

Informations- und Kommunikationstechnik

WS 2024/25

Dipl.-Ing. Anton Jerrey

1 Einleitung

Eine der wichtigsten Aufgaben der Kommunikationstechnik ist die Nachrichtenübertragung über einen Übertragungskanal zwischen einem Sender und einem Empfänger.

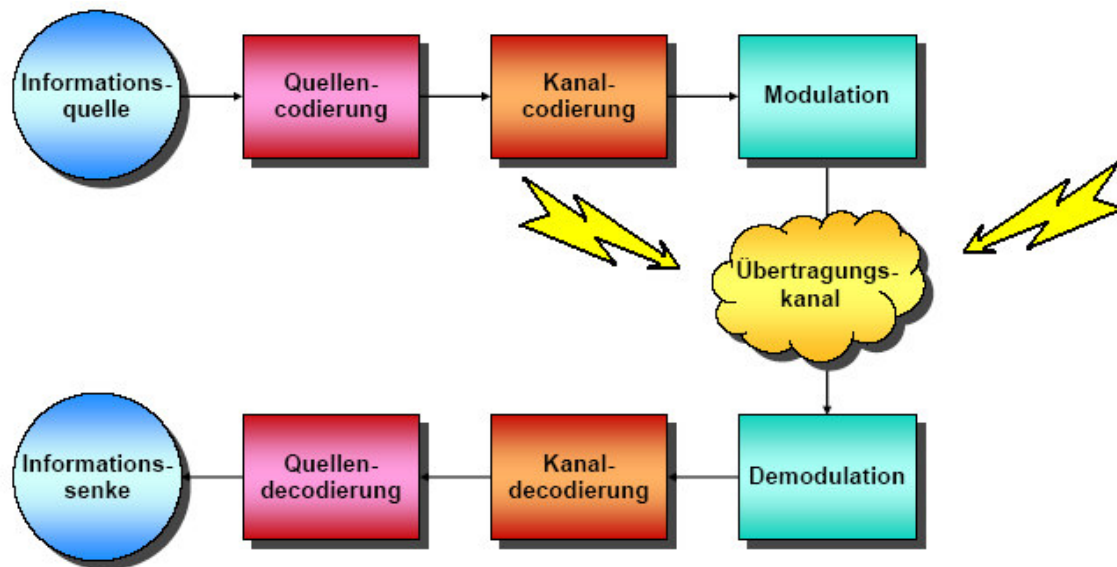


Abbildung 1: Blockschaltbild Nachrichtenübertragungssystem

Abbildung 1 zeigt das Grundschemata eines Nachrichtenübertragungssystems. Am Anfang der Kette steht die Informationsquelle. Dies kann z. B. der Ausgang eines CD-Spielers oder eines Mikrofons im Mobiltelefon sein.

Der Quellencodierer konvertiert die Information in eine Bitsequenz, z.B.: durch Abtastung, Quantisierung und anschließende Pulsmodulation. Um diese Sequenz so kurz wie möglich zu halten, entfernt der Quellencodierer so viel Redundanz wie möglich aus dem Signal.

Im Anschluss daran kommt der Kanalcodierer, dessen Aufgabe es ist, dem Signal kontrolliert Redundanz wie z.B. Prüfbits hinzuzufügen, um eventuell auftretende Fehler im Empfänger korrigieren zu können.

Aus dem digitalen Bitstrom wird ein analoges Signal geformt, das über den Kanal möglichst gut übertragen werden kann (Modulation) darüber hinaus wird die erforderliche Übertragungsleistung zur Verfügung gestellt.

Die Übertragungsstrecke (Kanal) besorgt die Verbindung zwischen Sende- und Empfangsstation und überbrückt im Allgemeinen größere Entfernungen. Die Übertra-

gungsstrecke, oder auch Übertragungskanal genannt, kann z.B. eine Leitung oder eine Funkverbindung sein. Der Kanal wird in der Regel das Signal mehr oder weniger verzerren und Rauschen hinzufügen.

Der Empfänger hat danach die Aufgabe, aus dem verzerrten und gestörten Empfangssignal wieder einen Bitstrom zu formen. Ein Demodulator setzt das empfangene Signal wieder in die ursprüngliche Form um. Der Kanaldecoder kann nun erkannte Fehler korrigieren und schließlich formt der Quellendecoder das Signal wieder in die gewünschte Form für die Senke um. Das elektrische Signal wird dabei wieder in eine verständliche Nachricht umgesetzt.

1.1 Pegel

Durch die Pegelangabe ist es sehr leicht möglich Verhältnisgrößen auszudrücken. In der Kommunikationstechnik wird der Pegel als Beziehung zwischen Leistungsgrößen - bzw. solchen Größen, die zur Leistung proportional sind (z.B. u, i) - verstanden.

Für Pegelangaben stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung, die vom verwendeten Bezugswert abhängig sind. Wird der Bezugswert frei gewählt, spricht man von einem **relativen Pegel**. Wird dagegen auf einen genormten Standardwert Bezug genommen erhält man den **absoluten Pegel**.

Eine wesentliche Vereinfachung beim Rechnen mit Pegeleinheiten ergibt sich durch die Verwendung des natürlichen bzw. dekadischen Logarithmus. Einerseits kann durch den Logarithmus ein viel größerer Wertebereich zeichnerisch überstrichen werden und andererseits wird bei der Kettenschaltung mehrerer Komponenten die Multiplikation der einzelnen Verhältnisse auf eine Addition vereinfacht. Zudem werden die Diagramme einfacher.

Obwohl Pegel eigentlich **dimensionslos** sind, hat man zur Kennzeichnung - und auch zur Unterscheidung zwischen den beiden Arten des Logarithmus - eine so genannte **Pseudoeinheit** eingeführt.

Wird der natürliche Logarithmus zur Kennzeichnung eines Verhältnisses benutzt ist die Pseudoeinheit Neper (Np), im Falle des Zehnerlogarithmus Bel (B), bzw. Dezibel (dB). Die Festsetzung des Pegels in Neper geht von einem Spannungs- oder Stromverhältnis aus, die Festsetzung in Bel von einem Leistungsverhältnis.

$$L_P = \lg \frac{P_2}{P_1} [B] = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} [dB]$$

$$L_U = \ln \frac{U_2}{U_1} [Np]$$

Für **Leistungsanpassung** $Z_1 = Z_2$ können mit der Proportionalität zwischen Spannung und Leistung die einzelnen Pegel auch im anderen Maß angegeben werden:

$$L_P = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} [Np]$$

$$L_U = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} [dB]$$

Beide Pegel lassen sich somit ineinander umrechnen $10 \text{ dB} \approx 1,151 \text{ Np}$ und $1 \text{ Np} \approx 8,686 \text{ dB}$.

Von gleicher Wichtigkeit wie der Pegel sind die Begriffe Dämpfung, bzw. Verstärkung. Von einer **Verstärkung** spricht man, wenn der Pegel zwischen zwei Punkten im Übertragungsweg einen positiven Wert ergibt; von einer **Dämpfung** bei negativen Pegelwerten.

$$v_P = -a_P = L_{P2} - L_{P1} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_0} - 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} [dB]$$

Damit Vergleiche zwischen verschiedenen Pegelangaben möglich sind, werden **internationale Referenzwerte** verwendet. Diese ergeben sich aus einer Spannungsquelle, die in einen Lastwiderstand von 600Ω genau die Leistung von 1 mW einspeist.

Als **Bezugsgrößen** gelten:

$$\begin{aligned} P_0 &= 1 \text{ mW} \\ Z_0 &= 600 \Omega \\ U_0 &= 0,775 \text{ V} \\ I_0 &= 1,29 \text{ mA} \end{aligned}$$

In der Praxis werden häufig beim dB-Zeichen Erweiterungen angehängt um „absolute“ Pegel zu kennzeichnen.

dBm ... absoluter Leistungspegel, bezogen auf 1 mW

dBW ... absoluter Leistungspegel, bezogen auf 1 W

dBV ... absoluter Spannungspegel, bezogen auf 1 V

dB μ V ... Pegelangabe mit Bezugsspannung $U_0 = 1 \mu\text{V}$ an 75Ω (50Ω), wird meist in Antennenanlagen verwendet

dBu ... absolute Pegelangabe, bezogen auf 0,775V, nicht unbedingt aber 600Ω

dBr ... relativer Pegel

Um den bei einer Nachrichtenübertragung auftretenden Leistungsverlust längs einer Übertragungsstrecke erkennen zu können, kann ein so genanntes **Pegeldiagramm** angegeben werden.

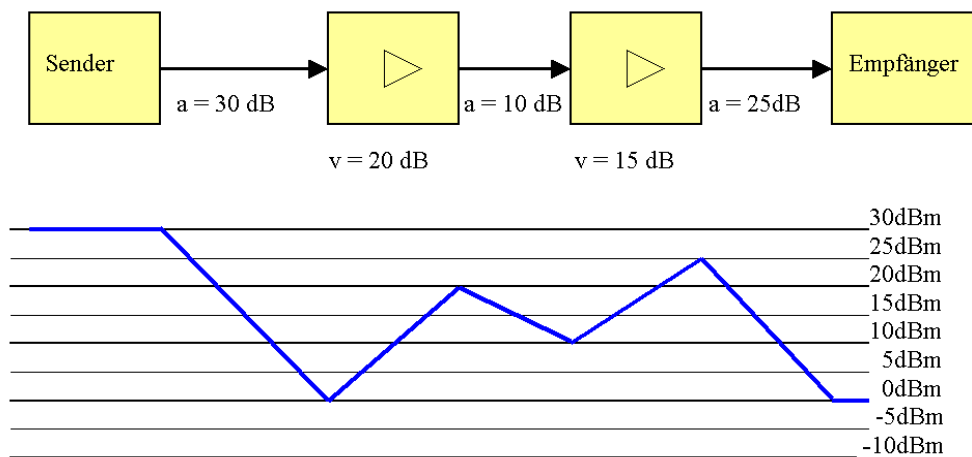


Abbildung 2: Pegeldiagramm

1.2 Verzerrungen

Das Ziel der Nachrichtenübertragung ist eine originalgetreue Übertragung. Die Abweichungen von der Originalform, bezüglich Amplitude und Phase, während der Übertragung nennt man Verzerrungen.

1.2.1 Lineare Verzerrungen

Bei linearen Verzerrungen werden die Amplituden- und/oder die Phasenverhältnisse der Eingangs- und Ausgangsgrößen des Signals frequenzabhängig linear verändert.

$$\underline{U}_2 = c(f) \underline{U}_1$$

Man unterscheidet daher auch Amplituden- bzw. Dämpfungsverzerrungen und Phasen- bzw. Laufzeitverzerrungen.

Amplitudenverzerrungen treten auf, wenn die einzelnen Teilschwingungen des zu übertragenden Signals verschieden stark gedämpft werden. Lineare Amplitudenverzerrungen können durch geeignete Maßnahmen (z.B. Klangregler) wieder kompensiert werden.

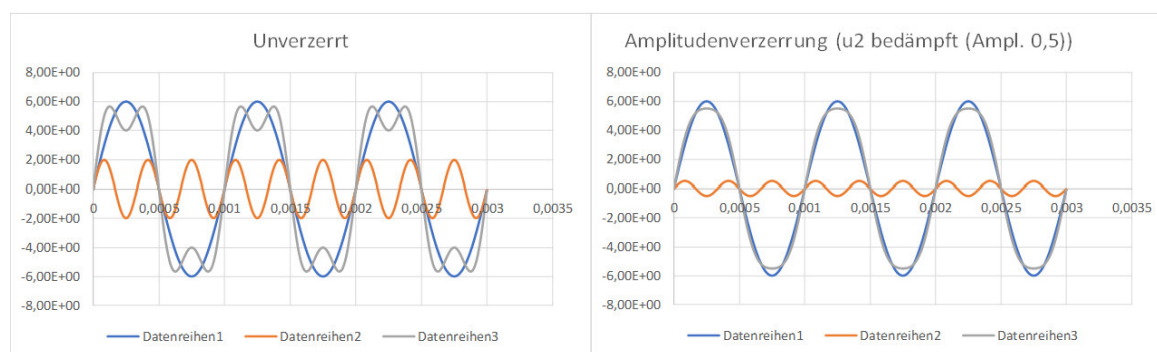


Abbildung 3: Amplitudenverzerrung

Phasenverzerrungen treten auf, wenn einzelne Schwingungen oder Schwingungsgruppen unterschiedliche Laufzeiten durch das Übertragungssystem haben. Bei Einzelschwingungen spricht man von Phasenlaufzeit und bei Schwingungsgruppen von Gruppenlaufzeit.

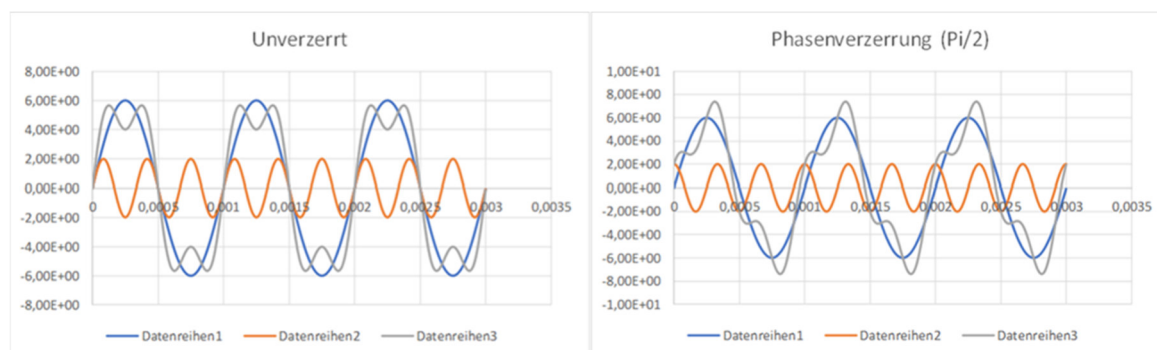


Abbildung 4: Phasenverzerrung

Amplituden- und insbesondere Phasenverzerrungen machen sich bei allen Übertragungssystemen stark bemerkbar, bei denen das Auge als Empfänger wirkt (Fernsehen).

1.2.2 Nichtlineare Verzerrungen

Bei nichtlinearen Verzerrungen ist die Abhängigkeit, zwischen Ausgangs- und Eingangsgröße für die einzelnen Frequenzen nicht mehr durch einen linearen Zusammenhang, sondern durch eine nichtlineare Funktion (z.B. $x^3 + 3 \cdot x + 5$) gegeben. Diese Verzerrungen sind durch das Auftreten neuer, im ursprünglichen Signal nicht vorhandenen Frequenzen gekennzeichnet.

Verantwortlich sind hierfür meist Bauelemente mit nichtlinearen Kennlinien (Dioden, Röhren, Transistoren etc.)

Als Maß für nichtlineare Verzerrungen ist das Verhältnis des Effektivwertes aller Oberschwingungen zum Effektivwert der Gesamtschwingung definiert. Es wird als Oberschwingungsgehalt oder Klirrfaktor bezeichnet.

$$k = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U}$$

Der Klirrfaktor kann auch im logarithmischen Maß angegeben werden. Man erhält dann das Klirrdämpfungsmaß.

$$a_k = 20 \cdot \lg \frac{1}{k} [dB]$$

Nichtlineare Verzerrungen machen sich besonders in der Klangübertragung störend bemerkbar, da sie das Klangbild wesentlich verändern. Klirrfaktoren ab ca. 2% werden bei Musikübertragungen wahrgenommen.

Richtwerte für den Klirrfaktor:

- FM-Rundfunksender < 1%
- Hi-Fi-Verstärker < 1%
- AM-Rundfunksender < 4%

1.3 Rauschen

Jede Signalübertragung wird mehr oder weniger stark durch Störungen beeinträchtigt. Die wichtigsten Arten dieser Störungen sind:

- Übersprechen (fremde Nachrichtensignale stören durch elektromagnetische Kopplung, Überlappung von Nachbarkanälen...)
- Linienstörer (Elektromotoren, Mikrowellenherd, Netzbrumm...)
- Bursts (Gewitterentladungen, Funkenbildung bei Schaltvorgängen)
- Thermisches Rauschen, Stromrauschen, kosmisches Rauschen...

Mit Hilfe geeigneter Messverfahren kann an einem Widerstand auch dann ein Strom festgestellt werden, wenn keine äußere Spannungsquelle angeschlossen ist. Die Ladungsträger des Leiters bewegen sich regellos, diese Bewegung unterliegt statistischen Gesetzen. Als Antriebsenergie dient die Temperatur des Leiters. Man bezeichnet diese Wärmebewegung deshalb auch **Thermisches Rauschen**.

Wird an den Leiter eine Spannung angelegt, dann überlagert sich der Rauschstrom dem aufgrund der Spannung fließenden Strom.

Für jede Stelle, an der Rauschen auftritt, kann ein Ersatzwiderstand bestimmt werden, der das gleiche Rauschsignal erzeugen würde. Dieser äquivalente Rauschwiderstand R_N hat den Vorteil, dass die an einem Widerstand auftretenden Rauschsignale mathematisch einfacher formulierbar sind.

Die an diesem so genannten äquivalenten Rauschwiderstand auftretende Rauschleistung berechnet sich somit:

$$\begin{aligned} P_N &= 4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f \\ k &= 1,38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{K}} \right] \end{aligned}$$

wobei T die vorherrschende absolute Temperatur in Kelvin (K), Δf die betrachtete Bandbreite in Hertz (Hz) und k die Boltzmann - Konstante [Ws/K] bedeuten. Aus der Rauschleistung lassen sich mit $P = U \cdot I$ die Effektivwerte des Rauschstromes und der Rauschspannung angeben. Das mit diesen Gleichungen beschriebene Widerstandsrauschen wird mit zunehmender Bandbreite größer. Bei allen Frequenzen ergibt sich jedoch eine konstante Rauschleistung. Ein solches Rauschen nennt man **weißes Rauschen**.

Im Gegensatz dazu stehen bandbegrenzte Rauschsignale. Diese weisen nur innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches eine konstante Rauschleistung pro Hertz auf. Dieses Rauschen nennt man **farbiges Rauschen**.

Das von einer elektronischen Baugruppe hervorgerufene Rauschen (Widerstandsrauschen und Stromrauschen) wird mit einer einzigen **Rauschzahl F** beschrieben. Jedes Bauelement trägt zu dieser Rauschzahl bei, wobei aktive Bauelemente den größten Anteil liefern. Die Rauschzahl ist definiert als Quotient der Rauschleistung am Ausgang und der Rauschleistung am Eingang.

$$F = \frac{P_{NA}}{P_{NE}}$$

Die Rauschzahl ist immer größer als 1. Drückt man die Rauschzahl im logarithmischen Maß aus, erhält man das Rauschmaß a_F .

$$a_F = 10 \cdot \lg F \text{ dB}$$

Bei jedem Übertragungssystem muss das Nutzsignal stets größer sein als das Rauschsignal, damit die im Nutzsignal enthaltene Information ausreichend störungsfrei wiedergewonnen werden kann. Das Verhältnis zwischen den Leistungen, bzw.

Spannungen von Nutz- und Rauschsignal, das Signal - Rausch - Verhältnis (Rauschabstand oder Störabstand), stellt daher eine wichtige Information dar.

$$SNR = 10 \lg \frac{P_S}{P_N} \text{ dB}$$

Anwendung	SNR (typisch)
Telefonie	40dB
UKW-Rundfunk	60dB
CD (Analogausgang)	96dB