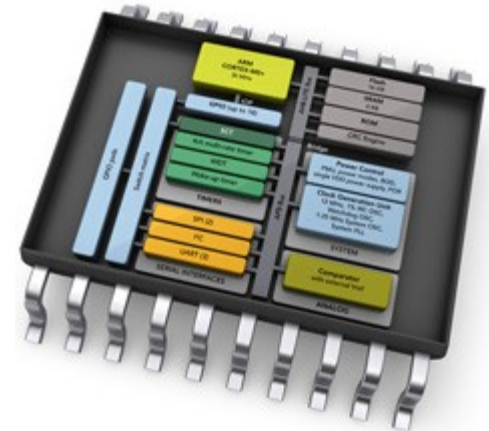


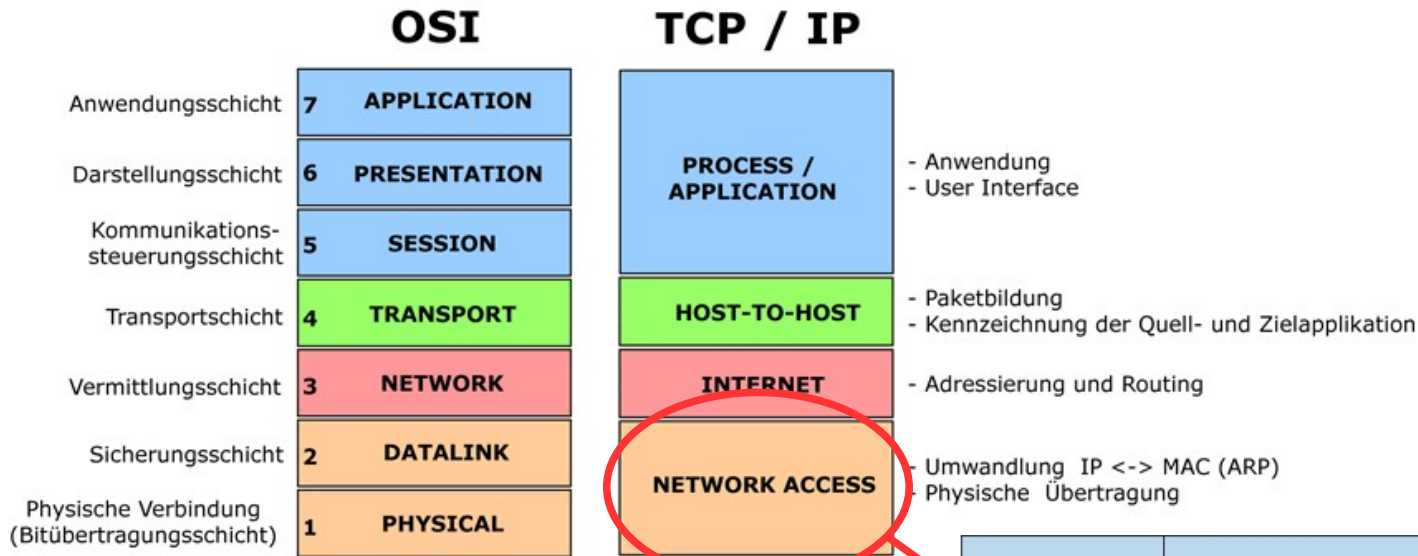
Kommunikationssysteme

(Modulcode 941306)

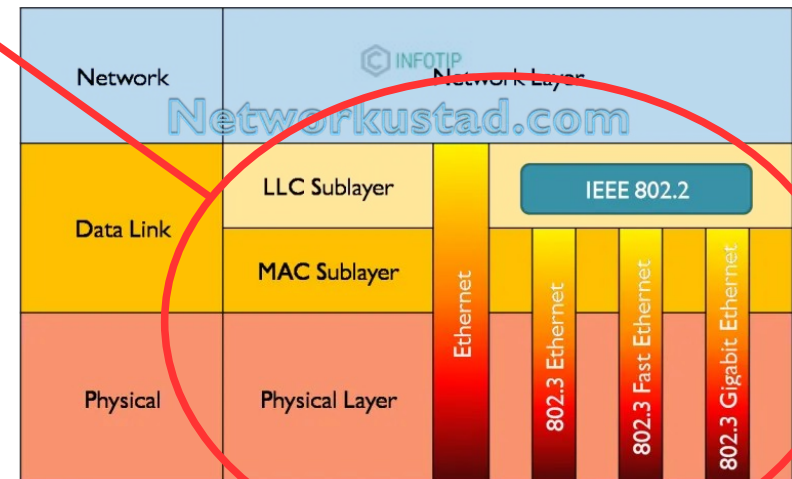
Prof. Dr. Andreas Terstegge



Schichten 1 und 2 im ISO/OSI Referenzmodell und im TCP/IP Referenzmodell



Heute mal
Bottom-up ...



Beispiele für Layer 1/2 Standards: Ethernet Standards

Ethernet-Standard	Bezeichnung	Datenrate	Kabeltechnik	Erscheinungsjahr
802.3	10Base5	10 Mbit/s	Koaxialkabel	1983
802.3a	10Base2	10 Mbit/s	Koaxialkabel	1988
802.3i	10Base-T	10 Mbit/s	Twisted-Pair-Kabel	1990
802.3j	10Base-FL	10 Mbit/s	Glasfaserkabel	1992
802.3u	100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-SX	100 Mbit/s	Twisted-Pair-Kabel, Glasfaserkabel	1995
802.3z	1000Base-SX, 1000Base-LX	1 Gbit/s	Glasfaserkabel	1998
802.3ab	1000Base-T	1 Gbit/s	Twisted-Pair-Kabel	1999
802.3ae	10GBase-SR, 10GBase-SW, 10GBase-LR, 10GBase-LW, 10GBase-ER, 10GBase-EW, 10GBase-LX4	10 Gbit/s	Glasfaserkabel	2002
802.an	10GBase-T	10 Gbit/s	Twisted-Pair-Kabel	2006

Übertragungsmedien: Schicht 1

Kupferdoppelader (Twisted Pair)

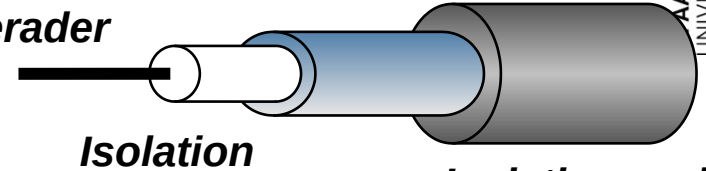
Kupferader



Koaxialkabel

Abschirmung

Kupferader



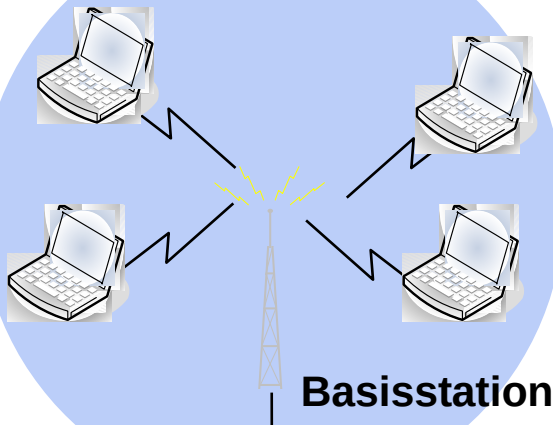
Isolation

Isolation und
mechanische
Schutzhülle

Unterschiedliche Medien
(verschieden in Übertragungs-
technik, Kapazität und
Bitfehlerrate)

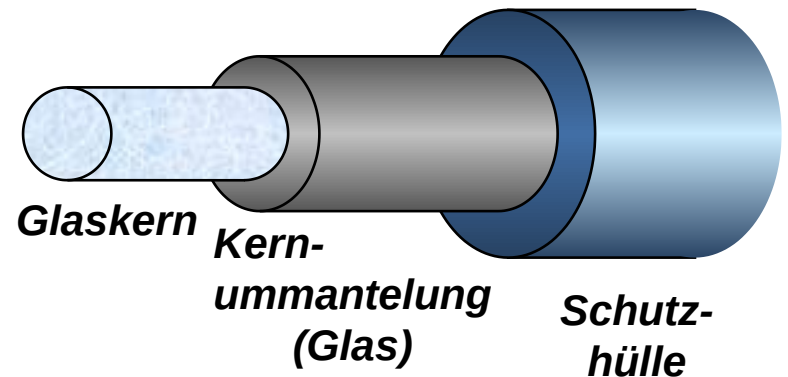
Funk

Funkreichweite



Festnetz

Glasfaser

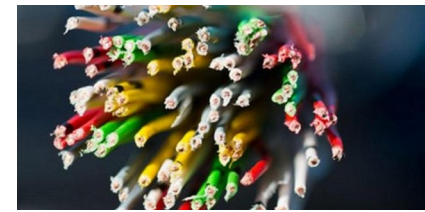


Glaskern

Kern-
ummantelung
(Glas)

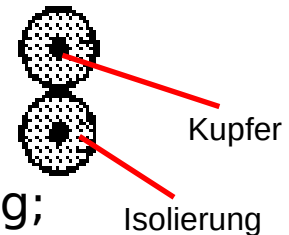
Schutz-
hülle

- Die Übertragung von (z.B. binären) Informationen geschieht über physikalische Größen wie z.B. Spannung oder elektromagnetische Wellen (Funk, Licht)
- Diese physikalischen Größen besitzen unterschiedliche Eigenschaften:
 - Amplitude (höhe der Spannung, Stärke des Lichtes..)
 - Frequenz
 - Phase
- Die Veränderung dieser Eigenschaften im Rahmen der Datenübertragung nennt man **Modulation**
 - Amplitudenmodulation (AM)
 - Frequenzmodulation (FM)
 - Phasenmodulation (PM)
- Verschiedene Modulationsarten können auch kombiniert werden!



Eigenschaften:

- Daten werden als **Spannungsniveaus** übertragen
 - > **Anfällig für Störungen**: Geräte oder andere Kabel in der Umgebung, die elektromagnetische Felder ausstrahlen, verfälschen die Darstellung der Bits auf dem Kupferkabel
- Besteht aus zwei gegeneinander isolierten, verdrehten Kabeln
 - > Verdrillen reduziert elektromagnetische Interferenzen
 - > Trotzdem: **Bit Error Rate** (BER) $\leq 10^{-5}$
 - > Einfach (bzgl. Kosten und Wartung)
 - > Oft existiert Twisted Pair bereits zur Telefon-Verkabelung;
 - > dies senkt die Vernetzungskosten
 - > Kabel dürfen nur eine Länge bis ca. hundert Meter haben (das Kupfer wirkt als Widerstand und schwächt das sich ausbreitende Signal ab!)
→ geringere Internet-Bandbreite!



Twisted Pair bei der Vernetzung

Unterscheidung nach Kategorie

Kategorie 3

Gemeinsame Umhüllung für vier Kupferdoppeladern

Kategorie 5

Wie Kategorie 3, aber mehr Windungen/cm (weitere Reduktion der elektromagnetischen Interferenzen)

Umhüllung besteht aus Teflon (bessere Isolierung, Qualität der Signale bleibt auf längere Strecken akzeptabel)

Kategorie 6,7

Die Paare sind zusätzlich einzeln mit Silberfolie umwickelt

Unterscheidung nach Abschirmung

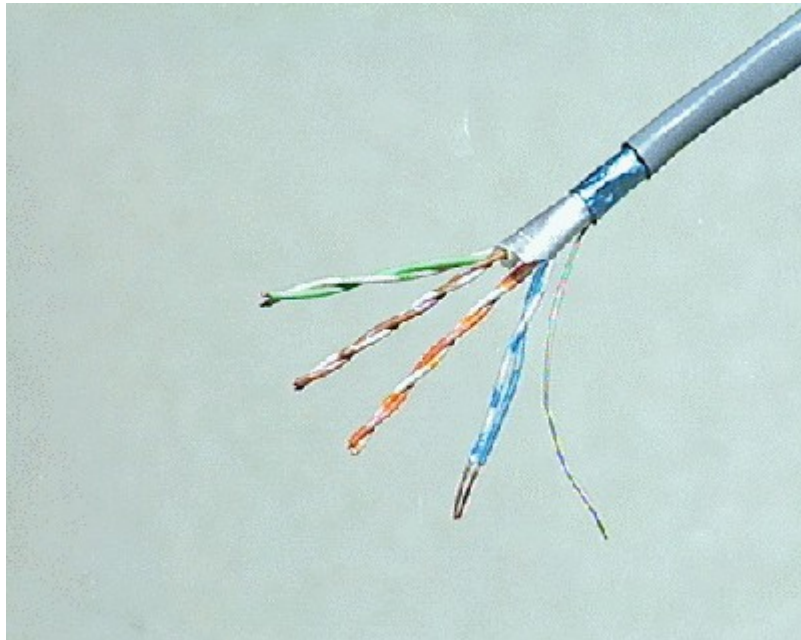
UTP Kabel (Unshielded Twisted Pair)

Keine Abschirmung des Kabels

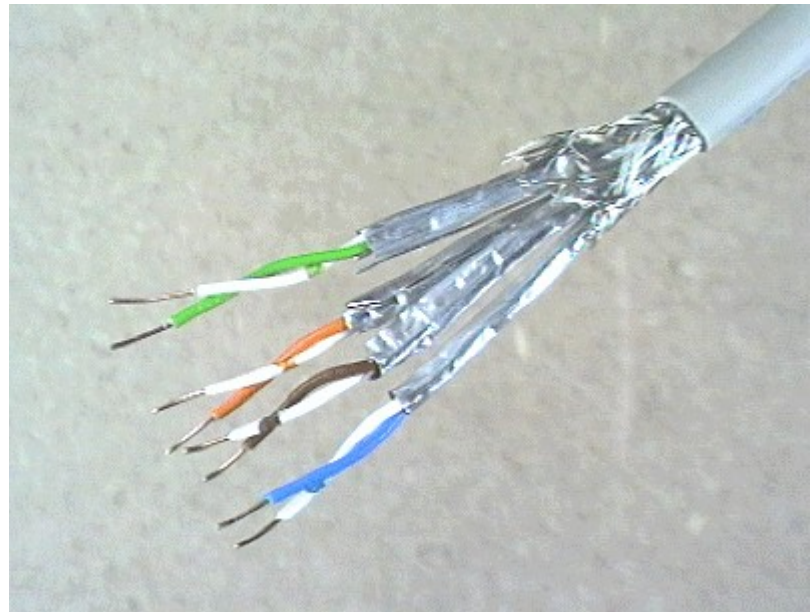
STP Kabel (Shielded Twisted Pair)

Abschirmung des Kabels, dadurch günstigere Eigenschaften
Trotzdem in der Praxis oft UTP

Kupferdoppelader (Twisted Pair)



S/UTP-Kabel (cat 5)



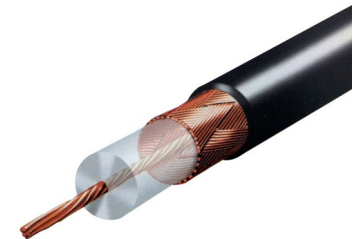
S/STP-Kabel (cat 7)



RJ45 Stecker

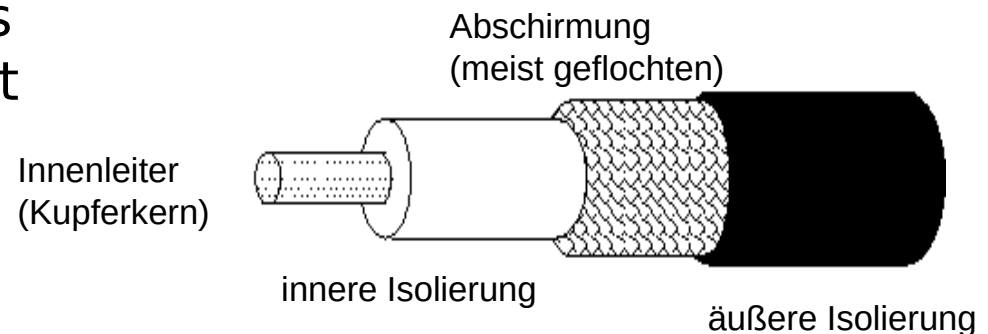
Charakteristika:

- Übertragung durch **Spannungsniveaus** wie bei Twisted Pair
- Besser abgeschirmt und damit weniger störanfällig als Twisted Pair:
- Bit Error Rate $\sim 10^{-9}$
 - > Größere Entfernungen überbrückbar
 - > Höhere Datenraten möglich



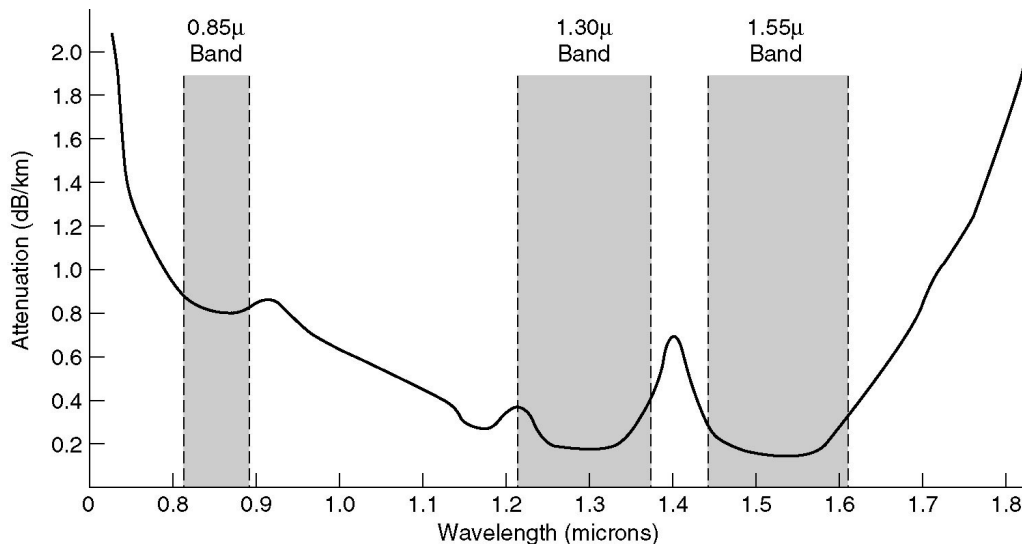
Aufbau

- Isolierter Kupferdraht im Zentrum (Innenleiter)
- Abschirmung besteht aus netzförmigen Kupferdraht
- Innere Isolierung trennt Innenleiter von der Abschirmung

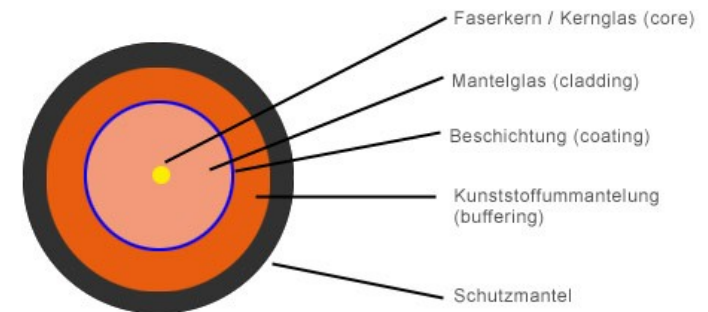


Charakteristika:

- Übertragung durch Lichtpulse im Bereich um 0.85, 1.3 und 1.55 μm
 - > Beschränkung auf diese Bänder aufgrund von Absorption des Lichts im Glaskern (ähnlich zu Dämpfung auf Kupferkabel)
- Unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen
 - > Bit Error Rate: $\sim 10^{-12}$
 - > Sehr große Entfernungen mit sehr hohen Datenraten möglich



Aufbau eines Glasfaserkabels



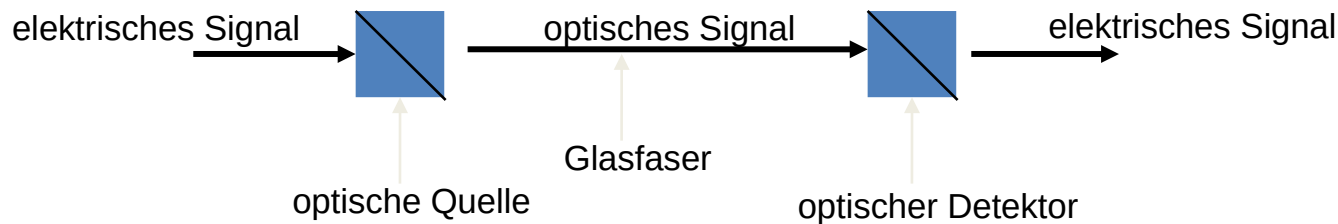
Optische Übertragung

Aufbau eines optischen Übertragungssystems

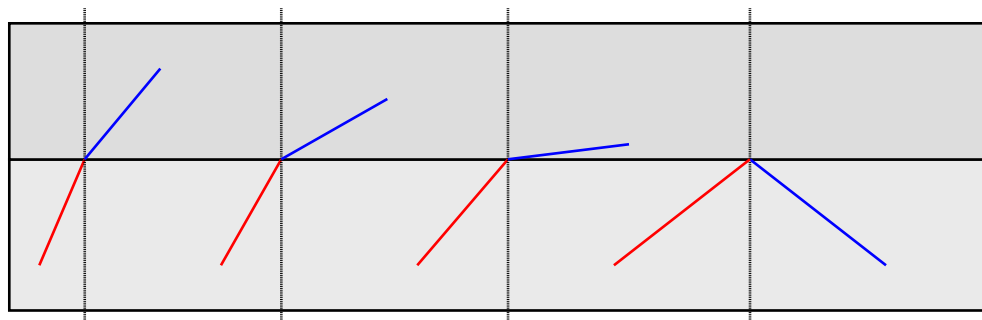
optische Quelle (konvertiert elektrische in optische Signale; normalerweise in der Form „1 – Lichtpuls“ / „0 – kein Lichtpuls“ – **Amplitudenmodulation**)

Übertragungsmedium

Detektor (konvertiert optische in elektrische Signale)



Physikalisches Grundprinzip: Totalreflexion des Lichts an einem anderen Medium



Medium 2

Medium 1

Brechungsindex:
Gibt Brechungs-
wirkung relativ zur
Luft an

Glasfaser: Aufbau

Aufbau:

- Kern: optisches Glas (extrem dünn)
- (innere) Glasummantelung
- (äußere) Kunststoffhülle

Kern (Quarzglas mit Brechungsindex n_1)

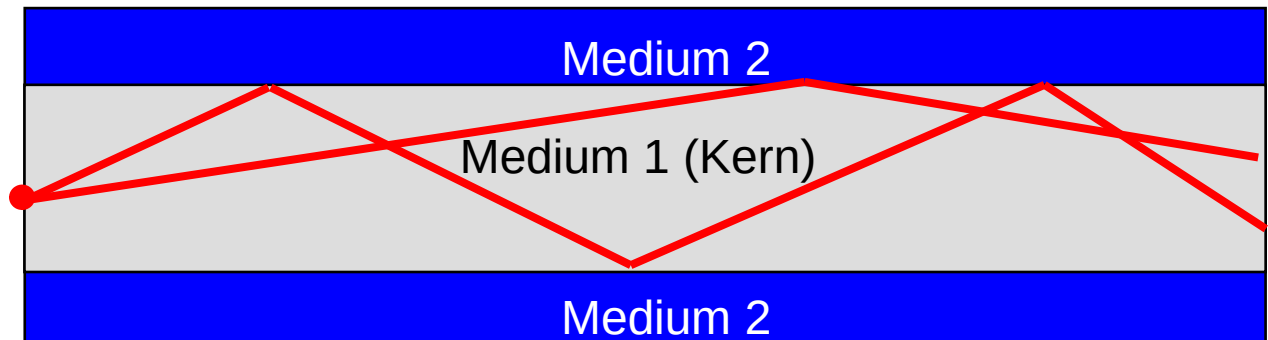


Kunststoff

Mantel (Quarzglas mit Brechungsindex n_2)

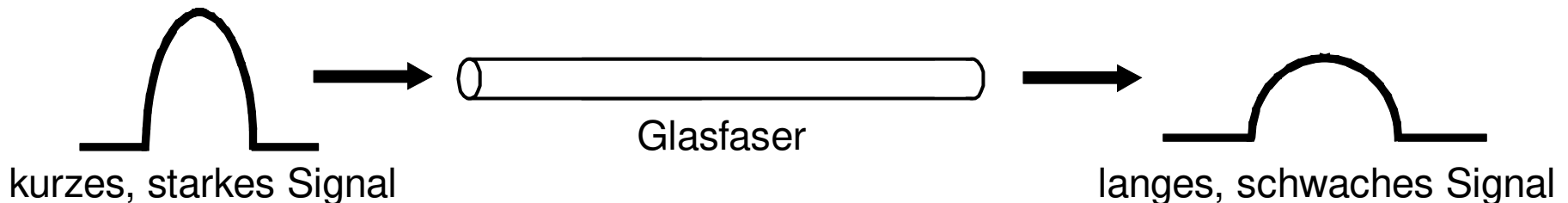
Die Übertragung findet im **Kern** des Kabels statt!

optische Quelle
(LEDs, Laser)



Größtes Problem bei Glasfaser: **Dispersion**

- Begrenzt Übertragungsstrecke
- Lichtpuls besteht aus mehreren Wellen (Strahlen)
 - > Einfallswinkel dieser Strahlen unterschiedlich
- Lichtstrahlen kommen im Medium unterschiedlich schnell vorwärts:
 - > Wege (**Moden**) der Strahlen unterschiedlich lang (abhg. von Einfallswinkel)
 - > Strahlen eines Impulses kommen zeitversetzt am Ende des Kabels an
 - > Intensität der Impulse nimmt ab, benachbarte Impulse verschwimmen
- (Weitere Faktoren können ebenso Dispersion verursachen)



Kennzeichnend bei der Unterscheidung ist das Profil:

X-Achse: Größe des Brechungsindex

Y-Achse: Dicke des Kerns und der Mantelschicht

Monomode-Faser

Kerndurchmesser: 8 -10 μm

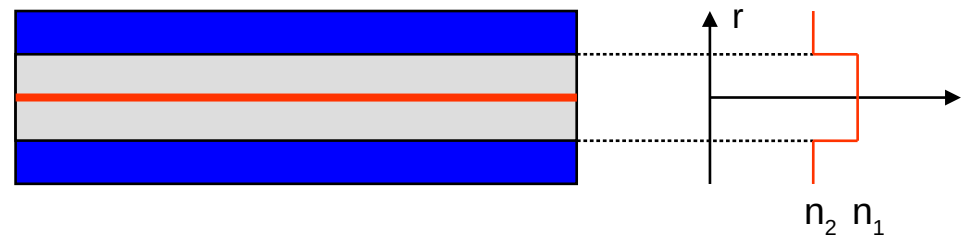
Alle Strahlen können nur noch einen Weg nehmen

Keine Dispersion (homogene Signalverzögerung)

50 GBit/s über 100 km

Teuer wegen geringem Kerndurchmesser

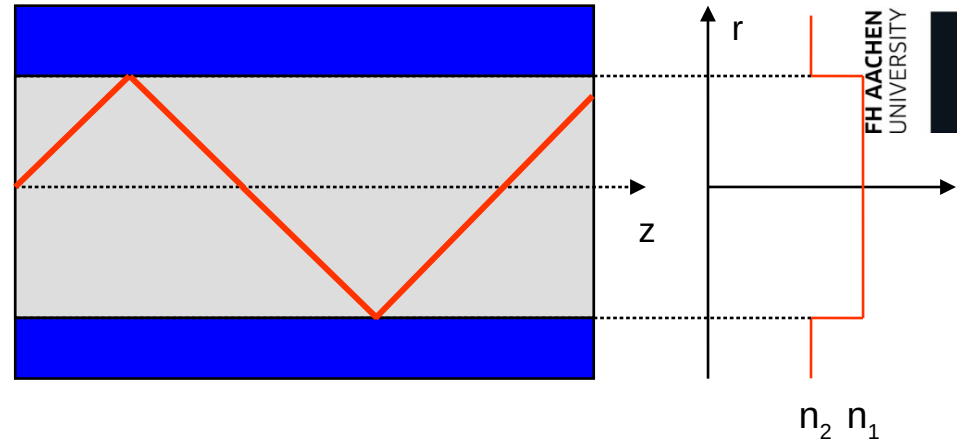
Achtung: Monomode bedeutet nicht, dass nur eine Welle gleichzeitig unterwegs ist. Es bedeutet, dass alle Wellen „den gleichen Weg“ nehmen. Damit wird Dispersion verhindert.



Glasfasertypen

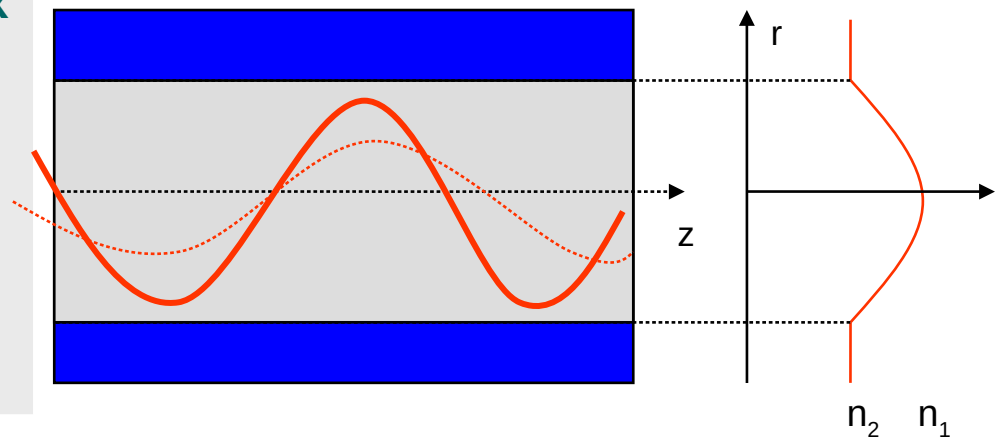
Multimode-Faser mit Stufenindex

Kerndurchmesser: 50 μm
Unterschiedliche Wege für Lichtwellen,
je nach Einfallswinkel
Starke Dispersion
Bis zu 1 km



Multimode-Faser mit Gradientenindex

Kerndurchmesser: 50 μm
Brechungsindex ändert sich fließend
Leicht unterschiedliche Wege für
Lichtwellen
Geringere Dispersion
Bis zu 30 km



Glasfaser: Strahlungsquellen und -empfänger

Strahlungsquellen

Leuchtdioden (LED, Light Emitting Diode)

nahezu monochromatisch

billig und zuverlässig (z.B. gegenüber Temperaturschwankungen)

gewisses Wellenlängenspektrum, d.h. höhere Dispersion und somit geringe Reichweite

keine sehr hohe Kapazität

Laserdioden

teuer und empfindlich

hohe Kapazität

geringes Wellenlängenspektrum und damit hohe Reichweite



Strahlungsempfänger

Photodioden (mit nachgeschaltetem Verstärker)

unterscheiden sich insbesondere bei Signal-to-Noise Ratio

Durch verbesserte Materialeigenschaften der Fasern, präzisere Lichtquellen und damit Verkleinerung der Abstände zwischen den nutzbaren Wellenlängen wird die Anzahl der verfügbaren Kanäle laufen erhöht.

Weitere Eigenschaften einer Verbindungsstrecke

- Die **Datenübertragung** durch ein Kabel kann unterschiedliche Übertragungsrichtungen unterstützen:
- Simplex: Datenübertragung nur in eine Richtung
- Halb-Duplex: Datenübertragung in beide Richtungen, aber zu einem Zeitpunkt nur in eine Richtung
- Voll-Duplex: Datenübertragung zeitgleich in beide Richtungen

Verbindung von Rechnern

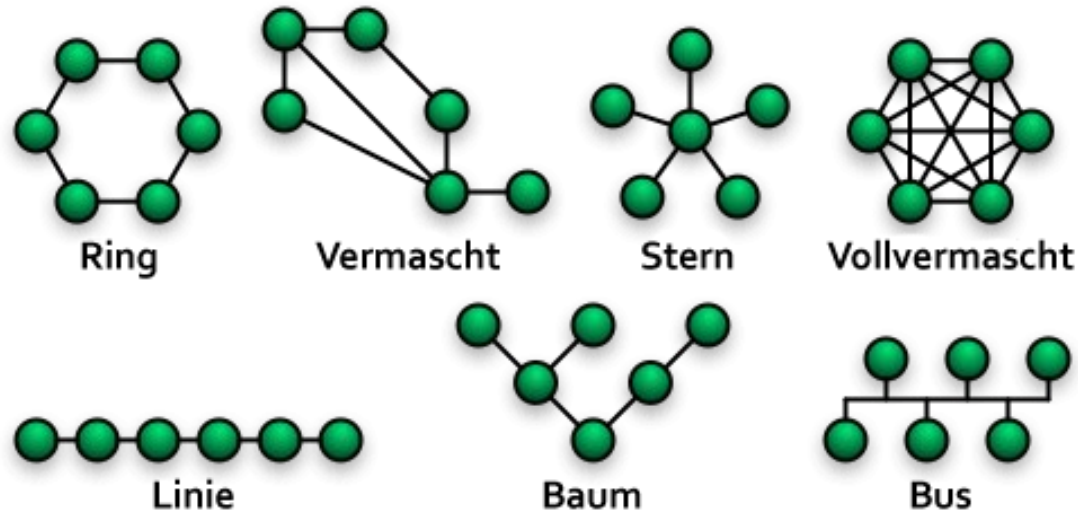
Point-to-Point (Punkt-zu-Punkt)

- Ein Paar von Rechnern ist durch eine direkte Leitung (Kupfer, Glasfaser oder Funk) verbunden
- Normales Vorgehen in Backbones – Verlegung von Verbindungen zwischen je zwei Stationen zur Datenweiterleitung (Router)
- Auch in lokalen Netzen verwendet

Multi-Access-Netz (gemeinsames Medium)

- Nur in lokalen Netzen verwendet
- Alle Stationen sind an ein einziges Medium angeschlossen
- Sendet eine Station Daten, werden sie an alle Stationen ausgeliefert
- Jeder Rechner kontrolliert jedes Paket, ob es für ihn bestimmt ist
- Wie können wir denn mehrere Rechner an eine Leitung anschließen?

Wiederholung: Statische Netztopologien



Topologie	Durchmesser	Bisektionsbr.	Knotengrad
Ring	$N/2$	2	2
Stern	2	1	1 bzw. $N-1$
Linie	$N-1$	1	1 bzw. 2
Bus	1	1	1
Vollvermacht	1	$N/2 * N/2$	$N-1$
Baum (binär)	$2\log_2 N$	1	1, 2 oder 3

Bei der Planung eines LANs möchte man die Komplexität des Netzes begrenzen (durch Segmentierung)

Administrative Gründe:

- Wartbarkeit
- Flexibilität der Infrastruktur
- Sicherheit

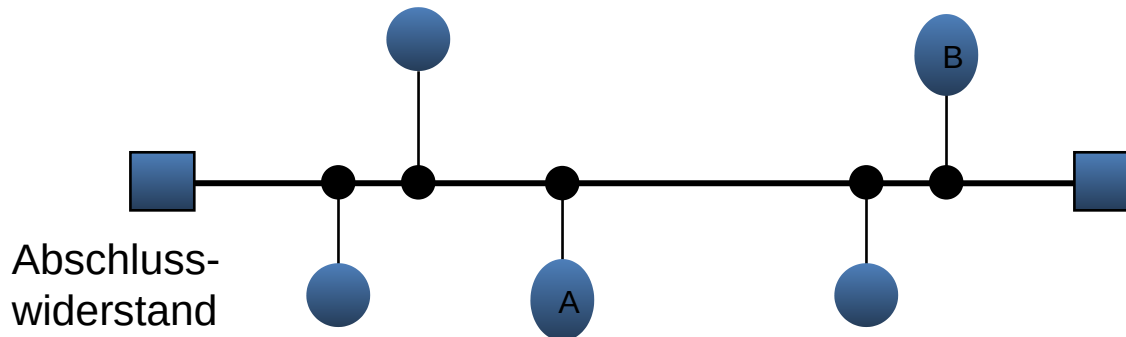
Technische Gründe:

- Maximale Segmentlänge
- Maximale Knotenanzahl im Netz
- Erhöhung der Verzögerung des Zugangs bei Erhöhung der Netzbenutzung
- Erhöhung der Kollisionsgefahr bei Erhöhung der Netzbenutzung

Netztopologien: Der Bus

Bus: Multi-Access-Netz!

- + Einfach, preiswert, einfacher Anschluss neuer Knoten
- + Passive Ankopplung der Stationen, der Ausfall eines Knotens ist kein Problem für die anderen Knoten
- Nur eine Station zu einem Zeitpunkt kann senden; alle anderen Stationen können nur empfangen
- Begrenzung der Zahl anschließbarer Stationen
- Passive Ankopplung der Stationen, daher begrenzte Ausdehnung des Busses (aber: Repeater zur Kopplung mehrerer Busse)



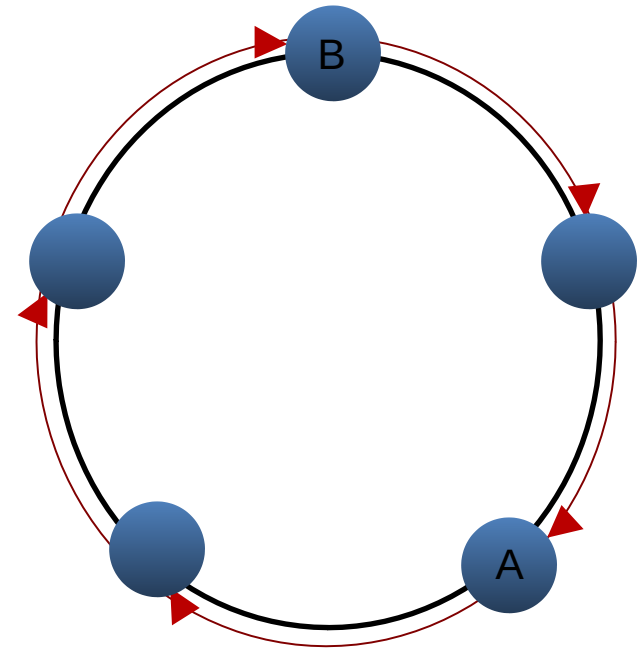
Beispiel:
**Ethernet über
Koaxkabel**

Ring: Point-to-Point

- Reihe von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
- **Aktive Knoten**: fungieren als Repeater
- Ausfall des gesamten Rings bei
- Unterbrechung einer Verbindung
- Ausfall des gesamten Rings bei Ausfall
- eines Knotens (Bypass als Abhilfe)
- Große Ausdehnung möglich
- (aufgrund der aktiven Knoten)
- Einfaches Einfügen neuer Knoten

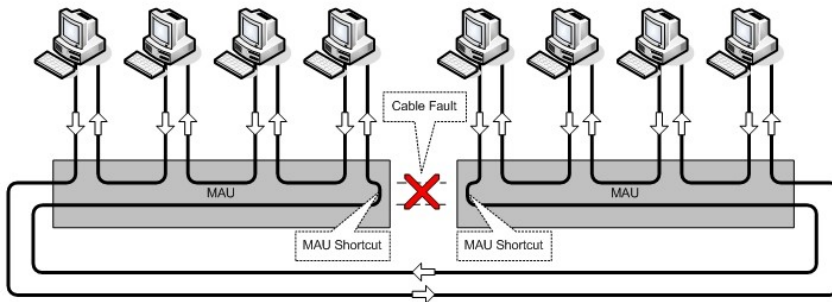
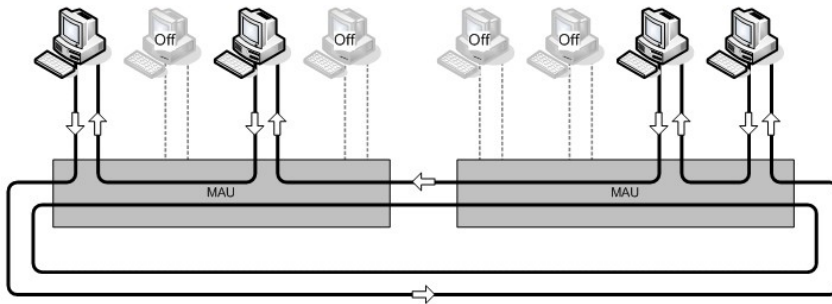
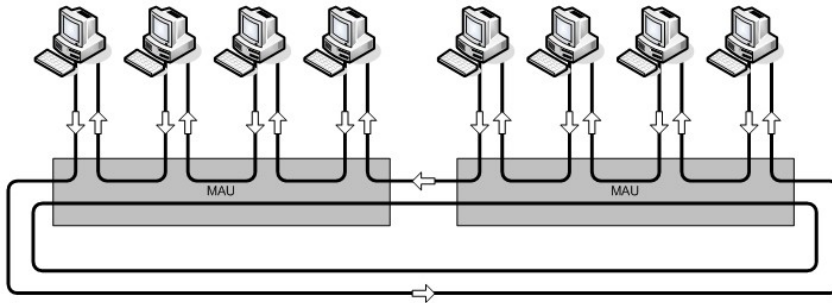
Variante: bidirektionaler Ring

- Knoten sind durch zwei gegenläufige
- Ringe miteinander verbunden



Beispiel: **Token Ring, FDDI**

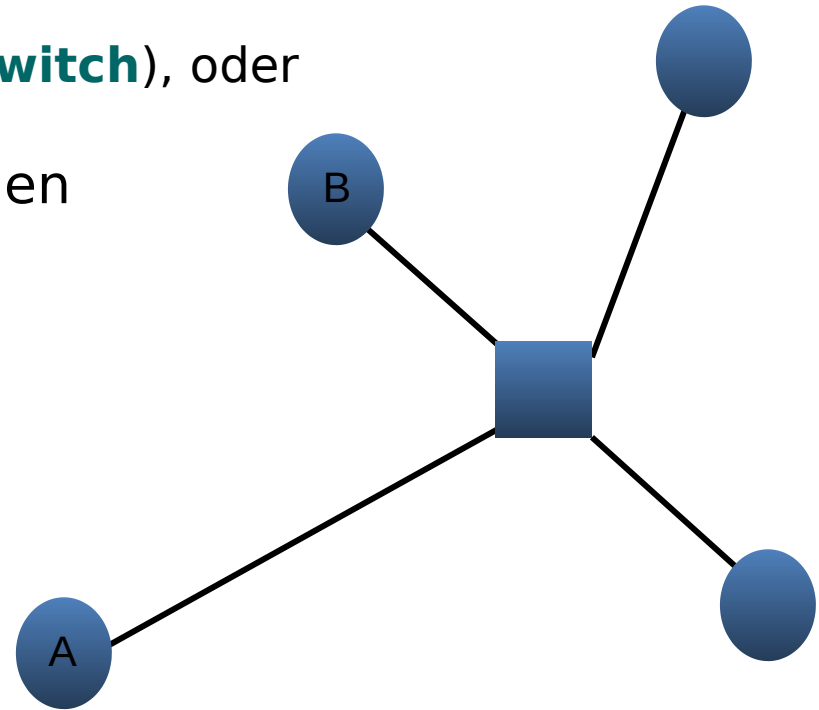
Netztopologien: Fehlerverhalten bei Token Ring



Media Access Unit (MAU)

Stern

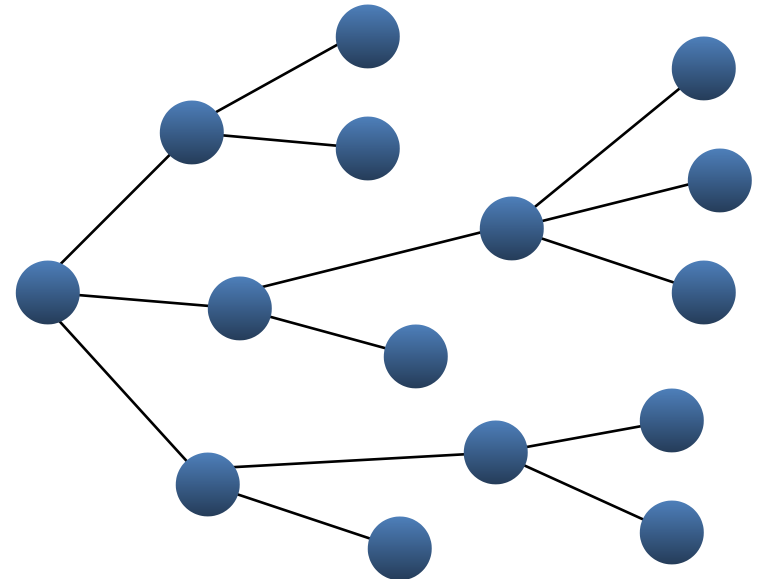
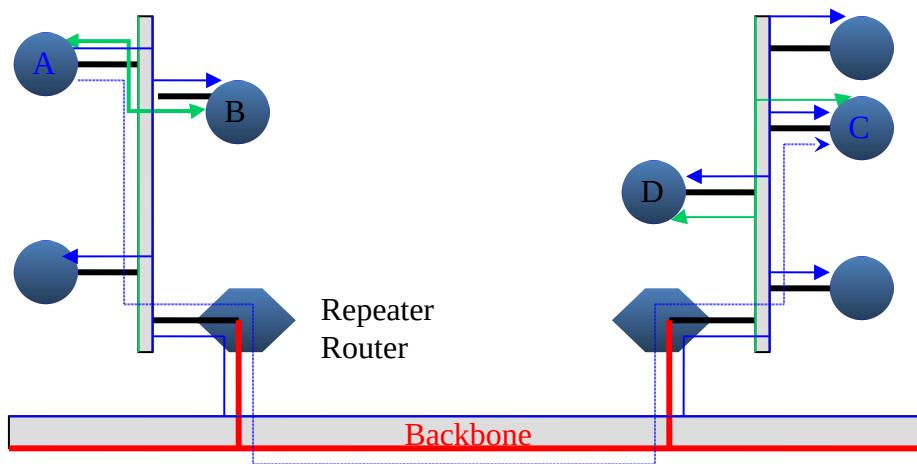
- Ausgezeichneter Knoten als zentrale Station
 - > Nachricht von Station A wird durch die zentrale Station an Station B weitergeleitet
 - > Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (**Switch**), oder
 - > Broadcast (**Hub**)
 - > Verwundbarkeit durch zentralen
- Knoten (Redundanz möglich)



Beispiel: **Fast/Gigabit Ethernet**
über TP-Kabel

Baum: Zusammenschluss mehrerer Busse oder Sterne

- Verzweigungselemente aktiv (Router) oder passiv (Repeater)
- Überbrückung größerer Strecken
- Gute Anpassung an vorgegebene geographische Gegebenheiten
- Minimierung der erforderlichen Kabellänge



- Neben den Computern bzw. Datensenden- und -quellen gibt es **weitere Komponenten** in der Netzinfrastruktur!
- Typische Aufgaben:
 - Verstärken eines schwach gewordenen Signals
 - Bei Multi-Access Netzen: Begrenzung einer ‚Kollisionsdomäne‘
 - Kopplung unterschiedlicher physikalischer Netze
 - logische Verbindung mehrerer Netze zur Datenweiterleitung
 - ...

Netzinfrastruktur

Zur Kopplung von Netzen werden spezielle Netzwerkknoten benötigt. Diese lassen sich hierarchisch bzgl. ihrer Funktionalität anordnen:

Repeater

- vergrößert einzelne lokale Netze gleichen Typs (physikalisch)

Hub

- Koppelt mehrere gleichen lokale Netze

Brücke

- Koppelt mehrere eventuell unterschiedliche lokale Netze

Switch

- Wie Hub, aber 'intelligenter' bzgl. Datenweiterleitung

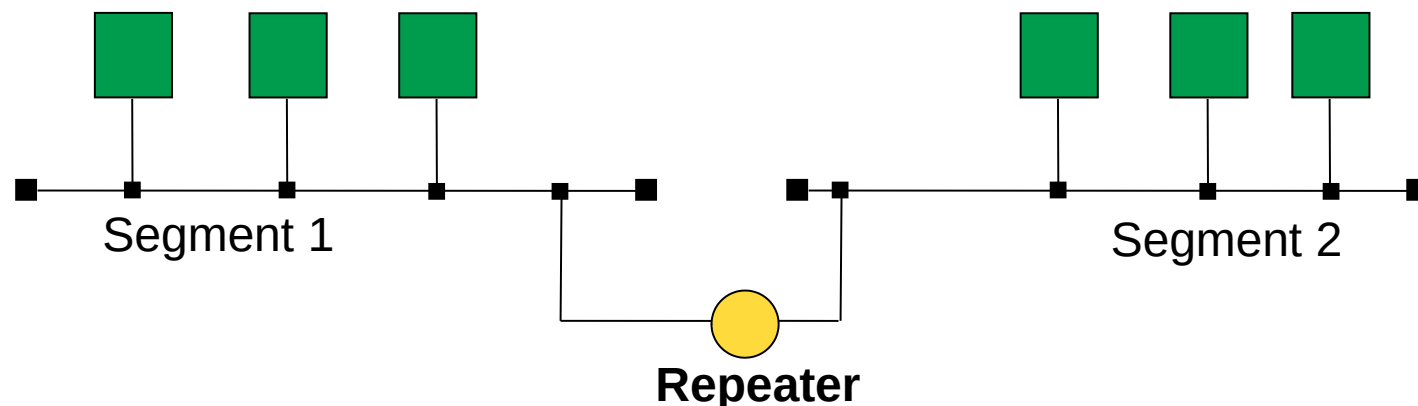
Router

- Verbindet mehrere LANs mit gleichem Netzwerkprotokoll über weite Strecken

Infrastrukturkomponenten: Repeater

Repeater:

- Verknüpfung von zwei Netzen zur Vergrößerung der Ausdehnung
- Arbeitet auf der Bitebene
 - > Kann einkommende Signale als „0“ oder „1“ interpretieren
 - > Empfang und **Auffrischung** des Signals – ein empfangenes Bit wird auf der anderen Seite neu als Stromimpuls codiert
- Kein Verstehen von Adressen höherer Schichten, alle Daten werden weitergeleitet (das Netz bleibt z.B. ein Multi-Access-Netz)

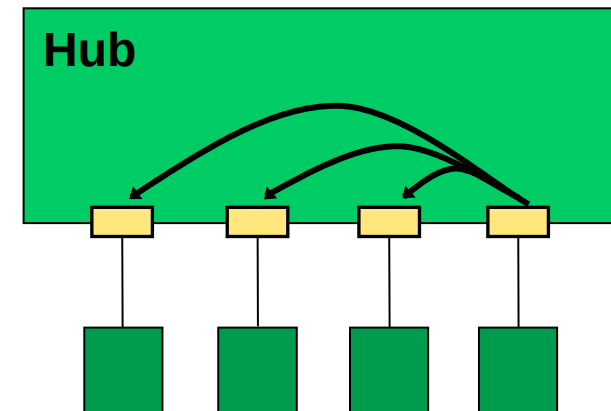


Infrastrukturkomponenten: Hub



Hub = „Repeater mit mehr als zwei Anschlüssen“

- Signalauffrischung wie beim Repeater
- An einen Anschluss kann ein einzelner Rechner oder ein ganzer Bus angeschlossen werden
- Multi-Access-Netz: der Hub gibt ein empfangenes Signal auf allen Anschlüssen wieder aus
- Praktisch wie ein ‚Bus‘ mit mehreren Anschlüssen:
- **Gemeinsamer Übertragungskanal**, d.h.
- Stationen können nicht gleichzeitig senden und empfangen, nur eine Station auf einmal kann senden
- Geringe Sicherheit, da alle Stationen mithören können

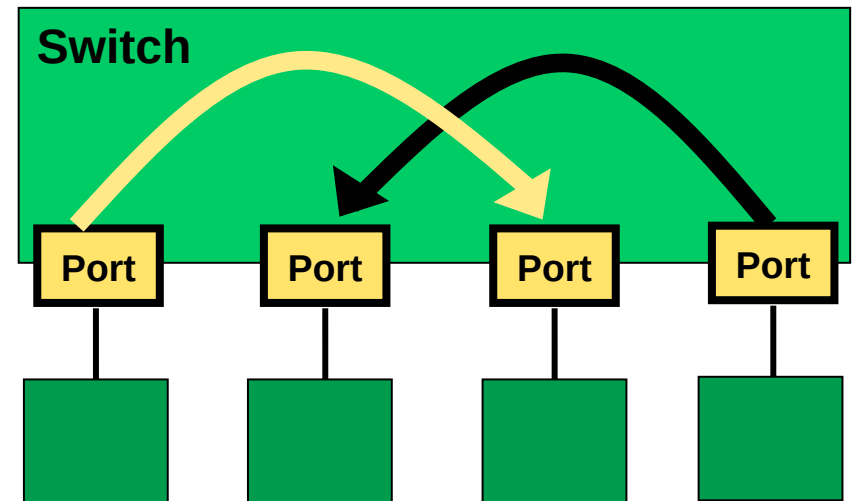
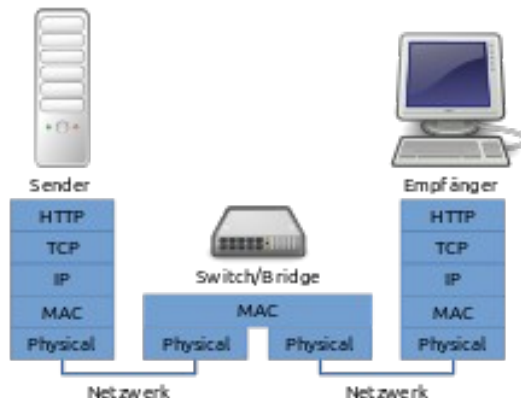


Infrastrukturkomponenten: Switch



Wie Hub, aber:

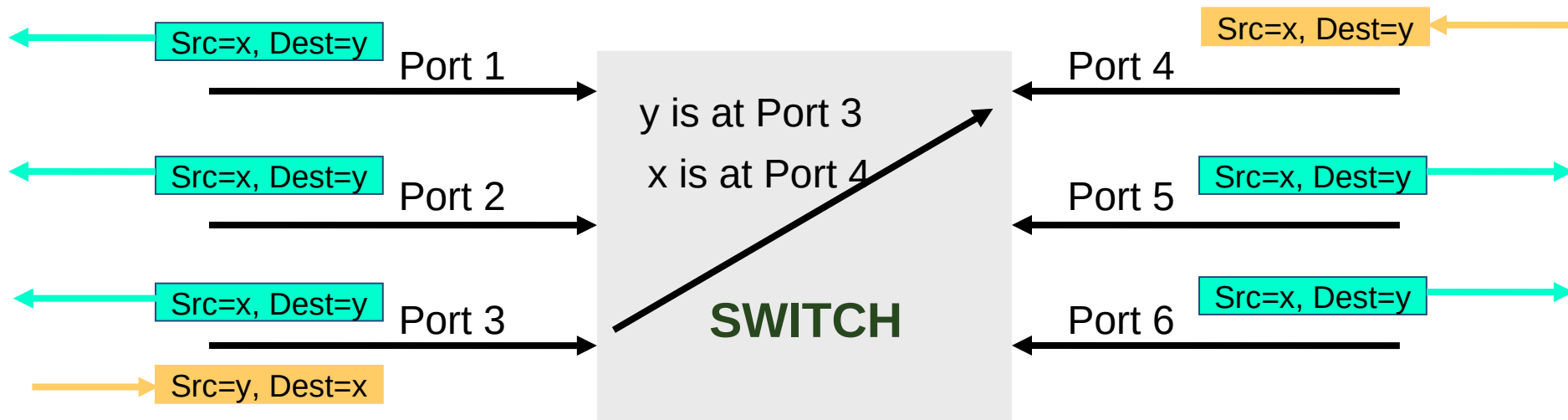
- *Punkt-zu-Punkt-Kommunikation* zwischen zwei Stationen
 - > Switch kann Layer-2-Adressen (MAC-Adressen) der angeschlossenen Stationen verstehen, lernt sie und kann Daten gezielt weiterleiten
 - > Stationen können gleichzeitig senden und empfangen
 - > Nur der adressierte Empfänger erhält die Daten, andere Stationen können nicht mithören
- Vermeidung von Kollisionen („Mikrosegmentierung“)
- Puffer für jeden Port
- „Layer-3-Switch“
- Integriert mit Routing



Switches - Lernen von Adressen

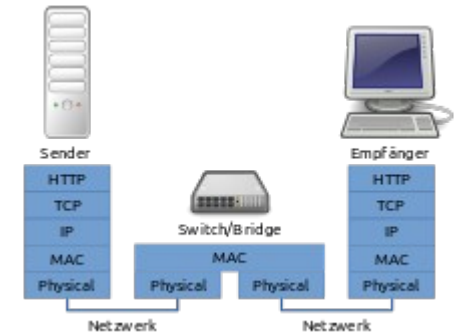
Autokonfiguration von Switches

- Zu Beginn unbekannt, welcher Rechner an welchem Port hängt
- Werden Daten für eine unbekannte Adresse auf einem Port empfangen: Weiterleitung an alle anderen Ports (Broadcast)
- Die Absenderadresse der Daten kann für den Port, über den sie empfangen wurden, gespeichert werden



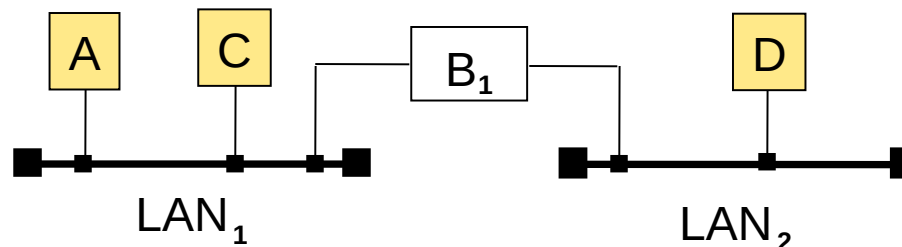
Infrastrukturkomponenten: Brücken

- Brücken dienen der Kopplung von zwei oder mehreren LANs
- Können auch auf LLC-Ebene Arbeiten (Switches in der Regel nur auf MAC Layer), und dadurch unterschiedliche Netztechnologien verbinden
- Dienen der Trennung von Kollisionsdomänen



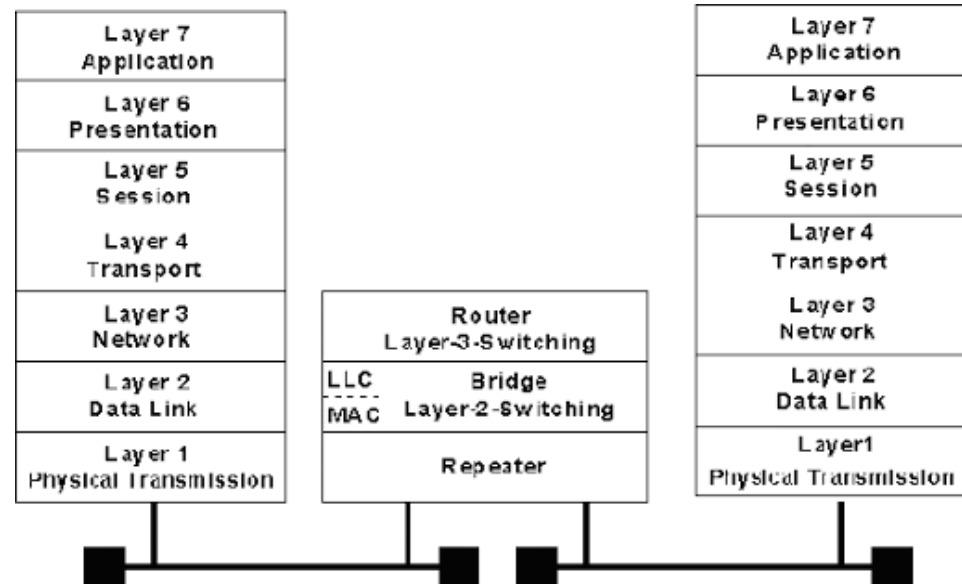
Hauptaufgaben:

- geeignete Weiterleitung der Daten
- Anpassung an unterschiedliche LAN-Typen
- Reduzierung des Verkehrs in einem LAN-Segment, d.h. Pakete, die von A an C gesendet werden, werden von der Brücke nicht in LAN₂ durchgelassen. Dadurch kann Station D parallel senden.
- Aufhebung physikalischer Längenbegrenzungen
- Erhöhte Zuverlässigkeit durch Abgrenzung der LAN-Segmente

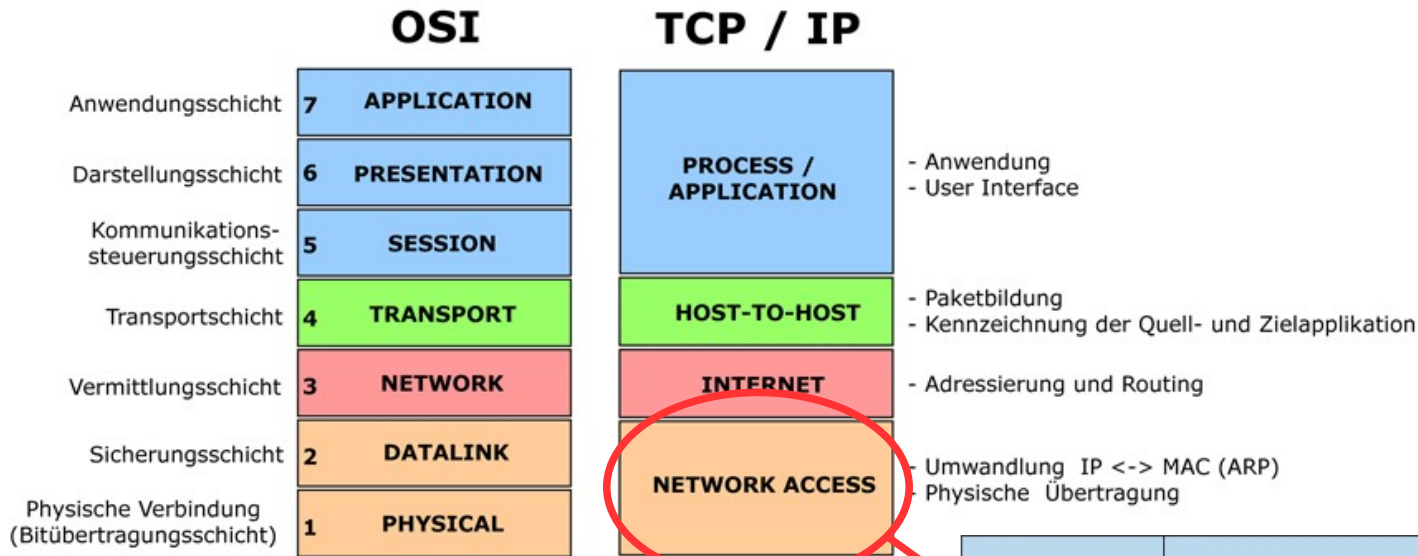


Infrastrukturkomponenten: Router

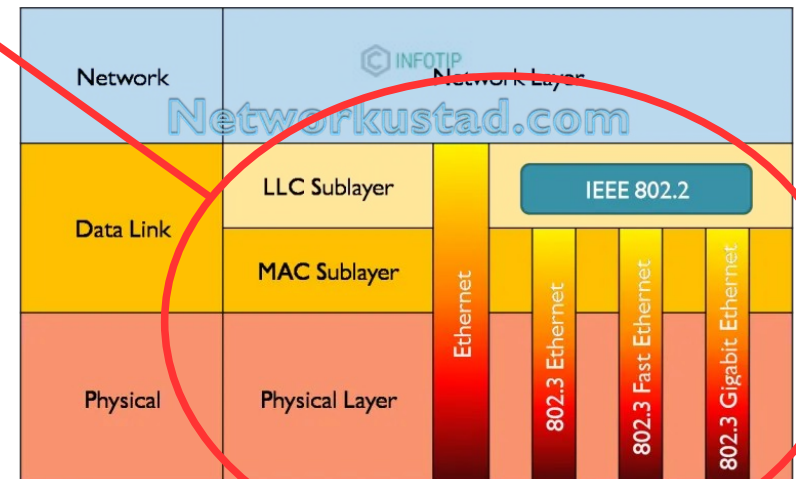
- Weiterleitung von Datenpaketen auf Layer 3 (Netzwerk-Schicht).
- Logische Verbindung unterschiedlicher Netze zum Routing der Daten
- Switches und Bridges arbeiten nur auf MAC-Ebene, verarbeiten also keine Adressen mit einer hierarchischen Struktur und keinem geographischen Bezug (ARP erforderlich!)
- Mit Brücken und Switches gekoppelte LANs bilden ein “großes LAN”, obwohl eine Trennung oft wünschenswert wäre (z.B. in Bezug auf Verwaltung oder Fehler)



Schichten 1 und 2 im ISO/OSI Referenzmodell und im TCP/IP Referenzmodell



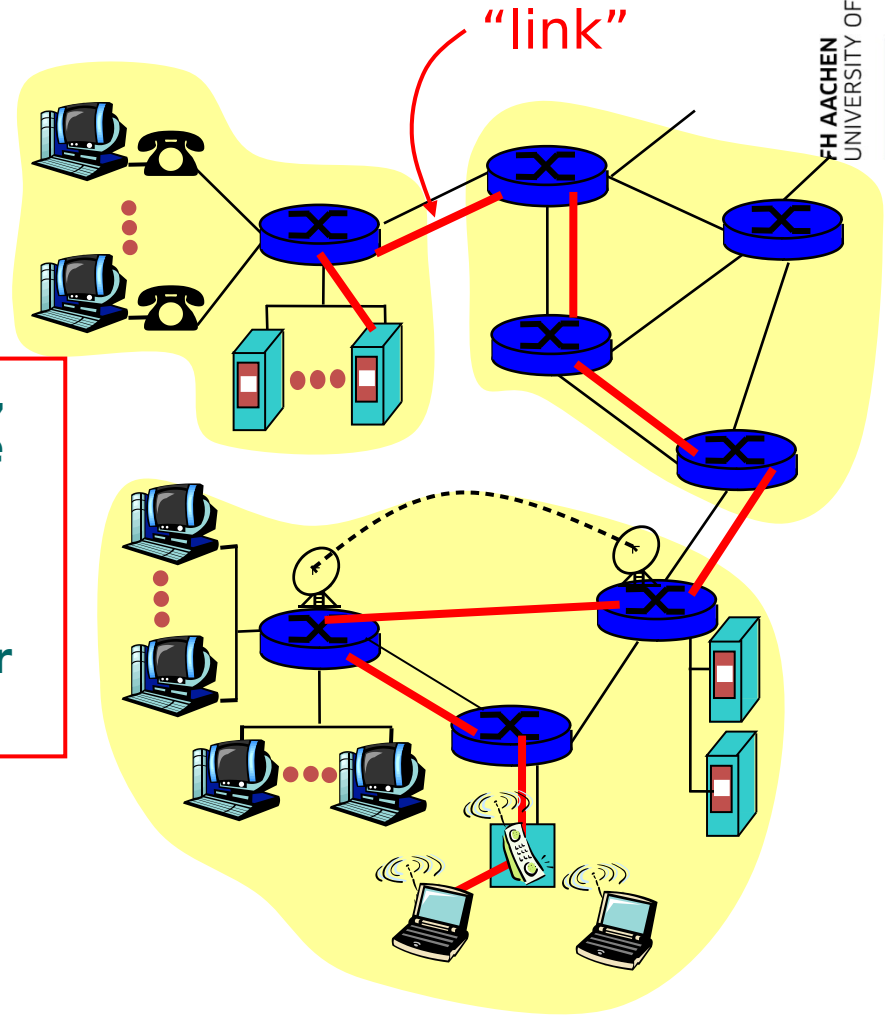
Heute mal
Bottom-up ...



Sicherungsschicht: Die Link-Layer

Die Sicherungsschicht hat die Aufgabe, die Datagramme über das gemeinsame Kommunikationsmedium zu einem anderen Knoten zu transportieren

Direkte Kommunikation innerhalb einer Netzwerktechnologie



Dienste der Sicherungsschicht

Medium **AC**cess (MAC) Layer

- Das **Kanalzugriffsprotokoll** beschreibt, nach welchen Regeln auf ein Übertragungsmedium zugegriffen werden darf, d.h. ein Rahmen auf der Verbindungsleitung übertragen werden darf
- Bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ist das Leitungszugriffsprotokoll einfach. Der Sender kann einen Rahmen senden, wann immer die Verbindungsleitung frei ist (bei vollduplex immer)
- Bei Multi-Access-Netzen teilen sich mehrere Teilnehmer eine Verbindungsleitung, z.B. nach dem Bus-Prinzip. Hier übernimmt der MAC Layer die Koordination der Leitungsnutzung
- Der MAC-Layer liefert eine eindeutige Kennung für jedes Netzwerkgeräte bzw. jede Netzwerk-Karte → **MAC** Adresse

Dienste der Sicherungsschicht

MAC und LLC Layer = Sicherungsschicht

- Die Sicherungsschicht verkapselt die Daten in sog. Rahmen (Frames)
- Der Rahmen hat in der Regel einen **Header und Trailer** (ggf. mehrere Felder).
- Aufgabe der Schicht ist es, das Format zu beschreiben, und einen einfachen, **sicheren** Datenpaket-orientierten Übertragungsdienst zur Verfügung zu stellen
- Diese Pakete müssen auch Adressen enthalten → MAC Adressen
- Datenkommunikation nur innerhalb des selben LANs
- Zuverlässige Datenübertragung: Zusicherung einer fehlerfreien Übertragung eines Datagrams. Einsatz ähnlicher Verfahren wie bei den Transportprotokollen.
- Leitungen mit niedriger Fehlerrate verzichten ggf. auf diesen Dienst (Glasfaser), Funknetze typischerweise nicht!

Weitere Dienste der Sicherungsschicht

Flusskontrolle:

- Flusskontrolle kennen wird schon von den Sliding-Window-Protokollen. Auch die Sicherungsschicht passt die Transmissionsrate den Fähigkeiten des Empfängers an und verhindert so etwaige Pufferüberläufe

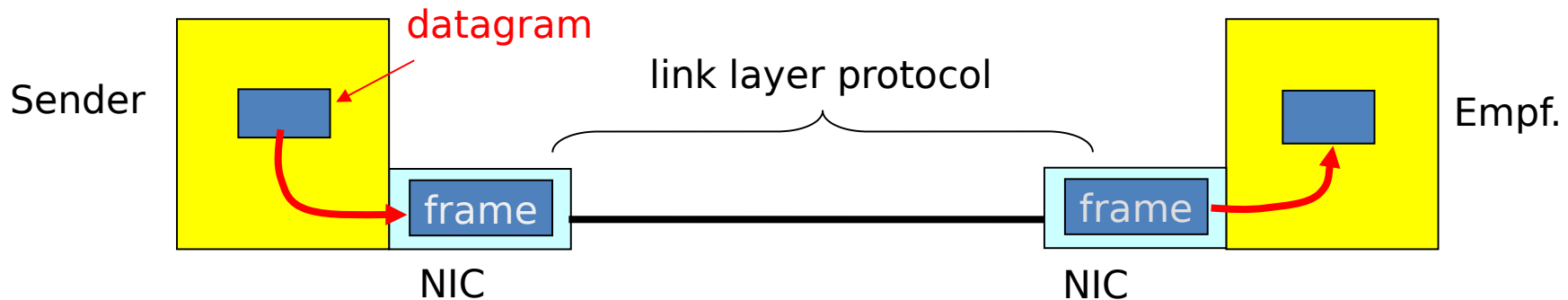
Fehlererkennung:

- Fehler werden durch elektromagnetisches Rauschen und Signaldämpfung verursacht
- Durch den Einsatz redundanter Fehlererkennungsbits kann der Empfänger Fehler erkennen (NAK oder Eliminieren des Rahmens)

Fehlerbehebung:

- Je nach Redundanz der Fehlererkennungsbits können einige Fehler sogar ohne erneute Übertragung korrigiert werden
- Forward Error Correction (FEC)

Kommunizierende Netzschnittstellenkarten



Die Sicherungsschicht wird in einer Netzschnittstellenkarte (aka NIC) implementiert

- Ethernet card, PCMCIA card, 802.11 card

NIC-Adapter des Senders:

- Verkapselt das Datagramm in einen Rahmen
- Setzt ggf. Fehlerprüfbits, implementiert etwaige Mechanismen für die zuverlässige Übertragung und Flusskontrolle, etc.

NIC-Adapter des Empfängers

- Prüft auf Fehler, implementiert etwaige Methoden für die zuverlässige Übertragung und Flusskontrolle, etc.
- Extrahiert das Datagramm und leitet es an Vermittlungsschicht des Empfängers weiter

NIC-Adapter ist halbautonom

Implementiert Bit- und Sicherungsschicht

Datenrahmen in der Sicherungsschicht bei Ethernet

Ein **Ethernet-Frame** im Kontext mit maximalen **IPv4- / TCP-Daten**

Schicht 4: TCP-Segment								TCP-Header	Nutzlast (1460 bytes)		
Schicht 3: IP-Paket							IP-Header	Nutzlast (1480 bytes)			
Schicht 2: Ethernet-Frame			MAC-Empfänger	MAC-Absender	802.1Q-Tag (opt.)	EtherType	Nutzlast (1500 bytes)			Frame Check Sequence	
Schicht 1: Ethernet-Paket+IPG	Präambel	Start of Frame	Nutzlast (1518/1522 bytes)							Interpacket Gap	
Oktette	7	1	6	6	(4)	2	20	20	(6-)1460	4	12

FH Aachen
Fachbereich 9 Medizintechnik und Technomathematik
Prof. Dr.-Ing. Andreas Terstegge
Straße Nr.
PLZ Ort
T +49. 241. 6009 53813
F +49. 241. 6009 53119
Terstegge@fh-aachen.de
www.fh-aachen.de