

# Datenübertragung

Hans Jürgen Ohlbach

**Keywords:**

**Empfohlene Vorkenntnisse:**

## Inhaltsverzeichnis

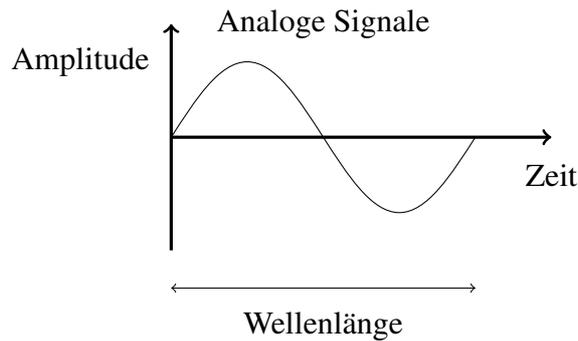
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2 Analoge Signalübertragung</b>	<b>1</b>
<b>3 Digitale Signalübertragung</b>	<b>4</b>
<b>4 Multiplexing</b>	<b>5</b>
<b>5 Signal und Rauschen</b>	<b>6</b>

## **1 Einführung**

## **2 Analoge Signalübertragung**

Über viele Jahrzehnte gab es nur die analoge Signalübertragung. Dabei wurden Schwingungen, insbesondere Schallwellen, direkt auf Schwingungen elektrischer Signale übertragen. Im Kabel sind das Schwingungen in der Spannung oder Stromstärke. Über Funk sind das Schwingungen der elektrischen Feldstärke. Analoge Telefonie funktioniert nach diesem Prinzip.

Analoge Signale sind i.A. wellenförmig:



Die Frequenz einer Welle misst man in *Herz* (Hz). 1 Hz entspricht einer Schwingung pro Sekunde. 1 KiloHerz (KHz) sind 1000 Schwingungen/Sekunde, 1 MegaHerz (MHz) sind 1 Million Schwingungen / Sekunde usw.

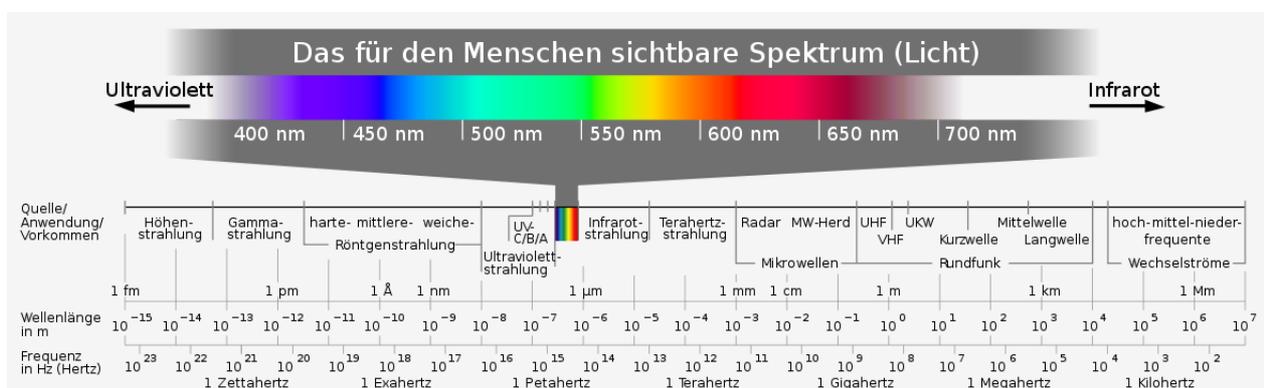
Da sich elektromagnetische Wellen mit Lichtgeschwindigkeit  $c$  ausbreiten, kann man die Frequenz  $f$  in Wellenlänge  $\lambda$  umrechnen:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

**Beispiel:** Die Lichtgeschwindigkeit ist ungefähr  $c = 300000000$  m/sec (300 000 km /sec) Eine typische Radiofrequenz ist 100 MHz, d.h  $f = 100000000/sec$ . Daraus ergibt sich eine Wellenlänge  $\lambda = 300000000/100000000 = 3m$ .

Die Frequenz von Schallwellen liegen im Bereich von 20 Herz bis 20 KHz. Solche Schwingungen kann man problemlos in Spannungsschwankungen beim Stromfluss durch ein Kabel übertragen. Den Kammerton a (440 Hz) direkt über Funk zu übertragen, würde jedoch Funkwellen mit einer Wellenlänge  $\lambda = 300000000/440 \sim 682km$  benötigen. Dafür bräuchte man auch eine entsprechend lange Antenne.

Welche Frequenzen elektromagnetische Strahlungen haben zeigt die folgende Abbildung. Sie enthält auch die Beziehung zwischen Frequenz und Wellenlänge.

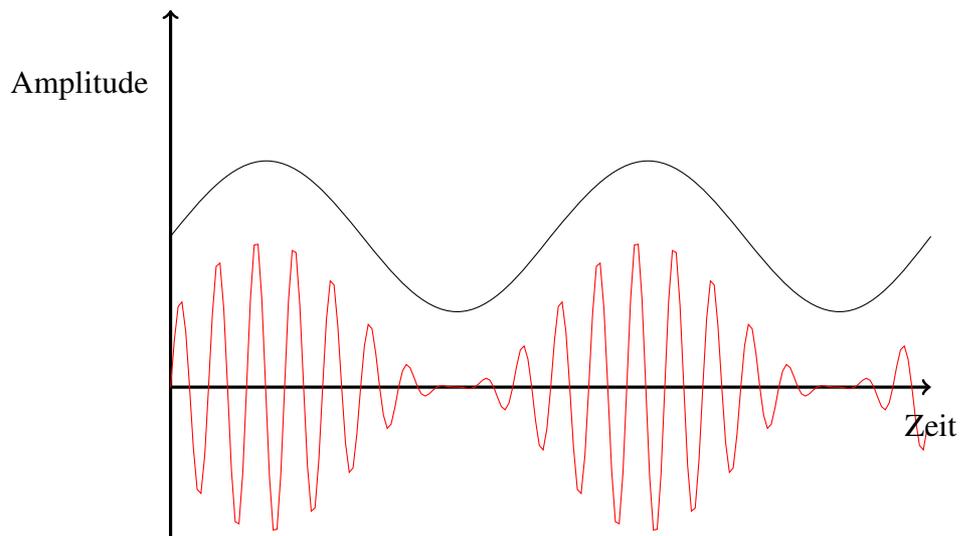


**Modulation:**

Schallwellen direkt in Funkwellen oder gar Lichtwellen in Glasfasern zu übertragen geht also nicht. Dafür muss man niederfrequente Wellen auf höherfrequente Wellen (der *Trägerfrequenz*) *aufmodulieren*. Dafür gibt es im Prinzip drei Methoden:

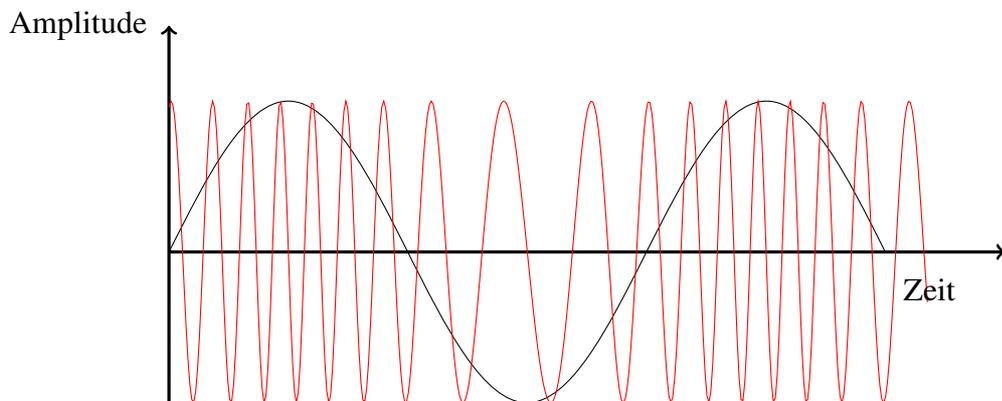
### **Amplitudenmodulation (AM):**

Die niederfrequente Welle wird in die Amplitude einer höherfrequenten Welle moduliert.



### **Frequenzmodulation (FM):**

Die niederfrequente Welle wird als Frequenzänderung der höherfrequenten Trägerwelle moduliert.



### **Phasenmodulation (PM):**

Die niederfrequente Welle wird als Phasenänderung der höherfrequenten Trägerwelle moduliert.

Die Kurve sieht sehr ähnlich aus wie bei der Frequenzmodulation.

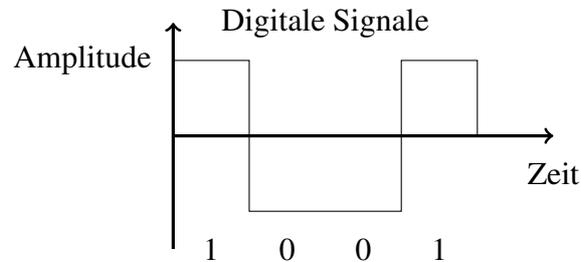
### **Basisband:**

Damit bezeichnet man ein Frequenzbereich zwischen 0 Hz und einer oberen Schranke. Für menschliche Sprache, und auch gute Mikrophone, ist das Basisband der Frequenzbereich bis 20 kHz. Bei analogen Telefonen hat man die obere Frequenz auf ca. 7 kHz beschränkt. Das Basisband ist damit schmaler.

Durch Modulation wird das Basisband auf höhere Trägerfrequenzen verschoben. UKW Radiosender z.B. verschieben das Basisband in die Gegend von 100 MHz.

### 3 Digitale Signalübertragung

Heutige digitale Computer sind aber darauf angewiesen, Informationen als Folge von digitalen Werten, 0 und 1, zu übertragen. Was man gerne hätte, ist in folgendem Bild symbolisiert, wobei die Amplitude Spannung, Stromstärke oder Feldstärke darstellt:



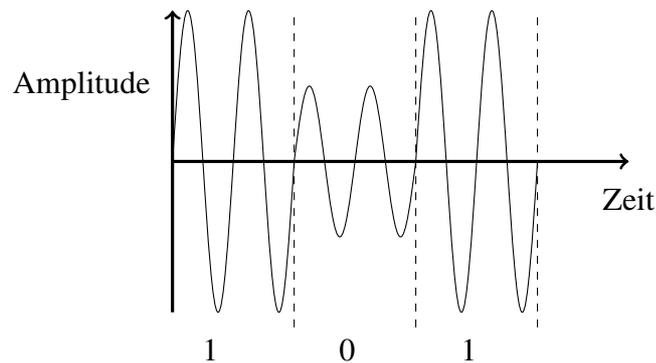
Leider ist die physikalische Welt nicht so schön digital, wo z.B. ein Spannungsverlauf abrupt in Null Zeit von z.B. +5 Volt auf -5 Volt fällt. Änderungen physikalischer Größen sind stetig und brauchen Zeit. Meist sind sie daher wellenförmig.

#### Modulation digitaler Signale:

Um digitale Signale in wellenförmige Strukturen unterzubringen gibt es wiederum die drei Modulationsarten:

#### Amplitudenmodulation (AM):

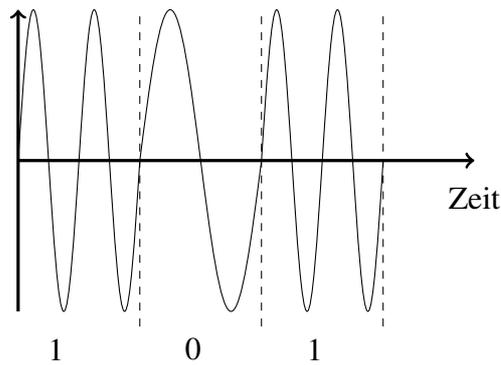
Eine 0 entspricht tiefer Amplitude, eine 1 entspricht hoher Amplitude.



#### Frequenzmodulation (FM):

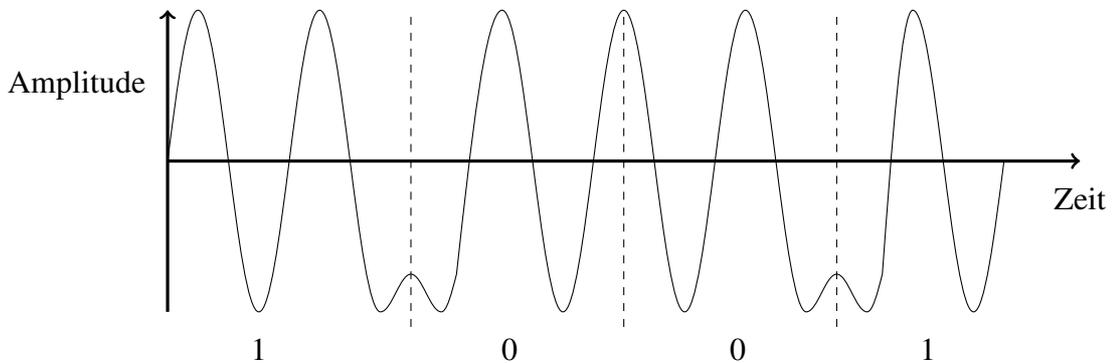
Eine 0 entspricht tiefer Frequenz, eine 1 entspricht hoher Frequenz.

### Frequenzmodulation



### Phasenmodulation (PM):

Digitale Werte werden in die Änderung der Phase, d.h. der Position der Nulldurchgänge kodiert.

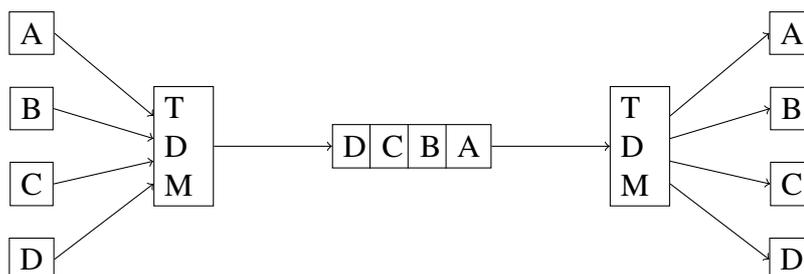


## 4 Multiplexing

Um Signale von einer Quelle zu einem Ziel zu übertragen braucht man ein Übertragungsmedium, z.B. ein Kabel. Hat man aber viele Quellen und viele Ziele, z.B. das Telefonnetz, dann bräuchte man im Prinzip für jedes Paar an Telefonen ein separates Kabel. Das wären natürlich unmöglich viele Kabel. Daher möchte man mehrere, möglichst viele, Verbindungen über das selbe Kabel ermöglichen. Dazu gibt es im Prinzip zwei Techniken:

### Time Division Multiplexing (TDM):

Hierbei weist man jeder Verbindung (Quelle,Ziel) ein gewisses Zeitfenster zu, in der die Verbindung senden darf.

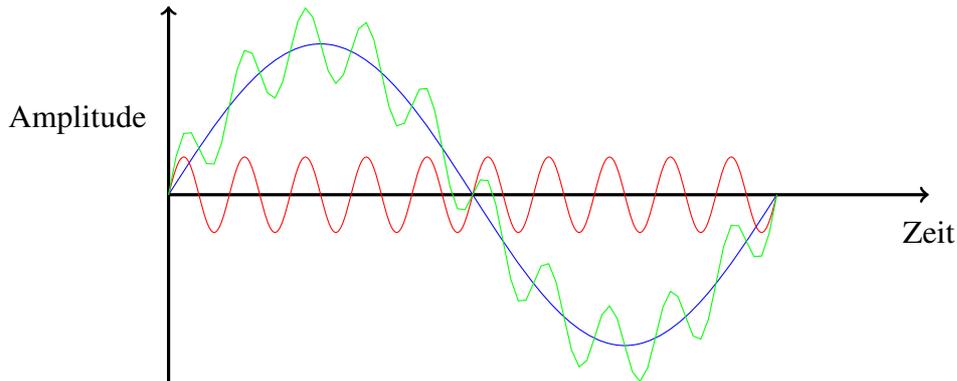


Hat man z.B. 10 Verbindungen gleichzeitig, dann könnte man jeder dieser zehn Verbindungen alle Zehntel Sekunden für jeweils eine Zehntel Sekunden die Verbindung frei geben. Die Technik wird z.B. im ISDN Telefonnetz angewendet.

### **Frequency Devision Multiplexing (FDM):**

Bei dieser Technik überlagert man verschiedene Frequenzen, indem man einfach die Amplituden addiert.

In diesem Bild wird die blaue und rote Linie zur grünen Linie überlagert.

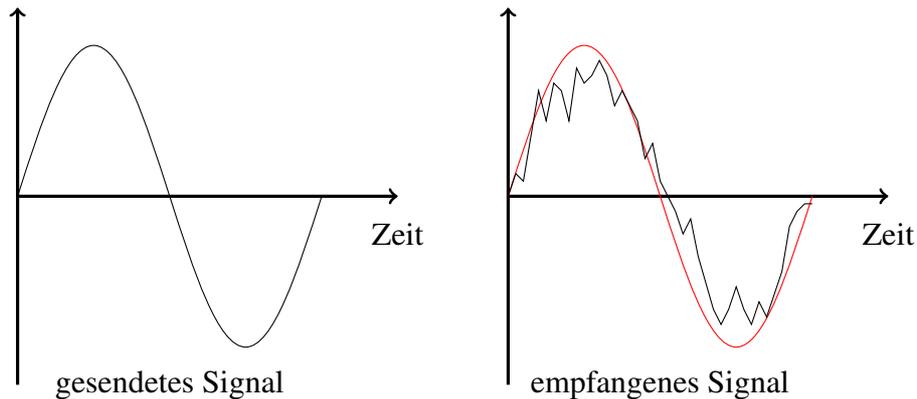


Elektrotechnisch ist es kein großes Problem, solche Signale zu überlagern, und dann die überlagerten Wellen wieder zu separieren. Auf diese Weise kann man nicht nur zwei sondern, abhängig von den beteiligten Frequenzen, sehr viele Wellen überlagern und wieder separieren.

Mehrere überlagerte Signale kann man dann wieder auf eine höherfrequente Trägerwelle aufmodulieren. Damit erhält man den Begriff *Kanal*. Ein Kanal entspricht einer Trägerfrequenz welcher mehrere überlagerte niederfrequente Wellen aufmoduliert sind. Digitale Fernsehkanäle z.B. können damit mehrere Programme enthalten.

## **5 Signal und Rauschen**

Leider entspricht die physikalische Welt nicht wirklich genau der mathematische Welt. Falls man in ein Kabel einen Stromverlauf, der einer Sinuskurve entspricht hinein schickt, kommt am anderen Ende i.A. nicht wiederum eine genaue Sinuskurve heraus. Die Signale werden einerseits in ihrer Amplitude gedämpft, und andererseits durch allerlei Effekte gestört, verrauscht. In dem Beispiel unten ist im empfangenen Signal die ursprüngliche Sinuskurve noch zu erahnen. Je stärker die Störungen sind, um so schwieriger wird es jedoch, die Ursprungskurve zu rekonstruieren. Sind die Amplituden des Rauschens schließlich so stark wie das Signal selbst, dann kann es nicht mehr rekonstruiert werden.

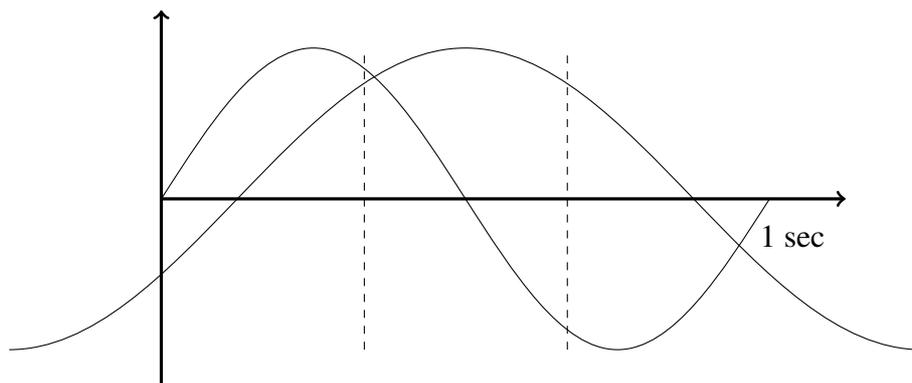


Um aus einem empfangenen Signal die Informationen zu extrahieren, muss man die Signale *abtasten*, d.h. die Signalstärke in regelmäßigen Abständen messen, und aus den Messwerten die Information berechnen.

### Kapazität ungestörter Kanäle

Harry Nyquist hat schon in den 1920ern berechnet, wieviel Kapazität ein *ungestörter* Kanal übertragen kann, d.h. wieviele Informationseinheiten man aus dem empfangenen Signal sicher rekonstruieren kann. Das Ergebnis war, dass ein Basisband mit Bandbreite  $f_{max}$  maximal  $2 \cdot f_{max}$  Informationseinheiten übertragen kann. Wenn man das Signal dazu an  $2 \cdot f_{max}$  äquidistanten Stellen misst, kann man die Signalkurve exakt rekonstruieren, und aus den Messwerten die gewünschte Information extrahieren.

Um das zu illustrieren betrachten wir ein Basisband bis 1 Hz. Die Bandbreite umfasst also alle Frequenzen bis 1 Hz. Das Theorem besagt dann, dass man mit *2 Messungen* die exakte Form der Sinuskurve rekonstruieren kann.



Ist die Bandbreite  $k$  Hz, braucht man halt  $2k$  Messungen, um die exakte Form zu rekonstruieren.

### Das Shannon-Hartley Gesetz für verrauschte Kanäle

Shannon und Hartley untersuchten dann, wieviel Information man mit einem *verrauschten* Kanal übertragen kann. Sie erkannten folgenden Zusammenhang:

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

wobei  $B$  die Bandbreite des Kanals ist und  $S/N$  das Signal-Rauschverhältnis.

$S/N = 10$  bedeutet z.B. dass das Signal 10 mal so stark ist wie das Rauschen.

Bei einer Bandbreite von 1 MHz und einem Signal-Rauschverhältnis von 10 kann man nach diesem Gesetz also  $C = 1000000 \cdot \log_2(11) = 3450000$  Informationseinheiten übertragen. Sind das Bits, dann bedeutet das eine Übertragungskapazität von 3.45 MBit/sec.

## **6 Synchroner und asynchroner Übertragung**

## **Stichwortverzeichnis**

Basisband, 3

Frequency Devision Multiplexing, 6

Herz, 2

Kanal, 6

Modulation, 2

Shannon-Hartley, 7

Time Devision Multiplexing, 5

Trägerfrequenz, 2