

Lösung 02: Physical Layer

Aufgabe 1: Bandbreite, Nyquist, Shannon

- a) Die maximale Datenrate D berechnet man nach dem Nyquist Theorem: $D = 2 * B * \log_2 V$.
Es ergibt sich: $D = (2 * 7\text{MHz} * \log_2 4) [\text{bits}] = 28 \text{ Mbit/s} = 3,5\text{MB/s}$
Da jedes Symbol 2 Bit an Information repräsentiert, ist die Baudrate halb so groß wie die Bitrate, also 14 MBaud.
- b) Prinzipiell könnte ein unverrauschter Kanal eine beliebige Menge an Informationen transportieren. Gemäß Shannon gilt: $D = 2 * B * \log_2 V [\text{bits/s}]$
Demnach muss man für hohe Datenraten lediglich die Anzahl der Symbole, also V erhöhen. Dadurch kodiert man viel Information pro Symbol. Anhand der Nyquist-Formel ermittelt man:

$$D = 2 * B * \log_2 V \rightarrow \frac{D}{2B} = \log_2 V \rightarrow 2^{\frac{D}{2B}} = V$$

Durch Einsetzen der Werte $D = 8\text{kbit/s}$ und $D = 64\text{kbit/s}$ erhält man:

- $V = 2^{\frac{8 [\text{kbit/s}]}{2 * 4\text{kHz}}} = 2$ bzw.
- $V = 2^{\frac{64 [\text{kbit/s}]}{2 * 4\text{kHz}}} = 256$

Bei 2 bzw. 256 verschiedenen Symbolen könnte man also diese theoretischen Datenraten erreichen. In der Praxis kann man aber nicht beliebig viele Symbole einsetzen. Aufgrund von Rauschen würde sich ein Empfänger dann sehr schwer tun, die einzelnen Symbole zu unterscheiden.

- c) Das Shannon-Theorem gibt eine weitere (obere) Grenze für die erreichbare Datenrate vor, falls ein Kanal verrauscht ist.

Zunächst rechnet man Dezibel in ein absolutes Verhältnis $d = \frac{S}{N}$ um:

$$30 = 10 \log_{10} d \rightarrow 3 = \log_{10} d \rightarrow d = 1000$$

$$\text{Shannon: } D = B * \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) [\text{bits}] = 7\text{MHz} * \log_2(1 + 1000) \left[\frac{\text{bits}}{\text{s}}\right] = 70 \text{ Mbit/s}$$

Hinweis: Ohne Rauschen ließe sich die Datenrate beliebig steigern, wenn man sehr viele Symbole definieren würde. Nach Shannon ist die Anzahl der Symbole bei gegebenem S/N Ratio aber in der Theorie begrenzt. Das Rauschen muss berücksichtigt werden, die Symbole müssen noch unterscheidbar bleiben.

Aufgabe 2: Übertragungsmedien

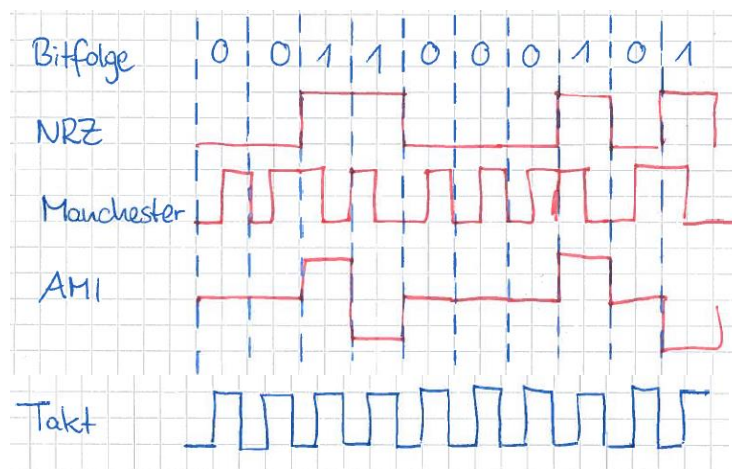
- a) **Ölpipe**: Half-Duplex unter der Annahme, dass Öl in beide Richtungen fließen kann. Man könnte auch argumentieren, dass es Simplex ist, falls Öl nur in einer Richtung fließen kann.
Funkgerät: Halb-Duplex. Meist muss man einen Knopf drücken während man spricht. Während dieser Zeit wird nichts empfangen.
Fluss: offensichtlich Simplex.
- b) Aufschluss gibt z.B. Wikipedia! Man beobachtet, dass in den Bezeichnungen eine gewisse Struktur steckt. Der erste Teil gibt immer die Geschwindigkeit an, „BASE“ bedeutet „Baseband Ethernet“, also Übertragung im Basisband, siehe Aufgabe 3. Der letzte Teil beschreibt das eigentliche Übertragungsmedium (T bedeutet z.B. immer Twisted Pair Kupferkabel).
- 1000BaseT: 1Gbps („Gigabit Ethernet“) über Twisted Pair Kupferleitungen
 - 1000BaseSX: 1 Gbps über Glasfaser (Multimode: 770-860 nm Wellenlänge).

Aufgabe 3: Digitale Modulation - Basisbandübertragung

a) Erklärung nur in Stichpunkten (in Klausur darauf achten, was verlangt wird):

- **Basisband:** Es wird der Frequenzbereich von $[0; f_c]$ verwendet. Das zu übertragende Nutzsignal wird nicht in einen anderen Frequenzbereich verschoben. Beim **Bandpassbereich:** Verschiebung in beliebige andere Frequenzbereiche $[f_{\min}; f_{\max}]$.
- **Basisband:** z.B. Ethernet, USB Schnittstelle, serielle Schnittstelle.
Bandpassbereich: z.B. WLAN, Bluetooth,
- Warum Modulation im **Basisband?** Erleichtern der Taktrückgewinnung, Unterdrückung des Gleichstromanteils, effizientes Ausnutzen der Bandbreite
- Warum Modulation im **Bandpassbereich?** Mehrere gleichzeitige Übertragungen in der Luft (auf verschiedenen Frequenzen); ein weiterer Grund: Bau von geeigneten Antennen nur möglich, falls höhere Frequenzen verwendet werden.

b) Siehe Zeichnung:



- c) Im Gegensatz zum NRZ-Code erlaubt der Manchester Code Taktrückgewinnung. Im Gegensatz zum NRZ Code vermeidet der AMI-Code einen Gleichstromanteil.
- d) Nach der 4B/5B Codierung wird der NRZI Code angewendet. Sollten bei der 4B/5B Codierung lange Sequenzen von 1er herauskommen, so ist dies kein Problem. Der NRZI Code sorgt dafür, dass jede 1 zu einer Änderung des Signalzustandes führt. Problematisch wäre es, wenn bei der 4B/5B Codierung lange Sequenzen von 0er herauskommen. Man überlegt sich jedoch recht schnell, dass die maximale Sequenzlänge von 0er höchstens 3 sein kann.
1. Die Betrachtung des 4B/5B Codes zeigt, dass kein Codewort mehr als 2 aufeinanderfolgende 0er hat.
 2. Zu Beginn (=Präfix) jedes Codewort höchstens eine 0 steht.
 3. Am Ende (=Suffix) jedes Codewort höchstens 2 aufeinanderfolgende 0er stehen.
- Kombiniert man 2 und 3, so kann es auch über Codewortgrenzen hinweg, maximal 3 aufeinanderfolgende 0er geben. Spätestens jedes 4. Symbol ist also eine 1 und führt zwingend zu einer Änderung des Signalzustandes.