

Medien

Ausbreitungsgeschwindigkeit

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:  $c_0 = 299'792'458 \frac{m}{s}$   
Faustregel in Medien:  $200'000 \frac{km}{s} = 20 \frac{cm}{ns}$

Signaldämpfung

Angegeben in Dezibel; auch: Insertion Loss, Attenuation

Dämpfung  $A = 10 * \log(P_1/P_2) = 20 * \log(U_1/U_2)$

Höhere Frequenz → mehr Dämpfung

Halbierung der Leistung entspricht ca. 3dB

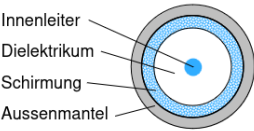
Signal-to-Noise-Ratio SNR

$SNR = 10 * \log(P_{Signal}/P_{Noise}) dB$

Kabel

Koaxial

- + besser als twisted pair für hohe Frequenzen
- + relativ unempfindlich gegen elektromagn. Störungen
- mechanisch heikel (knicken/quetschen)



Parasymmetrisch (Twisted Pair)

- + bereits lange im Einsatz
- + bei guter Qualität auch für Breitband geeignet
- mit oder ohne Schild

Shielded Twisted Pair (STP)

Bezeichnet nach ISO 11801: xx/yTP

xx steht für die Gesamtschirmung

- U ungeschirmt
- F Folienschirm
- S Geflechschirm
- SF Folien- & Geflechschirm

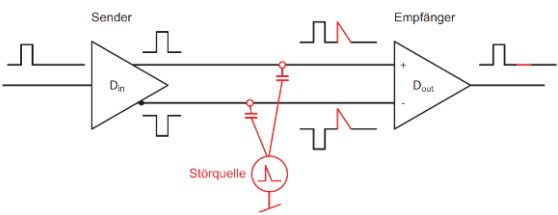
y steht für die Aderpaarschirmung

- U ungeschirmt
- F Folienschirm
- S Geflechschirm

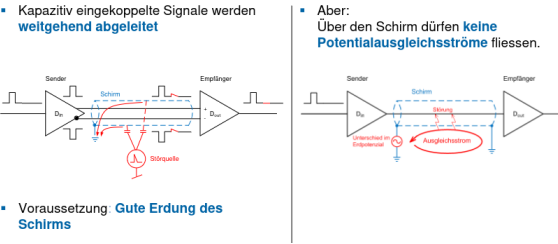
Störungen bei TP

Kapazitive/Induktive Störungen treten bei TP öfter als bei Koax oder Glasfaser auf.

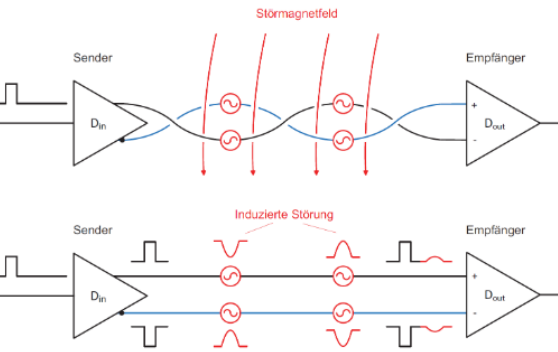
Kapazitive Störungen von benachbarten Leitungen heissen Crosstalk(über-/nebensprechen). Diese Störungen können durch ein invertiertes komplementäres Signal weitgehen aufgehoben werden. Der Empfänger subtrahiert die beiden Signale und eliminiert dadurch Störungen.



Alternativ können kapazitive Störungen mit einem leitenden Schirm abgefangen werden.



Induktive Störungen (durch ein Magnetfeld) können nicht durch ein komplementäres Signal alleine gelöst werden, da die die Störung auf beiden Signalen entgegengesetzt ist. Dies kann über verdrehen der Aderpaare gelöst werden, benachbarte Schleifen heben sich so immer auf.



Kategorien

- Cat 1..4 Billigkabel für analoge Sprachübertragung (< 1Mb/s)
- Cat 5 bis 100 MHz, z.B. 100Mb/s oder 1 Gb/s Ethernet bis 100m
- Cat 6 250 MHz, 1 Gb/s Ethernet und 10 Gb/s Ethernet bis 55m
- Cat 7 600 MHz, z.B. für 10 Gb/s Ethernet bis 100m

Lichtwellenleiter

- + hohe Bandbreite → hohe Datenrate
- + geringe Dämpfung → lange Übertragungsstrecken
- + resistent gegen elektromagnetische Störungen

Zentrum aus Kernglas mit hoher optischer Dichte (Brechungsindex  $n_{kern} = 1.5$ ) umschlossen von Mantelglas mit geringer optischer Dichte (Brechungsindex  $n_{mantel} = 1.48$ ). Dadurch werden Lichtstrahlen im Kern totalreflektiert( $\beta > 90^\circ$ ) und keine Energie durch Absorption verloren

Multimode

- + dicker Kern (mehrere Wege/Modes für das Licht)
- hohe Dispersion(Signalverschmierung auf langen Wegen)
  - Kann reduziert werden durch Einsatz von Gradientenfaser (übergang zwischen Kern und Mantel)

Singlemode

- + keine Dispersion
- + hohe Datenraten auf hohe Distanzen
- dünner Kern, nur eine Grundmode

Physical Layer

Begriffe

(Leitungs-)Symbol

Zu einem gewissen Zeitpunkt übertragenes physikalisches Signal das mit einer bestimmten Symbolrate seinen Wert verändert.

nicht wie in INCO "eine von N möglichen Nachrichten"

Informationsgehalt/Bit

Informationsgehalt (von Symbol/Nachricht)  $N_{Bit} = ld(\text{Anzahl Möglichkeiten})$

Zeichen

Einheit der übertragenen Daten, z.B. ein ASCII Zeichen

Baudrate

Schrittgeschwindigkeit = Leitungs-Symbole pro Sekunde

Maximale Baudrate  $f_s$  ist doppelte Bandbreite  $B$  (Hz) gemäss Nyquist:

$f_s = 2B$

Durchsatz/Bit-/Datenübertragungsrate

übertragung von Information pro Zeit

Maximale Bitrate (Hartley's Gesetz)

$R \leq 2B * ld(\# \text{unterscheidbare Signalzustände})$

Potenzen (in der Kommunikation werden NICHT zweierpotenzen verwendet):

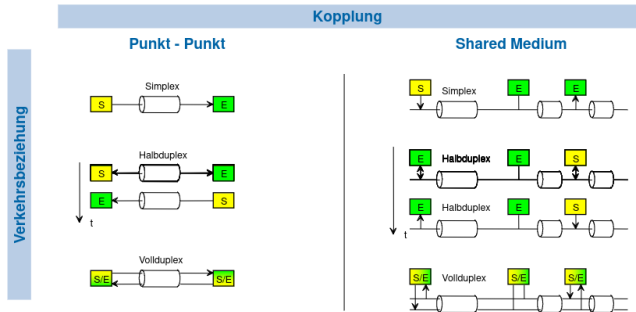
- kBit =  $10^3$  Bit → kbps =  $10^3$  bps
- MBit =  $10^6$  Bit → Mbps =  $10^6$  bps
- GBit =  $10^9$  Bit → Gbps =  $10^9$  bps

Kanalkapazität

Berücksichtigt neben der Bitrate auch Störungen

$C_s[Bit/s] = B * ld(1 + \frac{S}{N})$

Verkehrsbeziehung und Kopplung

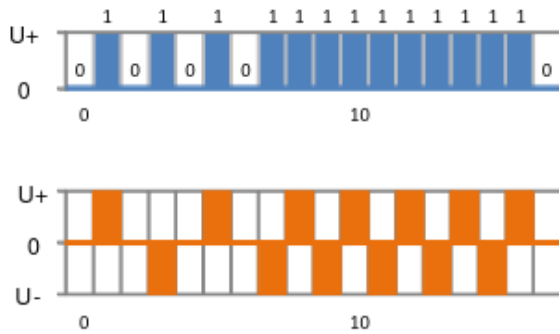


Leitungscode

- Anforderungen:
- Takt sollte im Signal enthalten sein (Taktrückgewinnung)
  - effiziente Bandbreitennutzung
  - möglichst gleichspannungsfrei (um Sender & Empfänger mit z.B. Transformatoren galvanisch trennen zu können)

3-wertiger AMI (Alternate Mark Inversion)

Wechsel +/- bei jeder 1 sonst 0 → +/- gleichen sich aus somit Gleichspannungsfrei



PAM3

Anwendung bei 10 Mbit/s Ethernet via Single Pair bis 1.2km

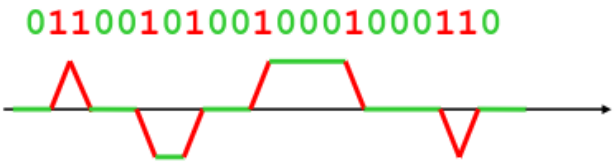
- 4 Bit werden zu 3 ternären Symbolen
- DC/Gleichspannungs Offset wird bei Codierung berücksichtigt

Manchester-Code

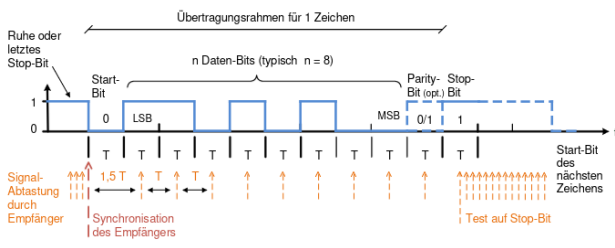
Einsatz bei 10BASE-T  
Einfache Codierung: 1 werden als steigende Flanke, 0 als fallende Flanke übertragen. Signalwechsel bei jedem Bit → einfache Taktrückgewinnung

NRZI (Non Return to Zero Inverted)

Einsatz bei 100BASE-TX(mit zusätzlicher 4 zu 5 bit codierung)



RS232



Data Link Layer

Aufgaben:

- fehlerfreie Verbindung direkt verbundener Systeme
- Framing, Nutzdaten erkennen und ent-/verpacken
- Fluss-Steuerung (Flow Control), langsamer Empfänger kann schnellen Sender bremsen
- Adressierung der Teilnehmer (falls mehrere)
- Medium Zugriff (Media Access) wer darf wann senden

Framing

Asynchron

- keine Daten → nichts wird übertragen (Ruhezustand)
- Start-Bit zu Beginn eines Frames
- Aufbau (meistens): Header + Datenblock + Fehlererkennung

Synchron

- Frames werden permanent gesendet, falls keine Daten wird ein Flag gesendet (Bit Stuffing stellt sicher dass das Flag nicht als Nutzdaten vorkommt)
- Aufbau: wie Asynchron aber links & rechts durch Start-/End-Flag begrenzt

Bit-/Framefehlerwahrscheinlichkeit

auch BER (Bit Error Ratio), NICHT Bitferrate das wären Bitfehler pro Zeit

Für gleichverteilte Fehler, ohne doppelte die sich aufheben; Wahrscheinlichkeit, dass ein Frame mit Länge  $N \geq 1$  Bitfehler hat

$$FER = P_{FehlerFrame} = 1 - (1 - p_{FehlerBit})^N$$

für  $p_{FehlerBit} \ll 1$  gilt näherungsweise  $FER \approx N * p_{FehlerBit}$

Andere:

- FER Frame Error Ratio, fehlerhaft empfangene Frames
- REB Residual Error Ratio, unentdeckte fehlerhaft empfangene Frames

Frame-Länge

Trade-Offs von Frame länge

- + hohe Netto-Bitrate wegen Gutem Header/Nutzdaten Verhältnis
- grössere Framefehlerwahrscheinlichkeit
- mehr Datenverlust bei einem Fehler
- höhere Wahrscheinlichkeit für unentdeckten Fehler

Fehlererkennung

Hamming-Distanz

die minimale Anzahl Bits in denen sich zwei beliebige Codewörter eines Codes unterscheiden

Hamming-Distanz h erlaubt die Erkennung von h-1 Fehlern

Parity

- Even Anzahl 1 inkl. Parity-Bit ist gerade
- Odd Anzahl 1 inkl. Parity-Bit ist ungerade
- Längs & Quer über mehrere Bytes für jede Spalte / Zeile Parity sowie eine gesamte Parity

Prüfsumme

über ein speziell konstruiertes Polynom wird eine Prüfsumme generiert z.B. CRC

Fehlerkorrektur

Backward Error Correction

Rückfrage des Empfängers nach dem letzten Packet bei Fehler

- Rückkanal benötigt
- Warten auf Quittung
- Warten auf Timeout (abhilfe durch negative Bestätigung)

Forward Error Correction (FEC)

BER reduzieren durch fehlerkorrigierende Codes

Anstatt verwerfen bei Fehler, schätzen der wahrscheinlichsten gesendeten Nachricht.

Regeln für Hamming-Distanz h

- Anzahl der korrigierbaren Bitfehler  $k$  ist die abgerundete Hälfte der fehlerbehafteten Zwischencodes  $k \leq (h - 1)/2$
- Ein Code der genau in der Mitte liegt wird als fehlerhaft erkannt, kann aber nicht korrigiert werden.
- Allgemein:  $k + e = (h - 1)$  mit  $k \leq (h - 1)/2$

Medienzugriff

Master-Slave

- + keine Konflikte weil Master alles koordiniert
- single point of failure

Token

- Sendeberechtigung wird in einer fixen Reihenfolge weitergereicht
- + deterministisch
- Aufwändig

Zeitsteuerung

- Analog zu Taktfahrplan für Züge
- + Optimierung möglich
- Konflikte bei unplanbarem Verkehr

CSMA

(Carrier Sense Multiple Access) Alle "master", senden wenn sie niemand sonst hören

CSMA/CD

Collision Detection, abbrechen und später nochmals versuchen

CSMA/CR

Collision Resolution, Hardware unterstützte Arbitrierung

Flowcontrol

Erlaubt Empfänger den Sender temporär zu stoppen Verwendung bei Speichermangel/langsamer Verarbeitung oder Überlast im Netzwerk

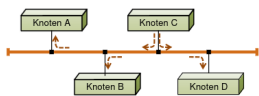
Kann auch implizit vorkommen, in dem der Sender nach jeder Nachricht auf eine Quittung wartet bevor er die nächste schickt

Ethernet

Begriffe

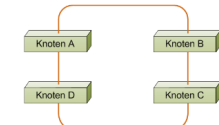
Topologien

Bus



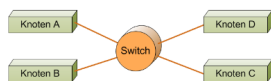
- Alle Stationen
  - sind passiv angeschlossen
  - hören Leitung permanent ab
  - werden aktiv, wenn sie etwas senden wollen
- Keine festgelegte Ausbreitungsrichtung
- Empfänger erkennt anhand einer Adresse, ob die Daten für ihn relevant sind

Ring



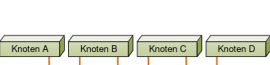
- Benötigt Verfahren zur Verhinderung von "endlosem Kreisverkehr"
- Gewisse Redundanz: beim Ausfall einer Station kann immer noch jede Station erreicht werden

Stern



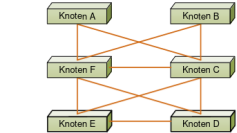
- Jede Station an zentralen Verteiler (Switch/Bridge) angeschlossen
- Verteiler entkoppelt Knoten elektrisch und macht LAN weniger störungsanfällig
- Verteiler sendet Daten, die er von einer Station erhält, an die anderen Knoten weiter

Linie



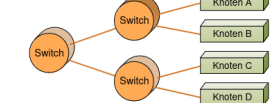
- Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen benachbarten Knoten
- Alle Stationen müssen
  - Daten empfangen
  - Daten regenerieren
  - falls nötig weiterleiten
- Der Ausfall einer Station führt zur Segmentierung des LAN in zwei Teile

Vermascht (teilweise oder komplett)



- Weitere Erhöhung der Redundanz:
  - Ausfall einer oder eventuell auch mehrerer Stationen oder Verbindungen kann toleriert werden
  - Zusätzliche Kosten und Aufwand, um mehrfache Lieferung von Daten zu verhindern

Baum



- Hierarchische Erweiterung der Sterntopologie
- Intelligenten Switches ermöglichen einen Großteil der Kommunikation „lokal“
  - zwischen A und B bzw. C und D
- Dadurch Verringerung der Last für die einzelnen Switches

Übertragungsarten

Immer nur ein Sender! Anzahl empfänger unterscheidet sich

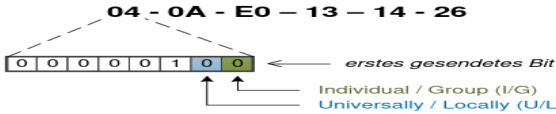
**Unicast** Genau 1 klar definierter Empfänger, Frame trägt dessen Adresse

**Multicast** Gruppe von Empfängern, Frame trägt Adresse dieser Gruppe

**Broadcast** An alle Knoten im LAN, Frame trägt Broadcast-Adresse

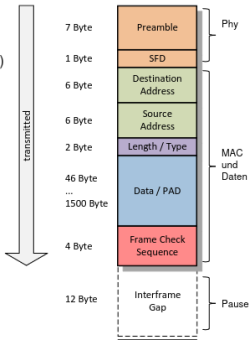
MAC-Adresse

Erste drei Byte Hersteller + Individual/Group & Universally/Locally bits, die letzten drei Bytes Laufnummer durch Hersteller



Ethernet Frame

- Bit Synchronisation durch Präamble, Bytes & Frames durch Start Frame Delimiter (SFD = 1010'1011)
- Frame-Länge 64 ... 1518 Byte (ohne Präamble und SFD)
- Bytes nacheinander übertragen, pro Byte **LSB** zuerst
- Zahlenwerte (Length/Type/...) höchstwertiges Byte zuerst gesendet (Network Byte Order)
- Length/Type (2 Bytes):
  - Fall 1: Länge von DATA ohne PAD (≤ 1500)
  - Fall 2: Typ von DATA = Protokoll der nächsten Schicht (≥ 1536)
    - Beispiel: 0x0800 für IP
- Data / Padding (46 – 1500 Bytes):
  - Enthält die eigentlichen Datenbytes (Nutzinformation)
  - Bei weniger als 46 Bytes Nutzdaten wird mit Padding (PAD) Bytes aufgefüllt
- Frame Check Sequence, FCS (4 Bytes):
  - IEEE CRC-32 Algorithmus
- Interframe Gap, IFG (12 Bytes):
  - "Zwangspause" zwischen aufeinanderfolgenden Frames
  - Ist **NICHT** Teil des Ethernet Frames



Die FCS wird mit IEEE CRC-32 berechnet. Die Hamming-Distanz ist Abhängig von der Frame-Länge: 6 bis 226, danach 5 bis 2974 (Ethernet Limit = 1518)

Kennzahlen zu Ethernet

**Overhead** 18 Bytes aus DA,SA,L/T,FCS

**Frame-Size** 64 bis 1518 Bytes

**Sendedauer**  $T_{frame} = \frac{N_{bit} = (FrameSize + 8) * 8}{Bitrate}$

**Dauer der Leitungsbelegung**  $T_{leitung} = \frac{N_{bit} + 96}{Bitrate}$

Network Gear

Kreieren eine Broadcast Domain / LAN, Endgeräte merken davon nichts (transparent) sondern sprechen aus ihrer Sicht direkt den Empfänger an.

**Repeater/Hubs** verstärkt Signal von einem Port und leitet sie weiter auf allen anderen  
**Bridge/Switch** lernt Adressen, leitet Daten weiter an die richtigen ports (Filtering Database)

VLAN (802.1Q)

Repräsentiert eigene, virtuelle Broadcastdomain.  
Auf einem Switch kann jedem Port nur eine VLAN-ID gegeben werden, da die Zuordnung erst am Switch selbst passiert (muss konfiguriert werden, "managed switch").

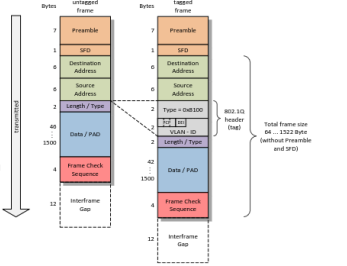
Bei VLAN gibt es 2 verschiedene Arten von Links (Verbindung zwischen Geräten).

**Access Links** nur einem VLAN zugehörig

**Trunk Links** oft zwischen Switches, gesendete Frames können mehreren VLANs angehören → Frames müssen vom Switch getagged werden

Erweiterung des Ethernet Headers durch einen VLAN-Tag

- Der Type 0x8100 bedeutet, dass das Frame «getagged» ist
  - Ein 12 Bit Identifier (VLAN-ID, VID) besagt, welchem VLAN das Frame angehört
  - Die 3 Bit des Priority Code Point (PCP) erlauben, das Frame mit einer Priorität zu versenden
  - Mit dem Drop Eligibility Indicator (DEI) werden Frames markiert, die bei Überlastsituationen zuerst verworfen werden sollen
- Die maximalen Nutzdatenlänge bleibt erhalten, der Ethernet Frame wird 4 Bytes länger
- VLANs können transparent eingesetzt werden



PCP: höhere Prio kann tiefere überholen in der Bridge

(Rapid) Spanning Tree

Ziel: Alle Segmente in einer loop-freien Topologie verbinden Idee:

- willkürliche aber eindeutige Root-Bridge wählen
- von Root aus Baum aufbauen
- redundante Pfade sperren

Algorithmus:

1. Initialisierung

- Alle Ports für Nutzdaten blockiert
- Annahme: "Ich bin Root"
- Austausch BPDUs mit Nachbarn

2. Aufbau des Spanning Tree

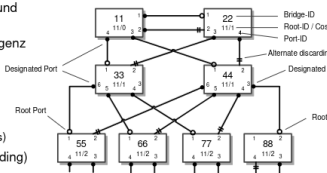
- Aufdatieren der Info zu Root (kleinste ID) und Pfadkosten zu dieser
- Austausch aufdatierter BPDUs bis Konvergenz

3. Setzen der Port Roles

- Freigeben für Nutzdaten von
  - Root-Ports (Empfang der «besten» BPDU)
  - Designated-Ports (Gegensstück zu Root-Ports)
- Alle anderen Ports bleiben blockiert (Discarding)

BPDUs (Bridge Protocol Data Units) beinhalten:

Root-ID (aus lokaler Sicht):	8 Byte
Root-Cost (aus lokaler Sicht):	2 Byte
Bridge-ID ("Ich"):	8 Byte
Port-ID (Sende-Port):	2 Byte



Das normale STP konvergiert & reagiert sehr langsam, die Rapid Variante RSTP ist vom Grundkonzept identisch aber reagiert schneller auf Topologieänderungen (~500ms)

Evolution von Ethernet

Bezeichnung(802.3): [Bitrate in Mbit/s] BASE/BROAD-[Art/Codierung] Bemerkung: früher statt Art/Codierung die max. Segmentlänge in 100m

Beispiele von relevanten in diesem Rahmen

- 10 Mb/s: 10Base-T
- 100 Mb/s: 100Base-TX
- 1000 Mb/s: 1000Base-T

Codierungsarten:

- T, TX, T1 Twisted Pair
- SR, DR, LR optisch
- C Twinax
- K Backplane

Autonegotiation

Für Rückwärtskompatibilität, damit Sender & Empfänger wissen was möglich ist. Umgesetzt mittels Fast Link Pulses FLP (seit 100BASE-TX) zwischen den regulären Normal Link Pulses NLP(10BASE-T).

100BASE-TX

**Coderiung** NRZI + umwandeln von 4 Bits in 5-Bit PCS (4B5B)  
**Start-of-Stream** ähnlich zu 10BASE-T Preamble, bestimmte PCS Zeichen J/K  
**End-of-Stream** markiert Ende des Frame, bestimmte PCS Zeichen T/R  
**IDLE** NEU: die Leitung wird ununterbrochen mit IDLE gefüllt falls keine Nutzdaten, PCS Zeichen I

1000BASE-T

- 5-wertiger Leitungscode PAM-5
- Vollduplex: Alle 4 Aderpaare in beide Richtungen dank Gabelschaltung
- Next-Page bei FLP

10GBASE-T

- 16-wertiger Leitungscode PAM-16
- Effizientere Verteilung der Bits auf Aderpaare
- forward error correction
- neuer Stecker ab CAT7: GG45

IP (Network Layer)

Router/Gateway

Verbinden verschiedene Netze mit potentiell unterschiedlichen Technologien

Lösen 2 Aufgaben:

**Routing** Aufbau und Update von Routingtabellen  
**Forwarding** Weiterleiten der Pakete anhand Routingtabellen

Routing-Tabelle

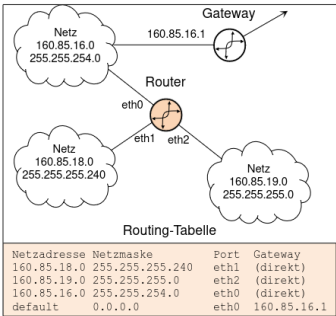
löst: wie Kann ich welches Netz erreichen?

Bei hierarchischem Routing (Router wissen welche Netze an anderen Router sind forwarden entsprechend) kommen oft auch aggregierte Routen vor.  
Wenn so z.B. 130.0.0.0/25 und 130.0.128.0/25 beide via den selben Router erreichbar sind wird diese Route aggregiert und als 130.0.0.0/24 zusammengefasst.

Beispiel

- Die Routing-Tabelle sei nach der Länge der Netzmaske sortiert
- Sie wird von oben nach unten durchsucht
- Aus der Zieladresse und Netzmaske wird eine Zielnetzadresse bestimmt
- Verglichen werden **nur die Netzadressen**
- Der erste Eintrag, der „passt“, wird für die Weiterleitung verwendet<sup>(1)</sup>
- Der default-Eintrag am Schluss (falls vorhanden) passt immer

<sup>(1)</sup> Existieren gleichwertige Alternativen, werden zusätzliche Kriterien (z.B. Pfadkosten) verwendet



Classful Routing

Ursprünglich wurden IP Adressen in 5 Routing Klassen eingeteilt (Classful Routing). Die ersten vier Adressbits erlauben eine Bestimmung der Klasse. Wird nicht mehr gemacht weil oftmals Adressraum verschwendet wird.

Klasse	Adressbereich	Anzahl Netze	Interfaces pro Netz
A	1.0.0.0 – 127.255.255.255	127	16'777'214
B	128.0.0.0 – 191.255.255.255	16'384	65'534
C	192.0.0.0 – 223.255.255.255	2'097'152	254
D	224.0.0.0 – 239.255.255.555	Multicast Adressen	
E	240.0.0.0 – 255.255.255.255	Reserviert für zukünftige Nutzung	

Subnetting

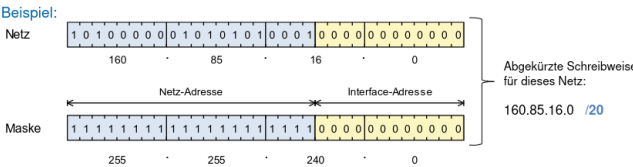
- das Netz in kleinere Subnetze teilen
- funktioniert simplifiziert durch beliebiges erweitern der Netzadresse
- hintereinanderliegende Netze können zusammengefügt werden

198.51.0110 0100	0000 0000	= C-Netz 198.51.100.0 /24
198.51.0110 0101	0000 0000	= C-Netz 198.51.101.0 /24
198.51.0110 0110	0000 0000	= C-Netz 198.51.102.0 /24
198.51.0110 0111	0000 0000	= C-Netz 198.51.103.0 /24
198.51.0110 01	00.0000 0000	= Subnetzmaske 255.255.252.0 oder /22

Adressierung / IPv4

Adresse eines Host = Netz-Adresse + Interface-Adresse

Subnetzmaske



Netzadresse

- reserviert, darf NICHT für interfaces verwendet werden
- tiefste Adresse im Subnet → alle interface bits 0
- berechnung durch  $InterfaceAdresse \wedge Subnetzmaske$

Broadcast-Adresse

- reserviert, darf NICHT für interfaces verwendet werden
- höchste Adresse im Subnet → alle interface bits 1
- berechnung durch  $InterfaceAdresse \vee invertierte Subnetzmaske$

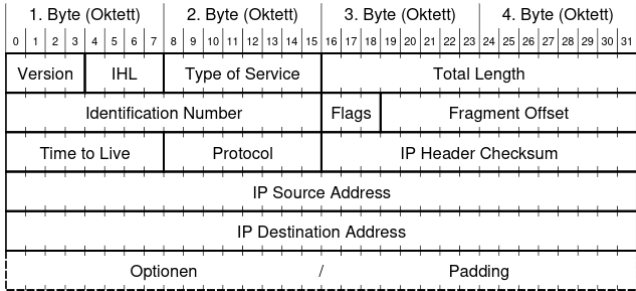
Private Adressen

Die 172.0.0.0/8 Adressen sind reserviert für Loopback und verlassen den Host nicht. Sie werden an ein emuliertes Loopback-Gerät geschickt dass direkt returned (kein Interface nötig).

Klasse	Netzadresse(n)	Anzahl Netze	Subnetzmaske
A	10.0.0.0	1	255.0.0.0
B	172.16.0.0 – 172.31.0.0	16	255.255.0.0
C	192.168.0.0 – 192.168.255.0	256	255.255.255.0

IPv4 Header

immer minimum 4Byte Blöcke



**Version** 4 oder 6  
**IHL** Internet Header Length ( / 4 weil immer 4 Byte Blöcke)

- Header ohne optionen = 20 Bytes → IHL = 5
- Maximalwert 15 (4 Bits)

**TOS** Type of Service, erlaubt priorisierung

Feld	Position	Funktion	Definition
DSCP	0 – 5	Differentiated Services Codepoints	RFC 2474
ECN	6 – 7	Explicit Congestion Notification (IP Staukontrolle)	RFC 3168

**Total Length** inclusive Header & Nutzdaten

**TTL** Time To Live, In Anzahl Hops. Verhindern Loops, jeder Router dekrementiert, bei 0 → Paket verwerfen

**Protocol** Protokoll der Nutzdaten

- 1 ICMP Internet Control Message Protocol
- 6 TCP Transport Control Protocol
- 17 UDP User Datagramm Protocol

**Header Checksum** schützt NUR den Header, bei jedem Router neu berechnet(TTL)

**Options/Padding** variabel, heute selten, Padding für 32 bits

**Identification Number** identifikation, bleibt für fragmentierte Pakete gleich

**Flags** 3 Bits, steuert Fragmentierung über einzelne Bits (Aufzählung von links aus)

- 0. reserviert, immer 0
- 1. DF, 0/1 → May / Dont Fragment
- 2. MF, 0/1 → Last / More Fragments

**Fragment Offset** 13 Bits, steht für Anzahl 8 Byte Blöcke, bestimmt wo im gesamt paket die Daten hingehören

Fragmentierung

IP-Paket maximal 65535 Bytes, aber limitiert durch MTU des Netz.

Problem: spätere Netze haben eventuell tiefere MTU → Fragmentierung.

- jedes Fragment erhält seinen eigenen Header
- Identification Number bleibt gleich
- Total Length jeweils die Länge des Paket
- alle Pakete ausser letztes haben MF = 1 in den Flags
- alle Pakete haben die gleiche maximale Länge (ausser letztes)

Paket mit 112 Bytes Nutzdaten, MTU = 60 Bytes → 3 Fragmente mit 40,40,32 Bytes

- 1. Fragment: TL = 60, Identification = 649, Fragment Offset = 0, MF = 1
- 2. Fragment: TL = 60, Identification = 649, Fragment Offset = 5, MF = 1
- 3. Fragment: TL = 52, Identification = 649, Fragment Offset = 10, MF = 0