



Figure 2: Dateneinheiten im Schichtenmodell

## 1 Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

### 1.1 Modulation

**Manchesterkodierung.** Eine Signalpegeländerung in der Intervallmitte codiert

1     *High* → *Low*

0     *Low* → *High*

**Amplitudenmodulation.** Bits werden durch unterschiedliche Amplitude einer Schwingung moduliert.

**Frequenzmodulation.** Bits werden durch unterschiedliche Frequenzen einer Schwingung moduliert.

**Phasenmodulation.** Bits werden durch eine Phasendrehung der Schwingung um 180 Grad unterschieden.

### 1.2 Betriebsarten

**Simplex** Kommunikation nur in eine Richtung, z.B. Telex, Feuermelder

**Duplex** Kommunikation gleichzeitig in beide Richtungen, z.B. Telefon

**Halbduplex** Kommunikationsrichtung abwechselnd, z.B. Walkie-Talkie

### 1.3 Kanalkapazität

**Bandbreite.**

$$B = f_{max} - f_{min} \quad [Hz]$$

**Schrittgeschwindigkeit (Baudrate).** Rate der Signalparameter-Zustandswechsel.

$$[baud = \frac{1}{s}]$$

Bei isochronen Digitalsignalen ist  $s_{max} = \frac{1}{T}$  mit Schrittdauer  $T$ .

$$s_{max} = 2 \cdot B$$

**Signal-Rausch-Abstand (Signal-Noise-Ratio)** ist das Verhältnis von Signalstärke zur Stärke des Rauschens.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \quad [dB]$$

Bei gegebener Kapazität und Bandbreite ist

$$SNR = 10 \log_{10} (2^{\frac{C}{B}} - 1)$$

**Übertragungsgeschwindigkeit (Bitrate, Datenrate).**

$$[\frac{bit}{s}]$$

Übertragungsgeschwindigkeit entspricht Schrittgeschwindigkeit wenn jeder Schritt ein Bit darstellt.

**Kanalkapazität** ist die maximale Datenrate. Ein idealer Kanal ohne Rauschen kann eine beliebige Datenrate durch die Anzahl der Signalstufen  $M$  realisieren.

$$C = s_{max} \cdot \log(M)$$

Mit Rauschen ist die maximale Datenrate nach NYQUIST

$$C = B \cdot \log(1 + \frac{P_{signal}}{P_{noise}})$$

**Signalstufen**

$$C = s_{max} \log(M) \quad \Rightarrow \quad M = 2^{\frac{C}{s_{max}}}$$

## 1.4 Leitungskapazität, Laufzeiten

**Sendezeit** ist die Zeit, die benötigt wird, um die Daten auf das Medium zu legen. Es gilt

$$T_s = \frac{L}{d}$$

mit Datenvolumen  $L$  und Datenübertragungsrate  $d$ .

**Ausbreitungszeit** ist die Laufzeit der Signale über das Medium von Sender zu Empfänger. Es gilt

$$T_a = \frac{l}{v}$$