartigkeit der elektromagnetischen und der Lichtwellen aufgezeigt. Diese beiden Wellenarten unterscheiden sich lediglich formell, nämlich nur durch ihre Wellenlänge. Danach war es eigentlich ziemlich überraschend, dass es Marconi überhaupt gelang, eine Funkverbindung über eine Entfernung von ca. 3500 km zwischen England und Neufundland aufzubauen, denn zwischen den Endstellen dieser Funkbrücke bestand ja keine Sichtverbindung. Diese erstaunliche Tatsache wurde aber noch rätselhafter, als Marconi während einer Überfahrt nach Amerika im Jahre 1902 feststellte, dass die Wellenausbreitung bei Nacht eine andere war als bei Tag. Wir wissen heute, vor allem dank der Arbeiten von Sir Eduard Appleton und H. Barnett aus den Jahren 1924/25, dass diese eigentümlichen, überraschenden Ausbreitungsverhältnisse durch die Existenz der Ionosphäre bestimmt werden. Als Ionosphäre bezeichnet man jene bereits im Jahre 1900 von den Amerikanern Kenelly und Heaviside vermutete Schicht der Hochatmosphäre in ca. 50 bis 300 km Höhe, welche hauptsächlich durch die ultraviolette Strahlung der Sonne stark ionisiert ist und deshalb für elektromagnetische Wellen wie ein Spiegel wirkt. Die Ionosphärenforschung liefert heute wichtige Grundlagen für die gesamte Funktechnik, aber auch für die Wettervorhersage und die Sonnenforschung.

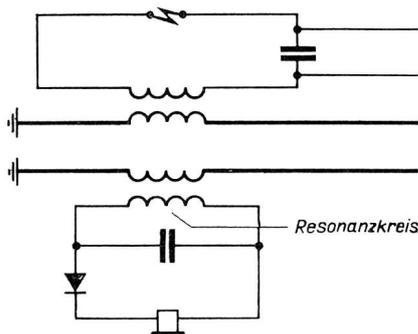


Fig. 32 Der deutsche Professor Slaby verbesserte den Empfänger noch durch einen Resonanzkreis, den er lose an die Empfangsantenne ankopplete.

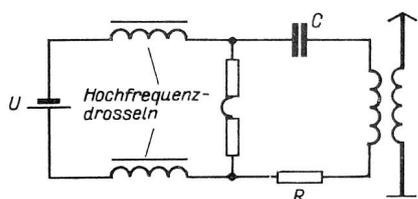


Fig. 33 Der dänische Ingenieur Poulsen erzeugte in seinem Sender ungedämpfte Schwingungen mit Hilfe eines Lichtbogens an Stelle einer Funkenstrecke.

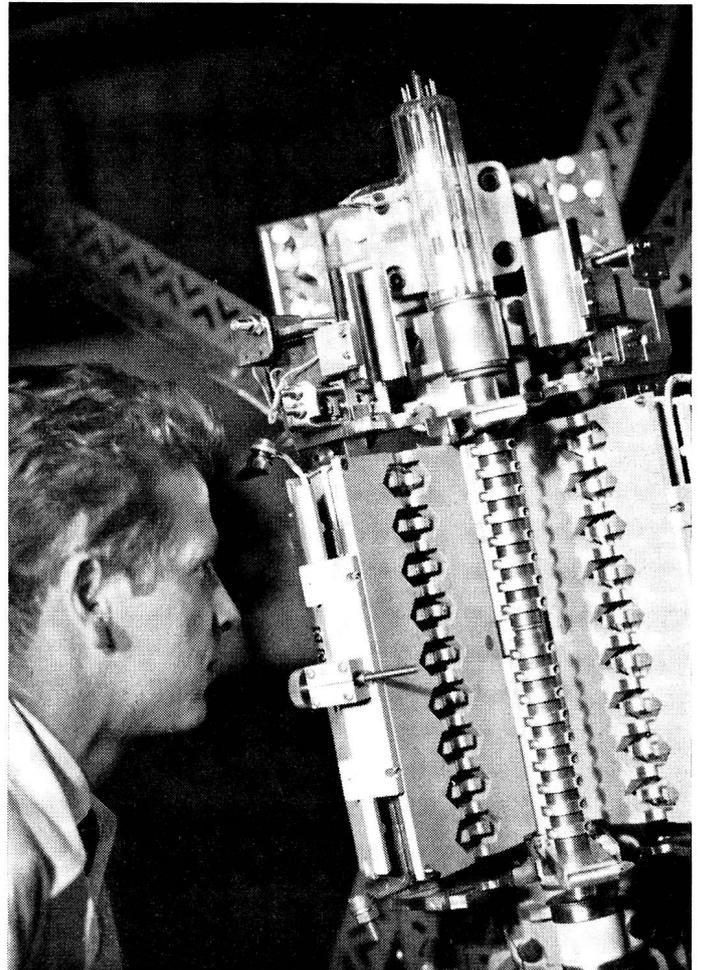


Fig. 34 Die Röhre ist immer noch nicht tot: Für sehr hohe Frequenzen, wie sie zum Beispiel bei der Nachrichtenübermittlung mittels Richtfunkstrecken verwendet werden, benötigt man eine Wanderteldröhre, deren Aufbau dieses Bild zeigt. (Photos: Siemens)

Im Jahre 1905 ersetzte M. Wien (1866–1938) die bisher verwendete einfache Funkenstrecke des Senders durch eine Reihenschaltung von mehreren kleinen Funkenstrecken. Diese sogenannte Löschfunkenstrecke hatte den Vorteil, dass die Entladungen zwischen kalten Elektroden erfolgten, so dass sich dadurch keine Ionisierungseffekte der Luft mit ihren erheblichen Energieverlusten ergaben. Die auf diese Weise erzeugten Schwingungen waren nahezu ungedämpft.

So verging kein einziges Jahr, in dem nicht eine neue Verbesserung hinzukam. Im Jahre 1902 stellte der dänische Ingenieur V. Poulsen einen Lichtbogensender her. Er nutzte dabei die Tatsache, dass im Gegensatz zu ohmschen Widerständen, bei denen mit zunehmender Spannung auch der Strom wächst, beim Lichtbogen die Stromzunahme mit einer Abnahme der Spannung einhergeht oder, wie man heutzutage sagen würde, dass der Lichtbogen einen negativen differentiellen Widerstand besitzt. Mit dem Lichtbogensender war es zum erstenmal möglich, echte ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen, wie sie später zur Übertragung von Sprachschwingungen benötigt wurden.

Aus jener Anfangszeit der Funktelegraphie ist noch der Aufbau der Versuchsstation Nauen (bei Berlin) im Jahre 1906 durch die Firma Telefunken zu erwähnen. Sie arbeitete mit einer Hochfrequenzleistung von 100 kW, die sie von ihren an 200 m hohen Gittermasten aufgehängten Antennen abstrahlte und damit den Funkverkehr zwischen Deutschland und Übersee aufrechterhielt. Im Jahre



# verstanden tre!

Sichere Verbindung – eine absolute  
Notwendigkeit für die rasche  
und klare Befehlsübermittlung an  
vorderster Front.

Das neue frequenzmodulierte Klein-  
funkgerät SE 125 arbeitet im 80-MHz-Band  
und hat acht Kanäle. Einfache,  
handliche Bedienung. Ein modern konzipiertes  
Kleinfunkgerät für den taktischen Einsatz  
auf der unteren Führungsebene.

Autophon AG  
Ziegelmattestrasse, 4500 Solothurn/Schweiz

**AUTOPHON**



1914 wurde diese erste deutsche Großsendestation mit einer 500-kW-Hochfrequenzmaschine von der Firma Goldschmidt ausgestattet. Es hatte sich nämlich gezeigt, dass man auch mit einer speziell für diesen Zweck konstruierten hochpoligen Synchronmaschine die erforderlichen ungedämpften Schwingungen erzeugen konnte.

Vier Jahre später konnten dann die Signale von Nauen in ca. 20 000 km Entfernung in Neuseeland empfangen werden. Das ist die grösstmögliche Entfernung, die überhaupt zwischen 2 Punkten auf der Erdoberfläche überbrückt werden kann, denn der Erdumfang beträgt ja nur 40 000 km. Erwähnenswert ist auch die von der Firma Telefunken aufgebaute, später und bis heute von der Deutschen Postverwaltung betriebene Küstenstation Norddeich. Sie strahlt seit 1909 den täglichen Zeitungsdienst für die Herausgabe von Bordzeitungen und den Zeitdienst aus.

Nichts aber hat die Entwicklung der drahtlosen Nachrichtentechnik so rasch vorangetrieben wie die Erfindung der Elektronenröhre.

### Die Elektronenröhre

Schon in den Jahren 1880/81 beobachtete der Amerikaner Th. A. Edison (1847–1931), dass durch das luftleere und deshalb normalerweise elektrisch nichtleitende Innere einer leuchtenden Glühlampe ein elektrischer Strom fliesst, wenn der Glühfaden der Röhre mit dem negativen Pol einer Spannungsquelle und eine zusätzliche in das Glas eingeschmolzene Gegenelektrode mit deren positivem Pol verbunden wird. Dieser zunächst recht überraschende Effekt wurde später von J. A. Fleming (1849–1945) weiter untersucht und zum Nachweis elektromagnetischer Wellen an Stelle des Kohärens verwendet. Im Jahre 1904 wurde ihm der thermische Detektor patentiert, der darauf beruhte, dass er von den empfangenen elektrischen Schwingungen jeweils nur die eine Halbschwingung passieren liess, die andere jedoch sperrte.

Etwas zur gleichen Zeit (1906) entwickelten der Österreicher R. v. Lieben (1878–1913) und der Amerikaner L. de Forest (geb. 1873) aus dem Flemingschen Glühkathodenventil ein elektronisches Steuerorgan, ein Kathodenstrahlrelais, wie v. Lieben es nannte, indem sie zwischen die Anode und die Kathode eine Steuerelektrode, das Gitter, einfügten. Die Elektronenröhre verdrängte in kurzer Zeit alle damaligen Einrichtungen zur Erzeugung ungedämpfter

Schwingungen. Erst war sie nur ein Hilfsmittel für den Empfang, dann diente sie zur Verstärkung der schwachen Signale, die von der Antenne aufgenommen wurden, und schliesslich übernahm sie auch noch die Aufgabe der Schwingungserzeugung.

Der grosse Erfolg der Elektronenröhre wurde aber erst durch die Entdeckung des Rückkopplungsprinzips im Jahre 1913 ermöglicht. Wer der eigentliche Entdecker des Rückkopplungsprinzips war, ist heute schwer zu sagen. Einer von ihnen, der Deutsche A. Meissner jedenfalls, benutzte bei seinen Versuchen eine Liebenschke Elektronenröhre und erzeugte mit ihr hochfrequente Wechselströme, indem er das Ausgangssignal an der Anode der Röhre induktiv auf das Gitter rückkoppelte. Mit dieser Anordnung gelang es ihm, mühelos ungedämpfte Schwingungen zu erzeugen. Am 9. 4. 1913 meldete er sein Verfahren zum Patent an.

Die Elektronenröhre beherrschte die gesamte Funktechnik uneingeschränkt bis in die fünfziger Jahre, dann jedoch entstand ihr im Transistor ein ernst zu nehmender Konkurrent, der sie rasch aus vielen ihrer angestammten Bereiche verdrängte. Während bei der Elektronenröhre die Verstärkerwirkung durch die Beeinflussung von Elektronen im Hochvakuum zustande kommt, werden im Falle des Transistors die Träger der Elektrizität (Elektronen und Defektelektronen oder Löcher) in Halbleiterkristallen beeinflusst.

Der wesentliche Vorteil des Transistors liegt darin, dass er keine Heizung benötigt, um betriebsfähig zu sein, dass er bereits mit geringen Spannungen um ca. 10 V herum betrieben werden kann, dass seine Abmessungen so klein sind, dass er ohne weiteres in die Schaltung eingelötet werden kann und schliesslich, dass er eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer besitzt. Die entscheidende Erfindung gelang im Jahre 1948 den drei amerikanischen Forschern J. Bardeen, W. H. Brattain und W. Shockley in den Bell-Laboratorien. Diesen drei Forschern wurde dafür im Jahre 1956 gemeinsam der Nobelpreis für Physik verliehen. Inzwischen ist dem Bipolartransistor in dem Feldeffekt-Transistor ein Konkurrent erwachsen. Dieser noch verhältnismässig junge Halbleiterverstärker zeichnet sich vor allem durch seinen hohen Eingangswiderstand aus. Feldeffekt-Transistoren besitzen eine annähernd quadratische Übertragungscharakteristik, ein hervorragendes Mittel gegen die in hochempfindlichen Kurzwellenempfängern so gefürchtete Kreuzmodulation. Sie werden daher heute vorzugsweise in den Eingangsstufen von Empfängern verwendet.

## Die Zentralstelle für Radio- und Fernsehübertragungen

Heinz Sommerhalder, Bern

*Résumé. Il existe dans chaque pays un service centralisateur international qui coordonne toutes les transmissions radiophoniques et télévisuelles touchant son pays. Il reçoit les commandes des sociétés nationales de radiodiffusion et de télévision, des administrations étrangères ainsi que des particuliers et transmet les ordres aux services exécuteurs pour qu'ils les liquident, conformément aux dispositions nationales et internationales. Le présent article décrit les tâches principales et la façon de travailler du service centralisateur de l'entreprise des PTT suisses.*

*Riassunto. Ogni Paese ha costituito un ufficio centrale, detto «Service centralisateur», che coordina tutte le trasmissioni radiofoniche e televisive che riguardano il suo Paese. Esso accetta tutte le ordinazioni delle società della radio e della televisione nazionali, delle amministrazioni estere e dei privati e le fa proseguire agli uffici d'esecuzione, per la liquidazione conformemente alle disposizioni nazionali e internazionali. Il presente articolo illustra i compiti principali e i metodi di lavoro del «Service centralisateur» dell'Azienda svizzera delle PTT.*

### 1. Einleitung

Der Radiohörer, der sich die Direktreportage eines Fussballspieles anhört, oder der Fernsehzuschauer, der am Bildschirm ein Skirennen verfolgt, macht sich im allgemeinen keinen Begriff, was es alles braucht, bis solche Sendungen zustande kommen.

#### Die Übertragungsmittel

##### Bildleitung

Für die Übertragung des Fernsehbildes steht in der Schweiz zwischen den Fernsehstudios ein nationales Richtstrahlnetz, für den internationalen Programmaustausch ein festes internationales Netz, auch Eurovisionsnetz genannt, zur Verfügung (Fig. 1). Die Übermittlung geschieht drahtlos via Relaisstationen. Für die Einspeisung der Bildsignale von Orten aus, die nicht an das feste Netz angeschlossen sind (Aussenübertragungen), werden mobile Bildverbindungen (Bild-Link) eingesetzt, die je nach Bedarf in kürzester Zeit aufgebaut und wieder abgebrochen werden können.

##### Rundspruchleitung

Für die Übertragung von Musik, Ton, Reportagen usw. werden entzerrte Leitungen benützt, die dank ihrem breiten Frequenzband (50 ... 10 000 oder 50 ... 15 000 Hz) und den fest eingebauten Verstärkern eine einwandfreie Übermittlung gewährleisten. Fig. 2