

8. Foliensatz

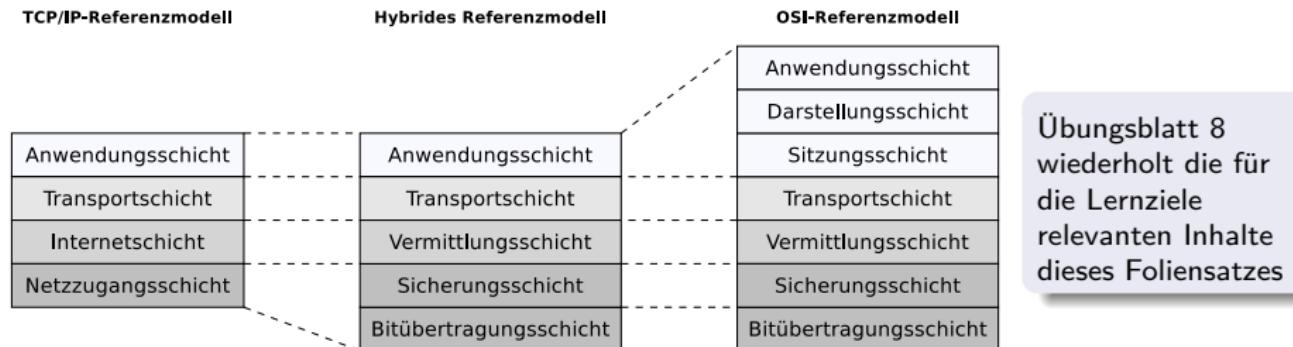
Betriebssysteme und Rechnernetze

Prof. Dr. Christian Baun

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

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

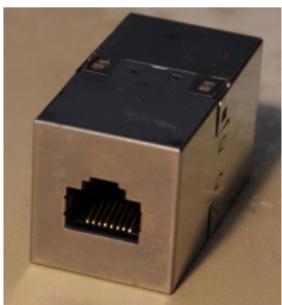
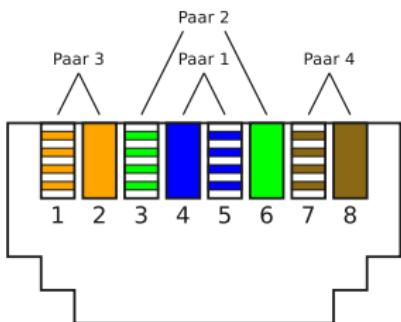
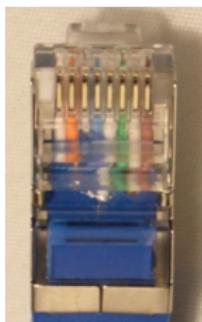
Koaxialkabel (*Koaxkabel*)



- 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

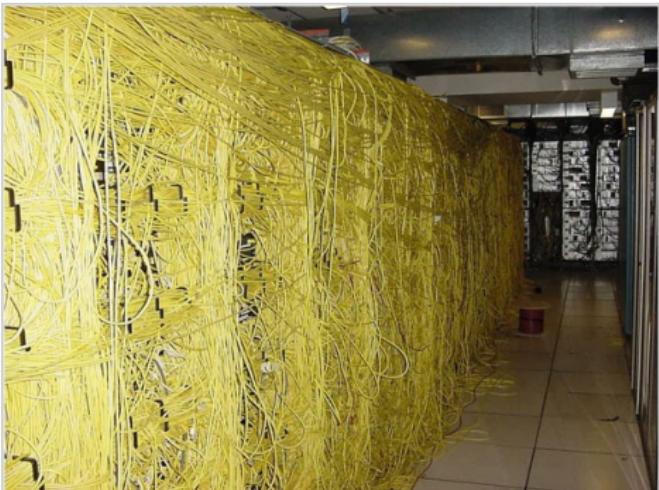
Twisted-Pair-Kabel – verdrillte Kabel (1/2)

- 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

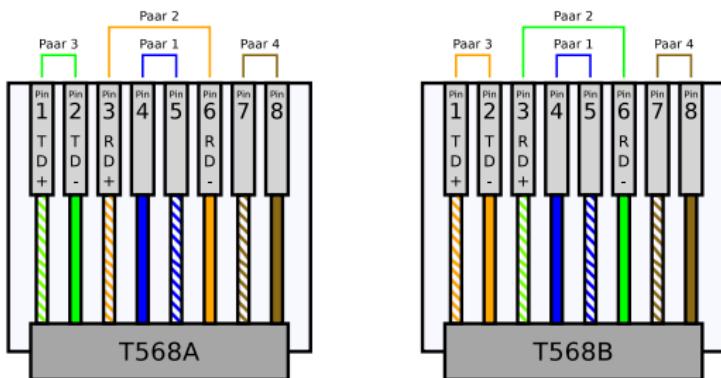
- Ethernet 10BASE-T und Fast-Ethernet 100BASE-TX verwenden nur 2 Aderpaare zum Senden und Empfangen
- Das ermöglicht **Ethernet Splitter**



- 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



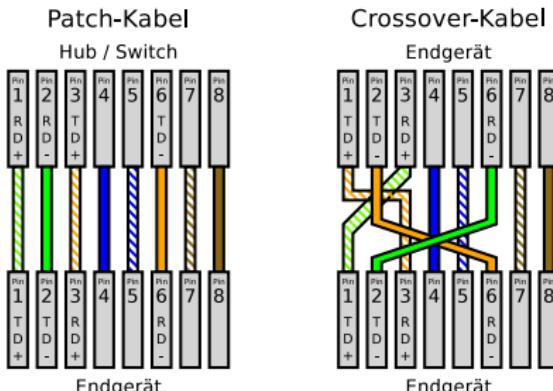
Das ist T568B

Bei 10BASE-T sind 4 PINs belegt – die übrigen Aderpaare 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

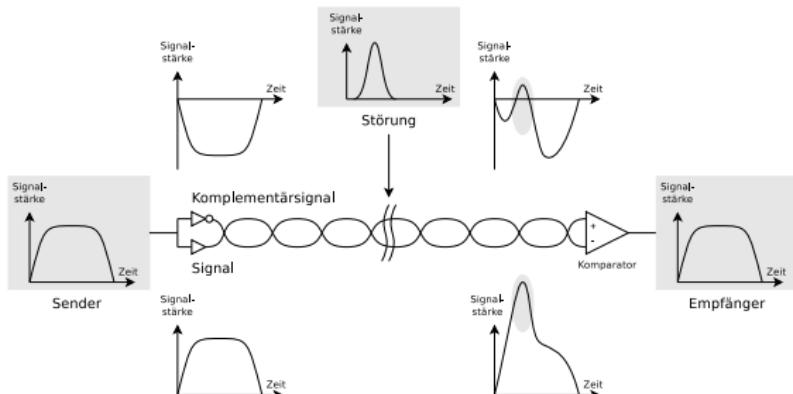
Auto-MDIX ermöglicht die beliebige Verwendung von Crossover-Kabeln und 1:1-Kabeln

- 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

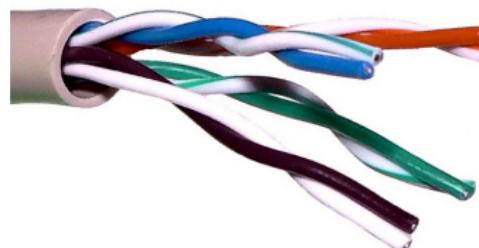
| Bezeichnung | Name | Gesamtschirm | Paarschirm |
|-------------|--|-------------------------|---------------|
| UTP | <i>Unshielded Twisted Pair</i> | keiner | keiner |
| FTP | <i>Foiled Twisted Pair</i> | keiner | Folie |
| STP | <i>Shielded Twisted Pair</i> | keiner | Drahtgeflecht |
| SUTP | <i>Screened 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)

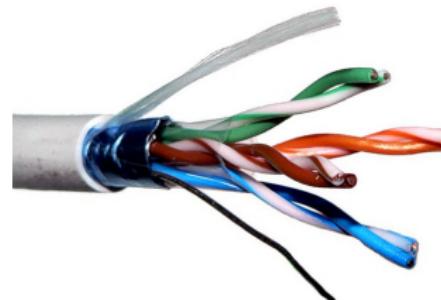
Twisted-Pair-Kabel – Beispiele

Bildquelle (Kabel): Wikipedia (CC0)

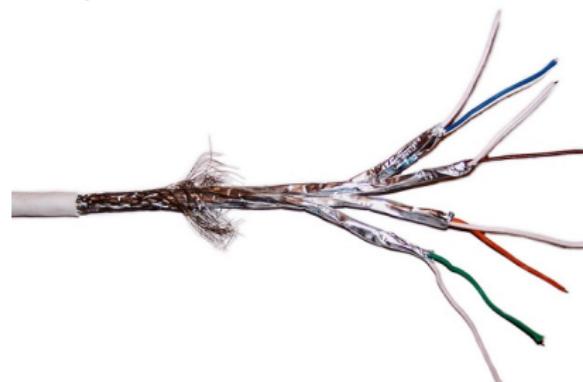
Beispiel 1: UTP



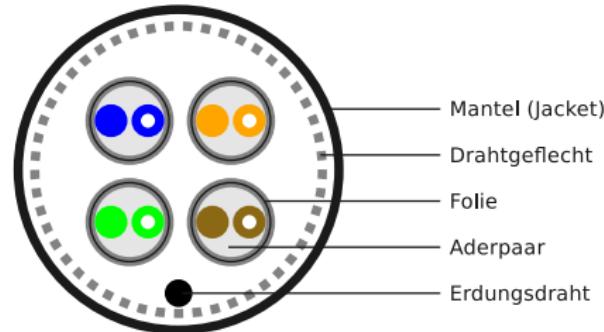
Beispiel 2: FUTP = FTP



Beispiel 3: SFTP

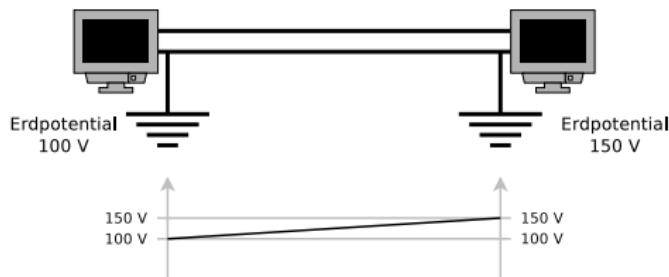


Aufbau (SFTP)



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 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

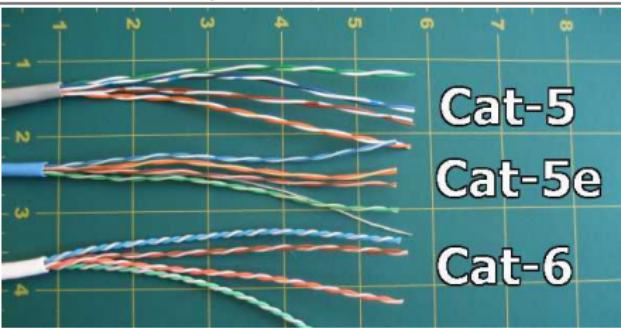
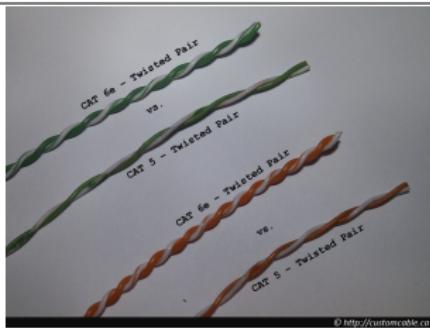
| Kategorie | Max. Betriebsfrequenz | Kompatibel mit ... |
|-----------|-----------------------|--|
| Cat 5 | 100 MHz | 100BASE-TX (100 Mbit/s, 2 Adernpaare, 100 m) 1000BASE-T (1 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m) |
| Cat 5e | 100 MHz | 2.5GBASE-T (2,5 Gbit/s, 4 Adernpaare, 100 m) |

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 \Rightarrow weniger Interferenzen
- Cat 5/5e hat 1-2 Verdrillungen pro cm. Cat 6 hat 2 oder mehr Verdrillungen pro cm
- Dicke der Hülle \Rightarrow 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) |

Eigenschaften von Twisted-Pair-Kabeln (1/2)

Erkennen Sie die relevanten Informationen, die auf Twisted-Pair-Kabel aufgedruckt sind?

Beispiel: E188601 (UL) TYPE CM 75°C LL84201 CSA TYPE CMG FT4 CAT.5E PATCH CABLE TO TIA/EIA 568A STP 26AWG STRANDED

- **PATCH/CROSS/CROSSOVER:** siehe Folie 13
- **UTP/STP/FTP/SFTP:** siehe Folien 15-16
- **CAT5/5E/6/7/8:** siehe Folien 18-20
- **24AWG/26AWG/28AWG:** American wire gauge (AWG) informiert über die Durchmesser der Drähte
 - 24AWG = 0,51054 mm, 26AWG = 0,405 mm, 28AWG = 0,321 mm
 - Größerer Drahtdurchmesser \Rightarrow geringerer elektrischer Widerstand für die elektronischen Signale \Rightarrow geringere Signalabschwächung (Dämpfung)
 - 24AWG-Kabel haben eine geringere Dämpfung als 26AWG oder 28AWG
 - 28AWG-Kabel sind dünner als 24AWG oder 26AWG
 - Dünnerne Kabel blockieren den Luftstrom in Server-Schränken weniger und vereinfachen die Installation

Eigenschaften von Twisted-Pair-Kabeln (2/2)

Erkennen Sie die relevanten Informationen, die auf Twisted-Pair-Kabel aufgedruckt sind?

Beispiel: E188601 (UL) TYPE CM 75°C LL84201 CSA TYPE CMG FT4 CAT.5E PATCH CABLE TO TIA/EIA 568A STP 26AWG STRANDED

- **60°C/75°C:** Temperaturinformationen beschreiben Flammtests
- **SOLID/STRANDED**
 - **Solid**-Kabel enthalten massive Kupferdrähte. Gut geeignet zur dauerhaften Infrastruktur-Installation. Geringere Dämpfung und kostengünstiger als Litzenkabel
 - **Stranded**-Kabel bestehen aus mehreren Litzen von Drähten, die umeinander gewickelt sind. Gut geeignet für Patchkabel, da sehr flexibel. Höhere Dämpfung als Massivkabel, darum eher für kürzere Entferungen geeignet.



Bild (links): Solid-Kabel

Bild (rechts):
Stranded-Kabel (Litze)

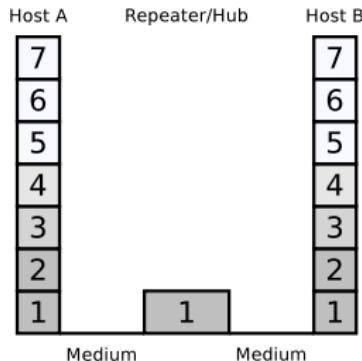


Repeater

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 Netzzadressen
 - Grund: Sie leiden empfangene Signale nur weiter
 - Sie arbeiten transparent und kommunizieren nur auf der Bitübertragungsschicht



(Repeater)



(Hub)