

Bitübertragungsschicht  
oo

Vernetzungstechnologien  
oooo

Übertragungsmedien  
oooooooooooo

Geräte der Bitübertragungsschicht  
oo

## 8. Foliensatz

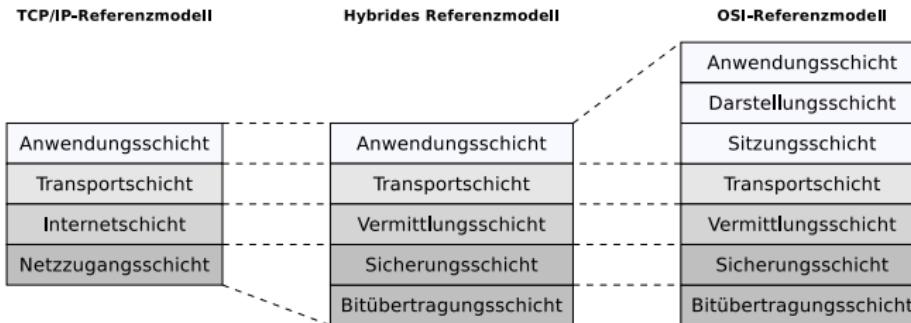
# Betriebssysteme und Rechnernetze

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences  
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)  
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften  
[christianbaun@fb2.fra-uas.de](mailto:christianbaun@fb2.fra-uas.de)

# Bitübertragungsschicht

- Aufgaben der Bitübertragungsschicht (Physical Layer):
  - Bitübertragung auf leitungsgebundenen oder leitungslosen Übertragungsstrecken
  - Bereitstellung von Vernetzungstechnologien und Übertragungsmedien
  - Rahmen der Sicherungsschicht mit Leitungscodes in Signale kodieren



- Geräte: Repeater, Medienkonverter, Hub (Multiport-Repeater)
- Protokolle: Ethernet, Token Ring, WLAN, Bluetooth,...

Übungsblatt 8 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes

# Sinnvolle Themen zur Bitübertragungsschicht...

- . . . und was aus Zeitgründen davon übrig bleibt. . .
  - Vernetzungstechnologien
    - Ethernet
    - ~~Token Ring~~
    - ~~Wireless LAN (WLAN)~~
    - ~~Bluetooth~~
  - Übertragungsmedien
    - Koaxialkabel
    - Twisted-Pair-Kabel
    - ~~Lichtwellenleiter~~
  - ~~Geräte der Bitübertragungsschicht~~
    - Repeater und Hubs
    - ~~Auswirkungen auf die Kollisionsdomäne~~
  - ~~Kodierung von Daten mit Leitungscodes~~
    - ~~NRZ, NRZI, MLT-3, RZ, Unipolares RZ, AMI, B8ZS, Manchester, Manchester II, Differentielles Manchester, 4B5B, 6B6B, 8B10B, 8B6T~~

# Ethernet (IEEE 802.3)

- In den 1970er Jahren u.a. von Robert Metcalfe am Xerox Palo Alto Research Center entwickelt
  - Diese erste Version des Ethernet arbeitete mit 2,94 Mbit/s
- 1983: IEEE-Standard mit 10 Mbit/s
- Seit den 1990er Jahren die meistverwendete LAN-Technik
  - Durch Ethernet wurden andere Standards wie Token Ring komplett verdrängt oder wie FDDI zu Nischenprodukten für Spezialanwendungen
- Es existieren zahlreiche Ethernet-Standards
  - Diese unterscheiden sich u.a. in der **Übertragungsrate** und dem **Übertragungsmedium**
    - Es existieren Versionen für Koaxialkabel, Twisted-Pair-Kabel und Glasfaser-Kabel bis maximal 40 Gbit/s
- Die **Anschlussart** an das Medium ist **passiv**
  - Das heißt das Netzwerkgeräte nur dann aktiv sind, wenn Sie selbst senden

# Einige Ethernet-Varianten

- Alle diese Varianten sind Erweiterungen von Thick Ethernet (10BASE5)

Standard	MBit/s	Übertragungsmedium
10BASE2/5	10	Koaxialkabel (50 Ohm Wellenwiderstand)
10BROAD36	10	Koaxialkabel (75 Ohm Wellenwiderstand)
10BASE-F	10	Glasfaserkabel
10BASE-T	10	Twisted-Pair-Kabel
100BASE-FX	100	Glasfaserkabel
100BASE-T4	100	Twisted-Pair-Kabel (Cat 3)
100BASE-TX	100	Twisted-Pair-Kabel (Cat 5)
1000BASE-LX	1.000	Glasfaserkabel
1000BASE-SX	1.000	Glasfaserkabel (Multimode-Fasern)
1000BASE-ZX	1.000	Glasfaserkabel (Singlemode-Fasern)
1000BASE-T	1.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 5)
1000BASE-TX	1.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 6)
2.5GBASE-T	2.500	Twisted-Pair-Kabel (Cat 5e)
5GBASE-T	5.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 6)
10GBASE-SR	10.000	Glasfaserkabel (Multimode-Fasern)
10GBASE-LR	10.000	Glasfaserkabel (Singlemode-Fasern)
10GBASE-T	10.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 6A)
40GBASE-T	40.000	Twisted-Pair-Kabel (Cat 8.1)

- 2 Übertragungsverfahren existieren:
  - Basisband** (BASE)
  - Breitband** (BROAD)

## Namensschema

- 1.Teil: Übertragungsrate
- 2.Teil: Übertragungsverfahren (Basisband oder Breitband)
- 3.Teil: 100facher Faktor der maximalen Segmentlänge oder das Medium

## 10BASE5 z.B. bedeutet...

- Übertragungsrate: 10 MBit/s
- Übertragungsverfahren: Basisband
- Maximale Segmentlänge:  $5 * 100\text{m} = 500\text{m}$

# Ethernet-Varianten – Basisband (BASE)

- Fast alle Ethernet-Standards verwenden das Basisband-Übertragungsverfahren (BASE)
  - Einzige Ausnahme: 10BROAD36
- Basisbandsysteme haben **keine Trägerfrequenzen**
  - Das heißt die **Daten werden direkt (im Basisband) auf dem Übertragungsmedium übertragen**
- Digitale Signale werden direkt als Impulse in das Kabel oder den Lichtwellenleiter eingespeist und belegen die komplette Bandbreite des Kabels oder einen Teil davon
  - Ungenutzte Bandbreite kann nicht für andere Dienste genutzt werden

Kurz gesagt...

Basisbandsysteme bieten nur **einen Kanal**

# Ethernet-Varianten – Breitband (BROAD)

Bildquelle: AVM

- Die Daten werden auf eine **Trägerfrequenz aufmoduliert**
  - Dadurch können mehrere Signale gleichzeitig in **unterschiedlichen Frequenzbereichen** (Trägern) übertragen werden
- Ausschließlich 10BROAD36 verwendet das Breitbandverfahren
  - Wegen hoher Hardwarekosten für die Modulation war das System wirtschaftlich kein Erfolg
- Das Breitbandkonzept konnte sich bei Ethernet nicht durchsetzen, wird aber heute in viele Bereichen der Nachrichtenübermittlung und Telekommunikation verwendet

## Beispiele für Anwendungsbereiche des Breitbandkonzepts

- Das Kabelfernsehnetz, in dem verschiedene Fernsehkanäle, und mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen auch Radiokanäle, Telefon und Internet zur Verfügung stehen
- Das Elektrizitätsnetz, über das auch Netzwerkverbindungen aufgebaut werden können (⇒ Powerline Communication)



# Übertragungsmedien

- Es existieren verschiedene Übertragungsmedien für Computernetze

## ① Leitungsgebundene Übertragungsmedien

- **Elektrischer Leiter** aus Kupfer: Daten werden über Twisted-Pair-Kabel (verdrillte Kabel) oder Koaxialkabel als elektrische Impulse übertragen
- **Lichtwellenleiter**: Daten werden als Lichtimpulse übertragen

## ② Nicht-leitungsgebundene Übertragung (drahtlose Übertragung)

- **Gerichtet:**

- **Funktechnik**: Daten werden als elektromagnetische Wellen (Radiowellen) im Radiofrequenzbereich übertragen. Beispiele sind WLAN und Satelliten-Direktfunk
- **Infrarot**: Daten werden als elektromagnetische Wellen im Bereich des unsichtbaren Spektrums übertragen. Ein Beispiel ist IrDA
- **Laser**: Daten werden via Laser-Bridge als Lichtimpulse übertragen

- **Ungerichtet:**

- Ungerichtete Übertragung basiert immer auf Funktechnik. Anwendungsbeispiele sind Mobilfunk, LTE, terrestrischer Rundfunk und Satelliten-Rundfunk

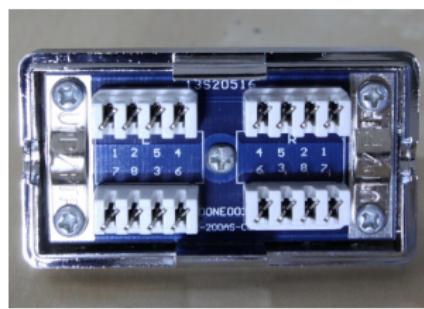
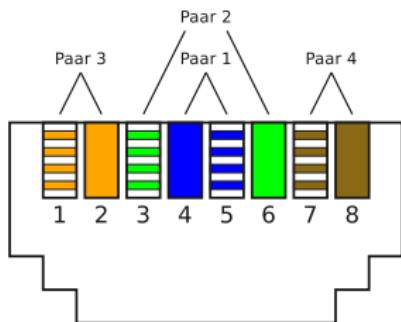
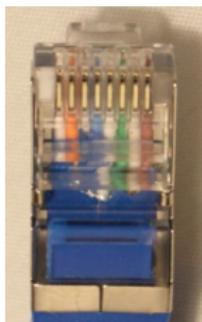
# Koaxialkabel (*Koaxkabel*)



- Zweipolare Kabel mit konzentrischem (koaxialem) Aufbau
- Der innere Leiter (**Seele**) führt das Signal
- Der äußere Leiter liegt auf Masse (Grundpotential) und umhüllt den inneren vollständig
  - Die Abschirmung des signalführenden Leiters durch die Umhüllung mit der Masse reduziert elektromagnetische Störungen

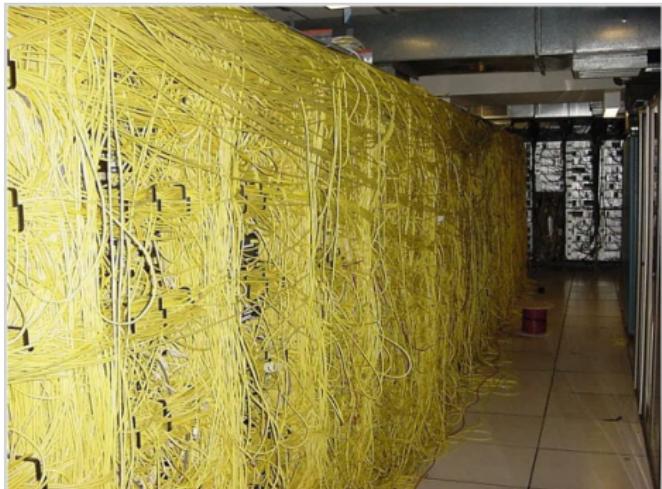
## Twisted-Pair-Kabel – *verdrillte Kabel* (1/2)

- Die Adern von Twisted-Pair-Kabeln sind paarweise miteinander verdrillt
- Verdrillte Adernpaare bieten besseren Schutz gegen magnetischen Wechselfelder und elektrostatische Beeinflussungen von außen als Adern, die nur parallel geführt sind
- Alle Varianten des Ethernet-Standards, bei denen Twisted-Pair-Kabel das Übertragungsmedium sind, verwenden Stecker und Buchsen nach dem Standard 8P8C, die meist RJ45 genannt werden



## Twisted-Pair-Kabel – verdrillte Kabel (2/2)

- Seit den 1990er Jahren sind Twisted-Pair-Kabel, sowie RJ45-Stecker und -Buchsen **Standard für kupferbasierte IT-Vernetzung**



Bildquelle: memegenerator.net

Warum 2 Paare zum Senden und Empfangen?

Siehe „Komplementärsignal“ auf Folie 14

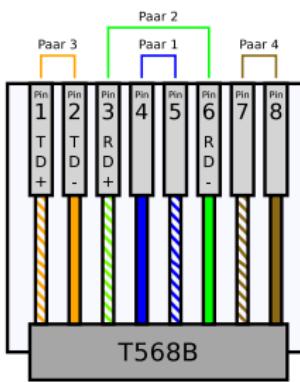
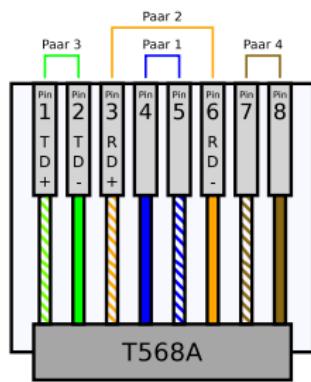
- Ethernet 10BASE-T und Fast-Ethernet 100BASE-TX verwenden nur 2 Aderpaare zum Senden und Empfangen
- Das ermöglicht **Ethernet Splitter**



- Fast-Ethernet 100BASE-T4 und Gigabit-Ethernet 1000BASE-T verwenden alle 4 Aderpaare zum Senden und Empfangen

# Pinbelegung

- T568A und T568B sind Standards für die Pinbelegung der RJ45-Stecker und -Buchsen und werden bei Ethernet 10BASE-T, Fast-Ethernet 100BASE-TX und Gigabit-Ethernet 1000BASE-T verwendet
  - Unterschied: Die Aderpaare 2 und 3 (grün und orange) sind vertauscht
  - In einem Computernetz dürfen T568A und T568B nicht gemischt werden



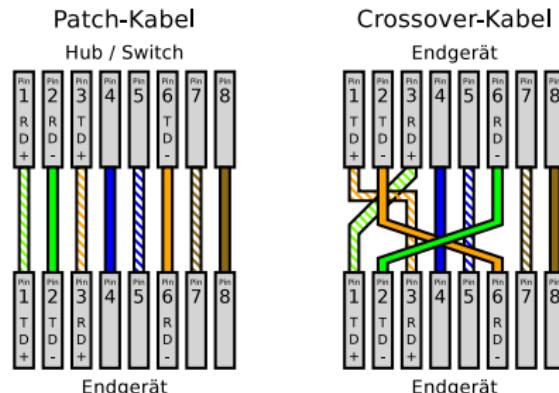
Das ist T568B

Bei 10BASE-T sind 4 PINs belegt – die übrigen Adernpaare werden nicht verwendet

- TD+ und TD- (Trancieve Data) sind das Signalpaar für den Datenausgang
- RD+ und RD- (Recieve Data) das Signalpaar für den Dateneingang

# Crossover-Kabel und Patch-Kabel

- 2 Endgeräte direkt verbindet man via **Crossover-Kabel**
  - Es verbindet die Dateneingänge und -ausgänge von Geräten miteinander
- > 2 Netzwerkgeräte vernetzt man mit **Patch-Kabeln (1:1-Kabeln)**
  - In diesem Fall benötigt man einen Hub oder Switch



- Manche Hubs und Switches haben einen **Uplink-Port** zur Verbindung mit einem weiteren Hub oder Switch
  - Der Uplink-Port ist intern gekreuzt

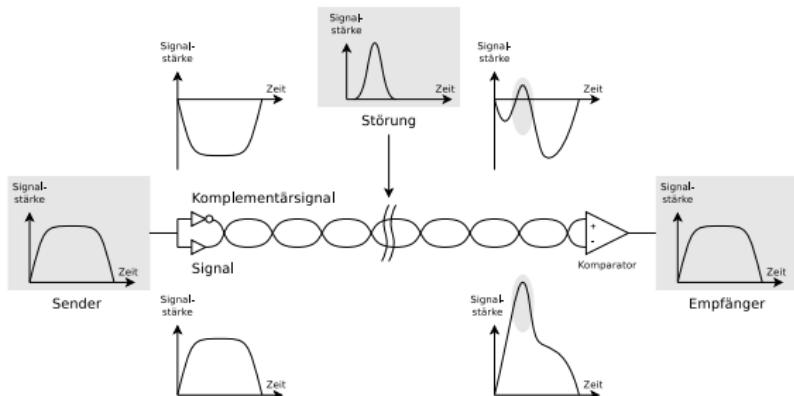
## Auto-MDIX ermöglicht die beliebige Verwendung von Crossover-Kabeln und 1:1-Kabeln

- Moderne Netzwerkgeräte erkennen selbstständig die Sende- und Empfangsleitungen verbundener Netzwerkgeräte
- Alle Netzwerkgeräte, die Gigabit-Ethernet 1000BASE-T oder schneller beherrschen, unterstützen Auto-MDIX

# Komplementärsignal

Quelle: Jörg Rech. Ethernet. Heise. 2008 und Wikipedia

- Über das Adernpaar wird jeweils ein Komplementärsignal gesendet (auf einer Ader 0V bis +2,8V und auf der anderen Ader 0V bis -2,8V)
  - So kann der Empfänger **Leitungsstörungen herausfiltern**
  - Zudem wird die **elektromagnetische Abstrahlung reduziert**



- Signalamplitude von Leitung A = Nutzsignal + Störsignal
- Signalamplitude von Leitung B = -Nutzsignal + Störsignal

- Differenz der Signalamplituden von Leitung A und von Leitung B beim Empfänger:  $[+ \text{Nutzsignal} + \text{Störsignal}] - [- \text{Nutzsignal} + \text{Störsignal}] = 2 * \text{Nutzsignal}$
- Ergebnis: Unabhängig von der Höhe des Störsignals bleibt die Differenz zwischen Nutzsignal und Komplementärsignal gleich

# Schirmung bei unterschiedlichen Twisted-Pair-Kabeln

- Ein elektrisch leitender Schirm bietet zusätzlich Schutz gegen äußere elektromagnetische Felder

Bezeichnung	Name	Gesamtschirm	Paarschirm
UUTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>	keiner	keiner
UFTP	<i>Foiled Twisted Pair</i>	keiner	Folie
USTP	<i>Shielded Twisted Pair</i>	keiner	Drahtgeflecht
SUTP	<i>Screened Unshielded Twisted Pair</i>	Drahtgeflecht	keiner
SFTP	<i>Screened Foiled Twisted Pair</i>	Drahtgeflecht	Folie
SSTP	<i>Screened Shielded Twisted Pair</i>	Drahtgeflecht	Drahtgeflecht
FUTP	<i>Foiled Unshielded Twisted Pair</i>	Folie	keiner
FFTP	<i>Foiled Foiled Twisted Pair</i>	Folie	Folie
FSTP	<i>Foiled Shielded Twisted Pair</i>	Folie	Drahtgeflecht
SFUTP	<i>Screened Foiled Unshielded Twisted Pair</i>	Folie und Drahtgeflecht	keiner
SFFTP	<i>Screened Foiled Foiled Twisted Pair</i>	Folie und Drahtgeflecht	Folie

- Das Bezeichnungsschema hat die Form XXYZZ
  - XX steht für die Gesamtschirmung
    - U = ungeschirmt, F = Folie , S = Drahtgeflecht, SF = Drahtgeflecht und Folie
  - Y steht für die Adernpaarschirmung
    - U = ungeschirmt, F = Folie , S = Drahtgeflecht
  - ZZ steht für Twisted Pair (TP)

Bitübertragungsschicht  
oo

Vernetzungstechnologien  
oooo

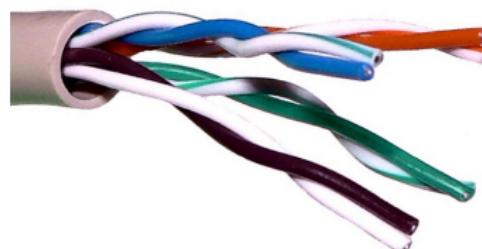
Übertragungsmedien  
oooooooooooo

Geräte der Bitübertragungsschicht  
oo

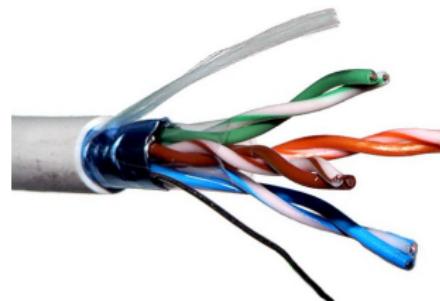
# Twisted-Pair-Kabel – Beispiele

Bildquelle (Kabel): Wikipedia (CC0)

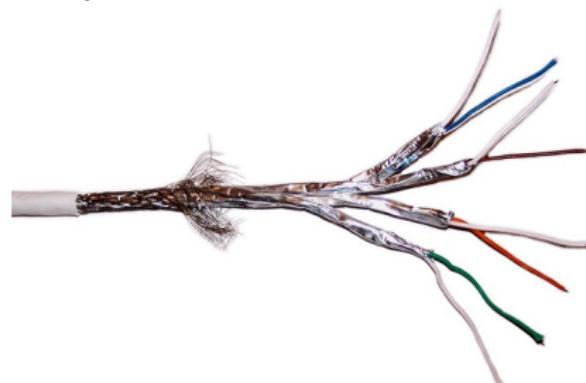
Beispiel 1: UTP



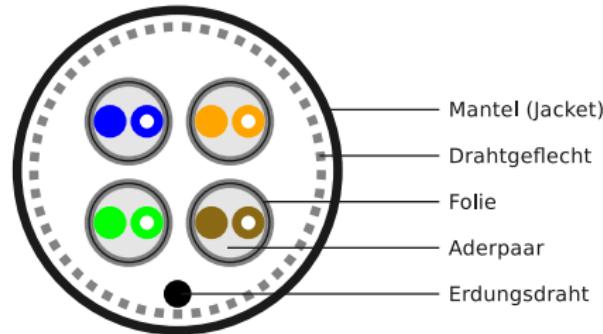
Beispiel 2: FUTP = FTP



Beispiel 3: SFTP

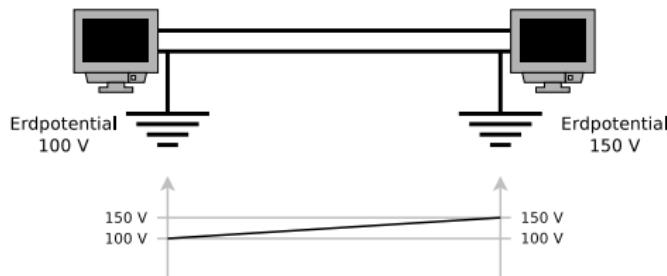


Aufbau (SFTP)



# Schirm oder nicht Schirm?

- Die Schirme müssen auf beiden Seiten des Kabels geerdet sein
  - Einseitige Erdung führt zu Antennenwirkung



- Es kommt zum Ausgleichsstrom zwischen den Systemen ( $I = \frac{U}{R}$ )
  - Die Existenz dieses Ausgleichsstrom führt zu Störungen im Betrieb oder gar zur Zerstörung von Netzwerkgeräten
- Schirmung ist also nur dann sinnvoll, wenn beide Seiten auf dem selben Erdungspotenzial liegen und darum sollten **Kabel mit Schirmung niemals zwischen Gebäuden verlegt werden**
  - Lösungsmöglichkeiten sind das Verlegen von Lichtwellenleitern zwischen Gebäuden, Laser-Bridges oder Funknetze

# Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln (1/3)

- Es gibt TP-Kabel unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (Kategorie)
- Die Leistungsfähigkeit einer Netzwerkverbindung wird von der Komponente mit der der geringsten Kategorie bestimmt
  - Beispiel: Cat-6-fähige Geräte sind über ein Cat-5-Kabel verbunden
    - Das reduziert die Leistungsfähigkeit der Verbindung auf Kategorie 5
- **Kategorie 1/2/3/4**
  - Kaum noch verbreitet (außer für Telefonkabel)
- **Kategorie 5/5e**
  - Cat-5e sind garantiert Gigabit-Ethernet-tauglich
    - Sie erfüllen strengere Prüfstandards als Cat-5-Kabel
  - Häufigste Verkabelung für Ethernet-Computernetze

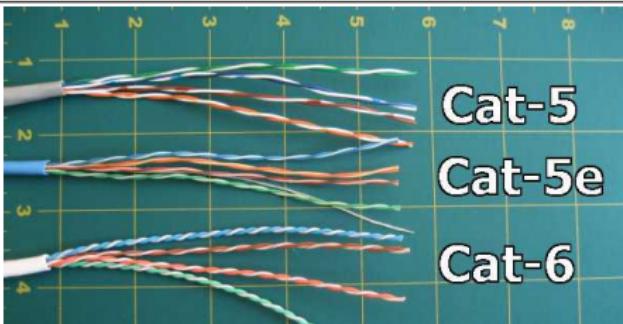
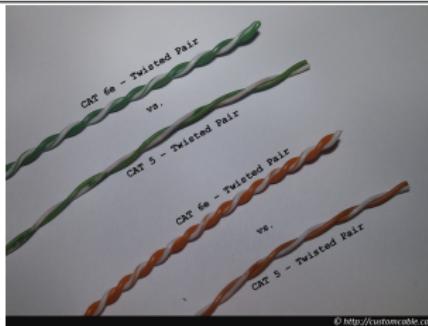
Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 5	100 MHz	100BASE-TX (100 Mbit/s, 2 Adernpaare, 100 m) 1000BASE-T (1 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)
Cat 5e	100 MHz	2.5GBASE-T (2,5 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)

# Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln (2/3)

Bildquelle: Reddit

## • Kategorie 6/6A

Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 6	250 MHz	5GBASE-T (5 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m) 10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 55 m)
Cat 6A	500 MHz	10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)



Hauptunterschiede (im Aufbau) zwischen den Kategorien: Anzahl der Verdrillungen pro cm des Leiters und Dicke der Hülle (Manteldicke)

- Mehr Verdrillungen pro cm  $\implies$  weniger Interferenzen
- Cat 5/5e hat 1-2 Verdrillungen pro cm. Cat 6 hat 2 oder mehr Verdrillungen pro cm
- Dicke der Hülle  $\implies$  weniger Nebensprechen bzw. Übersprechen (Crosstalk)
- Nebensprechen bzw. Übersprechen ist die gegenseitige Beeinflussung parallel verlaufender Leitungen

## Kategorien von Twisted-Pair-Kabeln (3/3)

### • Kategorie 7/7A

- Für Kabel der Kategorien 7 und 7A waren ursprünglich andere Stecker (z.B. TERA oder alternativ GG45) und Buchsen als RJ45 vorgesehen
  - Diese Stecker konnten sich am Markt aber nicht durchsetzen
  - Eine Verkabelung der Kategorien 7 und 7A bietet mit RJ45-Steckern keine Vorteile gegenüber Kabeln der Kategorie 6A**

Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 7	600 MHz	10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)
Cat 7A	1000 MHz	10GBASE-T (10 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m)

### • Kategorie 8.1

- Dieser Standard unterstützt Kabel bis zu einer Länge von 30 m
- Solche Kabellängen sind in der Regel ausreichend für Rechenzentren

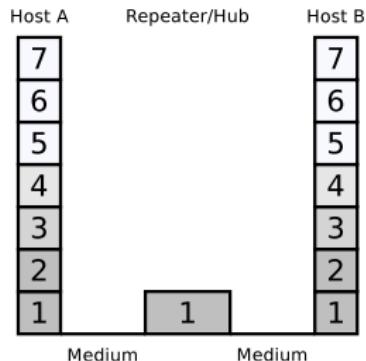
Kategorie	Max. Betriebsfrequenz	Kompatibel mit ...
Cat 8.1	2000 MHz	40GBASE-T (40 Gbit/s, 4 Adernpaare, 30 m)

# Repeater

Bildquelle: ASSMANN Electronic GmbH

- Weil bei allen Übertragungsmedien das Problem der **Dämpfung** (Signalabschwächung) besteht, ist die maximale Reichweite begrenzt
- **Repeater** (englisch: *Wiederholer*) sind Signalverstärker bzw. -aufbereiter
- Verstärken empfangene elektrische oder optische Signale und reinigen sie vom Rauschen und von Jitter (Genauigkeitsschwankungen im Übertragungstakt)
- Repeater leiten Signale nur weiter
  - Untersuchen nicht deren Bedeutung und Korrektheit
- Repeater haben nur 2 Schnittstellen (*Ports*)

Repeater mit nur 2 Schnittstellen sind häufig auch **Medienkonverter**



# Hub (Multiport-Repeater)

Bildquelle (Repeater): Perle Systems

- **Hubs** sind Repeater mit > 2 Schnittstellen
- Leiten einkommende Signale zu allen Ports weiter
- Repeater und Hubs haben weder physische noch logische Netzadressen
  - Grund: Sie leiden empfangene Signale nur weiter
    - Sie arbeiten transparent und kommunizieren nur auf der Bitübertragungsschicht



(Repeater)



(Hub)