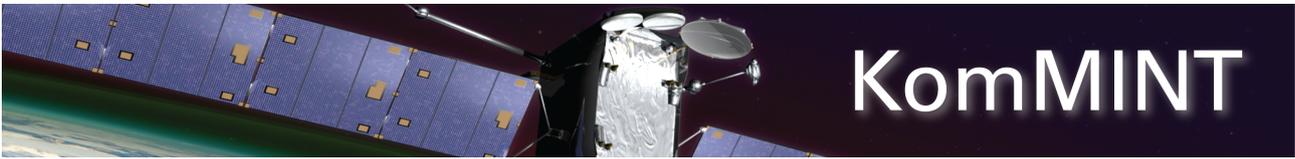


KomMINT Theorie Radio

Selina Malacarne – selina.malacarne@ost.ch

Michel Nyffenegger – michel.nyffenegger@ost.ch

Rapperswil, 8. November 2022



Inhaltsverzeichnis

- 1 Radiotechnologie 3**
- 1.1 Kommunikationssystem **3**
 - Kommunikation und Information 3
- 1.2 Die Funktionsweise eines Radiosenders 4
 - Die Funktionsweise eines Radiosenders 4
 - 1.2.1 Tonsignale 4
 - Tonsignale 4
 - 1.2.2 Tonsignale übertragen 6
 - Tonsignale übertragen 6
 - 1.2.3 Antennen und ihre Eigenschaften 8
 - Antennen und ihre Eigenschaften 8
 - 1.2.4 Radiofrequenzen und ihre Anwendungen 10
 - Frequenzen und ihre Anwendungen 10
 - 1.2.5 UKW Radio 12



1 Radiotechnologie

Die Erfindung des Radios ermöglichte es den Menschen über weite Strecken Informationen zu übertragen und miteinander zu kommunizieren. Neben der soziokulturellen sowie politischen Veränderungen, welche das Radio und dessen Technologie mit sich brachte, ist natürlich auch die technische Errungenschaft von Interesse. Dieses Kapitel erklärt die allgemeine Funktionsweise eines Radios und erklärt die Technologie des so genannten FM Radios im Detail.

1.1 Kommunikationssystem

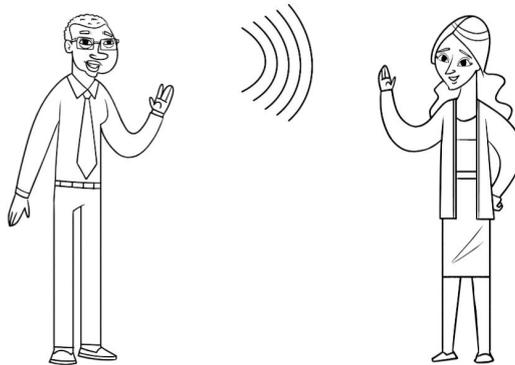


Abbildung 1: Sprecher und Zuhörer.

Wenn wir Menschen miteinander sprechen, dann werden die Sprachinformationen mit Hilfe unseres Stimmorgans und der uns umgebenden Luft von einer Person zur anderen übertragen. Man kann sich die sprechende Person als Sender und die zuhörende Person als Empfänger vorstellen. Die sprechende Person generiert mit Hilfe der Stimmbänder verschiedene Töne. Mit Hilfe des Brustkorbes sowie der Mundhöhle werden die von den Stimmbändern erzeugten Töne auf die in der Umgebung befindlichen Luftmoleküle übertragen. Die schwingenden Luftmoleküle in der Mundhöhle regen benachbarte Luftmoleküle an, welche wiederum in der Nähe befindliche Moleküle anregen. So werden die von den Stimmbändern erzeugten Töne in Form einer Welle in den Raum getragen, wo sie schlussendlich beim Zuhörer ankommen und von der Ohrmuschel aufgenommen werden.

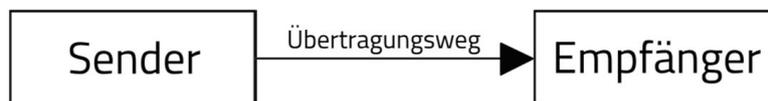


Abbildung 2: Sender und Empfänger.

Ein Kommunikationssystem besteht also aus mehreren wichtigen Teilen:

- **Sender**

Der Sender bereitet die zu übertragenden Informationen so vor, dass sie auf dem vorgesehenen Übertragungsweg transportiert werden können. Am Beispiel der sprechenden



Person werden bspw. die Worte, welche in Form elektrischer Signale im Gehirn entspringen, mit Hilfe der Stimmbänder, dem Brustkorb sowie der Mundhöhle in Schallwellen umgewandelt, welche durch den Raum übertragen werden können.

- **Übertragungsweg**

Im Übertragungsweg (auch Kanal genannt) werden die Informationen vom Sender zum Empfänger transportiert. Je nach Art des Übertragungsweges gelten andere Ausbreitungsbedingungen (bspw. Luft, Wasser, Vakuum).

- **Empfänger**

Der Empfänger nimmt die ankommenden Informationen auf und wandelt diese meistens in eine für die Verarbeitung nützliche Form um. Beispielsweise werden die Schallwellen bei der zuhörenden Person mit Hilfe der Ohrmuschel aufgenommen und mit Hilfe des Trommelfells, der Gehörknöchelchen sowie der Hörschnecke in elektrische Signale umgewandelt und so ans Gehirn für die weitere Verarbeitung weiter geleitet.

1.2 Die Funktionsweise eines Radiosenders

1.2.1 Tonsignale

Die Laute, welche wir zum Sprechen verwenden, bestehen aus einzelnen Tönen. Ein Ton kann mit Hilfe zweier Eigenschaften charakterisiert werden: der Lautstärke sowie der Tonhöhe.

Im Allgemeinen sagt man der Lautstärke auch Amplitude (von lateinisch *amplitudo* = Weite) und die Tonhöhe nennt man Frequenz (von lateinisch *frequentia* = Häufigkeit). Die Frequenz eines Tones wird in Hertz¹ (Hz) angegeben, wobei 1 Hz einer Schwingung pro Sekunde entspricht.

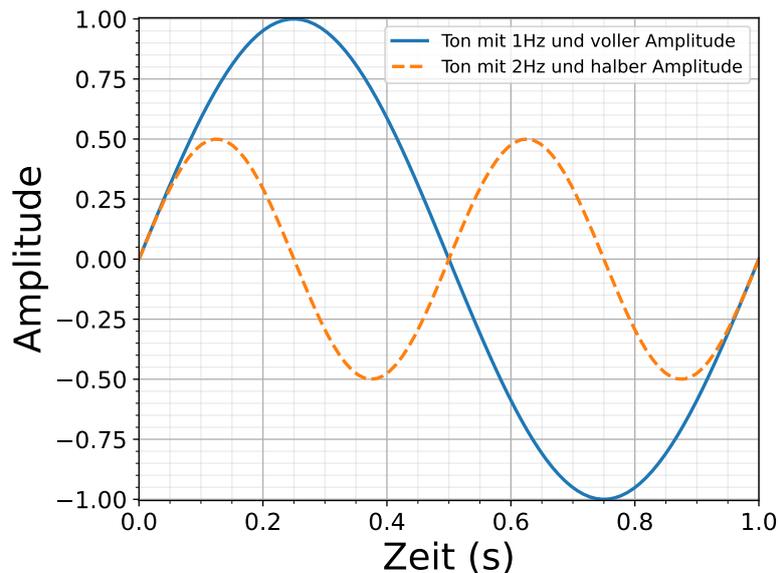


Abbildung 3: Zwei Tonsignale mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude.

¹benannt nach dem deutschen Physiker Heinrich Hertz



Abb. 3 zeigt zwei unterschiedliche Töne, wobei der eine Ton eine Frequenz von 1 Hz, eine Schwingung pro Sekunde, und der andere Ton eine Frequenz von 2 Hz, zwei Schwingungen pro Sekunde, aufweist. Die Lautstärke bzw. die Amplitude ist ebenfalls unterschiedlich, der Ton mit voller Amplitude ist lauter als der Ton mit halber Amplitude. Die beiden Töne sind in Abb. 3 in Abhängigkeit der Zeit dargestellt, man sieht in diesem Diagramm also, wie sich die Schwingung im Laufe der Zeit verändert. Solche Schwingungen lassen sich aber auch in Abhängigkeit der Frequenz – im so genannten Frequenzspektrum – darstellen. Abb. 4 zeigt die beiden Tonsignale im Frequenzspektrum, wobei sie hier in Form von Pfeilen dargestellt werden. Die Frequenz des Tonsignales definiert hierbei den Ort des Pfeiles auf der Frequenzachse und der Betrag der Amplitude definiert die Länge des Pfeils. Der Vorteil der Darstellung im Frequenzbereich gegenüber dem Zeitbereich ist, dass man auf einen Blick sieht, welche Frequenzen mit welcher Amplitude in einem Tonsignal vorhanden sind.

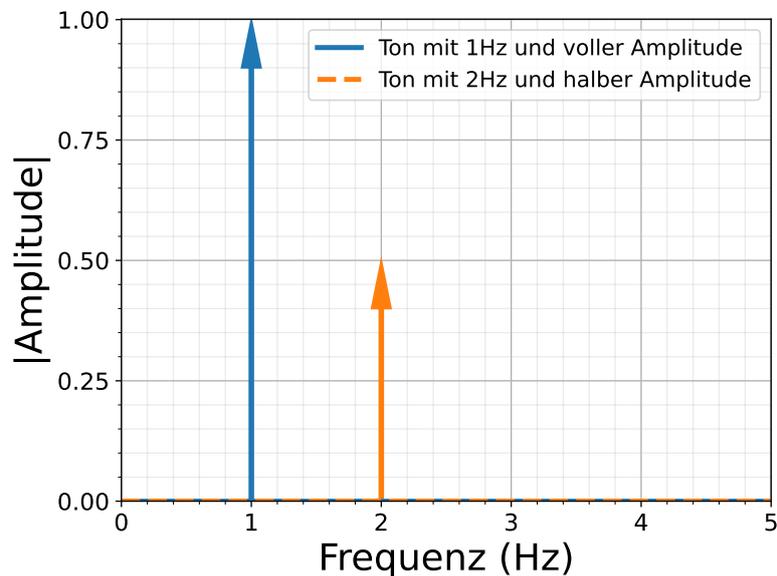


Abbildung 4: Zwei Tonsignale mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude im Frequenzspektrum.

Wenn wir sprechen und mit Hilfe unseres Stimmorgans Laute formen, dann bestehen diese Laute nicht nur aus einzelnen Tönen. Jeder Laut besteht aus der Zusammensetzung verschiedener Töne.

Der Vokal *E* besteht beispielsweise aus zwei Tönen, wobei der erste Ton die Frequenz 500 Hz und der zweite Ton die Frequenz 1500 Hz aufweist. Abb. 5 zeigt die beiden Töne sowie die Summe der beiden.

In Tat und Wahrheit besteht der gesprochene Vokal *E* aus mehr als nur zwei Töne. Die ersten beiden Töne sind jedoch ausschlaggebend dafür, dass man den Vokal erkennt. Die zusätzlichen Töne kennzeichnen hauptsächlich das Stimmorgan der sprechenden Person.

Wenn wir sprechen, dann wird die Kombination dieser verschiedenen Töne auf die uns umgebende Luft übertragen. Das heisst, dass die sich in der Luft fortpflanzende kombinierte Tonwelle ebenfalls mittels der besagten Amplitude und Frequenz charakterisiert werden kann. Das Beispiel zeigt, dass für unsere Sprache nicht einzelne Töne sondern die Kombination verschiedener Töne entscheidend sind.

Die Töne für die menschliche Sprache liegen im Bereich von zirka 300 Hz bis 5000 Hz. Musik

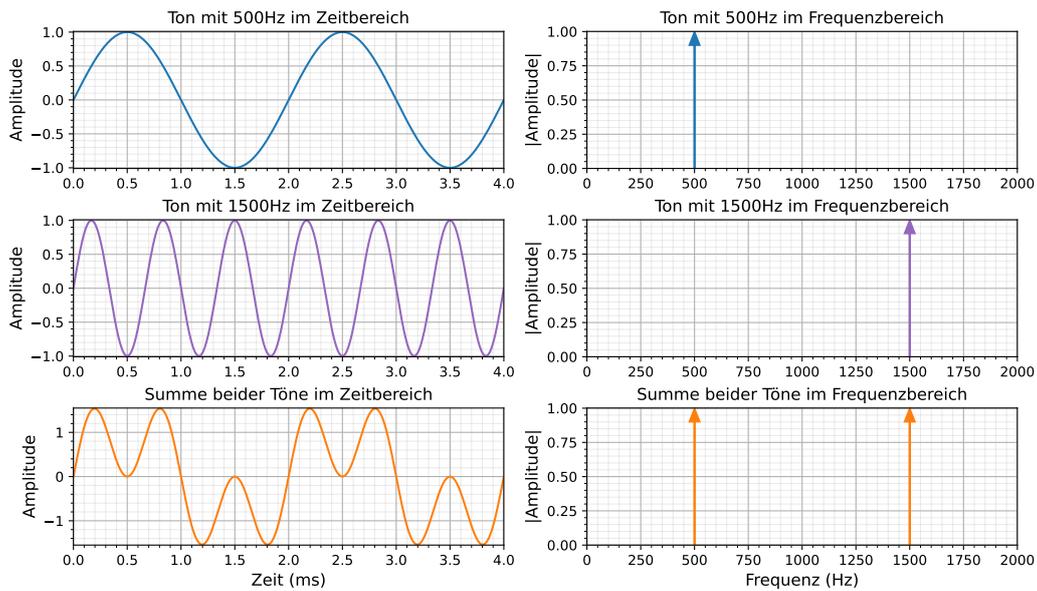


Abbildung 5: Der Vokal *E* besteht aus der Summe zweier Töne.

hat eine grössere Bandbreite, welche sich von zirka 80 Hz bis 20000 Hz erstreckt. In diesem Frequenzbereich liegen allgemein die Töne, welche das menschliche Gehör wahrnehmen kann.

Wichtigste Kernaussagen:

- Ein Ton wird durch seine Frequenz (Tonhöhe) und seine Amplitude (Lautstärke) charakterisiert.
- Die Tonwelle, welche sich im Raum ausbreitet, kann ebenfalls mit Hilfe der Frequenz und Amplitude charakterisiert werden.
- Das menschliche Gehör kann Töne mit Frequenzen von 80 Hz bis 20000 Hz wahrnehmen.
- Die menschliche Sprache aber auch die Musik, welche wir hören, besteht in den allermeisten Fällen aus der Kombination einzelner Töne.

1.2.2 Tonsignale übertragen

Das Ziel einer Radiosendung ist es, Sprache und Musik über weite Distanzen zu übertragen. Wie wir bereits wissen, kann Sprache und Musik mit Hilfe von Schallwellen im Raum übertragen werden. Die Distanz, über welche ein Geräusch hörbar ist, kann durch folgende Massnahmen beeinflusst werden:

- Je höher die Lautstärke, umso weiter ist ein Geräusch hörbar.
- Je weniger Objekte (bbspw. Bäume, Häuser, Türen, Berge, etc) sich zwischen Sender und Empfänger befinden, umso weiter ist ein Geräusch hörbar.



- Je gerichteter das Geräusch ausgesandt oder empfangen wird, umso weiter ist ein Geräusch hörbar. Wenn man beispielsweise durch ein trichterförmiges Objekt spricht oder ein solches als Hörhilfe verwendet, können im ersten Fall mehr Luftmoleküle angeregt bzw. mehr angeregte Luftmoleküle empfangen werden. In beiden Fällen sind die Geräusche verstärkt worden und somit in einer weiter entfernten Distanz besser hörbar als wenn man keinen Trichter verwenden würde.

Wenn man die Radiosendung mit Hilfe von Schallwellen in der gesamten Schweiz übertragen möchte, dann müsste die Musik oder die Sprache sehr laut sein, damit alle Ortschaften in der Schweiz "Empfang" haben. Die ist natürlich aus verschiedenen Gründen nicht praktikabel. Einer davon ist sicherlich, dass die Musik dann immer und überall zu hören wäre, auch wenn man vielleicht gerade gar keine Musik hören möchte. Die Schlussfolgerung ist also, dass die Geräusche nicht mittels Schallwellen sondern in einer anderen Form vom Sender zum Empfänger übertragen werden sollten.

Eine Möglichkeit wäre es, die Musik mit einem Kabel und mit Hilfe eines elektrischen Stromes zu übertragen. Dann müsste jedoch jeder Haushalt mit einem solchen Radiokabel ausgestattet werden. Eine solche Installation ist sehr aufwändig und teuer, gleichzeitig könnte man die Radiosendungen nur zu Hause und nicht unterwegs im Auto hören. Die Radiosendung soll also kabellos (engl. *wireless*) über weite Distanz übertragen werden. Dies kann erreicht werden, indem die Radiosendung nicht mittels Schallwellen sondern mittels so genannter elektromagnetischer Wellen übertragen wird. Der Vorteil elektromagnetischer Wellen ist, dass sie – im Gegensatz zu den Schallwellen – kein Medium benötigen, um sich auszubreiten, sie können sich in Luft aber auch im Vakuum (oder sonst einem Material) ausbreiten.

Eine elektromagnetische Welle kann - äquivalent zur Schallwelle - mit folgenden beiden Eigenschaften charakterisiert werden:

- Jede elektromagnetische Welle hat eine bestimmte Frequenz, mit der sie schwingt.
- Jede elektromagnetische Welle hat eine bestimmte Amplitude (Lautstärke).

Für die Übertragung der Sprach- oder Musikinformation in Form von Schallwellen benötigen wir eine Art von "Umwandler", welcher die ihn umgebende Luft mit einer bestimmten Amplitude und Frequenz zum Schwingen bringt. Ein solcher Umwandler ist bspw. unser Stimmorgan oder ein Lautsprecher, welcher mit Hilfe einer beweglicher Membran die ihn umgebende Luft auf Grund eines anliegenden elektrischen Musiksignales zum Schwingen bringt.

Wenn man die Sprache oder Musik nun mit Hilfe elektromagnetischer Wellen übertragen möchte, dann benötigt man ebenfalls eine Art von Umwandler, welcher eine elektromagnetische Welle erzeugt. Die elektromagnetische Welle ist dann ebenfalls in der Lage, die Sprach- oder Musikinformation zu einem Empfänger zu übertragen, wie es bei der Schallwelle der Fall ist.

Der Umwandler, welcher elektromagnetische Wellen erzeugen kann, nennt man Antenne.

Antennen gibt es in ganz unterschiedlichen Formen und Grössen. Je nach Anwendung muss eine bestimmte Art von Antenne gewählt werden, damit die für die Anwendung erwünschten elektromagnetischen Wellen erzeugt werden können.

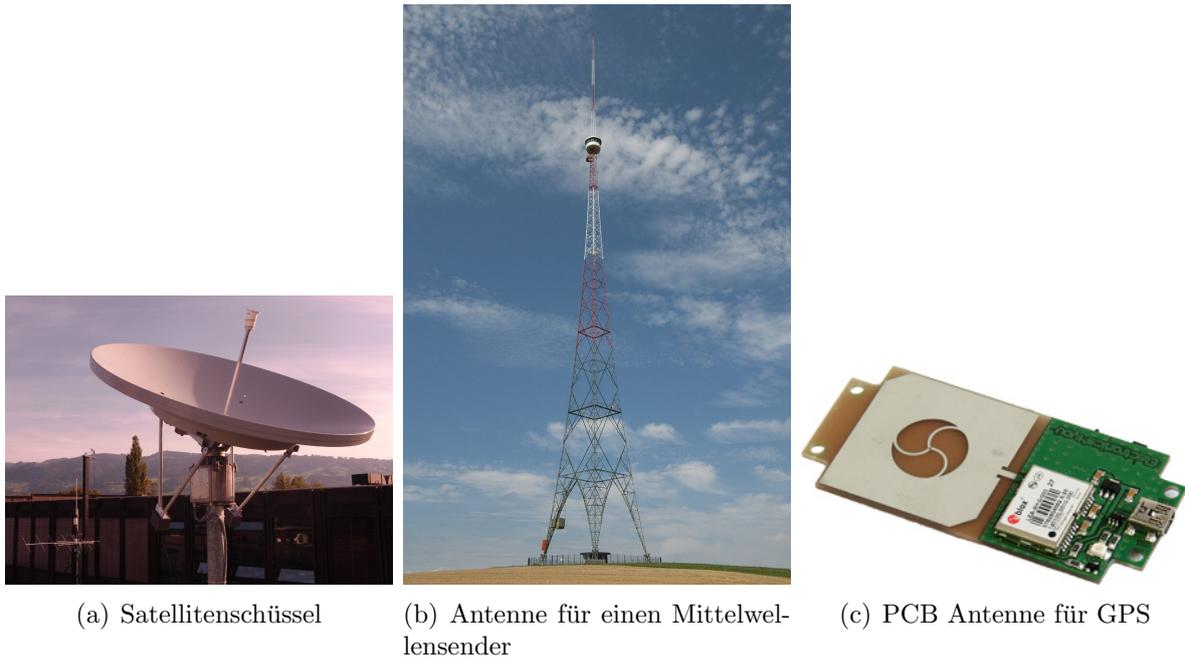


Abbildung 6: Verschiedene Formen von Antennen.

1.2.3 Antennen und ihre Eigenschaften

Die Form und Grösse der Antenne hängt von der erwünschten Anwendung ab, es gibt hierbei verschiedene Charakteristika, welche Antennen mit sich bringen, unter anderem:

Richtcharakteristik

Es gibt Antennen, welche eine Richtwirkung aufweisen. Das heisst, sie können in eine bestimmte Richtung besser empfangen als in eine andere. Satellitenschüsseln weisen bspw. eine hohe Richtwirkung auf, damit man mit ihnen einen ganz bestimmten Satelliten im Orbit empfangen kann. Andere Antennen – wie beispielsweise die Antenne eines Radiosenders - weisen keine so starke Richtwirkung auf, da die Radiosendung in alle Richtungen gleich abgestrahlt werden soll.

Resonanzfrequenz

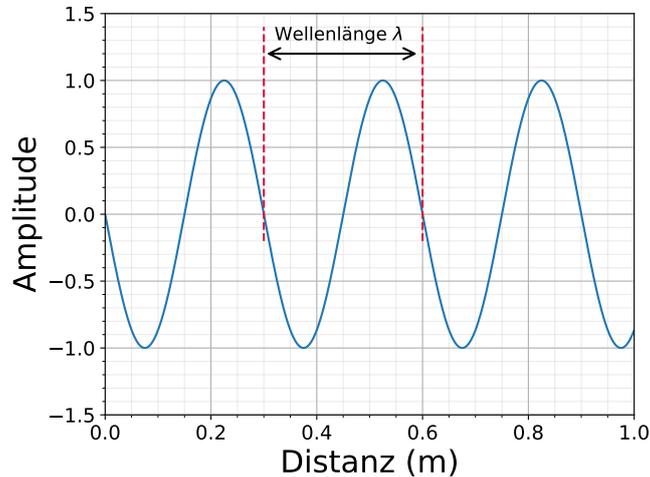
Viele Antennen werden auf ihrer so genannten Resonanzfrequenz betrieben. Bei dieser Frequenz können sie die elektromagnetischen Wellen besonders gut abstrahlen bzw. auch empfangen. Man spricht in diesem Zusammenhang von so genannten resonanten Antennen. Die physikalische Grösse der Antenne ist bei resonanten Antennen von deren Resonanzfrequenz abhängig.

Die Grösse der Antenne hängt also direkt mit der erwünschten Resonanzfrequenz zusammen. Um diesen Zusammenhang etwas besser zu veranschaulichen ist es hilfreich, die so genannte Wellenlänge einer elektromagnetischen Welle zu betrachten.

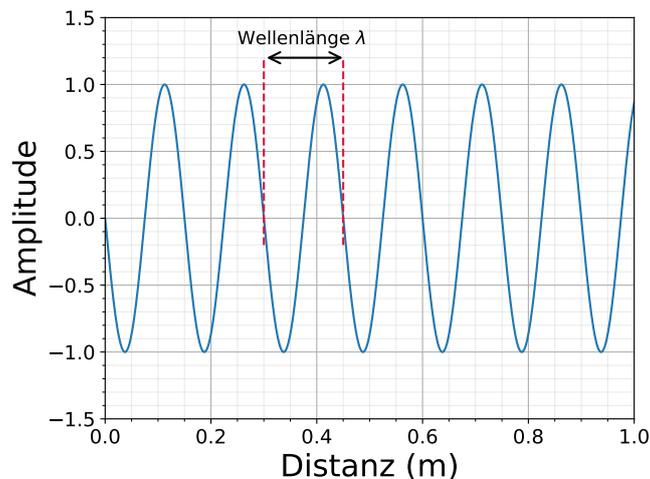
Abb. 7 zeigt zwei Töne und deren Wellenlänge. Die Wellenlänge ist der Abstand zweier Punkte der Welle, welche im zeitlichen Verlauf die gleiche Amplitude und die gleiche Bewegungsrichtung haben. Im Bild wurden die beiden Punkte gewählt, bei der die Welle durch 0 geht. Man hätte



die Wellenlänge aber auch bei den beiden höchsten Punkte der Welle einzeichnen können. Am Beispiel sieht man des Weiteren, dass die Wellenlänge grösser ist, je tiefer die Frequenz. Die Wellenlänge des 1 GHz Tons in Abb. 7(a) ist genau doppelt so lange wie die Wellenlänge des 2 GHz Tons in Abb. 7(b).



(a) Ton mit 1 GHz



(b) Ton mit 2 GHz

Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge.

Wenn man die Frequenz des Tones kennt, so kann man seine Wellenlänge mit der Formel

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad (1)$$

f berechnen. Hierbei repräsentiert λ die Wellenlänge in m, f ist die Frequenz in Hz und c_0 ist die Lichtgeschwindigkeit, welche 300'000'000 m/s beträgt. Für die gezeigten Töne sind die zugehörigen Wellenlängen also:

$$\lambda_1 = \frac{c_0}{f_1} = \frac{300'000'000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1 \text{ GHz}} = 0.3 \text{ m} \quad (2a)$$



$$\lambda_2 = \frac{c_0}{f_2} = \frac{300'000'000 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \text{ GHz}} = 0.15 \text{ m.} \quad (2b)$$

Für resonante Antennen kann man also allgemein sagen:

Je tiefer die Frequenz, umso grösser die Wellenlänge und umso grösser auch die Antenne, welche benötigt wird, um eine elektromagnetische Welle auf dieser Frequenz zu senden (oder zu empfangen)².

Die Wahl der Sendefrequenz hängt von verschiedenen Faktoren ab, eine davon ist sicherlich der Fakt, dass tiefe Frequenzen lange Wellenlängen und somit grosse Antennen zur Folge haben. In einem Smartphone möchte man beispielsweise keine grosse Antenne haben, da diese möglicherweise aus dem Gehäuse des Gerätes schauen würde, was natürlich weder ästhetisch noch praktisch ist. Im Nachfolgenden werden die verschiedenen Frequenzbänder und deren Anwendungen etwas genauer in Augenschein genommen.

1.2.4 Radiofrequenzen und ihre Anwendungen

Abb. 8 zeigt eine Übersicht aller Frequenzbänder und einige Beispiele für deren Anwendung. Ein grosser Teil der Frequenzen im elektromagnetischen Spektrum eignen sich besonders gut für die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen. Diese Frequenzen liegen im Bereich von 300 Hz bis 300 GHz.

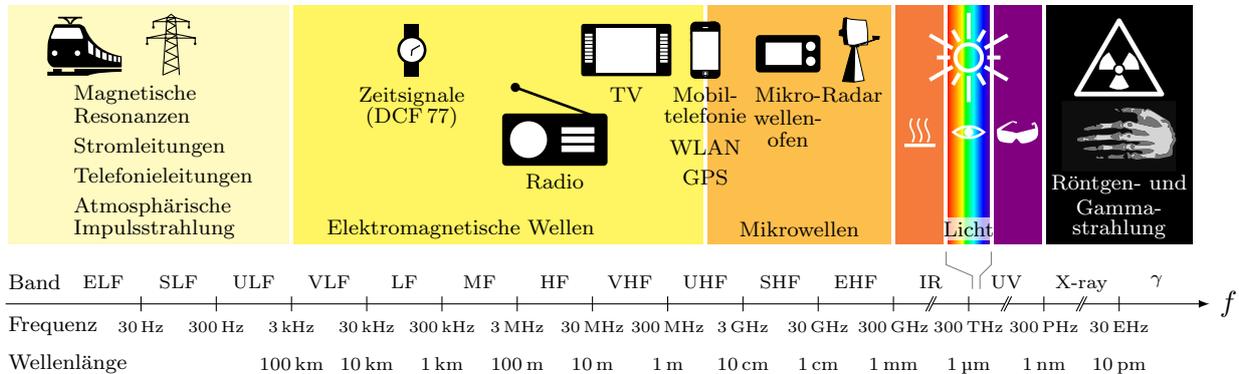


Abbildung 8: Das elektromagnetische Spektrum.

Bei der Wahl einer passenden Frequenz spielt also die Antennengrösse sicherlich eine ausschlaggebende Rolle. Je höher die gewählte Frequenz, umso kleinere resonante Antennen können verwendet werden. Dieser Vorteil geht jedoch mit einem Nachteil einher: Je höher die Frequenz, umso stärker wird die elektromagnetische Welle vom Sender zum Empfänger gedämpft. Das heisst, je tiefer die Frequenz der elektromagnetischen Welle, desto grössere Distanzen kann diese überwinden. Wenn man dieselbe Distanz mit einer Welle höherer Frequenz überwinden möchte, so müsste man mehr Sendeleistung aufwenden. Diese durch die Physik vorgegebenen Gesetze führen unweigerlich dazu, dass bestimmte Frequenzbänder für bestimmte Anwendungen besser geeignet sind als andere. Zusätzlich zu den physikalischen Gesetzen spielen bei der

²Antennen sind reziprok, eine Sendeantenne kann als Empfangsantenne und vice versa verwendet werden



Wahl der Radiofrequenz aber auch gesetzliche Verordnungen sowie geschichtliche Aspekte eine gewisse Rolle.

Die ersten Sendeexperimente wurden bei den so genannten Längstwellen (VHF) getätigt. Die ersten Rundfunksendungen wurden dann auf Lang- Mittel und Kurzwelle (LF, MF, HF) ausgestrahlt. Durch die Verwendung solch tiefer Frequenzen, können Reichweiten von über 1000 km erreicht werden. Der Nachteil ist jedoch, dass für die Aussendung von Wellen solch grosser Wellenlängen auch grosse Antennenanlagen notwendig sind (siehe bspw. den Blosenbergturm in Abb. 6(b)). Auf Grund der tiefen Frequenz ist auch die mögliche Bandbreite begrenzt.

Die Bandbreite ist eine Kenngrösse und sagt, wie viel Platz das zu übertragene Signal im Frequenzspektrum einnimmt. Je mehr Informationen in derselben Zeit übertragen möchte, umso mehr Bandbreite benötigt dieses Signal im Spektrum. Bspw. benötigt man ungefähr 3 kHz Bandbreite, um ein Sprachsignal zu übermitteln. Möchte man jedoch ein gut klingendes Musikstück übertragen, so benötigt man mind. 20 kHz an Bandbreite.

Im Langwellenbereich beträgt das Kanalaraster für den Rundfunk beispielsweise 9 kHz, es gibt also einen Sender auf 153 kHz, dann einen auf 162 kHz, auf 171 kHz usw. Das heisst, jeder Sender sollte nur eine Bandbreite von ≈ 9 kHz verwenden, um den "benachbarten" Sender nicht zu stören. Natürlich kann man mit diesen Sendern auch Musik übertragen, auf Grund der beschränkten Bandbreite ist die Klangqualität dann einfach nicht so gut.

Mit der Zeit und dem damit einhergehenden technischen Fortschritt war es möglich Aussendungen auf höheren Frequenzen zu tätigen. Eine bis heute für Radiosendungen verwendetes Frequenzband liegt im Ultrakurzwellenbereich (VHF) zwischen 87.5 MHz und 108 MHz. Bei 100 MHz beträgt die Wellenlänge 3 m. Durch die Erhöhung der Frequenz ist jedoch die Reichweite geringer (sofern die Sendeleistung nicht massiv erhöht wird). Nichtsdestotrotz können mit UKW Sendern Reichweiten von bis zu 200 km erreicht werden. Im Folgenden wird genauer erläutert, wie die Radiosignale für Ultrakurzwellenaussendung erzeugt werden.



1.2.5 UKW Radio

Damit ein UKW Radio die Sprache und Musik erfolgreich senden kann, muss an der Antenne eine elektromagnetische Welle erzeugt werden, welche mit der für die Antenne passenden Frequenz schwingt (also um die 100 MHz). Die zu übertragende Musik ist – wie aus vorangehenden Kapiteln bereits bekannt – im Frequenzbereich von 80 Hz bis 20000 Hz beheimatet. Dieses Audioband kann man zur Veranschaulichung im Frequenzspektrum als Band darstellen, wie in Abb. 9 gezeigt. Bevor nun das Radiosignal mit der Antenne ausgesendet werden kann, muss dieses Audioband auf die entsprechende Frequenz umgesetzt werden, im Falle des UKW Radios wäre das eine Frequenz um 100 MHz.

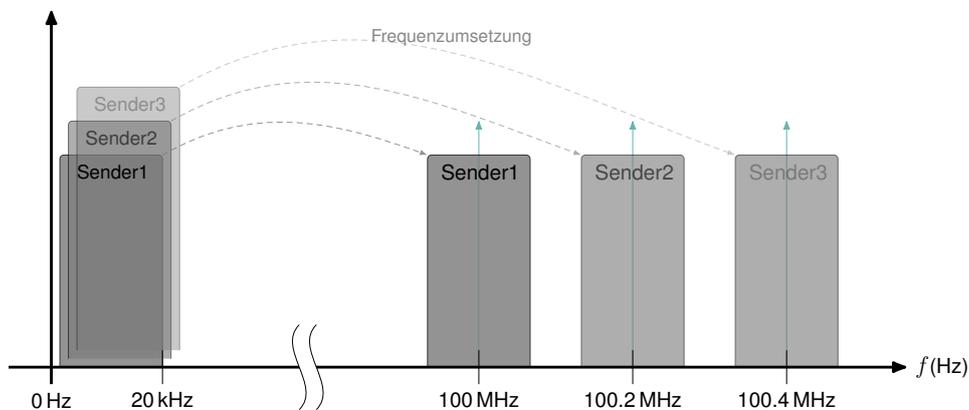


Abbildung 9: Frequenzspektrum mit dem Audioband und dem UKW Band.

Es gibt verschiedene technische Lösungen, um eine solche Frequenzumsetzung zu erreichen. Man spricht auch vom so genannten Mischvorgang, da hier zwei Frequenzen miteinander "gemischt" werden. Es gibt einerseits elektronische Schaltungen, bei denen ein Mischer dafür zuständig ist, diese Frequenzumsetzung zu erzeugen, andererseits gibt es aber auch Methoden, bei welchen die Frequenzumsetzung implizit, also ohne dediziertes Mischer-Bauteil, erreicht wird. Bei der Erzeugung von UKW Radiosignalen ist letzteres der Fall. Die Frequenzumsetzung passiert hier also nicht mit einem Mischer sondern implizit während der so genannten Modulation. Bei der Modulation wird eine Trägerfrequenz (in diesem Falle ein Träger bei den UKW Frequenzen um 100 MHz) mit Hilfe des zu übertragenden Nutzsignales (in diesem Falle das Audiosignal) verändert. Das Audiosignal wird also der UKW Trägerfrequenz "aufgeprägt".

Wie wir aus den vorangegangenen Informationen bereits wissen, wird eine elektromagnetische Schwingung mit Hilfe zweier Eigenschaften charakterisiert: der Amplitude und der Frequenz. Diese beiden Eigenschaften lassen sich natürlich auch verändern, man kann die Amplitude wie auch die Frequenz erniedrigen oder erhöhen. Das sind sozusagen die "Informationsträger" (bei der Sprache bilden bspw. zwei Wellen unterschiedlicher Frequenz einen bestimmten Vokal, was nichts anderes als Information ist).



Genau dies wird bei der Modulation gemacht, es wird entweder die Amplitude oder die Frequenz (oder beides) mit Hilfe des Nutzsignales (in diesem Falle unser Audiosignal) verändert:

- Wird die Amplitude des hochfrequenten Trägersignales mit Hilfe des Nutzsignales verändert, so spricht man von **Amplitudenmodulation**, kurz **AM Modulation**.
- Wird die Frequenz des hochfrequenten Trägersignales mit Hilfe des Nutzsignales verändert, so spricht man von **Frequenzmodulation**, kurz **FM Modulation**.

Beim UKW Radio wird FM Modulation verwendet, UKW Radio wird deswegen auch FM Radio genannt. Abb. 10 zeigt eine mögliche bildliche Darstellung der FM Modulation. Gegeben ist also der UKW Träger bei einer bestimmten Frequenz im UKW Band (bspw. 94 MHz für SRF1). Wird dieser Träger nun mittels FM moduliert, so wird seine Position auf Grund des gegebenen Audiosignales leicht ausgelenkt. Betrachtet man Abb. 10, so erkennt man folgendes:

- Je grösser die Amplitude des Audiosignales, umso stärker wird die Trägerfrequenz ausgelenkt. → Die Amplitudeninformation des Audiosignales ist nach der Modulation mit der momentanen Auslenkung des Trägers gegeben.
- Je grösser die Frequenz des Audiosignales, umso schneller wird die Trägerfrequenz ausgelenkt. → Die Frequenzinformation des Audiosignales ist nach der Modulation mit der momentanen Geschwindigkeit der Frequenzänderung des Trägers gegeben.

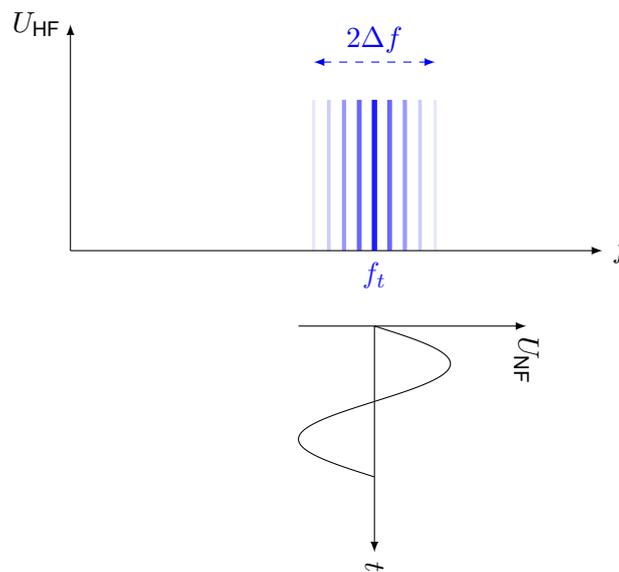


Abbildung 10: Auslenkung des Frequenzmodulierten Träger mit dem niederfrequenten Sinussignal.



Abb. 11 zeigt den Vorgang der Frequenzmodulation anhand des zeitlichen Verlauf der Signale. Der Einfachheit halber besteht das zu übertragende Audiosignal nur aus einem einzigen Ton mit Frequenz f und Amplitude A . Es ist jeweils dargestellt, wie sich das FM modulierte Signal verändert, wenn die Amplitude oder die Frequenz des modulierenden Signales sich verändert. Hier sieht man noch einmal folgende Zusammenhänge:

- Vergrößert sich die Amplitude des modulierenden Signales, so vergrößert sich der so genannte Frequenzhub des FM modulierten Signales. Das FM modulierte Signal überstreicht also einen grösseren Frequenzbereich, es beinhaltet demnach höhere und tiefere Frequenzanteile.
- Vergrößert sich die Frequenz des modulierenden Signales, so wechselt das FM modulierte Signal entsprechend häufiger zwischen seiner minimalen und maximalen Frequenz.

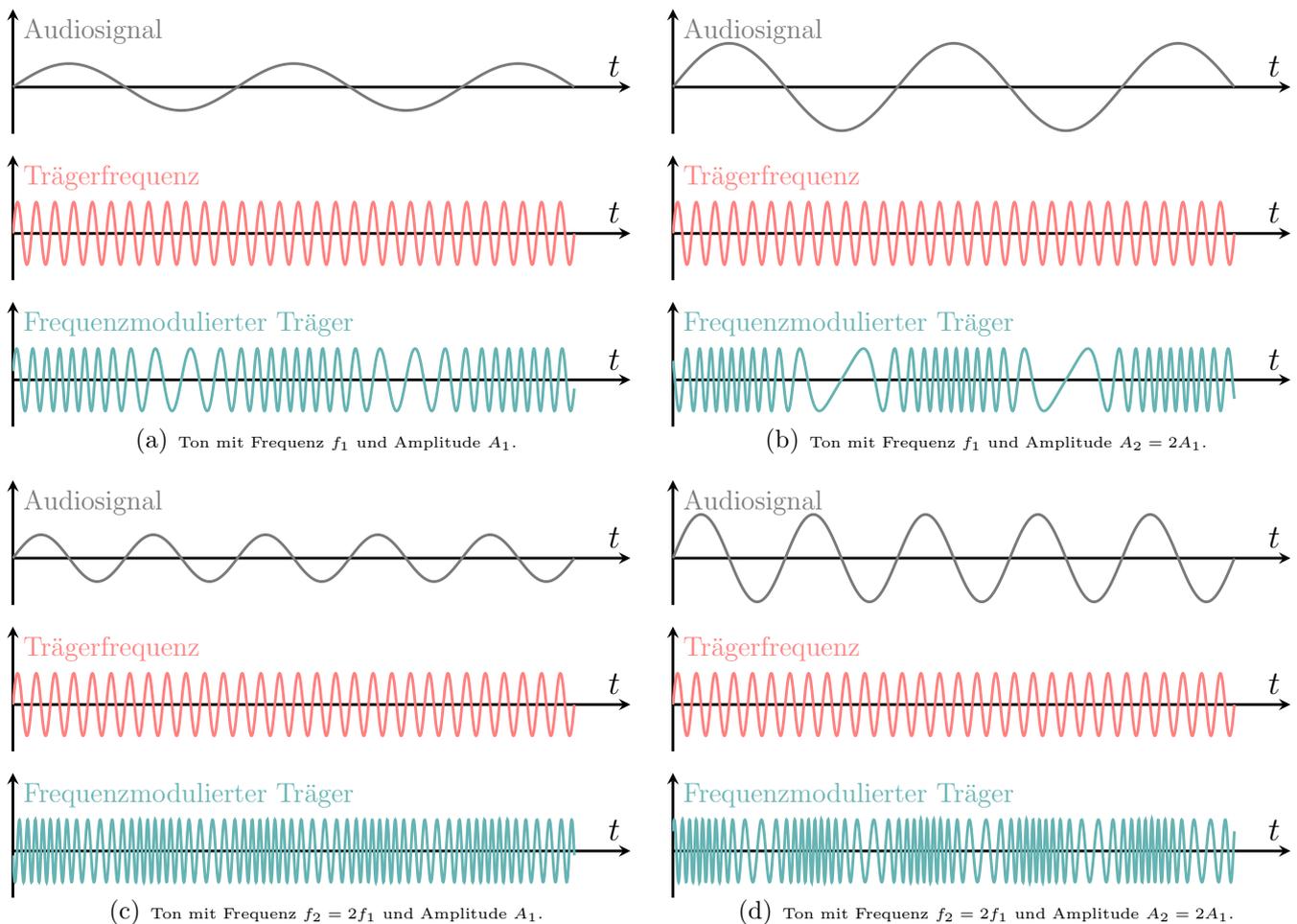


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der FM Modulation am Beispiel von Tonsignalen unterschiedlicher Amplitude und Frequenz.