

---

## 2.2.4 Sendung, Übertragung und Empfang elektromagnetischer Wellen

### Modulation

Zur Übermittlung von Nachrichten muss die elektromagnetische Welle ein Signal übertragen. Im einfachsten Fall wird dazu jeder Buchstabe der Nachricht in einem bestimmten Code verschlüsselt. Im Rhythmus dieser Zeichen wird der Sender ein- und ausgeschaltet; dabei nimmt die Amplitude der Welle nur zwei Werte an ("0", "1", digitale Information).

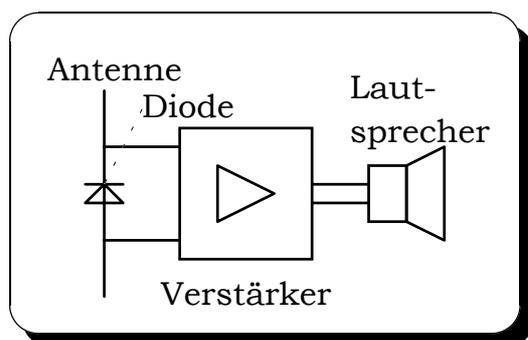
Sprache und Musik bestehen aus Schwingungen, deren Elongationen kontinuierlich die verschiedensten Werte annehmen. Es ist also nahe liegend, die Amplitude oder die Frequenz einer hochfrequenten elektromagnetischen Welle ebenfalls kontinuierlich im Takt des niederfrequenten Übertragungssignals zu ändern (Amplituden- bzw. Frequenzmodulation).

### Amplitudenmodulation

Trifft z. B. eine amplitudenmodulierte Welle auf einen abgestimmten Empfangsschwingkreis (d. h. seine Eigenfrequenz ist gleich der Senderfrequenz), so regt sie ihn zu ebenfalls amplitudenmodulierten Schwingungen an. Die Nachricht ist aber noch nicht unmittelbar greifbar, da die Frequenz der Stromschwingung - es ist ja im wesentlichen die Trägerfrequenz - viel zu groß ist, als dass die Membrane des Lautsprechers folgen könnte. In den Empfangskreis wird deshalb eine Gleichrichterdiode eingebaut; dann wird der über einen Verstärker angeschlossene Lautsprecher nur noch von elektrischen Strömen in einer Richtung durchflossen, und die Stromstärke schwankt im Rhythmus der Niederfrequenz und ist proportional zu den jeweiligen Sendeamplituden.

Die der hochfrequenten Trägerschwingung durch Amplitudenmodulation aufgebürdete Niederfrequenzschwingung kommt infolge der Demodulation durch die Gleichrichterdiode wieder zum Vorschein!

Skizze:



Die vielen Rundfunk- und Fernsehsender schicken eine Unzahl von elektromagnetischen Wellen in den Raum. Damit sie auseinander gehalten werden können, wird jedem Sender eine bestimmte Trägerfrequenz zugeteilt.

Die Amplitudenmodulation ändert nicht nur die Amplitude der Trägerwelle, sondern auch ihre Frequenz:

Die Stromstärke der hochfrequenten Trägerschwingung lässt sich durch

$$I_0(t) = I_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$$

darstellen.

Bei der Amplitudenmodulation durch ein niederfrequentes Signal der Form

$$I^*(t) = I^* \cdot \sin(\omega^* \cdot t)$$

ergibt sich die resultierende Schwingung zu

$$I(t) = [I_0 + I^* \cdot \sin(\omega^* \cdot t)] \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$$

bzw.

$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + I^* \cdot \sin(\omega^* \cdot t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t).$$

Der zweite Summand lässt sich mit Hilfe der trigonometrischen Beziehung (vgl. FS S. 39)

$$2 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

umformen, so dass man für die Stromstärke  $I$  schließlich

$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) + \frac{1}{2} \cdot I^* \cdot \cos((\omega_0 - \omega^*) \cdot t) - \frac{1}{2} \cdot I^* \cdot \sin((\omega_0 + \omega^*) \cdot t)$$

mit

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \text{ und } f^* = \frac{\omega^*}{2\pi}$$

erhält. Der durch die Amplitudenmodulation veränderte Strom in der Sendeanenne lässt sich demnach als Summe dreier hochfrequenter Wechselströme darstellen. Der erste schwingt mit der Trägerfrequenz  $f_0$ , die beiden anderen haben die von  $f_0$  verschiedenen Seitenfrequenzen  $f_0 - f^*$  und  $f_0 + f^*$ .

Eine Rundfunkwelle wird aber normalerweise mit allen möglichen Frequenzen des Hörbereichs moduliert. Entsprechend entsteht um die Trägerfrequenz  $f_0$  herum eine kontinuierliche Menge von Seitenfrequenzen, ein sog. Frequenzband. Bei einer höchsten Modulationsfrequenz  $f_{\max}$  hat dieses Frequenzband eine Bandbreite

$$\Delta f = 2 \cdot f_{\max}.$$

Bei hörbaren Frequenzen von ca 20 Hz bis 20000 Hz würden in das Mittelwellenband (550 kHz - 1600 kHz) nur etwas mehr als 50 Sender passen. Die Trägerfrequenzen der Mittel- und Langwellensender sind daher so eingeteilt, dass jedem Sender eine Bandbreite von 9 kHz bleibt; außerdem sind die Trägerfrequenzen durch 9 teilbare Zahlen. Mit dieser Bandbreite beträgt die maximal übertragbare Frequenz nur 4,5 kHz (der höchste Ton des Klaviers hat die Frequenz 4200 Hz).

### **Frequenzmodulation**

Bei der Frequenzmodulation, wie sie beim UKW-Rundfunk angewandt wird, beträgt der sog. Frequenzhub ca. 75 kHz, die Bandbreite also 150 kHz.

Diese Bandbreite macht sich allerdings bei den hohen Trägerfrequenzen im Bereich um 100 MHz kaum bemerkbar, und die Sendefrequenzen können

---

---

deshalb immer noch relativ dicht beieinander liegen. (z. B: B3: 98,5 MHz, Ö3: 99,0 MHz).

### Frequenzbereiche

Bei Rundfunk und Fernsehen unterscheidet man folgende Frequenzbereiche:

Rundfunkbereich	Frequenzen	Wellenlängen
Langwellen (LW)	150 kHz - 285 kHz	2000 m - 1050 m
Mittelwellen (MW)	525 kHz - 1605 kHz	571 m - 187 m
Kurzwellen (KW)	3,95 MHz - 26,1 MHz	76 m - 12 m
Ultrakurzwellen (UKW)	87,5 MHz - 108 MHz	3,4 m - 2,77 m
Fernsehbereich	Frequenzen	Wellenlängen
Bereich I	41 MHz - 68 MHz	7,3 m - 4,4 m
Bereich II	87,5 MHz - 100 MHz	3,4 m - 3,0 m
Bereich III	174 MHz - 233 MHz	1,7 m - 1,3 m
Bereiche IV/V	470 MHz - 790 MHz	0,64 m - 0,38 m
SAT-Fernsehen	950 MHz - 2050 MHz	0,32 m - 0,15 m

Satellitenprogramme werden im GHz-Bereich abgestrahlt. Die übrigen Bereiche sind für den Fernsprech- und Fernschreibverkehr, für Nautik, Flugdienst und Radar sowie den Amateurfunk freigehalten.

UKW-Wellen breiten sich geradlinig aus, ihre Reichweite ist praktisch auf Sichtweite begrenzt. Kurzwellen breiten sich ebenfalls geradlinig aus; ihre vor allem zu bestimmten Tageszeiten beachtliche Reichweite rührt von der Reflexion an in der Ionosphäre her. Mittel- und Langwellen werden von geerdeten (und deshalb mit einer  $\lambda/4$ -Länge auskommenden) Sendeantennen abgestrahlt und an der Erdoberfläche entlanggeführt. Daher rührt ihre beachtliche Reichweite.