

# **Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen**

Renner Verena

8B RG AHS

Schulverbund SSND Österreich

A – 1150 Wien, Friesgasse 4

11.02.2015

Mag<sup>a</sup>. Marianne Korner

Mag. Wolfgang Harrer

## Abstract

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung der drahtlosen Kommunikationstechnik und ihrem physikalischen Hintergrund.

Im physikalischen Teil erkläre ich das Phänomen und die Anwendung der elektromagnetischen Welle – aufgebaut auf Recherchen in „handgreiflicher“ Literatur und auch online im Internet. Aufgezeigt wird, dass die elektromagnetische Welle aus einem elektrischen und einem magnetischen Feld besteht, kein Ausbreitungsmedium benötigt und durch die Modulationsverfahren die zu übertragende Information aufgeprägt bekommt.

Auch für den geschichtlichen Teil der Arbeit habe ich literarische Quellen und Internet-Recherchen verwendet. Seit Menschen kommunizieren besteht der Wunsch, auch größere Entfernungen zu überwinden. Es ist schließlich die Idee aufgekommen, Nachrichten auch ohne Verbindung zwischen zwei Orten zu übermitteln. Das erste Mal ist das Heinrich Hertz mit seinem Knallfunkensender gelungen. Weitergeführt hat diese Erfindung Guglielmo Marconi, in dem Bestreben die Reichweite noch zu vergrößern, bis schließlich 1901 die erste erfolgreiche, drahtlose Atlantikübertragung von einfachen Signalen stattgefunden hat. Nicht zu unterschätzen ist der Einfluss der beiden Weltkriege auf den Fortschritt in der Funktechnik: Radio und Funkverbindungen waren vor allem im zweiten Weltkrieg von essentieller Bedeutung.

Der allgemeine wirtschaftliche Aufschwung nach dem zweiten Weltkrieg hat auch die Kommunikationstechnik mitgerissen und langsam gehörten das Fernsehen und die mobile Telefonie zum Alltag der Menschen. So stelle ich im letzten Teil meiner Arbeit die drahtlose Datenkommunikation, ihre Technik und ihre Entwicklung in den Vordergrund.

# Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen

---

## Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	2
Glossar – Abkürzungsverzeichnis .....	4
0. Vom Wort zur unsichtbaren Welle - Einleitung.....	5
1. Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen.....	6
1.1. Die Natur elektromagnetischer Wellen .....	6
1.2. Ausbreitung.....	9
1.3. Modulation und Demodulation.....	11
1.3.1. Einfachste Informationsübermittlung: 2 Symbole.....	11
1.3.2. Das kann sich hören lassen: Amplitudenmodulation .....	11
1.3.3. Auf zu Höherem: Frequenzmodulation .....	13
1.3.4. Das digitale Zeitalter: Phasenmodulation .....	14
1.4. Anwendungen der verschiedenen Modulationsverfahren .....	15
1.5. Empfangen.....	17
2. Geschichte der Funktechnik .....	20
2.1. Wie alles begann.....	20
2.2. Weit, weiter, Marconi.....	21
2.3. Fortschritt durch Industrie und Krieg.....	23
2.3.1. Die Anfänge und erste Nutzung .....	23
2.3.2. Schiffe und ferne Länder werden erreichbar.....	24
2.3.3. Erste Funkverbindung zu Flugzeugen und Untersuchung des Einflusses der Sonne .....	24
2.3.4. Erfindungen in der Elektronik bereiten der Funktechnik den Weg .....	25
3. Mobile Sprach- und Datenkommunikation, Smartphones .....	27
3.1. Entwicklung der Netzwerkdienste in Österreich.....	27
3.2. Funktionsweise des Zellularen Netzwerkes.....	28
3.3. Verbindung von Mobilfunk mit dem Internet .....	29
4. Schluss .....	31
Literaturverzeichnis .....	33
Abbildungsverzeichnis.....	35
Selbstständigkeitserklärung.....	36

## Glossar – Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Name</b>	<b>Kommentar</b>
<b>AM</b>	Amplitudenmodulation	Siehe Text
<b>FM</b>	Frequenzmodulation	Siehe Text
<b>PM</b>	Phasenmodulation	Siehe Text
<b>HF</b>	Hochfrequenz	
<b>GSM</b>	Groupe Spécial Mobile	Mobilfunkstandard der 2.Generation
<b>GPS</b>	Global Positioning System	Positionsbestimmungsdienst über Satellitensignale ohne Rückkanal
<b>WLAN</b>	Wireless LAN	Lokal nutzbarer Standard für drahtlose Datenkommunikation
<b>LAN</b>	Local Area Network	Lokal nutzbarer Standard für drahtgebundene Datenkommunikation
<b>GPRS</b>	General Packet switched Radio Service	Mobilfunkdienst von GSM, Standard der 2,5-ten Generation
<b>WAP</b>	Wireless Access Protocoll	Erster Standard für mobilen Internet-Zugriff
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	Mobilfunkdienst 2,5-ten Generation für höhere Datenraten
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecom. System	Mobilfunkstandard 3.Generation
<b>LTE</b>	Long Term Evolution	Mobilfunkstandard 4.Generation

## 0. Vom Wort zur unsichtbaren Welle - Einleitung

### *Schreiben. Senden. Empfangen.*

Schneller, als man diese drei Worte lesen kann, ist die Nachricht bereits verschickt und vermutlich innerhalb dieser Zeile bereits beim Empfänger angekommen. Kilometer liegen zwischen zwei Menschen und niemand sieht, riecht, schmeckt, hört oder fühlt, dass eine Nachricht über einen hinweg „fliegt“. Dabei ist Kommunikation selbst, angefangen vom ersten je gesprochenen Wort, etwas völlig Selbstverständliches. Der Mensch will sich mitteilen, der Mensch will kommunizieren. So entwickelte sich die Sprache schon in der Steinzeit, wobei der Schall als Überbringer der Nachricht schnell durch Hindernisse gestört werden kann und er reicht auch nur über kürzere Distanzen. Es kam zur Entwicklung der Schrift und man tauschte Briefe aus, um miteinander zu kommunizieren, doch auch dabei scheiterte man an zu großen Distanzen, abgesehen von dem enormen Zeitaufwand. Bis hin zum Mittelalter verstand man unter „Kommunikation“ lediglich den Austausch der Menschen untereinander oder durch Briefe. Erst die Entdeckung von elektrischem Strom machte es schließlich möglich, Informationen schneller und weiter zu übertragen. Die Sprache wurde zu diesem Zweck anfangs in nur zwei Signale eingeteilt: „Strom an“ und „Strom aus“, damit war das Morsen erfunden. Doch immer noch war eine physische Verbindung zwischen den Orten nötig, um eine Nachricht zu überbringen. Hindernisse wie weite Ozeane und Berge mussten mühsam mit langen, dicken Kabeln umgangen werden. Doch dann gewann 1856 durch den Physiker James Clerk Maxwell der Begriff der elektromagnetischen Welle an Bedeutung. Angefangen bei Licht bis hin zu den Dingen, die unseren Alltag heute bestimmen: Radio, Fernsehen, WLAN und natürlich unser Handy – elektromagnetische Wellen sind nicht mehr wegzudenken. Wie, wodurch, warum und wieso es nun zu dieser drahtlosen Kommunikation kam und was eigentlich genau tagtäglich über unseren Köpfen umherschwebt, sind die Dinge, die ich für jeden verständlich darlegen möchte, den es interessiert. Um selbst einen klaren Überblick zu bekommen, habe ich verschiedenste Literatur verwendet, sowie auch im Internet recherchiert /8/.

# 1. Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen

## 1.1. Die Natur elektromagnetischer Wellen

Um nun aber die genaue Übertragung von einem Handy zu einem anderen zu verstehen, müssen wir uns zunächst der Physik dahinter widmen. Fangen wir also mit einer ganz naheliegenden Frage an: Was ist eigentlich eine elektromagnetische Welle?

Eine elektromagnetische Welle ist und bleibt schließlich auch nur eine Welle und eine Welle ist die Ausbreitung einer Störung, wie zum Beispiel die Kreise auf einer Wasseroberfläche, die durch das Einfallen eines Steines verursacht wurden. Stört, oder mit anderen Worten, bewegt man nun ein elektrisches Feld, umgibt es sich ganz von selbst mit einem magnetischen Feld. Man kann also sagen: Veränderliche elektrische, als auch magnetische Felder umgeben

einander und sind eine untrennbare Einheit.

Diese Einheit nennt man elektromagnetische Welle. Und genau das ist es, was der Physiker James Clerk Maxwell rechnerisch beweisen konnte. Dieses Wissen ermöglicht es uns schließlich, eine künstliche elektromagnetische Welle zu erzeugen /1/.

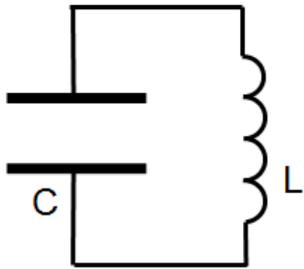


Abbildung 1: Schwingkreis /16/

Dafür benötigt man einen Schwingkreis, noch ein Wort, das uns länger begleiten wird. Also, was ist ein Schwingkreis? Ein Schwingkreis verbindet das elektrische Feld eines Kondensators C mit dem magnetischen Feld einer Spule L /2/.

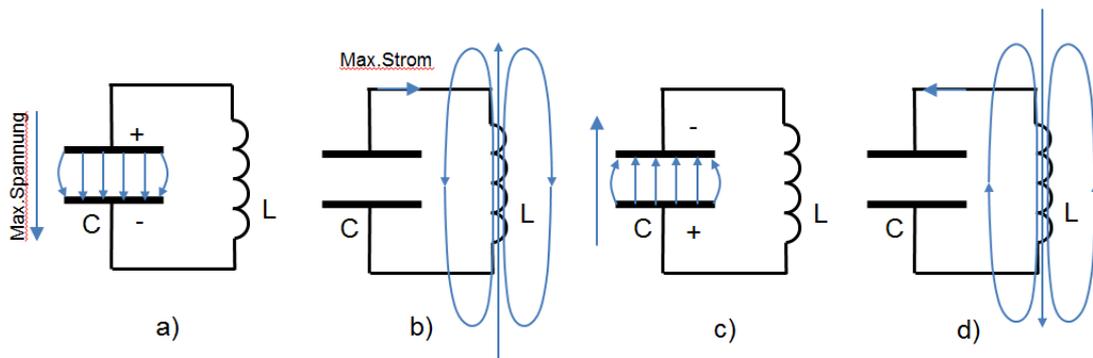


Abbildung 2: So schwingt ein Schwingkreis /16/

Entlädt sich der Kondensator in Abbildung 2 (a→b), fließt Strom in eine Richtung des Kreises. Wenn der Strom zur Spule kommt, wandelt sich die zuerst elektrische Energie schließlich in das magnetische Feld der Spule um. Andersherum wandelt sich nun das magnetische Feld wieder in Strom um und dieser Stromfluss lädt erneut den Kondensator auf (b→c), allerdings anders herum gepolt als zuvor. Wir haben also eine abwechselnde Schwingung von einem elektrischen und einem magnetischen Feld. Um nun eine elektromagnetische Welle auszusenden, bedarf es noch zwei weiterer Elemente: Das wäre einmal ein Verstärker und zweitens eine Antenne. Der Verstärker verstärkt einfach die Signale, die vom Schwingkreis kommen. Aber was ist eine Antenne und wieso kann sie elektromagnetische Wellen ausstrahlen /1/?

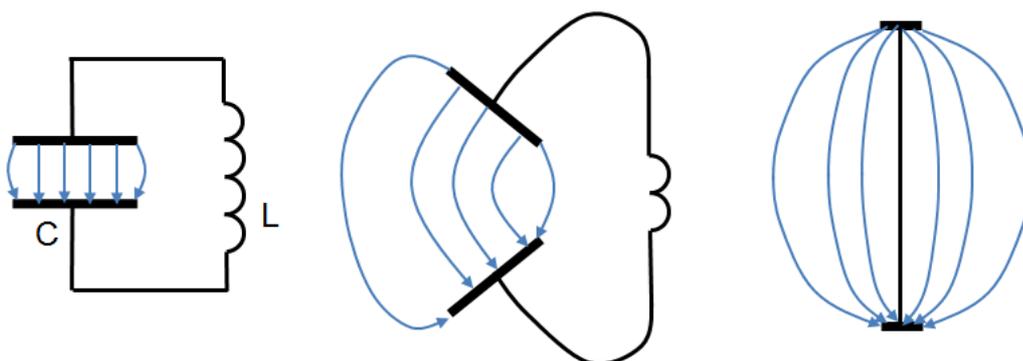


Abbildung 3: Aus Schwingkreis wird Antenne /16/

Führen wir dafür ein kleines gedankliches Experiment durch. Wir haben einen Schwingkreis genauso, wie wir ihn zuvor kennengelernt haben, der ein elektrisches Feld in ein magnetisches umwandelt. Jetzt vereinfachen wir ihn

schlicht soweit, dass nur noch eine Leiterschleife übrig bleibt. Immer noch ist es ein Schwingkreis, unsere Spule hat eben nur noch eine Windung, was nichts daran ändert, dass wir sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Feld haben. Stellen wir uns nun vor, wie sich dieser vereinfachte Schwingkreis öffnet und gerade biegt. Uns bleibt letztlich eine Art Metallstange übrig, wie man in Abbildung 3 sehen kann. Das ist genau das, wonach wir gesucht haben: Eine Antenne. Eine Antenne ist also „nur“ ein offener Schwingkreis, wie in Abbildung 3 dargestellt. Soweit so gut, jetzt fehlt nur noch die Ausbreitung der elektromagnetischen Welle /1/, /8/.

Die Enden unserer Antenne wirken praktisch wie die Platten eines Kondensators, die sich wieder entladen und aufladen, wodurch ein Stromfluss im Leiter entsteht. Durch das Induktionsgesetz /1/ wissen wir, dass ein stromdurchflossener Leiter sich immer mit einem Magnetfeld umgibt. Da durch das Auf- und Abschwingen der Ladungen die Kondensatoren immer umgepolt

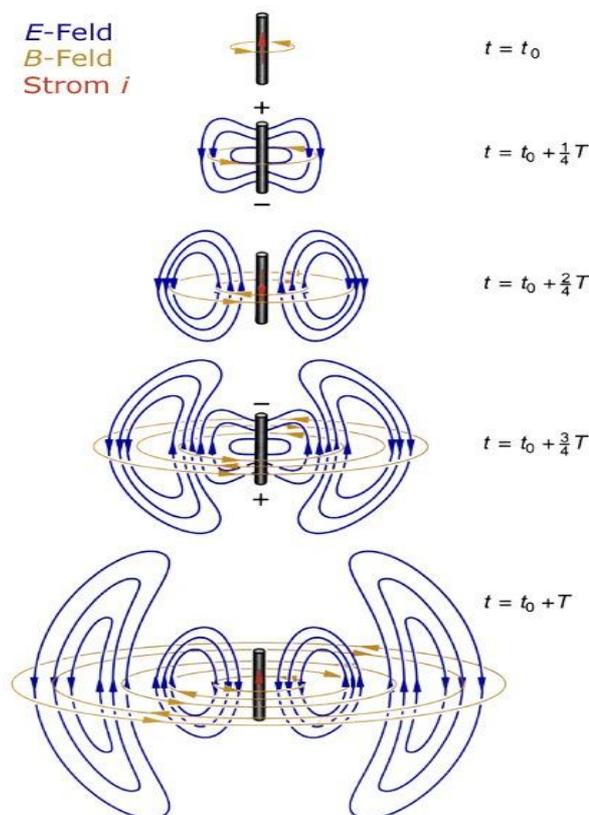


Abbildung 4: Aussendung einer EM-Welle von einer Antenne /2/

werden, wird die Antenne auch oft als „Dipol“ oder „Hertz’scher Dipol“ bezeichnet.

Durch dieses Auf- und Abschwingen der Ladungen entsteht, wie man in Abbildung 4 sehen kann, sowohl ein elektrisches, in Abbildung 4 blau gekennzeichnetes, als auch ein magnetisches, in Abbildung 4 gelb gekennzeichnetes Feld, das sich kontinuierlich ändert. Diese gelben und blauen Feldlinien lösen sich schließlich von der Antenne ab und wir erhalten, wonach wir gesucht hatten: elektromagnetische Wellen!

Ganz so leicht ist das in der Praxis leider nicht, da ein Leiter nie völlig widerstandsfrei ist. Man müsste sich das Schwingen der Ladungen also so vorstellen wie eine Schaukel, die wegen des Luftwiderstandes immer mehr an Höhe verliert, bis sie schließlich stehen bleibt. Um nun das kontinuierliche Schwingen der Ladungen in der Antenne zu sichern, muss man also immer am richtigen Zeitpunkt wieder etwas Energie zuführen, so, als würde man bei der erdachten Schaukel einmal anstoßen, um die Höhe bei zu behalten. Das gelingt schließlich durch einen Verstärker, der die Antenne im richtigen Takt periodisch mit der nötigen Energie versorgt /16/.

Gut. Wir wissen also, was eine elektromagnetische Welle ist, und wie man sie erzeugt. Was fängt man aber nun mit dieser Welle an?

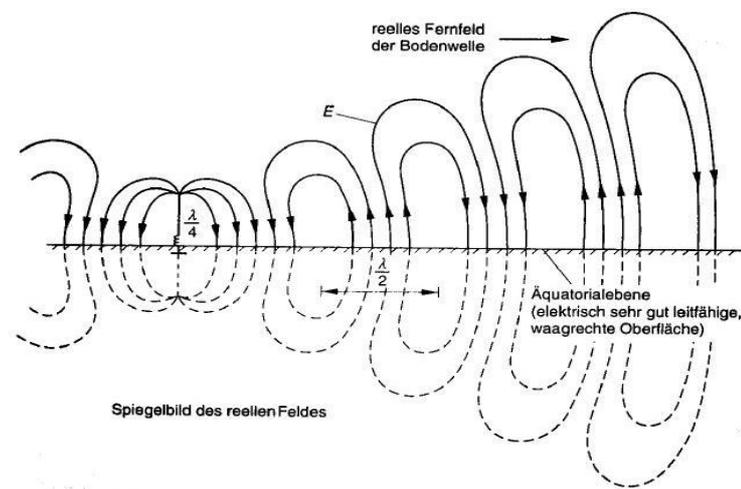


Abbildung 5: Modellvorstellung der Bodenwellenausbreitung elektromagnetischer Wellen /18/

## 1.2. Ausbreitung

Eine elektromagnetische Welle ist von Natur aus eine kugelsymmetrische Welle, die sich in alle Richtungen gleich ausbreitet. Rein geometrisch betrachtet ist klar, dass die Intensität dieser Welle rasch abnehmen muss, da die Fläche dieser Welle mit  $r^2$  zunimmt, demnach nimmt ihre Intensität auch mit  $1/r^2$  ab. Diese Wellen breiten sich, abhängig von ihrer Wellenlänge, einmal über den Boden aus, insofern ihre Wellenlänge im Meterbereich liegt, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Oder aber durch die Luft, wenn ihre Wellenlänge kleiner ist. Noch ein Problem ist, dass elektromagnetische Wellen, abhängig von ihrer

Wellenlänge, nicht durch alle Hindernisse hindurch können. Es kann auch sein, dass eine Welle reflektiert wird, was dann eine Verzerrung oder einen Wiederhall beim Empfangen erzeugt. Oft ist es auch sehr wichtig, dass die elektromagnetische Welle in die richtige Richtung hin gesendet wird und nicht, wie bei einer „normalen“ Antenne in alle Richtungen. Dazu hat man verschiedene Antennentypen eingeführt, wie etwa die Yagi-Antenne. Dabei werden mehrere Antennen neben einander gestellt, die immer kleiner hin in die gewünschte Richtung werden. Bei der ersten, größten Antenne befindet sich dahinter ein Reflektor, der die Wellen in die richtige Richtung reflektiert. Ein weiterer Weg in nur eine Richtung zu senden ist die Parabolantenne. Dabei wird die Antenne in den Brennpunkt einer parabelförmigen Metallplatte gebaut, wobei alle weiterführenden Strahlen Brennpunktstrahlen sind, die von der Parabel zu Parallelstrahlen reflektiert werden, wie in Abbildung 6 dargestellt ist /8/, /18/, /21/.

Jedoch, wie oben schon erwähnt, spielen Hindernisse keine unwesentliche Rolle bei der Ausbreitung der EM-Welle. Allerdings ist die Ablenkung von der Wellenlänge

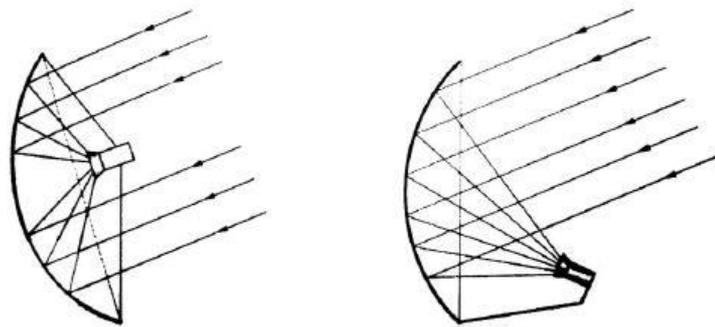


Abbildung 6: Darstellung einer Parabolantenne – Fokussierung /18/

abhängig. Hat die Welle eine kleine Wellenlänge, lässt sie sich viel leichter von Hindernissen ablenken. Je größer die Wellenlänge ist, umso besser „durchdringt“ sie Häuser und andere Objekte. Der Schwingkreis ist bei der elektromagnetischen Welle das Element, das die Frequenz und somit auch die Wellenlänge bestimmt. Die Frequenz gibt an, wie oft eine Ladung pro Sekunde hin und her schwingt. Je öfter sie das tut, umso höher die Frequenz und hat man eine hohe Frequenz, hat man umgekehrt eine kleine Wellenlänge, da ja zwischen den erzeugten Feldern „weniger Platz“ ist, sie also einfach schneller aufeinander folgen /8/.

Soweit so gut, doch wie überträgt diese Welle nun die gewünschte Information?

## 1.3. Modulation und Demodulation

### 1.3.1. Einfachste Informationsübermittlung: 2 Symbole

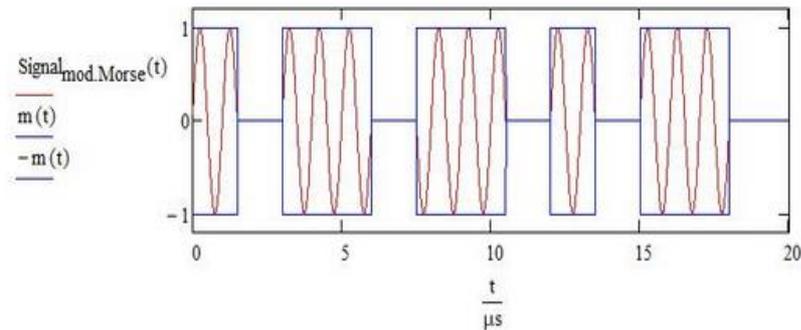


Abbildung 7: Morsesignal im Hochfrequenzbereich /16/

Bis jetzt kann dieses einfache System nur zwei Signale senden: „An“ und „Aus“. In Abbildung 7 ist in etwa so eine Signalübertragung zu sehen, wobei die Kästchen dem Signal „An“ entsprechen, der Strich dem Signal „Aus“. Das lässt natürlich sehr an das Morsealphabet erinnern, mit all seinen Punkten und Strichen. Doch das ist nicht der Grund, warum diese Welle so genial ist, denn schließlich können wir einen Menschen von nicht vorstellbaren Weiten aus sprechen hören. Um das zu schaffen bedarf es der Modulation und der Demodulation der elektromagnetischen Welle. Anders gesagt gibt es Elemente dieser Welle, die man verändern kann und das macht man sich zu Nutze, um Informationen mit ihr gemeinsam zu übertragen /8/.

### 1.3.2. Das kann sich hören lassen: Amplitudenmodulation

Stellen wir uns vor, wir möchten mit unserer Welle ein Muster senden, es kann ein simples Dreieck sein, oder auch das Muster von Sprache. Jetzt stellten wir unseren Schwingkreis so ein, dass er in der gewünschten Frequenz schwingt und schließen daran unsere Modulation an, ein Element, das unsere Welle so verändert, wie wir sie haben möchten. Es gibt nun verschiedene Arten der Modulation, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben. Wie anfangs bereits erwähnt, wäre natürlich die einfachste Art der Modulation das Einschalten und Ausschalten, wobei man wieder ähnlich wie mit dem Morsealphabet arbeitet. Hierbei wäre die Demodulation sehr einfach, doch die Information, die man damit pro Zeit übertragen kann, ist sehr gering. So entwickelte man eine

Modulation, bei der man die Amplitude der erzeugten Welle beeinflusst. Die gewünschte Information, wie etwa das Sprachmuster, wird durch die Regulation des Verstärkers erzeugt und somit auf die Welle „aufmoduliert“, dieses Verfahren ist in Abbildung 8 zu sehen, wobei die blaue Linie der veränderten Amplitude entspricht. Diese Art der Übertragung hat natürlich wieder den Vorteil, dass die Demodulation sehr einfach ist, jedoch hat sie den Nachteil, dass bei Signalschwäche sehr leicht Fehler oder Verzerrungen bei der Übertragung auftreten, da diese ja auch die Amplitude beeinflussen. Man kann

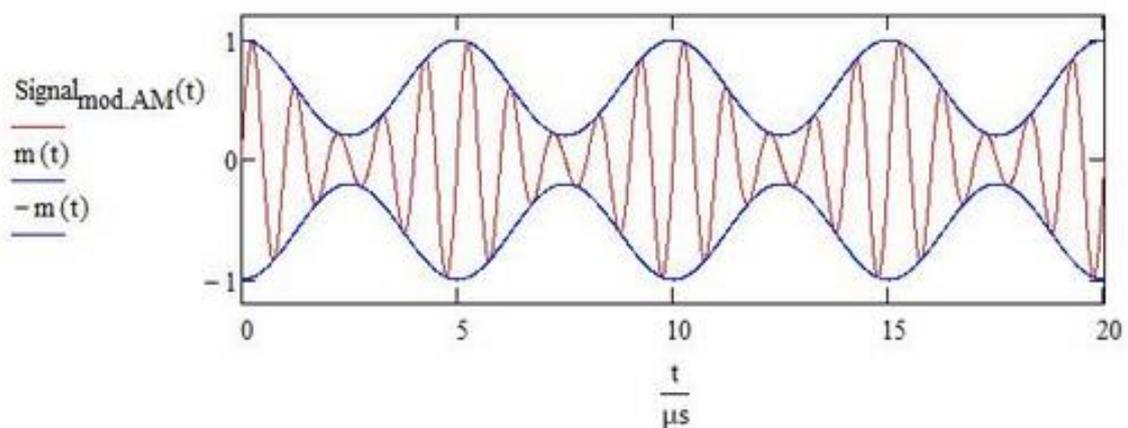


Abbildung 8: Darstellung der Amplitudenmodulation /16/

dabei also nicht unterscheiden ob die „kleinere Welle“ erwünscht war, oder z.B. von einer Signalschwäche erzeugt wurde /1/, /8/.

### 1.3.3. Auf zu Höherem: Frequenzmodulation

Ein weiteres Element der elektromagnetischen Welle, das man beeinflussen kann, ist die Frequenz. Das macht man sich natürlich auch zunutze, auch wenn die Ausführung sich recht kompliziert gestaltet. Der Schwingkreis ist, wie wir bereits wissen, das frequenzbestimmende Element bei der Aussendung einer Welle. Man muss nun die gewünschte Information durch ein „dichter“ und „weiter auseinander“ - Sein der Welle übertragen, sodass bei der Demodulation am Ende das gewünschte Muster erkannt werden kann, was in Abbildung 9 der obersten, blauen Linie entsprechen würde. Die grüne Welle wäre hierbei die originale Welle, die rote die veränderte Welle. Im Endeffekt erhält man das gleiche Muster, wie bei der amplitudengesteuerten Modulation, nur, dass sich das Muster aus der Veränderung der Frequenz der Welle ergeben muss, was die Demodulation recht schwierig gestaltet. Doch der überaus große Vorteil ist, dass die Signalstärke einen viel kleineren Einfluss auf die Demodulation hat. Denn, wenn die Frequenz die Information überträgt, kann die Stärke, also die

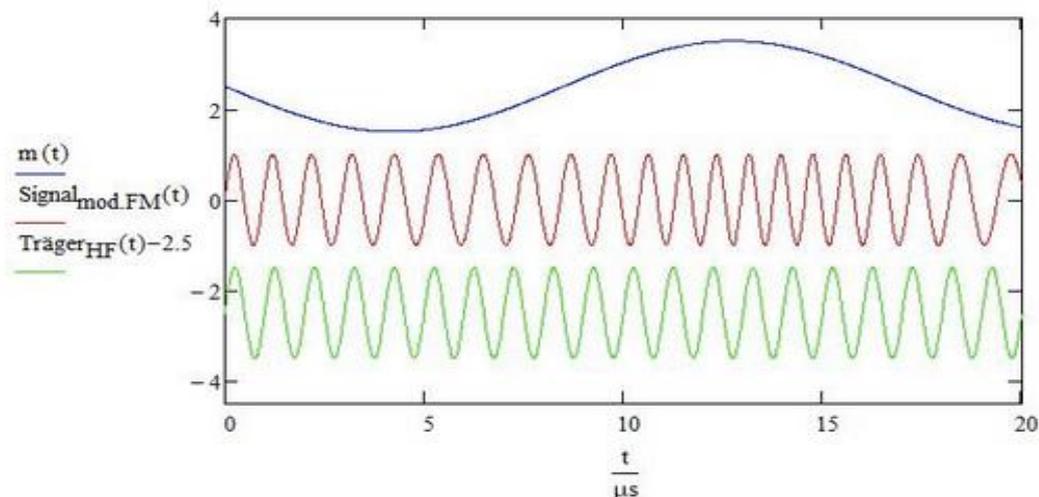


Abbildung 9: Frequenzmodulation /16/

Amplitude der Welle, immer gleich bleiben. Sollte das Signal schwächer werden, kann man den Verstärker einfach größer drehen, bis die genormte Größe des Signals wieder erreicht wurde, ohne dass man Gefahr läuft Information zu verzerren /1/, /8/, /3/.

### 1.3.4. Das digitale Zeitalter: Phasenmodulation

Die bis jetzt beschriebenen Arten der Modulation sind alle analog, was bedeutet, dass die Daten, die man übertragen will, im Grunde so bleiben wie sie sind, ohne, dass man sie zuvor digitalisiert, also „verpackt“.

Die Idee der Digitalisierung bringt uns nun zu der wohl am häufigsten genutzten

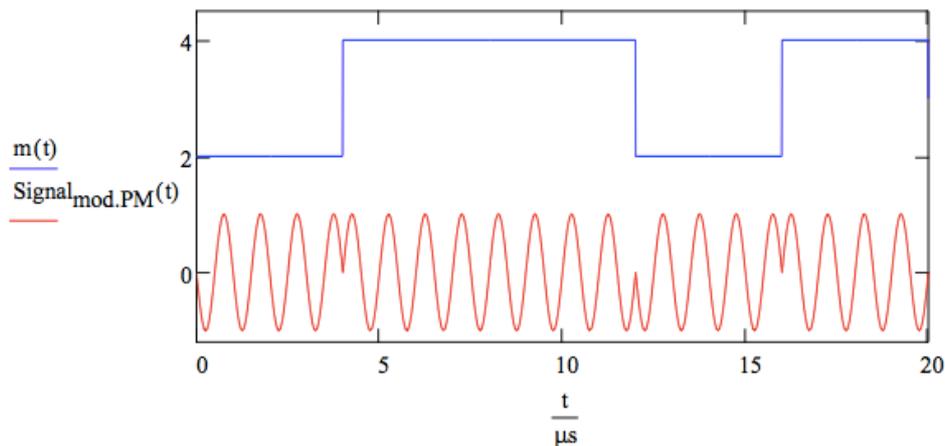


Abbildung 10: Phasenmodulation /16/

Art der Modulation, der sich auch die Handys bedienen. Man nennt diese Art auch Phasenmodulation (Abbildung 7). „Phasenverschoben“ ist zunächst etwas, was sich recht schwer vorstellen lässt, aber versuchen wir wieder es uns bildlich vorzustellen. Wir haben zwei verschiedene Signale, ähnlich wie beim Morsen, nennen wir sie „0“ und „1“, wie etwa die blaue Linie in Abbildung 10.

Dann legen wir ein bestimmtes Muster fest, wie etwa eine Sinuskurve, sowie die rote Linie in Abbildung 10, die, wenn sie von der Demodulation gelesen wird klar als Signal „0“ verstanden wird. Jetzt nehmen wir dieses Muster und drehen es einfach um. Es ist also verkehrt, oder auch „phasenverschoben“. Man kann sich das ganz gut mit einer Sinuskurve und einer negativen Sinuskurve vorstellen, einfach um  $180^\circ$  gedreht, und dieses Muster wird dann als das andere Signal „1“ erkannt, sowie das in Abbildung 10 vor Bereich 5 zu sehen ist. Unser Detektor auf der anderen Seite muss nun entscheiden: Ist diese Kurve, die ich erhalte eher „0“ oder „1“? Daraus erhalten wir letzten Endes unsere Information. Warum so kompliziert und nicht einfach morsen? Gute Frage, die auch eine gute Antwort erhält: Weil man so viel mehr Information

übertragen kann, die noch dazu viel kompakter ist. Außerdem bleibt hier, sowie bei der Modulation durch die Frequenz, die Stärke der Welle immer gleich, was wieder gut für die Übertragung ist /1/, /8/, /3/.

#### **1.4. Anwendungen der verschiedenen Modulationsverfahren**

Verwendet werden diese verschiedenen Arten der Modulation auch in verschiedenen Bereichen, sodass ihre Vorteile gut genutzt werden können. Natürlich hat auch der Fortschritt der Zeit zu so mancher Erneuerung und Veränderung beigetragen.

Wie bereits oben erwähnt, begann es zunächst mit der einfachsten Variante, dem „drahtlosen Morsen“ und diese fand ihre Anwendung in den damals wichtigsten Bereichen, wie etwa Kriegsnachrichten zu übermitteln.

Spannender wird die Sache etwas später, als die Idee des Radios aufkommt. Diese entwickelte sich durch die Entdeckung der Amplituden-Modulation und vor allem der neuentdeckten Dioden, die die Demodulation sehr einfach durch ihre Halbleitereigenschaften ermöglichte, was ausschlaggebend für ihre flächendeckende Nutzung war. Denn diese Dioden lassen Strom nur in einer Richtung hindurch, sodass die negativen Anteile des übertragenen Signals weggelassen, sozusagen „weggeschnitten“ werden, so bleibt nur noch das zu übertragende Muster übrig. Für die Übertragung verwendete man damals lang-, mittel-, sowie auch bereits kurzweilige Frequenzen, wobei letztere höhere Störungen mit sich brachten, weil, wie wir schon wissen, kleine Wellenlängen leicht durch Hindernisse abgehalten werden können. Jedoch wurde diese Technik genutzt, da die Demodulation sehr leicht auch in kleinere, sogar tragbare Geräte einzubauen war. Dennoch war die Bandbreite der Frequenz dieser Geräte zu niedrig, um hohe Töne, die nun einmal eine sehr hohe Frequenz haben, vollständig zu übermitteln /1/.

Die Bandbreite ist, ähnlich wie die Wellenlänge, für die „Qualität“ der Übertragung wichtig. Man kann sich das in etwa so vorstellen: Man hat eine Trägerfrequenz, jene Frequenz die gleichmäßig, periodisch vom Schwingkreis angegeben wird mit ganz vielen „Zacken“. Je dichter diese Zacken sind, umso höher ist die Trägerfrequenz und umso variabler diese Dichte ist, umso größer ist die Bandbreite. Man kann also sagen, dass die Bandbreite der

„Übertragungsraum“ der Frequenz um sie herum ist. Wenn man nun einen hohen Ton, der selbst ganz dichtgepackte Zacken hat, übertragen will, braucht man auch eine Trägerfrequenz mit mindestens so vielen Zacken, sonst wird der Ton nie wirklich so klingen, wie vorher, da eine Zacke ja fehlen würde - man „verliert“ also ein Stück. Deshalb, um die Qualität des zu übertragenen Tons zu steigern, war klar, dass man höhere Frequenzen als Trägerfrequenz nutzen musste, die auch höhere Bandbreiten um sie herum ermöglichen. Das Problem an der Sache war nur, dass es schwieriger war die kleinen Wellenlängen gut zu übertragen, sodass man ihre Amplitude auch gut erkennen konnte. Bis man dieses Problem überwunden hatte, war diese Technik ab den 1920er Jahren die am weitesten genutzte /8/.

Da das Problem darin bestand, dass man die variierende Amplitude der Amplitudenmodulation bei kleinen Wellenlängen nur mit vielen Störungen übertragen konnte, dachte man sich, dass es besser sei mit der Frequenzmodulation zu arbeiten und es entstand das UKW Radio, sowie wir es heute immer noch kennen und verwenden. Dieses Signal ist sehr robust, da die Amplitude ja immer gleich bleibt und so konnte man sehr gut mit einer höheren Bandbreite arbeiten und auch qualitativ hochwertige Funkübertragungen durchführen. Ihre Anwendung findet dieses System heute immer noch im 100 MHz Bereich, wo man etwa den Radiosender Ö3 empfangen kann. Jedoch hatte man, bei dieser Art von Modulation das Problem, dass man mit der Halbleitertechnik der Dioden alleine nur schwer demodulieren konnte. Ausschlaggebend für die verbreitete Anwendung war die Erfindung des Transistors, der gemeinsam mit Filterelementen das Signal sehr gut zerlegen, verstärken und schließlich demodulieren konnte /13/.

Jedoch, sobald man die Phasenmodulation erfunden hatte, bestand der Reiz, auch digitale Signale über Funk zu übertragen. Es ist natürlich von großem Vorteil, dass bei dieser Art der Übertragung auch die Frequenz gleich bleibt, was das Signal noch stabiler macht, die Modulation und Demodulation jedoch, ähnlich wie bei der Frequenzmodulation, schwieriger macht. Doch auch hier war die Halbleitertechnik ausschlaggebend für das verbreitete Einsetzen der phasenverschobenen Modulation. Die Halbleiter in Gestalt von Mikroprozessoren ermöglichten die digitale Signalverarbeitung: Waren Musik

und Sprache erst einmal digitalisiert und mittels Phasenmodulation einem Träger aufgeprägt, erfolgte die Verstärkung und Abstrahlung wie zuvor. Nach analogem Empfang und weiterer Verarbeitung der hochfrequenten Signale in Filtern und Verstärkern übernahm dann ein Mikroprozessor die Entscheidung, welches Signal jetzt empfangen wurde: das mit der Phase für „0“ oder das mit der Phase für „1“. Mit diesen Daten wurde weitergerechnet, sodass man schließlich wieder konkrete digitale Zahlenwerte erhielt, die man dann durch einen Digital-Analog-Wandler wieder zu einem hörbaren Signal umwandeln konnte: Der erste Mobilfunk war also geboren. Breitflächig genutzt wurde er jedoch erst, als das GSM ins Leben gerufen wurde.

Gut, wir wissen also nun, wie man ein Signal sendet und wie man es so sendet, dass die meiste Information in bester Qualität übertragen wird. Doch was nützt das, wenn man diese Informationen nicht empfangen kann?

## 1.5. Empfangen

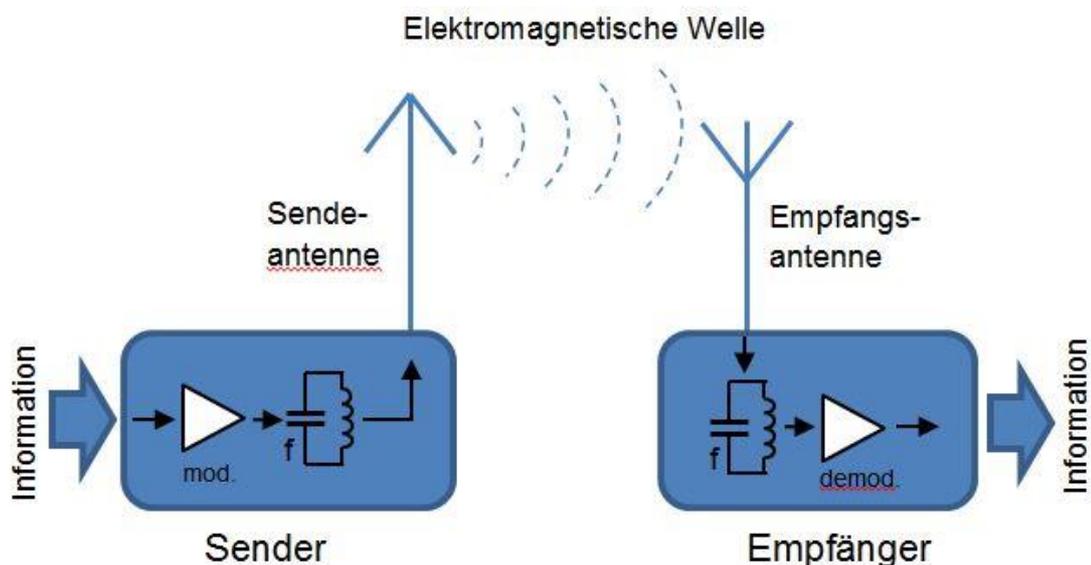


Abbildung 11: Übertragungsstrecke mit Sender und Empfänger /16/

Wie auch beim Aussenden, benötigt man beim Empfangen eine Antenne. Empfangen ist im weitesten Sinne nichts anderes als Senden - nur verkehrt herum. Es beginnt damit, dass man eine Antenne irgendwo in den Wirkungsbereich der elektromagnetischen Welle des Senders stellen muss, wie man es in der Abbildung 11 sehen kann. Am besten funktioniert das Empfangen, wenn diese Antenne die gleiche „Polarisationsrichtung“ wie die

elektromagnetischen Wellen der Sendeantenne hat, also wenn die beiden Antennen parallel zu einander stehen – ihre Felder haben die gleiche Ausrichtung, die gleiche „Polarisation“. Nun stehen auch mehrere Antennen in einem Gebiet und es „fliegen“ demnach auch sehr viele verschiedene elektromagnetische Wellen umher, die alle durch eine Modulation irgendeine Information mittragen. Warum kommt also die richtige Information an der richtigen Antenne an? Es ist natürlich so, dass die Antenne schon grob auf den Frequenzbereich, den sie empfangen soll, angepasst sein muss. Jedoch viel ausschlaggebender ist der Filter, zu dem das Signal nach dem Empfangen der Welle geleitet wird. Bei diesem Filter handelt es sich nämlich wieder um einen Schwingkreis, der nur jene Frequenzen durchlässt, auf die er eingestellt ist. Man nennt dieses Phänomen auch Resonanz, oder simpel: „Mitschwingen“. Dabei lässt sich ein Stoff oder ein Element, hier eben der Schwingkreis, nur von bestimmten Frequenzen zum „Mitschwingen“ anregen /1/, /2/, /7/.

Es werden also nur die elektromagnetischen Wellen weitergeleitet, auf die der Schwingkreis eingestellt ist, die restlichen Frequenzen werden einfach nicht übertragen, sie werden sozusagen „weggefiltert“. Man kann sich das auch sehr gut an einem Beispiel vorstellen, wie etwa beim Radio: Es gibt verschiedene Radiosender, die auf verschiedenen Frequenzen senden. Möchte man einen anderen Radiosender hören, so muss man die Frequenz verstellen, also die Frequenz des filternden Schwingkreises. Danach muss das Signal eben, abhängig von der Modulationsart, demoduliert werden. Handelt es sich nun um ein analoges Signal, kann es gleich zu einem Lautsprecher übertragen werden. Sollte es sich um ein digitales Signal handeln, muss dieses zuerst noch verarbeitet und zu einem analogen Signal umgewandelt werden, bevor man dann seine Musik oder die Nachrichten hören kann /3/, /16/.

Um etwaige Störung so gut wie möglich zu umgehen, wird meist etwas „zu viel“ Information mitgesendet, was allerdings nur bei digitalisierten Signalen möglich ist. Man nennt diese Verfahren „Codierungsverfahren“. Das kann etwa so aussehen, dass am Ende der „0“ und „1“ Datenreihe einfach noch die Gesamtsumme, die die Zeichen ergeben sollen, mitgesendet wird. Sollte diese Summe nicht stimmen, kann man nachrechnen, wo es am wahrscheinlichsten ist, dass sich der Demodulator geirrt hat, also, wo die Entscheidung zwischen

„0“ und „1“ am undeutlichsten auszumachen war und dort das Zeichen einfach ändern. Es ist leider nicht auszuschließen, dass dadurch quasi zusätzliche Fehler eingebaut werden, wenn man etwa eine richtige Zahl vertauscht. Jedoch besteht so immerhin die Möglichkeit, das Signal nachträglich zu verbessern, damit wir am Ende auch hören können, wenn sich der Nachrichtensprecher verspricht /8/.

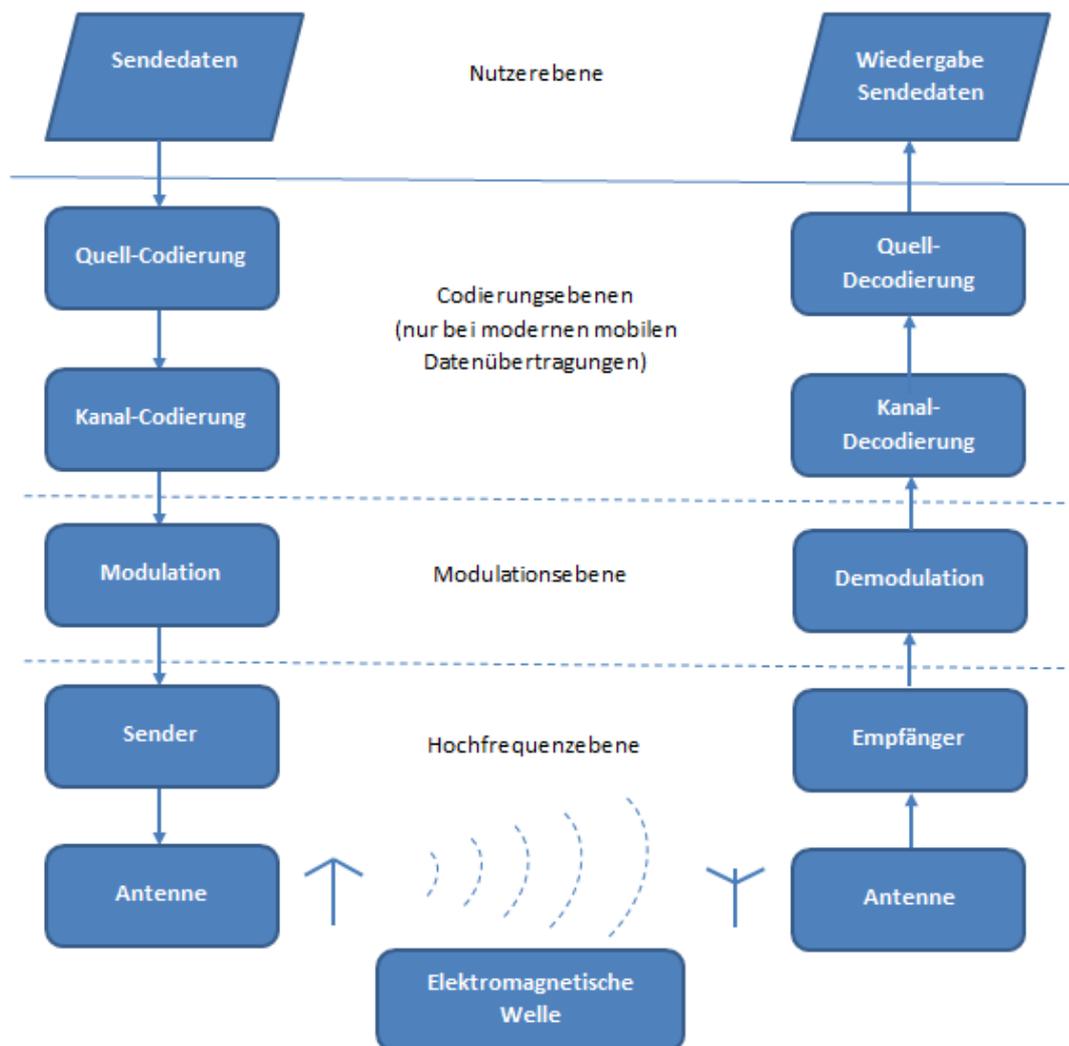


Abbildung 12: Schichtenmodell der drahtlosen Kommunikation /16/

Das Zusammenspiel der Hochfrequenz-, Modulations- und Codierungsebenen zeigt Abbildung 12.

## 2. Geschichte der Funktechnik

### 2.1. Wie alles begann

„Es donnert schon wieder!“, könnte die arme Frau von Heinrich Hertz wohl ständig gerufen haben. Doch tatsächlich hätte sie nur die Übertragung einer Spannung und ihren Mann rufen gehört: „Beruhig dich doch - das ist mein Knallfunkensender!“ Heute sieht das etwas anders aus, doch wo ein Anfang ist, da ist auch der Fortschritt in Sicht.

Betrachten wir aber zunächst doch den Beginn der drahtlosen Kommunikation, denn wer liest schon das Ende einer Geschichte zuerst?

„Knallfunkensender“ nennt sich also jenes verblüffende Ding, mit dem Heinrich Hertz 1886

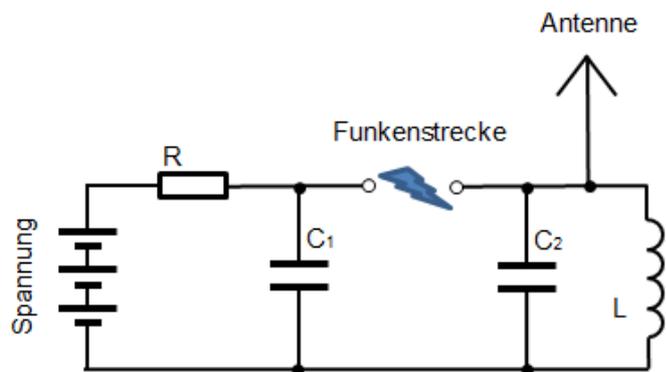


Abbildung 13: Knallfunkensender /16/

endlich den Beweis für die Existenz elektromagnetischer Wellen erbracht hat, genauso wie Maxwell sie 1856 vorausgesagt hatte. Bei diesem Gerät handelt es sich um eine Schaltung mit zwei Kondensatoren  $C_1$  und  $C_2$ , die parallel geschaltet sind (siehe Abbildung 13), wobei eine Funkstrecke, also eine „Lücke“ im Leiter, dazwischen liegt und einer Spule  $L$ . Der erste Kondensator  $C_1$  lädt sich nun aus der Spannungsversorgung heraus auf, bis die Spannung über der Funkenstrecke so groß wird, dass ein Überschlag erfolgt: Es überträgt sich die Ladung nun über die Luft von einem zum anderen Ende der Funkenstrecke, es blitzt ganz kurz auf und der erste Kondensator ist nur für diesen Moment mit dem zweiten parallel geschaltet verbunden, da ja sonst die Lücke dort ist. Es „funk“ also. Klingelt da was? Nein, aber es donnert! Und doch wurde wegen des Funkenüberschlags das Wort „Funkübertragung“ geboren, und auch wenn wir heutzutage diese Technik nicht mehr für unsere Informationsübertragungen verwenden, prägen Worte wie „Rundfunk“ und „Funktechnik“ immer noch die Telekommunikation. Die Übertragung der elektromagnetischen Welle wird

dadurch hervorgerufen, dass im Schaltkreis des zweiten Kondensators  $C_2$  zusätzlich noch eine Spule  $L$  eingebaut wurde, durch die eben nur dann genug Strom fließen konnte, wenn der „Funke überspringt“. Somit wird die Schaltung wieder zum Schwingkreis und sendet eine elektromagnetische Welle aus – durch den Funken angestoßen. Woher weiß man das? Die doch so durchsichtige elektromagnetische Welle kann man zwar weder hören noch sehen, doch sie hat die Eigenschaft, Energie zu übertragen und das wird in jeder Empfangsantenne sichtbar, die man ihr „in den Weg“ stellt. Diese Empfangsantenne kann man sich als einfachen Kreis aus Draht vorstellen, der irgendwo, gleich wie der Knallfunkensender, eine Lücke hat, wo schließlich auch ein zweiter Funke überspringt /24/.

So nun knallt und blitzt es aber nicht, wenn wir jemandem eine SMS schreiben, oder ihn anrufen. Das kann es noch nicht gewesen sein! Und das war es auch nicht, denn nun kommt der wohl wichtigste Mann der Entwicklung der Telekommunikation mit ins Spiel: Guglielmo Marconi.

## **2.2. Weit, weiter, Marconi**

Er war es, der es schließlich schaffte wirklich große Distanzen zu überwinden /13/. Ihm verdanken wir es letzten Endes, dass das Handy aus unserem Alltag nicht wegzudenken ist. Wie kam es nun aber dazu? Marconi war Zeit seines Lebens sehr der Physik zugewandt und stieß schließlich, dank einer seiner Universitätsdozenten, auf die Experimente von Heinrich Hertz. Fasziniert von dessen Erkenntnissen arbeitete er daran, die Reichweite der elektromagnetischen Welle, so wie sie in Hertz' Funksystem entstand, zu vergrößern. 1895 hatte er schließlich seine bahnbrechende Idee: Es braucht etwas, um die Welle auszusenden! Und was sendet, wie wir bereits wissen, eine Welle aus? Eine Antenne! Und genau das war es, was Marconi dem Funksystem von Hertz hinzufügte und es funktionierte. Die Reichweite der elektromagnetischen Welle erweiterte sich auf 12 Meilen, also etwas weniger als 20 Kilometer. Das war natürlich unheimlich praktisch zur damaligen Zeit, denn damit wurde endlich die lang ersehnte Verbindung zwischen Schiffen ermöglicht, was eine Menge davon sicher vor dem Auflaufen gerettet hat. Damit war die Realisierung der drahtlosen Verbindung eingeleitet und sie hatte auch schon ihren ersten Nutzen gefunden, doch Marconi gab sich damit noch lange

nicht zufrieden. In den darauf folgenden Jahren widmete er sich der Weiterentwicklung des Systems und der Forschung, vor allem auch der „abgestimmten Telegraphie“, was ihm, gemeinsam mit seinem Kollegen Ferdinand Braun 1909, den Nobelpreis einbrachte. Doch dann kam es zu einem der denkwürdigsten Abschnitte in der Geschichte der Telekommunikation: zur „Atlantik Überquerung“.

Natürlich bestand nach all den neuen Errungenschaften das Bestreben all die kleinen Erkenntnisse und kurzen Übertragungen in immer größeren Dimensionen auszuführen und Europa mit Amerika auch drahtlos zu verbinden. Weithin verbreitet galt dies allerdings als unmöglich, da man dachte die elektromagnetischen Wellen würden sich nur geradlinig ausbreiten und das könne sich auch mit der Erdkrümmung gar nicht ausgehen – die Bodenwelle war unbekannt. Zunächst mochte das auch bei den ersten Experimenten von Marconi gestimmt haben, weil er sich sehr an die Versuche von Hertz hielt und es daher aber mit elektromagnetischen Wellen mit einer sehr kurzen Wellenlänge und kleinen Antennen zu tun hatte: diese „kurzen Wellen“ breiteten sich tatsächlich ziemlich geradlinig aus. In späteren Experimenten wurde allerdings klar, dass man durch größere Wellenlängen die Reichweite deutlich erhöhen konnte. Des Weiteren hatte er die bahnbrechende Erkenntnis, dass man die Reichweite erhöhen konnte, indem man die Antenne erdete, also einen Kontakt mit dem Boden schuf – die Wellenführung „langer Wellen“ auf der Erdoberfläche war gefunden. Und so, auch wenn alle Welt es für unmöglich hielt, startete Marconi mit seinem „Transatlantik-Test“, in der festen Überzeugung einen Weg zu finden, diese Strecke von knapp 3400 Kilometern zu überwinden /13/.

Nachdem die passenden Sende- und Empfangsstationen auf beiden Seiten gefunden waren, legten auf der einen Seite Marconi und auf der andern Seite ein Physiker namens John Ambrose Fleming sich ins Zeug und bauten ihre Stationen mit dem neusten Stand der Technik und besonders großen Antennenanlagen auf. Doch leider hatten beide Stationen Probleme mit Unwettern, die die Antennen zerstörten. So sah sich Marconi gezwungen, sich einen neuen Standort zu suchen und hatte außerdem die Idee für seine Antenne einen Ballon zu verwenden, der dem Sturm standhalten würde. Nach

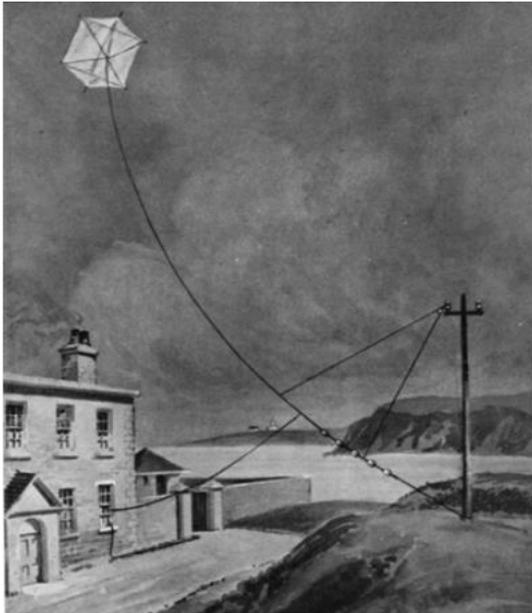


Abbildung 14: Marconis Drache /13/

weiteren Wetter-Schwierigkeiten am zuerst festgelegten Termin, dem 11. Dezember 1901, ging nach Ersatz des losgerissenen Ballons durch einen Drachen (siehe Abbildung 14) der Versuch am 12. Dezember schließlich los. Von der englischen Station aus wurde im Dreistundentakt, so wie es ausgemacht war, der Buchstabe „s“ in Morsecode gesendet, was drei Punkten entspricht. Und tatsächlich erhielt Marconi zu den vereinbarten Zeiten das herbeigesehnte „s“ auf

seiner Station in Kanada. Das Experiment wurde am Tag darauf wiederholt und war erneut erfolgreich. Somit ging das Jahr 1901 und der ersten „unsichtbaren“ Atlantik-Übertragung in die Geschichte der Telekommunikation ein /13/.

## 2.3. Fortschritt durch Industrie und Krieg

### 2.3.1. Die Anfänge und erste Nutzung

Schnell erkannte man die Wichtigkeit und den großen Nutzen seiner Erfindung, hauptsächlich die Industrie und das Militär hatten starkes Interesse und so investierte man viel Geld, um schnelle Fortschritte zu erzielen.

Nach dem tragischen Untergang der Titanic 1912 bestand der dringliche Wunsch die neuen Möglichkeiten der drahtlosen Kommunikation zu Schiffen so schnell wie möglich zu nutzen, auszuweiten und zu verbessern. Europa und die USA legten mit zahlreichen Funkstationen an den Küsten den Grundstein für eine sicherere Seefahrt, sowohl für Handelsschiffe als auch für Kriegsflotten. Außerdem sparte man durch den Funkkontakt eine Menge Zeit, da die Schiffe für neue Anweisungen nicht ständig in einen Hafen einlaufen mussten /22/.

Die Errungenschaft des Löschfunkensenders, eine Weiterentwicklung des Knallfunkensenders /24/ 1905 von Max Wien, versetzte jener Technologie noch einen Schub nach vorn. Mit diesem Gerät war es möglich, von den zuvor verwendeten Morseschreibern auf Hörempfang umzustellen, jedoch konnte

man eben nur Morsesignale hörbar machen. Auch diese Technologie wurde bald von einer neueren überholt, die Erfinder ließen nicht auf sich warten: Lichtbogensender und Maschinensender ermöglichten schon eine einfache Form der Amplitudenmodulation /17/.

### **2.3.2. Schiffe und ferne Länder werden erreichbar**

Für die Schifffahrt und den Kontakt zu den Kolonien errichtete Deutschland 1906 eine Großfunkstelle für drahtlose Telegrafie in Nauen. Dazu baute man einen 250 Meter hohen Sendemast, der als Sendeantenne für Lang- und Kurzwellen dienen sollte. Auch im Krieg hatte dieser Sendemast wesentliche Bedeutung, als Verbindung zu Flotten und Kolonien. 1918 war es mit dem Sender Nauen möglich, eine Verbindung mit anderen Stationen rund um die ganze Erde herzustellen. Anhand dieses Senders kann man beinahe die gesamte Entwicklung der Funktechnik ablesen, da er fast jede Erneuerung mitgemacht hat. Es begann mit einem Knallfunkensender, dann ging es über einen Löschfunkensender für den transatlantischen Funkverkehr, zu einem Maschinensender 1912 bis hin zur Erzeugung hochfrequenter, ungedämpfter Schwingungen mittels eines Röhrensenders, was zu einer enormen Leistungssteigerung führte. Heute beherbergt die Großfunkstelle Nauen auch ein Museum /22/.

### **2.3.3. Erste Funkverbindung zu Flugzeugen und Untersuchung des Einflusses der Sonne**

Schnell kam die Idee auf, auch Funkverbindung zu Flugzeugen herzustellen /19/. Mittels einer 120 m langen, vom Flugzeug im Flug ausgeworfenen, Antenne, konnte 1911 eine Verbindung zwischen Flugzeug und Eiffelturm über einige Kilometer Entfernung hergestellt werden.

Der Drang, Einsatzmöglichkeiten zu erforschen, führte auch zu weitergehenden Untersuchungen der Wellenausbreitung und der Einflussgrößen auf den Funk. So nutzte man 1912 eine Sonnenfinsternis in Berlin, um den Einfluss der Sonne auf den Betrieb einer Funkstrecke zu untersuchen: Dunkle Sonne – wenig Störungen der EM-Wellen des Lichtes – gute und laute Empfangssignale /20/.

#### **2.3.4. Erfindungen in der Elektronik bereiten der Funktechnik den Weg**

Viele wichtige Erfindungen trugen mit der Zeit dazu bei, die Technik sowohl auf Sender- als auch auf der Empfängerseite immer weiter zu verbessern und so waren diese Technologien entscheidende Meilensteine, die auch die Telekommunikation weiter vorantrieben.

##### ***Beginn der Halbleitertechnik - Kristalldetektor***

Auf der Empfängerseite war die Erfindung des Kristalldetektors ausschlaggebend. Die Grundlage dazu bildete die Entdeckung von Ferdinand Braun 1874, der die Halbleitereigenschaften bestimmter Kristalle beobachtete. G.W. Pickard setzte 1902 erstmals diese Technik in sogenannten Kristalldetektoren für die Demodulation von amplitudenmodulierten Funksignalen ein. Das war die Voraussetzung für die breite Verwendung dieser Technik, denn jeder Empfänger musste schließlich einen Demodulator enthalten – der Kristalldetektor war billig und auch durch Nicht-Techniker betreibbar und so war es möglich, ein weites Publikum mit Radioprogrammen zu erreichen /14/, /22/.

##### ***Die Elektronenröhre***

Auch die Verstärkerröhre war solch eine wichtige Errungenschaft, die zu einem entscheidenden Fortschritt in der Telekommunikation führte. 1906 wurde diese Technik von dem Österreicher Robert Lieben in Wien erfunden. Ab 1922 wurde sie in Sende- und Empfangsstationen verwendet /12/, /22/.

Durch die Kombination von Kristalldetektor und Verstärkerröhre war es möglich, die ganze Übertragungstrecke mit guter Qualität zu realisieren: Signale im Sender zu erzeugen, zu modulieren und vor der Antennenanlage zu verstärken, und im Empfänger wieder zu verstärken und zu demodulieren. Auf dieser Basis wurde ab 1909 das erste regelmäßige Radioprogramm in San Jose in Kalifornien ausgestrahlt /23/. In Österreich gab es ab 1924 erste Rundfunkstationen – die sogenannte Radio-Verkehrs-AG RAVAG, die ein geregeltes Programm aussendeten /22/.

## *Frequenzmischung und Überlagerungstechnik*

Die Empfängertechnik dieser Zeit bezeichnet man als „Geradeaus-Empfänger“, was bedeutet, dass nach dem Hochfrequenzverstärker das Signal direkt demoduliert wurde. Dabei mussten immer sämtliche Filter im Hochfrequenz-Verstärker auf die (verstellbare) Empfangsfrequenz abgestimmt werden – ein ziemlicher Aufwand. Ein wesentlicher Schritt zur Nutzung höherer Frequenzen (KW, UKW) mit höheren Bandbreiten bei qualitativ besseren Modulationsverfahren, wie der Frequenzmodulation, war die Entwicklung des Superheterodynempfängers, der die Beschränkungen des Geradeaus-Empfängers elegant umschiffte /5/.

Mit diesem Superheterodynempfänger mischte man das empfangene Hochfrequenz-Signal mit einem im Empfänger lokal erzeugten Signal konstanter Amplitude, das einen bestimmten Frequenzabstand zur gewünschten Empfangsfrequenz aufweist und das einfach zu erzeugen ist. In einem sogenannten Mischer wurden dann beide Signale – Empfangssignal und lokales Signal – miteinander „multipliziert“, sodass sich neben anderen Anteilen auch ein sogenanntes Mischprodukt mit dem oben eingestellten Frequenzabstand entstand. Weil die beiden Frequenzen „überlagert“ erscheinen, wurde dieser Empfänger auch Überlagerungsempfänger genannt. Der große Vorteil dieses Verfahrens ist, dass das Mischprodukt immer dieselbe Frequenz aufweist. Das lokal erzeugte Signal hat eine konstante Amplitude, weshalb sich beim Mischen lediglich die Frequenz des empfangenen Signals ändert, nicht jedoch die jeweiligen Änderungen der Amplitude oder der Änderung der Frequenz bei der Frequenzmodulation. Das Mischprodukt behält also die Modulationen bei. Das war wichtig, denn so konnte man alle Filter und Verstärker nur auf diese eine bestimmte „Zwischenfrequenz“ anpassen und optimieren, was erst den Grundstein für die Nutzung noch höherer Frequenzen und somit zu guter Empfangsqualität legte. Diese Technik wurde 1918 zeitgleich von Schottky in Deutschland, Amström in den USA und Levy in Frankreich entwickelt /15/.

## *Der Transistor*

Eine weitere Schlüsseltechnologie für die breite Nutzung der Telekommunikation war der Transistor. Von der Erfindung 1948, zeitgleich in

mehreren Forschungslabors ausgehend, gelang es, Funkgeräte auch gut tragbar zu machen. Die Geräte schrumpften und es war möglich, den Empfänger mit wenigen und einfachen Batterien zu versorgen – im Gegensatz zu den alten Röhrenempfängern /13/.

So stellte Herbert Mataré 1953 das erste Transistorradio auf einer Funkausstellung in Düsseldorf aus. Das Radio konnte man jetzt ohne Probleme überallhin mitnehmen – der Beginn echter „Mobilkommunikation“. Mit den kleinen Transistoren konnten jetzt auch einfache Geräte für Punkt-zu-Punkt-Funksprechverbindungen – sogenannte „walkie-talkies“ gebaut werden – von der Baustellenkommunikation bis zum Babyphon seit dieser Zeit nicht mehr wegzudenken /16/.

### **3. Mobile Sprach- und Datenkommunikation, Smartphones**

Wenn wir heutzutage im Bett liegen und schnell eine Freundin oder einen Freund um die Mathematikhausübung bitten, denken wir vielleicht nicht daran, welchen Weg unsere Nachricht zurücklegt und wie sie das tut. Ein Handy im heutigen Sinne verbindet immer zwei oder sogar schon mehrere Personen. Selbst als das Telefon erfunden wurde, was damals eine enorme Errungenschaft war, konnte es im heutigen Sinne „nur“ Orte mit einander verbinden. Doch die unersättlichen Forscher strebten weiterhin an, die Kommunikationstechnik voran zu treiben und versuchten sich an der Idee mobiler Telefone: Ein Telefon zum Mitnehmen, das Personen statt Orte verbindet - unser „Handy“ - war das Ziel.

#### **3.1. Entwicklung der Netzwerkdienste in Österreich**

In Österreich entstand die erste wirklich mobile Verbindung von Personen durch das „B-Netz“ 1974 /6/. Dabei war es allerdings notwendig, den genauen Standort der Personen ausfindig zu machen, was eigentlich die Erfindung des GPS voraussetzte. Damals waren die Mobiltelefone sehr groß, weil sie einen relativ starken Sender, die Batterien und den Empfänger selbst beinhalten mussten, was damals viel Platz kostete. 11 Jahre später 1985 wurde in Österreich und in Deutschland das analoge „C-Netz“ eingeführt, das deutliche technologische Fortschritte, vor allem in der Sende- und Empfangsleistung,

aufwies und somit ermöglichte, dass die Mobiltelefone „schrumpfen“ konnten. Jedoch die Realisierung der Vorstellung die drahtlose Telefonie für die Allgemeinheit zugänglich zu machen, wurde erst durch die Vereinigung der Pager- und Sprachübertragungs-Technologie erreicht. Ein Pager hat eine sehr ähnliche Funktion, wie das heute bekannte „SMS“ (short message service), nämlich eine Nachricht drahtlos zu überbringen. Nur sah das damals ein bisschen anders aus: Ein Pager wurde einer wichtigen Person gegeben, um dafür zu sorgen, dass sie jederzeit erreichbar war. Wollte man mit dieser Person sprechen, hat man ihr die Nachricht auf ihren Pager geschickt, dass sie doch bitte eine bestimmte Nummer anrufen sollte. Der Gesuchte musste dann zum nächsten Telefon eilen und anrufen. Schließlich entstand 1992 als gemeinsame europäische Initiative in der Normierung das GSM (group special mobile), das sowohl die Sprachübertragung als auch Kurznachrichten (als erweiterten Pager auch für Textnachrichten) als Dienst anbot. Der Erfolg des GSM löste schließlich die alten B - und C - Netze ab, die zwar noch in Betrieb blieben, aber nicht mehr vorrangig genutzt wurden. Aber warum genau war das GSM so erfolgreich /6/?

### 3.2. Funktionsweise des Zellularen Netzwerkes

Das GSM brachte als erstes die Idee eines zellularen Netzwerkes auf /4/, /9/. Man kann sich das ganz gut folgendermaßen vorstellen: Die Reichweite jedes Sendemasten ist begrenzt. Um es zu ermöglichen, eine große Fläche in das Funknetz einzubinden, musste eine Funknetz-Planung gemacht werden. Dabei bildete man nun verschiedene Funkzellen, die wie Waben aneinander gereiht

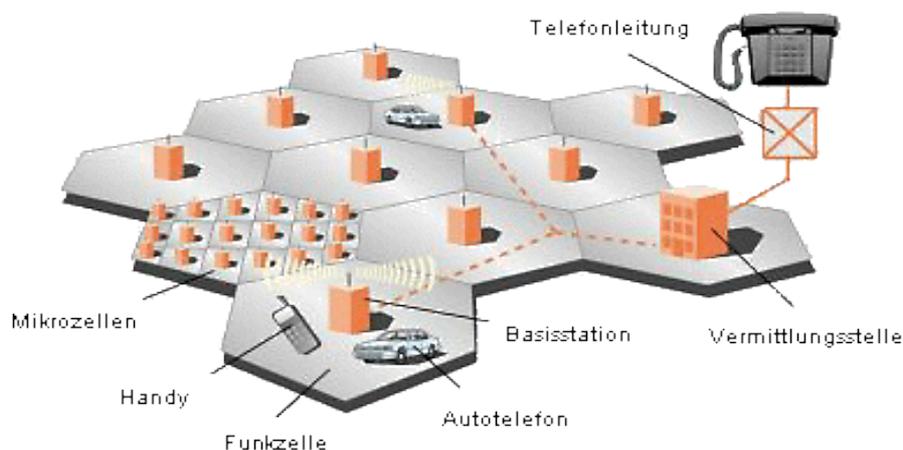


Abbildung 15: Aufbau eines zellularen Netzwerkes /26/

sind, wie in Abbildung 15 zu sehen ist. Um darin telefonieren zu können, ist jedes Handy mit einer ID-Nummer ausgestattet, mit der es sich in dem jeweiligen Netzwerk anmelden kann. Der Sendemast, der in der Abbildung den orangenen Mittelpunkten der Zellen darstellt, mit der stärksten Signalverbindung, meistens ist das der am nächsten Stehende, hat nun quasi eine Liste von allen Handys, die sich in seiner Reichweite befinden. Das Handy in der vorderen Zelle ist also im Sendemast / in der Basisstation dieser Zelle „eingeloggt“. Solange dieser Sendemast am stärksten empfangen wird, bleibt das Handy bei ihm angemeldet. Erst wenn ein anderer Sendemast stärker zu empfangen ist, verbindet sich das Handy dann mit diesem, etwa wenn es bewegt wird - es geht also von einer Zelle zur nächsten und diese Bewegung muss in den Basisstationen vermerkt werden. Diesen Vorgang nennt man „location update“ (ohne laufendes Gespräch) oder „handover“ (bei bestehendem Gespräch) /3/. Der Nutzer bekommt diesen Vorgang allerdings nicht mit, es sei denn, man hält das Handy vor einen aktiven Lautsprecher, dann kann man die EM-Wellen, die dieses ständig aussendet hören – selbst wenn gerade nicht damit telefoniert. Diese Signale nennt man GSM-Burst – er dient vor allem dem Kontakthalten mit der Basisstation. Nun gut, wie funktioniert das aber, wenn man schnell einmal auf „Anrufen“ drückt /10/?

Wenn eine Person nun eine bestimmte Nummer erreichen will, wird diese Anfrage über die Zelle, in der sich diese Person befindet, in die „Zentrale“ weitergeleitet, wo alle ID-Nummern aufgelistet sind und wo eingetragen ist, wo sich die Geräte gerade befinden. Dort wird also geprüft, in welcher Zelle sich die anzurufende Person (bzw. ihr Handy) gerade befindet. In diese Zelle wird also die Information geleitet, dass für dieses Gerät mit der bestimmte ID-Nummer ein Anruf wartet. Die Basisstation dieser Zelle leitet dann den Anruf zum gewünschten Handy – es läutet.

### **3.3. Verbindung von Mobilfunk mit dem Internet**

Vor allem für die Menschen, die den Anrufdienst und den SMS-Dienst sehr ausgiebig nutzten, war es ein Anliegen, diese Mobilservices mit dem Internet zu verbinden, um etwa auch ihre Mails mobil abrufen zu können. Zunächst versuchte man sich noch daran, eine dauerhafte Funkkanalverbindung zu erhalten, um die Daten senden zu können, was sehr aufwendig und daher auch

sehr teuer war. Die Mehrheit der Bevölkerung konnte sich diesen Dienst nicht leisten, was natürlich auch kein Geschäft für die Netzbetreiber war. Schließlich kam die Idee auf, nicht wie beim normalen Telefonieren die Verbindung die gesamte Zeit über aufrecht zu erhalten, sondern die Information wie auch schon beim Internet selbst in kleine Daten-Päckchen zu packen und sie den Empfänger nach dem Empfangen einfach wieder zusammenbauen zu lassen. Auf diese Weise musste der Kanal nur für die Dauer der Informationsübertragung der einzelnen Pakete geöffnet werden. So entstand das GPRS (**g**eneral **p**aket swiched radio **s**ervice), das hohen Anklang fand. Doch der Mensch strebt immer weiter nach Verbesserung - man wollte die Datenübertragung noch schneller machen. Dazu wurde die Vierphasen-Modulation entwickelt, wodurch man mehr Information in ein Zeichen bringen konnte. Der erste Dienst, der dies anbot, wurde EDGE genannt. Später wurden auch noch Dienste entwickelt, die noch mehr Phasenlagen im Signal haben als in Abbildung 10 gezeigt: Jeder Phasenlage wird dann ein Übertragungssymbol – also nicht mehr nur „0“ oder „1“ - zugeordnet. Allerdings ist das nicht immer von Vorteil, da dadurch auch die Unterscheidbarkeit dieser Phasenlagen abnimmt und die Fehlerrate stark steigt. Mehr Symbole bedeuten nun einmal mehr Möglichkeiten, falsch zu liegen. Daher funktionieren die Funkdienste EDGE und UMTS (und auch LTE, das aber anders arbeitet) vor allem in Ballungsräumen mit ihren kurzen Distanzen, kleinen Zellen und damit großen Signalen gut /3/, /27/.

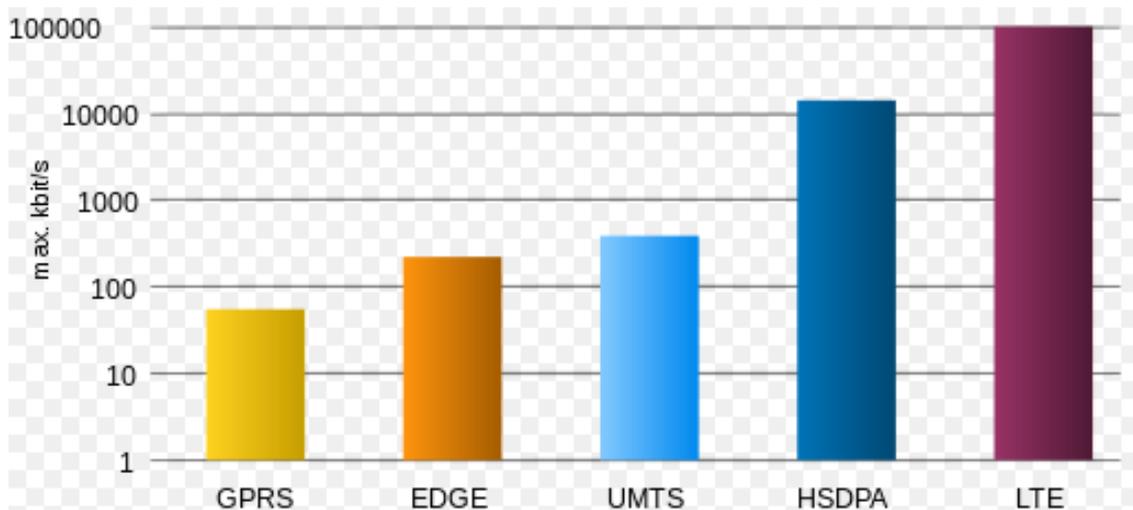


Abbildung 16: Übertragungsraten paketvermittelter Funkdienste /26/

Das erste Handy, mit dem man quasi im Internet „surfen“ konnte, war das Nokia 7110, das 1999 erhältlich war. Nur so richtiges Internet, wie man es jetzt benutzen kann, gab es damals natürlich noch nicht, das Surfen im WAP-Browser, das ebenfalls ein Dienst des GSM war, gestaltete sich eher kümmerlich. Allerdings war in Deutschland erst ab 2004 das erste UMTS-Mobiltelefon erhältlich. Doch die Entwickler der verschiedenen Firmen, wie Nokia, Motorola, Siemens oder Samsung ließen nichts auf sich warten und so brachte Samsung schließlich im Sommer 2004 das erste Handy mit Videotelefonie in Deutschland heraus, das SGH-Z105, etwas später, im August 2004 brachte Sony-Ericsson das zweite Handy mit Videotelefonie auf den Markt, das Z1010. Doch wirklich wichtig für den letzten Schritt zu unserem nicht mehr wegzudenkenden Smartphone, lieferte BenQ-Siemens 2006: Das EF91 war das allererste weltweite Mobiltelefon, das den UMTS-Turbo unterstützte, was im Klartext bedeutete, dass man sowohl das Datenvolumen, als auch die Geschwindigkeit der Datenübertragung steigerte - heute ist das das UMTS-Netz /4/, /11/.

Gegenwärtig wird das LTE-Netz aufgebaut, das sich eines Mehrträgerverfahrens bedient, wobei es mehrere Pakete auf verschiedenen Trägern gleichzeitig aussenden kann. Jedoch muss es für jeden Träger, also Sender, auch einen Empfänger geben, was das Verfahren kompliziert gestaltet, es hat sich jedoch als sehr erfolgreich erwiesen. Es kann bis zu tausend Mal mehr Informationen pro Zeit übertragen, als EDGE, wie in Abbildung 16 zu sehen /25/.

#### **4. Schluss**

Schlussendlich kann man sagen, dass die Entdeckung, Forschung und Entwicklung der drahtlosen Datenübertragung bis heute sich als eines der absolut wichtigsten Dinge in unserm Alltag herausgestellt hat. Egal ob Radio, Fernsehen oder einfach Telefonieren - diese überragende Technik begleitet uns unser Leben lang. Vielleicht spreche ich ja auch aus den Augen einer jüngeren Generation, aber ich denke durchaus, dass wenn man von klein auf mit etwas aufwächst, man irgendwann wissen möchte, wie es funktioniert und was eigentlich dahinter steckt. Genau das habe ich in meiner Arbeit erfahren. Ich weiß jetzt,

dass, wenn ich mit jemandem schreibe, eine elektromagnetische Welle, die durch Modulation die Information aufgenommen hat, die Nachricht von einem zum anderen Handy übermittelt. Es wird gezeigt, dass das über Amplituden-, Frequenz- oder Phasenmodulation geschehen kann und auch wie das genau funktioniert. Auch den gesamten Weg der elektromagnetischen Welle vom Sendemast und bis zur Empfangsantenne, liegt nicht mehr im Dunkeln. Und genau das war die Fragestellung meiner Arbeit. Wichtig zum Verständnis ist natürlich auch die geschichtliche Entwicklung, denn erst, wenn man den gedanklichen Prozess, den jene Forscher damals für uns durchgemacht haben, verstanden hat und das Prinzip dahinter, kann man die heutige Funktion und Anwendung wirklich verstehen. Den Einfluss der gesellschaftlichen Ereignisse, im Fall der Telekommunikation vor allem der erste und zweite Weltkrieg, muss man dabei auch immer in Betracht ziehen, was mir anfangs gar nicht so bewusst war. Ursprünglich war für mich der physikalische Teil vorrangig, aber dass die Technik soweit gekommen ist und auch so weit verbreitet ist, liegt zum großen Teil einfach an dem damaligen Interesse für bestimmte Anwendungen – das vergisst man leicht, weil das Handy heutzutage natürlich eine so überragende Bedeutung für viele Menschen hat. Und zu wissen, dass sich das Internet in der Übertragung kaum von Nachrichten-Rundfunk unterscheidet ist auch interessant. Vielleicht ist es aber auch schon so selbstverständlich für uns geworden all diese Dinge zu verwenden, dass wir gar nicht mehr bewusst darüber nachdenken. Natürlich gäbe es noch viel mehr zu sagen und genauer ins Detail zu gehen, aber die Arbeit gibt einen Überblick über die ausschlaggebenden Erfindungen und ihre grundlegende Funktion. Dass bis heute noch nicht klar ist, ob es gesundheitliche Risiken bezüglich der Strahlung gibt, der wir uns durch das Handy quasi rund um die Uhr aussetzen, ist ebenfalls wieder eine andere Sache.

## Literaturverzeichnis

- /1/ Apolin, Martin, *Big Bang 7*, S80-100,  
Wien: Österreichischer Bundesverlag, 2008
- /2/ Burch, Benedikt (2013), Elektromagnetische Schwingungen,  
Zugriff am 7.2.2015  
<https://prezi.com/ul6gib0lt9fe/elektromagnetische-schwingungen/>
- /3/ David, K.; Benkner, T., *Digitale Mobilfunksysteme*,  
BG Teubner Stuttgart 1996
- /4/ Elektronik-Kompendium (1997-2015), *Grundlagen Mobilfunk*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0406221.htm>
- /5/ Froberg / Kollischie / Löffler(Hrsg.):  
*Taschenbuch der Nachrichtentechnik*,  
München: Carl Hanserverlag, 2008
- /6/ Geschichte-Österreich (2009-2015), *Erfindung des Handys*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.geschichte-oesterreich.com/erfindungen/handy.html>
- /7/ Prof. Dr. Hanselka (Präsident des KIT), Holger (2012),  
*Wellenausbreitung und Kommunikation*, Zugriff am 7.2.2015  
[https://www.ihe.kit.edu/forschung\\_wap.php](https://www.ihe.kit.edu/forschung_wap.php)
- /8/ Herter, Eberhart; Löcher, Wolfgang:  
*Nachrichtentechnik, Übertragung - Vermittlung-Verarbeitung*,  
Auflage 9., Wien: Hanser Verlag München, 2004
- /9/ Dr. Menzel, Karsten (2014), *Informationszentrum Mobilfunk*,  
Zugriff am 7.2.2015,  
<http://www.izmf.de/de/content/wie-funktioniert-mobilfunk>
- /10/ Mobilkom Austria (2009), *Wie funktioniert Mobilfunk?* [Film]  
Zugriff am 7.2.2015  
[www.youtube.com/watch?v=xw1Zi9Ktwq0](http://www.youtube.com/watch?v=xw1Zi9Ktwq0)
- /11/ Online Focus (2010), *Die Geschichte der UMTS-Handys*,  
Zugriff am 7.2.2015  
[http://www.focus.de/fotos/das-erste-handy-mit-dem-man-ins-internet-konnte-war-das-nokia-7110\\_mid\\_706180.html](http://www.focus.de/fotos/das-erste-handy-mit-dem-man-ins-internet-konnte-war-das-nokia-7110_mid_706180.html)
- /12/ Univ.Prof. Dr. Pichler, Franz, Johannes Kepler Universität Linz:  
*Robert von Lieben und die Entwicklung der Röhrenverstärker*  
Plus Lucis 1/2001 zur Physikgeschichte,

- /13/ Univ.-Prof.Dr.Pichler, Franz, Drahtlos über den Atlantik.  
*Erste Telegraphie-Funkübertragung durch Guglielmo Marconi vor 100 Jahren*,  
Plus Lucis (2002)  
Zugriff am 7.2.2015  
[http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/021/s18\\_21.pdf](http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/021/s18_21.pdf):
- /14/ Polzin, Hartmut (1978-2015), *Rundfunkmuseum Bremen*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.bremer-rundfunkmuseum.de/>
- /15/ Dipl. Ing. Redlich, Gert (2009/2015), *Funk-technik Historie*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.hifimuseum.de/funk-technik-historie.html>
- /16/ Dipl.-Ing. Dr. Alexander Renner  
2014/2015, Gespräche und Informationsaustausch
- /17/ Reschke, Jürgen (2015), *Eine Frage der Technik*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.eine-frage-der-technik.de/1904.htm#drahtlose-sprachuebertragung>
- /18/ Schwabegger, Langerhorst, *Funkausbreitung*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.fundus.org/pdf.asp?ID=11555>
- /19/ Spektrum der Wissenschaft , August 2011,  
Rubrik „Wissenschaft im Rückblick: 1911“  
Zitat aus „Elektrotechnische Zeitschrift, August 1911, S. 835“
- /20/ Spektrum der Wissenschaft , Mai 2012,  
Rubrik „Wissenschaft im Rückblick: 1912“  
Zitat aus „Elektrotechnische Zeitschrift, Mai 1912, S. 488 – 489“
- /21/ Technische Universität Chemnitz (2015), *Mechanik und Wellenausbreitung*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.tu-chemnitz.de/physik/PHFK/LEHRE/.SCRIPT/script1/17.pdf>
- /22/ Wolfschmidt, Gudrun: *Sterne weisen den Weg, Geschichte der Navigation*,  
Ausstellungskatalog  
Nuncius Hamburgensis, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften,  
Band 15, Verlag Nordersted, 2009
- /23/ Wikipedia (2015), *Erfindung des Radios*,  
Zugriff am 7.2.2015  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Erfindung\\_des\\_Radios](http://de.wikipedia.org/wiki/Erfindung_des_Radios)
- /24/ Wikipedia (2013), *Knallfunkensender*,  
Zugriff am 2.7.2015  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Knallfunkensender>

- /25/ Wikipedia (2015), *Mobiles Internet*,  
Zugriff am 7.2.2015  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Mobiles\\_Internet](http://de.wikipedia.org/wiki/Mobiles_Internet)
- /26/ Wikipedia(2015), *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*,  
Zugriff am 7.2.2015  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Enhanced\\_Data\\_Rates\\_for\\_GSM\\_Evolution](http://de.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution)
- /27/ Wölfe, Ralf Dieter (2008), *Elektrosmoginfo*,  
Zugriff am 7.2.2015  
<http://www.elektrosmoginfo.de/>

## Abbildungsverzeichnis:

<i>Abbildung 1: Schwingkreis /16/</i> .....	6
<i>Abbildung 2: So schwingt ein Schwingkreis /16/</i> .....	7
<i>Abbildung 3: Aus Schwingkreis wird Antenne /16/</i> .....	7
<i>Abbildung 4: Aussendung einer EM-Welle von einer Antenne /2/</i> .....	8
<i>Abbildung 5: Modellvorstellung der Bodenwellenausbreitung elektromagnetischer Wellen /18/</i> .....	9
<i>Abbildung 6: Darstellung einer Parabolantenne – Fokussierung /18/</i> .....	10
<i>Abbildung 7: Morsesignal im Hochfrequenzbereich /16/</i> .....	11
<i>Abbildung 8: Darstellung der Amplitudenmodulation /16/</i> .....	12
<i>Abbildung 9: Frequenzmodulation /16/</i> .....	13
<i>Abbildung 10: Phasenmodulation /16/</i> .....	14
<i>Abbildung 11: Übertragungsstrecke mit Sender und Empfänger /16/</i> .....	17
<i>Abbildung 12: Schichtenmodell der drahtlosen Kommunikation /16/</i> .....	19
<i>Abbildung 13: Knallfunkensender /16/</i> .....	20
<i>Abbildung 14: Marconis Drache /13/</i> .....	23
<i>Abbildung 15: Aufbau eines zellularen Netzwerkes /26/</i> .....	28
<i>Abbildung 16: Übertragungsraten paketvermittelter Funkdienste /26/</i> .....	30

## Selbstständigkeitserklärung

<b>Selbstständigkeitserklärung VwA</b>
--

**Name:** Verena Renner

### Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich diese vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

### Zustimmung zur Aufstellung in der Schulbibliothek

Ich gebe mein Einverständnis, dass ein Exemplar meiner vorwissenschaftlichen Arbeit in der Schulbibliothek meiner Schule aufgestellt wird.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift

Hinweis: Diese Erklärung ist mit der ausgedruckten Arbeit zu binden.