

M117 – Informatik- und Netzinfrastruktur für ein kleines Unternehmen realisieren

1	OSI Referenzmodell.....	2
1.1	Service Access Point (Dienstzugangspunkt)	2
2	OSI Layer 1: Physical Layer (PHYS) Bitübertragungsschicht	3
2.1	Aufgaben der Bitübertragungsschicht	3
2.2	Signalausbreitung	3
2.2.1	Bandbreite	3
2.2.2	Basisband- im Unterschied zu Breitband-Übertragung	4
2.3	Bitcodierung	4
2.3.1	Leitungscode	4
2.4	Festlegen der Taktrate – Autonegotiation	4
2.4.1	Generieren der Auto-Negotiation Signale	5
2.4.1.1	Normal Link Pulses NLP	5
2.4.1.2	Fast Link Pulse FLP	5
2.5	Vermittlungssysteme auf OSI-Layer: Repeater und Hub	5
2.5.1	Repeater	5
2.5.2	Hub	5
3	Twisted Pair Verkabelung	6
4	OSI Layer 2: Data Link Layer Datenübertragungsschicht	7
4.1	Aufgaben des Data-Link-Layers.....	7
4.2	Referenzmodell für Ethernet auf OSI-Layer 2	7
4.3	MAC Rahmen (Layer 2a)	7
4.4	CSMA/CD-Algorithmus	8
5	OSI Layer 3 (NW-Schicht).....	8
5.1	Warum braucht es über der physischen Adressierung noch eine logische Adressierung?	8
5.2	Aufgaben der NW –Schicht	8
5.3	DAS ARP-Protokoll (Address Resolution Protocol)	9
5.5	Aufbau der IP-Adressen.....	9
5.7	Die klassischen Netzwerk-Klassen.....	9
5.10	Weiterleitung von Datagrammen zwischen IP-Teilnetzen	9
6	der DHCP-Client-Server-Dienst	9
6.2	DHCP-Optionen.....	10
7	OSI Layer 4: Transportschicht	10
8	OSI Layer 5: Protokolle der Anwendungsschicht	10
9	Glossar	11

1 OSI Referenzmodell

Layer 1: Physical Layer (Physikalische Schicht)

- Festlegen einer Taktrate für Bitsynchronisation
- Darstellung der Bits 0 und 1 als elektrische oder optische Signale (Leitungscodes)
- Übertragungsmedium: Draht, Glasfaser, WLAN
- Übertragungsrates

Layer 2: Data Link Layer (Datenverbindungsschicht)

MAC-Adresse

- Aufteilung der Bitströme in Blöcke oder Rahmen (Frames) geeigneter Länge
- Regeln des Zugriffs auf das gemeinsam genutzte Übertragungsmedium
- Die Adressierung der Rechner im LAN erfolgt mit der Adresse der Netzwerkkarte (MAC-Adresse)

Layer 3: Network Layer (Netzwerkschicht) IP-Adresse

- Weiterleitung (Relaying) von Daten über Netzwerke hinweg (gegebenenfalls mit Protokollkonvertierung)
- Wegwahl für die Weiterleitung von Daten (Router)
- Adressierung von Computersystemen durch Vergabe von logischen Netzwerkadressen, weltweit eindeutig
- Datenverkehr zwischen Netzwerken wird geregelt. Jede erreichbare Host benötigt eine weltweit eindeutige Adresse (IP-Addr)
- Router leiten Pakete durch das Internet

Layer 4: Transport Layer (Transportschicht) Port Nr

- Unterstützung einer zuverlässigen Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen Prozessen (Transportdienstbenutzer) auf den Endsystemen
- Fehlerbehandlung zwischen Endprozessen

Layer 5: Session Layer (Sitzungsschicht)

- Es wird eine Beziehung (Sitzung = Session) zwischen Client-Applikation und Server hergestellt.

Layer 6: Presentation Layer (Darstellungsschicht)

- Diese Schicht beschäftigt sich mit der Darstellung der Daten
Bsp. HTML, MP3, jpeg, gif, ASCII

Layer 7: Application Layer (Anwendungsschicht)

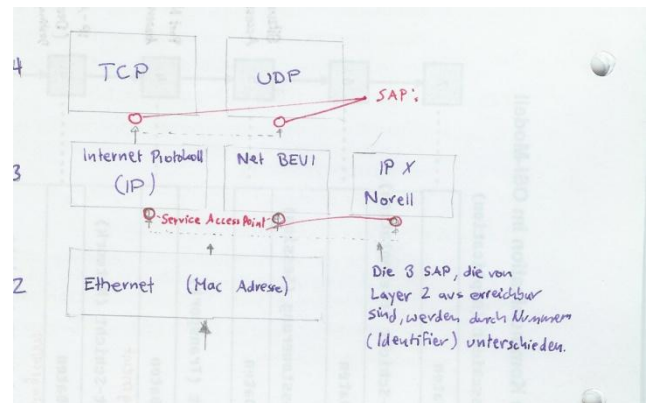
- Anwendung Netzwerk basiert

- Das Netzwerk ist aus Sicht der Benutzerin transparent

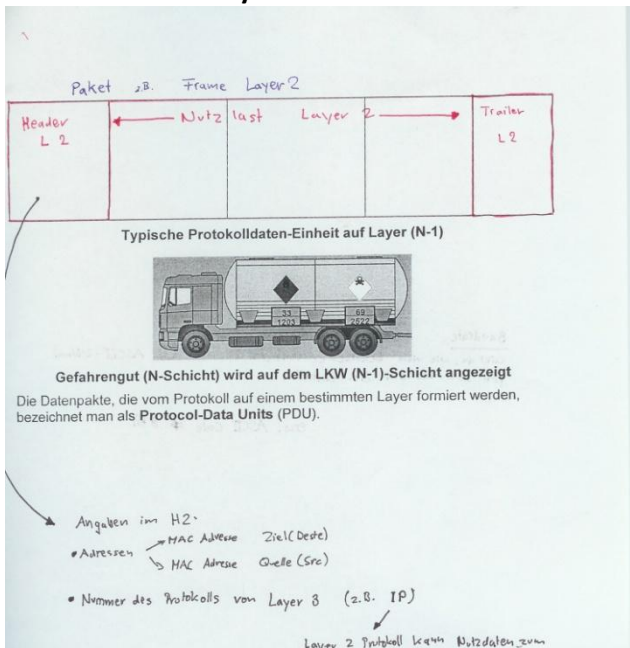
1.1 Service Access Point (Dienstzugangspunkt)

Man bezeichnet damit die Schnittstelle zur Interaktion mit einer Kommunikations-Schicht an der oberen Grenze selbiger Schicht.

Der Dienstbenutzer (die höhere Schicht, *service user*) greift nur über den Service Access Point auf den Dienst der niedrigeren Schicht (den Dienstanbieter, *service provider*) zu. Zur Kommunikation werden dabei sogenannte Dienstelemente (*primitives*) verwendet. Dies sind vorgegebene Protokolle, mit dem zum Beispiel die höhere Schicht Anforderungen an die niedrigere Schicht sendet, oder von dieser Daten erhält.



Paket z.B. Frame Layer 2



2 OSI Layer 1: Physical Layer (PHYS) Bitübertragungsschicht

2.1 Aufgaben der Bitübertragungsschicht

- ◆ Übertragung von Bitströmen
- ◆ Festlegung einer Taktrate für die Bitsynchronisation
- ◆ Festlegung einer Taktrate für die Bitsynchronisation
- ◆ Darstellung der Bits „0“ und „1“ als elektrische oder optische Signale (Leitungscode)

2.2 Signalausbreitung

Übertragungsrate R

Anzahl der Bits, die pro Zeiteinheit übertragen werden (Einheit: bit/s)

Baudrate (Symbol Rate)

Gibt an, wie viele benutzererkennbare Zeichen (z.B. ASCII-Zeichen) pro Sekunde am Ziel eintreffen

erw. ASCII Code → 8 bit

Signalgeschwindigkeit v:

Geschwindigkeit, mit der sich ein elektrisches oder optisches Signal auf dem Übertragungsmedium ausbreitet (Einheit: m/s oder km/s)

Signallaufzeit t:

Zeit, die ein elektrisches oder optisches Signal für den Übertragungsweg der Länge l braucht (Einheit:

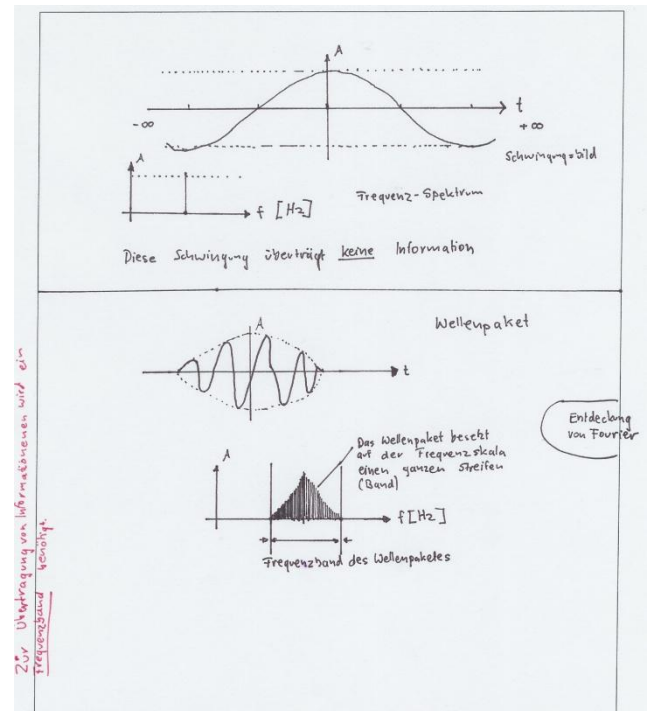
s). Zwischen v, t und l besteht folgender Zusammenhang: $v = l / t$

Informationsinhalt (Informationslänge) L:

Anzahl der Bits, die während der Zeit t übertragen werden (Einheit: bit).

2.2.1 Bandbreite

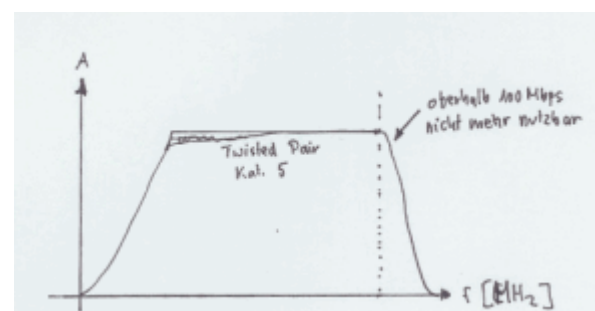
Unterscheidung zwischen der Bandbreite eines Übertragungskanals und der Bandbreite eines Signallimpulses.



Kanalbandbreite

= Nutzbares Frequenzband eines Netzkabels
→ Kabelkategorie

Frequenzbereich, den der Übertragungskanal (z.B. Kabelverbindung, Funkstrecke) aus physikalisch-technischen Gründen überhaupt durchlassen kann.



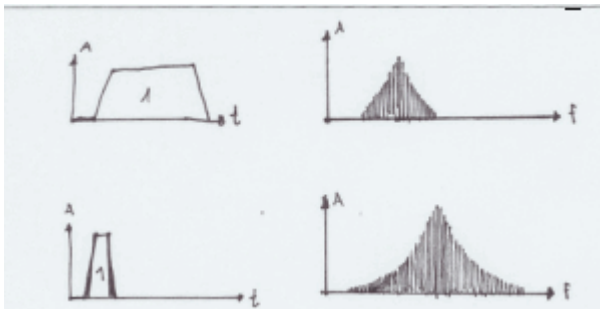
Signalbandbreite

Frequenzbereich, in dem das Frequenzspektrum (Fourier-Spektrum) des Signals wesentlich von Null verschieden ist.

Je kürzer die Signalpulse sind, desto grösser ist die Bandbreite des Signals.

Eine hohe Übertragungsrate bedeutet somit eine hohe Signalbandbreite, was wiederum eine hohe Kanalbandbreite des Übertragungsnetzes voraussetzt.

Die zur Verfügung stehende Kanalbandbreite von TP-Kabel wird durch die so genannte Kabelkategorie ausgedrückt



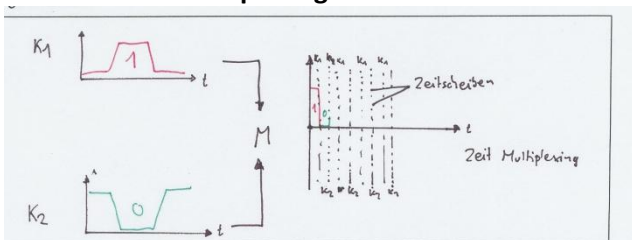
2.2.2 Basisband- im Unterschied zu Breitband-Übertragung

Basisband-Übertragung

Wenn auf eine Übertragungsmedium das gesamte technisch nutzbare Frequenzband für einen einzigen Kanal zur Verfügung steht und bei Null beginnt, spricht man von einem **Basisband-(Base-Band)-Übertragung**.

In lokalen Netzwerken (LAN) wird auf Twisted-Pair-Kabeln immer Basisbandübertragung eingesetzt.

Time-Division Multiplexing

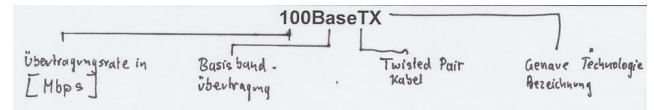


Breitband

Wenn das gesamte Frequenzband eines Übertragungsmediums für mehrere Kanäle zur Verfügung steht und daher in mehrere, nebeneinander liegende Bänder aufgeteilt wird, spricht man von **Breitband(Broadband)-Übertragung**.

Breitband-Übertragungsverfahren werden in WANs eingesetzt:

- ADSL
- Kabelfernsehen



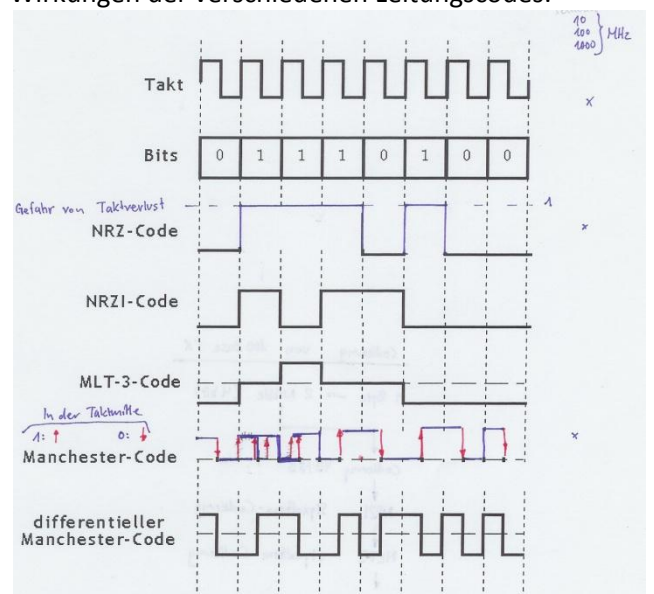
2.3 Bitcodierung

2.3.1 Leitungscodes

Die Darstellung der logischen Zustände „0“ und „1“ in Form von Signalen, die ein elektrisches oder optisches Übertragungssystem verstehen kann, erfordert eine geeignete Kodierung. Hier eine Liste der gebräuchlichsten Codes im LAN-Bereich:

Verfahren	0 - Darstellung	1 - Darstellung
Non Return to Zero (NRZ) Code	elektrisch: Pegel tief; optisch: kein Licht	elektrisch: Pegel hoch; optisch: Licht
Non Return to Zero Inverted (NRZI) Code	elektrisch: kein Pegelwechsel; optisch: kein Zustandswechsel	elektrisch: Pegelwechsel zum Taktbeginn; optisch: Zustand ändern (Licht / kein Licht)
Multi-Level Transition (MLT-3) Code	elektrisch: kein Pegelwechsel	elektrisch: Pegelwechsel von negativ nach 0 oder von 0 nach positiv (falls zuvor negativ); Pegelwechsel von positiv nach 0 oder von 0 nach negativ (falls zuvor positiv)
Manchester Code	elektrisch: Pegel positiv und Polaritätswechsel von positiv nach negativ in der Taktmitte	elektrisch: Pegel negativ und Polaritätswechsel von negativ nach positiv in der Taktmitte
Differentieller Manchester Code	elektrisch: Polaritätswechsel zum Taktbeginn und in der Taktmitte	elektrisch: Polaritätswechsel nur in der Taktmitte

Wirkungen der verschiedenen Leitungscodes:



2.4 Festlegen der Taktrate – Autonegotiation

Negotiation = Verhandlung, Aushandlung

Auto-Negotiation = Systeme können Übermittlungsarten automatisch aushandeln.

Autonegotiation ist eine Software in NIC's auf OSI-Layer 1.

Halbduplex

2 NICs kommunizieren zu einer Zeit nur in einer Richtung → Hub (OSI Layer 1)

Vollduplex

2 NICs kommunizieren zu einer Zeit in 2 Richtungen (bidirektional) → Switch (OSI Layer 2)

2.4.1 Generieren der Auto-Negotiation Signale

2.4.1.1 Normal Link Pulses NLP

Bei der Auto-Negotiation-Funktion findet der eigentliche Austausch von Informationen über den sogenannten Normal Link Pulse NLP statt. Diesen setzt 10BaseT ein, um einen Link-Integrationstest durchzuführen, also um die Verbindung während des Verbindungsaufbaus oder während des Betriebs zwischen zwei Endgeräten zu überprüfen.

2.4.1.2 Fast Link Pulse FLP

Extrahiert man aus einem FLP-Burst die Daten, erhält man ein so genanntes Link-Codewort, das Informationen über die unterstützte Übertragungsrate und den –Modus der Gegenstelle sowie einige Informationen zum Autonegotiation-Handshake anzeigt.

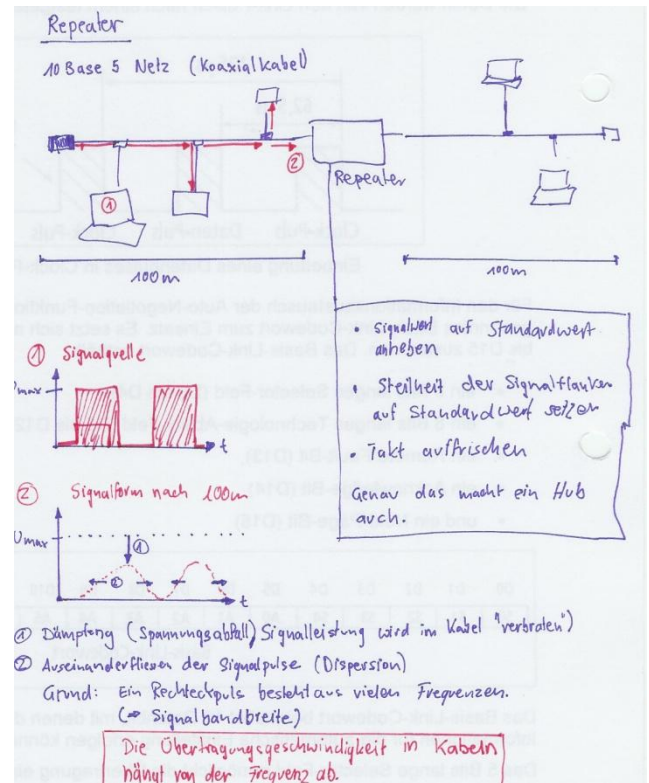
Eine 100BASE-tX-Komponente, die keine Autonegotiation unterstützt, sendet nach dem Start und in der Zeit, in der sie keine Frames verschickt, Idle Signale aus.

2.5 Vermittlungssysteme auf OSI-Layer: Repeater und Hub

2.5.1 Repeater

- Signalwert auf Standardwert anheben
- Steilheit der Signalfanken auf Standardwert setzen.
- Takt auffrischen

Genau das macht ein HUB auch.



Repeater verändern nur das Signal, nicht aber den Bitstrom.

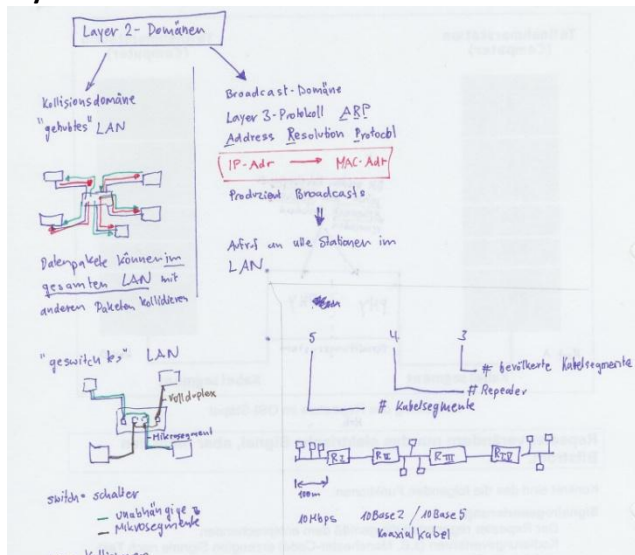
Kollisionsdomäne

Das ist der räumliche Bereich LAN, in dem alle Stationen am gemeinsam genutzten Medium alle Signale von allen Stationen an ihren NW-Karten auffangen.

2.5.2 Hub

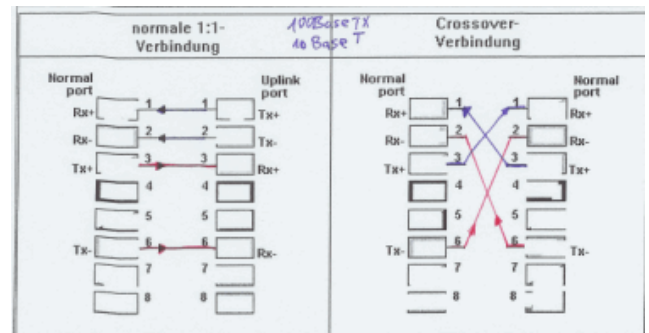
ein Hub (engl. Mittelpunkt, Nabel) ist ein Verstärker im Mittelpunkt einer sternförmigen Verkabelung, der auf allen Ports die Summe aller Eingangssignale aussendet. Die geometrische Topologie einer „gehubten“ TP-Verkabelung ist zwar sternförmig, die elektrische Topologie ist aber immer noch eine simple Bustopologie.

Layer 2 - Domänen



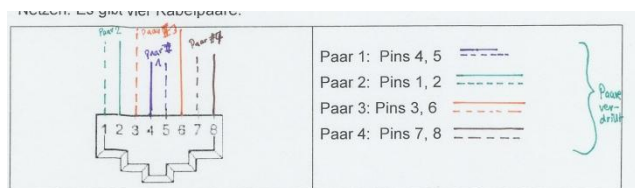
Crossover-Kabel

Crossover-Kabel dienen zur Verbindung zweier Hubs. Auf diese Weise kann man die Zahl der verfügbaren Rechneranschlüsse erhöhen. Moderne Hubs können sowohl mit geraden wie mit ausgekreuzten Kabeln kaskadiert (in Reihe geschaltet) werden.



3 Twisted Pair Verkabelung

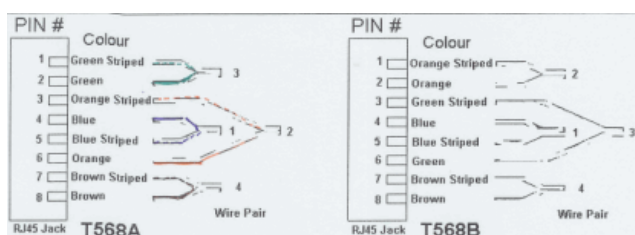
Der Standard DIN EN 50173 regelt die Kabelbelegung zumindest bei Kupferkabeln in Netzen. Es gibt vier Kabelpaare:



Kabelbelegung nach Technologien	Paarbelegung
Token Ring	1+3
10BaseT	Paar 2+3
100BaseTX	Paar 2+3
100BaseT4	alle Paare
ISDN	1+3
ATM	2+4
IBM AS400	1
IBM 3270	2

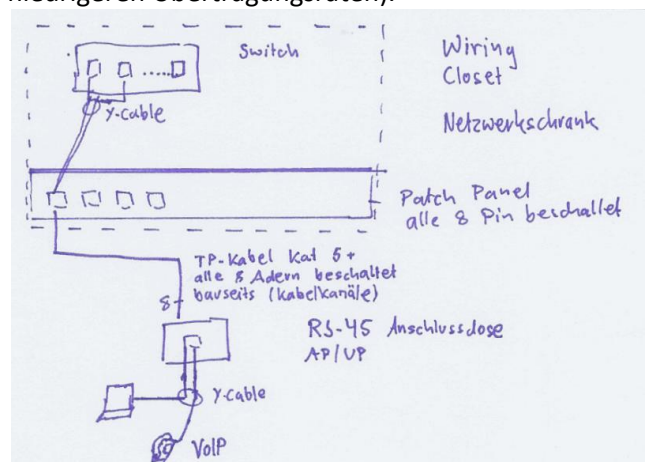
Aderfarben

Es gibt zwei Belegungen (die aber bis auf die Farben zum gleichen Ergebnis führen. Man muss sich nur an einen der beiden Standards halten, damit man nicht in ein durcheinander gerät. Normales 100BaseTX- und 10BaseT-Kabel kommt mit den Adern an den Pins 1,2,3 und 6 aus. Die Pins 4,5,7 und 8 werden für 100BaseT benötigt.

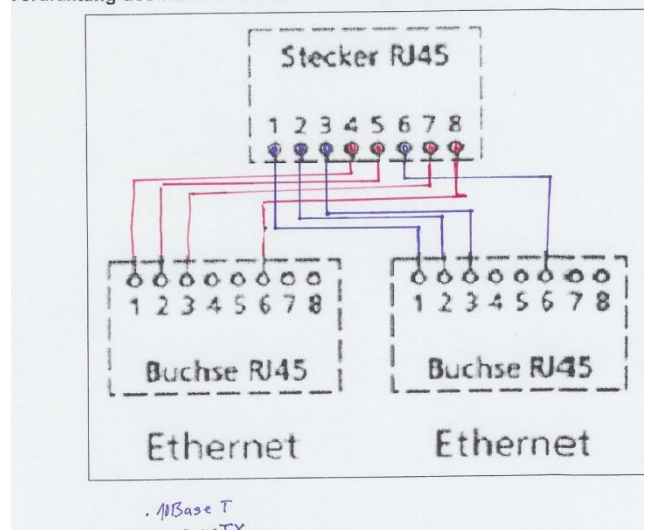


Cable Sharing, Y-Kabel

Y-Kabel sind spezielle Kabel, mit denen man ein voll ausgebautes RJ-45-Kabel, bei dem alle 4 Paare des Kabels angeschlossen sind, als Verbindungsleitung für zwei eingebaute Endgeräte benutzen kann. Sinn des Ganzen ist, dass man nur ein Twisted-Pair-Kabel mit 8 Adern verlegen muss, um zwei Computer oder Geräte anschliessen zu können (jedenfalls bei niedrigeren Übertragungsraten).



Verdrahtung des Kabels: 8-Pin JF45 -> Ethernet + Ethernet



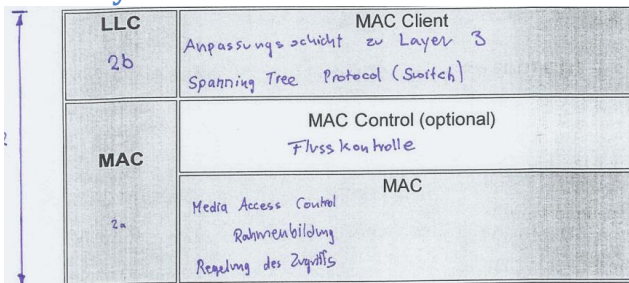
4 OSI Layer 2: Data Link Layer Datenübertragungsschicht

4.1 Aufgaben des Data-Link-Layers

- Aufteilung der Bitströme in Blöcke oder Rahmen (Frames) geeigneter Länge
- Behandlung von Übertragungsfehlern durch Fehlererkennung
- Flusskontrolle (Full-Duplex)
- Block- oder Rahmensynchronisation
- Regelung des Zugriffs auf das Übertragungsmedium (üblicherweise nur bei LANs) (CSMA/CD, Halb-Duplex)

Bei LANs wird die Sicherungsschicht in zwei Subschichten (=Sublayers) unterteilt

4.2 Referenzmodell für Ethernet auf OSI-Layer 2



MAC (Media Access Control Sublayer):

In dieser Schicht sind die primären Kontrollfunktionen für den Zugriff auf das Übertragungsmedium angesiedelt.

- Aufteilung der Bitströme in Blöcke oder Rahmen (Frames) geeigneter Länge
- Regelung des Zugriffs auf das Übertragungsmedium

CSMA/CD = Carrier Sense Media Access / Collision Detect

MAC Control Sublayer:

Diese Schicht beinhaltet gegenwärtig lediglich Funktionen zur Flusskontrolle. Gedacht ist, dass weitere Kontrollfunktionen untergebracht werden.

In „geschalteten“ LANs wird im Mikrosegment der Datenfluss mit Flow-Control (Full-Duplex) gesteuert.

MAC Client Sublayer: (Logical Link Layer LLC)

Anpassungsschicht zu Layer 3

Ist für TCP / IP nicht erforderlich

→ Win32 / Linux-Host senden keine Frames mit OSI 2b (LLC)-Bestandteilen (Standard)

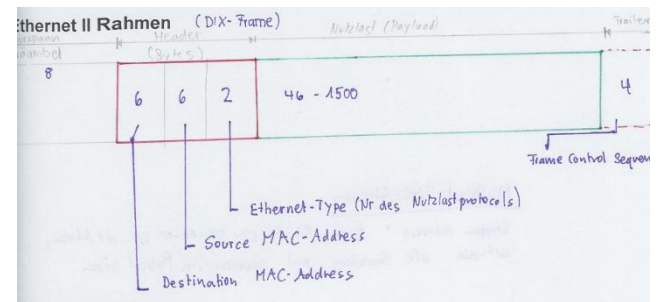
Ethernet II (DIX) – Frames

→ Layer 3 / 4 Protokoll NetBEUI und Bridges/Switches verwenden den LLC-Sublayer

Ethernet 802.3-Frames

4.3 MAC Rahmen (Layer 2a)

Ethernet II Frames (DIX-Frame)



Preamble (Präambel)

Präambel dient dem Einschwingen der Netzwerkkarte

Starting Frame Delimiter (Rahmenstartfeld)

Markierung des Rahmenanfangs (Bitfolge „10101011“, Synchronisation auf die Oktett-/Byte-Grenzen).

Destination MAC Address (MAC-Zieladresse)

MAC-Adresse des empfangenden Datenendgerätes.

Source MAC Address (MAC-Quelladresse)

MAC-Adresse des sendenden Datenendgerätes (es sind nur Individual-Adressen möglich).

Arten von MAC-Adressen

Unicast-MAC-Address:

Eindeutige, (fest eingetragene) MAC-Adresse einer NIC.

Broadcast-Mac-Address

FF-FF-FF-FF-FF-FF

Die Broadcast-MAC-Adresse ist ein Aufruf an alle
→ alle Empfänger müssen das ganze Frame verarbeiten

→ Anwendung: ARP

Multicast-Mac-Adressen

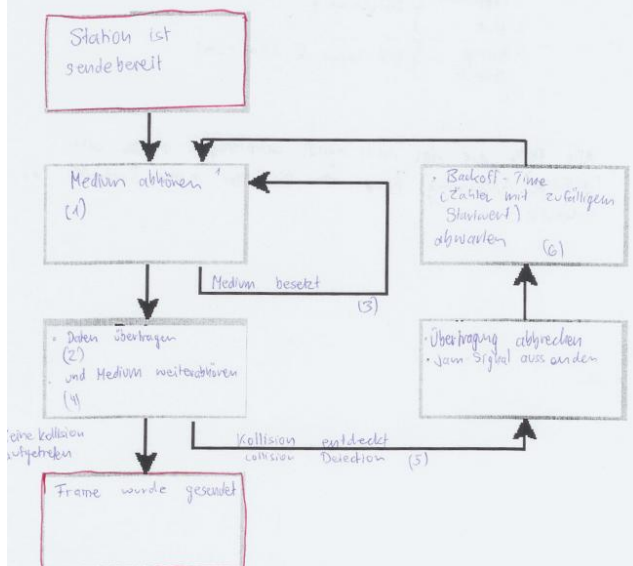
Gruppen Adresse: Bsp. 01-81-C2-00-00-00 ist die Adresse, auf die alle Switches mit

4.4 CSMA/CD-Algorithmus

Ethernet im **Halb-Duplex-Betrieb** basiert auf dem Zugriffsverfahren CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect
Regelung des Zugriffs auf das gemeinsam genutzte Übertragungsmedium

Der Ablauf ist in der folgenden Abbildung skizziert

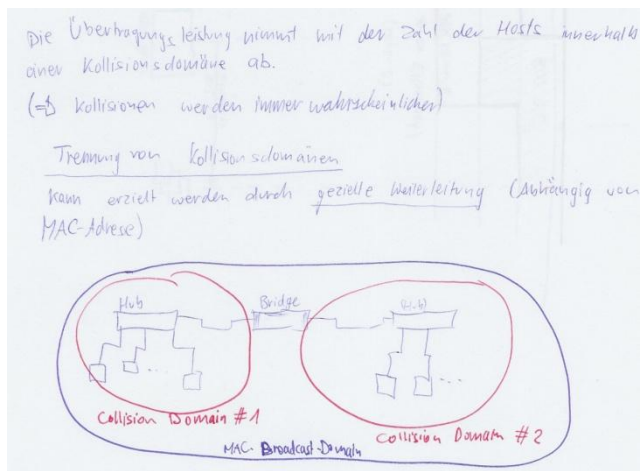


Kollisionsdomäne

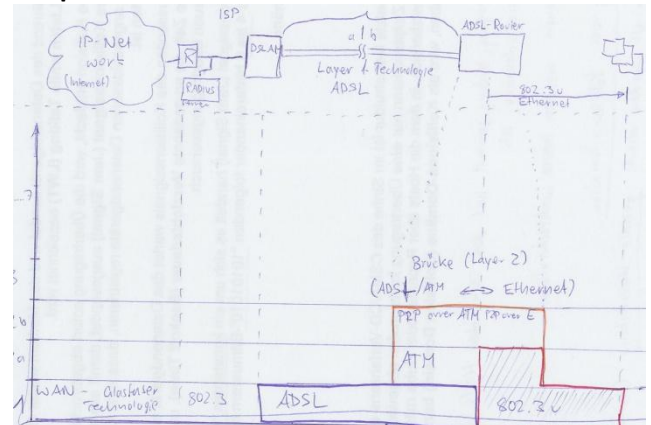
Eine über

- Repeater
- Hubs

zusammengesetzte Netzstruktur ist im Sinne des CSMA/CD-Verfahrens **ein** Netz, d.h. zu **einem** Zeitpunkt kann nur **eine** Übertragung kollisionsfrei abgewickelt werden. Der Netzbereich, in dem die Hosts über Repeater oder Hubs miteinander Verbindung haben, wird als **Kollisionsdomäne (Collision Domain)** bezeichnet.



Beispiele für eine MAC-Brücke



5 OSI Layer 3 (NW-Schicht)

5.1 Warum braucht es über der physischen Adressierung noch eine logische Adressierung?

IP Adressen (NetzID+HostID) sind in Teilnetzen in zusammenhängenden Blöcken vergeben.

→ Router müssen nur Wege zu IP-Teilnetzen kennen (Router-Table)

MAC-Adressen sind weltweit zufällig verteilt (wie die AHV-Nr bei Menschen)

→ weltweite Zustellung nur aufgrund von MAC-Adressen technisch unlösbar

Das Internet wäre geswitcht (weltweite MAC-Broadcasts)

→ siehe Bild Seite 38

5.2 Aufgaben der NW -Schicht

- Umsetzung von Netzwerkadressen in physikalische Adressen

ARP = Adress Resolution Protocol

- Feststellen von doppelt vorhandenen IP-Adressen im gleichen LAN

ARP kann im LAN doppelt vergabene IP-Adressen erkennen

- Adressierung von Computersystemen durch Vergabe von logischen Netzwerkadressen

IP-Adr = NetzID+HostID

- Weiterleitung von Daten

- Wegwahl (Routing) für die Weiterleitung von Daten

→ S.39

5.3 DAS ARP-Protokoll (Address Resolution Protocol)

Dieses Protokoll wird verwendet, um die IP-Adresse des Empfängers- oder nächsten Weiterleitungsknotens in die dazugehörige MAC-Adresse aufzulösen.

ARP löst die Adresse der Layer-3-Netzwerkschicht (IP-Adresse) zu einer Adresse der Layer 2a-Media-Access-Control-Schicht au.

→ Seite 40

5.5 Aufbau der IP-Adressen

NetzID

Eine NetzID ist im Internet eindeutig. Alle Hosts in einem logischen IP-Subnet besitzen die gleiche NetzID.

Regeln für die NetzID

Die NetzID 127.0.0.0 /8 wird nicht verwendet.
Die IP-Adresse 127.0.0.1 wird für die lokale Bezeichnung des Interface (local Host) verwendet.
Die NetzID 0.0.0.0 /32 wird in der RouterTable für die default Route verwendet.

HostID

Die HostID innerhalb eines logischen IP-Subnet ist eindeutig. Da ein logisches IP-Subnet in der Regel auch ein physisches Subnet ist, erfüllt die Erkennung von Adressduplikaten mit ARP ihren Zweck

Regeln für die HostID

Nicht verwendbar sind die HostID 0, 255

→ S. 44

5.7 Die klassischen Netzwerk-Klassen

Es gibt eigentlich 5 Netzwerkklassen, doch von Bedeutung sind nur deren drei!!!

→ S. 46/47

Klasse A Netze (/8)

NetzID: 8 bit HostID: 24bit (0 – 127)

Kleinste NetzID: 1

Grösste NetzID: 126

Subnetmaske: 255.0.0 /8

Kleinste HostID: 0.0.1

Grösste HostID: 255.255.254

Anzahl Host pro Kl A Netz:

$$256^3 - 2 = 16'777'214$$

Klasse B Netze (/16)

NetzID und Host ID je 16bit. 128-191 . 0-255

Kleinste NetzID: 128.0

Grösste NetzID: 191.255

Subnetmaske: 255.255.0.0 (/16)

Kleinste HostID: 0.1

Grösste HostID: 255.254

Anzahl Host pro Kl B Netz:

$$256^2 - 2 = 65'534$$

Klasse C Netze (/24)

NetzID: 24bit

HostID: 8bit

192-223 . 0-255 . 0-255

0-255

Kleinste NetzID: 192.0.0

Grösste NetzID: 223.255.255

Subentmaske: 255.255.255.0 /24

Kleinste HostID: 1

Grösste HostID: 254

Anzahl Hosts pro Kl C Netz:

$$256^1 - 2 = 254$$

Klassenorientierte Netze → S.47 links

5.10 Weiterleitung von Datagrammen zwischen IP-Teilnetzen

Damit Datagramme zwischen verschiedenen IP-Teilnetzen weitergeleitet werden können, müssen 2 Voraussetzungen erfüllt sein:

- Dem Host muss eine Weiterleitungsadresse bekannt sein (Standard GAteway, **default Gateway**)
- Die Weiterleitungsadresse muss auf einen konfigurierten Weiterleitungsgerät, das auf dem OSI-Layer 3 arbeitet, installiert sein. Das Weiterleitungsgeät auf OSI-Layer 3 wird als Router, präziser als IP-Router bezeichnet.

→ S.49

6 der DHCP-Client-Server-Dienst

Zentralisierte Administration der IP-Konfiguration

Transparente IP-Hostkonfiguration

Flexibilität

Skalierbarkeit

→ S. 50

6.2 DHCP-Optionen

Der DHCP-Serverdienst gibt Leases für IP-Adressen an DHCP-Clients zurück. Eine solche Lease enthält:

- IP-Adresse
- Subnetmaske
- Default Gateway
- und zusätzliche Werte für sogenannte DHCP-Optionen

→ S.52

7 OSI Layer 4: Transportschicht

Auf der Ebene der Transportschicht gibt es zwei Protokolle, die von den Protokollender Anwendungsschicht normalerweise für die Datenübertragung verwendet werden. TCP und UDP.

TCP ist das Protokoll der Transportschicht, das einen durchgehenden (End-zu-End) zuverlässigen Übertragungsdienst bereitstellt.

Einige der wichtigsten, reservierten Portnummern:

TCP	UDP
File Transfer Protocol FTP-Data (21) FTP-Control (21)	Domain Name Service DNS (53)
Telnet (23)	
Secure Socket Shell SSH (22)	
Simple Mail Transfer Protocol SMTP (25)	
Hyper Text Transfer Protocol Http (80)	
Post Office Protocol 3 POP3 (110)	
NetBIOS Name Service Netbios-nd (13...)	
NetBIOS Datagramm Service Netbios-dgm (13...)	
NetBIOS Session Service Netbios-ssn (13...)	
Common Internet File Service over TCP Microsoft-ds (445)	

Grundsätzliche Einsatz-Gebiet der Protokolle TCP und UDP

TCP wird für Verbindungen eingesetzt, bei denen die Daten typisch auf mehrere IP-Datagramme verteilt werden müssen.	Da die Daten typisch nur ein IP-Datagramm umfassen, ist die wiederholte Aussendung der Nachricht kein vergrößerter Aufwand.
---	---

8 OSI Layer 5: Protokolle der Anwendungsschicht

S. 57 - 63

9 Glossar

OSI Layer

OSI-Schicht	Einordnung	Standard	TCP/IP-Schicht	Einordnung	Protokollbeispiel	Einheiten	Kopplungselemente		
7 Anwendung (Application)	Anwendungs-orientiert	FTAM	Anwendung	Ende zu Ende (Multihop)	HTTP FTP HTTPS LDAP NCP	Daten	Layer 4-7 Switch, Content Switch, Gateway		
6 Darstellung (Presentation)		ASN.1							
5 Sitzung (Session)		ISO 8326							
4 Transport (Transport)	Transport-orientiert	ISO 8073	Transport	Punkt zu Punkt	TCP UDP SPX	Segmente	Router, Layer-3 Switch		
3 Vermittlung (Network)		CLNP	Internet		ICMP IGMP IP IPX	Pakete			
2 Sicherung (Data Link)		HDLC	Netzzugang		Ethernet Token Ring FDDI ARCNET	Rahmen (Frames)		Switch, Bridge (Netzwerk)	
1 Bitübertragung (Physical)		Token Bus				Bits		Hub, Repeater	