



umtastung) hat das Signal eine konstante Frequenz. Es werden hier Phasensprünge in die Sinusschwingung "eingebaut". Stellen Sie sich eine Sinusschwingung vor. Ein Phasensprung führt dann zu einer bestimmten Amplitude, die vom Phasenwinkel abhängt, d. h. die Sinuswelle wird in ihrem Schwingungsanfang um den entsprechenden Phasenwinkel verändert. Mit PSK sind hohe Übertragungsraten erreichbar, aber es werden auch hohe Anforderungen an die Hardware gestellt.

Die **Quadraturamplitudenmodulation** (QAM) kombiniert Frequenz- und Amplitudenmodulation. Sie wird beispielsweise bei DSL-Übertragungen (siehe Internet-Breitbandverbindungen) oder digitaler terrestrischer Fernsehübertragung (DVB-T, DVB-T2) verwendet.

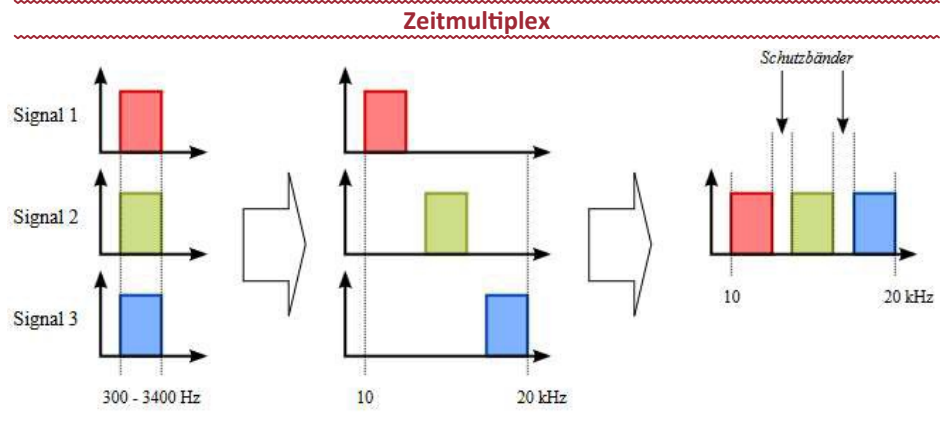
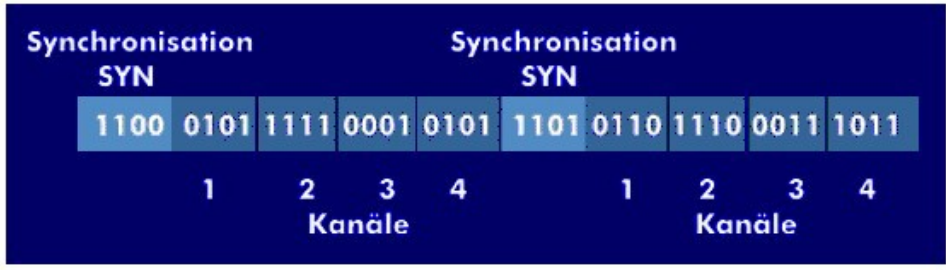
3.3 Multiplexing

Mit Hilfe von Modulation ist es möglich, mehrere Signale „gleichzeitig“ auf einer physikalischen Leitung zu übertragen, ohne dass diese Signale einander gegenseitig beeinflussen. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Multiplexing**.

Auf diese Weise können über ein einziges Telefonkabel mehrere Gespräche und auch Daten übertragen werden; auch verschiedene Radiosender oder TV-Sender werden auf ähnliche Weise gleichzeitig übertragen.

- **Raummultiplexverfahren:** Hier verlaufen mehrere Kabeladern parallel; jede Ader wird exklusiv für ein anderes Signal genutzt.
- **Zeit-Multiplexing** (TDM = *time division multiplexing*): Die Daten verschiedener Sender werden in bestimmten „Zeitschlitzten“ auf einem Träger übertragen. Man unterscheidet synchrones und asynchrones Zeit-Multiplexing. Beim Synchronverfahren wird ein Übertragungsrahmen verwendet, der aus einem Synchronisationszeichen und einer bestimmten Anzahl von jeweils gleich langen Zeitschlitzten (Kanälen) besteht.
- **Frequenz-Multiplexing** (FDM = *frequency division multiplexing*): Ein verfügbarer Frequenzbereich wird in mehrere Bänder aufgeteilt; über jedes Signal wird dann auf eine eigene Trägerfrequenz aufmoduliert.
- **Codemultiplexverfahren:** Dieses Verfahren wird in der Funktechnik und in Datenbussen eingesetzt.

Verschiedene Signalfolgen werden über eine Leitung oder eine Funkfrequenz übertragen und im Empfänger beziehungsweise mehreren Empfängern anhand ihrer unterschiedlichen Codierung erkannt und zugeordnet. Das Verfahren ähnelt dem Zeitmultiplexverfahren, jedoch ist keine Koordinierung der Zeitfenster erforderlich.



Frequenzmultiplex (Quelle: Wikipedia)

3.4 Datenübertragungsrate

Die Datenübertragungsrate (umgangssprachlich: Übertragungsgeschwindigkeit) bezeichnet die digitale Datenmenge, die pro Sekunde über einen Übertragungskanal fließen kann.

Die maximal mögliche Datenübertragungsrate, die fehlerfrei über einen Kanal übertragen werden kann, wird als Kanalkapazität bezeichnet. Zusammen mit der Latenzzeit (Antwortverzögerung) ist sie ein Maß für die Leistungsfähigkeit eines Kanals.

Die Datenübertragungsrate wird in **Bit pro Sekunde** bzw. einem Vielfachen davon angegeben.

Anmerkung: Manchmal findet man auch Angaben zur Schrittgeschwindigkeit, die in der Einheit **Baud** (benannt nach Émile Baudot, französischer Erfinder des 5-Bit-Baudot-Codes, der in der Frühzeit der Telekommunikation für Telegrafenanlagen verwendet wurde) angegeben wird. 1 Baud bezeichnet die Schrittgeschwindigkeit 1

Symbol pro Sekunde, wobei aber in einem Symbol mehrere bit Nutzdaten enthalten sein können. Überträgt man nun 2 Bit pro Takt (etwa durch die Zuordnung: **00** = 0 Volt, **01** = 5 Volt, **10** = 10 Volt, **11** = 15 Volt), so ist die Anzahl der Bit/Sekunde doppelt so hoch wie die Baud-Rate. 1000Base-T (Gigabit-Ethernet) hat eine Schrittgeschwindigkeit von 125 MBaud; pro Takt werden 2 Bit Nutzdaten übertragen; außerdem werden 4 Adernpaare gleichzeitig verwendet. Die Datenübertragungsrate beträgt daher

$$125 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 4 \frac{\text{bit}}{\text{s}} = 10^9 \frac{\text{bit}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Gbit}}{\text{s}}$$

3.5 Störeinflüsse

Optimalerweise sollten die eingespeisten Signale unverändert beim Empfänger ankommen. Das ist jedoch nicht der Fall, da es **Störeinflüsse** gibt:

- **Störungen durch äußere elektromagnetische Felder:** Alle Leitungen und Geräte, durch die elektrischer Strom fließt, bauen ein Magnetfeld auf – dieses Phänomen wird als Elektromagnetismus bezeichnet. Verlaufen nun Netzkabel durch sich ändernde magnetische Felder, so kommt es im Netzkabel zur Entstehung von Induktionsspannungen, die das Signal verändern.
- **Störungen durch den Widerstand des Kabels selbst**

Diese Störeinflüsse bewirken Verluste.

3.5.1 Dämpfung (engl. attenuation, ATT)

Das Ausmaß des Signalverlusts wird als **Dämpfung** bezeichnet. Meist wird die Dämpfung als **Pegelgröße** in der physikalischen Einheit **Dezibel** (dB) angegeben, das bedeutet, dass man das Verhältnis Ausgangsgröße zu Eingangsgröße noch dekadisch logarithmiert (vereinfacht gesagt: Man nimmt von einer Zehnerpotenz nur den Exponenten; beispielsweise gilt: $\lg 10^4 = 4$).

Leistungsdämpfung

$$A_p = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{Sender}}}{P_{\text{Empfänger}}}$$

P_{Sender} ...Leistung, die vom Sender ausgesandt wird, in Watt (W)

$P_{\text{Empfänger}}$... Leistung, die beim Empfänger ankommt, in Watt (W)