

Nachrichtenübertragung

KURZFASSUNG

23 Seiten

INHALT

1	Übersicht.....	2
2	Grundmodell eines Nachrichtensystems.....	3
3	Signalwandlung.....	4
3.1	Elektroakustische Signalwandlung.....	5
3.2	Elektrooptische Signalwandlung	6
4	Signalaufbereitung.....	6
4.1	Analog-Digital-Umsetzung	6
4.2	Codierung	8
4.3	Filterung.....	10
4.4	Modulation	11
4.5	Multiplexbildung	12
5	Signalübertragung	14
5.1	Richtungstrennung.....	14
5.2	Übertragungskanal.....	15
6	Speicherung	19
7	Mustererkennung	20
8	Kontrollfragen	21
9	Bilder und Tabellen.....	22
10	Abkürzungen	23
11	Literatur	23

1 Übersicht

Eine Nachricht ist eine Mitteilung oder Botschaft im Kommunikationsprozess zwischen Menschen. Nachrichten können Reize, Befehle, Fragen, Antworten, Beobachtungen usw. sein. Sie werden vom Menschen durch Töne (z.B. Sprache) und Bilder erzeugt und über seine Sinnesorgane empfangen. Nachrichten sind somit an physische und geistige Fähigkeiten des Menschen gebunden.

Unter einer Information versteht man jede Art von Mitteilung, also Nachrichten, aber auch Messwerte, Daten usw., die von Maschinen erzeugt werden.

Die physikalische Repräsentation einer Nachricht, oder ganz allgemein einer Information, ist das Signal, welches über den Nachrichtenweg – die Nachrichtenverbindung, Nachrichtenleitung - von der Nachrichtenquelle zur Nachrichtensenke¹ übertragen wird.

Die für die Signalübertragung eingesetzte Technik wird als Telekommunikationstechnik, bzw. Kommunikationstechnik bezeichnet, deren Aufgaben sich allgemein mit den folgenden Begriffen charakterisieren lassen:

- Nachrichtenübertragung,
- Nachrichtenvermittlung und
- Nachrichtenverarbeitung

Die Kommunikationstechnik stellt Mittel und Wege bereit, um Nachrichten schnell über beliebige Entfernungen austauschen oder verarbeiten zu können. Die Nachrichten werden dabei über eine sog. Nachrichtenverbindung als elektrische, optische oder elektromagnetische Signale übertragen, wobei es üblich ist bei großen Entfernungen die Übertragungsrichtungen voneinander zu trennen und die auftretende Signaldämpfung durch Verstärkung wieder auszugleichen.

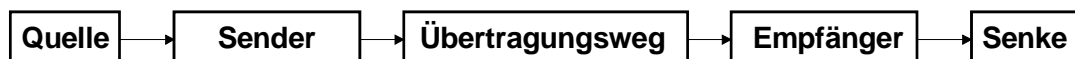


Bild 1 Schema einer Nachrichtenübertragung

Wichtige Teilgebiete bzw. Aufgaben der Nachrichtenübertragung sind

- Signalwandlung,
- Analog-Digital - bzw. Digital-Analog-Umsetzung,
- Codierung,
- Filterung,
- Modulation,
- Multiplexbildung und
- Übertragungsweg.

Schlüsselwörter

Signalbearbeitung, Signalaufbereitung, Signalspeicherung, Mustererkennung, Signalwandlung, Analog-Digital- bzw. Digital-Analog-Umsetzung, Codierung, Filterung, Modulation, Multiplexbildung, Übertragungskanal, Nachrichten-Richtungstrennung, Nachrichtenspeicherung und Mustererkennung.

¹ Die Begriffe Quelle und Senke sind in DIN 40146 Blatt 1 festgelegt.

2 Grundmodell eines Nachrichtensystems

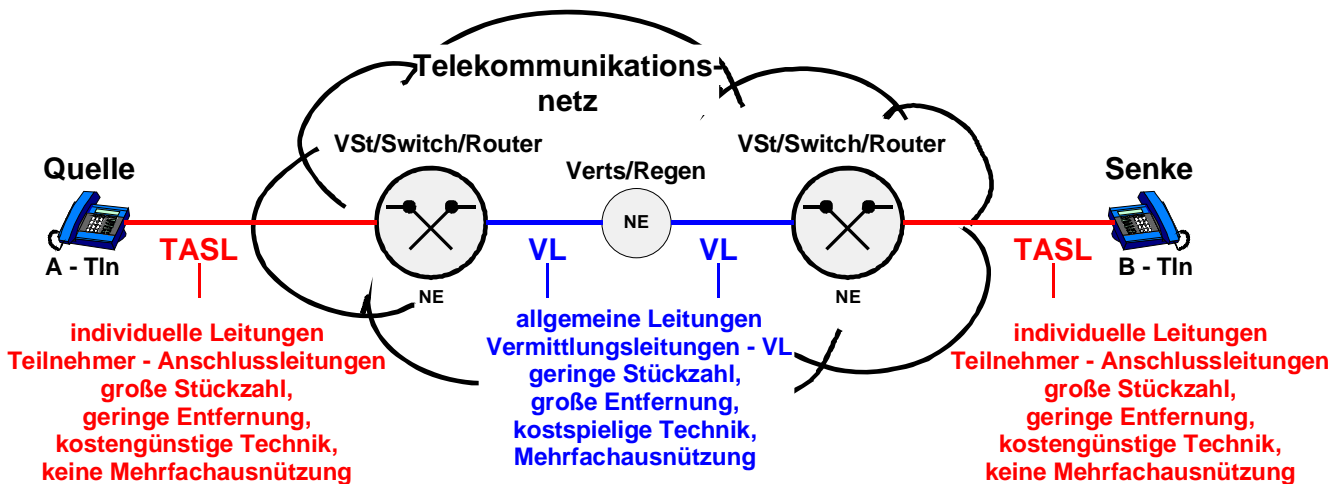


Bild 2 Übertragungsabschnitte

Die Informationsübertragung zwischen einer Nachrichtenquelle und einer Nachrichtensenke wird in der Regel über Telekommunikationsnetze (Nachrichtennetze) durchgeführt und setzt sich aus mehreren, meist unterschiedlichen Übertragungsabschnitten zusammen.

Um Nachrichten von einer Nachrichtenquelle zu einer Nachrichtensenke übertragen zu können, muss das zu übertragende Signal nicht nur in eine übertragbare Form umgewandelt und beim Empfänger wieder in die ursprüngliche Form zurückgewandelt werden, sondern es ist auch laufend an die Eigenschaften der unterschiedlichen Übertragungsabschnitte anzupassen.

(1) Für das Verständnis der Kommunikationstechnik ist es daher notwendig, die grundsätzlichen Prinzipien der Signalbearbeitung zu kennen. Dazu gehören

- Signalwandlung und Signalaufbereitung, so wie die übergreifenden Funktionen der
- Signalspeicherung und Mustererkennung.

Die prinzipiellen Aufgaben der Signalwandlung und Signalaufbereitung lassen sich auf ein nachrichtentechnisches Grundmodell zurückführen. Dort wird ausgehend von einer Nachrichtenquelle die zu übertragende Nachricht zunächst aufbereitet und an die Eigenschaften des zur Verfügung stehenden Übertragungsweges angepasst. Sollen zum Zweck der Mehrfachnutzung des Übertragungsweges die Nachrichten mehrerer Nachrichtenquellen über denselben Übertragungskanal geführt werden, so sind bei der Aufbereitung diese Quellen zusammenzufassen (Multiplexbildung). Nach Durchlaufen des mit Störungen behafteten Übertragungsweges (Kanals) muss die Nachricht empfangsseitig wieder aufbereitet und möglichst unverfälscht an die Nachrichtensenke (Empfänger) weitergegeben werden. Art und Aufwand hängen von der Art der Nachrichtenquelle, des Übertragungsweges und seiner Störbeeinflussung sowie von der geforderten Übertragungsqualität ab.

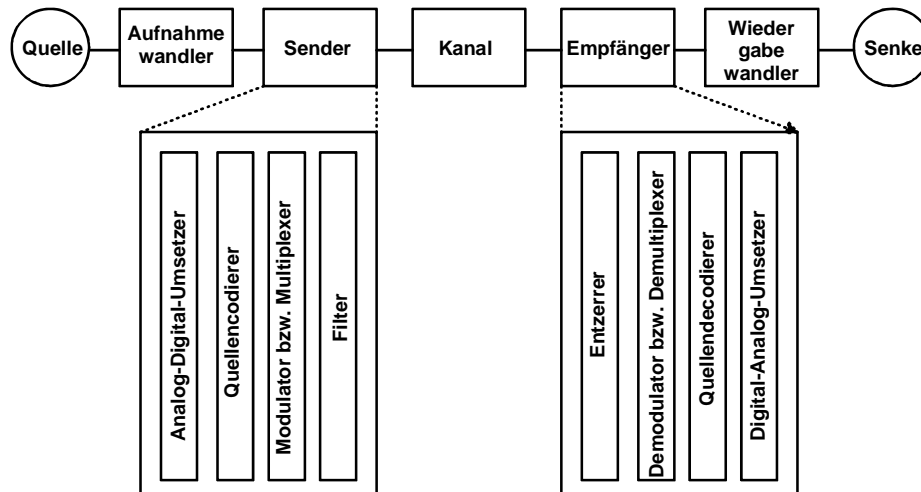


Bild 3 Grundmodell eines Nachrichtensystems

(2) Im nachrichtentechnischen Grundmodell können folgende wichtige Aktivitäten unterschieden werden:

- Von der Quelle, z.B. einem Sprecher oder einem Rechner, geht die ursprüngliche Nachricht aus.
- Die Wandler bewirken, dass die ursprünglichen Nachrichten in elektrische und gegebenenfalls weiter in optische Signale umgewandelt werden.
- Die Analog-Digital-Umsetzer formen für die Digitalübertragung analoge in digitale Signale um.
- Die Quellencodierung entfernt Überflüssiges und Bekanntes aus Nachrichtensignalen, um den Aufwand für die Übertragung zu verringern.
- Die Modulatoren prägen Nachrichtensignale einem Trägersignal auf.
- Die Multiplexer bündeln Signale mehrerer Quellen, um sie gemeinsam zu übertragen.
- Die Filter lassen nur bestimmte Frequenzen eines Frequenzspektrums passieren und unterdrücken damit störende Anteile.
- Die Übertragungskanäle werden durch ihre Kapazität sowie durch mögliche Dämpfungen und Verzerrungen gekennzeichnet.
- Die Senke, z.B. ein Hörer oder ein Rechner, nimmt die auf der Empfangsseite rückgeformten Nachrichten auf.

3 Signalwandlung

Für die Übertragung von Sprache und Musik ist beispielsweise die Umwandlung von akustischen Signalen in elektrische und gegebenenfalls weiter in optische Signale erforderlich. Auf der Empfängerseite müssen diese Signale dann in akustische rückgewandelt werden.

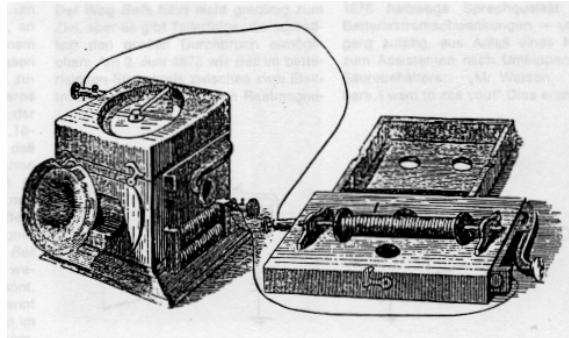


Bild 4 Reis-Telefon von 1863/64 mit Geber und Empfänger

3.1 Elektroakustische Signalwandlung

(3) Elektroakustische Wandler wie Mikrofone oder Lautsprecher arbeiten vorwiegend nach dem

- elektrostatischen,
- elektrodynamischen oder
- piezoelektrischen Prinzip.

Die ersten Telefone, die 1877 auf den Markt kamen, konstruierte Alexander Graham Bell nach dem elektrodynamischen Prinzip.

Im **elektrodynamischen Wandler** wird durch den bewegten Magneten eine Spannung in der Spule erzeugt bzw. durch Stromfluss in der Spule eine Kraft auf den Magneten ausgeübt (Lautsprecher).

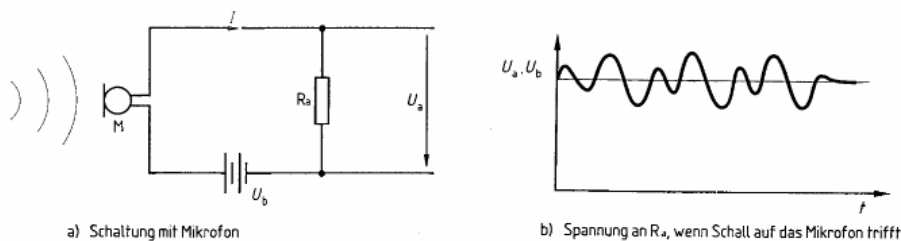


Bild 5 Einfache Sprechschaltung mit Kohlemikrofon

Die **elektrostatische Wandlung** beruht auf der Spannungsänderung in Abhängigkeit vom Abstand zwischen den geladenen Kondensatorplatten bzw. auf der Kraft zwischen den Platten, die sich entsprechend der angelegten Spannung ändert.

Die **piezoelektrische Wandlung** beruht auf der Änderung der Ladungsverteilung unter Druck, d.h. die Spannung variiert entsprechend der Verformung des Kristallgitters; umgekehrt führt das Anlegen einer Spannung zu einer Verformung des Kristallgitters. Nach der Umwandlung in elektrische Signale werden sie in mechanische Bewegung gewandelt und als Signalamplitude angezeigt.

3.2 Elektrooptische Signalwandlung

Die elektrooptische Wandlung — bei Leucht- oder Fotodioden — nutzt die direkte Wechselwirkung zwischen Elektronen und Photonen in Halbleitersperrschichten. Die Entwicklung von Halbleitersperrschichten aus Galliumarsenid (GaAs) ermöglichte die Wandlung von elektrischen in optische Signale. Seit 1962 lassen sich Lumineszenz- und Laserdioden herstellen. Fotodioden aus Silizium dienen der Wandlung optischer in elektrische Signale. Damit wurde die optische Übertragung auf Glasfasern möglich.

Bei lichtemittierenden Dioden (LED) werden die Elektronen in einer Halbleitersperrschicht bei Stromzufuhr in einen Zustand höherer Energie versetzt; fallen die Elektronen wieder in ihren Ausgangszustand zurück, wird die freiwerdende Energie durch Photonen abgestrahlt; Fotodioden wandeln diese Lichtimpulse fast trägheitslos in elektrische Signale zurück: Die einfallenden Photonen erzeugen in der Sperrschicht Ladungsträgerpaare, die vom elektrischen Feld zu den Anschlussdrähten befördert werden.

Bei der Laserdiode werden ebenfalls Photonen in einer Halbleitersperrschicht erzeugt; sie werden jedoch durch Spiegel im Halbleiterkristall gefangen gehalten und schwingen dort hin und her. Dabei regen sie selbst wieder Elektronen an und bewirken damit eine weitere kräftige Photonenfreisetzung; dies hat eine stimulierte Lichtemission zur Folge.

Ein leistungsfähiges optisches Übertragungssystem zeichnet sich durch eine verzerrungsfreie Übertragung sehr kurzer Impulse mit einem zeitlichen Abstand von weniger als 1 ns über eine große Entfernung aus. Eine Glühlampe ist für diesen Zweck völlig ungeeignet, weil sie sich wegen der thermischen Trägheit nur sehr langsam ein- und ausschalten lässt und weil die Strahlung zudem eine große Bandbreite hat. Dagegen sind Lumineszenzdioden (LED) und vor allem Laserdioden (LD) hervorragend als direkt modulierbare Strahlungsquellen geeignet, da sie folgende Eigenschaften aufweisen:

- schnelle Modulierbarkeit,
- geringe spektrale Bandbreite,
- hohe Strahlleistung in einem kleinen Querschnitt.

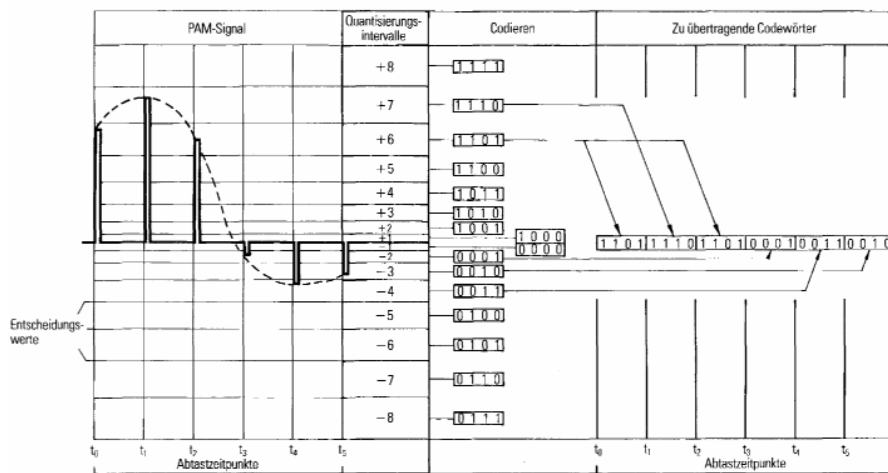
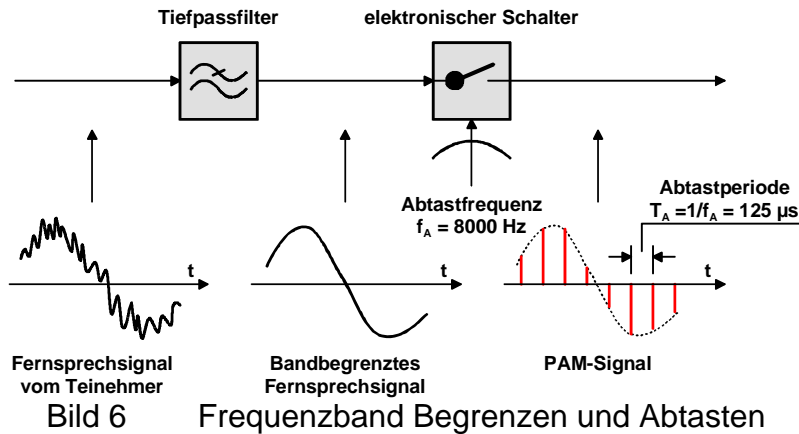
4 Signalaufbereitung

4.1 Analog-Digital-Umsetzung

Die Analog-Digital-(A/D-) Umsetzung setzt ein analoges, zeit- und wertkontinuierliches Signal in eine Folge digitaler Zahlenwerte um. Umgekehrt erzeugt die Digital-Analog-(D/A-) Umsetzung aus einer Folge diskreter Zahlenwerte ein analoges zeit- und wertkontinuierliches Signal.

(4) Dazu sind folgende grundsätzlichen Arbeitsschritte erforderlich:

- Frequenzband begrenzen
- Abtasten
- Quantisieren
- Codieren
- Decodieren und
- Wiederherstellen des zeitkontinuierlichen analogen Signals



Übliche Signalquellen, wie Sensoren, Mikrofone usw., liefern ein kontinuierliches Ausgangssignal, d.h. das Ausgangssignal nimmt als Funktion der Zeit einen kontinuierlichen Werteverlauf ein. Moderne Methoden der Signalverarbeitung wie die Übertragung, Speicherung und vor allem die numerische und logische Bearbeitung durch Computer und logische Schaltkreise setzen jedoch digitale Signale voraus. Diese werden durch eine Folge von Zahlenwerten dargestellt. Dabei wird die Folge durch die Abtastung des Signals im Zeitverlauf und deren Zahlenwerte durch die Quantisierung ermittelt.

Umgekehrt benötigen Ausgabegeräte wie beispielsweise Lautsprecher und Bildschirme analoge Signale mit kontinuierlichem Werteverlauf. Diese werden durch die Digital-Analog-Umsetzung erzeugt.

Die Analog-Digital-Umsetzung arbeitet mit Abtasten und Quantisieren der analogen Signale. Die Abtastung eines Signals muss so gewählt werden, dass eine exakte Rekonstruktion des analogen Signals möglich ist. Nach dem Abtasttheorem² ist eine Zeitfunktion in ihrem Verlauf vollständig durch die Werte in diskreten äquidistanten Zeitpunkten bestimmt, wobei die Punkte höchstens den Abstand $T \leq \frac{1}{2} f_g$ haben dürfen, wobei f_g dabei die höchste, im Spektrum der Zeitfunktion enthaltene Frequenz ist. Zur Quantisierung wird der Amplitudenbereich eines Signals in diskrete Quantisierungsstufen unterteilt. Die Anzahl der Stufen ist bei einer digitalen Darstellung abhängig von der Anzahl der Bits die zur Repräsentation der Amplitudenwerte gewählt werden. Beispielsweise ergeben sich bei einer 3-bit-Darstellung der Amplituden-

² Das Abtasttheorem wurde in diesem Zusammenhang erstmals 1939 von H. Raabe bewiesen. Es wird auch als „Sampling-Theorem von Shannon“ bezeichnet, der es jedoch erst 1948 veröffentlichte.

werte acht Quantisierungsstufen. Da stets ein gewisses Amplitudenintervall auf einer Quantisierungsstufe abgebildet wird, entsteht stets ein gewisser Fehler. Er wird umso kleiner, je feiner die Quantisierungsintervalle sind. Durch die Wahl einer nichtlinearen Quantisierungskennlinie wird eine Amplitudenkompression erzielt.

4.2 Codierung

Codierung spielt in der digitalen Nachrichtentechnik eine wichtige Rolle, und hat sich im Laufe der letzten Jahrzehnte zu einem fast unübersehbaren und theoretisch z.T. sehr anspruchsvollen Fachgebiet entwickelt.

Im Allgemeinen versteht man unter Codierung "die Zuordnung von Buchstaben und Zahlen eines Alphabets zu einer Menge elektrischer Signale begrenzter Länge". Mit dieser Definition ist jedoch das überaus umfangreiche Gebiet noch nicht vollständig erfasst, denn Codierung ist auch die Umwandlung eines bestimmten Digitalsignals in ein anderes Digitalsignal, d.h. die gezielte Veränderung eines Digitalsignals.

Die folgende Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, enthält jedoch sehr wichtige Anwendungen der Codierung.

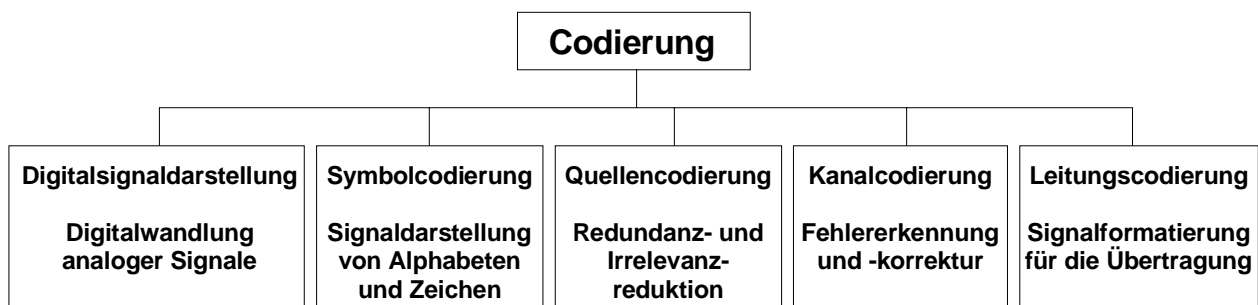


Bild 8 Wichtige Codierarten

(5) Im Zusammenhang mit Digitaltechnik sind folgende Teilgebiete der Codierung von besonderer Bedeutung.

- **Digitalsignaldarstellung:** Die Darstellung kontinuierlicher Quellensignale in digitaler (oft binärer) Form nach der A/D-Wandlung. Hierzu gehören die Pulsmodulation und weitere Verfahren, z.B. die Differenz Pulse Codes Modulation DPCM und die Adaptive Differenz Pulse Code Modulation ADPCM.
- **Symbolcodierung:** Die Darstellung von Zeichenalphabeten als digitale Signale, z.B. beim Bildschirmtext, oder die Darstellung von Nachrichten in computergerechter Form im ASCII-Code.
- **Quellencodierung³:** Die Umcodierung digitaler Signale um nicht erforderlichen Übertragungsaufwand zu sparen, z.B. durch Redundanzreduktion und auch Informationsreduktion.
- **Kanalcodierung:** Die Ausstattung digitaler Signale mit zusätzlichen Codeelementen oder Codeblöcken nach mathematischen Gesetzen, um damit Übertragungsfehler erkennen oder korrigieren zu können.

³ Um digitale Nachrichtensignale möglichst schnell und in Kanälen mit kleiner Kapazität übermitteln zu können, muss man die zu übertragende Datenmenge verringern (reduzieren). Einfaches Weglassen von Daten ließe Fehler entstehen; Verfahren der Quellencodierung erreichen dagegen eine große und wenig fehlerbehaftete Datenreduktion. Dabei werden unwesentliche Teile (Irrelevanz) weitgehend entfernt und die für die Darstellung der Nachrichtensignale als überflüssig bewerteten Anteile (Redundanz) verringert.

- Leitungscodierung: Die Umcodierung digitaler Signale von einem Code in einen anderen, um günstige Eigenschaften des Signals für die Übertragung zu schaffen, z.B. Gleichstromfreiheit, Optimierung der Spektralverteilung und Taktinformation.

Die Analog/Digital-Umwandlung eines Fernsprechssignals und die anschließenden Codierung zur Anpassung an den Übertragungsweg können der Quellencodierung und der Leitungscodierung zugeordnet werden.

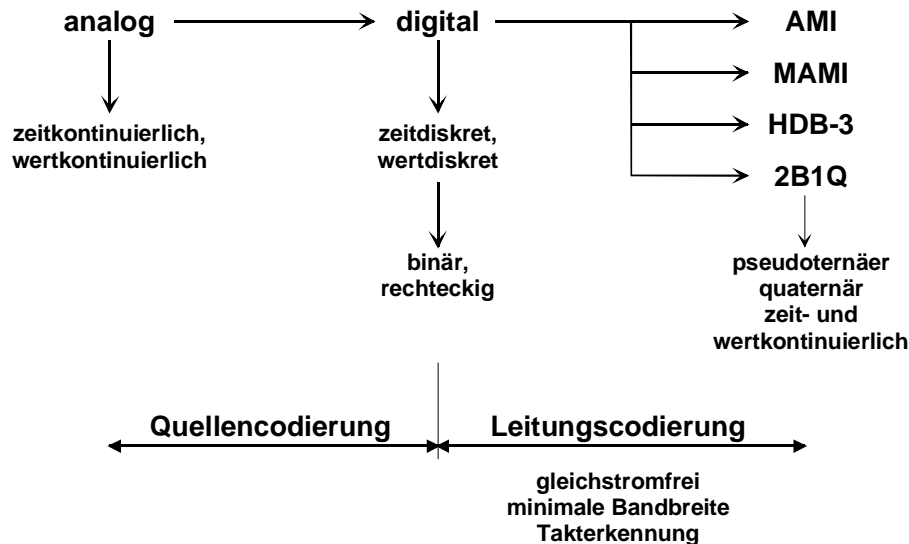


Bild 9 Quellencodierung und Leitungscodierung

Das nachfolgende Blockschaltbild zeigt die für die Basisbandübertragung über Kupferleitungen verwendeten Übertragungsrichtungen. Sie bestehen aus:

- Endeinrichtungen und
- Leitungseinrichtungen.

Die Endeinrichtungen enthalten die Sendeeinrichtungen (A/D-Wandler, Quellencodierer, und Leitungscodierer) und die Empfangseinrichtungen (Leitungsdecodierer, Quellendecodierer und D/A-Wandler). Verstärker und Entzerrer sind nicht besonders hervorgehoben. Die Leitungseinrichtungen enthalten insbesondere das Leitungsendgerät und die Regeneratoren, die in ihrer Anzahl von der Länge der Strecke, vom Kabel und von der Übertragungsrate abhängen.

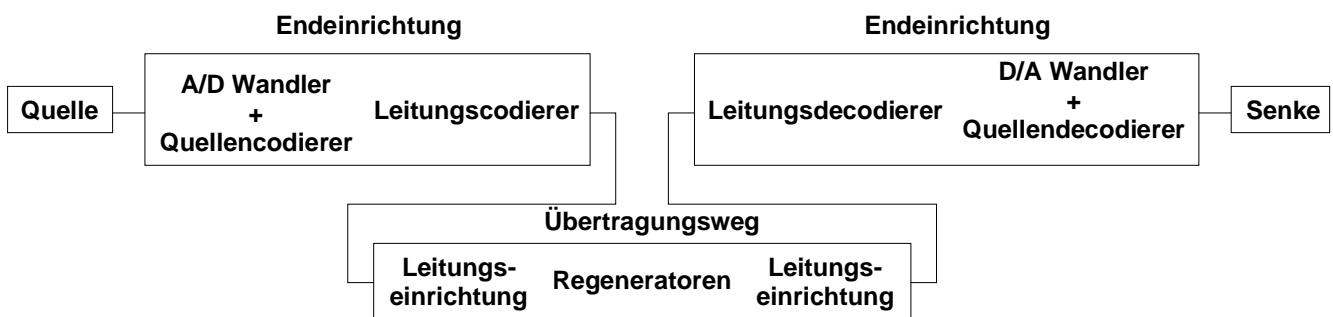


Bild 10 Digitalübertragungssystem für eine Basisbandübertragung

(6) Bei einer PCM-Fernsprechübertragung entsteht das Signal in der Quelle Q und wird dann entweder hinter der analogen Vermittlungsstelle oder am Eingang der digitalen Vermittlungsstelle oder im Fernsprechgerät (im ISDN) analog-digital-gewandelt. Die A/D-Wandlung erfolgt nach der ITU-T-Empfehlung G 711 an einer logarithmischen Kennlinie und kann daher als eine Quellencodierung angesehen werden, da sie bei der gegeb-

nen Übertragungsqualität den Übertragungsaufwand gegenüber einer linearen Quantisierung vermindert. In diesem Falle sind also A/D-Wandlung und Quellencodierung in einer Funktionseinheit vereinigt.

Es werden verschiedene Verfahren der Leitungscodierung angewendet, insbesondere in der Kabelübertragung: Der AMI-Code, der HDB3-Code und der 4B/3T-Code sowie weitere Codes der Lichtwellenleiterübertragung.

Eine Kanalcodierung findet bei PCM-Fernsprechübertragung nicht statt, da die angegebenen und hinreichenden Werte der Fehlerwahrscheinlichkeit $P_e < 10^{-5} \cdot 10^{-7}$ ohne Fehlererkennungsverfahren erreichbar sind.

Aufwendige und effektive Verfahren der Quellencodierung des Sprachsignals werden bei der Differenz-Pulscodemodulation (DPCM) und der Adaptiven DPCM (ADPCM), so wie für die Mobilfunkübertragung im GSM-Netz eingesetzt.

Bei einer Daten- oder Textübertragung werden die digitalen Signale schon von der digitalen Quelle geliefert und dann der Sendeeinrichtung zugeführt. Eine Quellencodierung findet bei der Datenübertragung i.allg. nicht statt, da diese Signale sehr wenig Redundanz besitzen. Dagegen haben sich in den letzten Jahren Verfahren der Datenkompression für die Redundanzreduktion bei Textübertragung bewährt.

Die Verfahren der Leitungscodierung unterscheiden sich nicht von denen der Fernsprechübertragung. Jedoch erfolgt eine Anwendung von Verfahren der Fehlererkennung bzw. der Fehlerkorrektur in größerem Umfang. Das hat seine Ursache in den berechtigten Forderungen nach niedriger Fehlerwahrscheinlichkeit von $P_e \leq 10^{-9}$ wie sie z.B. bei der Datenübertragung in Geldinstituten und für die Zeichengabe zwischen Vermittlungsstellen benötigt wird.

4.3 Filterung

Filter dienen dazu von einer Vielzahl ankommender Signale nur das gewünschte Signal durchzulassen; sie spielen bei allen Systemen der Übertragungs-, Mess- und Regelungstechnik eine wichtige Rolle.

(7) Die Grundelemente der Filter sind Netzwerke mit Tiefpass-, Hochpass-, Bandpass- und Bandsperre-Charakteristik. Diese Netzwerke haben die Aufgabe, von einem am Eingang liegenden Frequenzgemisch nur gewisse Frequenzbänder und diese möglichst ungeschwächt zum Ausgang durchzulassen, während die übrigen möglichst stark geschwächt werden sollen. Die Frequenzbereiche der Signale, die den Filter passieren können, nennt man Durchlassbereiche, die übrigen Sperrbereiche.

Filter gehören seit etwa 1900 zu den zentralen Baugruppen der Nachrichtentechnik. Grundlegende Theorien zu Filtern verfassten 1915 unabhängig voneinander G. A. Campel und K. W. Wagner.

4.4 Modulation

Nachrichten bestehen aus Sprache, Musik, Text, Daten oder Bildern. Sie lassen sich im einfachsten Fall als elektrische Signale unmittelbar über Drahtverbindungen weiterleiten. Sie können aber in dieser Form nicht zur Übertragung, z.B. über Funkwege und Lichtwellenleiter, eingesetzt werden.

Bei einer Funkübertragung wird z.B. ein Trägersignal zum Transport des Nachrichtensignals verwendet. Dieser Vorgang wird Modulation genannt. Durch Demodulation wird das Nachrichtensignal in seiner ursprünglichen Form zurück gewonnen.

(8) Die Veränderung des Trägersignals durch das Nachrichtensignal heißt Modulation. Man unterscheidet zwischen

- Amplitudenmodulation (AM), bei der die Amplitude des Sinusträgers vom Nachrichtensignal verändert wird,
- Frequenzmodulation (FM), bei der die Frequenz des Sinusträgers verändert wird und
- Pulsmodulation (PM), bei welcher im Abtastmoment der Impuls durch den Wert des Nachrichtensignals verändert wird.

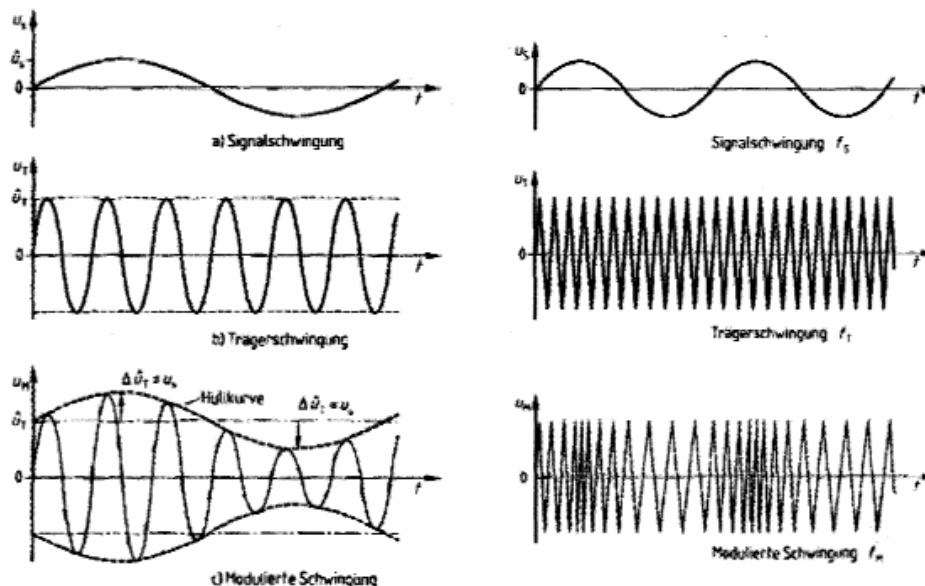


Bild 11 Amplitudenmodulation (links), Frequenzmodulation (rechts)

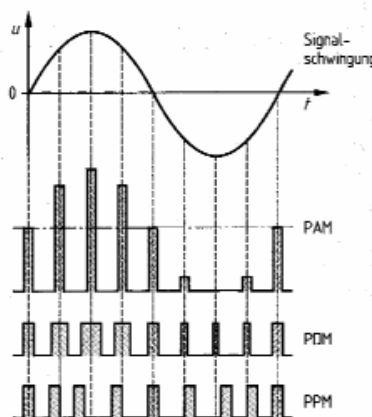


Bild 12 Pulsmodulation

Die Amplituden- und Frequenzmodulation wird z.B. bei Hör- und Fernseh Rundfunk verwendet.

Bei der Pulsmodulation kann zwischen mehreren Arten unterschieden werden:

- Pulsamplitudenmodulation (PAM), bei der sich die Pulsamplitude mit der Signalamplitude ändert; durch die zusätzliche Codierung der PAM-Impulse entsteht die Pulsmodemodulation (PCM).
- Pulsdauermodulation (PDM), bei der die Impulsdauer sich gegenüber ihrem Normalwert ändert;
- Pulsphasenmodulation (PPM), bei der die Phase, das heißt die zeitliche Lage der Einzelimpulse, gegenüber ihrem Normalwert vor- oder nachzieht;
- Pulsmodemodulation (PCM), bei der von einer amplitudenmodulierten Impulsfolge (PAM) die Amplitude jedes einzelnen Impulses verschlüsselt (codiert) übertragen wird.

4.5 Multiplexbildung

(9) Will man einen Übertragungsweg mehrfach ausnützen, so fasst man die Signale mehrerer Quellen vor der Übertragung mittels eines Multiplexvorgangs zusammen. Man unterscheidet:

- Frequenzmultiplex, bei dem die Signale der einzelnen Quellen im Frequenzbereich verschachtelt werden und
- Zeitmultiplex, bei dem die Signale zeitlich hintereinander verschachtelt werden.

Das Demultiplexen löst das Signalbündel nach der Übertragung wieder so auf, dass jeder Empfänger nur die für ihn bestimmten Signale erhält. Multiplexer und Demultiplexer müssen in einem Übertragungskanal die Art der Verschachtelung, das d.h. die Regel der Multiplexbildung, kennen und beachten.

4.5.1 Frequenzmultiplex

Beim Frequenzmultiplexen werden Signalen jeder Quelle eigene Frequenzbänder zugeordnet, die gleichzeitig über eine gemeinsame Leitung übertragen werden.

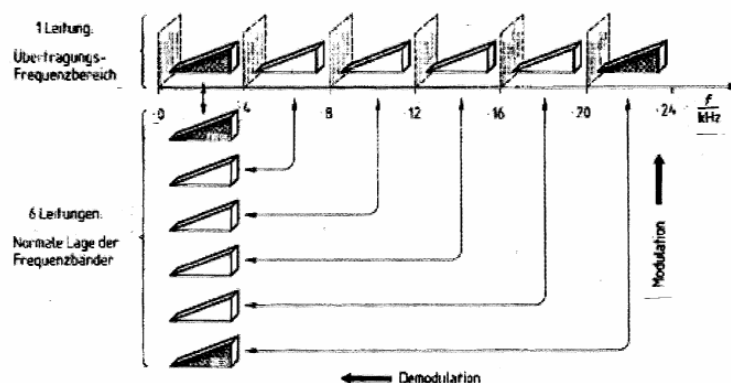


Bild 13 Prinzip des Frequenzmultiplex

Die Gesprächskanäle werden vergleichsweise wie Gegenstände in einem Warenregal übereinander gestapelt. Als Träger für die Kanäle dienen Frequenzen im Abstand von jeweils 4 kHz. Dieses Übertragungsverfahren wird daher Trägerfrequenztechnik (TF-Technik) genannt. In der zeichnerischen Darstellung dient ein Dreieck als Symbol für die Frequenzbänder, von der unteren bis zur oberen Frequenzgrenze ansteigend, hier von 0,3 kHz bis 3,4 kHz.

Seitenbänder. Zur Umsetzung in den höheren Frequenzbereich werden Gegentaktschaltungen (Ringmodulatoren) benutzt. Sie erzeugen durch Amplitudenmodulation zwei Seitenbänder mit je 4 kHz, deren Übertragung Gesprächskanäle von 8 kHz Bandbreite erfordern würde. Da jedes Seitenband die volle Gesprächsinformation enthält, wird ein Seitenband durch Bandfilter unterdrückt.

Durch die Wirkungsweise des Ringmodulators ergibt sich, dass an seinem Ausgang auch die Trägerfrequenz nicht mehr erscheint. Diese Art der Amplitudenmodulation heißt deshalb Einseitenbandmodulation (EM) mit unterdrücktem Träger.

Durch dieses Verfahren werden Kabel in bezug auf Frequenzbereich und übertragene Leistung wirtschaftlich ausgenutzt, weil pro Gesprächskanal nur ein Seitenband übertragen werden muss.

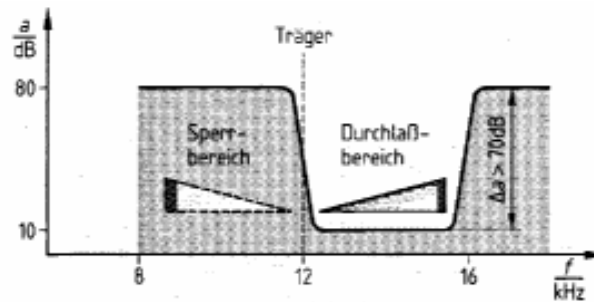


Bild 14 Unterdrückung eines Seitenbandes durch Bandfilter

4.5.2 Zeitmultiplex

Beim Zeitmultiplex werden den Signalen jeder Quelle eigene Zeitlagen zugeordnet. Die Übertragung läuft nacheinander ab. Um einen Gleichlauf von Multiplexer und Demultiplexer zu erreichen müssen bei Zeitmultiplexbildungen eindeutige Zusatzinformationen zur Synchronisation von Sender und Empfänger übertragen werden.

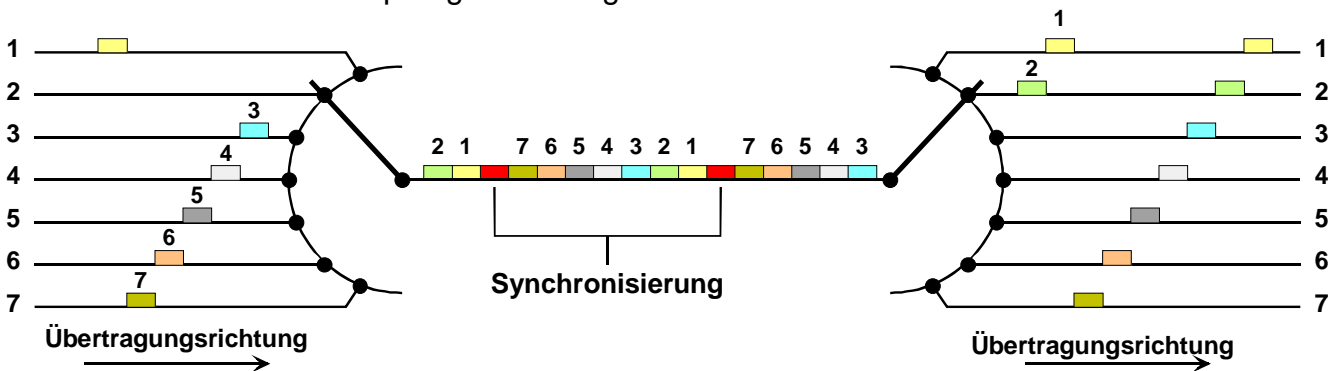


Bild 15 Prinzip des Zeitmultiplex

Ein Zeitmultiplexverfahren für die Telegrafie führte Jean M. E. Baudot 1875 ein. Für die Digitalisierung der Nachrichtennetze verwendet man seit den sechziger Jahren Zeitmultiplexverfahren, die auch bei hoher Übertragungsrate eine sichere Informationsübermittlung gewährleisten.

5 Signalübertragung

Unabhängig davon ob die zu übertragende Information in analoger oder digitaler Form vorliegt ist für jede Übertragungsrichtung grundsätzlich ein eigenes Leitungspaar, d.h. ein Vierdrahtweg, vorzusehen. In Fällen wo z.B: aus Kostengründen ein Leitungspaar, d.h. ein Zweidrahtweg, für die gleichzeitige Informationsübertragung in beide Richtungen verwendet werden soll, müssen zusätzliche Maßnahmen zur „Richtungstrennung“ eingesetzt werden.

(10) In Abhängigkeit von den getroffenen Maßnahmen können drei Betriebsarten unterschieden werden:

- Simplex Übertragung nur in eine Richtung möglich
- Duplex Übertragung gleichzeitig in beide Richtungen möglich
- Halb duplex Übertragung in beide Richtungen, aber nicht gleichzeitig, möglich

5.1 Richtungstrennung

Bei Nachrichtenverbindungen über größere Entfernungen tritt stets eine Dämpfung des Signals auf. Deshalb sind in regelmäßigen Abständen für analoge Signale Verstärker und für digitale Signale Regeneratoren erforderlich. Der Einsatz dieser Einrichtungen ermöglicht es, den Signalpegel stets im zulässigen Bereich zu halten, also oberhalb eines Minimalwertes und unterhalb eines oberen Grenzwertes.

Während digitale Verbindungen in der Regel immer vierdrähtig geführt werden, können analoge Verbindungen sowohl vierdrähtig als auch zweidrahtig geschaltet sein. Da Verstärker und Regeneratoren u.a. aus ökonomischen Gründen nur eine Arbeitsrichtung aufweisen ist es erforderlich die Nachrichtenrichtungen voneinander zu trennen, d.h. die Nachrichtenverbindung vierdrähtig zu führen.

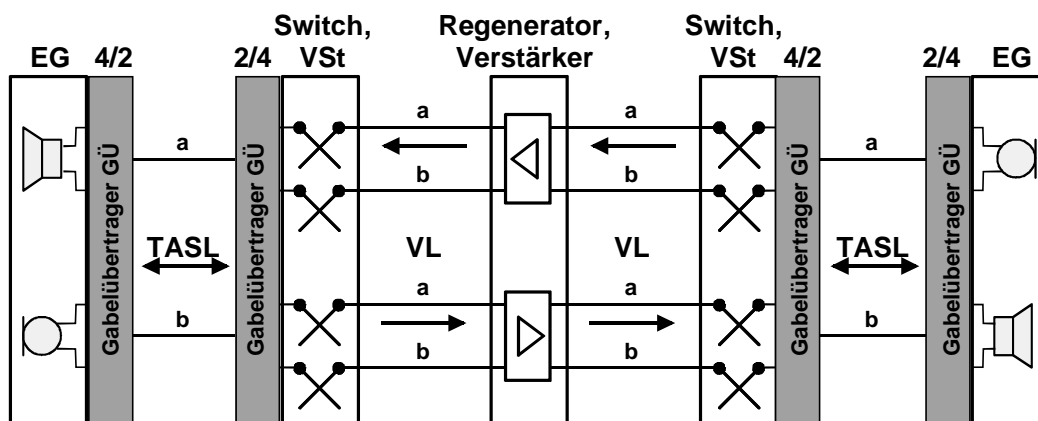


Bild 16 Fernsprechverbindung

Diese Richtungstrennung - Zweidraht auf Vierdraht - erfolgt mittels sog. Gabelschaltungen oder Gabelübertrager, die auch für den gegenläufigen Vorgang eingesetzt werden können.

(11) Die Gabelschaltung funktioniert ähnlich wie die Rückhördämpfung in Telefonapparaten. Die ankommende, aus einer Doppelader bestehende Leitung bildet zusammen mit der Leitungsnachbildung \underline{Z}_N den einen Brückenzweig, während die andere Seite einen Übertrager mit Mittelanzapfung aufweist. Die in der Brückendiagonale liegenden Punkte sind im Idealfall von denen an der Sekundärseite des Trafos vollständig entkoppelt und damit als Anschlussstellen für die Verstärker in beiden Richtungen geeignet.

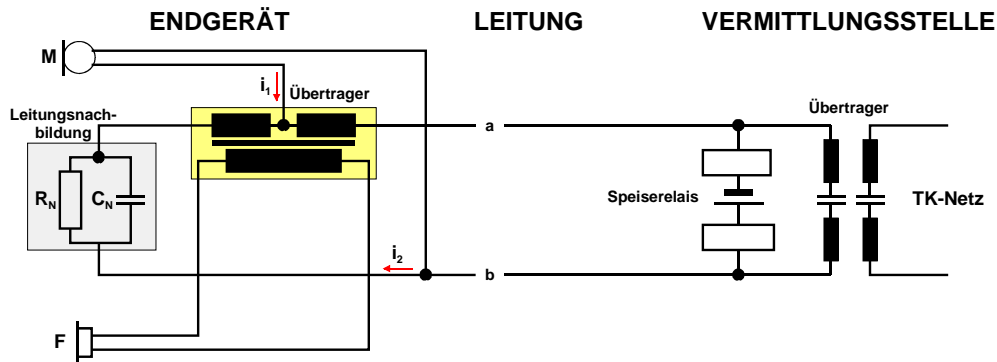


Bild 17 Prinzip der Gabelschaltung

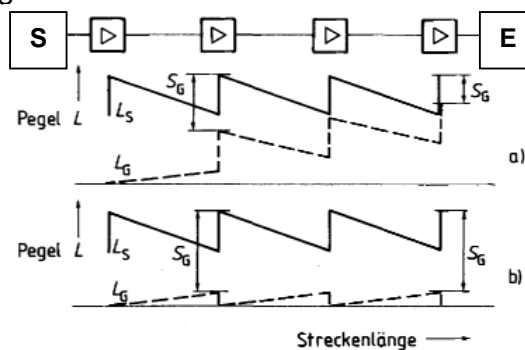
5.2 Übertragungskanal

Den Weg eines Signals vom Sender zum Empfänger bezeichnet man in der Nachrichtentechnik als Übertragungskanal. Er besteht aus unterschiedlichen Medien wie metallischen Leitungen, Lichtwellenleitern, aber auch elektromagnetischen Wellen in gebündelter oder in ungebündelter Form. Der Übertragungskanal wird mit folgenden Eigenschaften charakterisiert:

- Frequenzbereich (Bandbreite): er muss den verschiedenen Frequenzanteilen im Signal angepasst sein.
- Dämpfung: sie verursacht eine allmähliche Abnahme der Signalleistung. Verstärker bzw. Regeneratoren gleichen diese Verluste aus.
- Signallaufzeit: sie kann sich bei verschiedenen großen Laufzeiten als Signalverformung oder Verzerrung bemerkbar machen; im Allgemeinen ist sie vernachlässigbar (Lichtgeschwindigkeit).

Kanaleigenschaften

Sender und Empfänger sind über einen oder mehrere Leitungsabschnitte miteinander verbunden. Das ausgesandte Signal hat am Sendeort (Quelle) die mittlere Leistung P_S , die durch die Verluste längs der Leitung ständig abnimmt (Dämpfung). Die Verluste werden als Dämpfung bezeichnet und in dB (Dezibel) angegeben. Sie sind für gleiche Leitungsabschnitte prozentual immer gleich groß.



a analoge Signalübertragung b digitale Signalübertragung

Bild 18 Pegeldiagramm und Signal-/Geräuschabstand über mehrere Leitungs- und Verstärkerabschnitte

(12) Verzerrungen entstehen dadurch dass Laufzeit oder Dämpfung für verschiedene Frequenzanteile im Signal unterschiedlich groß sind; Verzerrungen können durch Einsatz entsprechender Filterschaltungen ausgeglichen werden

Störungen entstehen entweder im Kanal selbst oder dringen von außen ein. Sie erschweren einen einwandfreien Empfang des Signals und können bei analoger Signalübertragung nachträglich nicht behoben werden. Bei digitaler Signalübertragung ist durch sog. Regenerativverstärker theoretisch eine 100 prozentige Entfernung der Störungen und damit eine Wiederherstellung des Sendesignals möglich.

Die Differenz zwischen Nutz- und Störsignal ist eine wichtige Größe, man nennt sie den Signal-Stör-Abstand⁴ oder den Signal-Geräusch-Abstand. Mit dem Signal-Stör-Abstand eng verknüpft ist der Dynamikumfang, der durch die größte übertragbare Signalleistung und den Störpegel gegeben ist. Der Kanal, einschließlich Sender und Empfänger und gegebenenfalls eingefügte Verstärker, hat eine gewisse Bandbreite die dem Spektrum des Signals angepasst ist. So belegt die menschliche Stimme etwa. 300 Hz bis 3400 Hz, ein Fernsehsignal ca. 1 Hz bis 5 MHz.

Kanalkapazität

Die pro Zeiteinheit übertragbare Nachrichtenmenge heißt Kanalkapazität. Der Umfang jeder Nachricht kann in Bit angegeben werden, die Größe der Kanalkapazität in bit/s. Sie hängt von der Bandbreite und vom Signal-Stör-Abstand ab. Bei einer zweiwertigen digitalen Übertragung benötigt 1 Bit bei 1 Hz Bandbreite etwa 1 s Übertragungszeit. Bei größerer Bandbreite läuft die Übertragung entsprechend schneller ab.

Signalregeneration

Das digitale Signal erfährt auf dem Übertragungsweg durch den Tiefpass- oder Bandpasscharakter des Kanals eine Signalverformung. Bei der Basisbandübertragung des PCM-Signals über symmetrische Leitungen oder Koaxialkabel wirkt sich hauptsächlich die durch den Skineffekt bedingte frequenzabhängige Dämpfung aus. Ab einer bestimmten Frequenz im Bereich von etwa 10 kHz steigt die Dämpfungskonstante proportional zur Wurzel aus der Frequenz an. Als Folge von Impulsverbreiterungen können Bitfehler auftreten. Darüber hinaus überlagern sich Störspannungen aus Nachbarkanälen oder durch Übersprechen von im selben Leitungsbündel geführten Parallelkanälen dem PCM-Signal. Hinzu kommt noch das Rauschen der Leitung und der Verstärker. Auch dadurch werden Bitfehler verursacht.

Es ist ein großer Vorteil der digitalen Signalübertragung, dass ein empfangenes Signal nicht zusammen mit seinen überlagerten Störungen verstärkt, sondern durch eine Regenerierung von Störungen und Verzerrungen befreit werden kann.

Das bedeutet, dass sich auf einer analogen Übertragungsstrecke mit mehreren Verstärkerabschnitten die in jedem Abschnitt hinzu kommenden Störgeräusche akkumulieren, auf digitalen Übertragungsstrecken sich der Signal/Geräuschabstand jedoch nicht über das Maß in einem Verstärkerabschnitt verschlechtert. Das verbleibende Geräusch bewirkt zwar noch Bitfehler, durch die abschnittsweise Regenerierung addieren sich jedoch nur die Bitfehler, nicht aber die Störgeräusche.

Einfluss von Bitfehlern auf die Sprachübertragung:

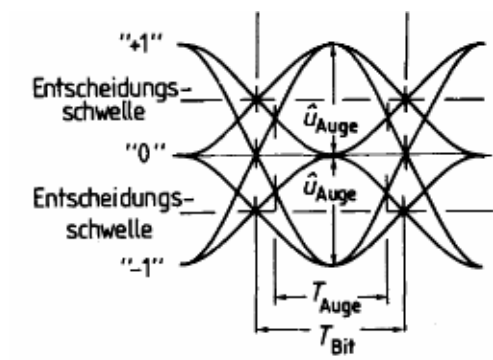
- 10^{-6} keine Störungen feststellbar
- 10^{-5} sporadische, kaum wahrnehmbare Knackgeräusche bei niederen Sprachpegeln
- 10^{-4} sporadische Knackgeräusche und Störungen bei niederen Sprachpegeln

⁴ Der Signal-Stör-Abstand spielt insofern eine Rolle, als das Signal um so klarer zu erkennen ist, je deutlicher es sich vom Störpegel abhebt. Claude E. Shannon verfasste 1948 eine allgemeine Theorie der Informationsübertragung, in deren Mittelpunkt der Übertragungskanal stand. Seine Theorie ermöglicht es, alle Vorgänge zwischen Quelle und Senke quantitativ zu erfassen.

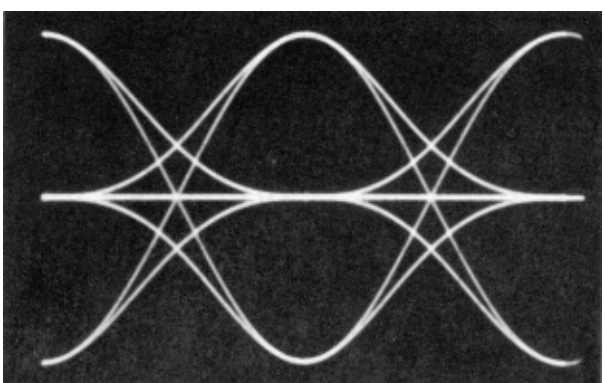
- 10^{-3} Störungen deutlich wahrnehmbar
- 10^{-2} schwere Beeinträchtigung der Sprachverbindung, Verständlichkeit stark beeinträchtigt
- $5 \cdot 10^{-2}$ praktisch unverständlich

(13) Bitfehler können u.a. hervorgerufen werden durch geringe zeitliche Verschiebungen des Abtasttaktes der aus dem übertragenen Digitalsignal abgeleitet wird. Die Taktphasenschwankung bezeichnet man als Jitter. Der maximale Abstand, den die Flanken des Digitalsignals gegenüber äquidistanten Kennzeitpunkten im Abstand der Bitdauer einnehmen, wird als die Jitteramplitude angegeben. Jitteramplitude und Jitterfrequenz hängen von den Ursachen des Jitters ab. Im Zusammenhang mit den Regeneratoren unterscheidet man in nicht-systematischen Jitter, der durch Störspannungen, Rauschen o. ä. entsteht, und in systematischen Jitter, der durch Bandbegrenzung, Impulsnebensprechen und durch unvollkommene Taktrückgewinnung entsteht.

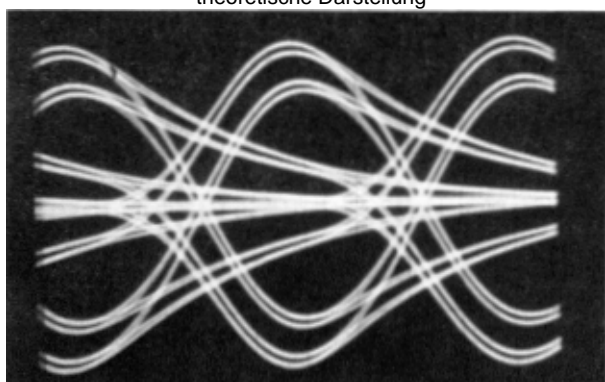
(14) Eine sehr anschauliche Beurteilung der Qualität des entzerrten Digitalsignals erlaubt das sogenannte Augendiagramm. Man erhält diese Darstellung als Oszillogramm des Digitalsignals durch Übereinanderschreiben vieler einzelner Signalelemente eines Zufallsmusters, die zeitlich nacheinander auftreten, über die Zeitdauer von einem oder mehreren Bits. Diesem Diagramm entnimmt man eine Augenöffnung in vertikaler Richtung, \hat{u}_{Auge} , und eine solche in horizontaler Richtung, T_{Auge} . Eine möglichst große Augenöffnung in jeder Richtung ist anzustreben, damit die Entscheidungsschaltung den Signalwert richtig bestimmen kann. Erreicht das Digitalsignal bei den verschiedenen möglichen Übergängen zwischen den logischen Zuständen „0“ und „1“ oder „+1“ und „-1“ nicht mehr seine volle Amplitude oder tritt ein Überschwingen auf, dann wird die Augenöffnung kleiner. Auch überlagerte Störspannungen, meist in Form von Rauschen, haben eine Verringerung der Augenöffnung zur Folge. Je mehr sich das Auge durch überlagertes Rauschen schließt, umso häufiger wird die Entscheidungsschwelle nach der falschen Seite hin überschritten.



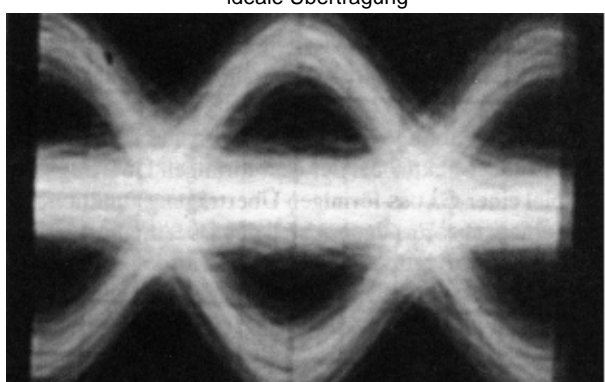
theoretische Darstellung



ideale Übertragung



Bandbegrenzung durch Leitungskanal



Überlagerung einer Rauschspannung

Bild 19 Augendiagramme eines pseudoternären Digitalsignals mit \cos^2 -Impulsen

(15) Die Signalregenerierung erfolgt im Regenerativverstärker oder Regenerator. Dieser hat im Wesentlichen drei Funktionen zu erfüllen:

- Entzerrung und Verstärkung des empfangenen Signals
- Erkennen der Signalzustände im richtigen Zeittakt
- Aufbereitung des Sendesignals in der ursprünglichen Signalform.

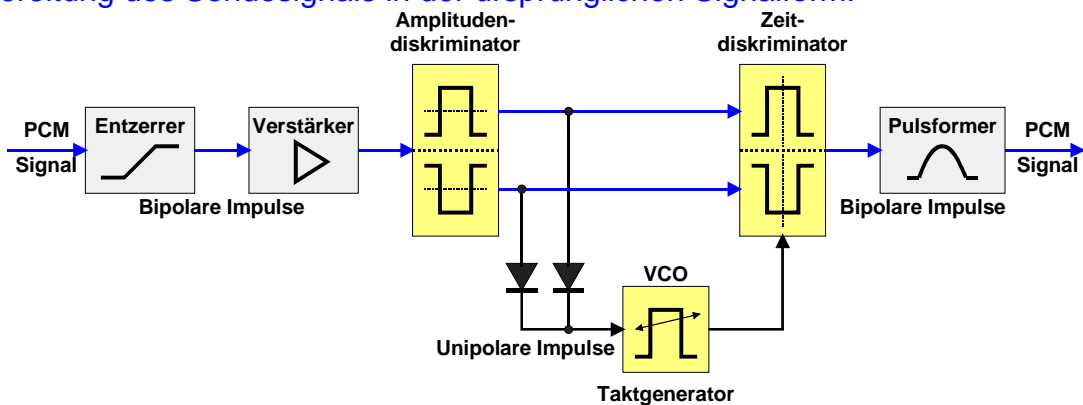


Bild 20 Blockschaltbild eines Regenerativverstärkers

Im Entzerrer wird das ankommende, über den Leitungskanal abgeschwächte und verzerrte PCM-Signal durch eine frequenzabhängige Verstärkung in die ursprüngliche Signalform gebracht, welche entscheidend ist für eine möglichst fehlerfreie Regenerierung des Digitalsignals. Eine sehr anschauliche Beurteilung der Qualität des entzerrten Digitalsignals erlaubt das sogenannte Augendiagramm.

Zur Amplitudenentscheidung wird das Signal in einem Differenzverstärker mit einer Referenzspannung verglichen, die dem halben Wert der nominellen Signalamplitude entspricht. Der Schwellwertentscheider gibt nur dann ein Ausgangssignal ab, wenn das Eingangssignal die Referenzspannung übersteigt. Es werden positiv und negativ gerichtete Signalanteile bewertet. Entsprechend hat der Schwellwertentscheider auch Ausgänge für das positive und negative Signal. Die hier anliegenden binären Impulse weisen noch keine konstante Impulsdauer auf. Ihre Flanken sind mit Jitter behaftet.

Um die zeitliche Lage der Impulse zu regenerieren, wird ein Taktsignal benötigt, das genau mit der Folgefrequenz des übertragenen Digitalsignals übereinstimmt. Dieses Taktsignal gewinnt man über eine Taktaussiebung aus dem entzerrten Signal. Das Taktsignal wird dem Zeitentscheider zugeführt, wo das amplitudenregenerierte Digitalsignal, noch getrennt nach positiven und negativen Impulsen, im Abstand der Bitperiodendauer jeweils in der Impulsmitte abgefragt wird. Diese Zeitselektion erzeugt eine konstante Bitdauer und eliminiert darüber hinaus weitgehend den Phasenjitter des entzerrten Digitalsignals.

Im Ausgangsverstärker werden die positiven und negativen amplituden- und zeitregenerierten Impulse wieder zusammengefasst und über ein Filter in die gewünschte Impulsform gebracht.

6 Signalspeicherung

In der Nachrichtentechnik werden Informationen gespeichert, um sie zu beliebigen Zeitpunkten wieder verfügbar zu haben. So halten beispielsweise Schallplatten Musik oder Sprachsignale mechanisch fest. Abspielgeräte tasten sie ab und geben die Signale über Lautsprecher wieder.

Die gebräuchlichen Speicherverfahren benutzen:

- Materialverformungen und mechanische Abtastung bei mechanischen Speichern wie z.B. der Schallplatte;
- veränderbare Magnetfelder und elektromagnetischer Abgriff bei magnetischen Speichern, wie Magnetbändern für Ton und Daten;
- elektronische Schaltungen und elektrische Abfrage bei elektrischen Speichern, wie Halbleiterbausteinen und Rechnern sowie
- Materialverformungen und optische Abtastung bei optischen Speichern wie der Compact Disc (CD).

Mechanische Speicher zur Schallaufzeichnung kannte man bereits im 17. Jahrhundert. 1887 entwickelte Emil Berliner die Schallplatte, mit der sich akustische Signale mechanisch aufzeichnen und mit einem elektromagnetischen System wiedergeben ließen. 1898 wandte Waldemar Poulsen ein magnetisches Speicherverfahren an, mit dem er elektrische Signale auf Stahldraht festhalten konnte. Ein Magnetband, das aus einem eisenbedampften Papierstreifen bestand, meldete Fritz Pfelemer 1928 zum Patent an. Es ersetzte den Stahldraht vor allem bei der Musikaufzeichnung.

Mit den elektronischen Rechnern kamen digitale Speicher auf, wie etwa der Magnettrommel-speicher von Hans Billing im Jahr 1947 sowie die Magnetkernspeicher. Seit 1970 setzten sich Halbleiterspeicher durch, vor allem wegen ihrer hohen Kapazität und der schnellen Zugriffszeit. Mit der Compact Disc steht seit 1983 ein digitales Speichermedium auch für die Unterhaltungselektronik zur Verfügung. Sie bildet zusammen mit einem Laser ein optisches Speichersystem. Magneto-optische Verfahren ermöglichen es seit 1988, Speicherplatten beliebig oft zu löschen und zu bespielen.

7 Mustererkennung

Die Telekommunikationstechnik übermittelt Nachrichten von der Quelle zur Senke. Werden dabei die Quelle oder die Senke nicht wie gewöhnlich mit Personen besetzt, sondern mit automatischen Systemen, so müssen die Inhalte der übermittelten Daten identifiziert werden. Dies ist die Aufgabe der Mustererkennung.

Die wichtigsten Anwendungsbereiche für die Mustererkennung sind das Erkennen von Schrift, Sprache und Bildern. Die Systeme bedienen sich meistens Vergleichsverfahren mit Bezugsmustern, um Geschriebenes lesen, Gesprochenes verstehen oder Gesehenes interpretieren zu können. Als Sensoren werden beispielsweise für die Interpretation von Sprache das Mikrophon, für die Identifizierung von Werkstücken die Fernsehkamera und zur Erfassung von Herzbewegungen eine Gammakamera verwendet.

Mit einem geeigneten Sensor werden also bestimmte physikalische Eigenschaften eines Objekts erfasst, gemessen und in ein elektrisches Signal umgesetzt. Die vom Sensor aufgenommene Größe wird als Muster bezeichnet. In der anschließenden Verarbeitung werden Merkmale ermittelt, die es erlauben, eine Interpretation des Musters vorzunehmen. Ziel der Interpretation ist es zum einen, diejenigen Informationen zu ermitteln, die für einen Anwender oder eine Anwendung wesentlich sind, und zum anderen, sie angemessen darzustellen.

Die Methoden der Mustererkennung stützen sich auf die Erkenntnisse der Mathematik und Informatik, um die gewöhnlich großen Datenmengen auszuwerten. Erste Patente zur Schrifterkennung wurden im 19. Jahrhundert erteilt. Jedoch erst die elektronischen Rechner ermöglichten seit etwa 1950 die technische Entwicklung der Mustererkennung.

8 Kontrollfragen

1. Nennen Sie die grundsätzlichen Prinzipien der Signalbearbeitung.
2. Beschreiben Sie die Aktivitäten der Nachrichtenübertragung an Hand des nachrichtentechnischen Grundmodells.
3. Welche Prinzipien werden bei der elektroakustischen Wandlung eingesetzt, und welches davon wurde von Alexander Graham Bell verwendet?
4. Nennen Sie die Schritte zur Umwandlung eines Analogsignals in ein Digitalsignal und umgekehrt.
5. Welche wichtigen Codierarten kennen Sie und wofür werden sie verwendet?
6. Welche Verfahren werden zu Leitungscodierung in TK-Netzen eingesetzt?
7. Welche Aufgaben haben Filter und aus welchen Grundelementen sind sie aufgebaut?
8. Was versteht man unter Modulation, welche grundsätzlichen Arten können unterschieden werden?
9. Wann und wofür wird das Multiplexen in der Telekommunikation eingesetzt?
10. Welche Betriebsarten können bei der Signalübertragung unterschieden werden?
11. Beschreiben Sie das Prinzip der 2draht-4draht-Umsetzung an Hand einer Skizze.
12. Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Signalverzerrung und Störung.
13. Was versteht man unter „Jitter“ und wie entsteht er?
14. Was versteht man unter „Augendiagramm“ und was sagt es aus?
15. Nennen Sie die wesentlichen Funktionen eines Regenerativverstärkers.

9 Bilder und Tabellen

Bild 1 Schema einer Nachrichtenübertragung 2

Bild 2 Übertragungsabschnitte..... 3

Bild 3 Grundmodell eines Nachrichtensystems 4

Bild 4 Reis-Telefon von 1863/64 mit Geber und Empfänger 5

Bild 5 Einfache Sprechschaltung mit Kohlemikrofon 5

Bild 6 Frequenzband Begrenzen und Abtasten 7

Bild 7 Quantisieren und Codieren..... 7

Bild 8 Wichtige Codierarten 8

Bild 9 Quellencodierung und Leitungscodierung 9

Bild 10 Digitalübertragungssystem für eine Basisbandübertragung 9

Bild 11 Amplitudenmodulation (links), Frequenzmodulation (rechts) 11

Bild 12 Pulsmodulation 11

Bild 13 Prinzip des Frequenzmultiplex..... 12

Bild 14 Unterdrückung eines Seitenbandes durch Bandfilter..... 13

Bild 15 Prinzip des Zeitmultiplex..... 13

Bild 16 Fernsprechverbindung..... 14

Bild 17 Prinzip der Gabelschaltung..... 15

Bild 18 Pegeldiagramm und Signal/Geräuschabstand über mehrere Leitungs- und Verstärkerabschnitte..... 15

Bild 19 Augendiagramme eines pseudoternären Digitalsignals mit \cos^2 -Impulsen 17

Bild 20 Blockschaltbild eines Regenerativverstärkers 18

10 Abkürzungen

2DrV	Zweidrahtverstärker
4B3T Code	3Bit – 3 Terms – Code
4DrV	Vierdraht-Verstärker
A/D.....	analog / digital (Wandlung)
ADPCM.....	Adaptive Differenz Pulse Code Modulation
AM	Amplitudenmodulation
AMI	Alternate Mark Inversion
ASCII	American Standard Code No 2
CD	Compact Disk
D/A.....	digital / analog (Wandlung)
DPCM.....	Differenz Pulse Code Modulation
FM	Frequenzmodulation
GaAs.....	Galliumarsenid (Diode)
HDB3	High Density Bipolar Code of Order 3
LD.....	Laser Diode
LED.....	lichtemittierende Diode
PCM.....	Pulse Code Modulation
PDM.....	Pulsdauermodulation
PPM.....	Pulsphasenmodulation

11 Literatur

- [1] Norbert Hahn, NTZ Bd. 43 (1990), ntzSpecial
- [2] Ntz Bd 40, 1978, Heft 10
- [3] Telekommunikationstechnik, 6. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, 1995, ISBN 3-8085-3346-3
- [4] SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Topic 7 Digital-Fernsprechen
- [5] Lochmann, Digitale Nachrichtentechnik, 2. Auflage, Verlag Technik Berlin, 1997, ISBN 3-341-01184-6
- [6] Rudolf Mäusl, Digitale Modulationsverfahren, 3. Auflage, Hüthig Buch Verlag Heidelberg, 1991, ISBN 3-7785-2058-X
- [7] Ulrich Freyer, Nachrichtenübertragungstechnik, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, 1994, ISBN 3-446-17724-8
- [8] Übertragungstechnik I, 2. Auflage, R.v.Decker`s Verlag, 1967