



WS 2016/2017  
LV Rechnernetzpraxis

# 3. Strukturierte Verkabelung

Dr. rer.nat. D. Gütter

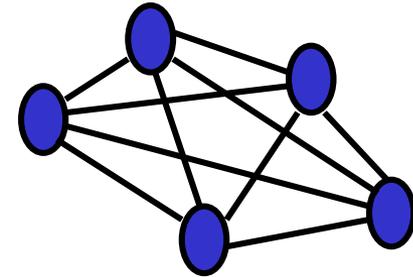
Mail: [Dietbert.Guetter@tu-dresden.de](mailto:Dietbert.Guetter@tu-dresden.de)

WWW: <http://www.guetter-web.de/education/rnp.htm>

# Verkabelungstopologien

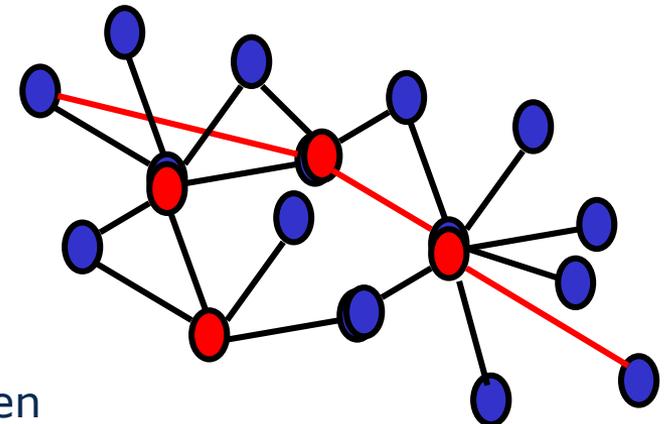
## vollvermaschtes Netz

- jeder Rechner hat eine Verbindung zu jedem anderen Rechner
- **Leitungsanzahl:**  $n * (n-1)/2$
- nur in kleineren Netzen möglich



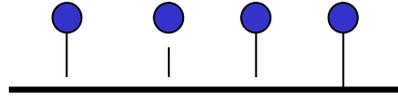
## teilvermaschtes Netz

- reduzierte Verbindungsanzahl
- einige Rechner können nur noch über **Vermittlungseinrichtungen** erreicht werden
- beliebig skalierbar
- Vermittlung kann zu Engpässen führen



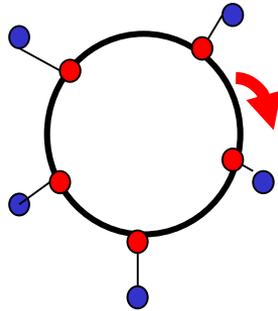
# Einfache Verkabelungstopologien

Bus



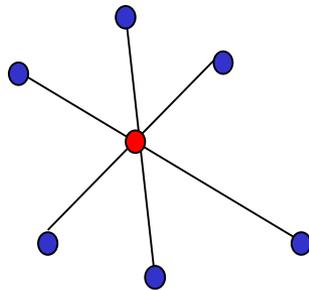
meist  
passive Signalausbreitung

Ring

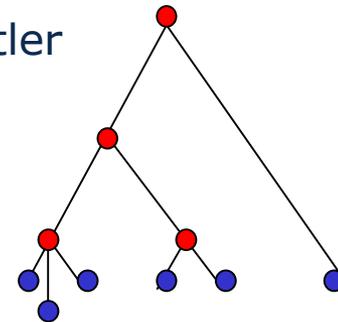


aktive, gerichtete Signalausbreitung  
Signalvermittler erforderlich

Stern



meist aktive Vermittler  
erforderlich



Baum

# Bedarfsverkabelung

---

- üblich bis ca. 1990
- Standorte der Arbeitsstationen und Server bestimmen Kabelführung  
Kostenanteil der Kabelinfrastruktur an IT-Technik gering
- Netzwerktechnologie erfordert spezifische Verkabelung

## **1980:**

Ethernet 10Base5, 10Base2

Koaxverkabelung, busförmige Topologie

Ethernet 10Base-T

TP-Kabel, baumförmige Topologie

Token Ring

TP-Kabel, Ringtopologie

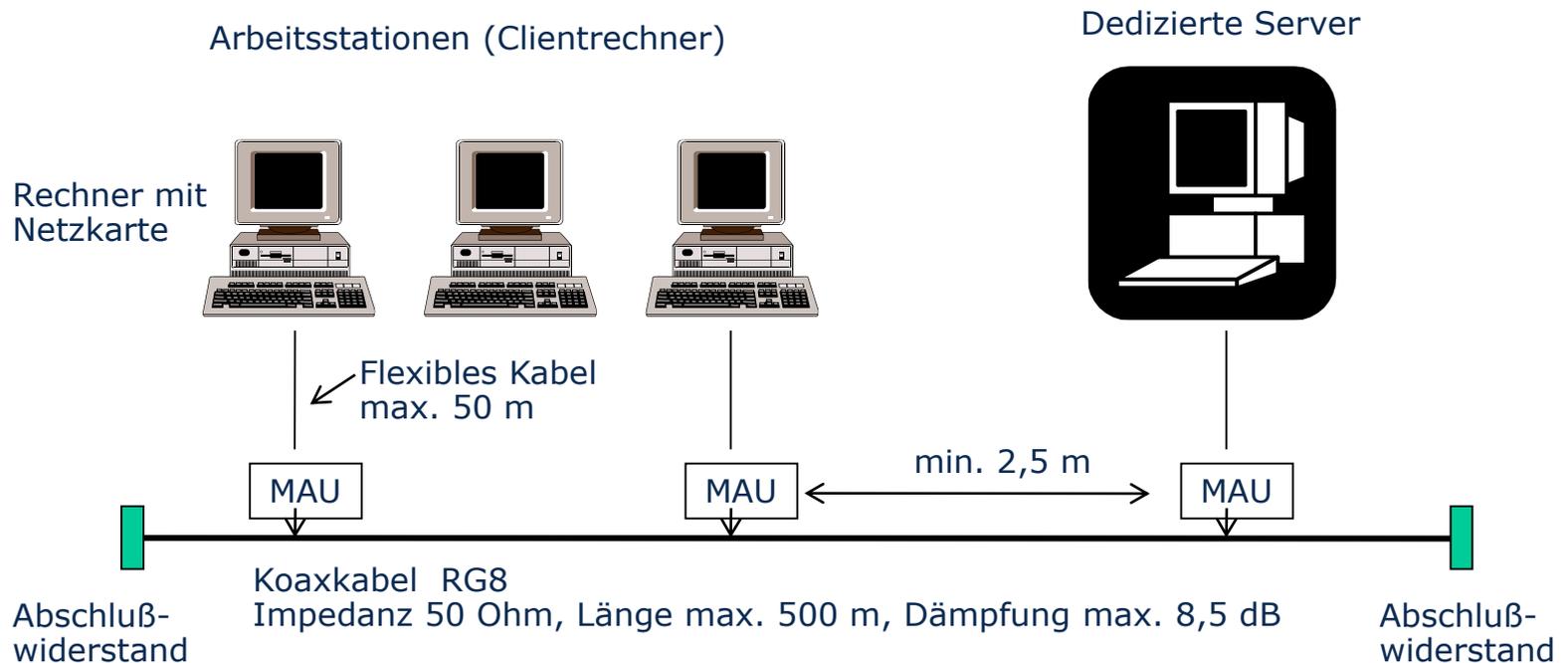
## **1990:**

FDDI

Lichtwellenleiter, Ringtopologie

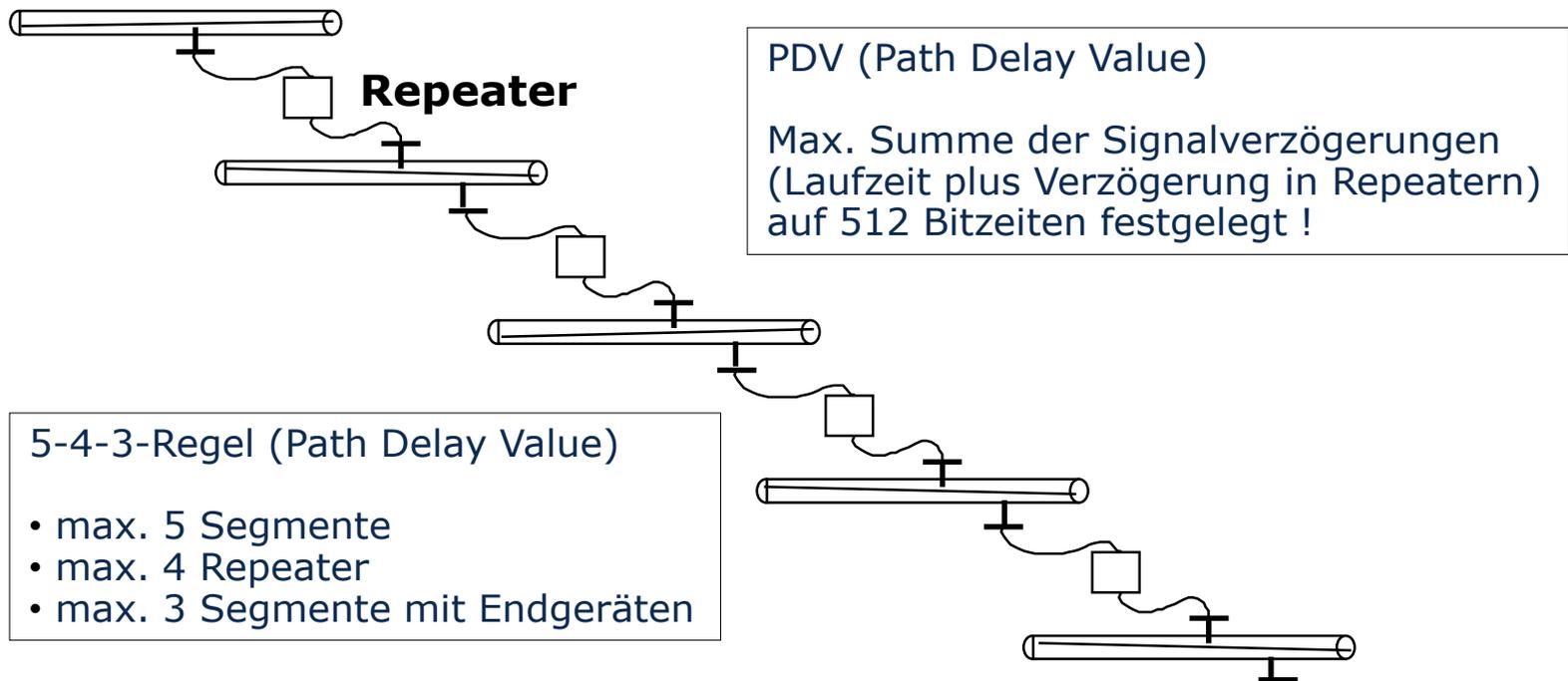
# Bedarfsverkabelung IEEE 802.3 Ethernet 10Base5

- Standardtechnologie Anfang der 80-er bis Anfang 90-er Jahre
- **ein** dickes (1 cm), starres (Biegeradius 25 cm) **Koaxialkabel**
- Transceiver bzw. **MAU** (Media Access Unit) für Medienzugriff (mit Dorn an Koaxkabel geklemmt, Anschluß während des Netzbetriebes möglich)



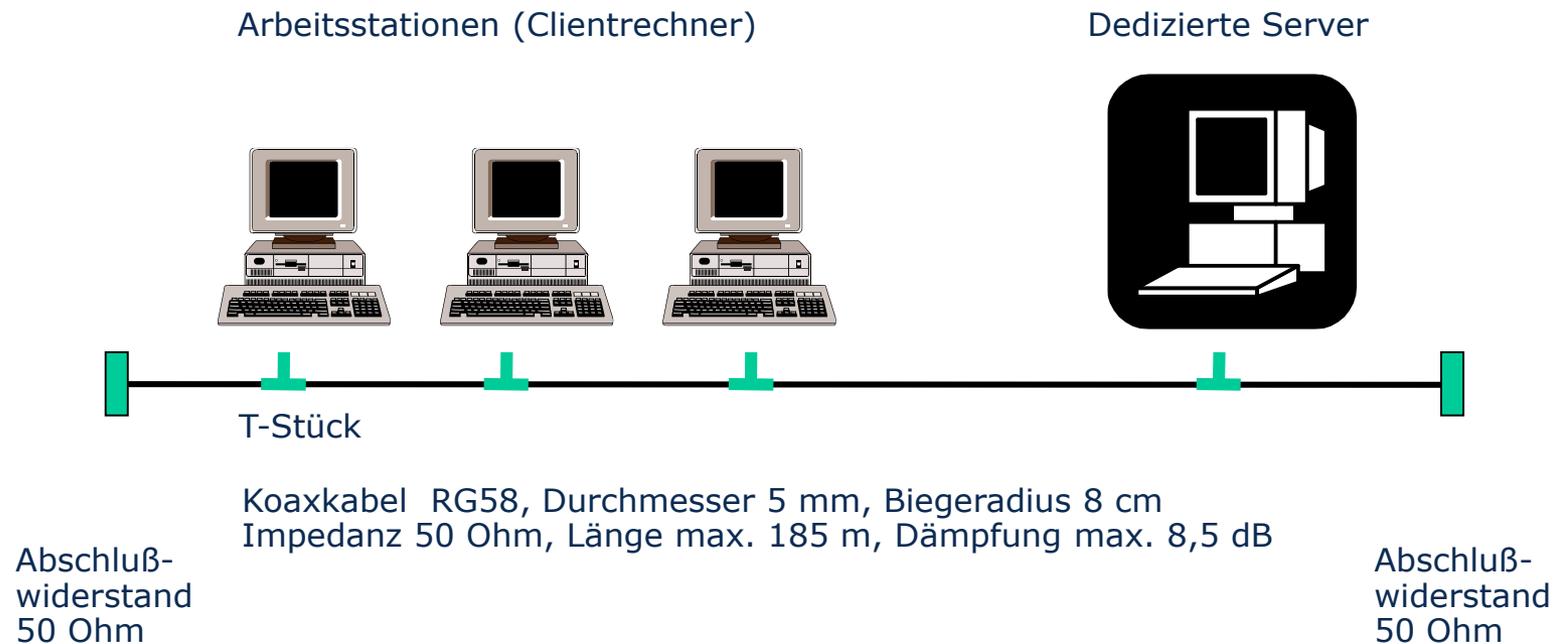
# Kabelsegmente bei Ethernet 10Base5

- max. 500 m pro "Segment", 5 Segmente möglich → 2,5 km Länge
- Kopplung durch Signalverstärker (Repeater)
- unzuverlässig wegen der vielen Verbindungsstellen, Totalausfall des Netzes bereits bei einem Kontaktproblem
- schlecht administrierbar, nicht skalierbar (shared medium)



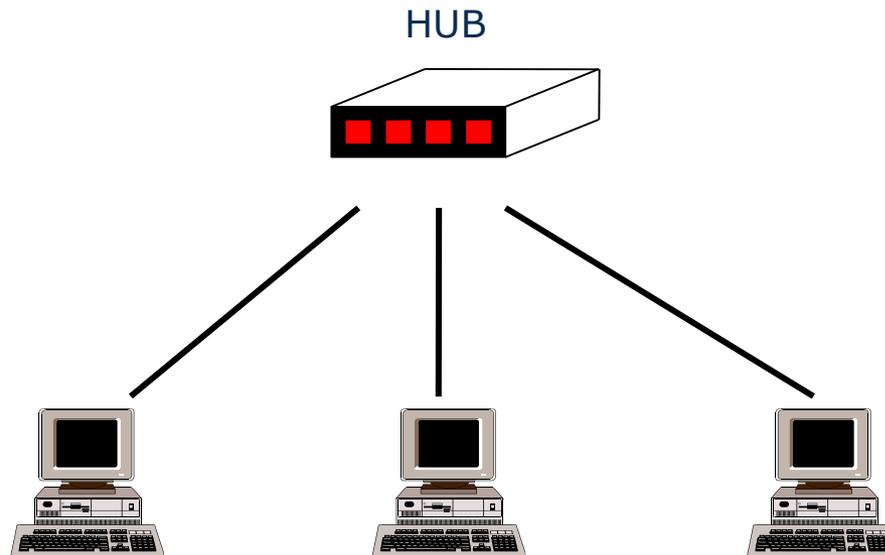
# Kabelsegmente bei Ethernet 10Base2

- Standardtechnologie Anfang bis Mitte der 90-er Jahre
- dünneres Koaxialkabel, ebenfalls max. 5 Segmente
- kein Transceiver, Direktanschluß der Rechner über T-Stücke
- einfacher zu verlegen, sehr fehleranfällig



# Bedarfsverkabelung für Ethernet 10Base-T

- TP-Kabel, gut verlegbar
- Stern- bzw. Baumtopologie, mehr Kabelaufwand
- zentraler Signalverstärker (Hub)
- gut administrierbar  
(da nur 2-Punktverbindungen Fehler schnell eingrenzbar)



# Bedarfsverkabelung für Ethernet 10Base-F

- LWL-Kabel
- höhere Bandbreite, geringere Dämpfung, größere Reichweite
- galvanische Trennung
- nicht anfällig gegen elektromagnetische Störungen
  
- Einsatz vor allem bei Überwindung größerer Strecken (bis 2000 m)

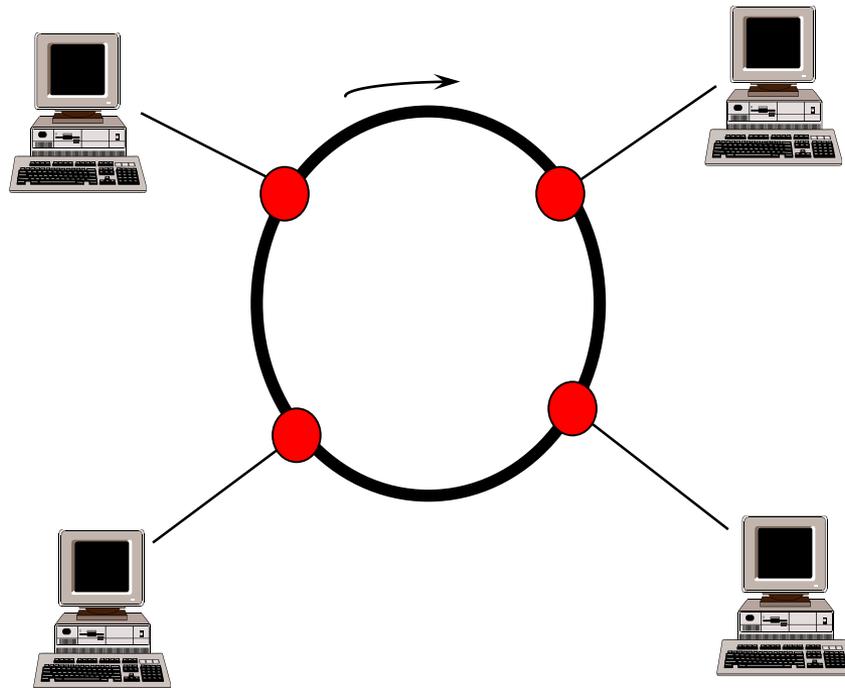
## **Ethernet Mischformen**

- verschiedene Netzkabeltypen
- verschiedene Topologien
- schwierige Zusammenarbeit mit anderen Netztechnologien
  
- Probleme noch größer bei

100 Mbit/s Fast Ethernet Netzwerken  
z.Tl. In zeitlicher Koexistenz mit alten Ethernet-Abschnitten

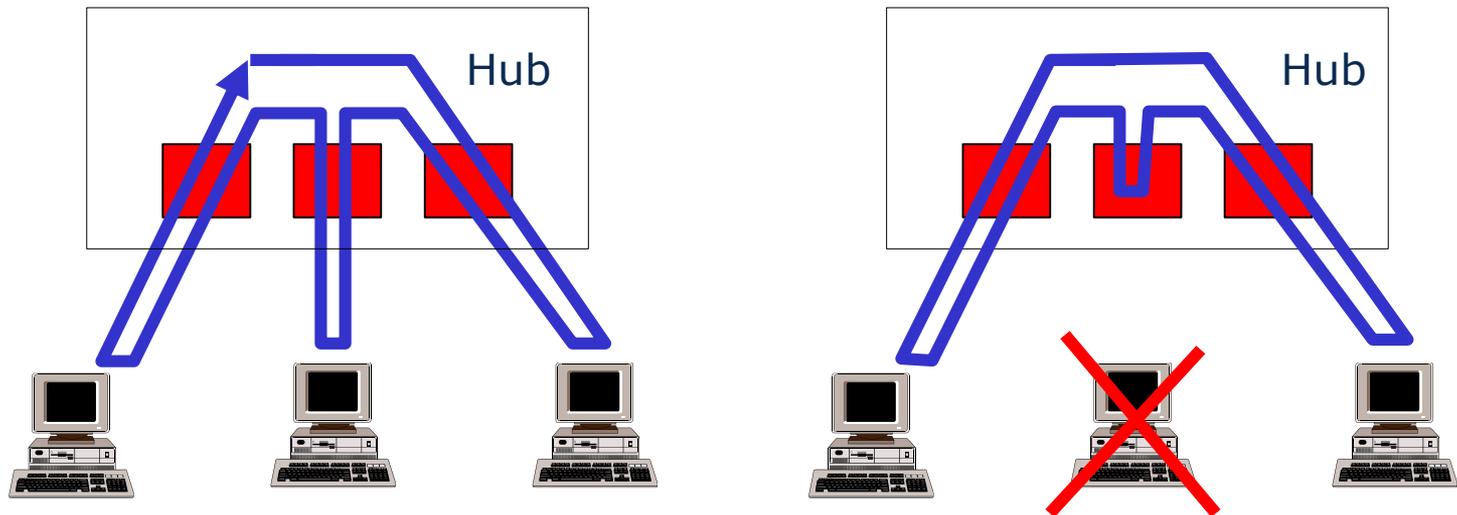
# Bedarfsverkabelung für IEEE 802.5 Token Ring

- TP-Kabel, aber auch LWL
- Ringstruktur
- ringförmige Verkabelung bringt Probleme bei Fehlersuche



# Bedarfsverkabelung für IEEE 802.5 Token Ring

- logischer Ring
- Sterntopologie mit TP-Kabeln
- nur ein zentraler Ringvermittler
- preiswerter, bessere Fehleradministration

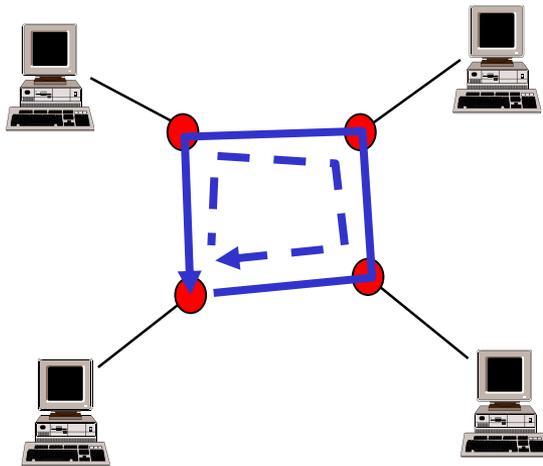


Bei Rechnerausfall

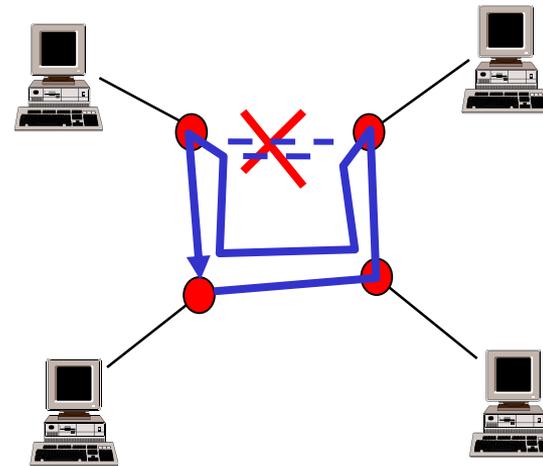
Einfache Überbrückung  
des fehlerhaften Ringsegmentes

# Bedarfsverkabelung für FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

Token Ring auf Lichtwellenleiter-Basis mit 100 Mbit/s  
"Backbone" zur Netzintegration Anfang der 90-er Jahre  
Doppelringstruktur, fehlertolerant;  
max. 1000 Stationen über max. 200 km; "Backbone" zur Netzintegration



Gegenring  
normalerweise redundant



Bei Beschädigung  
wird Ring aufgetrennt  
und Gegenring genutzt

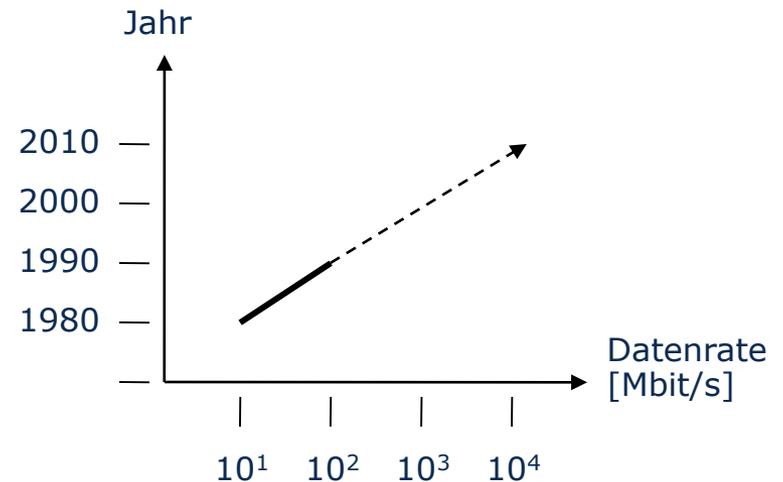
# Bedarfsverkabelung: Fazit

hohe Infrastrukturkosten,  
da ca. alle 5 Jahre Erneuerung/Ergänzung der Verkabelung

- Kabelkosten
- Stecker
- **Konfektionierungsarbeiten**
- **Baumaßnahmen**

Kosten durch Netzausfall bei

- Baumaßnahmen
- Netzanlauf nach Rekonstruktion



## → Forderung an Kabelinfrastrukturplanung

- (relativ) technologieunabhängig
- langfristig

# Strukturierte Verkabelung

---

Verkabelung wird als Infrastruktur geplant,  
wie beim Stromnetz, Wasserrohrnetz, Gebäudeautomatisierungsnetz, ...

Zeithorizont 10 bis 20 Jahre (*langfristig* geringere Infrastrukturkosten)

- Anwendungsunabhängigkeit
- Netztechnik muss sich an die Verkabelung anpassen  
Erneuerung von Arbeitsstationen, Server und Vermittlungstechnik  
unabhängig von Verkabelung,  
Erneuerungszyklus *mittelfristig*, z.B. 2-3 Jahre
- Netzerweiterungen müssen möglich sein  
(Stationsanzahl, Übertragungsraten)
- Einfach: Installation, Wartung, Fehlerkontrolle, Management
- hohe Zuverlässigkeit (ggf. Einplanung von Redundanz)
- Schutz vor unberechtigtem Zugriff

## **Hierarchische Baumstruktur**

# Strukturierte Verkabelung - Standards

---

## US-Normen

ANSI (American National Standard Institute)

EIA (Electronics Industries Association)

TIA (Telecommunication Industry Association)

1991 **EIA/TIA 568**

“Commercial Building Telecommunications Wiring Standard”

## ISO (International Organization for Standardization)

IEC (International Electronic and Electrotechnical Commission)

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)

DIN (Deutsches Institut für Normung)

1995 **ISO/IEC-11801** “General Cabling for Customer Premises”

**EN 50173** “General Cabling Systems”

# DIN EN 50173 “Anwendungsneutrale Verkabelungssysteme”

## DIN-Arbeitsgruppen

- DKE/GUK 715.3 „Informationstechnische Verkabelung von Gebäudekomplexen“
- DKE/UK 412.1 „Symmetrische Kabel und Leitungen, Drähte“
- DKE/K 712 „Sicherheit von Einrichtungen der Informationstechnik“

viele Detail-Standards

Dokumentation relativ teuer, Bestellung meist über Beuth-Verlag

## Phasen und Spezifikationen der Verkabelung

- EN 50310 Gebäudemaßnahmen: Erdung, Potentialausgleich, ...
- EN 50173 Planung der strukturierten Verkabelung
- EN 50174-1 Spezifikation/Qualitätssicherung
- EN 50174-2 Installation in Bürogebäuden
- EN 50174-3 Installation im industriellen Bereich
- EN 50174-4 Installation in Wohnungen
- EN 50174-5 Installation in Rechenzentren
- EN 50288-X Kabelnormen
- EN 60603-7-X Steckverbinder (RJ-45, ...)
- EN 50346 Prüfvorschriften für installierte Verkabelung

# EMV - Elektromagnetische Verträglichkeit

„Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG)“ vom 26.2.2008

regelt Begrenzung  
der "Störaussendung" und Mindest-"Störfestigkeit" von Geräten

Nachweis der EMV ist Pflicht (Konformitätserklärung)  
→ **CE-Zeichen** (frz. Conformité Européenne)

## DIN-Arbeitsgruppen

- DKE/UK 767.17 „EMV von Einrichtungen der Informationsverarbeitungs- und Telekommunikationstechnik“
- DKE/UK 767.3 „Hochfrequente Störgrößen“

## Normen

- EN 55022 „Grenzwerte und Meßverfahren für Funkstörungen von informationstechnischen Einrichtungen“
- EN 5082 „Fachgrundnorm Störfestigkeit“

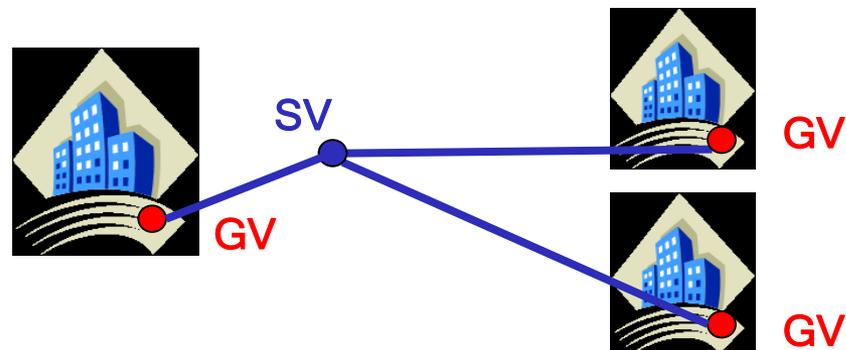
# Strukturierte Verkabelung

Topologievorschriften, Längenrestriktionen, Kabeltypen, ...

- **Primärverkabelung** (Arealverkabelung)  
zwischen Standortverteiler SV und verschiedenen Gebäudeverteilern GV

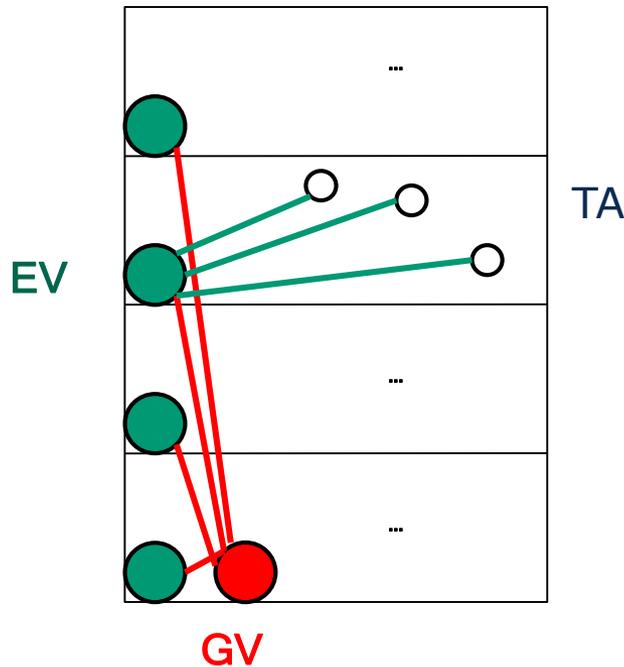
## Anforderungen

- Trassenführung mit Redundanz für Notfälle
- Potentialtrennung zwischen Gebäuden
- elektrische Störungsfestigkeit, Erweiterbarkeit, Abhörsicherheit
- Integrationsmöglichkeit für Subnetze beliebiger Technologie
- hohe Übertragungsraten (→ Lichtwellenleiter)



# Strukturierte Verkabelung

- **Sekundärverkabelung** (Steigzonenverkabelung) für den Anschluß der Etagenverteiler EV an Gebäudeverteiler
- **Tertiärverkabelung** (horizontale Verkabelung) von den Etagenverteilern zu den Computeranschlüssen TA



Sekundär-V.: LWL oder TP  
Tertiär-V: TP-Kabel

2 kupferbasierte Informationswege

- Telefon
- Datenübertragung.

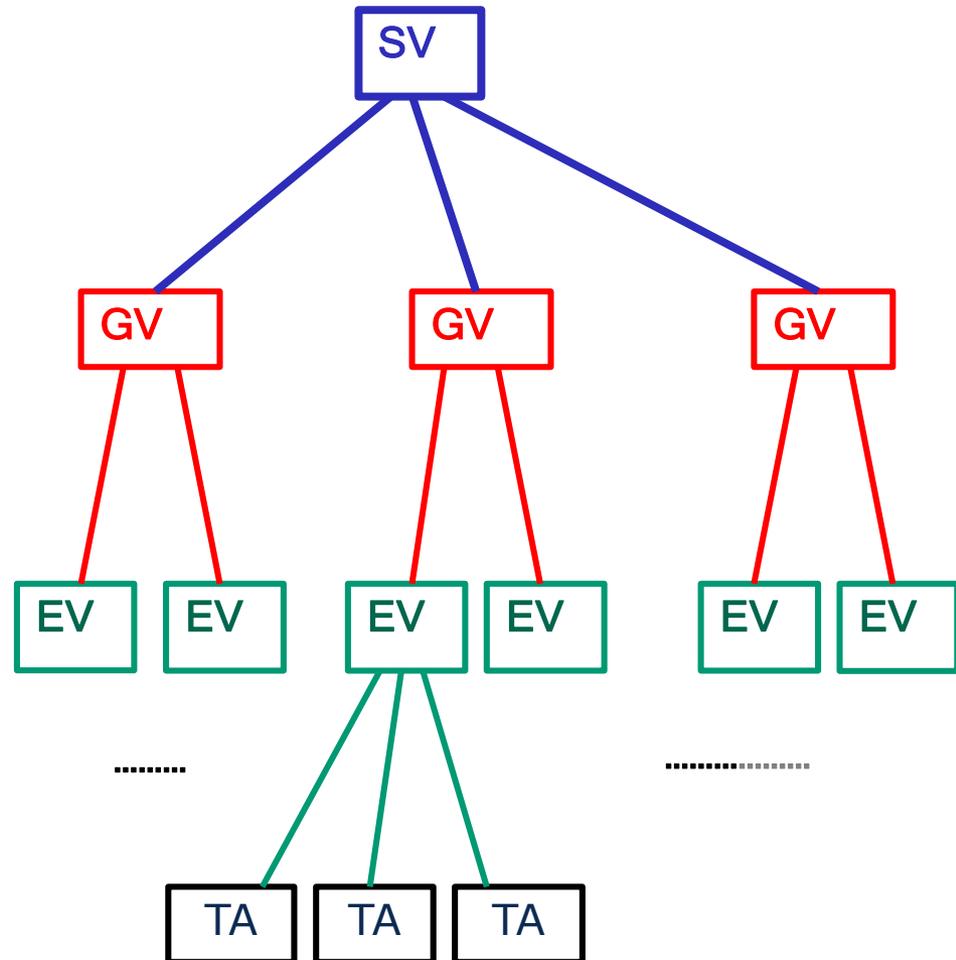
TP-Kabel-Qualität  
LAN-tauglich ab  
Kategorie 5 bzw. Klasse D

# Strukturierte Verkabelung

Gelände-Backbone  
**max. 2000m**  
Lichtwellenleiter

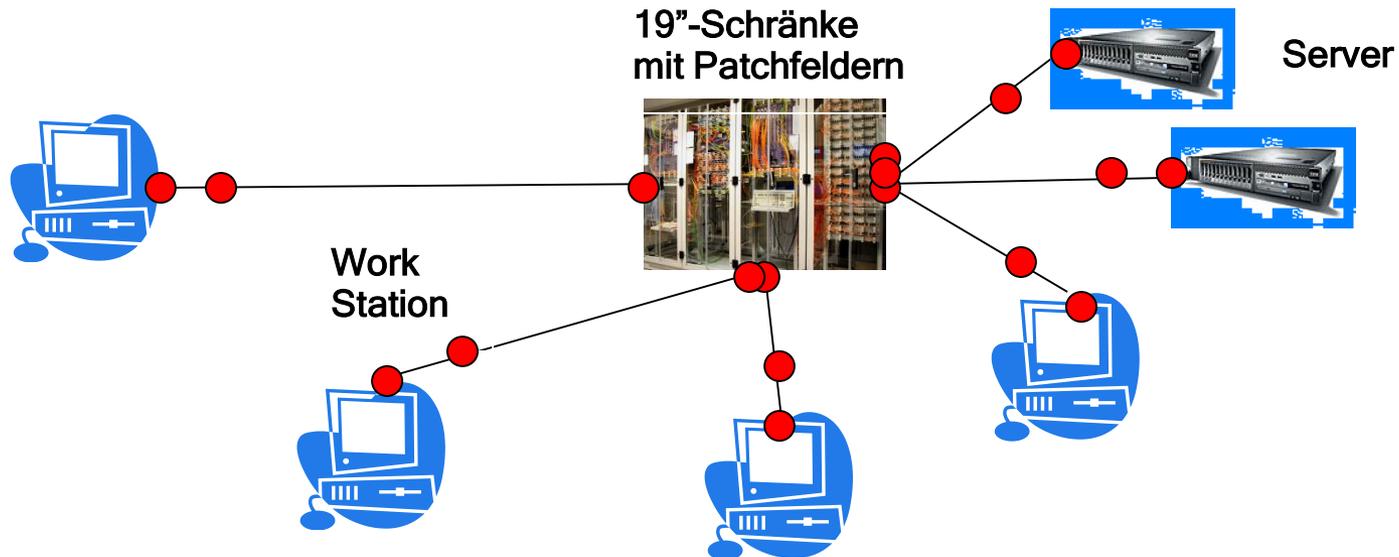
Gebäude-Backbone  
**max. 500m**  
LWL bzw. STP

Etagenverkabelung  
**max. 100m**  
UTP  $\geq$  Cat 5



# EN 50173 Etagenverkabelung

- Installationskabel für jeden Netzwerkanschluß, meist Cu-TP-Kabel fest verlegt zwischen 2 Buchsen  
Patchfeld im EV-Raum  $\leftrightarrow$  Anschlußdosen in Arbeitsräumen
- Anschluß der aktiven Komponenten, z.B. Arbeitstationen und Switch mittels flexibler Anschlußkabel (Stecker  $\leftrightarrow$  Stecker)



# verdrillte Kupferleitungen (Twisted Pair)

---

Kabel relativ preiswert, leichte Montage

gekennzeichnet durch

- Kabelgeometrie, -material

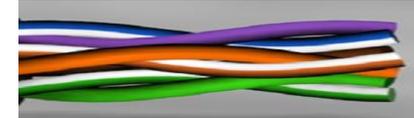
Durchmesser, Zahl der Adernpaare  
Schlaglänge (Verdrillungen pro Länge)  
Isolationsmaterial  
Schirmung  
Temperaturbereich  
Gewicht

- Frequenzband
- Max. Kabeldämpfung K für 100 m, z.B. bei 100 Mhz

**Qualitätskategorien** nach Normen EN50173 bzw. EIA/TIA 568

# EN 50173 TP-Kabel

Kabel 8-adrig, Cu-Adern ca. 1mm,  
paarweise verdrillt, unterschiedliche Schirmung



## **UTP**

(Unshielded Twisted Pair)

Adernpaare ohne Schirmung, bis 100 MHz  
auch U/UTP

## **FTP**

(Foiled Twisted Pair)

Adernpaare in Metallfolie, bis 625 MHz  
auch U/FTP

## **S/UTP**

(Screened unshielded TP)

wie UTP plus Gesamtschirmung  
auch F/UTP (Folie) bzw. SF/UTP (Geflecht + Folie)

## **S/FTP**

(Screened foiled TP)

wie FTP plus Gesamtschirmung  
auch F/FTP (Folie) bzw. SF/FTP (Geflecht + Folie)

# TP - Kabelklassen/-kategorien

| Kabel-<br>Kategorie<br>EIA/TIA 568 | Link-<br>Klasse<br>EN 50173 | Grenz-<br>frequenz | Zulässige<br>Dämpfung bei<br>Grenzfrequenz | geeignet für |              |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--|--------------|--------------|
|                                    |                             |                    |  | Datenrate    | Anwendung    |
| 3                                  |                             | 16 MHz             | 13,1 dB/100m                               | 10 Mbit/s    | Telefon/LAN  |
|                                    | C                           | 16 MHz             | 14,4 dB/100m                               | 20 Mbit/s    |              |
|                                    | <b>D</b>                    | <b>100 MHz</b>     | <b>24 dB/100m</b>                          | 100 Mbit/s   | FastEthernet |
| 5                                  |                             | 100 MHz            | 22 dB/100m                                 | 100 Mbit/s   |              |
| 6                                  |                             | 200 MHz            | 23 dB/100m                                 | 1 Gbit/s     |              |
|                                    | E                           | 250 MHz            | 35,9 dB/100m                               | 1 Gbit/s     | GbE          |
| (6 <sub>A</sub> )                  | E <sub>A</sub>              | 500 MHz            | 49,3 dB/100m                               | 10 Gbit/s    | 10 GbE       |
|                                    | F                           | 600 MHz            | 54,6 dB/100m                               | > 10 Gbit/s  |              |
| 7                                  |                             | 600 MHz            | 50 dB/100m                                 | > 10 Gbit/s  |              |
| (7 <sub>A</sub> )                  | F <sub>A</sub>              | 1000 MHz           | 67,6 dB/100m                               |              |              |
| 8                                  |                             | 2000 MHz           | ?/30m                                      | 40 Gbit/s    | 40 GbE       |

# RJ-45 Stecker- und Buchsenbelegung

TP-Kabel bestehen aus 4 farbige gekennzeichneten Adernpaaren,  
zB. Paar Blau/Weiß-Blau



| EIA/TIA 568 A |             |  | EIA/TIA 568 B |             | B-Kodierung dominiert |
|---------------|-------------|--|---------------|-------------|-----------------------|
| 1             | Weiß-Grün   |  | 1             | Weiß-Orange |                       |
| 2             | Grün        |  | 2             | Orange      |                       |
| 3             | Weiß-Orange |  | 3             | Weiß-Grün   |                       |
| 4             | Blau        |  | 4             | Blau        |                       |
| 5             | Weiß-Blau   |  | 5             | Weiß-Blau   |                       |
| 6             | Orange      |  | 6             | Grün        |                       |
| 7             | Weiß-Braun  |  | 7             | Weiß-Braun  |                       |
| 8             | Braun       |  | 8             | Braun       |                       |

## Netzwerkinstallation

→ sämtliche Anschlüsse auf korrekte Installation prüfen  
Protolle in Netzwerkdokumentation aufnehmen

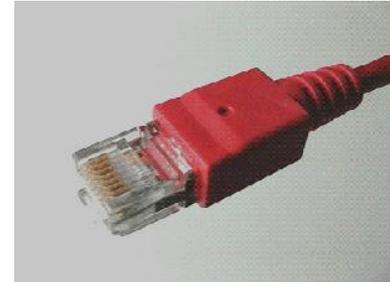
Festinstallation  
Flexible Kabel

einheitliche Kodierung im gesamten Netzwerk  
normal: beidseitig gleich kodiert, sonst Cross-Over-Kabel

# Stecker/Buchsen

## **RJ-45** (Registered Jack)

Standard, 8 Pin  
max. bis Cat 6A  
bis 500 MHz  
ungeeignet für Cat7



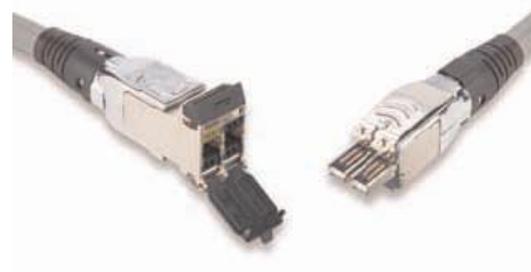
## **Nexans GG45**

abwärtskompatibel zu RJ-45  
8+4 Pin  
bis 1000 MHz  
geeignet für Cat 7



## **Siemon TERA**

unkompatibel zu RJ-45,  
2, 4, oder 8 Pin  
bis 1,2 GHz  
Geeignet für Cat 7



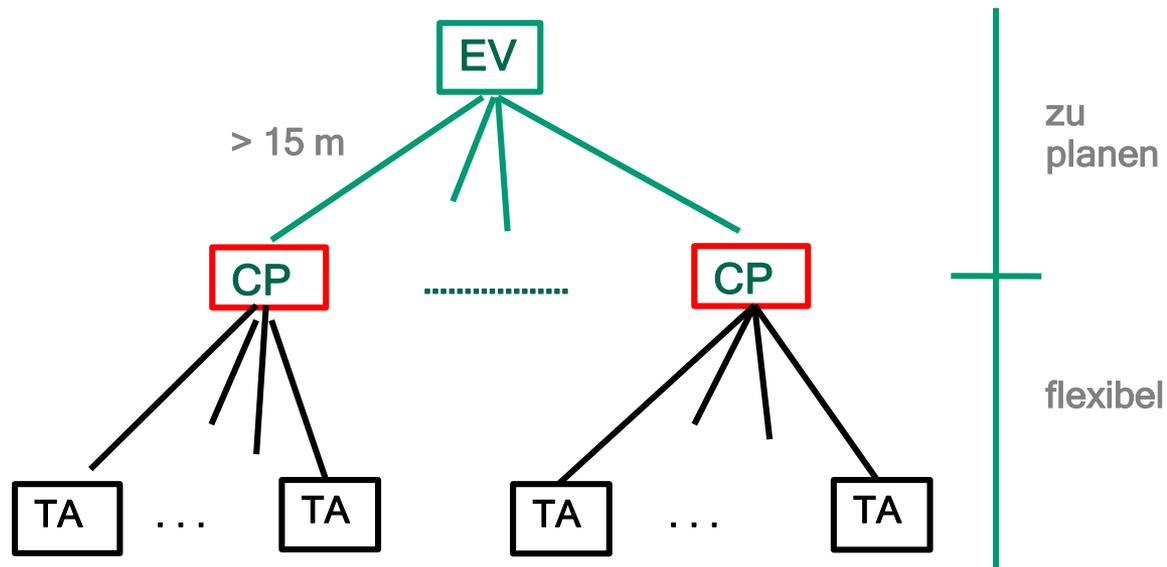
# EN 50173 Sammelpunkte (Consolidation Points)

Bürobetrieb

wechselnde Anforderungen an Anzahl und Position der Anschlußdosen

2002 Möglichkeit der Installation von Sammelpunkten zwischen Etagenverteiler und Anschlußdosen

- Zugänglichkeit muß gegeben sein (Zwischendecken, Unterflursysteme, ...)
- maximal 12 Anschlüsse pro CP
- Abstand EV  $\leftrightarrow$  CP muß größer als 15 m sein



# Qualitätssicherung

---

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>EN 50173</b>       | Formulierung Anforderungen an Netzwerkinstallation   |
| <b>EN 50174</b>       | Qualitätsplan, unterschiedliche Stufen   |
| <b>EN 50346</b>       | Meßverfahren,<br>hohe Anzahl HF-Messungen (48 pro Kabel)<br>(moderne Geräte messen Meßwertsatz in 9 s)     |
| <b>Verifizierung</b>  | Überprüfen der Verdrahtung<br>Zuordnen von Anschlüssen<br>Durchgangstest                                   |
| <b>Qualifizierung</b> | Überprüfen der Gewährleistung der Bandbreite   |
| <b>Zertifizierung</b> | Überprüfen Konformität mit vorgegebenen Standards<br>Grenzwerteinhaltung nach ISO/IEC 11801, EN 50173, ... |
| <b>Referenzierung</b> | Untersuchungen im Labor  |

# Zertifikat: Kontrollparameter

|                   |  |
|-------------------|--|
| Wiremap           | Kontrolle der korrekten Verdrahtung  |
| Impedance         | Leitungswellenwiderstand des Kabels  |
| Attenuation       | Dämpfung   |
| Length            | Länge der Übertragungsstrecke  |
| DC-Resistance     | Ohmscher Widerstand  |
| NEXT              | (near end crosstalk) Nahübersprechen   |
| FEXT              | (far end crosstalk) Fernübersprechen   |
| ACR-F (ELFEXT)    | (equal level far end crosstalk) Verhältnis des übersprechenden Ausgangspegels zum eigentlichen Ausgangspegel |
| ACR               | (Attenuation To Crosstalk Ratio) Dämpfung-Übersprech-Verhältnis  |
| powersum NEXT     | Leistungssumme des Nahübersprechens  |
| powersum ELFEXT   | Leistungssumme der elektromagnetische Koppelung am entfernten Kabelende                                      |
| powersum ACR      | Leistungssumme des Dämpfung-Übersprech-Verhältnis  |
| Return Loss       | Rückflussdämpfung  |
| NVP               | (nominal velocity of propagation) verzögerte Signallaufzeit gegenüber der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum     |
| Propagation Delay | Signallaufzeit   |
| Delay Skew        | Signallaufzeitunterschied auf verschiedenen Aderpaaren   |

# Zertifikat: Kontrollparameter

---

## **Wiremap** (Verdrahtungsfehler)

- Adernvertauschung
- Überkreuzung von Adernpaaren
- nicht paarweise Pin-zuordnung
- Ader-Schirmschluß
- offene Pins

## **Gleichstromwiderstand**

- Überschreitung von Grenzwerten problematisch
- niedrige Werte ermöglichen Fernstromversorgung

## **Kapazität** (optional)

- Überschreitung von Grenzwerten problematisch (Feuchtigkeit im Kabel, Druckstellen, ...)
- Meßwert dient der Berechnung der Impedanz

# Delay Laufzeiten

## Zusammenhang

- Signalausbreitungsgeschwindigkeit
- Länge
- NVP (Nominal Velocity of Propagation)

$$T_L = \frac{l_{Kabel}}{c_{Kabel}} = \frac{l_{Kabel}}{NVP * c_{Vakuum}}$$

**NVP**-Wert: Angabe durch Kabelhersteller ( 0,6 ... 0,9),

abhängig von

- Verkürzungsfaktor
- Schlaglänge, Verdrillung

In der Praxis wird die o.g. Formel meist umgekehrt benutzt.

Laufzeitmessung → **Kabellänge**

# Delay Skew Laufzeitdifferenzen

Kabelproduktion

→ NVP-Wert schwankt über Kabellänge

Laufzeitdifferenzen zwischen den einzelnen Adernpaaren eines Kabels

Skew = Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert

$$\text{Delay Skew} = T_{L-\max} - T_{L-\min}$$

wichtig für Technologien mit zeitparallelem Senden über mehrere Adern  
z.B. bei 10GbE



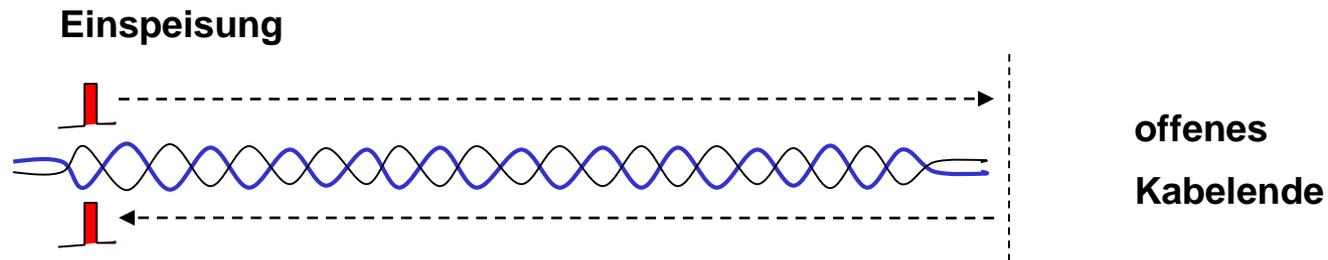
Bidirektionale Übertragung mit 4 x 250 Mbit/s

Delay Skew von 4 ns bedeutet bereits Zeitverschiebung um 1 Bitzeit !

# Laufzeitmessung

## Ausnutzung der Signalreflexion am Kabelende

- keine Reflexion, wenn korrekter Kabelabschluß mit Wellenwiderstand
- Reflexion, wenn offenes Ende
- Reflexion mit Pegelumkehr bei kurzgeschlossenem Ende

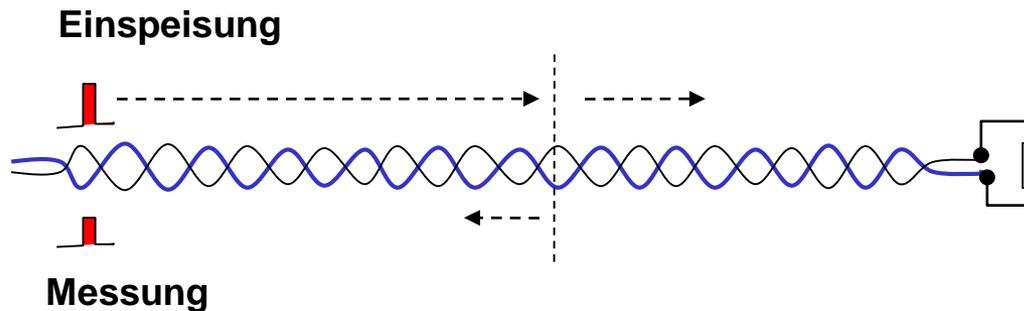


Beim Meßvorgang werden kurze Impulse ( zB. 20 ns) gesendet und die Zeitdifferenz gemessen:  
zwischen Senden Signal und Empfang des reflektierten Signales

→ **Laufzeit = Meßwert / 2**

# Kabelrückflußdämpfung ( Return Loss)

An Störstellen der Übertragungsstrecke erfolgen Signalreflexionen  
Ursachen: Kabelmontagefehler, falsche Abschlußwiderstände, ...



$$A_r = 10 \lg \left( \frac{\text{Sendeleistung}}{\text{reflektierte Leistung}} \right)$$

Beim Meßvorgang werden kurze Impulse ( zB. 20 ns) gesendet und danach die Intensität des reflektierten Signales gemessen.

Über Messung der Laufzeit kann auch Reflexionsort ermittelt werden.

# Impedanz

Wellenwiderstand

wird berechnet aus Meßwerten für Laufzeit und Kabelkapazität

→ Größe der Kabelabschlußwiderstände

$$Z_0 = \frac{T_L}{C}$$

$$c_{Kabel} = \frac{l_{Kabel}}{T_L} = \frac{1}{\sqrt{L' * C'}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

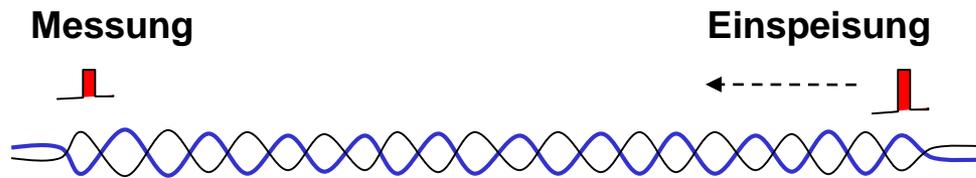
## Beispielmessung

- 500 ns Laufzeit
- 5 nF Kapazität

→ 100 Ω Impedanz

# Kabeldämpfung ( Insertion Loss)

Dämpfungsgrenzwerte müssen unbedingt eingehalten werden  
→ Messungen und ggf. Korrekturen an der Netzwerkinstallation



$$A_i = 10 \lg \left( \frac{\text{Sendeleistung} - \text{fern}}{\text{Empfangsleistung} - \text{nah}} \right)$$

**Kabeldämpfung** abhängig von

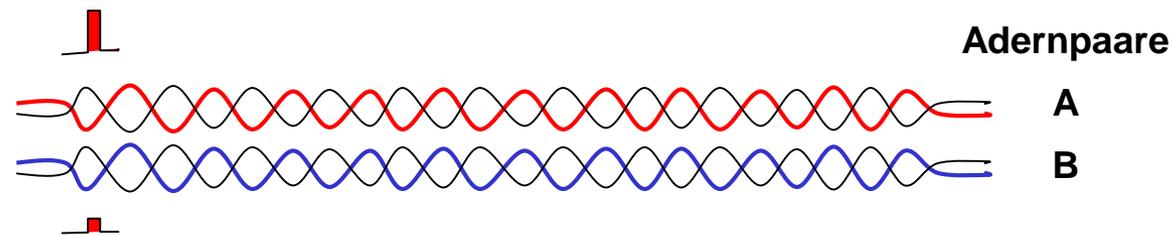
- Kabellänge
- Frequenz
- Installationsfehlern (Biegungen, Quetschungen)
- Temperatur , Luftfeuchtigkeit

Insertion Loss ist durch Verstärkung korrigierbar

# NEXT Near End Crosstalk

## Nahübersprechen NEXT

- Signalströme im Paar A induzieren Störströme im Nachbar-Paar B
- NEXT wird am Kabelanfang gemessen, Maßeinheit dB
- relativ längenunabhängig
- stark frequenzabhängig, beeinflussbar durch Kabelqualität



$$NEXT = 10 \lg \left( \frac{\text{Sendeleistung} - \text{nah} - A}{\text{Störleistung} - \text{nah} - B} \right)$$

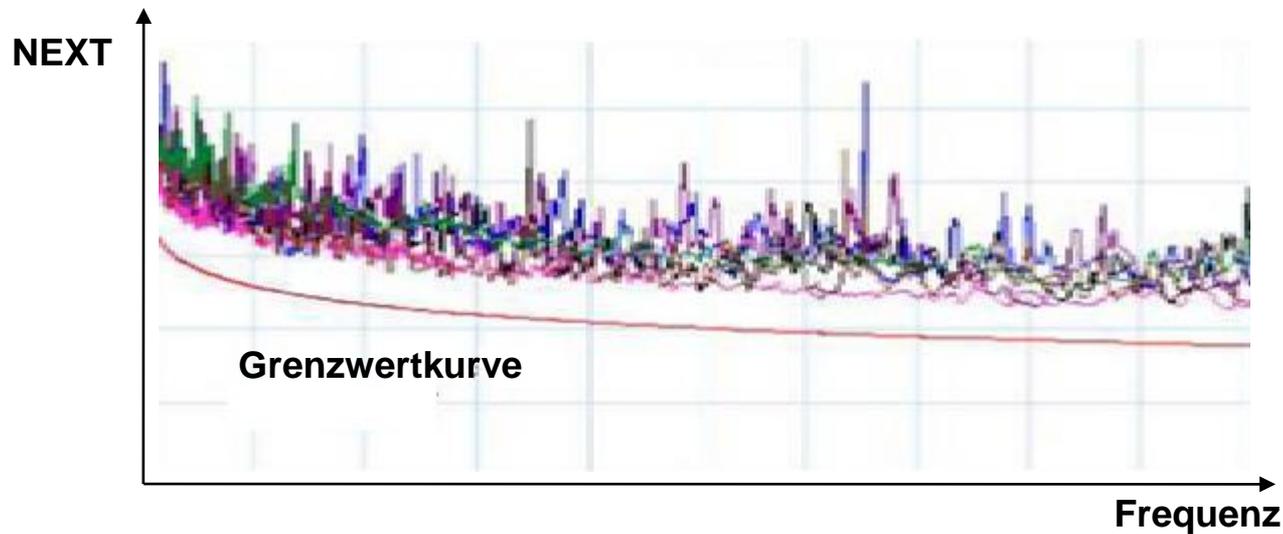
NEXT kann sich an den beiden Enden unterscheiden → 2 Messungen  
NEXT ist prinzipiell korrigierbar, durch Gegensteuern im Adernpaar B

# PSNEXT Power Sum NEXT

berücksichtigt NEXT von **allen** anderen Paaren im Kabel  
bedeutsam für Kabel mit Parallel-Übertragung über mehrere Adernpaare

Hauptursachen für schlechte NEXT-Werte

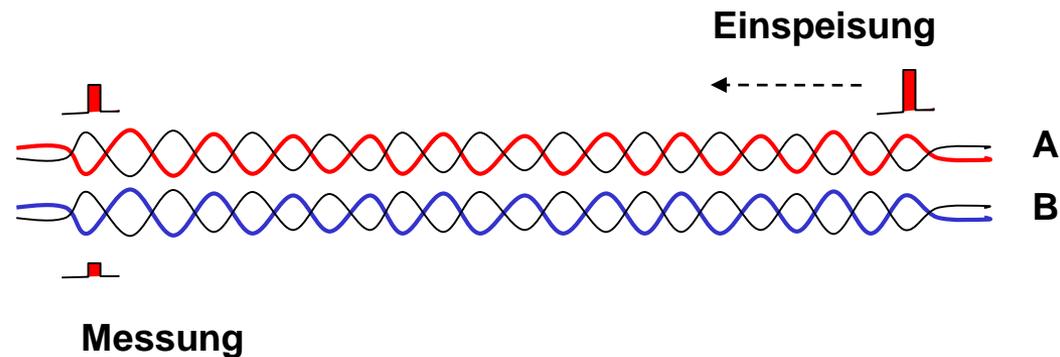
- zu geringe Qualität der Netzwerkkomponenten
- Montagefehler



# FEXT Far End Crosstalk

## Fernübersprechen FEXT

- FEXT wird am der Einspeisung entgegengesetzten Ende gemessen
  - Nebensprechen erfolgt über gesamte Kabellänge  
zusätzlich geht Leitungsdämpfung ein
- FEXT-Wert längenabhängig, schwer meßbar



$$FEXT = 10 \lg \left( \frac{\text{Sendeleistung} - \text{fern} - A}{\text{Störleistung} - \text{nah} - B} \right)$$

FEXT ist nicht korrigierbar.

...

**ACR** Attenuation Crosstalk Ratio  
Verhältnis des Nebensprechens NEXT zur Dämpfung A

$$\text{ACR [dB]} = \text{NEXT [dB]} - \text{Dämpfung [dB]}$$

**ACR-F** bzw. **ELFEXT** (Equal Level Far-end Cross Talk)  
Verhältnis des Nebensprechens FEXT zur Dämpfung A  
relativ längenunabhängig

$$\text{ACR-F [dB]} = \text{FEXT [dB]} - \text{Dämpfung [dB]}$$

**PSACR** und **PSACR-F**

$$\text{PSACR} = \text{PSNEXT} - \text{Dämpfung des eigenen Paares}$$

$$\text{PSACR-F} = \text{Summe ACR-F der anderen Paare}$$

# EMI (Eletromagnetic Interference) / AXTALK (Alien NEXT)

## **EMI**

Einstrahlung durch Emission fremder Geräte

## **AXTALK**

Übersprechen in Kabelbündeln zwischen Nachbarkabeln  
ANEXT, PS ANEXT, PS AACR-F, ...

Problem bei Frequenzen  $\geq 500$  MHz in UTP-Installationen

## **Auswege**

- Kabelabstände erhöhen
- Abstände der Netzwerkdosen erhöhen
- Patch Panels mit größerem Buchsenabstand
  
- bessere Schirmung durch S/FTP-Kabel  
Dämpfung des Alien AXTALK um 100 dB
  
- Installation auf Niveau Klasse F  
Gütegarantie „per Design“

# Grenzwerte

Grenzwerte einer Übertragungsstrecke Klasse E (250 MHz)  
nach Standard EN 50173:2001

| Meßwerte       | Frequenz / MHz |      |      |      |      |       |      |      |      |
|----------------|----------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
|                | 1              | 4    | 10   | 16   | 20   | 31,25 | 100  | 200  | 250  |
| Loss [dB]      |                |      |      |      |      |       |      |      |      |
| Delay [ns]     |                |      |      |      |      |       |      |      |      |
| Insertion Loss | 4,0            | 4,2  | 6,5  | 8,3  | 9,3  | 11,7  | 21,7 | 31,7 | 35,9 |
| Delay          |                |      |      | 555  |      |       |      |      |      |
| Delay Skew     | 50,0           | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0  | 50,0 | 50,0 | 44,0 |
| NEXT           | 65,0           | 63,0 | 56,6 | 53,2 | 51,6 | 48,4  | 39,9 | 34,8 | 33,1 |
| PSNEXT         | 62,0           | 60,5 | 54,0 | 50,6 | 49,0 | 45,7  | 37,1 | 31,9 | 30,2 |
| Return Loss    | 19,0           | 19,0 | 19,0 | 18,0 | 17,5 | 16,5  | 12,0 | 9,0  | 8,0  |
| ACR-F          | 63,2           | 51,2 | 43,2 | 39,2 | 37,2 | 33,3  | 23,3 | 17,2 | 15,3 |
| PSACR-F        | 60,3           | 48,3 | 40,3 | 36,2 | 34,3 | 30,4  | 20,3 | 14,2 | 12,3 |
| ACR            | 62,8           | 58,9 | 50,0 | 44,9 | 42,3 | 36,7  | 18,2 | 3,0  | -2,8 |
| PSACR          | 58,0           | 56,3 | 47,5 | 42,3 | 39,7 | 34,0  | 15,4 | 0,2  | -5,7 |

# IEEE 802.3af Power over Ethernet

|              |   |
|--------------|---|
| bisher       | Informationsübertragung über Netzwerk<br>Stromversorgung getrennt (220V-Wechselstromnetz)   |
| IEEE 802.3af | Stromversorgung über Netzwerk<br>PSE (Power Sourcing Equipment) → PD (Powered Device)<br><br>pro Kabel ca. 15 W Leistung, und 44 ... 57 V Spannung<br>typischerweise 48 V |

## 2 Varianten

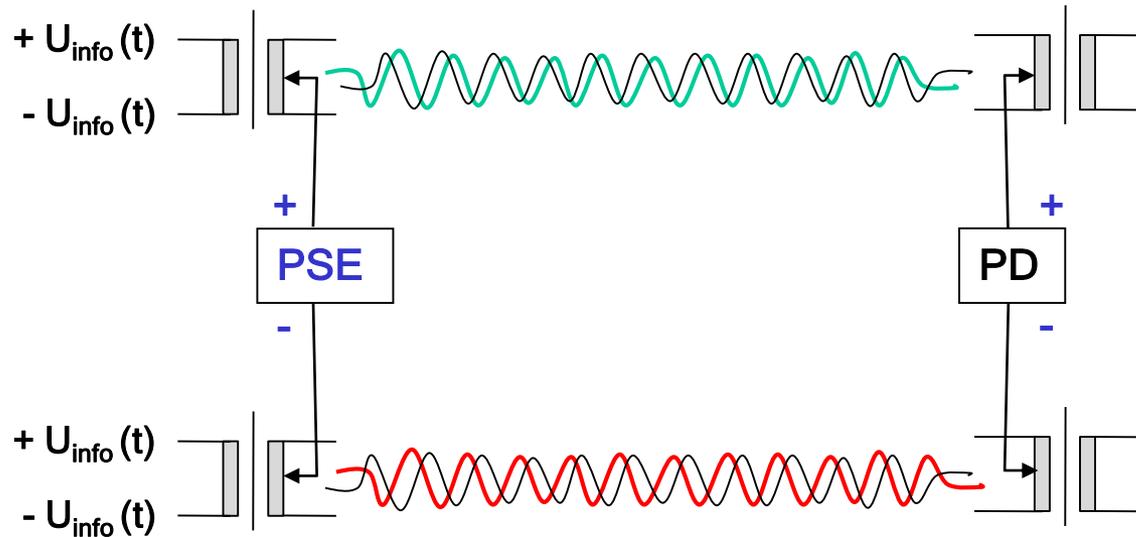
- Phantomeinspeisung MDI und MDI-X (über Datenübertragungspaare)
- Spare-Pair-Einspeisung (über ungenutzte Paare)
  
- PSE kann Verfahren wählen (muß aber einheitlich sein im Netzwerk)
- PD muß alle Verfahren beherrschen
- beim Anschließen erfolgt Erkennungsprozedur (zwischen PSE und PD)

→ **Vorsicht**

# IEEE 802.3af Phantomeinspeisung

PSE setzt Adernpaare 1/2 und 3/6 auf unterschiedliche Potentiale  
PD kann die Spannungsdifferenz nutzen

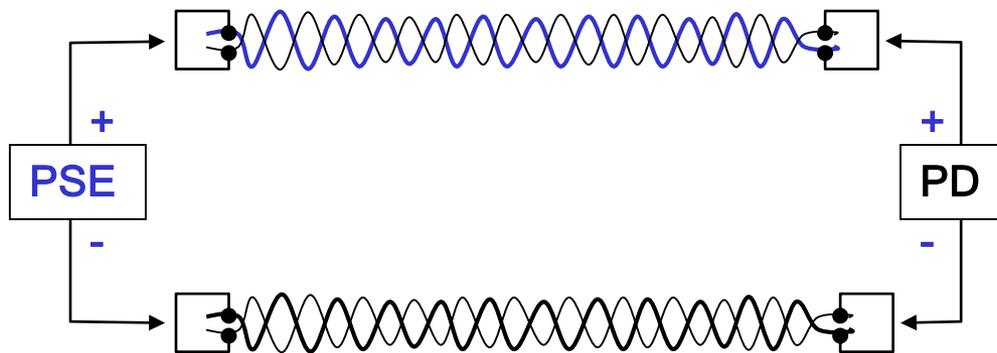
## MDI (Phantomeinspeisung)



## MDI-X (Phantomeinspeisung - alternativ mit umgekehrter Polung)

# IEEE 802.3af Spare-Pair-Einspeisung

PSE setzt Adernpaare 4/5 und 7/8 auf unterschiedliche Potentiale  
PD kann die Spannungsdifferenz nutzen



## Probleme

- unkompatibel zu ISDN, ...
- ungeeignet für Netzwerke, in denen alle Adernpaare genutzt werden !!! (z.B. Gbit-Ethernet)

# IEEE 802.3af Power over Ethernet

| <b>Leistungsklassen</b> |            |            |                     |                    |
|-------------------------|------------|------------|---------------------|--------------------|
| Klasse                  | Typ        | Max. Strom | Max. Leistung (PSE) | Max. Leistung (PD) |
| 0                       | default    | 0-5 mA     | 15,4 W              | 0,44 W - 12,95 W   |
| 1                       | optional   | 8-13 mA    | 4,0 W               | 0,44 W - 3,84 W    |
| 2                       | optional   | 16-21 mA   | 7,0 W               | 3,84 W - 6,49 W    |
| 3                       | optional   | 25-31 mA   | 15,4 W              | 6,49 W - 12,95 W   |
| 4                       | reserviert | 35-45 mA   | 15,4 W              | reserviert         |

Standardleistung 15 W reicht für VoIP-Telefone, ..., nicht für Computer  
Erhöhung auf 30 W in Diskussion (IEEE 802.3at)

## Wärmeentwicklung

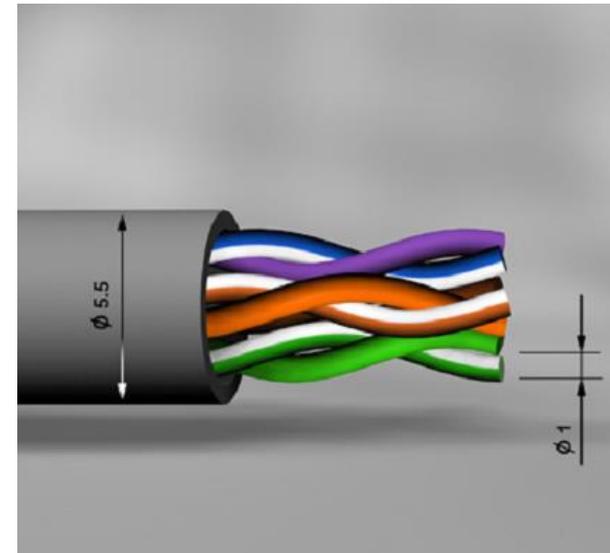
- pro Kabel ist die Wärmeabgabe unkritisch
- bei Kabelbündeln muß Wärmebilanz berechnet werden !  
zulässiger Kabeltemperaturbereich z.B. - 20 ... + 60 °C

# UTP

UTP, PVC, 4 pair, Cat-5, 305 m  
39-504-PB (Molex)

## Eigenschaften:

1. kompatibel zu EIA/TIA 568A and ISO/IEC 11801
2. speziell für horizontale Verkabelung und Backbone
3. schmaler Außendurchmesser
4. Charakteristische Impedanz =  $100 \pm 15$  Ohm
5. Min. NEXT bei 100 m und 100MHz = 32 dB
6. Max. Dämpfung, dB/100 m bei 100MHz = 22 dB
7. Temperaturbereich von -20 bis +60 °C



Paar 1: weiss-blau/blau

Paar 2: weiss-orange/orange

Paar 3: weiss-grün/grün

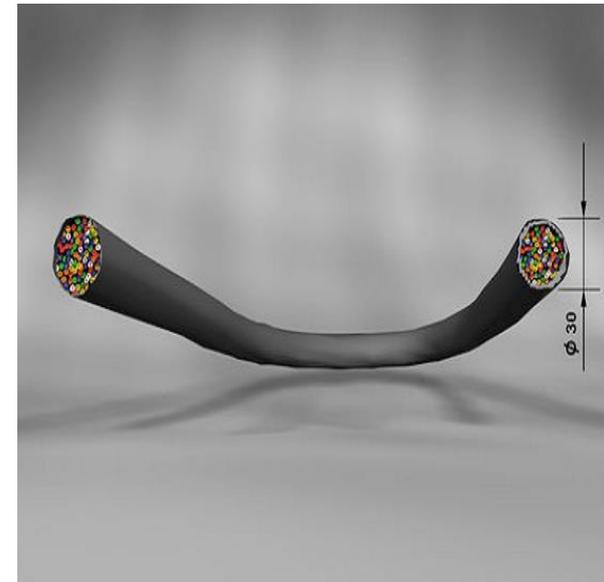
Paar 4: weiss-braun/braun

# UTP

UTP Cable Riser, 100-pair  
MS.B0130 (Molex)

## Eigenschaften:

1. kompatibel zu EIA/TIA 568A and ISO/IEC 11801
2. 4 x 25 Paar-Elemente
3. FR-PVC-Mantel (feuerfestes PVC)
4. kompatibel mit EIA/TIA 568A und ISO/IEC 11801
5. speziell für Sprache und Backbone
6. Min. NEXT bei 100 m und 16 MHz = 23 dB
7. Charakteristische Impedanz =  $100 \pm 25$  Ohm
8. Max. Dämpfung, dB/100 m bei 16 MHz = 13.1
9. Temperaturbereich = -20 to +60 °C

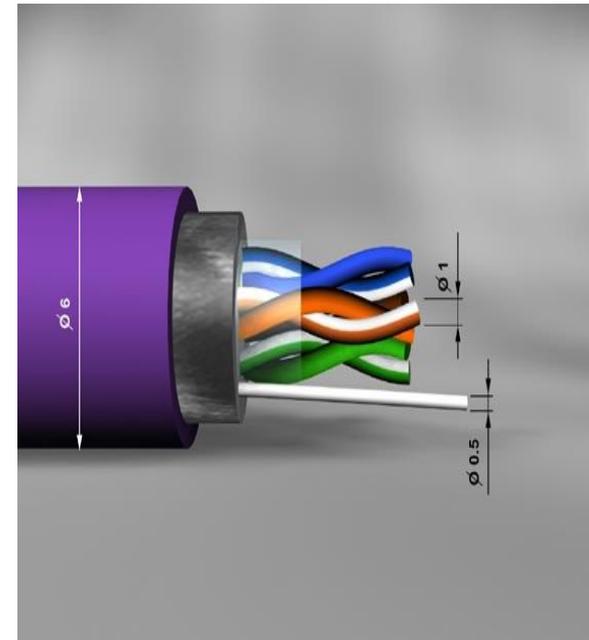


# FTP

FTP, LSZH, 4 pair, Cat-5.305m  
39A-504-AA (Molex)

## Eigenschaften:

1. LSZH-Mantel (Low Smoke Zero Halogen)
2. kompatibel mit EIA/TIA 568A und ISO/IEC 11801
3. Speziell für horizontale Verkabelung and Backbone
4. Schmäler Außendurchmesser
5. Min. NEXT bei 100 m Kabel und 100 MHz = 32 dB
6. Charakteristische Impedanz =  $100 \pm 15$  Ohm
7. Max. Dämpfung, dB/100 m = 22
8. Temperaturbereich = -20 to +600C



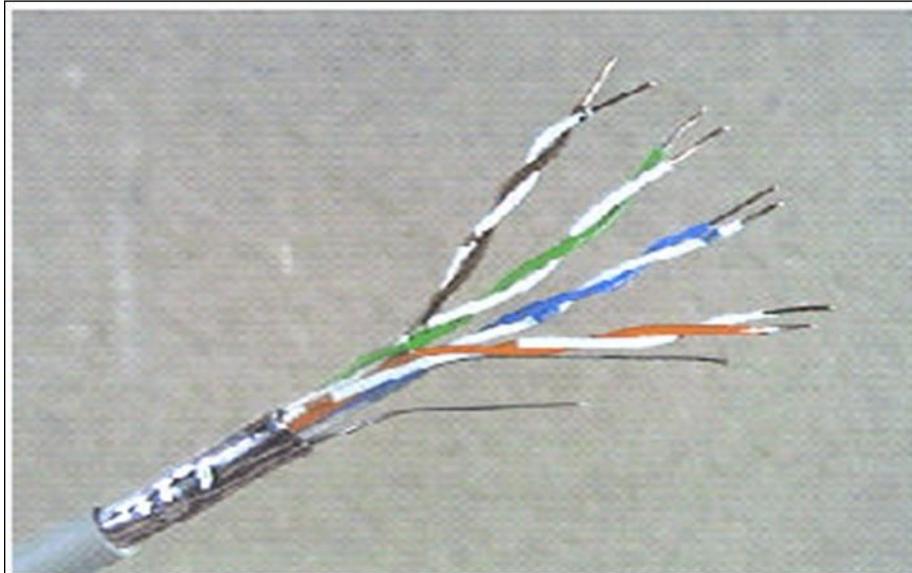
Paar 1: weiss-blau/blau

Paar 2: weiss-orange/orange

Paar 3: weiss-grün/grün

Paar 4: weiss-braun/braun

# S/UTP

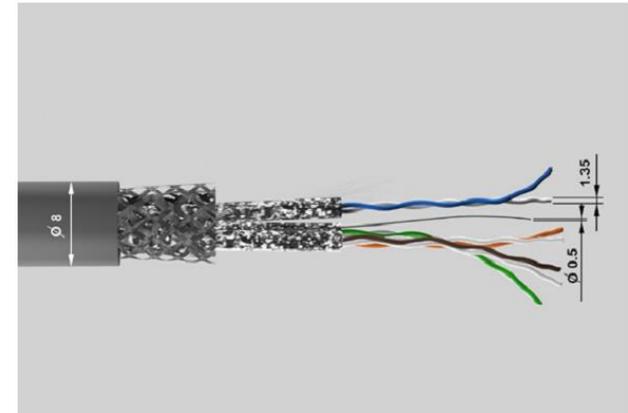


# S/FTP

S/FTP PVC Cable 600 MHz 4-pair, 305 m  
39A-504-SM

## Eigenschaften:

1. kompatibel mit DIN 44312-5 (600 MHz)
2. speziell für horizontale Verkabelung und Backbone
3. FR-PVC- Mantel (feuerfestes PVC), grau (RAL 7046)
4. jedes Paar individuell mit Aluminium/Polyester Folie abgeschirmt
5. Durchmesser des Leiters 23 AWG (0.58 mm)
6. garantiert EMV -Schutz (360 Grad Abschirmung)
7. Charakteristische Impedanz  $100 \pm 15$  Ohm
8. Maximale Dämpfung 45.49 dB/100 m
9. Mechanische Charakteristiken bei 600 MHz 100 W
10. Pair-Pair NEXT 600MHz = 98 dB/100m
11. Temperaturbereich = -20 to +60 0C

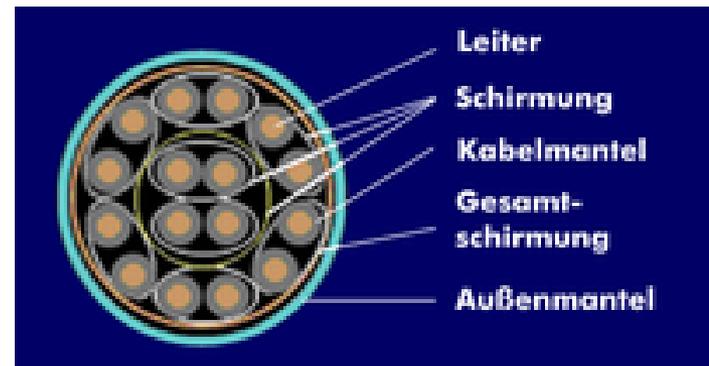


# Twinax Cable

## SFP IB4X Cable

### Eigenschaften:

1. Für die Ethernettechnologie 10Gbase-CX4 optimiert  
Dämpfung unter 10 dB auf 15 m bei 1,25 GHz
2. 8 Adernpaare mit Schirmung  
innen 2 Adernpaare mit Zusatzschirmung,  
darum weitere 6 Adernpaare  
außen Gesamtschirmung
3. Spezielle Stecker/Buchsen



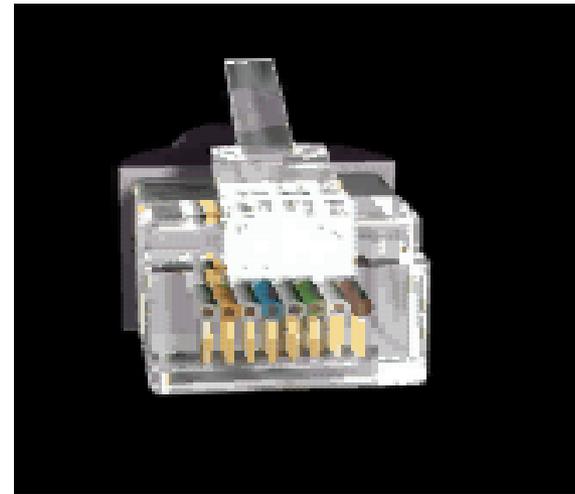
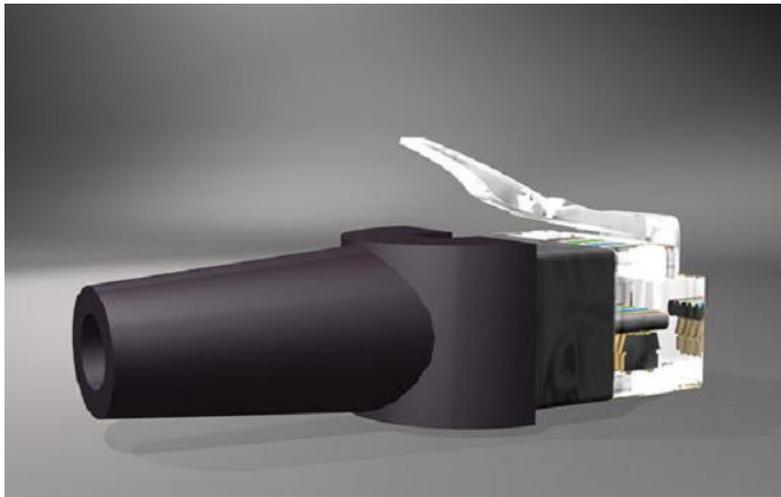
Quelle:  
[www.itwissen.info](http://www.itwissen.info)

# Stecker

## RJ45 Shielded Modular Plug Kit MX95043-2891 (Molex)

### Eigenschaften:

1. entspricht Cat5 - Anforderungen
2. 360° Abschirmung
3. Draht: 1.02 mm  $\pm$  0.1 mm
4. Plastteile (Schutzstecker) zugehörig

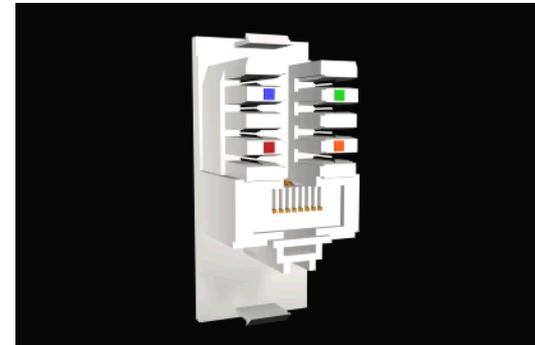


# Buchsen

Euromod 1xRJ45, M1 Straight, 568B, UTP, PoweCat, White  
17.1B.011.A0042 (Molex)

## Eigenschaften:

1. Euromod-Wallplates und Bezels kompatibel
2. enthält RJLP RJ45-Connector geschlossen
3. PowerSum kompatibel
4. geeignet für High Speed Data Transmission (Gigabit Ethernet, 622 Mbps ATM)
5. Platzsparende kleine Module



# Lichtwellenleiter

## Eigenschaften

- hohe Übertragungsraten, sehr hohe Reichweiten
- hohe Abhörsicherheit
- keine Beeinflussung durch äußere elektromagnetische Störfelder
- kein Nebensprechen
- Erdung Potentialausgleich, Abschirmung nicht nötig, Überspannungsschutz, keine Explosionsgefahr
- keine Möglichkeit der Gerätestromversorgung über LWL
- empfindlich gegenüber mechanischer Belastung, Gefahr Faserbruch nicht einfach zu verlegen, Zuglasten, Biegeradius
- hoher Konfektionierungsaufwand (Installation durch Spezialfirmen)
- Schwachstelle Steckertechnik (Verschmutzung, Justage)  
Dämpfung durch Spleiße
- hohe Kosten für Geräte- und Messtechnik

# Faser-Kategorien

## Optical Multimode OM1 ... OM3e

- preiswert, insbesondere bei Nutzung von LED-Strahlern
- Modendispersion, Einschränkungen Datenraten/Entfernungen

## Optical Singlemode OS1

- kostenintensiv
- keine Modendispersion, höhere Datenraten/größere Kabellängen

| <b>Max. zulässige Dämpfung nach EN 50173-1</b> |                       |         |         |         |
|--|-----------------------|---------|---------|---------|
| Kategorie                                      | Max. Dämpfung (dB/km) |         |         |         |
|  | 850 nm                | 1300 nm | 1310 nm | 1550 nm |
| <b>OM1</b>                                     | 3,5                   | 1,5     |         |         |
| <b>OM2</b>                                     | 3,5                   | 1,5     |         |         |
| <b>OM3</b>                                     | 3,5                   | 1,5     |         |         |
| <b>OS1</b>                                     |                       |         | 1,0     | 1,0     |

# Faser-Klassen

## nach EN 50173-1

- **OF-300** zulässig für Kabellängen bis 300 m
- **OF-500** zulässig für Kabellängen bis 500 m
- **OF-2000** zulässig für Kabellängen bis 2000 m

| <b>Max. zulässige Dämpfung auf der Übertragungsstrecke</b> |                  |         |                 |         |
|--|------------------|---------|-----------------|---------|
| <b>Klasse</b>  | <b>Multimode</b> |         | <b>Monomode</b> |         |
|  | 850 nm           | 1300 nm | 1310 nm         | 1550 nm |
| <b>OF-300</b>  | 2,55 dB          | 1,95 dB | 1,8 dB          | 1,8 dB  |
| <b>OF-500</b>  | 3,25 dB          | 2,25 dB | 2,0 dB          | 2,0 dB  |
| <b>OF-2000</b>   | 8,50 dB          | 4,50 dB | 3,5 dB          | 3,5 dB  |

# modale Bandbreite bei OM-Fasern

**BLP** – (Effektive Modal Bandwidth)  
Bandbreitenlängenprodukt , bzw. modale Bandbreite  
Maß für Modendispersion bei OM-Fasern

Max. Größe der Impulsfrequenz bei 1 km Kabellänge  
Gemessen in [MHz\*km]

z.B.       $BLP = 1000 \text{ MHz*km}$   
Länge 1 km      max. Impulsfrequenz 1000MHz  
Länge 2 km      max. Impulsfrequenz 500 MHz

Meßmethode **OFL** (Overfilled Launch)

- LED-ähnliche Lichteinkopplung  
(weiter Öffnungswinkel, Anregung aller Kernmoden)  
Messung bei Wellenlängen von 850 nm und bei 1300 nm
- Erhöhung Lichtimpulsfrequenz , bis zur 3dB-Dämpfung (ca 50%)
- Multiplikation    Frequenz x Faserlänge

BLP bei LED-optimierten Fasern meist für 1300 nm größer als für 850 nm

# Lichtwellenleiter - Technologieeignung

## Fasertypen

- Optical Multimode OM1 ... OM3e
- Optical Singlemode OS1

Zitat:  
KSI Kontakt-Systeme Inter GmbH

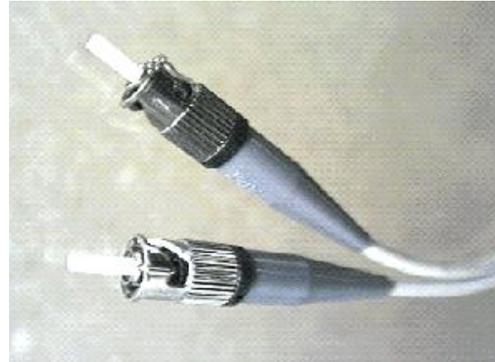
|                    | OM1    | OM1e  | OM2 | OM2e   | OM3   | OM3e  | OS1    |
|--------------------|--------|-------|-----|--------|-------|-------|--------|
| <b>100BASE-SX</b>  | OF300  |       |     |        |       |       | -      |
| <b>100BASE-FX</b>  | OF2000 |       |     |        |       |       |        |
| <b>1000BASE-SX</b> | -      | OF500 |     |        |       |       | -      |
| <b>1000BASE-LX</b> | OF500  |       |     | OF2000 | OF500 |       | OF2000 |
| <b>10GBASE-SR</b>  | -      |       |     |        | OF300 | OF500 | -      |
| <b>10GBASE-LX4</b> | OF300  |       |     | OF500  | OF300 |       | OF2000 |
| <b>10GBASE-LR</b>  | -      |       |     |        |       |       |        |
| <b>10GBASE-LW</b>  |        |       |     |        |       |       |        |
| <b>10GBASE-ER</b>  |        |       |     |        |       |       |        |
| <b>10GBASE-EW</b>  |        |       |     |        |       |       |        |

## Lichtwellenleiter-Fasertypen Übersicht

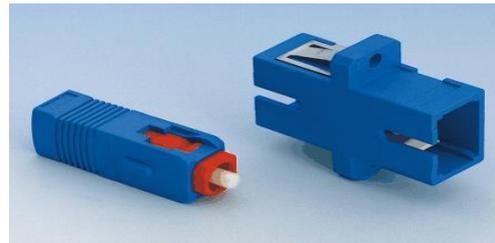
| Standards                                    |                        | Multimode     |               |               |               |               |               | Singlemode    |
|--|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| IEC/ISO 11801 Klasse                         |                        | OM1           | OM1e          | OM2           | OM2e          | OM3           | OM3e          | OS1           |
| IEC 60793-2 Kategorie                        |                        | 10-A1b        | 10-A1b        | 10-A1a        | 10-A1a        | 10-A1a.2      | 10-A1a.2      | 50-B1.1       |
| EN 50173-1 Standards                         |                        | EN 60793-2-10 | EN 60793-2-50 |
| ITU-T  |                        | G.651         | G.651         | G.651         | G.651         | G.651         | G.651         | G.652         |
| Core/Cladding                                |                        | 62,5 / 125 µm | 62,5 / 125 µm | 50 / 125µm    | 50 / 125µm    | 50 / 125µm    | 50 / 125µm    | 9(10) / 125µm |
| optimiert für Wellenlänge                    |                        | -             | 1300nm        | -             | 1300nm        | 850nm         | 850nm         | -             |
| numerische Apertur                           |                        | 0,275         | 0,275         | 0,2           | 0,2           | 0,2           | 0,2           | -             |
| <b>Dämpfung dB/km (typisch)</b>              |                        |               |               |               |               |               |               |               |
| 850nm  |                        | 3,1           | 3,1           | 2,5           | 2,5           | 2,5           | 2,3           | 0,4           |
| 1300nm                                       |                        | 0,8           | 0,8           | 0,7           | 0,7           | 0,7           | 0,5           | 0,25          |
| <b>Bandbreitenlängenprodukt (BLP) MHz*km</b> |                        |               |               |               |               |               |               |               |
| 850nm OFL (minEMBc)                          |                        | 200           | 250           | 500           | 600           | 1500 (2000)   | 3500 (4500)   | -             |
| 1300nm                                       |                        | 600           | 800           | 1000          | 1200          | 500           | 500           | -             |
| <b>Linklänge m</b>                           |                        |               |               |               |               |               |               |               |
| 850nm  | 100BASE-SX / 100Mbit/s | 300           | 300           | 300           | 300           | 300           | 300           | -             |
|  | 1000BASE-SX / 1Gbit/s  | 275           | 500           | 550           | 750           | 900           | 1000          | -             |
|  | 10GBASE-SR / 10Gbit/s  | 33            | 65            | 82            | 110           | 300           | 550           | -             |
| 1310nm                                       | 100BASE-FX / 100Mbit/s | 2000          | 2000          | 2000          | 2000          | 2000          | 2000          | 60000         |
|  | 1000BASE-LX / 1Gbit/s  | 550           | 1000          | 550           | 2000          | 550           | 550           | 5000          |
|  | 10GBASE-LX4 / 10Gbit/s | 300           | 450           | 300           | 900           | 300           | 300           | 10000         |
|  | 10GBASE-LR / 10Gbit/s  | -             | -             | -             | -             | -             | -             | 10000         |
|  | 10GBASE-LW / 10Gbit/s  | -             | -             | -             | -             | -             | -             | 10000         |
| 1550nm                                       | 10GBASE-ER / 10Gbit/s  | -             | -             | -             | -             | -             | -             | 40000         |
|  | 10GBASE-EW / 10Gbit/s  | -             | -             | -             | -             | -             | -             | 40000         |

# Steckertypen für LWL

ST-Stecker



SC-Stecker



SC-Duplex-Stecker

