

Datenkommunikation und Sicherheit

Kapitel 2: Bitübertragungsschicht

Klaus Wehrle

Communication and Distributed Systems

Chair of Computer Science 4

RWTH Aachen University

<http://www.comsys.rwth-aachen.de>



II-1

- **Datenkommunikation und Sicherheit**

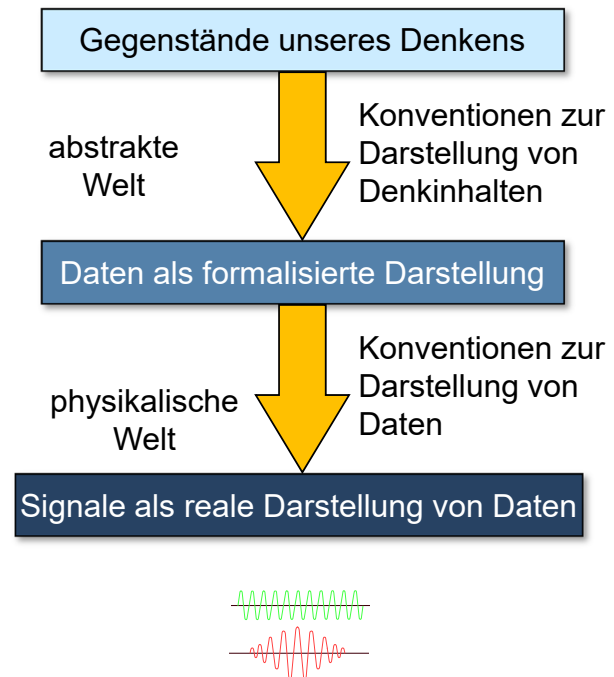
- ▶ Einführung, Begriffe und allgemeine Grundlagen
- ▶ Technische und nachrichtentechnische Grundlagen: Medien, Signale, Bandbreite, Leitungscode und Modulation, Multiplexing
- ▶ Lokale Netze: Strukturierung des Datenstroms, Fehlererkennung/-behebung, Flusssteuerung, Medienzugriff, Ethernet, Token Ring, DSL
- ▶ Internet und Internet-Protokolle:
 - Vermittlungsschicht: IP, Routing
 - Transportschicht: TCP
- ▶ Grundlagen der Sicherheit in/von Kommunikationsnetzen
 - Grundlagen: Verschlüsselung, Authentifizierung, Integrität
 - Sichere Internet-Protokolle

- **Daten**

- ▶ Darstellung von Sachverhalten, Konzepten, Vorstellungen und Anweisungen in formalisierter Weise

- **Signal**

- ▶ Physikalische Darstellung von Daten durch charakteristische räumliche und/oder zeitliche Veränderungen der Werte physikalischer Größen
- ▶ Reale physikalische Repräsentation der Daten



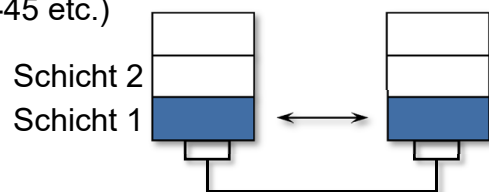
Kurze Wiederholung: Daten und Signale.

Gegenstände unseres Denkens (beispielsweise Fakten, Konzepte, Vorstellungen und Modelle) werden in formalisierter Weise dargestellt: als *Daten*. Unter dem Begriff „Daten“ versteht man also die Darstellung von Sachverhalten (Fakten), Konzepten, Vorstellungen und Anweisungen in formalisierter Weise, die für die Kommunikation, Interpretation und die Verarbeitung durch Menschen und/oder technische Mittel geeignet ist. Beispiele für Daten sind die gesprochene Sprache, die geschriebene Sprache oder Zeichen- und Gebärdensprache.

Durch entsprechende Konventionen können Daten in physikalische *Signale* gewandelt werden, beispielsweise in Form von sinusförmigen Schwingungen. Dies ist eine grundlegende Notwendigkeit – Signale sind eine Repräsentation der Daten, die über ein physikalisches Medium übertragen werden können. Die Art der verwendbaren Signale hängt direkt vom Medium selbst ab (Strom, Licht, ...).

• Aufgaben der Bitübertragungsschicht (Schicht 1)

- ▶ Englisch: Physical Layer, PHY
- ▶ Unterste Schicht, sitzt direkt auf dem physikalischen Medium
 - Übertragung unstrukturierter Bitfolgen über physikalisches Medium
 - Umfasst u.a. physikalischen Anschluss, Umsetzung Daten \Leftrightarrow Signale
 - Ungesicherte Verbindung zwischen Systemen
- ▶ Normung vor allem der physikalischen Schnittstelle Rechner/Medien
 - Beispiele (nur Schnittstelle, nicht die entsprechenden Protokolle):
 - Serielle Schnittstelle (RS-232C bzw. V.24)
 - Ethernet (Yellow Cable, BNC, RJ-45 etc.)
 - USB
 - Firewire

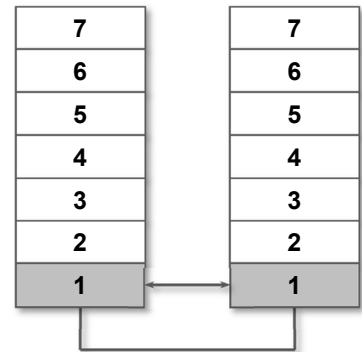


Die unterste Schicht im ISO/OSI-Modell ist die Bitübertragungsschicht (Physical Layer). Da die Bitübertragungsschicht direkt auf dem physikalischen Medium sitzt (z.B. ein Kabel, aber auch die Luftschnittstelle beim Mobilfunk), wird das physikalische Medium auch als „Schicht 0“ bezeichnet.

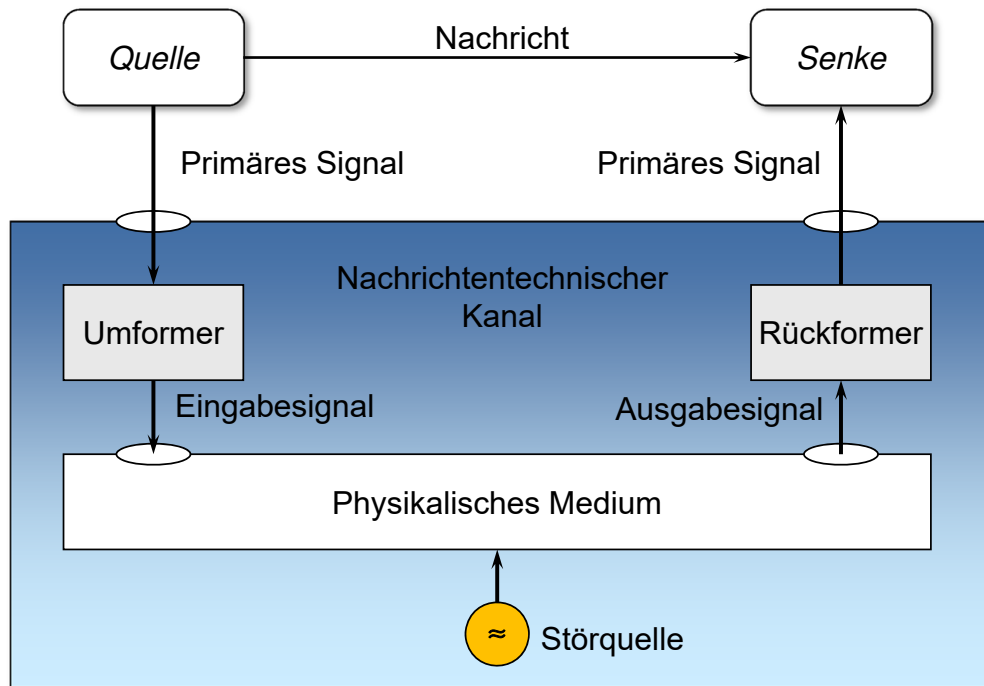
Die Aufgaben der Bitübertragungsschicht sind demzufolge hardwarenah: Festlegung des physikalischen Mediums und der Repräsentation digitaler Informationen auf dem Medium durch Signale, der Pinbelegung in Steckern, ...

Zu berücksichtigen ist, dass die Übertragung von Daten ungesichert ist: durch Störeinflüsse können Daten während der Übertragung verfälscht werden, aber es wird nicht versucht, solche Situationen zu erkennen oder mit Fehlern umzugehen – dies bleibt der nächsthöheren Schicht überlassen.

- **Grundlagen**
 - ▶ Übertragungsmedien
 - ▶ Signale und Bandbreite
- **Übertragung von Signalen**
 - ▶ Umformung, Basisband, Modulation
 - ▶ Übertragungsparameter, Störeinflüsse
 - ▶ Leitungscodes und Modulationsverfahren
 - ▶ PCM
- **Kanalnutzung**
 - ▶ Multiplexing



Modell eines einfachen Übertragungssystems

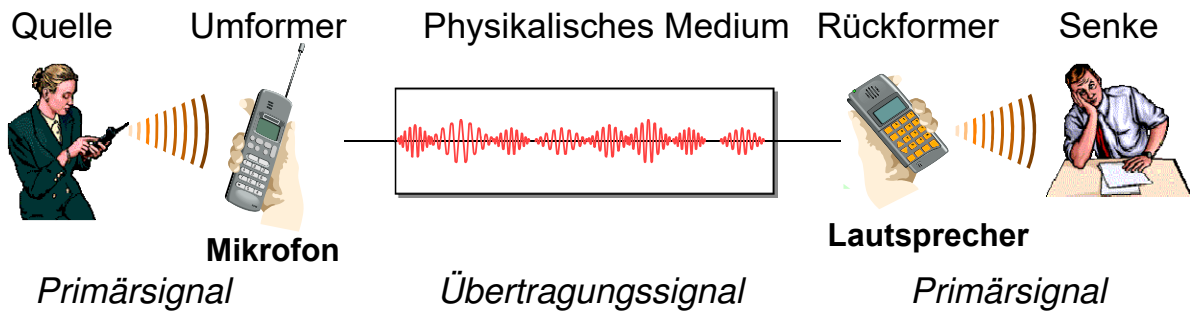


Im Folgenden werden die Aspekte der Übertragungsmedien und der Schicht 1 betrachtet, d.h. nachrichtentechnische Grundlagen der Datenkommunikation. Die Behandlung dieser Problematik geht aber nur soweit, wie es für einen Informatiker relevant ist.

Das obige Modell eines einfachen Übertragungssystems unterscheidet folgende drei Ebenen:

- *Quelle*, die eine Nachricht (digital vorliegende Daten) an die *Senke* überträgt
- *Nachrichtentechnischer Kanal*: zur Übertragung der Nachricht/Daten über ein konkretes physikalisches Medium müssen die Daten in Signale transformiert werden, die das Medium transportieren kann. Die Daten werden als primäres Signal bezeichnet und so in ein Übertragungssignal umgeformt, dass sie übertragen und auf der Gegenseite eindeutig rücktransformiert werden können. Dafür sind die beiden Bestandteile *Umformer* und *Rückformer* im nachrichtentechnischen Kanal zuständig. Durch den Umformer entsteht ein Eingabesignal: eine physikalische Größe, wie etwa der Amplitudenwert einer elektrischen Spannung, dessen Wert sich im Verlauf der Zeit ändert.
- Das *Medium*, durch welches die räumliche Distanz zwischen Quelle und Senke letztendlich überbrückt wird. Wie das Modell andeutet, zählt man das physikalische Medium zum nachrichtentechnischen Kanal. Die Übertragung des Eingabesignals ergibt auf der Seite der Senke ein Ausgabesignal. Verfälschungen, welche durch die Übertragung entstehen, werden in diesem Modell durch ein Störsignal bzw. eine Störquelle zusammengefasst, so dass ein eventuell verändertes Ausgabesignal sowohl von dem Eingabesignal als auch vom Störsignal abhängt.

Übertragungssystem: Beispiel Fernsprechnet



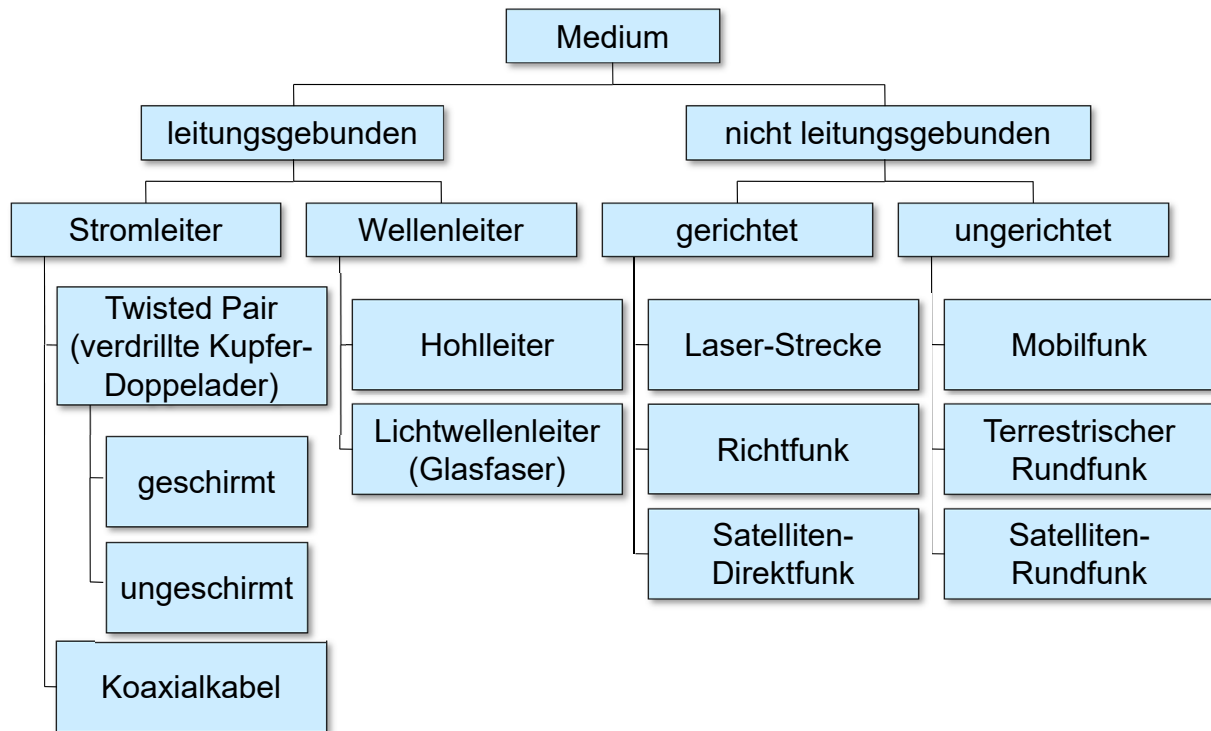
- **Einfaches Beispiel aus dem „täglichen Leben“:**

- ▶ Primärsignal (akustisch) wird durch Umformer in ein elektromagnetisches Signal (Funkwelle) umgewandelt
- ▶ Das übertragene Signal ist hier ein Radiosignal, kann (auf Kabel) aber auch elektrisch oder optisch sein, oder Schall
 - Generell: elektromagnetisches Signal

Am Beispiel des Kommunikationssystems „Telefonnetz“ lässt sich der Unterschied zwischen den beiden Signalformen gut erkennen:

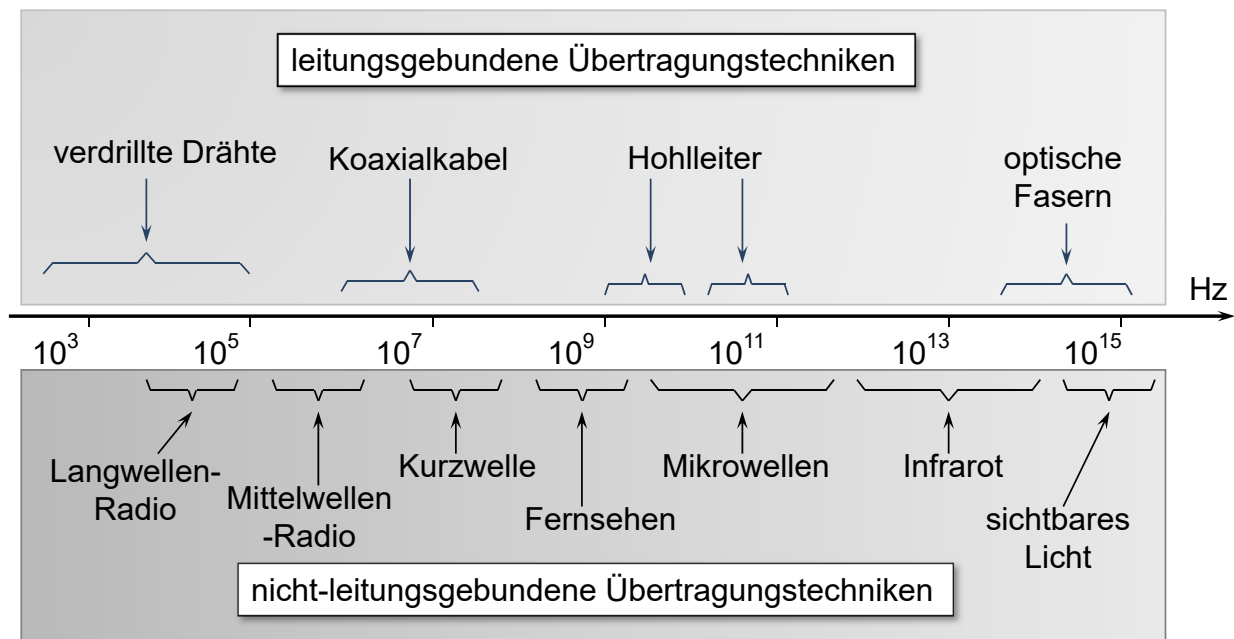
- *Primärsignal*: quellen-/senkenbezogene physikalische Größe
- *Übertragungssignal*: medienbezogene physikalische Größe

Die Daten liegen als akustisches Signal vor, welches innerhalb des Handys in ein elektromagnetisches Signal transformiert und als Funkwelle ausgesendet wird. Die Darstellung hier ist stark vereinfacht, da die Übertragung zwischen zwei Mobiltelefonen nicht direkt per Funk stattfindet, sondern die Teilnehmergeräte mit Basisstationen verbunden sind, die untereinander Signale über Kabel austauschen, auf denen elektrische oder optische Signale übertragen werden. Das Übertragungssignal muss also während der gesamten Übertragung noch ein paar Mal konvertiert werden.



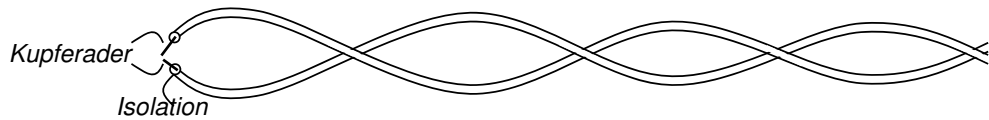
Bevor die Repräsentation von Daten durch Signale betrachtet wird, muss klar sein, welche Arten von physikalischen Medien zur Kommunikation verwendet werden können.

Nutzung des elektromagnetischen Spektrums

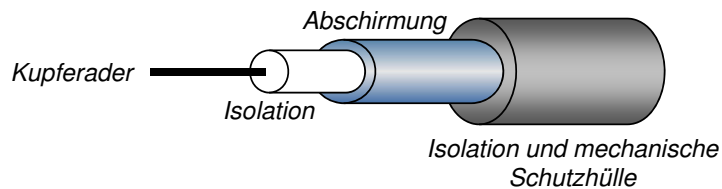


Gemeinsam haben alle Medien, dass elektromagnetische Signale zur Datenübertragung genutzt werden. Gezeigt werden hier die Frequenzbänder verschiedener Übertragungsmedien.

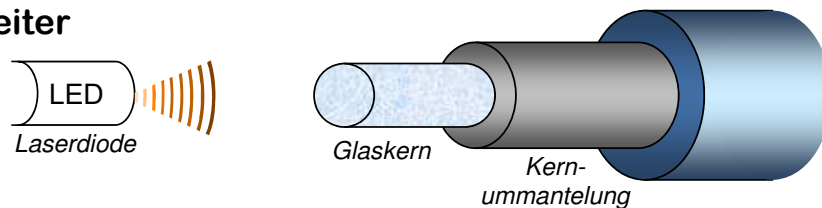
- **Twisted Pair (Kupferdoppeladern)**



- **Koaxialkabel**



- **Lichtwellenleiter (Glasfaser)**

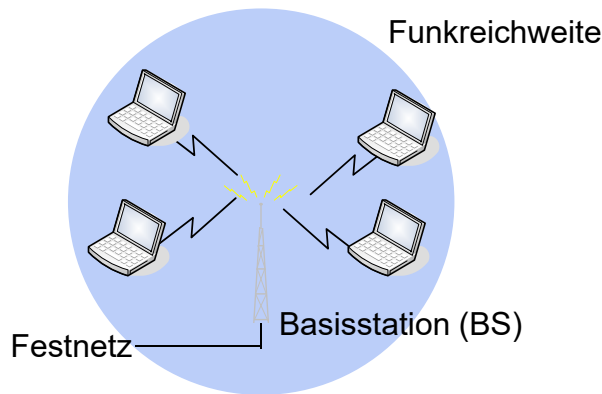


Twisted Pair (UTP - Unshielded Twisted Pair): Zwei Kupferdrähte, die verdreht sind, um Störeinflüsse abzuschwächen. Diese Medienform ist sehr billig und meist schon (aufgrund von Telekommunikationsanlagen) verlegt. Neben UTP gibt es auch noch die teureren, abgeschirmten Kabel mit Kupferdoppeladern, die STP (Shielded Twisted Pair) genannt werden.

Twisted-Pair-Kabel werden meist in lokalen Netzen eingesetzt. Sie werden in unterschiedliche Kategorien aufgeteilt, UTP/STP 1 bis 7 (häufig auch als CAT 1 bis CAT 7 bezeichnet), die mit zunehmender Nummer eine größere Bandbreite bieten, die sich zur Übertragung nutzen lässt; eine größere Bandbreite bedeutet auch eine höhere erzielbare Datenrate. Zudem lassen sich bei höheren Kategorien größere Entfernungen überbrücken, ohne dass die Signalqualität stark vermindert wird. Bandbreite und Signalqualität werden im weiteren Verlauf des Kapitels noch genauer behandelt.

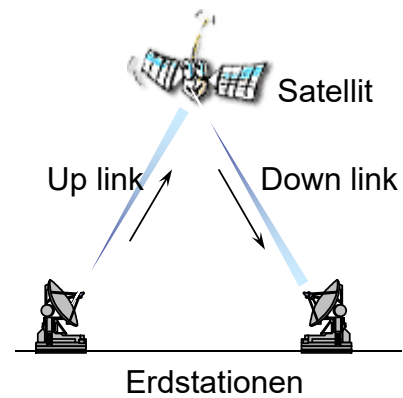
CAT 3 bis 7 werden für Netzwerke verwendet – CAT 3 dürfte noch in älteren Netzen zu finden sein, CAT-5-Kabel sind derzeit wohl (noch) am weitesten verbreitet, CAT 6 oder 7 werden mittlerweile bevorzugt verlegt, da sie die größte Bandbreite bieten und damit die heute interessanten Datenraten erreichen können. Eine Kategorie 8 ist bereits auch geplant. Weitere Details zu den Kategorien sind hier uninteressant; bei Interesse sei z.B. auf Wikipedia verwiesen (<http://de.wikipedia.org/wiki/Twisted-Pair-Kabel>).

Koaxialkabel: Besser abgeschirmte Kupferkabel, die allerdings ziemlich unflexibel sind. Dadurch können eine höhere Bandbreite und eine bessere Signalqualität erzielt werden. In den Anfangszeiten in Ethernet benutzt, aufgrund der einfacheren Handhabung mittlerweile weitgehend durch Twisted-Pair abgelöst.



- **Elektromagnetische Welle**

- ▶ $10^4 - 10^9$ Hz
- ▶ Daten werden aufmoduliert
- ▶ Eingeschränkte Reichweite, je nach Ausgangsleistung der BS und örtlichen Gegebenheiten



- **Elektromagnetische Welle**

- ▶ $10^9 - 10^{11}$ Hz
- ▶ Transponder im Satellit empfängt auf einem Kanal, sendet auf einem anderen.
- ▶ Mehrere Transponder pro Satellit
- ▶ Hohe Bandbreite pro Kanal

Lichtwellenleiter: Glaskern, in dem sich Lichtwellen ausbreiten. Um den Kern herum befindet sich ein Mantel mit einer größeren optischen Dichte als der Glaskern, so dass es zur Totalreflexion kommt und die Lichtwellen sich nur innerhalb des Glaskerns ausbreiten. Vorteilhaft sind die immense Bandbreite (und damit die erzielbare Datenrate) und die sehr niedrige Dämpfung sowie eine sehr gute Abschirmung gegen Störeinflüsse (gute Signalqualität über große Entfernungen).

Man unterscheidet die folgenden Arten von Glasfasern:

- Multimode mit Stufenindex
- Multimode mit Gradientenindex
- Monomode

Wie bei den Kategorien von TP-Kabeln unterscheiden sich auch diese Arten in Bandbreite und Signalqualität (<http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtwellenleiter>).

Funktechnik: Keine Kosten für das Medium, allerdings geringe Reichweite und Bandbreite sowie Störeinflüsse, die von der örtlichen Gegebenheit abhängen.

Auch bei der Funk- und Satellitentechnik gilt es zu differenzieren. Beispielsweise bietet die Satellitenkommunikation hohe Bandbreiten, die jedoch auf die Nutzer aufgeteilt werden müssen. Im terrestrischen Bereich gibt es beispielsweise das 3G/4G-System zur mobilen Kommunikation, bei dem jeder Nutzer eine eigene (geringere) Bandbreite zugeteilt bekommt. Allerdings kann der Benutzer sich dabei quer durch Europa bewegen.

Im lokalen Umfeld, beispielsweise innerhalb einer Wohnung, gibt es die Möglichkeit, mittels Funktechnik (WLAN, IEEE 802.11) große Bandbreiten nutzen zu können.

- **Signalparameter**

- ▶ Physikalischen Kenngrößen eines Signals (Signalparameter), deren Wert/Werteverlauf Daten repräsentieren
 - Räumliche Signale: Werte sind Funktion des Ortes, z.B. des Speichermediums
 - *Zeitabhängige Signale*: Werte sind Funktion der Zeit: $S = S(t)$
- ▶ In dieser Vorlesung: nur zeitabhängige Signale

- **Generische Einteilung zeitabhängiger Signale:**

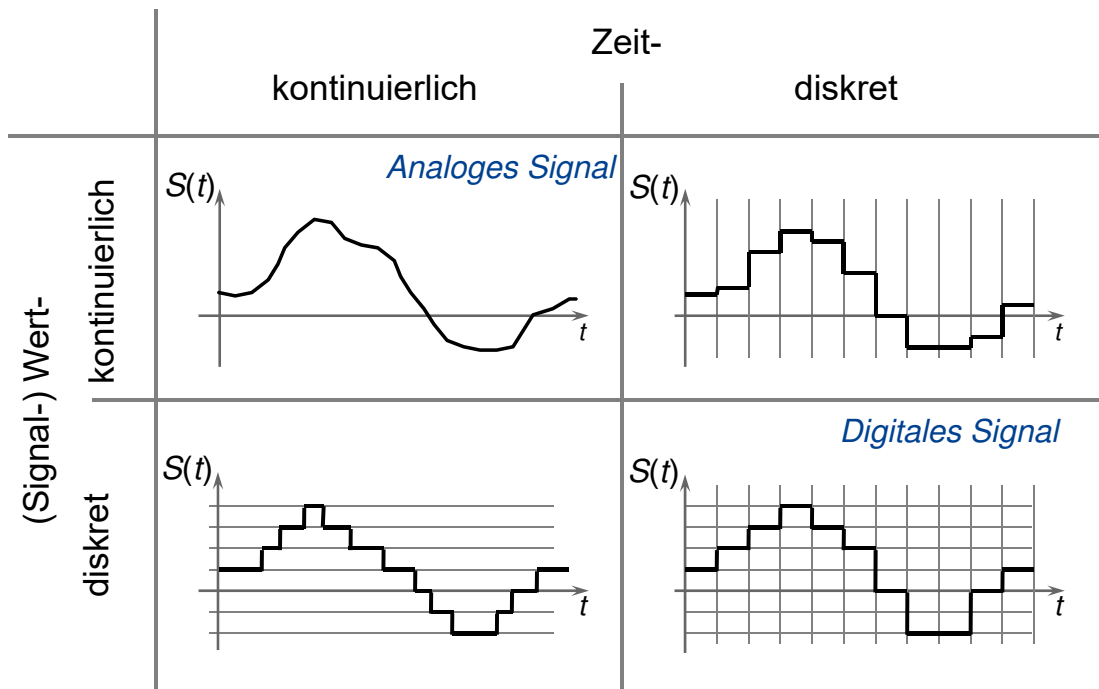
- ▶ Zeitkontinuierliche, signalwertkontinuierliche Signale
- ▶ Zeitdiskrete, signalwertkontinuierliche Signale
- ▶ Zeitkontinuierliche, signalwertdiskrete Signale
- ▶ Zeitdiskrete, signalwertdiskrete Signale

Abhängig vom gewählten Medium können unterschiedliche Signalformen zur Datenübertragung verwendet werden. Zunächst soll eine generelle Einteilung von Signalen vorgenommen werden.

Ortsabhängige und somit räumliche Signale werden bevorzugt für das Speichern von Daten verwendet. Dazu zählen beispielsweise optische Speicher (wie beschriebenes oder bedrucktes Papier), optische Platten (wie CD-R oder DVD) oder magnetische Speicher wie z.B. die Festplatte.

Zeitabhängige Signale werden bevorzugt für das Verarbeiten und die Übertragung von Daten verwendet. Als Grundsatz gilt dabei: Jedes ortsabhängige Signal ist in ein zeitabhängiges Signal überführbar („Lesen“, Abtasten) und umgekehrt („Schreiben“, Aufzeichnen). Diese Vorlesung behandelt ausschließlich zeitabhängige Signale.

Für die Klassifikation von Signalen sind die Parameter „Zeit“ und „Signalwert“ von besonderem Interesse. Signale werden häufig durch Ihren Signalwert dargestellt, der von der Zeit abhängt.



Die auf nachrichtentechnischen Kanälen eingesetzten Signale lassen sich in vier Klassen einordnen. Die Signalklassen machen eine Aussage über den Signalverlauf, welcher durch seinen Signalwert-Verlauf (y-Achse s) über die Zeit (x-Achse t) bestimmt ist. Die unterschiedlichen Signalklassen ergeben sich aus der Kombination des Wert- und Zeitverlaufs:

- Kontinuierlich: stetiger Verlauf (kein Abstand zwischen je zwei Punkten)
- Diskret: sprunghafter Verlauf (Einschränkung auf bestimmte Werte)

Der kontinuierliche und der diskrete Fall können in beliebigen Kombinationen auf Wert- und Zeitverlauf angewendet werden. Insgesamt können somit 4 Signalklassen unterschieden werden:

- Signal- und zeitkontinuierlich: z.B. analoges Telefon, Rundfunk: Weder der Signalwert, noch der Zeitverlauf wird zerhackt. Das entspricht dem klassischen analogen Signal.
- Signalkontinuierlich und zeitdiskret: z.B. periodisches Messen von analogen Werten eines technischen Prozesses: Der technische Prozess könnte z.B. ein Überwachungsprozess sein, in dem von einem Sensor alle 10 Sekunden oder auch auf Anfrage die bestehende Lichtintensität in [Lux] gemeldet wird.
- Signaldiskret: digitale Übertragung mit beliebigen Signalwechseln (zeitkontinuierlich) oder festem (meist isochronem) Taktraster (zeitdiskret). In diesem Fall spricht man von einem digitalen Signal.

Die zweiwertige digitale Übertragung (Binärübertragung) ist ein Spezialfall des signaldiskreten Verlaufs, da hier die zulässigen Signalwerte auf zwei begrenzt werden. Dieser Spezialfall wird in der Praxis oft verwendet (siehe im weiteren Verlauf des Kapitels: Leitungscodes).

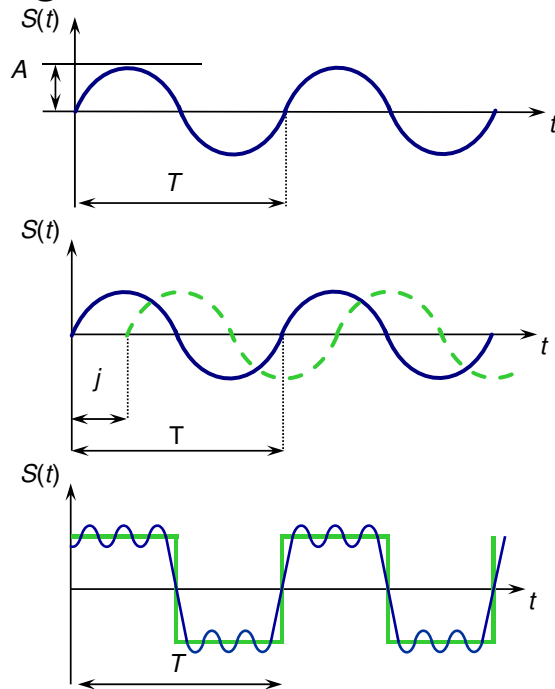
Es gibt mehrere Verfahren im Bereich der Datenkommunikation, um ein Signal einer bestimmten Klasse in ein Signal einer anderen Klasse zu wandeln. Hierbei ist die Wandlung vom kontinuierlichen zum diskreten Fall von besonderer Relevanz: Die Digitalisierung in der Datenkommunikation bedeutet, dass signal-/zeitkontinuierliche Signale in entsprechende diskrete Signale gewandelt werden. Das bedeutendste und am meisten verbreitete Kommunikationssystem, welches eine solchen Wandlung benutzt, ist das Fernsprechen, also das Telefonnetz. Zur Analog-Digitalwandlung wird dort das Pulse Code Modulation (PCM)-Verfahren eingesetzt, welches im weiteren Verlauf dieses Kapitels noch kurz erläutert wird.

- **Kenngößen periodischer Signale:**

- ▶ Periode T , Frequenz $f = 1/T$, Amplitude A , Phase j

- **Beispiele:**

- ▶ Sinus-Schwingung
- ▶ Phasendifferenz j
- ▶ Rechteckschwingung



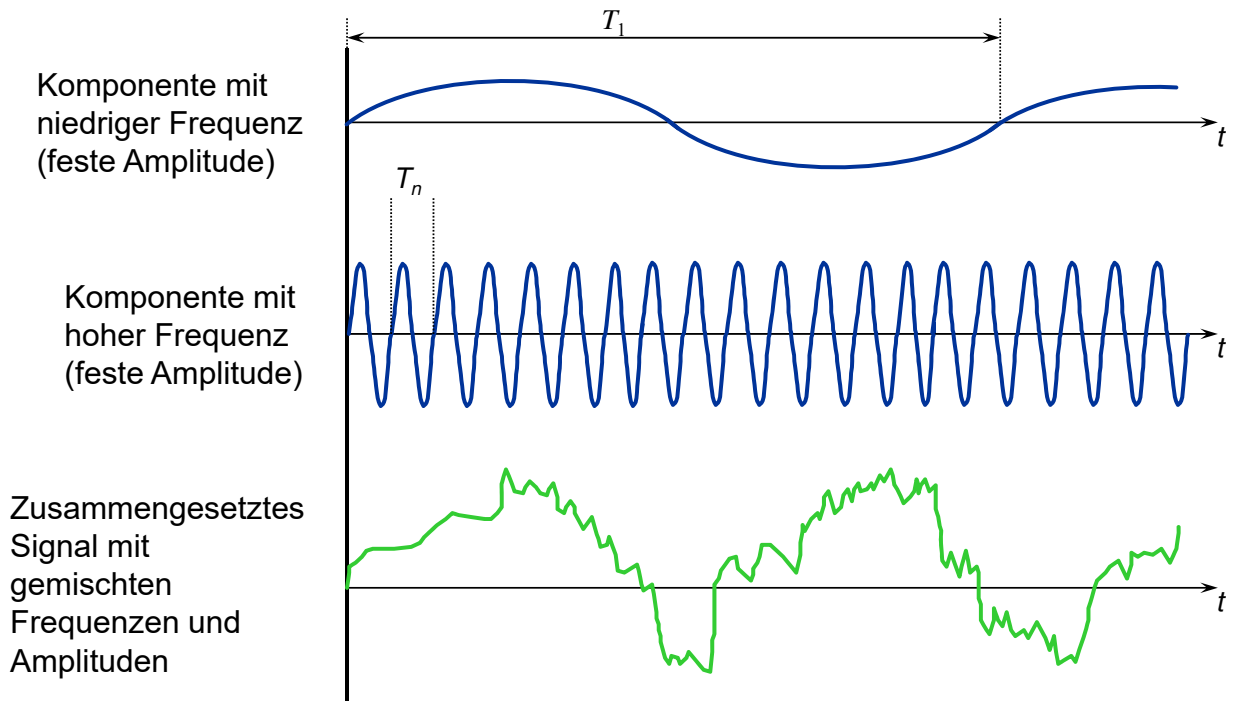
Zur Übertragung werden häufig periodische Sinus-Schwingungen verwendet, wie sie im ersten Beispiel dargestellt sind. Auf dieser Folie wird für die Darstellung der periodischen Signale eine Zeitfunktion gewählt, welche eine Zuordnung von Signalwert und Zeit vornimmt.

Sinus-Schwingungen sind durch die folgenden Parameter gekennzeichnet:

- Periode T : Gibt die zeitliche Dauer einer Schwingung an. Der Kehrwert der Periode ist die Frequenz f , die in Hertz [Hz] angegeben wird.
- Amplitude A : Die Amplitude beschreibt die maximale Auslenkung der Schwingung vom Mittelwert.
- Phase φ : Beschreibt die aktuelle Position im Ablauf einer Schwingung. Wird verwendet, um die Verschiebung des Beginns einer Sinus-Schwingung gegenüber einem idealisierten Nullpunkt anzugeben, wie im zweiten Beispiel gezeigt.

Zur Übertragung digitaler Signale kann z.B. eine Folge positiver und negativer Spannungen auf ein Kupferkabel gegeben werden: +1 Volt für eine 1, -1 Volt für eine 0. Auch dies kann als Schwingung angesehen werden. Mit Sinus-Schwingungen lässt sich, wie im dritten Beispiel angedeutet, solch eine (digitale) Signalfolge darstellen. Häufig wird dazu eine idealisierte Rechteckschwingung mit senkrechten Flanken angenommen, welche allerdings in der Realität nicht übertragen werden kann. Das liegt darin begründet, dass dazu theoretisch eine Sinus-Schwingung mit unendlich hoher Frequenz benötigt wird, was wiederum eine unendliche Bandbreite des Mediums voraussetzt (Erläuterung auf den nächsten Folien).

Zusammengesetzte Signale

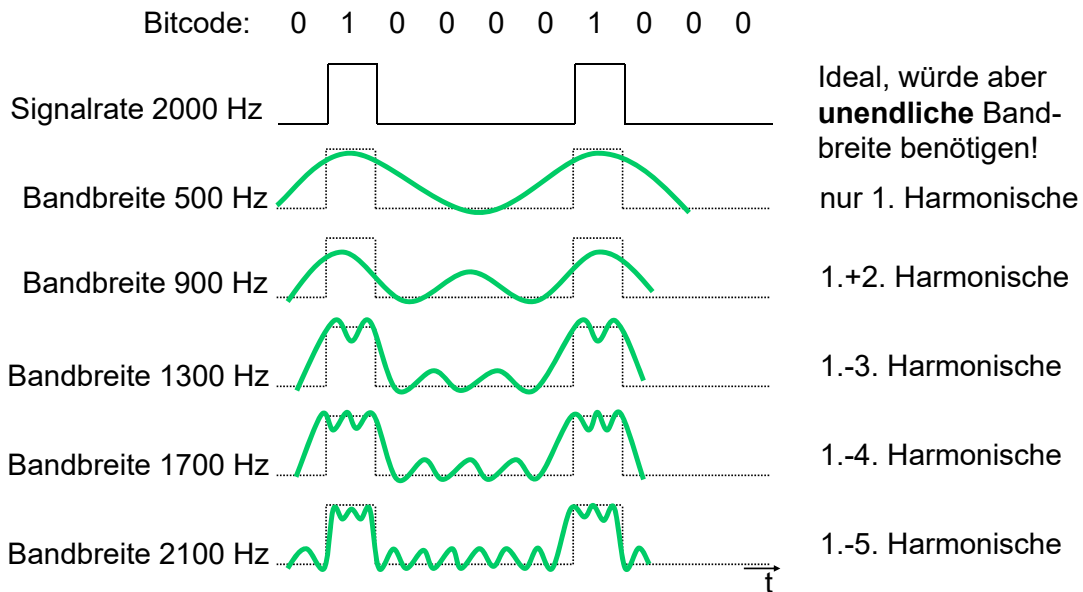


Eine Eigenschaft elektromagnetischer Schwingungen ist, dass sich verschiedene Schwingungen bei gleichzeitiger Übertragung über ein Medium vermischen: es entsteht eine Schwingung, deren Verlauf sich aus einer Addition der jeweils zu einem Zeitpunkt vorliegenden Amplituden aller Schwingungen ergibt.

Je nach Mischung verschiedener Sinus-Schwingungen entsteht eine mehr oder weniger irreguläre Schwingung, wie unten auf der Folie dargestellt.

Ideale Sinus-Schwingungen werden auch harmonische Schwingungen genannt.

Bandbreite des Übertragungssystems



Bandbreite eines Medium bestimmt, wie gut Rechteckschwingung approximiert werden kann



II-16

Betrachten wir dies umgekehrt: egal, auf welchem Medium man ein Signal überträgt, es setzt sich aus harmonischen Schwingungen zusammen.

Versucht man, ein digitales Signal zu übertragen (Rechteckschwingung, ganz oben auf der Folie), klingt dies erst mal simpel: warum nicht einfach für eine bestimmte Zeitdauer z.B. auf einem Kuperkabel für eine 1 einen Spannungspuls von +1 Volt erzeugen, für eine 0 einen Spannungspuls von -1 Volt. Auf einem Kupferkabel wird solch ein Signal dann allerdings als "Gemisch" von harmonischen Schwingungen übertragen, die überlagert die idealisierte Rechteckschwingung ergeben. Die sogenannte Fourier-Transformation erlaubt es, ein Eingangssignal dahingehend zu analysieren, welche harmonischen Schwingungen (Frequenz und Amplitude) überlagert werden müssen, um das Eingangssignal zu erzeugen. Die Fourier-Analyse soll hier nicht weiter betrachtet werden; wichtig ist nur das Ergebnis: zur Darstellung einer Rechteckschwingung werden unendliche viele harmonische Schwingungen benötigt, d.h. auch Schwingungen mit unendlich hoher Frequenz.

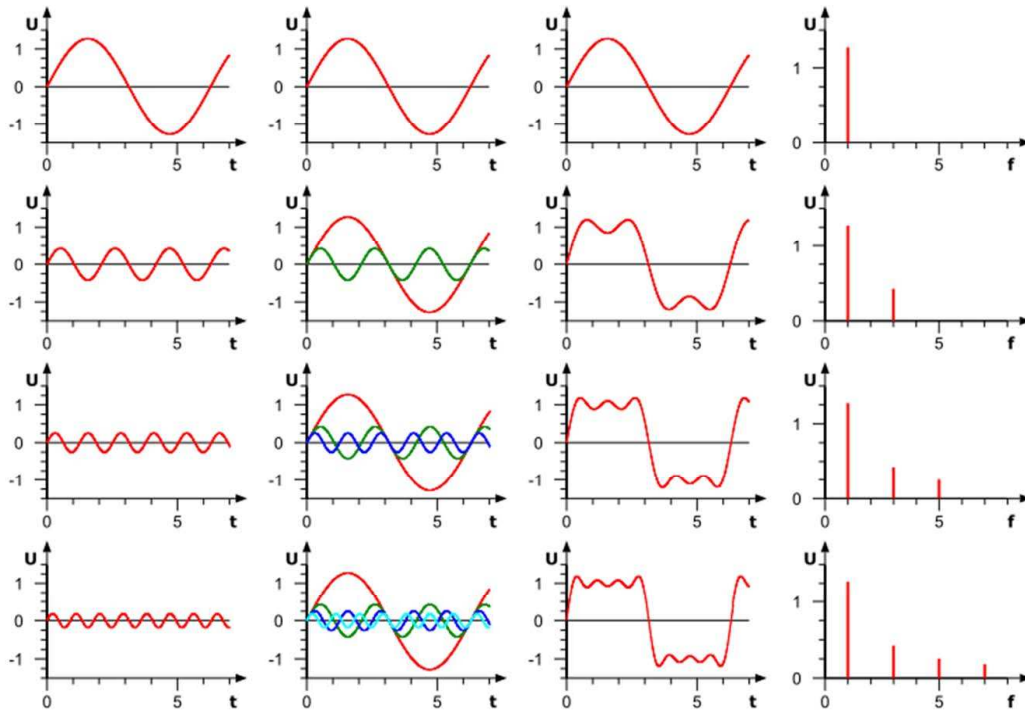
Dies ist aber nur bei unendlicher Bandbreite möglich. Mit Bandbreite bezeichnet man die Breite des Frequenzspektrums, welches über ein Medium übertragen werden kann. Um die harten Pegelwechsel an den Flanken der Rechteckschwingung darzustellen, braucht man unendlich hohe Frequenzen, damit auch eine unendliche Bandbreite. Je nachdem, welches Frequenzspektrum ein Medium übertragen kann, spricht man davon, welche Bandbreite es hat. Der Einfluss der Bandbreite auf die Darstellung der idealisierten Rechteckschwingung ist auf der Folie dargestellt.

Nebenbemerkung: die Grundschiwingung des Signals wird als 1. Harmonische bezeichnet. Die 2. Harmonische hat die doppelte Frequenz der Grundschiwingung, die 3. Harmonische die dreifache Frequenz usw. Die Periode der Grundschiwingung entspricht bei periodischen Signalen der Periode der zu übertragenden Signals.

Von der nutzbaren Bandbreite hängt auch die erreichbare Signalrate ab (d.h. letztendlich auch die Datenrate, da mit jedem Signal eine bestimmte Anzahl von Bits übertragen wird) – je mehr Wechsel eines Parameterwerts man pro Sekunde vornimmt, desto höhere Frequenzen werden zur Darstellung benötigt, um das Signal auf Empfängerseite wieder korrekt interpretieren zu können; je geringer die Bandbreite ist, desto weniger Signale (und damit auch Bit) können pro Sekunde auf das Medium gegeben werden.

Die Abhängigkeiten zwischen Signalrate und Bandbreite werden durch die Formeln von Nyquist und Shannon beschrieben, die im Folgenden noch behandelt werden.

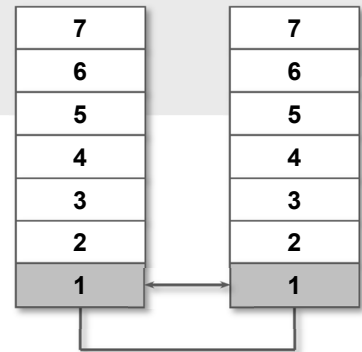
Beispiel: Erzeugung einer Rechteckschwingung



Auf der Folie sieht man dies noch einmal anders dargestellt: die erste Spalte zeigt verschiedene harmonische Schwingungen mit unterschiedlichen Amplituden. In der zweiten Spalte werden die zeilenweise hinzugefügten harmonischen Schwingungen gemeinsam gezeigt, die dritte Spalte zeigt jeweils das Signal, welches aus Überlagerung der betrachteten harmonischen Schwingungen resultiert. Man kann sehen, dass sich das Signal immer weiter einer Rechteckschwingung annähert.

Die vierte Spalte zeigt eine übliche Darstellung, wie sie die Analyse eines überlagerten Signals liefern würde – es ist dargestellt, welche harmonischen Schwingungen mit welcher Amplitude im überlagerten Signal enthalten sind. Diese Darstellung ist äquivalent zu der in der zweiten Spalte, allerdings übersichtlicher.

- **Grundlagen**
 - ▶ Übertragungsmedien
 - ▶ Signale und Bandbreite
- **Übertragung von Signalen**
 - ▶ Umformung, Basisband, Modulation
 - ▶ Übertragungsparameter, Störeinflüsse
 - ▶ Leitungscodes und Modulationsverfahren
 - ▶ PCM
- **Kanalnutzung**
 - ▶ Multiplexing



- **Zur Übertragung erforderlich:**
 - ▶ Umformung des primären Quellsignals in das Eingabesignal des Mediums
 - ▶ Rückformung des Ausgabesignals in das primäre Senkensegment
- **Verfahren:**
 - ▶ *Analog → Analog:*
 - Ursprüngliches Telefon (engl.: POTS = Plain Old Telephone System), (analoger) Rundfunk
 - ▶ *Analog → Digital:*
 - Digitale Telefonie, Voice-over-IP (VoIP)
 - ▶ *Digital → Analog:*
 - Digitaldatenübertragung über analoges Netz (MODEM-Technik, DSL) oder mittels Funk-/Satellitentechnik
 - ▶ *Digital → Digital:*
 - Leitungscodierung im Basisbandverfahren

Ein wesentlicher Aspekt des Übertragungssystems ist, welche Art von Signalen verwendet werden, um Daten über ein bestimmtes Medium zu transportieren, und wie die Umformung des primären Signals auf das medienbezogene Signal stattfindet. Im Modell des Übertragungssystems ist eine Umformer- und eine Rückformer-Einheit vorgesehen, welche das Übertragungsverfahren durchführt.

Je nach Art des primären Signals und des medienbezogenen Signals können vier Arten von Umformung gebildet werden.

- **Bei digitalen Kanälen wird im Wesentlichen unterschieden zwischen:**
 - ▶ „Direkte“ Weitergabe des Primärsignals
 - Umformung digital \leftrightarrow digital
 - *Basisbandübertragung*
 - ▶ Aufprägung des Primärsignals auf harmonische Trägerschwingung, d.h. Primärsignale werden einer Trägerfrequenz aufmoduliert
 - Umformung digital \leftrightarrow analog
 - Amplitudenmodulation
 - Frequenzmodulation
 - Phasenmodulation
- **Zudem: Umwandlung analog \leftrightarrow digital**
 - ▶ Z.B. Digitalisierung von Sprache zur Übertragung über digitale Kanäle

Die Umformung analog \leftrightarrow analog spielt in der Datenkommunikation keine große Rolle. Die anderen Konvertierungen sind allerdings (je nach verwendetem Medium) nötig.

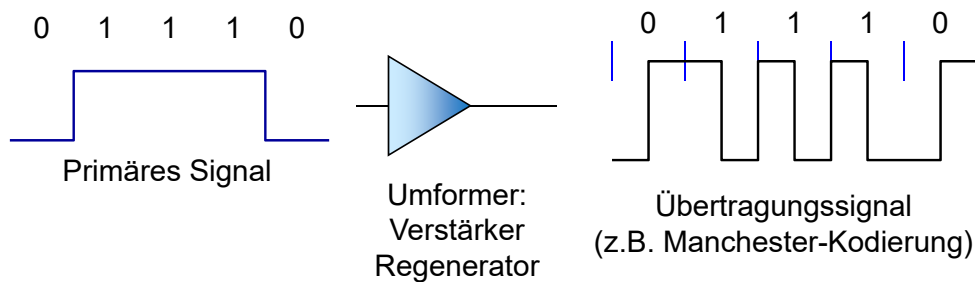
Die einfachste Form eines Übertragungsverfahrens besteht darin, das rechteckförmige primäre Signal direkt mit einer eventuellen Pegelanpassung (also Verstärkung) in das Medium einzuspeisen. Dieses Übertragungsverfahren nennt man *Basisbandübertragung*. Es kommt beispielsweise auf Kupferkabeln in Ethernet zum Einsatz. (Dies wurde auch zuvor bereits als Beispiel betrachtet: das primäre Signal ist die Darstellung zweier unterschiedlicher Zustände für Nullen und Einsen, das Eingangssignal ein Wechsel zwischen den Spannungszuständen +1 und -1 Volt.)

Bei der Übertragung über ein analoges Medium nutzt man eine geeignete Trägerschwingung dazu, das eigentliche (digitale) Nutzsignal möglichst störungsfrei durch das Medium zu übertragen. Bildlich könnte man diese Idee so erklären, dass das eigentlich schwache und verletzbare Signal in einen stabilen Transportbehälter eingepackt wird und nach dem Transport auf der Seite der Senke wieder ausgepackt wird.

Nun handelt es sich hier nicht um einen Transportbehälter, sondern eben um eine *Trägerschwingung*. Das Einpacken entspricht hier dem Aufmodulieren des Nutzsignals auf die Trägerschwingung, das Auspacken ist in diesem Fall das Demodulieren. Kommt als Übertragungsverfahren die Amplituden-, Frequenz- oder Phasenmodulation zum Einsatz, so wird der Umformer als Modulator, der Rückformer als Demodulator bezeichnet. Diese Übertragungsverfahren werden im Folgenden noch besprochen.

Unterstützt das Übertragungssystem beide Übertragungsrichtungen, so werden die beiden Komponenten zusammengefasst als *Modem* bezeichnet.

Auch die Konvertierung analoger Quellsignale in digitale Signale ist möglich – dies findet z.B. bei der Telefonie statt, wo analoge Sprachsignale in digitale Signale überführt werden, die dann übertragen werden. Diese digitalen Sprachdaten werden dann allerdings wieder umgeformt, um auf einem Medium (Telefonkabel oder Funk) übertragen werden zu können. Mehrere Signalkonversionen können also hintereinander ausgeführt werden, wobei Analog Analog und Analog Digital nie verlustfrei ist!



- **Einfachste Form der Signalwandlung:**

- ▶ Umformung digital → digital
- ▶ Primäres Signal muss an Mediencharakteristik angepasst werden
- ▶ Abbildungsvorschrift auf das Übertragungssignal wird als *Leitungscodierung* bzw. Übertragungscodierung bezeichnet

Basisbandübertragungsverfahren

Hier werden die digitalen Daten einfach als digitale Signale, d.h. im Beispiel von Kupferkabel als Folge von Rechteckspannungen übertragen. Das Medium muss zur Übertragung von Gleichstrom (lange 0- oder 1-Folgen) fähig sein.

Die moderne digitale Übertragungstechnik verwendet Basisbandverfahren bis in den Gigabit-Bereich (Bekanntestes Beispiel: Ethernet). Dabei sind folgende Eigenschaften angestrebt:

- Da unter Umständen eine große Anzahl gleicher Werte auftreten kann (z.B. eine längere Folge von 111...11), kann eine Gleichstromkomponente auftreten. Gewünscht ist eine Eliminierung des Gleichstromanteils.
- Wiedergewinnung des Takts aus dem Signal (selbsttaktender Code)
- Erkennung von Signalfehlern auf Signalebene

Zum Erreichen dieser Eigenschaften benutzt man meist bestimmte Leitungscodes. Die Zuordnungsvorschrift, welche das digitale Primärsignal auf das (ebenfalls digitale) Übertragungssignal abbildet, wird Leitungscodierung bzw. Übertragungscodierung genannt.