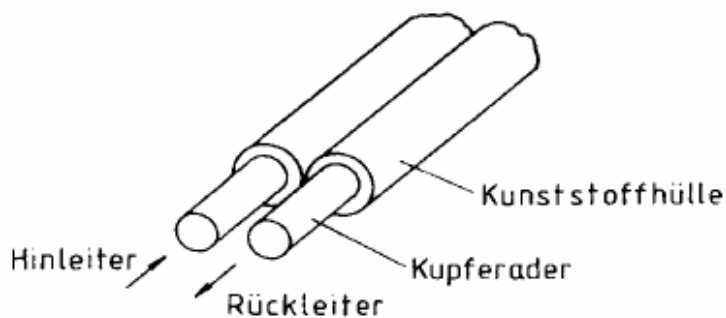


## Das Kupferkabel als Übertragungsmedium

Kupferkabel gehören zu den leitungsgebundenen Übertragungsmedien. Sie sind metallische Leiter und können weiter unterteilt werden in symmetrische Kabel und Koaxialkabel.

### Symmetrische Kabel



Symmetrische Kabel sind Niederfrequenzkabel. Sie wurden in letzter Zeit aber für die Übertragung hochfrequenter Signale weiterentwickelt.

Sie enthalten gleichstarke Einzeladern aus Kupfer, die durch Kunststoffhüllen voneinander isoliert sind. Man nennt die Leitungen symmetrisch, weil Hin- und Rückleiter eines Aderpaares

gleichartig aufgebaut sind.

In einem Kabel mit symmetrischen Leitungen entsteht zwischen den einzelnen Adern ein elektrisches und um jede Ader ein magnetisches Feld. Diese Effekte beeinflussen das zu übertragende Signal. Durch Verdrillen der Leitungen können diese vermindert werden.

Kabel, bei denen die Adern paarweise verdreht sind, werden als *twisted-pair-Kabel* bezeichnet während beim sogenannten *Sternvierer-Kabel* jeweils vier Adern miteinander verdreht sind.

Verdrillte Kabel werden außerdem bezüglich ihrer Abschirmung unterschieden. Bei *shielded twisted pair* (STP) verfügt jedes Aderpaar über eine eigene Abschirmung in Form einer Aluminiumfolie. Diese Schirmung reduziert das Übersprechen von Signalen zwischen den einzelnen Aderpaaren. *Unshielded twisted pair* fehlt diese Einzelabschirmung. Unabhängig davon kann ein *twisted-pair-Kabel* über eine Gesamtabschirmung verfügen, die alle Aderpaare umschließt. Damit wird zum einen die Abstrahlung von Hochfrequenzsignalen nach außen vermindert. Zum anderen schützt eine Abschirmung nach außen vor störenden Einflüssen aus der Umwelt. Die Gesamtabschirmung kann aus einem Kupfergeflecht, einer Aluminiumfolie oder aus beidem bestehen.

Symmetrische Kabel haben die Eigenschaft, hohe Frequenzen stark zu dämpfen. Sie leiten niederfrequente Signale wesentlich besser als hochfrequente und werden deshalb typischerweise für nicht modulierte Signale wie im Bereich der analogen Telefonverkabelung im und zum Haus genutzt. Bei der digitalen Übertragung sind durch aufwendige Fehlerkorrekturverfahren auch Übertragungsraten bis zu 1 Mbit/s zu erreichen. Eine typische Anwendung für symmetrische Kabel ist ISDN.

Bei metallischen Leitern für die Datenübertragung spielen folgende Eigenschaften eine wichtige Rolle:

Zur Vermeidung von Reflexionen hochfrequenter Signale am Ende einer Leitung muss diese mit einem Widerstand abgeschlossen werden, der dem *Wellenwiderstand* (oder Impedanz) des Kabels entspricht. Der Wellenwiderstand eines Kabels ist ein komplexer Widerstand; er enthält neben ohmschen Anteilen auch Kapazitäten und Induktivitäten. Der Wellenwiderstand ist weitgehend frequenzunabhängig

und kann bei der Konstruktion des Kabels festgelegt werden.

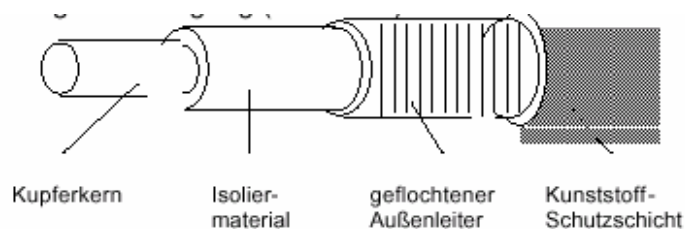
Elektrische Signale werden bei der Übertragung gedämpft, d.h. in ihrer Energie gemindert. Die *Dämpfung* nimmt mit höheren Frequenzen und größerer Kabellänge zu.

Da sich bei symmetrischen Kabeln mehrere Adernpaare in einem Kabel befinden, kommt es zwangsläufig durch elektromagnetische Kopplung zu einer unerwünschten Übertragung der Signale eines Adernpaares auf andere. Dieser Effekt wird als *Nebensprechen* und die damit verbundene Störung als *Nebensprechrauschen* bezeichnet. Gute Kabel weisen eine hohe Dämpfung gegen das Nebensprechrauschen auf. Shielded-twisted-pair-Kabel weisen aufgrund der Abschirmung einzelner Adernpaare eine deutlich bessere Nebensprechdämpfung auf.

Mit wachsender Kabellänge und Frequenz nimmt sowohl die Dämpfung eines Signals als auch das Nebensprechrauschen zu.

Dies sind die Gründe, warum sich symmetrische Kabel für die Übertragung von hochfrequenten Signalen nicht so gut eignen, dafür gibt es Koaxialkabel.

### Koaxialkabel



Koaxialkabel bestehen aus einem zentralen, massiven Innenleiter aus Kupfer und einem rohrförmigen Außenleiter, die durch ein isolierendes Dielektrikum (einen Kunststoffschlauch) getrennt sind. Der Außenleiter stellt gleichzeitig die Abschirmung des

Kabels dar. Koaxialkabel gehören zu den unsymmetrischen Kabeln, da Hinleiter (Innenleiter) und Rückleiter (Außenleiter) unterschiedliche Formen haben. Sie eignen sich gut für die Übertragung von Hochfrequenz bis in den GHz-Bereich. Die Unterschiede liegen vor allem in Durchmesser des Kabels und der Art des Dielektrikums, sowie in der Ausführung des Außenleiters. Dieser kann aus einem Kupfergeflecht mit oder ohne Aluminiumfolie bestehen und ist teilweise sogar doppelt ausgeführt. Betrachtet man die elektrischen Eigenschaften von Koaxialkabeln, so spielt auch hier der Wellenwiderstand eine wichtige Rolle. Zur Vermeidung von Reflexionen muss das Kabel am Ende mit einem Widerstand gleichen Wellenwiderstands abgeschlossen sein.

Wegen der hohen Bandbreite werden Koaxialkabel auch für die Übertragung von Hörfunk- und Fernsehprogrammen verwendet.

Kupferkabel erlauben aufgrund der Dämpfung bei höheren Bandbreiten und Übertragungsraten nur relativ kurze Übertragungsdistanzen. Dann muß das Signal mit entsprechendem technischen Aufwand

wieder regeneriert werden. Darf die Kupferdoppelader für einen normalen (schmalbandigen) Telefon oder ISDN- Anschluß heute durchaus länger als einen Kilometer sein, so reduziert sich diese Entfernung für die Übertragung von interaktiven Videodiensten auf wenige hundert Meter.

### **Frequenzbandbreite**

Die wichtigste Kenngröße von Signalen der Nachrichtentechnik ist die Frequenzbandbreite. Dabei geht man von der Tatsache aus, dass jeder beliebige komplizierte Zeitverlauf eines Signales, als Überlagerung von vielen einfachen Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz aufgefasst werden kann. Die Frequenzbandbreite ( auch Bandbreite genannt) gibt an, welchen Frequenzbereich die Teilschwingungen umfassen. Ein analoges Übertragungssystem kann umso mehr Informationen umfassen, je breitbandiger es ist. Mit Breitband wird aber auch ein Übertragungsverfahren bezeichnet, bei dem durch Frequenzmultiplexbetrieb ein Übertragungsmedium in mehrere unabhängige Kanäle (Frequenzbänder) aufgeteilt wird (= Breitbandübertragung). **Breitbandverfahren** Beim Breitbandverfahren wird das breite Frequenzspektrum des Mediums für mehrere parallele Kanäle verwendet. Es existiert eine Grundfrequenz, der Träger. In jedem Kanal wird die Information auf die Trägerfrequenz aufmoduliert, ohne andere Frequenzen zu stören. Das Breitband könnte also wie ein "Strang von Einzelleitungen" gesehen werden. Daher ist die gleichzeitige und unabhängige Übertragung mehrerer Nachrichten möglich.

### Nachrichtenübertragung durch Modulation

Modulation dient dazu, dass Signal an die physikalischen Eigenschaften des Übertragungsweges anzupassen. Das Verfahren der Modulation macht es außerdem möglich, mehrere Signal gleichzeitig über eine Verbindung zu übertragen. Dafür wird jedes Signal auf einen Träger anderer Frequenz aufmoduliert. Die modulierten Träger werden gemeinsam übertragen. Es gibt verschiedene Modulationsverfahren. Welches Verfahren eingesetzt wird, hängt davon ab, ob Nutzsignal und Träger jeweils digital oder analog vorliegen.

#### Amplitudenmodulation:

Nutzung 2er verschiedener Spannungspegel für 0 und 1

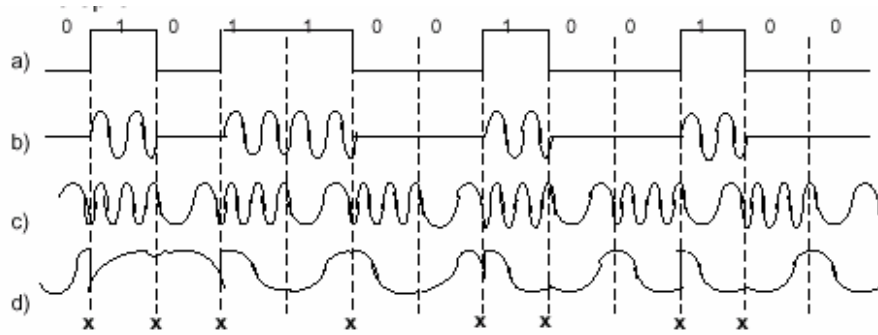
#### Frequenzmodulation:

Nutzung verschiedener Töne

#### Phasenmodulation :

Trägerwelle um n Grad versetzt (jeder Versatz überträgt 2 Datenbit)

*Bild:  
Aufbringen des  
Signals auf  
Trägermedium*



- a) Binäres Signal
- b) Amplitudenmodulation
- c) Frequenzmodulation
- d) Phasenmodulation (x Phasenwechsel)