



Texte zur Ausstellung 150 Jahre Heinrich Hertz

Wolfschmidt, Gudrun:
Physik mit Her(t)z

Ausstellungen anlässlich des 150. Geburtstags
von Heinrich Hertz (1857–1894)
zusammengestellt von Gudrun Wolfschmidt
und Karl Heinrich Wiederkehr:

- 22. Februar bis Mai 2007
„150 Jahre Heinrich Hertz – 100 Jahre
Heinrich-Hertz-Schule“ in der Heinrich-Hertz
Schule in Hamburg-Winterhude,
- Juni bis Oktober 2007
„Physik mit Her(t)z“
im Landesinstitut für Lehrerbildung
und Schulentwicklung Hamburg
- Oktober bis November 2007
„Von Hertz zum Handy – Magnetismus,
Elektrizität, Kommunikation“
im Johanneum Hamburg
- November 2007 bis Feb. 2008
„Von Hertz zum Handy –
Die Entwicklung der Kommunikationstechnik“
in Wittenberg-Lutherstadt (Leucorea)

Hamburg: Landesinstitut für Lehrerbildung
und Schulentwicklung 2007

Web-Seite der Ausstellung:

<http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/events/hertz-exh.htm>

Schwerpunkt Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik (SPGN),
Department Mathematik, MIN-Fakultät, Universität Hamburg

Bundesstrasse 55 – Geomatikum, D-20146 Hamburg

Das Buch *Physik mit Her(t)z*, wurde anlässlich des 150. Geburtstags von Heinrich Hertz
(1857–1894) herausgegeben.

Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir gegenüber den Firmen Siemens AG, München, und NXP Semiconductors (ehemals Philips), Hamburg-Lokstedt, sowie der Hans Schimank-Gedächtnisstiftung, die uns zuverlässig finanzielle Unterstützung gewährt haben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort von Peter Daschner	4
Vorwort von Gudrun Wolfschmidt	5
Tabelle: Heinrich Hertz – Leben und Werk	6
Heinrich Hertz und die Entwicklung der Telekommunikation	
<i>Gudrun Wolfschmidt</i>	7
1.1 Elektromagnetismus	7
1.1.1 Vom galvanischen Element zum Akkumulator	7
1.1.2 Anfänge des Elektromagnetismus	10
1.1.3 Welt- und Industrieausstellungen	11
1.2 Telekommunikation	14
1.2.1 Optische und elektromagnetische Telegraphie	14
1.2.2 Anfänge des Telefons	20
1.2.3 Schallwellen – Lichtwellen – elektromagnetische Wellen	22
1.2.4 Drahtlose Telegraphie und Rundfunk	24
1.3 Röhren- und Transistortechnik	31
1.4 Mobiltelefon und Handy – das mobile Zeitalter	33
Ein Umbruch in der Physik – Die Experimente von Heinrich Hertz in Karlsruhe	
<i>Karl Heinrich Wiederkehr</i>	37
2.1 Die Karlsruher Experimente	37
2.2 Experimentalvortrag zu den Hertzschen Wellen	41
2.3 Von der drahtlosen Telegraphie bis zum Rundfunk und dem heutigen Kommunikationszeitalter	42
2.4 Hertzsche Versuche im Physikunterricht	45
2.5 Fragen für Arbeitsblätter zu Schwingungen und elektromagnetischen Wellen	46
UMTS – Das universale mobile Telekommunikationssystem	
<i>André Widmann (Erlangen)</i>	47
3.1 Physikalische Grundlagen der Mobilfunktechnik	47
3.2 Digitalisierung	48
3.3 Entwicklung des Mobilfunks	50
3.4 UMTS-Technik, Physik, Handytest	51
3.5 Empfehlungen des Bundesamts für Strahlenschutz zur Handy-Telefonie .	52

Vorwort von Peter Daschner,
Direktor des Landesinstituts für Lehrerbildung
und Schulentwicklung in Hamburg

Ich freue mich, dass das Landesinstitut die von Frau Prof. Wolfschmidt konzipierte Ausstellung zum 150. Geburtsjahr des Physikers Heinrich Hertz präsentieren kann. Damit erinnern wir an einen Forscher, der als gebürtiger Hamburger die Physik seiner Zeit vorangebracht hat. Heute beherrschen die aus seiner Forschung stammenden technischen Anwendungen unseren gesamten Alltag – und das weltumspannend und darüber hinaus. Heinrich Hertz kann der jüngeren Generation zeigen, welchen außerordentlichen Einfluss ein Wissenschaftler auf den Lebensalltag einer großen Mehrheit der Menschen dieser Erde haben kann.

Heinrich Hertz hat unter anderem an Elektronen geforscht, kleinen Teilchen und gleichzeitig Wellen, die als Quanten Eigenschaften haben, die unser Verstand nur schwer erfassen kann – eine Forschung, die für viele „moderne“ Menschen auf den ersten Blick als langweilig und unanschaulich eingestuft werden würde, sind wir doch an imposante Simulationen, Effekte und Shows gewöhnt. Aber genau das Medium, das uns diese Shows und Informationen aller Art ins Haus bringt, geht aus den bahnbrechenden Entdeckungen von Heinrich Hertz hervor. Seine Forschungen zu den elektromagnetischen Wellen haben Funk und Fernsehen erst möglich gemacht. Unsere vielfältigen Kommunikationsmittel in jeder elektrischen Form, ob per Funk oder Kabel, sind ohne die Hertzschen Entdeckungen nicht denkbar. Weiterhin hat er bereits 1887 durch die Entdeckung des äußeren lichtelektrischen Effekts die Basis für die Entwicklung der Fotovoltaik geliefert, die uns aus Sonnenlicht direkt Elektrizität erzeugen lässt und damit eine wichtige Technik zur Bereitstellung regenerativer Energie liefert.

Wir geben Ihnen, liebe Lehrerinnen und Lehrer, diesen Katalog zur Ausstellung an die Hand, in dem Sie einen gut lesbaren Abriss der wichtigsten Leistungen von Heinrich Hertz sowie der sich entwickelnden Kommunikationstechnologie finden. Dies kann ein Anlass sein, im Physikunterricht der Sekundarstufe II im Bereich der elektromagnetischen Felder historische Tatsachen mit zu behandeln. Und die frühen Telegrafenkonzpte bieten sich zum experimentellen Arbeiten in der Sekundarstufe I an und können eine Bereicherung für Ihren Physik- und Technikunterricht darstellen.

Weltweit ist Heinrich Hertz durch sein Namenskürzel bekannt: Hz bezeichnet die Einheit für elektromagnetische Schwingungen pro Sekunde. In seiner Vaterstadt Hamburg erinnert der Fernsehturm (offiziell: Heinrich-Hertz-Turm) an ihn, ebenso das 1907 – in seinem 50. Geburtsjahr – nach ihm benannte „Heinrich-Hertz-Realgymnasium für Jungen“, die heutige Heinrich-Hertz-Schule in Winterhude. 1935 übrigens wollten die Nazis die Erinnerung an Heinrich Hertz, der aus einer jüdischen Familie stammte, tilgen und änderten den Schulnamen in „Realgymnasium am rechten Alsterufer“. Die Lehrerschaft reagierte darauf mit bitterer Ironie: „Dann werden wir die Hertzschen Wellen nun wohl ‚Wellen am rechten Alsterufer‘ nennen müssen.“

Ich bedanke mich bei Frau Professor Wolfschmidt und ihren Kollegen für die Ausstellung und die Texte in diesem Katalog.

Physik mit Her(t)z

Vorwort von Gudrun Wolfschmidt

Warum gibt es eine Ausstellung zu Heinrich Hertz in Hamburg?
Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) wurde am 22. Februar 1857 – also vor 150 Jahren – in Hamburg geboren. Nach ihm wurde der Hamburger Fernsehturm benannt.

Was waren seine bedeutenden Leistungen?
Der Physiker Heinrich Hertz machte 1886/88 in Karlsruhe seine epochemachende Entdeckung. Er untersuchte schnelle elektrische Schwingungen und die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen. Dabei stellte er fest, dass die elektromagnetischen Wellen die typischen Eigenschaften des Lichts wie Reflexion, Brechung und Polarisation besaßen und sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiteten. Mit seinen Experimenten bestätigte Hertz die Voraussagen der Maxwellschen Elektrodynamik und der elektromagnetischen Lichttheorie. Er gab auch den vier Maxwellschen Grundgleichungen der Elektrodynamik die heutige Gestalt. Die von ihm entdeckten Hertzischen Wellen bilden die Grundlage der drahtlosen Telegraphie und Funktechnik, die sich ab den 1890er Jahren entwickelte.

Sein Nachweis des Einflusses ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung (1887) führte zur Entdeckung des äußeren lichtelektrischen Effektes und seiner Klärung durch Wilhelm Hallwachs (1859–1922).

Hertz beobachtete 1892 den Durchgang von Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten – ein wichtiger Hinweis dafür, dass die Materie zum großen Teil aus leerem Raum besteht. Philipp Lenard (1862–1947) erforschte dann später eingehend die Kathodenstrahlen (schnell fliegende Elektronen). Ebenfalls stammt von Hertz die exakte Definition der Härte.

In der letzten großen Arbeit von Hertz – den „Prinzipien der Mechanik“ – sind Gedanken, Ideen und Zusammenhänge enthalten, wie man sie später bei Einstein wiederfindet.

Hertz hat die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie und Telefonie ermöglicht, ebenfalls des Radios, des Fernsehens, des Computers, des Handys usw. Die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durch Hertz bildet also die Voraussetzung unseres heutigen Kommunikations- und Medien-Zeitalters.

Die Exponate der Ausstellung wurden zu einem großen Teil von Herrn PD Dr. Karl Heinrich Wiederkehr beschafft; die dazugehörigen Texte wurden gemeinsam erstellt. Besonderen Dank gilt Herrn Wiederkehr auch für den Experimentalvortrag bei der Eröffnung der Ausstellung.

Allen Helfern, den Mitgliedern des Schwerpunkts Geschichte der Naturwissenschaften, sei gedankt für Ihre Mitwirkung bei der Zusammenstellung der Ausstellung, insbesondere Jürgen Gottschalk, Wolfgang Lange, Bernd Wolfram und Heidi Tauber. Auch allen Leihgebern gilt ein herzlicher Dank. Dem Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung sind wir zu Dank verpflichtet für die Ermöglichung der Ausstellung und des Begleitbuches.

Tabelle: Heinrich Hertz – Leben und Werk

1857	Am 22. Februar wurde Heinrich Rudolf Hertz in Hamburg geboren. Vater: Gustav Hertz Dr. jur., Advocat, seit 1877 Richter, 1887–1904 Senator und Chef der Justizverwaltung in Hamburg, geboren 1827, gestorben 1914. Mutter: Anna Elisabeth Hertz, geborene Pfefferkorn, geboren 1835, gestorben 1910.
1874	Absolutorium am Hamburger Johanneum. Hertz zeigte schon während der Schulzeit außergewöhnliche sprachliche, mathematische und technisch-handwerkliche Begabung.
1875	Praktikum in Frankfurt.
1876	Hertz begann das Studium des Bauingenieurwesen am Polytechnikum in Dresden. Er widmete sich aber fast ausschließlich der Mathematik und den exakten Naturwissenschaften.
1876/77	Hertz leistete seine Militärdienstpflicht beim Eisenbahnregiment in Berlin ab.
1877/78	Im Wintersemester setzte Hertz sein Studium der exakten Naturwissenschaft am Polytechnikum in München fort.
1878	Hertz ging nach Berlin zu Hemholtz und gewann sogleich eine Goldmedaille bei einem Preisausschreiben der Universität.
1880	Hertz wurde mit der theoretischen Arbeit promoviert „Über die Induction in rotirenden Kugeln“. Seine Versuche über die Glimmentladung veröffentlichte er erst in Kiel.
1883	Hertz habilitierte sich in Kiel mit seiner schon in Berlin ausgeführten Arbeit „Über die Berührung fester elastischer Körper“ Er beschäftigte sich auch wieder intensiv mit Problemen der Elektrodynamik. Er wies nach, dass das auf Fernwirkungskräfte gegründete Gleichungssystem in seinem gegenwärtigen Zustand sicherlich unvollständig ist, dass vielmehr dieses System, konsequent ergänzt, die Maxwellsche Theorie ergeben muss.
1886	Hertz wird als Nachfolger von Ferdinand Braun (1850–1918) zum Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe berufen. Hier begann seine Untersuchung, die zur Entdeckung der „Hertzchen Wellen“ führte. Am 13. November fand er die Übertragung seiner Wellen über einen Abstand von 1,5 m von einem primären auf einen sekundären „Stromkreis“ (Resonator). Damit hatte er Sender und Empfänger elektrischer Wellen konstruiert. Am 2. Dezember gelang ihm die Resonanzbestimmung der beiden Kreise.
1887	Hertz entdeckte den lichtelektrischen Effekt.
1888	Hertz wies nach, dass Lichtwellen elektromagnetische Wellen sind.
1889	Hertz wurde Nachfolger von Rudolf Clausius als Professor für Physik in Bonn.
1892	Hertz entdeckte den Durchgang von Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten und eröffnete Philipp Lenard die Möglichkeit, ihre Natur zu erforschen.
1894	Am 1. Januar 1894 verstarb Hertz in Bonn.

Heinrich Hertz und die Entwicklung der Telekommunikation

Gudrun Wolfschmidt

Im Zentrum der Ausstellung steht Heinrich Hertz (1857–1894), der 2007 seinen 150. Geburtstag feiert. In diesem Artikel werden folgende Schwerpunkte gesetzt: Elektromagnetismus als Vorgeschichte der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen sowie Wirkung von Hertz mit der Entwicklung der Telekommunikation. Dagegen widmet sich der Artikel von Herrn Wiederkehr insbesondere den bahnbrechenden Experimenten von Heinrich Hertz.

1.1 Elektromagnetismus

1.1.1 Vom galvanischen Element zum Akkumulator

Schon in der Antike kannte man die Bernsteinkraft. Reibt man Bernstein mit einem wollenen Tuch, zieht es kleine Schnitzelchen aus Papier etc. und Metallplättchen an. Der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke (1602–1686), bekannt durch sein Experiment mit den Halbkugeln, beschrieb in den EXPERIMENTA NOVA (1672) einen einfachen Apparat, der als Vorläufer für die Elektrisiermaschinen angesehen wird. Eine Schwefelkugel wird gedreht und mit der (trockenen) Hand gerieben. Die Kugel zieht Flaumfedern und andere kleine Teilchen an. Er beobachtete, dass die Flaumfedern nach der Berührung mit der Schwefelkugel wieder abgestoßen werden.

Mit Elektrisiermaschinen ließen sich besonders große elektrische Aufladungen erzeugen.¹ Eine angetriebene Glasscheibe schleift an zwei Reibzeugen. Die auf der Glasoberfläche entstehende positive elektrische Ladung wird von den beiden walzenförmigen Blechzylindern neben der Scheibe angezogen und über einen Metallbügel auf den kugelförmigen Konduktor übertragen, wo sie sich ansammelt. Der Konduktor lässt sich leitend mit zwei an Isolierfäden von der Decke herabhängenden Blechzylindern verbinden, die zur Ansammlung größerer elektrischer Ladungen (Elektrizitätsmengen) dienen.

¹ Fraunberger 1971. Meya/Sibum 1987. Fraunberger 1985. Heilbron 1979. Sattelberg 1971.

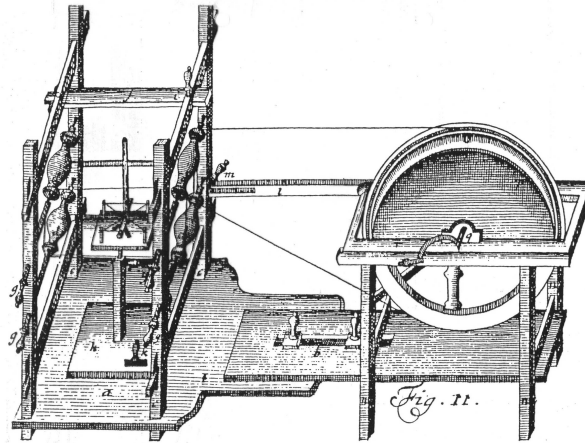


Abbildung 1.1:
Zweite Elektrisiermaschine von Johann Heinrich Winkler (1703–1770)
zur Erzeugung verstärkter Elektrizität, 1745

Winkler, J.H.: Die Eigenschaften der Electrischen Materie und des Electrischen Feuers. Leipzig 1745.

Die Reibzeuge und die daran befindlichen Metallkugeln (Hilfskonduktoren) laden sich negativ auf. Diese negative Ladung kann zur Erde abgeleitet werden.

Die Leidener Flasche diente zur Sammlung und Aufspeicherung großer elektrischer Ladungsmengen. Erfunden wurde sie 1745 gleichzeitig von Ewald Jürgen Kleist (1700–1748) aus Cammin in Pommern und vom Leidener Professor Pieter van Musschenbroek (1692–1761). Die Leidener Flasche spielte zusammen mit den Elektrisiermaschinen eine wesentliche Rolle bei der unterhaltsamen Physik im Salon in der Barockzeit.²

Luigi Galvanis (1737–1798) Froschschenkelversuch von 1789 erregte allgemeines Interesse; besonders Alessandro Volta (1745–1827) widmete sich der Untersuchung dieser Beobachtung. Dies führte zur Erfindung der Volta-Säule 1799 aus Silber- und Zinkplatten und zur Aufstellung einer Spannungsreihe. Bei dieser Elektrizitätsquelle mit kontinuierlich fließendem starken Strom und relativ niedriger Spannung konnte durch Vermehrung der Voltaschen Zelle die Spannung gesteigert werden.

Die Trockenbatterie von Giuseppe Zamboni (1776–1846) (1812) gewann in der Folge an Bedeutung. Unter den verschiedenen vorgeschlagenen Verbesserungen ist noch die Batterie von William Grove (1811–1896) erwähnenswert, der 1839 für die Elemente amalgamiertes Zink und Platin als Elektroden und Schwefelsäure als Elektrolyt benutzte. Ebenfalls das viel gebrauchte Leclanché-Element, das Zink und Kohle benutzt und das Grundlage für unsere Trockenbatterie bildet. Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899) verwendete statt des teuren Platins 1840 Kohle-Elektroden, die er aus Steinkohle und Koks hergestellt hatte. Zur Beseitigung der Polarisation wurde der verdünnten Schwefelsäure Chromsäure zugesetzt.

² Teichmann 2002. Piltzner 1998. Sibus 1990.



Abbildung 1.2:
Abbe l'Anné Jean Antoine Nollet (1700–1770):
Vorführung elektrostatischer Anziehung im barocken Salon;
der Junge hängt an Seidenfäden, aufgeladen durch eine Elektrysiermaschine
zieht er Papierschnipsel an.

Nollet, l'Anné Jean Antoine: *Essai sur l'électricité des corps*. Paris 1746.

Diese Batterien waren bis zu der Zeit, in der durch Maschinen elektrische Ströme erzeugt werden konnten, wichtigste Stromquellen der Elektrotechnik. Die Forschungen konzentrierten sich auf eine Verbesserung dieser – im Vergleich zu den späteren Dynamomaschinen – extrem teuren Stromquelle. Die französische Regierung setzte 1852 einen Preis für den, „*der eine Entdeckung macht, durch welche die Voltasche Säule mit Vorteil und Ersparnis entweder in der Industrie zum Heizen und Beleuchten oder in der Chemie oder in der Mechanik oder in der praktischen Heilkunde anwendbar wird.*“

Den ersten Akkumulator zur Stromspeicherung mit Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure baute Gaston Planté (1834–1889) 1859 basierend auf den Experimenten von Simsteden (Einführung von Blei). Émile Alphonse Faure, ein Schüler von Gaston Planté (1834–1889), nahm auf Verbesserungen des Akkumulators (Einführung von Bleioxid) ein Patent, eines von 140 diesbezüglichen deutschen Patenten zwischen 1881 und 1890. 1888 wurde die auf diesem Gebiet führende Firma Büsche & Müller, die spätere Accumulatoren-

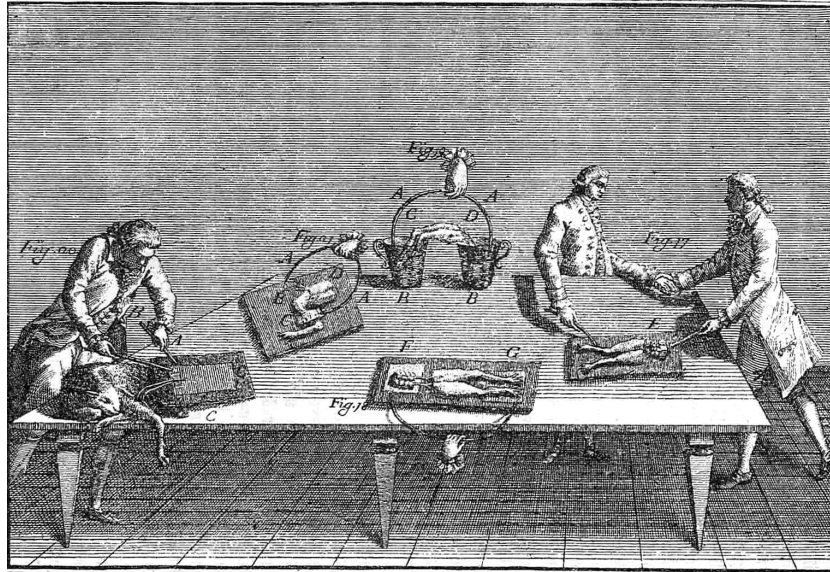


Abbildung 1.3:

Luigi Galvanis (1737–1798) Versuch mit den Froschschenkeln
und den Bügeln aus zwei unterschiedlichen Metallen

Galvani, Luigi: De viribus electricitatis in motu musculari commentatio. Bologna 1791.
Reprint: Leipzig: Wilhelm Engelmann (Ostwalds Klassiker, Nr. 52) 1894, S. 39.

Fabrik AG gegründet, die Lizenz auf Émile Alphonse Faures weitreichendes Patent genommen hatte und die anderen Interessenten durch Prozesse aus dem Feld schlug.

1.1.2 Anfänge des Elektromagnetismus

Hans Christian Ørsted (1777–1851) war Anhänger der romantischen Naturphilosophie, die für eine Einheit der Naturkräfte und ihre gegenseitige Umwandlung eintrat. Im Frühjahr 1820 machte er seine berühmte Entdeckung bei seiner VORLESUNG ÜBER ELEKTRIZITÄT, GALVANISMUS UND MAGNETISMUS. Über eine Magnetnadel hielt er einen glühenden, stromdurchflossenen Draht. Als der Strom parallel zur Nord-Süd Richtung des Magneten floss, ergab sich eine Auslenkung senkrecht dazu. Die elektrische Kraft hat sich in magnetische Kraft umgewandelt. Über die Verknüpfung der Welt des Magnetismus und der Elektrizität äußerte Carl Friedrich Gauß (1836):

„Ihre glänzenden Entdeckungen haben der Naturforschung eine Welt geöffnet, deren Zaubergärten uns mit Bewunderung erfüllen; unterwürfig machen können wir uns diese reichen Gebiete nur unter Führung der Meßkunst.“
Carl Friedrich Gauß³ (1836)

³ Vgl. auch: Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): Vom Magnetismus zur Elektrodynamik. Herausgegeben anlässlich des 200. Geburtstages von Wilhelm Weber (1804–1891) und des 150. Todestages von Carl

Schon zur Zeit Voltas hatte man zwischen Spannung, Elektrizitätsmenge und elektrischem Strom unterschieden. André Marie Ampère (1775–1836) präziserte 1820 diese Begriffe, führte den elektrischen Strom im Leitungsdraht als Doppelstrom ein und legte die Richtung des Stromes mit seiner Schwimmerregel fest. Er zeigte, dass ein Stabmagnet durch eine stromdurchflossene Spirale (Solenoid) ersetzt werden kann. Die magnetischen Fluida wollte er vollständig beseitigen und alle magnetischen Erscheinungen auf fließende elektrische Ströme zurückführen. Sein Fundamentalgesetz der elektrodynamischen Wirkung beschrieb die Wechselwirkung von stromdurchflossenen Leitern (magnetische Wirkung). Auf Ampère geht das Wort Elektrodynamik zurück.

Georg Simon Ohm (1789–1854) untersuchte den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Widerstand des Leiters; seine Ergebnisse publizierte er 1825 unter dem Titel: VORLÄUFIGE ANZEIGE DES GESETZES, NACH WELCHEM METALLE DIE CONTACT-ELEKTRIZITÄT LEITEN; die endgültige Formulierung des Ohmschen Gesetzes erfolgte ein Jahre später. Zur Strommessung benutzte er ein Torsions-Magnetometer, – eine Magnetnadel, die durch das kreisförmige magnetische Feld um den stromdurchflossenen Leiter abgelenkt und durch Torsion wieder in die ursprüngliche Lage zurückgebracht wird. Zur Messung der Spannung benutzte er ein Elektroskop mit Kondensator. Die konstante Spannung bei seinen Untersuchungen lieferte ein Thermolement aus Kupfer und Wismut, da die Voltasäule zu starke Schwankungen aufwies. Er fand 1826 sein berühmtes Ohmsches Gesetz, nämlich dass die Stromstärke zum Widerstand umgekehrt proportional ist; der Widerstand ist abhängig vom Material, der Länge des Leiters und seinem Querschnitt.

Michael Faraday (1791–1867), zuerst Gehilfe und Laborant bei Humphry Davy (1778–1829) in der Royal Institution in London, wandte sich zunächst der Chemie zu und entdeckte das Benzol und Butylen. Nach der Entdeckung des Elektromagnetismus durch Ørsted 1820 wiederholte er dessen Versuche und auch die danach von anderen gemachten Experimente. Er gelangte dabei zum Begriff des magnetischen Feldes.⁴ 1831 fand Faraday die elektromagnetische Induktion. Sie ermöglichte unter anderem den Bau von Generatoren und die Entwicklung der Starkstromtechnik.⁵

1.1.3 Welt- und Industrieausstellungen

Mitte des 19. Jahrhunderts war der Gedanke aufgetaucht, Weltausstellungen zu veranstalten.⁶ Auf internationalen Industrieausstellungen wollten die Staaten ihre eigenen Leistungen zeigen und sich über die Errungenschaften der anderen informieren. Für Firmen bot sich hier aber auch eine gute Gelegenheit zur Werbung für eigene Produkte. Zunächst standen Maschinenfabriken und Hüttenwerke im Mittelpunkt. Die Elektrotechnik kam später hinzu mit Telegraphen- und Signalanlagen. Während die Erzeugnisse der Maschinenindustrie vor allem für Unternehmer interessant waren, wandte sich

Friedrich Gauß (1777–1855). Katalog zur Ausstellung in der Staatsbibliothek Hamburg, 3. März bis 2. April 2005. Hamburg: Schwerpunkt Geschichte der Naturwissenschaften 2005.

⁴ King 1973. Lemmerich 1991. Barth 2002.

⁵ Dazu mehr in Wolfschmidt (2005): Gauß-Weber.

⁶ Beauchamp 1997.

die Elektrotechnik, insbesondere mit der Beleuchtungstechnik, an die breite Masse als Abnehmer.

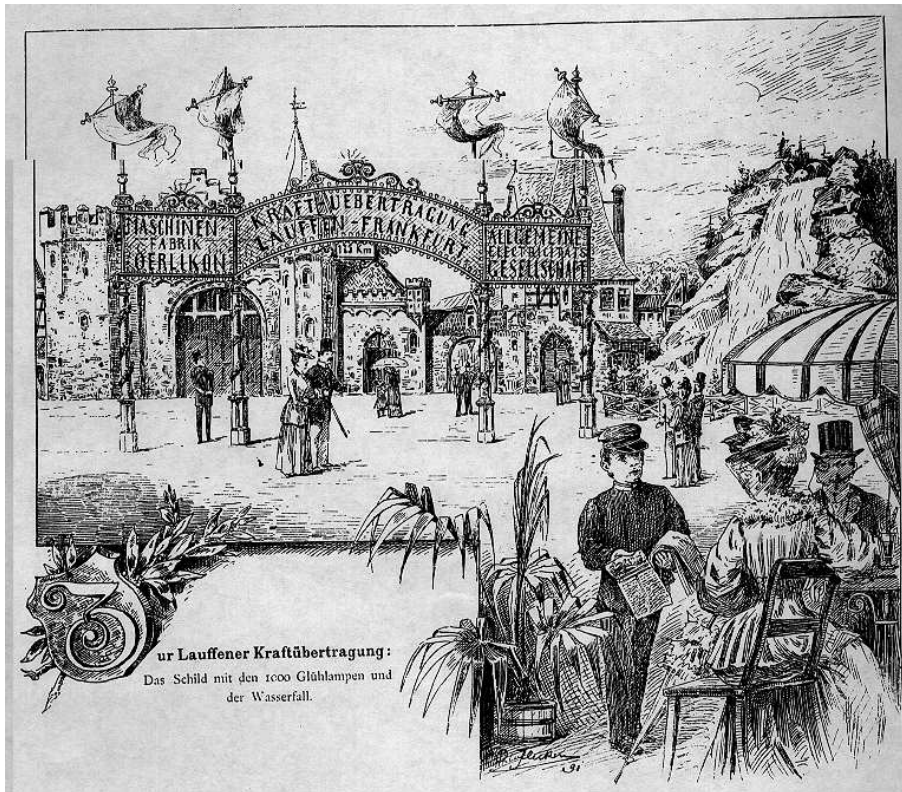
Die erste Weltausstellung fand 1851 in London statt. Auf den Weltausstellungen in Paris 1855 und London 1862 gab es neben Telegraphie auch schon Starkstromtechnik, beispielsweise Induktionsapparate, Minen-Zündgeräte und magnet-elektrische Maschinen zur Speisung von Leuchtturm-Bogenlampen.

1881 fand eine erste internationale Elektrizitäts-Ausstellung in Paris statt. Bemerkenswert war ausser den Dynamo-Maschinen und ersten Akkumulatoren ferner eine 400 m lange Strassenbahn von Siemens & Halske. Unter den 15 Staaten mit 1768 Ausstellern waren auch 87 deutsche. Die Sensation der Weltausstellung in Paris war die Vorführung einer großen Zahl von Wechselstrom-Bogenlampen, die auch zur Beleuchtung der Pariser Strassen aufgestellt worden waren. Insbesondere gab die Pariser Weltausstellung von 1881 den Start für die elektrische Beleuchtung mit den ersten Kohlenfadenlampen (Glühlampen) von Edison.

In Deutschland fand 1882 im Münchner Glaspalast die erste Elektrizitäts-Ausstellung statt. Der Glaspalast wurde mit elf Bogenlampen beleuchtet. Rückblickend sah Oskar von Miller (1855–1934) 1932 *„die wichtigste und schwerste Aufgabe darin, die Ausstellung so zu gestalten, dass sie sich nicht als kleinliche Wiederholung der Pariser Ausstellung [1881] präsentierte, sondern ihren Besuchern in gänzlich neuer Art die Wunder der Elektrotechnik vorführte.“* Die erste Gleichstrom-Übertragung von elektrischer Energie führte über eine Entfernung von 57 km von Miesbach nach München zur Elektrizitäts-Ausstellung im Glaspalast, womit ein zwei Meter hoher Wasserfall betrieben wurde. Frühere Übertragungen erreichten nur rund zwei Kilometer! Die Übertragung geschah einfach mit einer Telefonleitung bei 1400 Volt. Schon vor der Eröffnung der Münchner Ausstellung waren mehrere Dynamo-Anlagen zur Speisung von Beleuchtungen in Betrieb gekommen. Solange die Bogenlampen aus galvanischen Elementen gespeist werden mussten, konnten sie nur über kürzere Zeit und für besondere Gelegenheiten benutzt werden. Jede Bogenlampe hatte ihre eigene Stromquelle, zunächst auch noch, als der Dynamo Ende der 1870er Jahre gebrauchsfähig geworden war. Die Dynamos wurden von Dampfmaschinen und Gasmotoren angetrieben und waren oft auch fahrbar.

Als Folge der Ausstellung 1882 haben damalige Firmen Förderung erfahren wie Siemens & Halske in Berlin und Schuckert in Nürnberg. Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Ausstellung bestand in der Festlegung von Prüffregularen für elektrische Geräte. Nach der Internationalen Elektrizitäts-Ausstellung 1882 in München, 1883 in Wien und 1884 in Turin folgte die Landesausstellung in Budapest 1885, wo zum ersten Mal das Wechselstrom-Transformatorensystem gezeigt wurde.

Das nächste bedeutende Ereignis war die Internationale Elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt/Main 1891. Oskar von Miller regte anlässlich dieser Ausstellung einen Grossversuch zur Übertragung von elektrischer Energie bei 15.000 Volt Drehstrom an. Mit einem Generator von Oerlikon in Zürich gelang 1891 diese erste Drehstrom-Übertragung der Welt von Lauffen nach Frankfurt. Diese erste Fern-Übertragung elektrischer Energie präsentierte sich den Ausstellungsbesuchern folgendermassen: der Eingangsbogen wurde mit 1000 Glühlampen beleuchtet, es erschien dabei der Schriftzug AEG; zudem wurde noch ein Wasserfall betrieben. Zudem erwartete die Besucher eine Renn-



ur Lauffener Kraftübertragung:
Das Schild mit den 1000 Glühlampen und
der Wasserfall.

Abbildung 1.4:
Internationale Elektrotechnische Ausstellung
in Frankfurt/Main 1891

bahn mit elektrisch angetriebenen Holzpferden. Aufgrund der Frankfurter Ausstellung wurde schließlich auch der Systemstreit zwischen Gleichstrom und Wechselstrom entschieden.⁷ Zudem trat hier als dritte Stromart zum ersten Mal der Drehstrom als ernsthafter Konkurrent auf. Für ihn sprachen, wie beim Einphasen-Wechselstrom, die leichte Transformierbarkeit und darüber hinaus der einfache, billige, betriebssichere Motor. Die kühne Übertragung elektrischer Energie von Lauffen am Neckar nach Frankfurt über 175 km ließen die Zukunftsmöglichkeiten des Drehstroms ahnen. Dieser Frankfurter Versuch über 175 km bewies, dass sich elektrische Energie bei hohen Spannungen auch über große Entfernungen wirtschaftlich transportieren und von günstig gelegenen Kraftwerken aus verteilen lässt. Im Vergleich zur Gleichstrom-Übertragung von 1882 handelte es sich 1891 – bemessen nach „kW Leistung mal km Entfernung“ – um eine tausendmal so große Übertragung. Dahinter steckte Oskar von Millers Überlegung, die Wasserkräfte aus dem Alpenraum in das Gebiet des Verbrauchs zu übertragen, was dann mit dem Walchensee-Kraftwerk auch in Angriff genommen wurde.

⁷ Um den Wechselstrom in Überlandleitungen zu transportieren, wird die Spannung hochtransformiert und damit geringe Leitungsverluste erreicht.

1.2 Telekommunikation

„Reichthum und Schnelligkeit ist was die Welt bewundert und wornach jeder strebt; Eisenbahnen, Schnellposten, Dampfschiffe und alle möglichen Facilitäten der Communication sind es worauf die gebildete Welt ausgeht, sich zu überbieten, zu überbilden und dadurch in der Mittelmäßigkeit zu verharren. Eigentlich ist es das Jahrhundert für die fähigen Köpfe, für leicht erfassende praktische Menschen, ...“

Johann Wolfgang von Goethe (1825)

1.2.1 Optische und elektromagnetische Telegraphie

Schon 1616 schlug Franz Kessler (1580–1650) vor, Teleskope für optische Telegraphie zu verwenden, und konnte damit die Feuerzeichen über einige Kilometer erkennen. Aufgrund der Kleinstaaterei in Deutschland konnte sich dieses System nicht durchsetzen.

In der Zeit der Französischen Revolution wurde 1794 von Claude Chappe (1765–1805) ein mechanisch-optischer Telegraph entwickelt. Mit Hilfe zweier beweglicher Arme konnte er 196 Zeichen darstellen (vgl. Arbeitsblatt Optische Telegraphie, S. 15). Es gab 22 Stationen zwischen Paris und Lille (240 km Entfernung). Innerhalb von einigen Minuten konnten Nachrichten übermittelt werden, wozu ein Reiter 30 Stunden gebraucht hätte. Weitere Linien bestanden von Paris nach Straßburg, Marseille und Bordeaux. 1799 erhält Chappe den Auftrag, eine Linie von Paris in das gerade von Napoleon eroberte Italien zu installieren (Turin nach Mailand, Venedig bis Triest).

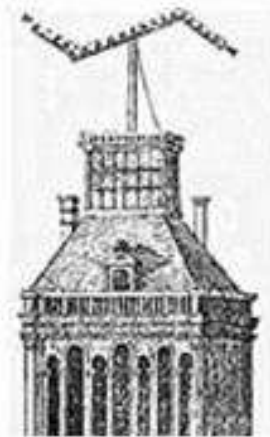
In Preußen unter König Friedrich Wilhelm III. (1770–1840) wurde 1832/33 ein erster optischer Telegraph gebaut, der Berlin mit Koblenz verband – über Magdeburg, Halberstadt, Höxter und Köln. Der Ingenieur und Generalmajor Franz August von Etzel (1784–1850) benutzte drei Paare von Flügeln, damit konnte er insgesamt 4096 Zeichen darstellen. Der Telegraphenberg in Potsdam war eine der ersten von 62 Stationen. Einen vereinfachten „Volks-Telegraphen“ entwickelte Johann Ludwig Schmidt aus Altona 1837 als Verbindung zwischen Hamburg und Cuxhaven.

Die Revolution der Kommunikationsmedien begann mit der Telegraphie. Nach der Entdeckung der angeblich tierischen Elektrizität 1780 durch Galvani – und weiteren Experimenten dazu bis 1791 – wurden rasch die Grundlagen der Lehre von der Elektrizität von Forschern wie Ørsted, Ampère, Ohm, Faraday, Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887), Franz Neumann (1798–1895), Wilhelm Weber und anderen geschaffen.

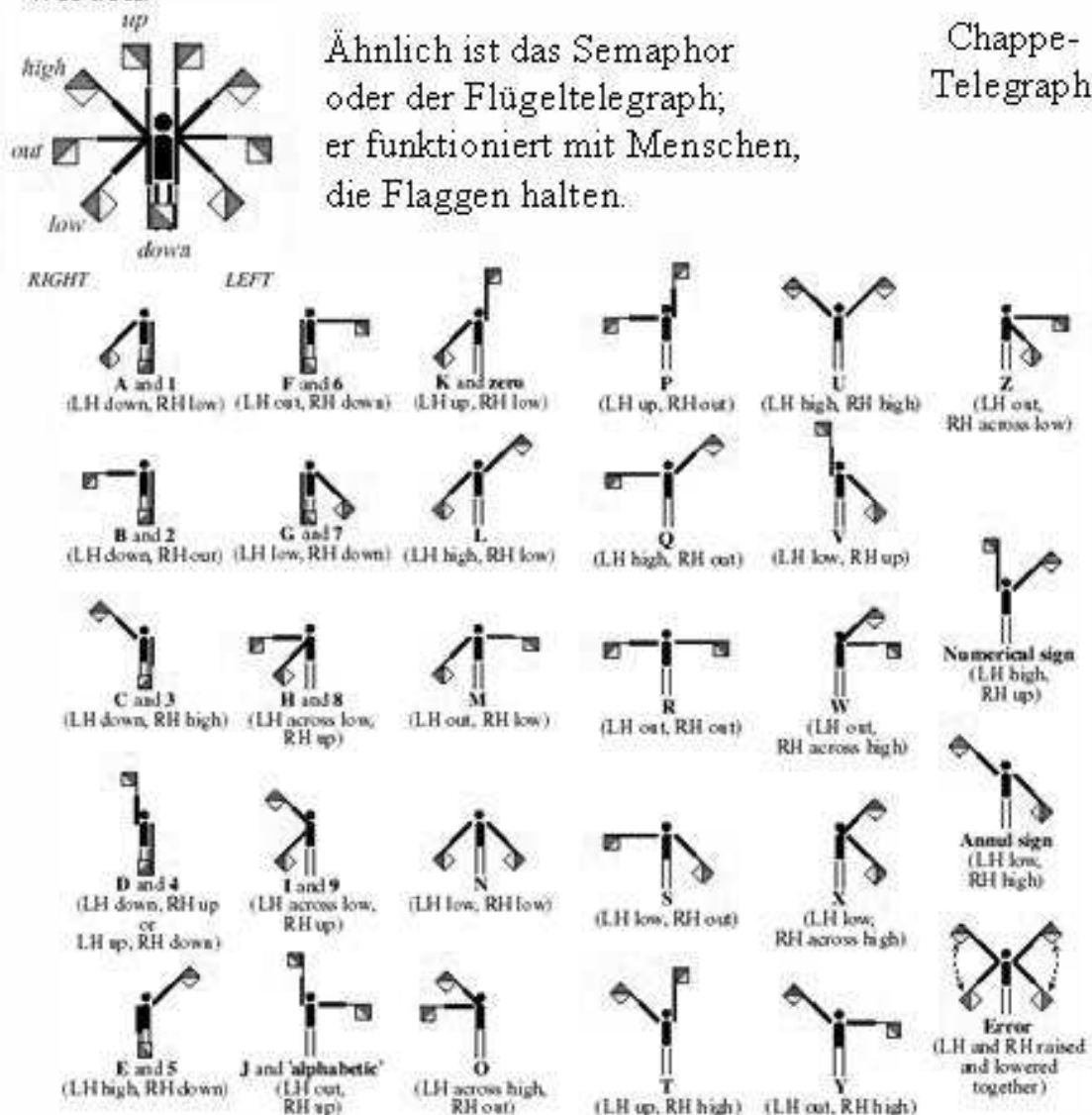
Mit Hilfe der Elektrizität erfuhr die Telegraphie einen großen Aufschwung. Der Anatom Samuel Thomas Sömmering (1755–1830) wurde 1805 an die Bayerische Akademie der Wissenschaften nach München berufen. Hier beschäftigte er sich viel mit Physik und führte 1809 der Akademie seinen elektrochemischen Telegraphen mit 35 Drähten vor. Die Zeichengebung erfolgte dadurch, dass in einem Wassertrog über mit Buchstaben bezeichneten Drähten Gasblasen aufstiegen; er benutzte das Prinzip der Elektrolyse, nämlich dass Wasser durch Elektrizität in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werden kann. Als dieser Apparat einmal Napoleon gezeigt wurde, tat er ihn mit der Bemerkung ab: *C'est une idée germanique*. Jedoch war die Beschäftigung mit diesem Apparat für Pavel Lvo-

Optische Telegraphie

Um 1800, im Zeitalter Napoleons, kamen optische Telegraphen auf, das Alphabet entwickelte Claude Chappe (1763-1805). Mit Hilfe zweier beweglicher Arme konnte er 196 Zeichen darstellen. Innerhalb von Minuten konnten nun Nachrichten gesendet werden.



Chappe-
Telegraph



Ein Schüler gibt die Zeichen und zwei Gruppen entziffern um die Wette.

vič Schilling von Canstatt (1786–1837) von Canstatt der Anlass, neue Wege für die elektrische Telegraphie zu suchen, was schließlich zur Erfindung des Nadeltelegraphen führte.⁸

Schon 1820 hatte Johann Christian Poggendorff (1796–1877) den Multiplikator (Spule) erfunden, der die Ablenkung der Magnetnadel verstärkt. Somit konnte man mit einer Magnetnadel besser Zeichen empfangen. André Marie Ampère entwickelte 1820 einen elektromagnetischen Telegraphen, der nach dem Nadelprinzip arbeitete. Eine Nadel wurde durch ein elektromagnetisches Feld nach links oder rechts bewegt. Diese Methode war aber noch sehr unwirtschaftlich, da sie für eine Übertragung über einen Kilometer 60 km Draht benötigte.



Abbildung 1.5:
Telegraph von Gauß und Weber (1833) in Göttingen
Deutsches Museum München

Die optischen und elektrochemischen Telegraphen genügten den Anforderungen nicht. Die Wende brachte der elektromagnetische Zeigertelegraph, entwickelt von Carl Friedrich Gauß (1777–1855) und Wilhelm Weber (1804–1891) 1833.⁹ Dieser arbeitete nach einem ähnlichen Prinzip wie der Telegraph von Ampère und benötigte aber nur zwei Drähte. Der Zeichengeber war eine Induktionsspule, die auf einen Stabmagneten geschoben, bzw. von ihm abgehoben wird. Zum Empfang der Zeichen dient ein horizontal

⁸ Aschoff, Volker: Paul Schilling ... Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte 44 (1977), Heft 3.

⁹ Feyerabend, E.: Der Telegraph von Gauß und Weber ... Berlin 1933.

aufgehängter Magnetstab, der von einer Spule umgeben ist und durch deren Magnetfeld abgelenkt wird. Beobachtet wird die Ablenkung mit Fernrohr, Spiegel und Skala. Der Telegraph war eigentlich ein Nebenprodukt bei Untersuchungen zum Ohmschen Gesetz gewesen. Gauß und Weber wurden aber dadurch populär, denn der einfache Bürger bekam durch diese wissenschaftlich-technische Leistung einen Eindruck von der Größe dieser beiden Männer. Gauß und Weber hatten noch die Idee, die Leitungen an hohen Masten oder über die Dächer der Häuser zu verlegen; dies wurde in Göttingen durchgeführt; die Leitungen verliefen vom Physikalischen Institut zur Sternwarte. 1846 wurde die Telegraphenleitung durch Blitzschlag zerstört.

Die Telegraphie bekam schnell eine große Bedeutung mit der Ausbreitung der Eisenbahn seit 1835 in Deutschland. 1843 baute Hannibal Moltrecht (1819–1882) einen ersten Eisenbahn-Telegraphen zwischen Aachen und Ronheide.

In der Telegraphie und im Nachrichtenwesen fand die Elektrizität eine erste Anwendung im großen Stil. Elektrizitätsquellen waren zunächst galvanische Batterien – eine teure Sache. Doch schnell verbreitete sich die neue Technik; eine Vielzahl von Telegraphieapparaten wurde erdacht.

Charles Wheatstone (1816–1892) und sein Partner William Fothergill Cooke (1806–1879), der in Heidelberg studiert hatte, konstruierten 1837 einen Fünf-Nadel-Telegraphen in Form einer Raute, auf der der Schnittpunkt zweier Nadeln den gewünschten Buchstaben anzeigte. 1838/40 wurde ihr Zwei-Nadel-Telegraph patentiert, 1845 der Ein-Nadel-Telegraph; ihr Prinzip ähnelte dem von Carl August Steinheil (1801–1870) vorgeschlagenen. Durch Uneinigkeiten zwischen Wheatstone und Cooke wurden die Wheatstone-Cooke-Patente an die neu gegründete „Electric Telegraph Company“ verkauft. Diese Zeiger-Telegraphen, entwickelt 1838 von Wheatstone, wurden über längere Zeit bei der Taunusbahn, der französischen Telegraphenverwaltung und bei der Potsdamer und Thüringer Eisenbahn eingesetzt.

Carl August Steinheil, baute 1837 einen ersten schreibenden Telegraphen in München (das Wort Telegraphie kommt von *téle* = fern, *gráphein* = schreiben).

Der Kunstmaler Samuel Finley B. Morse (1791–1872) erfuhr während einer Seereise von der Problematik, einen guten Telegraphen zu bauen. Seine ersten Morseapparate (ab 1837) waren „Stiftschreiber“, d. h. ein vom Elektromagneten betätigter Stift prägte mechanisch eine Rille in einen Papierstreifen, von dem der Text abgelesen und handschriftlich auf ein Telegrammformular übertragen wurde. Für seinen elektromagnetischen Telegraphen entwickelte Morse auch einen Code. 1838 meldete er seinen Telegraphen in Washington zum Patent an. Das Verfahren von Morse setzte sich schließlich durch. Indem die Morsezeichen akustisch mit einem Klopfer hörbar gemacht wurden (1844), konnte ein Beamter im Durchschnitt ca. 600 Wörter pro Stunde übertragen. Wegen der Wirtschaftsdepression 1841 konnte die erste Versuchstrecke von Washington nach Baltimore erst 1843 gebaut werden, welche am 24. Mai 1844 eröffnet wurde. Sie diente der Baltimore & Ohio Railway. Weitere Telegraphenlinien nach Philadelphia, New York und Boston folgten.

Kurz darauf (1847) wurden auch in Europa, und zwar zuerst in Deutschland, Telegraphenlinien mit Geber und Empfänger nach dem Prinzip von Samuel Morse errichtet. Zunächst zeigte sich die Hannoversche Staatsbahn interessiert. Dann wurden die ersten

----- / -----
M O R S E (space) C O D E

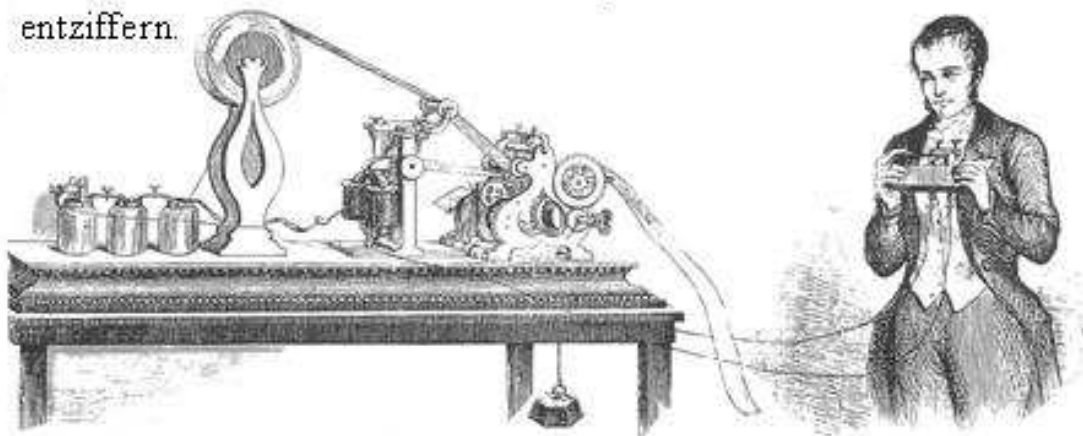
Der Morse-Code wurde 1838 entwickelt; Friedrich Clemens Gerke verbesserte ihn 1848 zur Inbetriebnahme der elektromagnetischen Telegrafengeräte zwischen Hamburg und Cuxhaven.

A		B		A		B		A		B	
A	•—	•—	•—	M	—•—	—•—	—•—	1	•—•—	•—•—	•—•—
Ä		•••—	•••—	N	—••	—••	—••	2	••••	••••	••••
Å		••••—	••••—	Ñ	—•••	—•••	—•••	3	•••••	•••••	•••••
Ä		•••••	•••••	O	••	••	••	4	••••••	••••••	••••••
B	••••	••••	••••	Ö	•••	•••	•••	5	•••••••	•••••••	•••••••
C	•••	•••••	•••••	P	•••••	•••••	•••••	6	••••••••	••••••••	••••••••
CH		••••••	••••••	Q	••••••	••••••	••••••	7	•••••••••	•••••••••	•••••••••
D	••••	••••	••••	R	••••	••••	••••	8	••••••••••	••••••••••	••••••~
E	•	•	•	S	•••	•••	•••	9	•••••••••••	••••••~•	••••••~•
É		••••••	••••••	T	•••	•••	•••	0	••••••••••••	••••••~••	••••••~••
F	••••	••••	••••	U	•••	•••	•••	@		••••••~•••	••••••~•••
G	•••••	•••••	•••••	Ü	•••	•••	•••				
H	••••••	••••••	••••••	V	••••	••••	••••				
I	••	••	••	W	•••••	•••••	•••••				
J	•••••••	•••••••	•••••••	X	••••••	••••••	••••••				
K	••••••••	••••••••	••••••••	Y	•••••••	•••••••	•••••••				
L	•••••••••	•••••••••	•••••••••	Z	••••••••	••••••••	••••••••				

A - American Morse Code
B - International Morse Code

© 2005 Encyclopædia Britannica, Inc.

- Versuche eine Nachrichtenübermittlung durch Morsen mit der Taschenlampe (beim Strich ist das Leuchten dreimal so lang wie beim Punkt).
- Schreibe einen Satz in Morsezeichen und mische die Zettel der Klasse und verteile sie neu und lasse jeden eine Nachricht entziffern.



Telegraphenlinien gebaut, die nicht der Eisenbahn, sondern der Schifffahrt dienten und Schiffe rechtzeitig im Hafen ankündigten. Die Strecken führten von Cuxhaven nach Hamburg und von Bremen nach Bremerhaven. Bei dieser elektromagnetischen Telegraphenverbindung wurden zum ersten Mal in Europa Schreibtelegraphen von Morse verwendet. Diese hatten erhebliche Mängel, weil die Einhaltung der erforderlichen Abstände in den Morsezeichen sehr große Schwierigkeiten bereiteten (es gab neben Punkten noch Striche unterschiedlicher Länge). Friedrich Clemens Gerke (1801–1888) verbesserte den Morsecode, indem er das System strikt auf zwei Zeichen reduzierte, nur Punkt und Strich. Diese Idee wurde international angenommen (vgl. Arbeitsblatt Morse-Code, S. 18).

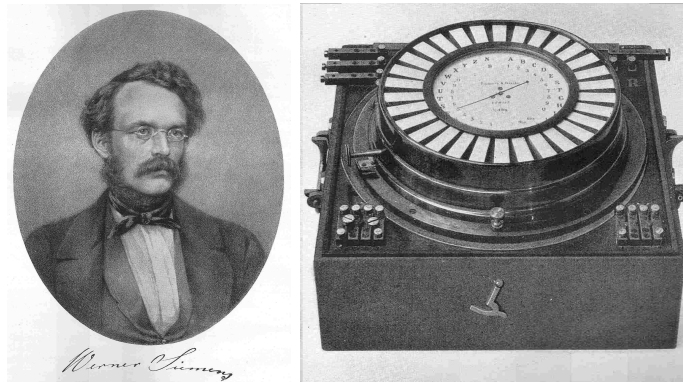


Abbildung 1.6:

Links: Werner von Siemens (1816–1892)

Rechts: Zeiger-Telegraph, Siemens (1847)

Feyerabend 1933a, S. 104. Feyerabend 1933a, S. 113.

Werner von Siemens (1816–1892) in Zusammenarbeit mit seinem Mechaniker Johann Georg Halske (1814–1890) verbesserte den Morse-Telegraphen und brachte 1846/47 einen Zeigertelegraphen mit elektromagnetischer Selbstunterbrechung heraus.¹⁰ Auf dieser basis gründeten sie am 12. Oktober 1847 die Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske in Berlin. 1848 erkannte Preußen die politische Bedeutung der Telegraphie und errichtete eine Staatstelegraphenlinie von Berlin zur Nationalversammlung in Frankfurt am Main als erste europäische Langstrecken-Telegraphenlinie. Ab 1851 wurde der Feueralarm in München und Berlin als Telegraphenlinie von Siemens & Halske installiert. Um die Leitungen besser auszunützen, erfand der österreichische Physiker Julius Wilhelm Gintl (1804–1883) die Zwei-Weg-Telekommunikation 1853 unter Verwendung von zwei Batterien; nun konnte in beide Richtungen gleichzeitig ein Signal gesandt werden. Er bekam dafür die Goldmedaille auf der Pariser Weltausstellung 1855.

Die letzte Stufe der Entwicklung war der Typendruck-Telegraph, entwickelt 1855 von Edward David Hughes (1831–1900); er wurde schnell international der Favorit und seine

¹⁰ Der Selbstunterbrecher diente dazu, die Stromimpulse von Signal zu Signal exakt zu trennen. Dadurch konnten Sende- und Empfangsapparat synchronisiert werden.

Nachfolgemodelle blieben bis 1938 im Einsatz. Nach der Reichsgründung wurde das Telegraphennetz staatlich und man begann 1876, es unterirdisch zu verlegen.

Bald durchzogen Freileitungen die Kontinente,¹¹ Kabel wurden durch die See verlegt. Schon 1840 hatte Charles Wheatstone (1816–1892) den Vorschlag gemacht, England durch ein Seekabel zwischen Dover und Calais mit dem Kontinent zu verbinden. Die Idee scheiterte an dem fehlenden Isoliermaterial, das unter Wasser nötig war. Das änderte sich etwa zehn Jahre später, als Guttapercha auf den Markt kam (1847), vorgeschlagen von Werner von Siemens. Die Gebrüder John Watkins Brett (1805–1863) und Jacob Brett (1808–1898) verlegten 1850 mit Hilfe des Raddampfers „Goliath“ das erste Seekabel der Welt durch den Ärmelkanal. Es handelte sich um einen 1,8 mm dicken Kupferdraht, der mit Guttapercha ummantelt und alle 100 m mit Bleiplatten beschwert war. Zwar hielt diese erste Verbindung nur einen Tag, doch das mit Stahldrähten bewehrte, 1851 verlegte Kabel bildete eine dauerhafte Verbindung für den Telegraphenverkehr von England mit dem Kontinent. Schon 1852 gab es Kabelverbindungen nach Skandinavien und von Italien über Korsika, Sardinien bis Afrika.

Das erste Transatlantik-Kabel zwischen England und Amerika mit 4650 km Länge wurde 1857 mit dem Kableschiff „Cyklop“ verlegt, und zwar von der Firma „Atlantic Telegraph Company“ der Gebrüder John und Jacob Brett, Cyrus West Field (1819–1892) und Charles Bright. Das Unternehmen misslang zunächst, weil das Kabel riss, beim dritten Versuch 1858 hielt es nach der Verlegung immerhin drei Wochen zum Telegraphieren von etwa tausend Worten. Unter der Beratung von William Thomson (Lord Kelvin) und Wheatstone gelang es schließlich 1866 beim zweiten Versuch mit der „Great Eastern“, dem damals größten Schiff der Welt als Kabelleger, die telegraphische Verbindung herzustellen und aufrechtzuerhalten und sogar das im Jahr zuvor zerrissene Kabel vom Meeresgrund zu heben und fertig auszulegen. Obwohl ein Telegramm von 25 Worten die für damals riesige Summe von 100\$ kostete, konnte die Gesellschaft schon drei Jahre später Gewinn machen.

Bis 1873 war ein weiteres Kabel verlegt worden, aber es konnte das internationale Nachrichtenbedürfnis nicht befriedigen. So entschloss sich die Firma Siemens, in das Geschäft der Kabelverlegung einzusteigen. Sie modernisierte eine eigene Guttapercha-Fabrik und sie ließ ein eigenes Schiff „Faraday“ zum Verlegen von Seekabeln bauen. 1874/75 gelang das Projekt mit dem Resultat einer guten Übertragungsqualität. Innerhalb der nächsten zehn Jahre folgten fünf weitere Transatlantik-Kabel; das Monopol der anglo-amerikanischen Konkurrenz war gebrochen.

1.2.2 Anfänge des Telefons

Die Entwicklung des Fernsprechers begann mit dem Belgier Charles Bourseul (1829–1912), der sich mit Experimenten zur elektrischen Übertragung der menschlichen Stimme beschäftigte. Seine Konstruktion von 1854 ähnelte dem späteren Mikrofon, aber die entsprechende Apparatur zum Empfang und Rückverwandlung zur Stimme gelang ihm nicht.

¹¹ Johannsen, H.R.: Eine Chronologie der Entdeckungen und Erfindungen. Berlin/Offenburg 1987.

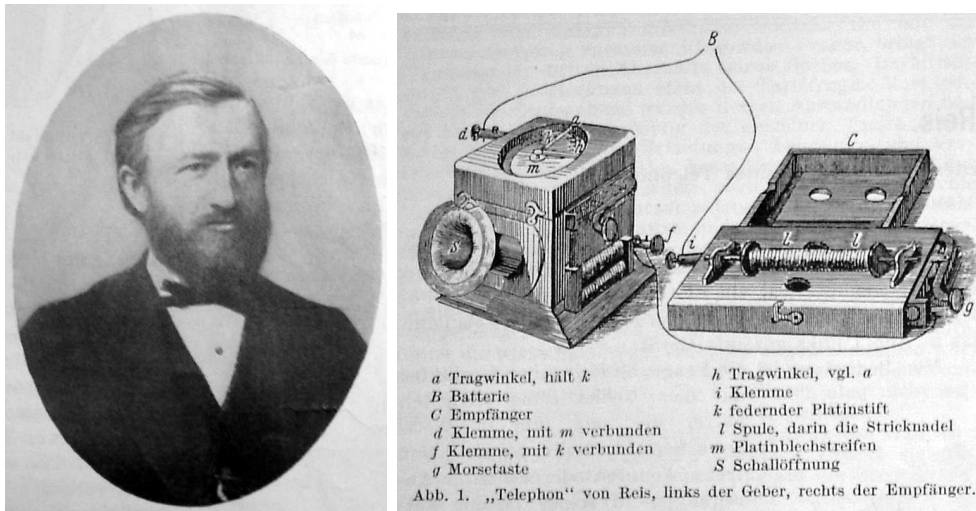


Abbildung 1.7:

Der Telefonapparat von Philipp Reis (1834–1874)

Philipp Reis. In: Elektrotechnische Zeitschrift 57 (1936), Heft 44, S. 1257–1258.

Der Physiklehrer Philipp Reis (1834–1874) übertrug in dem kleinen Taunusstädtchen Friedrichsdorf zum ersten Mal Musik und, wenn auch unvollkommen, die menschliche Stimme mit Hilfe der Elektrizität. Reis absolvierte eine Lehrzeit in einer Drogen- und Farbhandlung in Frankfurt am Main. Seine physikalischen Kenntnisse erwarb er sich hauptsächlich durch Selbststudium und im Physikalischen Verein in Frankfurt. Während seiner Tätigkeit als Physiklehrer am Garnierschen Institut in Friedrichsdorf beschäftigte er sich mit dem Telefon. 1861 konnte er seinen Apparat im Physikalischen Verein in Frankfurt mit Erfolg vorführen.¹² Als Sender benutzte er einen Holzkasten mit einer Membran, auf der ein Kontakt lose auflag. Als Hörer diente eine in eine Spule gesteckte Stricknadel auf einem Resonanzboden. Zur Einführung kam das Telefon in dieser Form nicht, es blieb ein interessanter physikalischer Versuch. Werner von Siemens erkannte die Bedeutung der Entwicklung, orientierte sich aber an der amerikanischen Entwicklung.

*„Werde wohl nächstens ein Telephonpatent beantragen. Wir sind mitten in den Versuchen, und ich glaube, wir werden Bell sehr bald übertreffen. Am besten geht noch immer das alte Berliner Weihnachtsmarkt-Telefon, zwei Waldteufel mit den Strippen zusammengebunden. ... Wir Esel haben zwar das Wunder des deutlichen Verstehens auf 60 Fuss und mehr Entfernung angestaunt, aber die Sache nicht verfolgt, auch dann nicht, als es Reis elektrisch zu machen versuchte.“*¹³

¹² Ein Ferngespräch mit einem Hamburger Freund folgenden Inhalts: Reis: „Die Pferde fressen keinen Gurkensalat.“ Antwort: „Das weiß ich längst, Sie alter Schafskopf!“

¹³ Zitiert nach: Philipp Reis. Zum 75. Geburtstag der ersten öffentlichen Vorführung seines Telefons im Physikalischen Verein zu Frankfurt a. M. In: Elektrotechnische Zeitschrift 57 (1936), Heft 44, S. 1257–1258.

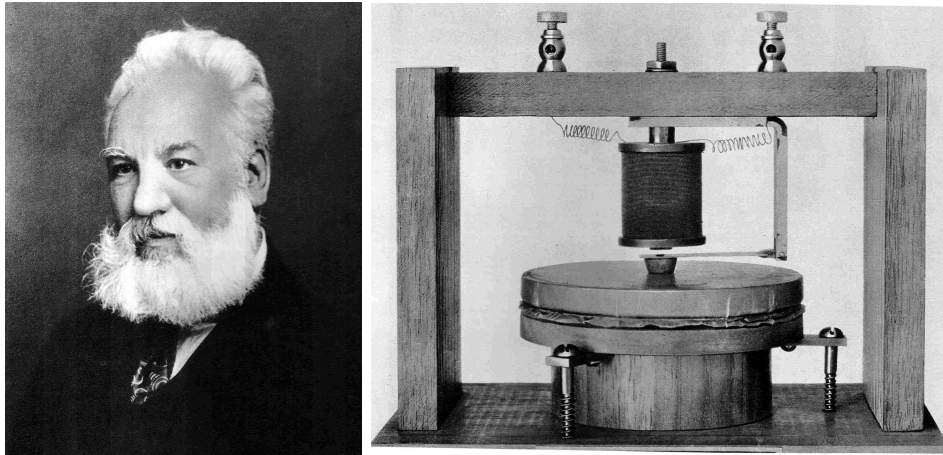


Abbildung 1.8:
Der Telefonapparat von Alexander Graham Bell (1847–1922)

Leprince-Ringuet 1951, S. 208–209.

Der Taubstummenlehrer Alexander Graham Bell (1847–1922) wollte zunächst die Schallwellen irgendwie sichtbar machen. Sein Telefon bestand aus einem trichterförmigen Mikrofon und einem Sprecher. Bell verbesserte das Telefon durch einen Stabmagneten, eine Spule und eine Eisenmembran, so dass man den Hörer abwechselnd zum Sprechen und Hören verwenden konnte. Er bekam 1876 ein Patent auf sein Telefon. Nur zwei Stunden später beantragte Elisha Gray (1835–1901) ein Patent auf ein ähnliches Gerät. Eine weitere Verbesserung geht auf Edward David Hughes (1831–1900) zurück, der das Kohlemikrophon 1878 erfand. Bell führte seine Erfindung auf der Weltausstellung in Philadelphia 1876 vor und es war eine Sensation. Er gründete die „Bell Telephone Company“; nach drei Jahren hatte er 50.000 Telefone installiert und war die größte Firma auf dem Markt, umbenannt in „American Telephone and Telegraph Company“.

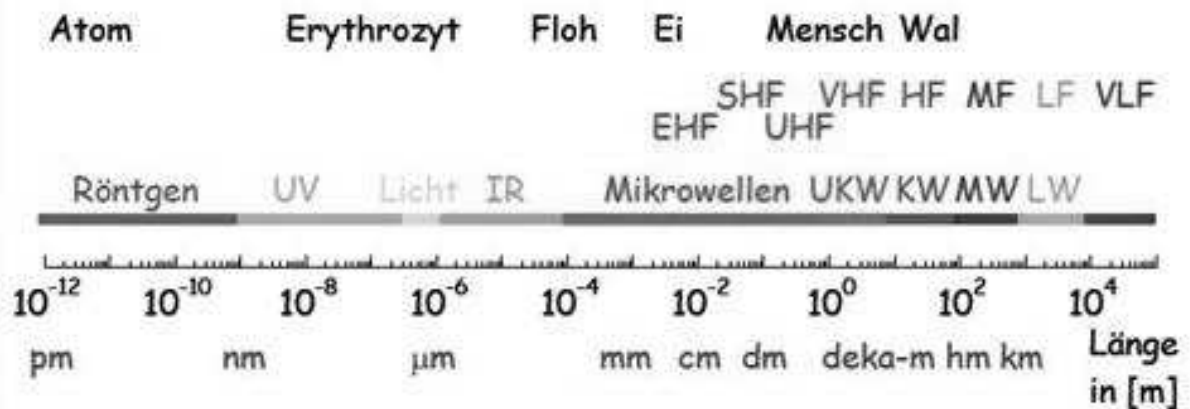
Mit Geräten von Bell begann auch Generalpostmeister Heinrich von Stephan (1831–1897) 1877 die Einführung der Fernsprecher in Deutschland. Von 1881 mit 458 Apparaten steigerte sich die Anzahl in einem Jahrzehnt schon auf über 15.000 Apparate (1890); das Leitungsnetz hatte eine Länge von 30.000 km. Das erste öffentliche Fernsprechamt wurde 1888 in Berlin errichtet: Siemens installierte die Vermittlungsstelle. Bereits nach einem Jahr waren schon 458 Teilnehmer, insbesondere Geschäftshäuser und Banken, an das Ortsnetz angeschlossen. Seit 1892 wurde beim Telefon noch die Wählscheibe eingeführt, was selbstständiges Telefonieren – ohne Fräulein vom Amt zur Vermittlung – ermöglichte. 1900 gab es 52.661 Telefone, 1919 bereits 310.660 Telefone.

1.2.3 Schallwellen – Lichtwellen – elektromagnetische Wellen

Unter dem Begriff Welle versteht man in der Physik eine einmalige bzw. periodisch wiederkehrende Störung von Teilchen eines Mediums oder die Störung physikalischer Felder (vgl. Arbeitsblatt Schallwellen – Lichtwellen – elektromagnetische Wellen, S. 23). Mecha-

Schallwellen - Lichtwellen - elektromagnetische Wellen

1. Nennen Sie Beispiele für Geräte,
die auf elektromagnetischen Wellen basieren!



Elektromagnetisches Spektrum, Wellenlängen im Vergleich zu Objektgrößen
Links: Mikrokosmos, Rechts: Makrokosmos

2. Wer war Heinrich Hertz? Tragen Sie Informationen zu Leben und Werk zusammen! Gibt es Erinnerungen an ihn in Hamburg?

Die Einheit der Frequenz ist das Hertz, wobei ein Hertz einer Schwingung pro Sekunde entspricht. Mit unserem Ohr können wir zwischen 15 und 20.000 Hertz wahrnehmen. Man kann Schallwellen in elektrische Wellen umsetzen und umgekehrt, das geschieht z. B. beim Mikrophon oder Telefon.

3. Erklären Sie die Begriffe Stethoskop und Sonar!

Schwingungen von Saiten und Stäben können sichtbar gemacht werden; das gelang dem deutschen Physiker Ernst Chladni (1756-1827) um 1800.

4. Erzeugen Sie Chladnische Klangfiguren!

Bei diesem Experiment bestreuen Sie eine dünne Metallplatte mit Sand und setzen sie in Schwingung, indem Sie die Platte an einer Kante mit einem Geigenbogen streichen oder mit einer schwingenden Stimmgabel berühren.

nische Wellen (z. B. Erdbeben- oder Meereswellen), aber auch Schallwellen, brauchen ein Medium, während sich elektromagnetische Wellen auch im Vakuum ausbreiten können. Wellen können sich nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten. Je nach Schwingungsrichtung unterscheidet man zwei Wellenarten:

- Bei Längs- oder Longitudinalwellen sind Schwingungs- und Ausbreitungsrichtung parallel zueinander, z. B. gibt es bei Schallwellen eine Verdünnung und Verdichtung der Luft. Die Schallgeschwindigkeit beträgt bei Normaldruck (1 bar=1013 hPa) und einer Temperatur von 0°C in Luft 331 m/s).
- Bei Quer- bzw. Transversalwellen steht die Schwingungs- und Ausbreitungsrichtung senkrecht aufeinander wie z. B. bei elektromagnetische Wellen (auch Licht). Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum liegt bei 300.000 km/s. Bei Experimenten lassen sich mit Licht- und elektromagnetischen Wellen folgende Phänomene beobachten: Reflexion und Brechung, Beugung und Polarisation.¹⁴

In der Tabelle (Abb. 1.9) werden Anwendungen der elektromagnetischen Wellen vorgestellt.¹⁵

1.2.4 Drahtlose Telegraphie und Rundfunk

Der britische Physiker William Edward Ayrton (1847–1908) prophezeihte im Jahr 1889:

*Einst wird kommen der Tag, wenn wir alle vergessen sind, wenn Kupferdrähte, Guttaperchahüllen und Eisenband nur noch im Dunkel der Museen ruhen, da wird das Menschenkind, das mit dem Freund zu sprechen wünscht und nicht weiß, wo er sich befindet, mit elektrischer Stimme rufen, die allein nur jener hört, der das gleichgestimmte elektrische Ohr besitzt. Er wird rufen: 'Wo bist Du?' und die Antwort erklingen in sein Ohr: 'Ich bin in der Tiefe des Bergwerks, auf dem Gipfel der Anden oder auf dem weiten Ozean'. Oder vielleicht wird auch keine Stimme antworten, und dann weiß er: Sein Freund ist tot.'*¹⁶

Das Jahr 1897, in dem es Marconi gelang, eine Funkverbindung über 5,5 km herzustellen, und die Erteilung eines Patents kann als Geburtsjahr der drahtlosen Telegraphie mit elektromagnetischen Wellen angesehen werden.

¹⁴ Empfehlenswerte Web-Links zum Thema Wellen:

<http://www.nt.fh-koeln.de/fachgebiete/nf/html/wellen.html>

<http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/welle01.html>

<http://www.pakma.riemenschneider-gymnasium.de/physik/physik.htm>

¹⁵ Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): Röntgenstrahlen: Entdeckung, Wirkung, Anwendung. Zum 100. Jubiläum der Entdeckung der X-Strahlen. (Mitautoren: A. Brachner, M. Eckert, M. Blum) München: Deutsches Museum (Beiträge zur Technikgeschichte für die Aus- und Weiterbildung) 1995. Zu Röntgenstrahlen empfiehlt sich zudem folgende Web-Seite: „Werkstatt Röntgen für Kids“

<http://www.werkstatt-roentgen.de/>

¹⁶ <http://www./Handy/10-u49-325-welttelephonie.html> (18.1.2007)

Frequenz	Wellenlänge	Name	Anwendungen
3-30 kHz	100-10 km	Längstwellen, VLF	Überseetelegrafie, Fernnavigation, Boden-Untersee-Verbindungen
30-300 kHz	10-1 km	Langwellen, LF	Presse- und Wetterdienst, Rundfunk (ab ~ 150 kHz)
0.3-3 MHz	1-0.1 km	Mittelwellen, MF Grenzwellen	Rund-, Schiffs-, Flugfunk (Telegrafie) Tropenrund-, Küstenfunk (Telefonie)
3-30 MHz	100-10 m	Kurzwellen, HF	Rund-, Flug-, Amateurfunk, Übersee-Telegrafie u. Telefonie
30-300 MHz	10-1 m	UKW, VHF	Rundfunk, TV, Mobil-, Flugfunk, Telemetrie, Telekommando (Sat.)
0.3-3 GHz	1-0.1 m	Mikrowellen, UHF	TV, Richt-, Mobil-, Flugfunk, Radarortung
3-30 GHz	10-1 cm	Mikrowellen, SHF	Richt-, Sat.-Funk, Radarortung
30-300 GHz	10-1 mm	mm-Wellen, EHF	Radarortung, Richtfunk (nah)
0.3-3 THz	1-0.1 mm	sub-mm-Wellen	Radarortung (nah)
3-400 THz	100-0.8 μm	Infrarot	IR- und optische Nachrichtentechnik

Abbildung 1.9:

Tabelle: Elektromagnetische Wellen: Frequenzen, Wellenlängen und Anwendungsbereiche

http://www.tu-ilmenau.de/fakei/fileadmin/template/fg/km_hmt/div/Vorlesungen/Elektromagnetische_Wellen/emw_folien.pdf

Doch zunächst soll der Blick zurückführen auf die vorangegangene Theorie-Entwicklung. James Clerk Maxwell (1831–1879), seit 1871 Professor in Cambridge, war ein glänzender Theoretiker. Er hat wesentlich zur Aufstellung der kinetischen Gastheorie beigetragen. Seine größte Leistung gelang ihm auf dem Gebiet der Elektrizität. Maxwell entwickelte eine neue mathematische Schreibweise, die es ihm gestattete, alle damals bekannten Gesetzmäßigkeiten der elektromagnetischen Erscheinung wesentlich kürzer und übersichtlicher zu fassen. Dabei entdeckte er, dass die Gleichungen sich widersprachen. Er ergänzte eine der Gleichungen durch einen Zusatzterm und konnte damit diese Inkonsistenz beheben. Das Erstaunliche war, dass er aus diesen, durch einen einzigen Ausdruck ergänzten theoretischen Gleichungen theoretisch die Existenz elektromagnetischer Strahlung schließen konnte. Diese sollte sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Maxwell postulierte, dass Licht ebenfalls elektromagnetische Strahlung sei. Es war ihm nicht vergönnt, die experimentelle Bestätigung seiner genialen Hypothesen durch Heinrich Hertz im Jahre 1888 zu erleben. Maxwells vier Gleichungen beschreiben alle bis heute bekannten elektromagnetischen Phänomene in vollkommener Weise.¹⁷

Angeregt durch seinen Lehrer Hermann von Helmholtz (1821–1894) befasste sich Heinrich Hertz (1857–1894) mit Untersuchungen über das elektromagnetische Feld. Es gelang

¹⁷ O’Hara, James G.; Pricha, W.: Hertz and the Maxwellians. London: Peregrinus 1987.

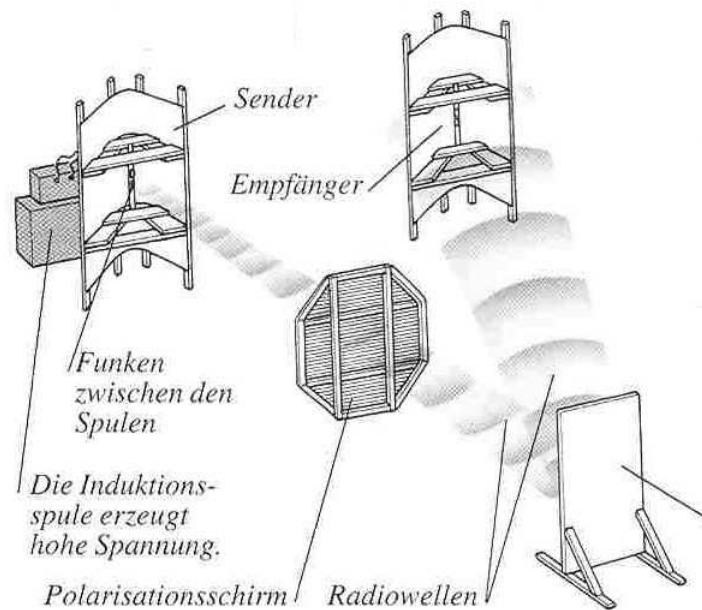


Abbildung 1.10:
Experiment von Heinrich Hertz (1857–1894)
zur Polarisation der elektromagnetischen Wellen (1887)

ihm, die von der Maxwell'schen Theorie geforderte Existenz elektromagnetischer Wellen experimentell zu bestätigen. Seine bahnbrechenden experimentellen und theoretischen Arbeiten zwischen 1887 und 1890 hat er in einem Band zusammengefasst mit dem Titel: *UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE AUSBREITUNG DER ELEKTRISCHEN KRAFT* (Band 2 der *Gesammelten Werke*). Zur Erzeugung der Schwingung und Strahlung diente ihm ein Oszillator mit Kugeln an den Enden und einer Funkenstrecke in der Mitte, angeregt durch einen Funkeninduktor. Mit Hilfe einer stehenden Welle bestimmte er die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen und fand für den freien Raum die von Maxwell geforderte Lichtgeschwindigkeit. Durch Nachweis von Reflexion, Brechung und Polarisation schloss er auf den Charakter als transversale Wellenbewegung. Diese Entdeckung war der Ausgangspunkt der drahtlosen Telegraphie, welche später durch Guglielmo Marconi und Ferdinand Braun (1850–1918) entwickelt wurde und eine große technische Bedeutung erlangte.

Im Bestreben von Hertz, aus physikalischen Theorien alle nicht direkt beobachtbaren Größen zu eliminieren und nur mathematisch formulierbare Größen in ihrer Beziehung zuzulassen, entwickelte Hertz eine Mechanik ohne Kraftbegriff. Diese hat wegen ihres erkenntnistheoretischen Wertes große Beachtung in der Wissenschaftstheorie gefunden, ohne aber die Entwicklung der Physik zu beeinflussen. Hertz, der zunächst Professor der Physik an der Technischen Hochschule Karlsruhe war, wurde 1889 als Nachfolger von Rudolf Clausius (1822–1888) an die Universität Bonn berufen. Mit den Hertz'schen

Wellen war auch Maxwells elektromagnetische Lichttheorie bestätigt. Das Licht besteht auch aus transversalen Wellen und hat nur eine sehr viel kleinere Wellenlänge. Damit hatte man erkannt, dass die Optik ein Teilbereich der Elektrizitätslehre ist. Damit gliederte sich die klassische Physik nur noch in zwei große Teilbereiche:

- Mechanik mit Akustik und Wärmelehre
- Elektrizitätslehre mit Magnetismus und Optik.

Eine wichtige Voraussetzung für die drahtlose Telegraphie lieferte Edouard Branly (1844–1940), der 1890 den Hertzschen Empfänger verbesserte, indem er die Mikrofunkenstrecke durch eine Glasröhre ersetzte; diese wird Fritter (Kohärer) genannt und wird mit Metallspänen gefüllt, deren Widerstand durch die elektromagnetische Welle verändert wird (Zusammenbacken der Späne). Alexander Stepanowitsch Popow (1859–1905), Lehrer für Physik an der Torpedoschule in Kronstadt bei St. Petersburg, nahm eine Antenne, die er für Gewittermessungen gebaut hatte, zum Empfang elektrischer Wellen. 1897 sandte er über eine Entfernung von 5 km das erste drahtlose Telegramm mit dem Wortlaut „Heinrich Hertz“. Prof. Augusto Righi (1850–1920) in Bologna gelang es ab 1890, mit Funkensystemen noch kürzere Wellen zu erzeugen, in Richtung der Lichtwellenlängen.



Abbildung 1.11:

Links: Marconis erster Sender für die drahtlose Telegraphie (1894)

Rechts: Großfunkstelle Nauen bei Berlin,
gegründet 1906 von Georg Graf von Arco (1869–1940)

Leprince-Ringuet 1951, S. 221.

Guglielmo Marconi (1874–1937) konnte 1894 erstmals drahtlos Signale über drei Kilometer übertragen. 1899 schickte er das erste Telegramm über den Ärmelkanal (51 km), 1901/02 über den Atlantischen Ozean (3600 km). In London gründete er die „Marconi Wireless Telegraph Company“. Ab 1902 wurde auf Ozeanschiffen der Funk mit Morsecode weltweit eingeführt. Mit der Überbrückung des Atlantiks war auch die Meinung vieler Wissenschaftler widerlegt, dass sich Funkwellen nur geradlinig ausbreiten und sie nicht der Erdkrümmung folgen würden – bei Langwellen ist das aber der Fall.

Adolf Slaby (1849–1913) war bei Marconis Vorführung anwesend und begann 1897 mit Unterstützung des Kaisers eigene Versuche bei Berlin.¹⁸ Seine bis zu 300 m langen Antennen hingen an Fesselballonen einer Heeres-Luftschifferabteilung, überbrückt wurden 21 km. Wie Marconi arbeitete Slaby bei seinen ersten Anlagen noch ausschließlich mit dem offenen Schwingkreis (Funkstrecke direkt in der Antenne), dessen leistungsbestimmende Kapazität von Antenne und Erde gebildet wird. Die Wellenlänge betrug etwa $4 \times$ Antennenhöhe, bei 300 m langen Drähten also rund 1200 m (Langwelle), entsprechend 250 kHz. Verschiedene Verbesserungen gelangen mit seinem Assistenten Georg Graf von Arco (1869–1940).¹⁹ Seit 1898 war er als Ingenieur bei der AEG tätig; nach dem Zusammenschluss von AEG und Siemens & Halske wurde er 1903 technischer Direktor bei „Telefunken“. In Deutschland kam 1899 die Funkverbindung Cuxhaven mit dem Feuerschiff „Elbe I“ zustande. 1901 gelang es Slaby und Arco 150 km zwischen dem Schnelldampfer Deutschland der HAPAG und der Hafestation Duhnen (Cuxhaven) bei nur 32 m Masthöhe einwandfrei mit Fritttern und Morseschreibern zu überbrücken. Anfang 1902 waren bereits etwa 30 Kriegsschiffe mit Slaby-Arco-Funk-Anlagen ausgerüstet, desgleichen entstanden an der Nordsee- und der Ostseeküste weitere Marine-Stationen.

Die Nachrichtenübertragung per Funk wurde in Zusammenhang mit dem Schiffsverkehr stark weiterentwickelt. Wettervorhersagen und Funkverbindungen erhöhten die Sicherheit. 1908 wird das internationale Seenotrufzeichen SOS verbindlich eingeführt. Im Ersten Weltkrieg spielte Funk und sogar mobile Nachrichtenübertragung bereits eine bedeutende Rolle.²⁰

Für das deutsche Funkwesen und die drahtlose Telegraphie war die brandenburgische Stadt Nauen bei Berlin der Mittelpunkt der Welt.²¹ Hier wurde am 19. August 1906 die Großfunkstelle für drahtlose Telegraphie in Betrieb genommen, ein großes Sendezentrum für Lang- und Kurzwelle mit Masten von 250 m Höhe. Gebaut wurde die Anlage, um Telegramme über weite Strecken ohne Kabel übertragen zu können; man wollte sogar Funkkontakt zu den deutschen Kolonien in Afrika und Asien. 1913 wurden bereits Reichweiten bis 6400 km erreicht. Im Ersten Weltkrieg hatte die Funkstelle auch militärische Bedeutung. Mit dem 250 m hohen Sendemast gelingt es dem Sender Nauen 1918 erstmals, die Erde mit Funktelefonie zu erschließen. Zeitzeichen unterstützen die Navigation. 1876 wurde auf dem Kaispeicher A am Kaiserkai südlich der Kehrwiederspitz im Hamburger Hafen eine Zeitball-Anlage errichtet, die bis 1934 in Betrieb war. Diese Anlage konnte von der Sternwarte aus durch ein unterirdisch verlegtes Kabel gesteuert werden

¹⁸ Slaby, Adolf: Die Funkentelegraphie, Berlin 1901.

¹⁹ Fuchs, Margot: Georg von Arco (1869–1940) – Ingenieur, Pazifist, Technischer Direktor von Telefunken. Eine Erfinderbiographie. Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Berlin und München Diepholz 2003.

²⁰ Friedewald, M.: Telefunken und der deutsche Schiffsfunk 1903–1914. In: Zeitschrift für Unternehmensgeschichte 46 (2001), Nr. 1, S. 27–57. Scholl, Lars Uwe: Marconi versus Telefunken: Drahtlose Telegraphie und ihre Bedeutung für die Schifffahrt. In: Bayerl, G. und W. Weber (Hrsg.): Sozialgeschichte der Technik. Ulrich Troitzsche zum 60. Geburtstag. Münster: Waxmann (Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, 7) 1997.

²¹ Reinhard Klein-Arendt: Die Funkstation Nauen bei Berlin. In: Ulrich van der Heyden, Joachim Zeller (Hrsg.): ... Macht und Anteil an der Weltherrschaft. Berlin und der deutsche Kolonialismus. Münster: Unrast-Verlag 2005. Siehe auch <http://de.wikipedia.org/wiki/Nauen>.

– zunächst direkt durch den Druck einer Taste durch die Astronomen in der Sternwarte am Millerntor, ab 1899 automatisch durch elektrische Kontakte an der Pendeluhr. Das Kontakt-Uhrwerk der Hamburger Sternwarte steuerte nicht nur den Hamburger Zeitball, sondern auch die Zeitbälle in Bremerhaven und Cuxhaven. Der moderne Zeitdienst ist markiert durch die Einführung des telefonischen Zeitsignals – 1907 eingeführt und als »Alster 10.000« permanent abrufbar. Die drahtlose Telegraphie brachte einen großen Fortschritt bei der Übermittlung von Zeitsignalen. 1911 wurde bereits eine drahtlose Empfangsstation eingerichtet. Das Hauptsignal »ONOGO«, benannt nach den übermittelten Morsezeichen, war 1912 auf der internationalen Zeitsignalkonferenz in Paris festgelegt worden. 1917 begann die Sternwarte auf Wunsch des Reichs-Marine-Amtes mit der Aussendung der ersten funktelographischen Zeitzeichen mit automatisch arbeitenden Zeitsignalgeber. Schon ab Nov. 1919 wurde die lange kontinuierliche Tradition der Sternwarte in der Steuerung der Zeitsignale abgelöst, die Funkzeitzeichen wurden von der Deutschen Seewarte gesteuert und ab 1917 von der Großfunkstelle Nauen ausgesendet.

Im Sommer 1915 begann ein junger Ingenieur der „American Telephone and Telegraph Company“ in der Marinestation bei Honolulu mit einer drahtlosen Empfangsstation in einer Schiffswerft den Funksender in der Sendestation Arlington (Virginia) abzuhören.²² Das war der Anfang des Seefunks.

Das Wort „Telekommunikation“ bezeichnet die Zusammenfassung von Telegraphie und Telefonie und wurde 1904 von dem französischen Nachrichtentechniker Edouard Estaunié (1862–1942) eingeführt (Traité de communication électrique).

Folgende Anekdote ist ein guter Einstieg in das Thema drahtlose Telegraphie: Einstein fragte einmal einen Studenten:

„Können sie mir wohl die drahtlose Telegraphie erklären, ohne dabei Fachausdrücke zu benutzen?“ – Der junge Mann konnte es nicht, und Einstein sagte: „Stellen sie sich einmal einen Dackel vor, der von New York bis London reicht. Wenn sie ihn in New York in den Schwanz zwicken, dann jault er in London. Sehen sie, genauso ist die drahtlose Telegraphie, nur ohne Dackel!“

Im Jahr 1927 gab es auch schon die erste öffentliche drahtlose Fernsprechverbindung über den Atlantischen Ozean, zwischen London und New York, allerdings kostete damals ein Dreiminutengespräch rund dreihundert Reichsmark. Im November 1927 gelangen auch Probegespräche zwischen Hamburg und Buenos Aires über fast zwölftausend Kilometer ausgezeichnet. Transkontinentale Kommunikation erfordert neben dem nachrichtentechnischen Know-how auch das Zusammenspiel unter anderem von Geologie, Meteorologie (Wellenausbreitung bzw. Reflexion in der Ionosphäre – Heaviside-Schicht) und Verkehrswesen.

Wenden wir uns kurz der Entwicklung des Rundfunks zu, einer wichtigen Folge der drahtlosen Telegraphie. Im Jahre 1887 prophezeite der amerikanische Schriftsteller Edward Bellamy (1850–1898), im Jahre 2000 würden die Menschen befähigt sein, bei sich

²² Das Neue Universum, Band 56 (1935).

zu Hause durch einen einfachen Hebeldruck irgendein Konzert oder eine Theateraufführung mitanzuhören, wenn sie dazu Lust verspürten. Diese Erfindung kam viel schneller als gedacht. 1906 strahlte der Sender von Reginald Aubrey Fessenden versuchsweise die erste Radiosendung aus. 1910 erfolgte eine erste Übertragung von Enrico Caruso (1873–1921) aus der Metropolitan Opera in New York. Die erste deutsche Versuchs-Radioübertragung fand am 22. Dezember 1920 in Königs Wusterhausen statt.²³ Aus dem Voxhaus in Berlin, Potsdamer Str. 4, wurde am 29. Oktober 1923 die erste regelmäßige deutsche Rundfunksendung „Funkstunde“ ausgestrahlt. Danach hatte die Reichspost 1923 erlaubt, Radiostationen in Berlin, Leipzig, München und Hamburg zu errichten. 1927 wurde der Berliner Funkturm eingeweiht; hier befand sich das Haus der Deutschen Funkindustrie. Zur Eröffnung der Rundfunkausstellung 1930 hielt Albert Einstein am 28. August die Eröffnungsrede:

„Wenn Ihr den Rundfunk höret, so denkt auch daran, wie die Menschen in den Besitz dieses wunderbaren Werkzeuges der Mitteilung gekommen sind. Der Urquell aller technischen Errungenschaften ist die göttliche Neugier und der Spieltrieb des bastelnden und grübelnden Forschers und nicht minder die konstruktive Phantasie des technischen Erfinders.“²⁴



Abbildung 1.12:

Links: Albert Einstein (1879–1955)
 bei seiner Eröffnungsrede der Rundfunkausstellung Berlin 1930
 Rechts: Frau beim Radiohören mit Kristalldetektor

<http://www.olderadioworld.de/voxd.htm>

Foto im Museum für Kommunikation Nürnberg: Gudrun Wolfschmidt

²³ Hier ist Königswusterhausen auf Welle 2700. Herausgegeben vom Förderverein ‘Sender Königs Wusterhausen e.V.’. Hallo! Hallo! Hier Eberswalde! Herausgegeben vom Museum in der Adlerapotheke Eberswalde.

²⁴ <http://www.olderadioworld.de/voxd.htm>

Die Röhrenempfänger für ein Rundfunkgerät waren sehr teuer. Als kostengünstige Variante gab es in den 20er Jahren die Kristalldetektoren,²⁵ erfunden von Karl Ferdinand Braun (1850–1918) 1874. Diese höchst einfache Apparatur ermöglichte mittels eines Kopfhörers den Empfang von Sprache und Musik, ein Vorläufer der Rundfunktechnik. Der Kristall-Detektor-Empfänger hat keine Batterie, die Energie liefert die empfangene elektromagnetische Welle. Empfänger ist eine drehbare Spule. Durch den Kristalldetektor findet eine Gleichrichtung statt, und über den Kopfhörer gelangt Sprache und Musik des Radiosenders ins Ohr. Der Kristalldetektor besteht aus einem Pyrit- oder Bleiglanzkristall, auf den eine Metallspitze aufgedrückt wird.

Die nächsten Schritte, die Röhren- und Transistorradios werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

1.3 Röhren- und Transistortechnik

Ferdinand Braun (1850–1918) hat als Professor der Physik an den Universitäten in Karlsruhe, Tübingen und später in Straßburg gewirkt. Er verbesserte die drahtlose Telegraphie, indem er den Schwingkreis von der Antenne trennte. In Anerkennung seiner Verdienste um die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie erhielt er 1909, zusammen mit Guglielmo Marconi, den Nobelpreis für Physik.

In einer Arbeit aus dem Jahre 1897 beschrieb Ferdinand Braun eine Methode zur Untersuchung des zeitlichen Verlaufs variabler Ströme, welche die Ablenkbarkeit von Kathodenstrahlen durch magnetische Felder verwendet. Diese Methode wurde zur Grundlage des Kathodenstrahl-Oszillographen. Der Elektronenstrahl trifft auf eine Leuchtschicht, die im wesentlichen aus Bariumoxiden besteht, und erzeugt dort einen Leuchtpunkt. Manfred Baron von Ardenne (1907–1997) wies darauf hin, dass das Verfahren auch für die Wiedergabe von Fernsehbildern geeignet ist. Die zeilen- oder bildweise Ablenkung des Elektronenstrahls erfolgt elektrostatisch oder elektromagnetisch. In der durch Brauns Schüler Jonathan Zenneck (1871–1959) verbesserten Form hat die Kathodenstrahlröhre als Mittel der Bildzerlegung in der heutigen Fernsehtechnik eine enorme praktische Bedeutung erlangt.

Im 20. Jahrhundert begann die Elektronik-Ära mit Röhren, Gleichrichtern, Verstärkern usw.. Ein erstes elektronisches Musikinstrument, das Theremin (Ätherophon) wurde 1919 vom russischen Physiker Leon Theremin (Lev Sergejevich Termen) (1896–1993) erfunden (vgl. Arbeitsblatt mit Bauanleitung, S. 32).²⁶

Zwar begann in den 1930er Jahren das Fernsehen (Berlin 1931), doch bis in die 60er Jahre war das Radio das verbreitetste Unterhaltungs- und Informationsmedium, wurde dann aber vom Fernsehen allmählich abgelöst.

²⁵ <http://www.r-a-d-i-o-s.de/20/det.html>

²⁶ Das Theremin bietet eine gute Möglichkeit für fächerverbindendes Lernen; der Kontext des Theremins gibt Einblicke in Kultur-, Technik- und Politikgeschichte; in der Musik kann man interaktive Medienkunst besprechen und praktizieren und in der Physik können Themenfelder wie Radiotechnik, elektromagnetische Schwingungen und Schwebungen diskutieren.

Aetherophon. In: Gurlitt, Wilibald und Eggebrecht; Riemann, Hans Heinrich: Sachlexikon der Kunst. Mainz (12. Auflage) 1967, S. 10. Donhauser, Peter: Elektrische Klangmaschinen. Wien: Böhlau 2007.

Theremin (Ätherophon) – das erste elektronische Musikinstrument



1. Wer war Leon Theremin (Lev Sergejevich Termen) (1896-1993)?

Das Theremin (1919 in Moskau entwickelt) besteht aus zwei Antennen, die an einem Resonanzkörper befestigt sind. Das Instrument enthält für die Einstellung von Tonhöhe und Lautstärke je zwei Schwingkreise. Es wird berührungslos gespielt; nur durch Handbewegungen greift man in diese Felder ein; aufgrund der elektrischen Kapazität des menschlichen Körpers ändern sich die Frequenzen der Schwingkreise. Diese werden in Töne umgesetzt. Die rechte Hand beeinflusst die Tonhöhe, die linke Hand die Lautstärke.

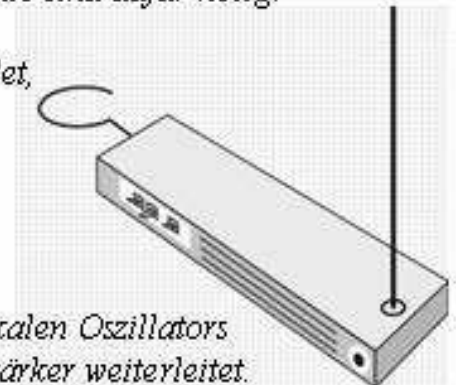
2. Fertigen Sie ein Theremin an und versuchen Sie Musik zu erzeugen!

Unter dieser Web-Adresse findet sich eine Bauanleitung:

<http://netzspannung.org/learning/iswdh/theremines/>

Ein LötKolben und folgende elektronische Bauelemente sind dafür nötig:

- Stromzufuhr und -umwandlung.
- ein variabler Oszillator, der Schwingungen aussendet, deren Stärke und Frequenz durch zwei Regler (sog. Potentiometer) verändert werden können.
- ein lokaler Oszillator, der mit der Antenne in einem elektromagnetischen Schwingungsfeld verbunden ist.
- ein Mixer oder Filter, der die Schwingungen des lokalen Oszillators mit denen des variablen mischt und sie an den Verstärker weiterleitet. So werden sie am Lautsprecher hörbar.



Das Theremin wurde in der Filmmusik eingesetzt, z. B. für die Titelmelodie von Raumschiff Enterprise, aber auch in der Konzert- oder Rockmusik (z. B. Jean-Michel Jarre, Led Zeppelin).

3. Suchen Sie weitere Beispiele für die Verwendung eines Theremins?

Individuell einsetzbare Speichermedien – wie Kassetten-, Video- und DVD-Rekorder, machen zeitversetztes Hören und Sehen möglich. Satelliten, Breitbandkabel und Digitalisierung ermöglichen weltweiten Empfang rund um die Uhr.

1.4 Mobiltelefon und Handy – das mobile Zeitalter

Die Entwicklung vom Mobiltelefon zum Handy soll nun in drei Schritten vorgestellt werden: das ABC-Netz, GSM und UMTS, die in verschiedenen Frequenzbereichen arbeiten.

Das Mobiltelefon nahm seinen Anfang als Zugtelefon der Deutschen Reichsbahn 1918 auf der Strecke Berlin-Marienfelde – Zossen und wurde dann am 1923 auf der Strecke Berlin – Hamburg eingesetzt.²⁷ Die Öffentlichkeit träumte um diese Zeit bereits von einem Bildtelefon.



Abbildung 1.13:

Bildtelefon, Utopie um 1930 – Drahtloses Privattelefon und Fernsehen

„Jeder hat nun sein eigenes Sende- und Empfangsgerät und kann sich auf einer bestimmten Welle mit Bekannten und Verwandten unterhalten. Aber auch die Fernseh-Technik hat sich so vervollkommen, dass man dem Freunde gleichzeitig ins Angesicht schauen kann. Sende- und Empfangsgerät sind nicht mehr an den Ort gebunden, sondern werden in einem Kasten von der Größe eines Photoapparates immer mitgeführt.“

Aus dem schönen Echte Wagner Album Nr. 3; Serie Nr. 12; Bild Nr. 4; Zukunftsfantasien.
(Sammelkarte eines Margarineherstellers)

In den 30er- und 40er-Jahren aktivierte man die Forschungen im Mittel- und Kurzwellenbereich. Aber erst nach dem Zweiten Weltkrieg, in den 50er Jahren, gelang die Entwicklung des UKW-Funks. Das weltweit erste Mobilfunknetz gab es in den USA im Jahre 1946. Allmählich baute man auch in Deutschland lokale Netze auf, das A-, B- oder C-Netz;²⁸ diese wurden zunächst für Rettungsdienste, Polizei und Militär genutzt, in nur geringem Umfang für zivile Zwecke freigegeben.

²⁷ Das Neue Universum, Band 46 (1925).

²⁸ Der Abschied vom ABC – Eine Zeitreise zu den wichtigsten Stationen. Eine Broschüre der „T-Mobil“.

- Für das A-Netz (1958–1977) (150 MHz-Frequenzbereich) gab es als Standardgerät „TeKaDe – B72“ mit viel Röhrentechnik und 16 kg Gewicht zum Preis von 15.000 DM, etwa das Dreifache eines VW Käfers; die monatliche Grundgebühr lag bei etwa 60 bis 270 DM; man vergleiche das mit dem Monatsgehalt eines Facharbeiters von 600 DM. Dieses A-Netz war wegen der hohen Kosten praktisch nur bei Managern oder Politikern verbreitet (etwa 10.000 Teilnehmer). Die Vermittlung geschah noch durch das Fräulein vom Amt und das Gespräch musste beendet werden, wenn man den Funkbereich verließ.
- Das B-Netz (1972–1994) wurde 1972, im Jahr der Olympischen Spiele in München, vorgestellt. Damit konnte man immerhin schon selbst wählen und musste nicht vermittelt werden. Man musste aber den Aufenthaltsort des Angerufenen wissen, da es für jedes Gebiet eine andere Vorwahl gab (z. B. 0611-05-Rufnummer für einen Teilnehmer der sich im Bereich Frankfurt aufhielt). Bis zu 27.000 Teilnehmer hatte das Netz; die Mobiltelefone wurden aufgrund der einziehenden Halbleitertechnik kleiner und handlicher. Ab 1974 gab es in Österreich das B-Netz; ab 1975 wurde in der Schweiz das Nationale Autotelefonnetz (Natel) eingeführt.
- Das C-Netz (1985–2000) (450 MHz-Frequenzband) – für Deutschland und Österreich – war wesentlich moderner, eingeführt auf der Internationalen Funkmesse 1985. Da es sich um ein zelluläres System handelt mit einer Vielzahl von Basisstationen, war eine wesentlich geringere Sendeleistung erforderlich; wegen des geringeren Stromverbrauchs (geringere Akkukapazität) konnten nun kleinere Geräte (Portable) entwickelt werden. Ein Beispiel ist das C-Netz-Festeinbaugerät „Siemens C1“ von 1985 mit einem Gewicht von 6,42 kg. Einige Jahre später kam das „mini-porty“, ein C-Netz-Mobilphon von Philips (1992) mit einem Gewicht von nur 625 g auf den Markt – ein wichtiger Schritt in Richtung auf das Handy. Neue Techniken wie HLR (Home Location Register) und das sogenannte „Handover“ ermöglichen nun den Wechsel der Zellen ohne Abbruch der Gespräche und jeder Teilnehmer hat seine feste Nummer mit Vorwahlen von 0160 und 0161. Nun konnten auch Daten mit Geschwindigkeiten von bis zu 14.000 Bits pro Sekunde gesendet werden. Die Preise der monatlichen Gebühren sanken von 120 DM auf 19 DM. 1993 hatte es 850.000 Teilnehmer.

Zu erwähnen wären noch die Pager, „Piepser“ oder Personenrufgeräte mit den Diensten Scall, Telmi oder Quix, um beispielsweise Rückrufnummern anzuzeigen. Solche Geräte waren bei Firmen und Institutionen im Einsatz, waren aber auf die Reichweite vom Firmengelände beschränkt.

Der Einstieg ins mobile Zeitalter gelang in den USA mit Motorola „DynaTAC 8000X“, entwickelt von Rudy Krolopp (1983); es kostete 4000 \$; es wog 800 g und hatte Abmessungen von $33 \times 4,5 \times 9$ cm.

Was bedeutet eigentlich das englische Wort „handy“? Die Übersetzung heißt „geschickt, handlich, nützlich, zur Hand“. Der Begriff „Handy“ existiert schon Mitte der 1980er Jahre in Deutschland als Bezeichnung für tragbare Funkgeräte. In Amerika findet sich bereits



Abbildung 1.14:

Links: Auto-Telefon, A-Netz, 1955

Rechts: Mobil-Telefon Sunrise, D-Netz, Philips Kommunikationsindustrie AG, 1995
Siemens S4 power, D-Netz, Siemens AG, München, ab 1996

Museum für Kommunikation Frankfurt, Foto: Gudrun Wolfschmidt

im Zweiten Weltkrieg die Bezeichnung „Handie-Talkie“ für „Walkie-Talkie“ (Handfunktalkiesprechgerät). Mobiltelefone heissen auf amerikanisch *cell(ular) phone*, auf englisch *mobile (phone)*, im französischen *portable*.

1982 trafen sich Vertreter von europäischen Telekommunikationsfirmen mit dem Ziel, Spezifikationen für ein europaweites Mobilkommunikationsnetz festzulegen. Daraus resultierte die Gründung der „Groupe Spécial Mobile“ (GSM), später „Global System for Mobile Communication“. GSM entspricht dem Mobilfunkstandard der zweiten Generation; der vorgesehene Frequenzbereich lag bei 900 Mhz. Man einigte sich – im Vergleich zu den vorher analogen Mobilfunknetzen – auf ein digitales Netz, was bessere Sprachqualität und weitere Features bietet. Es wurde schließlich 1992 offiziell eingeführt.

- D-Netz (GSM-900-Standard):

In Deutschland nehmen die ersten digitalen Mobilfunknetze D1 von der Deutschen Telekom und D2 von Mannesmann (das erste private digitale Netz) 1992 ihren Betrieb auf, basierend auf dem GSM-900-Standard (900 MHz), die auch Gespräche mit ausländischen Mobilfunknetzen weltweit zulassen. Daten konnten nun mit 9.600 Bits pro Sekunde übertragen werden. Die Netze sind ursprünglich für 4 Millionen Teilnehmer ausgelegt; 2001 waren es rund 22 Millionen Teilnehmer. Als interessante neue Option wird 1992 die SMS (Short-Message-Service) eingeführt (bis zu 160 Zeichen). Eines der ersten Handys ist das „Motorola International 3200“, auch der „Knochen“ genannt (Gewicht: 520 g Abmessungen: 33 × 4 × 7 cm). Das GH337 von Ericsson war im Herbst 1994 das kleinste und leichteste Handy: Es hatte nur 193 g und eine Größe von 15 × 5 × 3 cm.

- E-Netz (GSM-1800-Standard):
Der zweite private Anbieter E-Plus kommt bereits 1994 auf dem deutschen Markt; als Beispiel sei Nokia PT-11 für das E-Netz genannt. Viag Interkom (heute O2) (1998) nutzt wie E-Plus die Frequenzen um die 1800 MHz. Inzwischen gibt es Dual-Band-Geräte, also Mobiltelefone, die mit D- und E-Netz funktionieren. In Österreich wurde das DCS-1800 (Digital Cellular System) 1998 ebenfalls mit der Frequenz von 1800 MHz gestartet.
- GSM 1900-Standard:
Die Tri-Band-Geräte arbeiten zusätzlich auch mit dem GSM 1900-Standard, der in Amerika vorherrscht.

2002 gab es etwa 56 Millionen Teilnehmer in einem der GSM-Netze und heute 1,2 Milliarden Mobiltelefone weltweit. 2006 verkaufte allein Nokia über eine Million Handys pro Jahr.

Mit dem Handy Nokia 8110i entwickelte sich – nach der SMS (Short-Message-Service) 1992 – ein neues Feature, der EMS (Enhanced Message Service), um Klingeltöne zu empfangen und um Logos und Bilder über das Netz zu schicken. Wegen der größeren Datenmengen mussten Datenturbo-Netze wie HSCSD und GPRS entwickelt werden. Ferner entsteht mit WAP oder Mobile HTML ein eigenes Web für Handys. Neben der fortschreitenden Miniaturisierung kamen immer mehr Gimmicks zur Erweiterung der Möglichkeiten eines Handys: Farbdisplays, Digitalkamera (Fotohandy), Video-Player oder MP3-Player; mit MMS (Multimedia Messaging Service) wurde der Versand von Bildern, Videos und Sound-Files ermöglicht. Zur Datenübertragung zu anderen Handys oder zu einem PC kann ferner E-Mail, Infrarot, Bluetooth oder ein USB-Kabel verwendet werden.

Das machte schon wieder einen neuen und schnelleren (dritten) Standard nötig: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) (2002) als eine Weiterentwicklung des GSM-Standards und CDMA2000 (in den USA verbreitet). Telefon und Internet wachsen in Zukunft zusammen. Motorola brachte das erste UMTS-Handy A830 auf den Markt (2002). Die größten Hersteller weltweit sind folgende (alphabetisch): BenQ Mobile, Kyocera, LG Electronics, Motorola, Nokia, Panasonic, Samsung, Sagem, Sanyo, Sharp, Siemens (nur noch als Marke) und Sony Ericsson. Führend auf dem Weltmarkt (33% im Jahr 2004) ist das finnische Unternehmen Nokia. Das Handy wird immer mehr ein Multifunktionsgerät mit neuen Funktionen wie Uhr, Kamera, MP3-Player, Radio, Navigationsgerät, Rechner, GPS-Empfänger und Spielkonsole (über Java-Unterstützung); für diese Geräte hat sich inzwischen die Bezeichnung Smartphone oder auch PDA-Phone durchgesetzt.

Seit der Mitte der 1980er Jahre – parallel zur Mobilfunkentwicklung – beschleunigte sich durch Satellitentechnik und Digitalisierung eine Vernetzung privater Haushalte. Seit 1990 begann die massenhafte Privatnutzung von Computerkommunikation per Internet („World Wide Web“ ab 1991) und der allgemeine Einsatz der neuen elektronischen Post- und Interaktionsmöglichkeiten (E-Mail, Chat-Foren).

Ein Umbruch in der Physik – Die Hertzschen Experimente

Karl Heinrich Wiederkehr

2.1 Die Karlsruher Experimente

Die Versuche über schnelle elektrischen Schwingungen und die Erzeugung elektromagnetischer Wellen brachten Hertz Weltruhm. Angeregt dazu wurde er durch eine Beobachtung an den Knochenhauerschen oder Rießschen Spiralen, die bei Vorlesungen gewöhnlich beim Thema Induktion benutzt wurden. Mit ihnen wurde gezeigt, dass die Entladung einer Leidener Flasche durch eine Spule auch in der zweiten darüber liegenden Spule einen Strom induziert. Dieser macht sich durch einen Funkenüberschlag bemerkbar.

Nach Wegnahme der Leidener Flasche waren die Spulen in Resonanz, die sich durch ein Funkenspiel verriet. Durch seine Berliner experimentellen Arbeiten und auch durch seine theoretischen Arbeiten in Kiel war seine Aufmerksamkeit für die Funken geschärft. Mit den Versuchen über oszillatorische Entladungen einer Leidener Flasche 1862 hatte Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918) die Gültigkeit der Thomsonschen Schwingungsformel $T \sim 2\pi\sqrt{LC}$ zum Teil nachgewiesen ($T \sim \sqrt{C}$; C Kapazität, L Induktivität). Hertz war aber sofort klar, dass es sich hier um sehr viel schnellere Schwingungen handelte.

Er entwickelte seinen Kugel-Oszillator. Der Nebenzweig mit Funken, der auf Resonanz abgestimmt wurde, bekam später Kreisform (Kreisdipol). Mit Hilfe eines Mikrometers konnte Hertz die Funkenstrecke in ihrer Länge verändern; es war dies für ihn der einzige Indikator.¹

Während seiner Versuche bemerkte Hertz, dass der Funkenüberschlag in dem Resonanzkreis durch irgendeine Einwirkung vom Funkeninduktor oder vom Oszillator verändert werden konnte. Durch zahlreiche Versuche mit verschiedensten Stoffen, neben anderem auch mit einem Bergkristallprisma, stellte er fest, dass ultraviolette Strahlen (die von der Funkenstrecke des Primärkreises ausgingen) den Funkenüberschlag früher einsetzen

¹ Über sehr schnelle Schwingungen. In: *Annalen der Physik* Bd. 31 (1887) und *Gesammelte Werke* Bd. 2, S. 33–58.

lassen. Die Strahlen müssen auf die Kugel treffen, die mit dem negativen Pol verbunden ist. Damit hatte Hertz den äußeren lichtelektrischen Effekt entdeckt. Es war nicht die erste beobachtete lichtelektrische Wirkung.² Eine Erklärung dazu konnte er nicht geben. Hier führte der Versuch von Wilhelm Hallwachs (1859–1922) 1888 weiter. Durch das UV-Licht werden bei dem Hallwachsversuch aus der negativ aufgeladenen Zinkplatte Elektronen herausgeschlagen.³



Abbildung 2.1:
Heinrich Hertz
(Hamburg 1857–1894 Bonn)
Keferstein 1911, S. 206.

Vor der Veröffentlichung seiner Arbeiten in den *Annalen der Physik* informierte Hertz immer zuerst Hermann von Helmholtz (1821–1894) in Berlin, der in der Berliner Akademie darüber vortrug (erschieden auch in den Berichten der Berliner Akademie). Mit den von ihm entdeckten schnellen elektrischen Schwingungen war Hertz nun auch in der Lage, eine Lösung der Preisaufgabe von 1879 der Berliner Akademie zu finden. Es sollten elektrodynamische Wirkungen auf Isolatoren, anders ausgedrückt, der Verschiebungsstrom in nicht leitenden Stoffen, nachgewiesen werden.

Hertz benutzte dafür wieder seinen Oszillator, wobei er aber statt der Kugelkondensatoren an den Enden des Oszillators quadratische Platten setzte. Über den Oszillator wurde ein Zinkblech gehalten, in dem Induktionsströme erzeugt wurden. Diese machten sich durch eine Verschiebung der Nullpunktsslage am Kreisdiol nach oben bemerkbar. In der Nullpunktsslage zeigten sich keine Funken des Resonators. Setzte er einen Block aus Pech oder Paraffin unter den Oszillator, verschob sich die Nullpunktsslage beim Resonator nach unten. Damit war der Verschiebungsstrom in dem Isolator nachgewiesen. Hertz genoss seinen späten Triumph.⁴

Zu Beginn seiner bahnbrechenden Untersuchungen ging Hertz rein phänomenologisch vor, nicht mit der Absicht, die Maxwellsche Theorie zu bestätigen. Er musste auch Rücksicht nehmen auf die Theorie seines Lehrers Helmholtz. Aber die Ergebnisse seiner Experimente wiesen eindeutig auf die Gültigkeit der Maxwellschen Theorie hin, die er nun auch theoretisch zu vervollkommen suchte.

Es folgten noch drei weitere Arbeiten von ihm zu diesem Komplex, die ebenfalls in Bd. 34 der *Annalen der Physik* erschienen, insgesamt also vier Arbeiten in einem Band. Grosse Mühen hatte er mit seinen Untersuchungen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen in einem Draht. Den Oszillator mit den quadratischen Endplatten

² Siehe dazu: Wiederkehr, Karl Heinrich und Klemm, Peter: Vom Becquerel-Effekt zur Solarzelle. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik an der Schule* 51 (2002), Heft 7, S. 38–44.

³ Über einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. In: *Annalen der Physik* 31 (1887) und *Gesammelte Werke* Bd. 2, S. 69–86.

⁴ Über Induktionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren. In: *Annalen der Physik* Bd. 34 (1887) und *Gesammelte Werke* Bd. 2, S. 102–109.

stellte er waagrecht und koppelte kapazitiv den horizontal liegenden langen Draht. Mit seinem Resonator fand er Knoten und Bäuche einer stehende Welle. Es war der erste Nachweis für die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit eines elektrischen Vorganges und eine erste Bestätigung der Nahwirkungstheorie. Als Fortpflanzungsgeschwindigkeit fand Hertz allerdings nicht die Lichtgeschwindigkeit, wie es die Faraday-Maxwellsche Theorie forderte, sondern nur $2/3$ davon.

Ernst Lecher (1856–1926) in Wien und Auguste Arthur de la Rive (1801–1873) in Genf und Emile Édouard Sarasin in Genf wiesen dann die Lichtgeschwindigkeit in den Drähten nach (bekannt als Lechersche Doppelleitung). Hertz begründete später das unrichtige Ergebnis mit Einflüssen aus der Umgebung, wie Reflexionen an den Wänden, Säulen und anderem in dem Versuchsraum.⁵

Aber auch im Luftraum erzeugte Hertz stehende elektromagnetische Wellen durch Reflexion an einer Metallwand. Die von James Clerk Maxwell (1831–1879) vorhergesagten Wellen waren damit nachgewiesen und die alte Fernwirkungstheorie widerlegt. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit fand Hertz hier die Lichtgeschwindigkeit.⁶

Es war der krönende Abschluss seiner experimentellen Untersuchungen in Karlsruhe. Hertz geht hier zu Dezimeterwellen über und benutzte Dipole. Ein solcher Dipol besteht aus zwei 13 cm langen Messingstäben mit zwei polierten Kugeln für die Funkenstrecke in der Mitte. Zum Sammeln der elektromagnetischen Wellen ließ Hertz Parabolspiegel aus Zinkblech anfertigen, in deren Brennlinie die Dipole gesetzt wurden (vgl. Abb. 2.4 rechts). Der Funkeninduktor sitzt beim Sender hinter dem Spiegel. Beim Parabolspiegel führen zum Empfang der Wellen vom Dipol zwei Drähte hinter den Spiegel zu einer Funkenstrecke.

Hertz zeigte zunächst wieder die Reflexion der Wellen an einer aufgestellten Zinkwand und stellte wieder Knoten und Bäuche fest. Daraus ergab sich eine Wellenlänge von 66 cm. Hertz konnte die Ausbreitung der Wellen bis auf 16 m nachweisen; sie gingen sogar durch eine Tür hindurch. Mit den beiden Parabolspiegeln und der Zinkwand wurde das Reflexionsgesetz (Einfallswinkel = Reflexionswinkel) gezeigt. Zur Untersuchung der Brechung der elektrischen Strahlen (elektromagnetische Wellen) ließ Hertz ein 30°-Prisma aus Pech herstellen. Das Gewicht des Prismas betrug 600 kg. Die elektromagnetische Welle wurde wie eine Lichtwelle an einem Glasprisma abgelenkt. Die Brechzahl ergab sich zu 1,69.

Die elektrischen Schwingungen bzw. Wellen laufen stets parallel zu dem Erregerdipol, also in einer Ebene, ähnlich wie die Lichtwellen bei linear polarisiertem Licht. Wurde der Empfangsspiegel mit Dipol um 90° gedreht, blieben die Funken aus, d. h. es fand kein Empfang statt. Hertz ließ nun einen Holzrahmen (achteckig) mit parallel laufenden Kupferdrähten bespannen (vgl. Abb. 2.3). Das Gitter wurde zwischen Empfänger und Sender gebracht und gedreht. Liefen die Drähte parallel zu den Dipolen, zeigten sich keine Funken im Empfänger. Die Strahlen wurden also abgefangen und reflektiert. Hatten die

⁵ Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen. In: *Annalen der Physik* Bd. 34 (1888). Siehe hierzu auch *Gesammelte Werke*, Band 2, Einleitung.

⁶ Über elektrodynamische Wellen im Luftraum und deren Reflexion. In: *Annalen der Physik* Bd. 34 (1888) und *Gesammelte Werke* Bd. 2, S. 133–146. Die schönste Arbeit hat den Titel: Über Strahlen der elektrischen Kraft. In: *Annalen der Physik* Bd. 36 (1888) und *Gesammelte Werke* Bd. 2, S. 183–198.

Kupferdrähte eine senkrechte Lage zu den Dipolen, gingen die Strahlen ungehindert hindurch, – eine abermaliger Nachweis der Polarisation.

Diese Versuche, die sich in der Optik wiederfinden, zeigten in eindrucksvoller Weise die Wesensgleichheit optischer und magnetischer Wellen. Der Unterschied liegt nur in der Wellenlänge, die bei den Lichtstrahlen sehr viel kürzer ist. Maxwells elektromagnetische Lichttheorie war damit bestätigt, der Sieg über die ältere Elektrodynamik endgültig. Es begann eine neue Epoche, Optik und Elektrodynamik waren miteinander verschmolzen.

In der Arbeit „Die Kräfte der elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwellschen Theorie“⁷ berechnet Hertz, gestützt auf Maxwell, den Verlauf der elektrischen Kraftlinien (elektrische Feldlinien) um einen schwingenden Dipol in verschiedenen Phasen der Schwingung. Er benutzt dabei Polarkoordinaten und veranschaulicht seine Ergebnisse in zeichnerischen Darstellungen.⁸ Wie schon erwähnt, ist der Dipol ein offener Schwingkreis, die elektrischen Feldlinien können sich ablösen und in den Raum mit Lichtgeschwindigkeit hinauswandern. Die losgelösten Feldlinien sind geschlossen; sie beginnen und enden also nicht an elektrischen Ladungen. Im offenen Schwingkreis ist, wie beim geschlossenen Schwingkreis eine stetige Umwandlung von elektrischer und magnetischer Energie. Durch den periodisch sich in seiner Stärke verändernden Strom werden auch magnetische Feldlinien ausgestrahlt. Sie verlaufen kreisförmig um die Achse des Dipols und verändern sich ebenfalls periodisch in ihrer Dichte. Die Wellenlänge ist dabei die gleiche wie bei den elektrischen Feldlinien. Durch die beiden Maxwellschen Gleichungen sind das elektrische und das magnetische Feld miteinander verknüpft. In weiteren folgenden theoretischen Arbeiten von Hertz zur Elektrodynamik (Vervollkommnung der Maxwellschen Theorie) zeigt sich das mathematische Genie.

Hertz vertrat in extremer Weise eine Feldphysik, die auf Michael Faraday (1791–1867) und James Clerk Maxwell zurückgeht. Eine substantielle Elektrizität wird darin strikt abgelehnt. Die Feldphysiker standen damit im Gegensatz zur älteren Elektrodynamik (André Marie Ampère (1775–1836), Wilhelm Weber (1804–1891) und andere). Sie sahen in dem elektrischen Strom ein Fließen atomarer elektrischer Teilchen im Leiter. Ihre Grundgesetze postulierten eine Fernwirkung, d. h., die elektrischen und magnetischen Wirkungen breiten sich mit unendlich großer Geschwindigkeit aus, ohne ein Zwischenmedium zu benötigen. 1897 entdeckte nun Joseph John Thomson (1856–1940) das Elektron, die Maxwell-Hertzsche Theorie musste um die Wende zum 20. Jahrhundert durch die Elektronentheorie ergänzt werden (Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928), Eduard Riecke (1845–1915), Paul Drude (1863–1906) u. a.) – im Grunde genommen also ein Rückgriff auf die ältere Elektrodynamik.⁹

⁷ *Annalen der Physik* Bd. 36 (1889) und Gesammelte Werke 2. Bd., S. 147–170, graphische Darstellungen S. 156 und 157.

⁸ Zu Polarkoordinaten im Unterricht siehe:

<http://www.fh-lueneburg.de/mathe-lehramt/mathe-lehramt.htm?show=>

<http://www.fh-lueneburg.de/mathe-lehramt/analysis/polar/polar.htm>

⁹ Wiederkehr, Karl Heinrich: Die Entdeckung des Elektrons. In: MNU 52 (1999), Heft 3, S. 132–138. – Über Vorstellungen vom Wesen des elektrischen Stromes bis zum Beginn der Elektronentheorie der Metalle. In: Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): „Es gibt für Könige keinen besonderen Weg zur Geometrie“. Festschrift für Karin Reich. Augsburg: Dr. Erwin Rauner Verlag (Algorismus; Heft 60) 2007, S. 299–308.

2.2 Experimentalvortrag zu den Hertzschsen Wellen

Im Mittelpunkt der vorgeführten Experimente standen die letzten Karlsruher Versuche von Heinrich Hertz, die in abgewandelter, aber auch erweiterter Form im Physikunterricht an Schulen gezeigt werden können. Zum besseren Verständnis wurden ein paar einleitende Experimente gemacht.

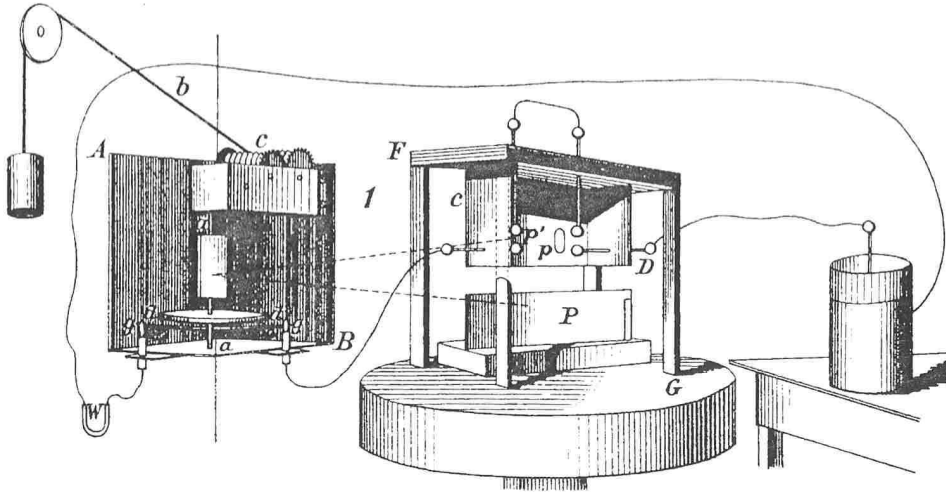


Abbildung 2.2:
Feddersens Apparatur zum Nachweis der Existenz elektrischer Schwingungen
mit Hilfe „oszillierender Entladungen“ (1861)

Ausgangspunkt bei Hertz war der elektrische Funke, sowohl bei den schnellen elektrischen Schwingungen als auch bei den elektromagnetischen Wellen. Der Funke war für Hertz das einzige Beobachtungsmittel. Eine große Leidener Flasche wird in dem vorgeführten Experiment mit einer Influenzmaschine aufgeladen und mit einem Entlader (Verbindung der beiden metallischen Belegungen der Leidener Flasche) ein elektrischer Funke erzeugt. Der Funke war schon in der Elektrostatik lange bekannt. Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918) wies um 1860 mit Hilfe eines Drehspiegels nach, dass die elektrische Entladung einer Leidener Flasche oszillatorisch erfolgt.¹⁰ Durch die Drehung des Spiegels wird der zeitlich rasch verlaufende und für das Auge nicht erkennbare Vorgang räumlich auseinander gezogen. Der Funke sprang abwechselnd von einer Flaschenbelegung zur anderen über, es war eine elektrische Schwingung, ein Hin- und Herwogen elektrischer Ladung mittels des Funkens. Mit fotografischen Aufnahmen der Funkenfolge konnte Feddersen z. T. die von William Thomson [Lord Kelvin] (1824–1907) theoretisch gefundene Formel ($T \sim \sqrt{CL}$; T Schwingungsdauer, C Kapazität, L Induktivität) bestä-

¹⁰ Vgl. Henke, Martin: Flinke Funken im schnellen Spiegel – Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918) und der Nachweis der elektrischen Schwingungen. Hamburg: Print on Demand 2000, Abbildung S. 107.

tigen ($T \sim \sqrt{C}$). Die Schwingungen sind aber gegenüber den von Hertz entdeckten sehr schnellen Schwingungen relativ langsam. Theoretisch können sie als ein quasistationärer Vorgang behandelt werden. Mit einer Glimmlampe, die zwei dreiecksförmige Elektroden hatte und an das Wechselstromnetz angeschlossen wurde, konnte die Funktionsweise eines Drehspiegels demonstriert werden.

Sodann wurde eine gedämpfte Schwingung vorgeführt. Der Schwingkreis besaß eine große Kapazität und große Induktivität. Am Ausschlag des Amperemeters konnte die Dämpfung beobachtet werden. Auch die Hertzschen Schwingungen und Wellen sind gedämpft.

Mit Geräten, die von der Experimentalphysik der Universität Hamburg ausgeliehen worden waren, wurden nun die Hertzschen Versuche vorgeführt. Der Sendedipol, der Dezimeterwellen ausstrahlt, wird hier durch hochtransformierten Wechselstrom gespeist (bei Hertz durch einen Funkeninduktor). Zwischen den beiden Hälften des Dipols war der Funke deutlich sichtbar. Der Empfangsdipol hat zur Gleichrichtung hier eine Germaniumdiode; bei Hertz fand keine Gleichrichtung statt, zur Beobachtung diente ihm nur der Funke. Mit einem hier relativ kleinen Parabolspiegel wurde die ausgestrahlte elektromagnetische Welle gebündelt und gerichtet. Der Sendedipol befindet sich dabei in der Brennlinie des Parabolspiegels. Statt der Beobachtung von Funken im Empfänger hinter dem Parabolspiegel bei Hertz wurde in dem vorgeführten Experiment die Funkenfolge über einen Verstärker und Lautsprecher hörbar gemacht (bei Empfang lautes Knattern). Sodann wurde die Reflexion gezeigt (Einfallswinkel = Ausfallwinkel), ebenso die Brechung an einem Dreiecksprisma aus Paraffin. Die Polarisation der elektromagnetischen Welle konnte sowohl durch Drehen der Dipole als auch durch ein großes Drahtgitter (parallele Drähte) gezeigt werden. Es waren also Parallelexperimente zu solchen mit Licht. Da Heinrich Hertz an einer stehenden Welle im Raume als Fortpflanzungsgeschwindigkeit auch die Lichtgeschwindigkeit gefunden hatte, war damit die Maxwellsche elektromagnetische Lichttheorie bestätigt worden.

2.3 Von der drahtlosen Telegraphie bis zum Rundfunk und dem heutigen Kommunikationszeitalter

Heinrich Hertz ahnte nicht, welche Folgen seine Entdeckungen haben sollten. In den Händen der einfallsreichen Erfinder und Ingenieure veränderten sie den Alltag und das Zusammenleben der Menschen. Durch die Erfindung des Kohärers oder Fritters durch Edouard Branly (1844–1940) 1890 war man nicht mehr auf die Beobachtung von Funken angewiesen. Schon in jungen Jahren war Guglielmo Marconi (1874–1937) überzeugt, dass sich mit elektromagnetischen Wellen drahtlos Nachrichten übermitteln lassen. Mit seinem Knall-Funkensender gelang es ihm, größere Entfernungen zu überbrücken. Die Sendestation hat eine Antenne mit einer Funkenstrecke, von einem Funkeninduktor erzeugt, die Empfangsstation einen Kohärer, eine mit Metallspänen gefüllte Glasröhre, deren Widerstand sich durch die hochfrequenten Wellen ändert. Die Schwingungen waren stark gedämpft, die Funkenfolge erzeugte ein knallartiges Geräusch.



Abbildung 2.3:

Experimentalvortrag von Karl Heinrich Wiederkehr,
assistiert von Jürgen Gottschalk und Wolfgang Lange,
bei Eröffnung der Hertz-Ausstellung
am 22. Februar in der Heinrich-Hertz-Schule in Hamburg:
Polarisation von elektromagnetischen Wellen mit dem Drahtgitter

Foto: Gudrun Wolfschmidt

Ferdinand Braun (1850–1918) verbesserte den Marconi-Sender, indem er einen geschlossenen Schwingkreis (Leidener Flasche, Funkenstrecke, Spule) benutzte. Durch Parallelschalten von Leidener Flaschen erreichte er eine größere Energie und eine größere Reichweite. Weil die Dämpfung geringer war, hörte man nur ein Knarren (Knarr-Funkensender). Später ersetzte F. Braun den Kohärer durch den von ihm schon 1874 erfundenen Kristalldetektor (Pyrit- oder Bleiglanz-Kristall mit aufgedrückter Metallspitze). Die Gleichrichtung durch den Kristalldetektor konnte erst die Halbleitertheorie erklären.

Einen weiteren Fortschritt brachte Max Wien (1866–1938) 1906 mit seinem Löschfunken sender.¹¹ Die Löschfunkenstrecke bestand aus mehreren hintereinander geschalte-

¹¹ <http://www.seefunknetz.de/tk05.htm>

ten Platten. Wegen der schnelleren Entionisierung der Luft konnte die Funkenzahl pro Sekunde und damit die Übermittlungsgeschwindigkeit erhöht werden. Die abgestimmte Frequenz erzeugt im Empfangsgerät einen musikalischen Ton, deswegen auch Tonfunken-sender genannt. Übermittelt wurden bei den bisher genannten Senderarten Nachrichten im Morsecode mit Morsetaste, einem Papierstreifenschreiber oder auch einem Klopfer.

Ungedämpfte elektrische Schwingungen erzeugte als Erster der Däne Valdemar Poulsen (1869–1942) 1903 mit seinem Lichtbogensender. Zum ersten Mal konnte so durch Modulation Musik und Sprache übertragen werden. Aber bald wurde der Lichtbogensender durch die Röhrensender abgelöst. Ungedämpfte Schwingungen wurden zum Teil auch mit Maschinensendern (rotierendes Rad mit Induktionsspulen) erzeugt, z. B. in der deutschen Großfunkstelle Nauen.

Die Schaffung von Elektronenröhren gab der Nachrichtenübermittlung eine völlig neue Grundlage. 1883 hatte Thomas Alva Edison (1847–1931) den nach ihm benannten Effekt (elektrischer Strom zwischen dem Glühfaden einer Glühbirne und einer oben befindlichen Metallplatte) gefunden. Der Engländer John Ambrose Fleming (1849–1945) entwickelte daraus eine Gleichrichterröhre. Den Durchbruch brachten allerdings der Österreicher Robert von Lieben (1878–1913) und der Amerikaner Lee de Forest (1873–1961). Sie konstruierten neben der Diode die Triode, die ein Steuergitter besaß (1910). Die ersten Liebenröhren waren noch mit verdünntem Gas gefüllt, das Steuergitter war bei Lieben noch eine siebartig durchlöchernte Platte. 1907 hatte Lee de Forest – er wird in Amerika auch Vater des Rundfunks genannt – seine Audionröhre geschaffen. 1911 wurden nach ihm auch die ersten Vakuumröhren hergestellt.

Zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen erfand Alexander Meißner (1883–1958) 1913 die nach ihm benannte Rückkoppelungsschaltung. Damit war der Grundstein für den Rundfunk gelegt. Durch Modulation (Amplituden- und Frequenzmodulation) können Sprache und Musik übertragen werden. Bald hatte Ende der dreißiger Jahre fast jeder Haushalt einen Rundfunkempfänger. Das Wort Funk weist auf die Anfänge, nämlich auf die Hertzschen Funken hin.

Nach der Triode folgte eine Tetrode (mit Schirmgitter), dann die Pentode (zusätzlich ein Bremsgitter) und weitere Röhren. Mit der Zeit wurden sie immer leistungsfähiger und kleiner. Eine ungeahnte Miniaturisierung erfolgte nach dem Zweiten Weltkrieg durch die Halbleiter. Schon Faraday hatte 1833 festgestellt, dass Silbersulfid bei Erwärmung besser leitend wird – eine typische Eigenschaft der Halbleiter. Robert Wichard Pohl (1884–1976) hatte in den 30er Jahren die elektrischen Leitungsvorgänge in Halogenidkristallen untersucht; Harold Albert Wilson (1874–1964) konnte mit dem Bändermodell die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit bei den Halbleitern erklären. Auch die Rolle von Störstellen wurde erkannt.

Der entscheidende Durchbruch in der Halbleitertechnik gelang 1946 mit der Schaffung des Transistors durch das Dreier-team William Bradford Shockley (1910–1989), John Bardeen (1908–1991) und Walter Houser Brattain (1902–1987). Die Germaniumhalbleitertechnik wurde bald durch die Siliziumtechnik abgelöst. Ein rasanter Aufschwung dieser Techniken führte zu dem heute viel gebrauchten Handy mit seinen vielfältigen Funktionen.

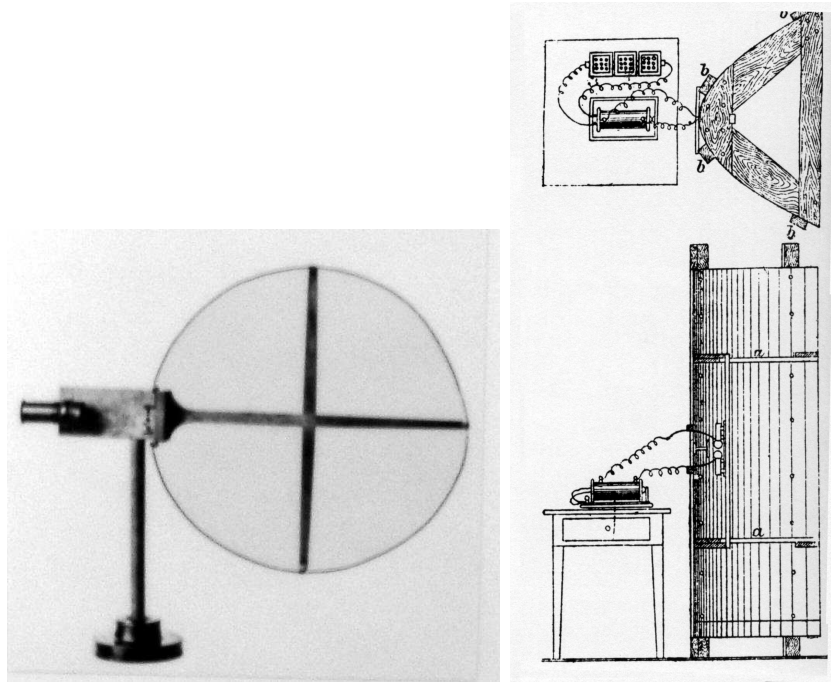


Abbildung 2.4:

Die Hertz'schen Experimente: Links: Kreis-Dipol

Rechts: Sendedipol in der Brennpunktlinie des Parabolspiegels mit Funkeninduktor

Links: Foto im Museum für Kommunikation Frankfurt am Main: Gudrun Wolfschmidt

Rechts: Annalen der Physik und Chemie, N. F. Bd. 36.

2.4 Hertz'sche Versuche im Physikunterricht

Der Dezimeterwellensender (z. B. von LD Didactic) besteht aus einem Oszillator, auf den ein Dipol (oder Schleifendipol) mit der Länge $\frac{\lambda}{2}$ gelegt wird. Auch der Empfangsdipol hat diese Länge. In seiner Mitte (Strombauch) hat dieser eine Glühlampe oder eine Diode, die mit einem Amperemeter verbunden wird. Man kann die Reflexion und Polarisation zeigen. In einer induktiv gekoppelten Lecherleitung lassen sich mit einer aufgesetzten Glühlampe oder einem Tastkopf Bäuche und Knoten der stehenden elektrischen und magnetischen Welle nachweisen, mit einem Wassertrog die Verkleinerung der Wellenlänge (Verkleinerung des Dipols) ($\epsilon_r = 81$). Auch die Charakteristik des Strahlenfeldes kann erschlossen werden. Der Sender ermöglicht auch eine Amplituden- und Frequenzmodulation.

Mit Hochfrequenz-Oszillatoren für den Mikrowellenbereich (Wellenlängen im cm- und mm-Bereich) können mehrere Experimente gemacht werden. Zur Erzeugung dieser Frequenzen braucht man Laufzeitröhren (Klystron oder einen Gunn-Oszillator mit Halbleitertechnik); gewöhnliche Elektronenröhren sind wegen der relativ niedrigen Geschwindigkeit der Elektronen in diesen Röhren nicht mehr geeignet. In einem Klystron werden die Elektronen geschwindigkeits- und dichtemoduliert. Die Elektronenpakete bestimmen die

Frequenz. Neben den schon bei den Dezimeterwellen angeführten Experimenten können mit den Mikrowellen auch die Brechung, die Beugung am Einfachspalt, die Interferenz am Doppelspalt und anderes mehr vorgeführt werden. Mikrowellensender liefern LD Didactic, Phywe, Pasco (USA) und andere.

2.5 Fragen für Arbeitsblätter zu Schwingungen und elektromagnetischen Wellen

1. Woraus besteht ein elektrischer Schwingkreis und welche Arten von Energien wandeln sich darin um?
2. Beschreiben Sie die Funktion des Drehspiegels bei den Experimenten von Berend Wilhelm Feddersen.
3. Was versteht man in der Elektrizität unter Nahwirkung und Fernwirkung?
4. Was ist ein Verschiebungsstrom?
5. Beschreiben Sie den großen Hertzschen Oszillator mit den Kugeln an den Enden und erläutern Sie die Funktionsweise des Oszillators.
6. Wie hat Hertz die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen gefunden und wie groß war diese Geschwindigkeit?
7. Welche Experimente machte Hertz, um die enge Verwandtschaft der elektrischen Wellen mit denen des Lichtes zu zeigen?
8. Erklären Sie, warum in der Längsachse eines Sendedipols kein Empfang stattfindet?
9. In welchem Bereich liegen elektromagnetische Mikrowellen?
10. Warum versagt bei der Erzeugung von Mikrowellen eine gewöhnliche Elektronenröhre und wie wird das Problem gelöst?
11. Wählen Sie aus dem Mikrowellenbereich eine Wellenlänge aus und berechnen Sie die dazugehörige Frequenz und Schwingungsdauer einer Periode.
12. Was versteht man unter einem Knallfunkensender und wann wurden solche Sender benutzt?
13. Welche Eigenschaft muss eine elektromagnetische Welle haben, um Sprache und Musik transportieren zu können? Auf welche Art geschieht das?
14. Was versteht man unter einem Kristalldetektor und wann wurde er benutzt? Skizzieren Sie seine Funktionsweise.
15. Was sind die Vorteile eines Transistors?
16. Welche wichtigen drei Erfindungen machte Ferdinand Braun? Erläutern Sie diese kurz.

UMTS – Das universale mobile Telekommunikationssystem

André Widmann

3.1 Physikalische Grundlagen der Mobilfunktechnik

Heinrich Rudolf Hertz war Professor für Physik in Karlsruhe und entdeckte die elektromagnetischen Wellen (vgl. Artikel von K. H. Wiederkehr). Damit bewies er die Maxwell'sche Theorie. Elektromagnetische Wellen sind dem Licht vergleichbar, sind aber nicht sichtbar oder fühlbar. Wie das sichtbare Licht breiten sich elektromagnetische Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aus.

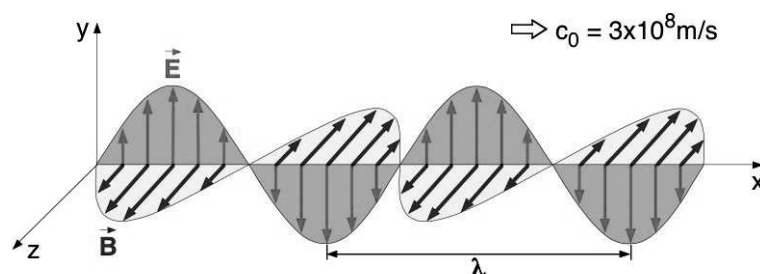


Abbildung 3.1:
Elektromagnetische Welle:
E ist das Elektrische Feld, H das Magnetische Feld

Grafik: Universität Zürich, Physik <http://www.physik.uzh.ch>
<http://www.physik.uzh.ch/teaching/physik-b/WS0607/optikvet/Slide11.png>

Die beiden Wellen vom elektrischen und magnetischen Feld stehen senkrecht aufeinander und sind miteinander gekoppelt. Eine Welle ist durch ihre Frequenz, Schwingungsdauer, Amplitude bzw. Intensität gekennzeichnet. Die Schwingungsdauer T gibt den kleinsten Zeitraum an, in dem sich ein physikalischer Vorgang wiederholt (Periode). Der

Kehrwert wird als Frequenz (f oder $\nu = \frac{1}{T}$) bezeichnet und in Hertz (Hz) (= Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) angegeben.

.5 Die Wellen können Informationen befördern, entweder analog oder digital. In der Natur und in der Messtechnik hat man es, abgesehen von Gebieten im Mikrokosmos, mit kontinuierlichen Vorgängen zu tun. So erzeugt zum Beispiel die sinusförmige Druckwelle eines Tones im Mikrophon eine entsprechende elektrische Welle, die in einem Oszilloskop als zusammenhängende Kurve erscheint. Bei einem analogen Transport von Signalen wird zu der ungedämpften elektromagnetischen Welle eine zweite Welle addiert. Bei analogen Signalen wird also zum Beispiel ein Ton elektrisch umgewandelt und dann an die Trägerwelle angelegt. Der Empfänger kann den Ton in elektrischer Form empfangen und ihn mit Hilfe eines Lautsprechers wiedergeben.

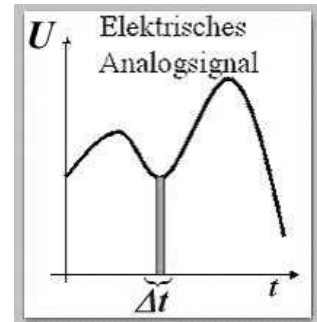


Abbildung 3.2:
Elektrisches
Analogsignal

Bei der digitalen Übertragung wird das Ton-Signal in kleine Intervalle unterteilt. Diese Intervalle haben zwar alle dieselben Abstände, aber verschieden große Amplituden. Das so entstandene Signal kann nun im Binärcode dargestellt und so versendet werden.¹

3.2 Digitalisierung

Digital steht im Gegensatz zu analog.² Das heute so viel gebrauchte Wort Digitalisierung leitet sich von dem lateinischen Wort „digitus“ für Finger her, im Englischen steht das Wort „digit“ auch für Ziffer. Der Begriff Digitalisierung wird in vielen Bereichen gebraucht, so in der Bildherstellung und bei Textdateien. Die Digitalisierung ist mit einer Qualitätssteigerung und einer nicht unerheblichen Kostenreduzierung bei der Herstellung von Kopien verbunden. So wird manchmal auch die Digitalisierung mit der Erfindung des Buchdruckes verglichen.

Hier soll nur von der Digitalelektronik die Rede sein. Bei einer Digitalisierung erfolgt eine Umwandlung in viele zeitdiskrete und wertdiskrete Einzelsignale. Der Zeitabstand zwischen zwei Digitalwerten ist immer gleich groß; die Werte werden stufenförmig aufgebaut mit einer konstant bleibenden Stufe. Die Größe des Zeitabstandes und die Größe der Stufe hängt mit der Auflösung zusammen. Zur Realisierung wird das binäre oder Dualsystem (Zweiersystem) benutzt. Das binäre System ist ein Zahlensystem, das für die 10 in unserem Dezimalsystem die 2 setzt. Das Dualsystem hat also ebenfalls eine Stellenschreibweise, mit Potenzen der Zahl 2. Beispiele:

$$7 = 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 4 + 2 + 1 = \quad \text{dual} \quad 111$$

¹ Der Binärcode basiert auf dem binären Zahlensystem mit seinen zwei Ziffern 0 und 1. Aus den Kombinationen dieser zwei Ziffern können alle anderen Zahlen dargestellt werden. Hier empfiehlt sich ein Exkurs über Binärzahlen, was hier nur kurz ausgeführt wird, vgl. z. B.:

<http://www.fbeit.htwk-leipzig.de/kontakte/Fechner/kurs/kryptoworkshop.pdf>

² Der ursprüngliche Text von André Widmann wurde in diesem Abschnitt Digitalisierung von K.H. Wiederkehr und Gudrun Wolfschmidt ergänzt.

$$20 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 16 + 0 + 4 + 0 + 0 = \quad \text{dual} \quad 10100$$

Das binäre System kommt nur mit zwei Ziffern aus, nämlich mit der Null und der Eins; aber schon für relativ kleine natürliche Zahlen braucht man eine relativ große Folge von 0 und 1. Auf die Brauchbarkeit dieses Systems haben schon früh Leibniz und andere hingewiesen. Für eine elektronische Umsetzung ist das Binärsystem gut geeignet, weil man mit der Null den Schalterzustand „Aus“, und mit der Eins den Schalterzustand „Ein“ verknüpft. So ist ein Digitalwert D:

$$D = D_3 \cdot 2^3 + D_2 \cdot 2^2 + D_1 \cdot 2^1 + D_0 \cdot 2^0$$

mit D_i entweder 0 oder 1. Einem Digitalwert wird so eine Folge von Nullen und Einsen zugeordnet. Für die Elektrotechnik hat dieses Zahlensystem einen entscheidenden Vorteil, da die 1 durch „Spannung“ und die 0 durch „nicht Spannung“ dargestellt werden kann:

Elektronisches Bauteil	Zustand 0	Zustand 1
Relais oder Schalter	offen	geschlossen
Röhre oder Transistor	nicht leitend	leitend
Elektrischer Impuls	Impuls nicht vorhanden	Impuls vorhanden

Ein Zustand 0 oder 1 wird als ein Bit bezeichnet. Ein Bit ist die kleinste binäre Zahl, sie kann entweder 0 oder 1 sein. Ein Byte hat 8 Bits und ist die kleinste adressierbare Information. Ein Kilobyte = 1 kB = 2^{10} Bytes = 1024 (!) Bytes. Wird 1 Byte pro Sekunde übertragen, so werden 8 Zeichen gesendet. Die Übertragungsrate wird daher mit Byte/s oder Bits/s angegeben.

Um zu vermeiden, dass der Empfänger kein Signal einer Folge von Nullen erhält, muss das Signal definiert getaktet werden. Das heißt, dass das Signal im Sender und Empfänger gleich getaktet sein muss. Das Empfangsgerät muss also auf die richtige Frequenz eingestellt sein. Je höher die Frequenz ist, desto mehr Daten können pro Zeiteinheit übertragen werden.

Für das neue UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), Mobilfunkstandard der 3. Generation, bedeutet dies höhere Übertragungsraten, da die Sendefrequenzen höher sind. Ein weiterer Vorteil dieser Technik ist, dass mehr Frequenzen für die Übertragung zur Verfügung stehen, da die Bandbreite, auf der man senden kann, größer ist.

Damit sich bei den Gesprächen oder Datenübertragungen die Informationen nicht überlagern, muss – wie schon erwähnt – beim Sender und beim Empfänger die gleiche Frequenz eingestellt sein. Das elektronische Bauteil, das ermöglicht, dass nur bestimmte Frequenzen empfangen werden, nennt man Filter. Filter sind Kombinationen aus Kondensatoren, Spulen und Widerständen.

Die technische Umsetzung der Digitalisierung erfolgt mit Hilfe der Schaltalgebra. Sie ist eine spezielle Ausprägung der Booleschen Algebra, in der eine Variable nur zwei Zustände annehmen kann, nämlich wahr / falsch. Grundoperationen sind dabei die Konjunktion (U N D), die Disjunktion (O D E R) und die Negation (N I C H T).

In der Digital-Elektronik werden in einem Analog-Digital-Umsetzer (Wandler) die analogen Eingangssignale in digitale Daten umgewandelt. Der Datenstrom, der die Signale transportiert, ist weniger störanfällig als bei einem analogen Transport und ist

weniger Verzerrungen und Verfälschungen ausgesetzt. Als Beispiel dafür möge das Telefonieren über lange Strecken, einschließlich über Satellit, angeführt werden. Bei analoger Übertragung ist der telefonische Empfang oft undeutlich und unklar.

Nach Empfang des digitalen Datenstromes erfolgt wieder eine „Rückwärtsumwandlung“ durch den Digital-Analog-Umsetzer. Die Digital-Elektronik ermöglicht aber nicht nur eine bessere Empfangsqualität, auch Speicherungen werden vorteilhafter, nämlich einfacher und sicherer.

3.3 Entwicklung des Mobilfunks

Seit den 50er Jahren wurde das Mobilfunknetz schrittweise entwickelt.³

1958	A-Netz 10.500 Teilnehmer (analog)
1972	B-Netz 27.000 Teilnehmer (analog)
1976	C-Netz 850.000 Teilnehmer (analog)
1992	D1 und D2 Netz (digital) 13 Netze in 7 Ländern
1993	Weltweit 1.000.000 Teilnehmer
1994	E-Netz (digital)

Das UMTS-System soll die vorhandenen Mobilfunksysteme harmonisieren, also einen allgemeinen Standard schaffen. Die hohen Übertragungsraten sollen dazu führen, dass die Telekommunikation, die Computerindustrie und Multimediadienste zusammenwachsen.⁴

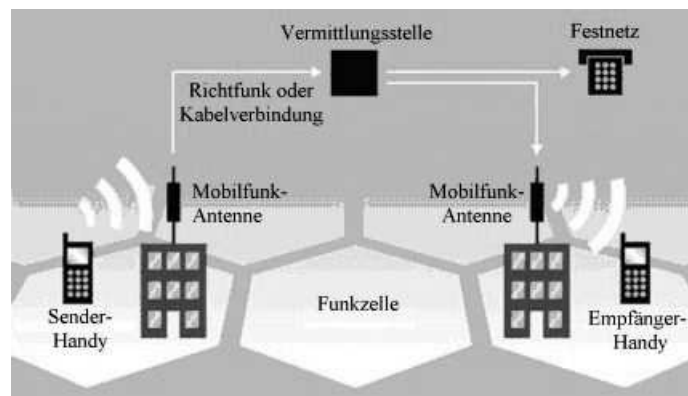


Abbildung 3.3:
Zellstruktur des Mobilfunknetzes – UMTS-Technik

³ [http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redirect.htm?](http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/redirect.htm?http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/allgemein/mf_history.htm)
http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/allgemein/mf_history.htm

⁴ Web-Links mit weiteren Informationen:
Bundesamt für Strahlenschutz: <http://www.bfs.de>,
Informationszentrum Mobilfunk e. V.: <http://www.izmf.de/html/de/index.html>,
Schulprojekt Mobilfunk: <http://www.schulprojekt-mobilfunk.de/>
ELEktronik-KOMPendium (das ELKO): <http://www.elektronik-kompodium.de>.

3.4 UMTS-Technik, Physik, Handyttest

Es folgen hier Fragen und Anregungen für die Erstellung eigener Arbeitsblätter und für die Diskussion des Themas im Unterricht.⁵

Fragen zur UMTS-Technik

- (1) Welche Bereiche der Informationstechnologie sollen durch UMTS zusammen wachsen?
- (2) Welche Netzarten ausser UMTS existieren?
- (3) Welche Bandbreiten haben GSM/GPRS und UMTS?
- (1) Wie heißt das UMTS-Netzwerk?
- (2) Wie wird der Verbund von GPRS und GSM genannt?
- (3) Welche Datenmengen können derzeit maximal gesendet werden?
- (1) Welche maximale Datenmenge sollte UMTS in Zukunft haben?
- (2) Welche Arten von Endgeräten existieren?
- (3) Welche Aufgaben hat die SIM-Karte?

Fragen zur Physik

- (1) Wer sind die Entdecker und Begründer der Mobiltechnologie?
- (2) Wie hängen das elektrische Feld und das magnetische Feld zusammen?
- (3) Wie schnell breiten sich elektromagnetische Wellen aus?
- (1) Welcher Formelbuchstaben steht für die Schwingungsdauer und welcher für die Frequenz?
- (2) Geben Sie den physikalischen Zusammenhang beider Größen in einer Formel an!
- (3) Welche Ziffern hat das Binärsystem?
Und welche elektrischen Zustände können dargestellt werden?
- (1) Aus welchen Bauteilen setzen sich klassische Frequenzfilter zusammen?
- (2) Wie verhalten sich die Bauteile (Widerstand, Spule, Kondensator) bei Wechselströmen?
- (3) Welche Aufgaben können sie erfüllen?

Fragen zum Handy

Wie lange telefonieren Sie täglich? Ist das viel?
Wie schätzen Sie die Risiken von Sendemasten im Vergleich zum Telefonieren mit dem Handy ein?
Telefonieren Sie im Auto?
Haben Sie schon mal was vom SAR-Wert gehört?
Wo kann man sich über Gefahren von Mobilfunk informieren?
Welches Bundesamt ist für die Grenzwerte im Mobilfunkbereich zuständig?

⁵ Diese Fragen können als Hausaufgabe für eine Internetrecherche gegeben werden. Gerade bei den Datenmengen und Endgeräten ändern sich die Ergebnisse von Jahr zu Jahr.

3.5 Empfehlungen des Bundesamts für Strahlenschutz zur Handy-Telefonie

Beim Mobilfunk werden hochfrequente elektromagnetische Felder zur Übertragung von Informationen eingesetzt. Auch Handys strahlen diese Felder aus, und das direkt am Kopf. Zur Zeit gibt es bei Einhaltung der Grenzwerte keine wissenschaftlichen Beweise für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Trotzdem hält es das BfS aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes (Vorsorge) für zweckmäßig, dass diese elektromagnetischen Felder so gering wie möglich gehalten werden. Vorsorge ist sinnvoll, weil es noch offene Fragen über die gesundheitlichen Wirkungen der Felder gibt.

Die elektromagnetischen Felder, die beim Telefonieren mit Handys auftreten, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, denen man z. B. durch benachbarte Mobilfunkbasisstationen ausgesetzt ist. Daher hält das BfS es für besonders wichtig, die Felder, denen die Nutzer von Handys ausgesetzt sind, so gering wie möglich zu halten und empfiehlt:

In Situationen, in denen genauso gut mit einem Festnetztelefon wie mit einem Handy telefoniert werden kann, sollte das Festnetztelefon genutzt werden.

Telefonate per Handy sollten kurz gehalten werden. Falls die elektromagnetischen Felder beim Telefonieren mit Handys ein gesundheitliches Risiko bewirken sollten, kann ein kürzeres Gespräch zu einer Verringerung dieses möglichen Risikos führen.

Möglichst nicht bei schlechtem Empfang, z. B. aus Autos ohne Aussenantenne, telefonieren. Die Leistung mit der das Handy sendet, richtet sich nach der Güte der Verbindung zur nächsten Basisstation. Die Autokarosserie z. B. verschlechtert die Verbindung und das Handy sendet deshalb mit einer höheren Leistung.

Verwenden Sie Handys, bei denen Ihr Kopf möglichst geringen Feldern ausgesetzt ist. Die entsprechende Angabe dafür ist der SAR-Wert (Spezifische Absorptions Rate). Die Hersteller der Handys planen, ab Herbst die unter festgelegten Bedingungen ermittelten SAR-Werte anzugeben.

Nutzen Sie Head-Sets. Die Intensität der Felder nimmt mit der Entfernung von der Antenne schnell ab. Durch die Verwendung von Head-Sets wird der Abstand zwischen Kopf und Antenne stark vergrößert, der Kopf ist beim Telefonieren geringeren Feldern ausgesetzt.

Nutzen Sie die SMS-Möglichkeiten, da Sie dann das Handy nicht zum Kopf führen müssen.

Ganz besonders gelten diese Empfehlungen für Kinder, da diese sich noch in der Entwicklung befinden und deshalb gesundheitlich empfindlicher reagieren könnten. Mit den oben aufgeführten Empfehlungen lässt sich die persönliche Strahlenbelastung einfach und effizient minimieren, ohne auf die Vorteile eines Handys verzichten zu müssen.

Bundesamt für Strahlenschutz⁶ – Stand vom 25.05.2003.

⁶ Diese Empfehlungen des Bundesamtes sollten die Schüler nach der Bearbeitung, des „Handytestes“ erhalten. Vgl. Umfrage (2003): <http://www.bfs.de/elektro/papiere/umfrage2003.html>