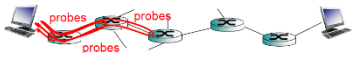
Traceroute

Misst Weg vom Starthost zum Zielhost
Für alle i:
- Sende Pakete die nur i laufen können richtung Ziel (TTL Feld)
- i.ter Router sendet Pakete zurück -> Sender lernt alle Router kennen – vgl. Breitensuche

Basiert auf ICMP



Home Router Aufgaben

DHCP Server, WLAN Access Point, IP Router, DSL Modem / Kabelmodem, DNS Resolver

Leitungsvermittlung (Circuit Switching)

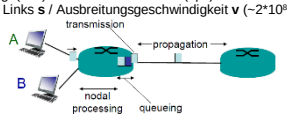
Benötigte Ressourcen müssen vorab reserviert wrdn
Verbindung wird nur zugelassen, falls ausreichend Netzkapazität vorhanden. Sonst abgelehnt.
Dann Senden eines kontinuierlichen Datenstroms.
Übertragungszeit garantiert.

Paketvermittlung (Packet Switching)

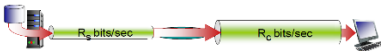
Host teilt Nachricht in kleine Pakete auf und schickt sie unabhängig voneinander los.
Gleichzeitige Pakete müssen sich einen Link teilen und zeitlich hintereinander gesendet werden.
Router: **Store-and-Forward**.
Jeder Router muss gesamtes Paket empfangen, bevor er es auf den ausgehenden Link weiterleitet

Paketverzögerungen/-Verlust

Verlust: Pakete verworfen, wenn Puffer nicht frei
Verzögerung: durch Pufferung
$d_{nodal} = d_{proc} + d_{queue} + d_{trans} + d_{prop}$
d_{trans} = Paketlänge(Bits) **L** / Bandbreite d. Links(bps) **R**
d_{prop} = Länge d. Links **s** / Ausbreitungsgeschwindigkeit **v** ($\sim 2*10^8$ m/s)
Datenraten: 10er Potenz
Speicher: 2er
B: Bytes
b: bits



Bottleneck bestimmt den Throughput:



Schichtenmodell (TCP/IP - Internet)

Vorteile: Verringert Gesamtkomplexität. Einfacheres Hinzufügen neuer Features. modulares Entwickeln von für die Datenkommunikation benötigter Hardware, Treiber und Anwendungen. Schichten können geändert werden, ohne Einfluss auf andere Schichten.

Jede Schicht fügt an die Nachricht ihren eigenen Header hinzu

5 Application (HTTP, SMTP, RTP, DNS)
4 Transport (TCP, UDP): Kommunikation zw. Prozessen auf Sender u. Empfängerseite
3 Network (IP, ICMP): Adressierung, Forwarding, Routing
2 Link (DSL, SONET, 802.11, Ethernet): Rahmenbildung, Fehlererkennung/Korrektur, Vielfachzugriff, zuverl. DatÜbertr
1 Physical: Signalübertragung, Modulation, Übertragungsmedien

Schichtenmodell (ISO/OSI)

Zusätzlich:
Presentation: Semantik der übertragenen Kommunikation (Kompression, Verschlüsselung, BE, LE)

Session: Sitzungsauf- und abbau Synchronisierung zwischen beteiligten Prozessen

Nachteile: Leichter Overhead, teilweise gleiche Aufgaben in mehreren Schichten implementiert (historische Gründe), Höhere Schicht benötigt Infos aus niedrigerer Schicht (z.B. WLAN Routing Protokolle (Schicht3) benötigen Infos aus Schicht2)
Änderungen an Service API Schicht k hat Auswirkungen auf k+1

7 application
6 presentation
5 session
4 transport
3 network
2 link
1 physical

Signalübertragung

Dämpfung: Längere Leitung -> mehr Dämpfung
Leistung/Amplituden verringert
Verzerrung: Frequenzen werden von Übertragungsmedien verschieden stark gedämpft.
Meist nur Frequenzen bis zu einem max Wert gut übertragbar
Bandbreite: E-Technik: Frequenzbereich der gut übertragen werden kann

Duplex vs Simplex

Vollduplex: Beide Richtungen gleichzeitig möglich
z.B. meist bei Kabelübertragung
Halbduplex:Beide Richtungen, aber nicht gleichzeitig
z.B. WLAN
Simplex: Nur eine Richtung möglich

Nyquist (Datenrate D bei unverrauschtem Kanal)

Bandbreite **B**; Anz. verw. Signalstufen **V**
D = 2 * B * ld(V) [bit/s]

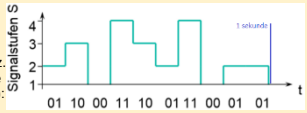
Shannon (Datenrate D bei verrauschten Kanal)

Gilt zusätzlich zu Nyquist!
Nutzsignalleistung S; Rauschleistung N
D = B * ld(1 + S/N) [bit/s]; S/N in dB: 10 * $\log_{10}$(S/N)
Wenn in dB geg., dann erst umrech

Bit vs Baud

Bitrate:
20 bit/s

Baudrate(Anz. Signalschritte pro Sekunde):
10 Baud



Digitale Modulation

Modulation: Umwandlung Bitsequenz in übertragbares Signal.

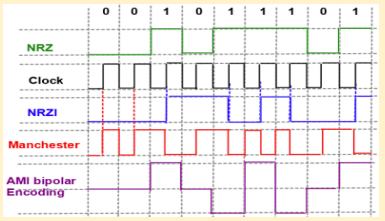
Demodulation: Rückübersetzung beim Empfänger.

Baseband (bei drahtgebundener Übertragung):
Signal beinhaltet Frequenzen 0 bis fmax und wird direkt in diesem Frequenzbereich übertragen.
Bei Ethernet Kabel z.B. 1000BaseT bedeutet:
1Gps, Baseband, Twisted Pair Kupferleitung

Passband (bei drahtloser Übertragung):
Nutzsignal in höheren Frequenzbereich verschieben
Nutzsignal verändert Trägersignal
Rückgewinnung am Empfänger durch **Demodulation**

Baseband Transmission (Leitungscodes)

Manchester: XOR Clock mit Bits
Bipolar: abwechselnd + u. – für **jede** 1



Taktrückgewinnung durch Leitungscodes

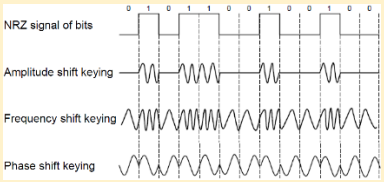
Häufige Symbolwechsel nötig, damit Empfänger den **Takt rückgewinnen** kann. 100000 schwierig wie viele 0en.
Lösungen:
- Synchrone Uhren
- Manchester Code (Takfreq = 2 * Bitfreq)
- Coderung: z.B. **4B/5B** bildet 4 Bits auf 5 Bits ab mit vielen Wechseln (so bestehen Codewörter niemals nur aus 1en oder 0en):

Data	Code	Data	Code	Data	Code	Data	Code
0000	11110	0100	01010	1000	10010	1100	11010
0001	01001	0101	01011	1001	10011	1101	11011
0010	10100	0110	01110	1010	10110	1110	11100
0011	10101	0111	01111	1011	10111	1111	11101

Weitere Vorteile: Effizientes Ausnutzen der Bandbreite.
Gleichspannung unterdrücken(AMI)

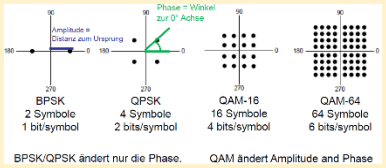
Passband Transmission

Nutzsignal ändert Trägersignal
Bei Frequency Vereinbarung welche Freq 0 und 1
Grund für Passband: **Multiplexing** u. Antennengröße



Passband: Kombination von Modulationsarten

ASK und PSK oft kombiniert -> ergibt mehr Symbole, daher höhere Bitrate bei gleicher Baudrate



GrayCode als Bitcodes. -> Kleine Fehler bei der Symbolerkennung verursachen nur wenige Bitfehler.

Multiplexing (mehrere User 1 Übertragunsmedium)

Frequency Division Multiple Access (FDMA):
- Jeder Benutzer hat eigenen Frequenzbereich
- Bei **Vollduplex** zwingend notwendig!

Time Division Multiple Access (TDMA):
- Frequenzbereich wird über Zeit geteilt
- Round-robin
- Benutzer wechseln sich zeitlich ab

Auch **Kombination** aus beiden Möglich.

Link Layer

Host: Endpunkt eines Ende-zu-Ende Pfades
Node: Jedes Gerät, das am Netzwerk teilnimmt (Host, Router, Switch, Access Point,...)
Frame: Nachricht auf Schicht 2.
Wird in allen Nodes implementiert (**Netzwerkkarte/HW**).
Nicht in Hubs!
Übertragung von Frames zwischen benachbarten Nodes
Rahmenbildung: Positionsrichtige Erkennung von Zeichen, Erkennung von Blockgrenzen. Frame = Header+Payload. Payload = IP Paket
Vielfachzugriff: Wer darf Medium wann nutzen?
Fehlererkennung/-Korrektur: Umgang mit Bitfehlern auf phyical layer. Hinzufügen von Redundanz
Zuverlässige Datenübertragung: Korrektur von Paketverlusten, korrekte Reihenfolge, Vermeidung von Duplikaten. Bei WLan teilweise, bei Ethernet gar nicht.

Rahmenbildung (Zerlegung des Bitstroms in endliche Seq)

Erkennung, wann Frame beginnt und endet.

Byte Count: Zu Beginn jedes Frames Feld, das Anz enthaltener Bytes angibt (Anz. inkl diesem Feld)
Nachteil: Nach Fehler erneute synchronisation schwer
Byte Stuffing: FLAG markiert anfang und Ende. Falls FLAG in Nutzdaten, ESC. ESC aber auch escapen. Overhead, aber einfaches Synchronisieren nach Fehler.

Bit Stuffing: Frame beginnt mit speziellem reserviertem Bitmuster. Beim senden wird nach 5 zusammenhängenden 1-er Bits immer ein 0 Bit eingefügt und beim Empfang nach 5 zusammenhäng. 1er Bits immer ein 0 Bit gelöscht.
Vorteil: Framelänge muss kein vielf. von 8Bit sein.

Fehlererkennung und -korrektur

Keine Fehlerkorrektur (zu viel Redundanz)
Bei Fehlererkennung:
Ethernet: keine Retransmission. Nur durch TCP, falls Timeout eintritt.
WLAN: Aktive Wiederanforderung des fehlerhaften Blocks durch Link Layer

Checksumme (IP und UDP/TCP Header):
- Bits in Gruppen von 16 Bit Wörtern
- Summiere alle 16 Bit Wörter unter Berücksichtigung des Übertrags (Übertrag addieren)
- 1er Komplement des Ergebnisses ist Checksum

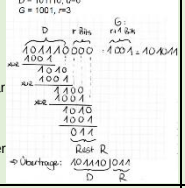
Empfänger:
- Addiere übertragene Wörter UND Checksum. Übertrag auch wieder addieren!
- Wenn Ergebnis nur 1er: Kein Fehler

Cyclic Redundancy Check (CRC): Ethernet und WLAN

Zu übertragende **Datenbits D**
Generator G, den Sender u. Empfänger kennen (r+1Bits)
Sender bestimmt **r zusätzliche Bits** und hängt diese an d an. d+r wird dann übertragen. **d+r muss durch G teilbar** sein.

Sender: R berechnen:
R = Rest((D*2^r)/ G)
R ggfs mit führenden Nullen zu r Stellen ergänzen.

Empfänger prüft, ob durch G teilbar
D * 2^r XOR R = n*G?
Also eigentlich: (D+R) / G
Falls rest übrig bleibt -> Fehler
Funktioniert schlecht, wenn Bitfehler direkt hintereinander



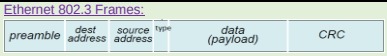
MAC-Adressen (Adresse der Link Layer)

Nur lokal gültig. Zur Identifikation von Nachbarn.
Jedes Interface eines **Hosts** hat eigene MAC-Adresse.
Switch hat keine MAC Adresse, weil kein Host!
Bei Ethernet u. WLan 48 Bit.

Broadcast-Adresse FF-FF-FF-FF-FF-FF

Jede Netzwerkkarte muss eindeutige MAC-Adresse haben innerhalb eines lokalen Netzwerkes.
Teilweise MAC Adresse fest mit Netzwerkkarte verknüpft.

Ethernet 802.3 Frames:



Präambel: 7mal 10101010, dann 1mal 10101011
⇨ Synchronisation Sender u. Empfänger

Adressen: je 6 Byte Sender u Empfänger MAC. Normalerweise, NW Karte leitet Frame nur an BS weiter, wenn des adresse passt. Ausnahmen: Broadcast oder **Promiscuous Mode** (Netzwerkadapter akzeptiert auch Pakete, die nicht an ihn)
Type: 2Byte Art des Netzwerkprotokolls IPv4/IPv6..., Also Protokoll des enthaltenen Datagramms
CRC: 4Byte
Eigenschaften:
Verbindungslos: Kein Verb. Aufbau vor Datenaustaus
keine zuverlässige Verbindung: Frameverlust mögl.
Vielfachzugriff: Nur bei Punkt-zu-Punk:Unsl CSMA/CD

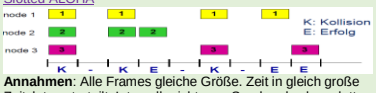
Vielfachzugriff

Geteilter Broadcastkanal – **Interferenz** == Kollision falls mehrere Stationen gleichzeitig senden.

Multiple Access Control: Verteilter Algorithmus, der entscheidet, wann Host senden darf.Entscheidung muss inband sein (kein extra Kanal).
Link hat Kapazität R. Wenn einer, dann Rate R, wenn mehrere Senden Rate R/M

Arten von Multiple Access Control:
Multiplexverfahren: siehe physical Layer.
Random Access Verfahren: Kollisionen (>2 Stationen senden) werden zugelassen. Mechanismen um sich von Kollision zu erholen. z.B. Un-/Slotted ALOHA, CSMA /CD /CA
Token-Verfahren: Kollisionen werden verhindert. Nur wer Token hat darf auf Kanal zugreifen

Slotted ALOHA



Annahmen: Alle Frames gleiche Größe. Zeit in gleich große Zeitslots unterteilt. Intervall reicht zum Senden des kompletten Pakets. Hosts müssen bzgl Zeit synchronisiert sein.

Sobald neuer Frame vorhanden. Versuche im nächsten Slot zu senden.
- Keine Kollision: fertig.
- Kollision: Versuche beim nächsten Slot mit Wahrscheinlichkeit p erneut. (p-persistent)

Vorteile: nur 1 Host: volle Rate, Dezentral, Einfach
Nachteile: Kollisionen verschwenden Zeitslots. Sync der Uhren notwendig. Hosts erkennen evtl. Kollision bevor Übertragung beendet ist und brechen das Senden ab.

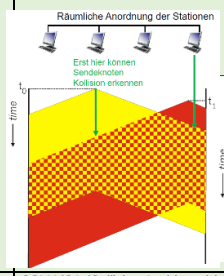
Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

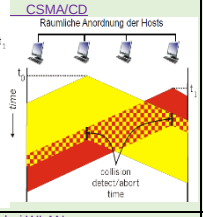
Carrier Sensing: Mitlauschen am Kanal.
Kanal **frei**: Beginne Übertragung.
Kanal **belegt**: Verschiebe Übertragung.
- 1-persistent: Sende sobald Kanal wieder frei
- p-persistent: Sende im nächsten Slot, mit W'keit p falls Kanal frei ist.
- Non-persistent: Warte Zufällige Zeit und prüfe erneut, ob Kanal frei. => **Ethernet**

Wegen d_{prop} erkennen Sender erst verspätet, ob es zu Kollisionen kommt.
d_{prop} hat Einfluss auf Kollisionswahrscheinlichkeit.

Problem: Bei spät erkannter Kollision ist losgesendetes Paket wertlos.

CSMA





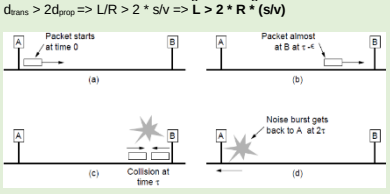
CSMA/CD (Carrier Sensing + Collision Detection)

CS: Nur senden falls Medium gerade frei ist.
CD: Sender (**Netzwerkkarte**) hört während senden Medium weiter ab.
- Sofortiger Abbruch + Jam Signal bei Kollision. Jam Signal zum Sicherstellen, dass andere Nodes Sendetätigkeit einstellen.
- Erneuter Sendeversuch nach zufälliger Wartezeit
- Binary exponential Backoff: mittlere Wartezeit nach jeder erneuten Kollision verdoppelt.

Voraussetzung:
Sender muss zu **listen while talk** fähig sein.
- LAN: Leicht möglich -> *Vollduplex*
- WLAN: Schwierig. Empfangene Signale viel schwächer als gesendete -> *Halbduplex*

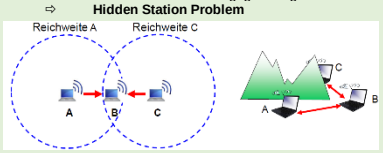
Mindestlänge von Ethernet Frames

Worst-Case: Kollision wird erst nach 2*d_{prop} erkannt.
Ziel ist es, dass Sender **Kollision noch erkennt, bevor er alle Bits seines Frames losgesendet hat**. (Transmission delay)
⇨ Minimale Paketgröße nötig
$d_{trans} > 2d_{prop}$ => L/R > 2 * s/v => **L > 2 * R * (s/v)**



Vielfachzugriff bei WLAN 802.11

CS: Wie Ethernet wird vor Senden Medium abgehört
Collision Detection nicht möglich, weil:
- WLAN ist **halbduplex**: empf. Signal sehr schwach
- WLAN Stationen können sich nicht gegenseitig hören
⇨ **Hidden Station Problem**



➔ **Kollisionen müssen beim Empfänger erkannt werden!**

CSMA/CA (Collision Avoidance) bei WLAN

Sender:
Kanal min. **für DIFS frei** -> sende kompletten Frame ohne CS

Kanal **belegt**:
- hier schon exponential Backoff
➔ Unterschied zu CSMA/CD
- Höre Kanal ständig ab und dekrementiere Timer nur während Zeiten, wo Kanal frei ist.
- Erneute Übertragung, wenn Timer ausläuft

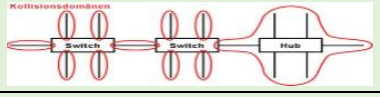
Falls kein ACK eintrifft -> Wieder zu belegt Fall.
Ggfs backoff Intervall erhöhen.

Empfänger: bestätigt Datenempfang durch ACK nach Zeitspanne SIFS.
SIFS < DIFS Priorisierung von ACK

Switched Ethernet

Hub: Alle Leitungen quasi miteinander verbunden. Eine einzige Kollisionsdomäne. CSMA/CD notwendig
Switch: Isoliert jeden Port in eigene Kollisionsdomäne
Bei Vollduplex-Kabeln kein CSMA/CD nötig

- Jeder Host direkt mit Switch-Port verbunden.
- Keine Kollision möglich, falls voll-duplex.
- Kein CSMA/CD notwendig.
- Switches speichern Frames zwischen und leiten Frames weiter
- Gleichzeitige Übertragung von A zu A' und B zu B' möglich.



Ethernet Switch

Arbeitet auf **Link Layer**.

- Empfang, Zwischenspeicherung und Weiterleitung von Ethernet Frames
- Untersucht MAC Adresse der ankommenden Frames und leitet Frame selektiv nur an richtigen Port weiter.

Klassischer Switch hat **keine IP-Adresse**.

Transparenz:
- Ethernet Hosts merken nichts von der Anwesenheit eines Switches

Plug-and-Play:
- Selbstlernend
- Muss nicht konfiguriert werden.

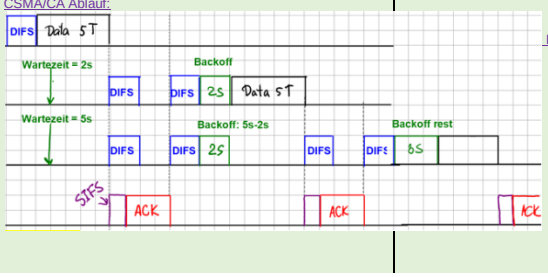
Switch Forwarding

Forwardingtabelle enthält Info, an welchen Port ein Frame weitergeleitet werden muss:

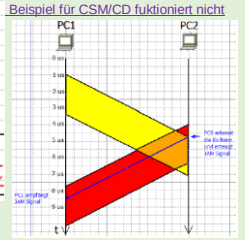
- Ziel **MAC**-Adr | Ziel **Ausgangsport** | **TTL**

Ablauf:
- Selbstlernend: Bei **ankommendem** Frame werden Infos des Absenders gespeichert.
- **Nachschlagen**, ob Eintrag mit Ziel MAC schon in Tabelle.
- **Vorhanden**: Weiterleiten an Zielport. Falls Zielport == Quellport. Frame verwerfen.
- **Sonst**: Fluten. Weiterleiten an alle Hosts mit Ausnahme des Senders. Auch die, die er schon weiß, was dranhängt.

CSMA/CA Ablauf:



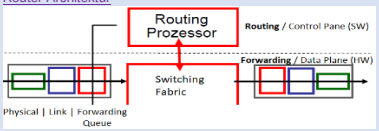
Beispiel für CSM/CD fuktioniert nicht



Network Layer

Ende zu Ende Verbindung zwischen Sender u. Empfänger
Router interessieren sich nicht für Schicht 4 / 5. Nur weiterleitung zum Zielhost
Adressierung: IP Adressen
Forwarding: Welches Ausgangsinterface des Routers. Bei Router oft in HW implementiert
Routing: Berechnung der Wege im Netz. Eintragen d. Ergebnisse in ***Weiterleitungstabellen*** (IP Adr. Reichweiten jeweils). Routingprotokolle (konstruieren Routing Tabellen). Meist in SW implementiert.
IP ist verbindungslos.
Link Layer kann unterschiedlich sein (WLAN, Ether..)
Best Effort: Jeder Router tut sein Bestes, aber keine Garantie bzgl Reihenfolge, Bandbreite… und keine Bevorzugung

Router Architektur



Queuing, falls Ankunftsrate schneller als Weiterleitung durch Fabric. Link Layer wird hier terminiert.

Bei IP wird Ausgangsport nur anhand der IP Zieladresse bestimmt!
Longest Prefix Matching um Platz in Tabelle zu sparen!

Switching Fabric

3 Typen: Memory, Bus, Crossbar

Queuing an Eingangsports

Nötig, falls Fabric langsamer als Ankunftsrate.
Head-of-the-Line Blocking: Vorderstes Paket blockiert andere Pakete, obwohl andere Pakete zu einem Ausgangsinterface müssen, das frei ist.

Queuing an Ausgangsports

Nötig, falls Ankunftsrate von Fabric die Übertragungsrate des Ausgangslinks übersteigt.
Wenn Queue voll -> **Paketverluste**!

IP (20 Bytes Overhead für IP Header)

- Adressierungskonventionen
- Datagram Format
- Packet handling conventions

TTL: Anz Hops verbleibend
Nutztlast=size-20Byte

IP Fragmentierung

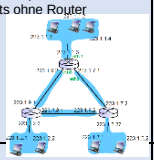
MTU: Verschiedene Link Layer Technologien haben versch. max. Paketgrößen (Ethernet 1500 Byte)
Router/Host zerlegt in kleinere Pakete.
Zusammenbau am End-Host! (Betriebssystem Overhead)
16-Bit Identifier: Identisch für alle Pakete eines Frames
Fragmentation Flag: 1: Da kommt noch was, 0: letztes Fragment eines Pakets
Offset: Byteposition innerhalb des Gesamtpakets, an die das Fragment gehört. (Offset 185: 185 * 8 = 1480, also nach Byte 1480 kommt dieses Fragment)

IP Adresse

32 Bit. Identifiziert Host im Internet, gehört aber logisch eigentlich zum **Interface des Hosts**. **Jedes Interface (am Router mehrere) hat eigene IP-Adresse.**

Subnetze

Mehrere Hosts teilen sich gleichen IP Adresspräfix.
Innerhalb von Subnetz können sich Hosts ohne Router erreichen.
Vorteil: In Routingtabellen müssen nur Subnetzadressen stehen



Beispiel: 223.1.3.0/24
(die ersten 24 Bits sind für alle Hosts des Subnetzes gleich)

Classful Addressing

Früher: **Feste länge** für Subnetzpräfixe (/8, /16, /24)
/24 Netz kann 2^(32-24) = 2^8 Hosts haben

Classless Addressing

Beliebige Länge für Subnetzpräfixe (CIDR)
Präfixnotation: 200.23.16.0/24
zeigt, welche Bits zum Subnetz gehören

Spezielle Ipv4 Adressen

127.0.0.1: Localhost, eigener PC. Netmask 255.0.0.0
Private Ipv4 Adressen: 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16, 169.254.0.0/16

Beispiel:192.168.0.0/16 **Netzmaske**: 255.255.0.0
Broadcast:192.168.255.255 **Netzadresse**: 192.168.0.0

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

Server weist automatisch IP Adressen zu.
Manuelle zuweisung auch möglich (siehe Win/Linux Befehle)
Eigentlich Schicht 4!
Host kann zugewiesene IP Adresse ggfs verlängern.

Ablauf:
- Host sucht DHCP Server: DHCP Discover (optional)
  Ziel: 255.255.255.255 (Ethernet Broadcast)
- DHCP Server antwortet mit DHCP Offer (optional)
  Ziel: 255.255.255.255 (Ethernet Broadcast)
- Host fordert explizit IP Adresse an: DHCP Request
  Ziel: 255.255.255.255
- DHCP Server weist Adresse zu: DHCP ACK
  Ziel: 255.255.255.255

ICMP (Internet Control Message Protocol)

Error reporting und Router signaling.
Austausch von Infos zw. Host und Routern.

- ICMP Information wird als IP Paket versendet

Inhalt ICMP Nachricht:
Type, Code
Erste 8 Bytes des IP Pakets, das Fehler verursacht

Type	Code	description
0	0	echo reply (ping)
3	0	dest. network unreachable
3	1	dest host unreachable
3	2	dest protocol unreachable
3	3	dest port unreachable
3	6	dest network unknown
3	7	dest host unknown
4	0	source quench (congestion control - not used)
8	0	echo request (ping)
9	0	route advertisement
10	0	router discovery
11	0	TTL expired
12	0	bad IP header

ARP (Address Resolution Protocol)

Herausfinden, welche Ziel-MAC zum Next-Hop Router/Host gehört. ARP Paket wird in Ethernet Frame verpackt
➔ Übersetzen von IP in MAC Adressen
ARP Tabelle in allen Hosts (nicht Switches)

Arp Tabelle: IP | MAC
Routing Tabelle: IP | Ausgangsport

Switch forwarding Tabelle: MAC | Ausgangsport

- ARP Paket direkt in Ethernet Frame verpackt => kein IP Header

ARP Ablauf (Sender und Empfänger in einem Netz)

A möchte Datagram zu B senden
B's MAC nicht in A's ARP Tabelle

A schickt Broadcast ARP Query Paket das B's IP Adresse enthält (Ziel MAC: FF-FF-FF-FF-FF-FF)
Alle Hosts im LAN empfangen diese ARP Query

B empfängt ARP Query und informiert A in Antwort über B's MAC Adresse -> Unicast Frame zu MAC A

A speichert IP/MAC paar in ARP Tabelle bis veraltet

ARP bedarf keiner Konfiguration (plug and play)

ARP Ablauf (Sender u. Empfänger in versch. LANs)

Annahme1: A kennt IP Adr von B über DNS
Annahme2: A kennt IP und MAC von Router R

- A erzeugt IP Datagram mit SourceIP A und DestIP B
- A erzeugt Link-Layer Frame mit R's MAC Adresse
- Frame wird von A nach B geschickt

- R empfängt Frame, entfernt Ethernet Header und gibt Inhalt hoch zu Network Layer
- R leitet IP Datagram mit SourceIP A und DestIP B weiter
- R erzeugt Ethernet Frame mit B's MAC als Ziel, Frame enthält IP Paket von A zu B

Routing

Router tauschen Kontrollnachrichten aus, um Routingtabelle zu erzeugen.

Link State (zentral): Jeder Router kennt komplette Topologie. Z.B. OSPF
Distance Vector (dezentral): Jeder Router kennt nur direkten Nachbarn u. Kosten zu diesem. Nachbarn teilen per Routingnachrichten mit welchen Knoten sie mit welchem Gesamtkosten erreichen können. Z.B. Routing Information Protocol (RIP)).
Statisch: Manuelle Konfiguration von Forwardingtable
Dynamisch: Periodischer Austausch von Routinginformationen. Änderungen autom. erkannt.

Links State vs Distance Vector

Routingnachrichten:
LS: Jeder Router flutet Infos über seine Links im ganzen Netz
DV: Jeder Router informiert seine Nachbarn welche ziele er zu welchen Kosten erreichen kann

Robustheit: Was wenn ein Router bösartig ist?
LS: Router kann falsche Linkkosten ankündigen.Fehler begrenzt, da jeder Router seine eigene Tabelle berechnet.
DV: Router kann flasche Pfadkosten ankündigen. Fehler pflanzen sich fort, da Tabelle eines Routers Einfluss auf andere Router hat.

Hierarschiches Routing

Router werden In autonome Systeme (AS) guppiert.

Intradomain Routing (für Ziele im gleichen AS)

Wie sind Gateways zu Nachbarnetzen aus lokalem Netz erreichbar?
Protokolle: **RIP, OSPF, IGRP**

Interdomain Routing (für Ziele in anderen ASen)

Welche externen Ziele sind über welches Transfer-AS / Gateway erreichbar. (Gateway=Router am Rande des next AS)
Protokolle: **BGP**
Zusätzliche Routing Policies notwendig:
- Jeder Router kann bestimmen, welche Nachrichten er bevorzugt.
- Auch wirtschaftliche Aspekte spielen eine Rolle.

OSPF (Open Shortest Path First)

Router fluten **Link State** Advertisement Nachrichten (enthalten Infos über alle Nachbarrouter) an alle anderen Router im gesamten AS. Dann Routenberechnung über Dijkstra.

OSPF Advertisements werden direkt über IP gesendet (kein TCP oder UDP).

Router muss lernen „über welches Interface komme ich aus meinem AS raus zum Ziel, welches sich evtl. in einem ganz anderen AS befindet". Das steht dann in der **Routing Tabelle** der Router

BGP (Border Gateway Protocol)

Teile Dem Rest der Welt die Existenz eines IP Präfix mit.
eBGP: Verbindungen **zwischen** ASen. Teilt anderen ASen Mit, dass man über diesen Router zu einem bestimmten IP Subnetz kommt. (**TCP** Sessions zwischen Gateways in ASen)
iBGP: Verbindungen **innerhalb** eines AS. Teilt anderen Routern innerhalb eines AS mit, dass man über diesen Router zu einem bestimmten Ziel kommt. (**TCP** Sessions zwischen allen Routern innerhalb eines AS)
BGP Attribute:
- AS-PATH: Liste von ASen, durch die Prefix Advertisement gelaufen ist. (Von aktuellem bis Zielnetz)
- NEXT-HOP: Router im eigenen AS, der das AS mit dem nächsten AS auf dem AS Pfad verbindet.

BGP

Policy-based Routing: Beispiele:
- Ignoriere Pfade durch AS Y
- Gib Routinginfo nicht an Nachbarn AS X weiter

BGP, OSPF: Welches Ausgangsinterface muss Router verwenden, um zum Gateway Router zu kommen, der über iBGP mitgeteilt wurde.
Beste Route nach Kriterien:
1: Local Pref, 2: Kürzester AS Pfad, 3: Route mit am schnellsten erreichbarem Next-Hop (Hot Potato)..

Hot Potato Routing

AS will, dass Pakete so schnell wie möglich das eigene AS verlassen, also lokales Gateway mit **geringsten Intradomain Kosten** wählen.

IPv6

40 Byte Header Kein ARP
Keine Fragmentierung und Keine Checksumme
Notation: 128 Bit in 8 Blöcke, je 16 Bit (4Hex Zahlen), mit „:" getrennt.
- Führende Nullen darf man weglassen
- EINMAL dürfen ein oder mehr aufeinanderfolgende Blöcke mit 0000 ausgelassen werden und durch „::" ersetzt werden.
- Beispiel: 2001:0db8:0:0:0:0:1428:57ab wird zu: 2001:db8::1428:57ab Nullen am Ende: 2001.32::
- Es gibt keine /80 Subnetze, weil Host-ID immer genau 64 Bit.
- IPv4 Notation: ::192.31.20.46
- **Tunneling**: IPv6 Paket in IPv4 Paket (bei legacy Leitung)

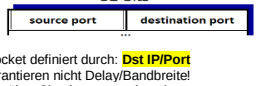
Link Local Adresse: im Bereich fe80::/10 (Für Hosts im gleichen Subnetz) wird direkt aus MAC Adresse abgeleitet

Transport Layer

Kommunikation zwischen **Prozessen** auf Sender u. Empfänger Seite. (Betrifft Hosts, nicht Router!)
Teil des **Betriebssystems**

Transport Layer Multiplexing (in TCP und UDP)

IP Pakete werden Prozessen des BS zugeordnet.
Port: 16 Bit.



UDP

Verbindungslos: Socket definiert durch: **Dst IP/Port**
UDP und TCP, garantieren nicht Delay/Bandbreite!
Übertragungsfehler über Checksumme erkennbar.

TCP (alles in SW implementiert)

Verbindungsorientiert: Socket definiert durch:
Src IP/Port, Dst IP/PORT Src Port meist beliebig wählbar
Zuverlässig: Keine Bitfehler, kein Datenverlust, korrekte Reihenfolge
Problem: Zuverlässige Übertragung über unzuverlässigen Kanal (IP)
ACK: Um zu sagen, ob die Daten angekommen sind, und OK (Checksum) sind.
Sequenznummern: Um zu sehen, ob ACK Corrupt ist und um zu sehen, ob das letzte Paket richtig angekommen ist (Ersatz für NACK).
Timeout: Schützt vor Daten/ACKs die auf dem Weg verloren gehen.
Pipelining: Für verbesserte Performance. (nicht mehr Stp n Wt)

Pipelining

Sender darf mehrere Paktet gleichzeitig senden, aber es dürfen nur eine begrenzte Anzahl von unbestätigten Paketen unterwegs sein.

Go-Back-N

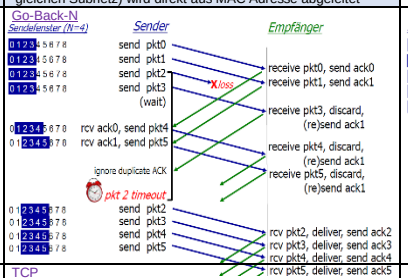
- Empfänger bestätigt immer nur mit Sequenznummer für die gilt, dass **alle** kleineren bereits empfangen.
- Sender hat Timer für ältestes unbest. Paket. Bei Timeout wrden **alle** Pakete nochmal geschickt, die noch nicht bestätigt wurden.

Selective Repeat

- Retransmission nur für verlorengegangene Pakete.
- Empfänger schickt ACKs für jedes einzelne Paket individuell.
- Sender hat Timer für jedes Paket. Timerablauf -> nur betreffendes Paket wird neu gesendet.

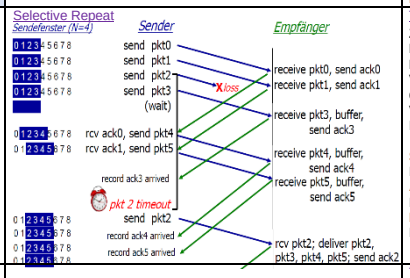
Go-Back-N

Sendefenster (N=4)



Selective Repeat

Sendefenster (N=4)



TCP

Zuverlässig: Bestätigt einzelne Bytes, nicht Pakete!
Pipelining: Mischung aus Go-Back-N u. Selective Repeat.
Flow Control u. **Congestion Control** bestimmen Fenstergr.
Vollduplex: Max Segment Size (**MSS**) richtet sich nach MTU der Link layer
Verbindungsorientert: Verbindungsaufbau vorher. Sender u. Empfänger initialisieren State Machine

Sequenznummer: Nummer des BYTES, NICHT PAKETNUMMER!
Acknoledgement: Sequenznummer des nächsten erwartetet Bytes == ältestes noch nicht empfangenes Byte.
Bidirektional: Sequenznummer in eine Richtung sind ACK-Nummer in die andere Richtung

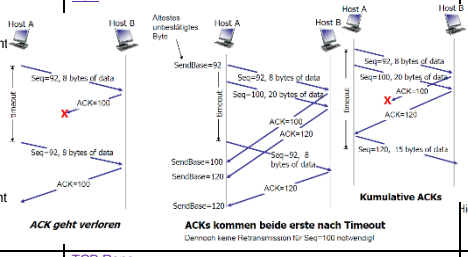
Hybrid von Go-Back-N und Selective Repeat

Von Go-Back-N:
- Kumulative ACKs
- Nur 1 Retransmission Timer. ältest unbestät Segment

Von Selective-Repeat:
- Empfangspuffer
- Bei Timeout wird nur das verlorengegangene Paket erneut gesendet

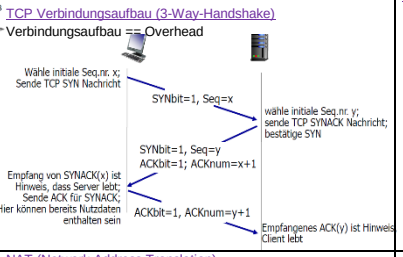
Auslösen von Retransmissions durch:
- Timeouts
- Duplikat ACKs (3) => **Fast Retransmit**: 3x Duplicate ACK: Indiz für Paketverlust Sender erhält **mehr als 3x** gleiches ACK => Retransmission des ältesten unbestätigten Segment (Seq mit der ACK Nummer)

TCP

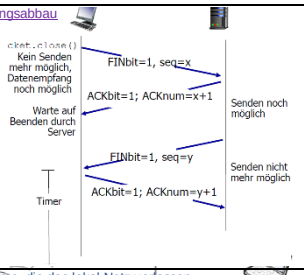


TCP Verbindungsaufbau (3-Way-Handshake)

Verbindungsaufbau == Overhead



TCP Verbindungsabbau



Flow Control (Empfänger zu langsam)

Freier Puffer **rwnd** =
RcvBuffer – (LastByteRcvd – LastByteRead)
Empfänger teilt Sender rwnd über TCP Header mit. Menge unbestätigter Daten muss kleiner rwnd sein.

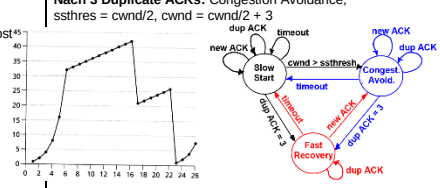
Congestion Control (Netzwerk zu langsam)

2 Ansätze:
Netzwerk-unterstützt: Router geben Rückmeldung an Host bei Überlastung.
Ende-zu-Ende: Auslastung des Netzwerks wird durch Beobachten der Verzögerungen und Auftreten von Paketverlusten abgeschätzt. (TCP!!)
Additive Increase: Nach jeder RTT wird cwnd um 1 MSS erhöht bis Paketverlust erkannt
Multiplicative Decrease: Halbiere **cwnd** nach erkanntem Paketverlust. (Netz überlastet)

Window Size <= min{cwnd,rwnd}

TCP Reno

Slow Start: Verdopple *cwnd* nach jeder RTT bis zu ssthresh
Congestion Avoidance: Dann – vergrößere *cwnd* um 1 nach jeder RTT
Nach Timeout: TCP Slow Start | ssthres = cwnd/2 | cwnd = 1
Nach 3 Duplicate ACKs: Congestion Avoidance, ssthres = cwnd/2, cwnd = cwnd/2 + 3



NAT (Network Address Translation)

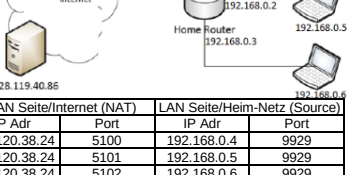
Lokales Netzwerk benutzt nur 1 öffentliche IP Adr. um mit Rest des Internets zu kommunizieren. => IP Adr sparen, IP in lok. Netz ändern, ohne Rest d. Welt zu informieren, ISP wechseln ohne lok. Adr ändern, Geräte aus lok. nicht direkt adressierbar

- 16 Bit Portnummer-Feld => >60000 gleichzeitige Verbindungen mit 1 öffentlichen IP.
- Umstritten, da Schicht 4(Portnummer) nicht vom Router berücksichtigt werden sollte.

Port forwarding:
Verbindungsanfragen an bestimmten Port werden fest zu bestimmten Server weitergeleitet.
Beispiel: (123.76.29.7, Port 2500) wird immer zu (10.0.0.1, Port 25000) weitergeleitet.

Manuelle Konfiguration notwendig! **NAT Tabelle:**

Alle Datagramme, die das lokal Netz verlassen, haben gleiche Src IP, aber verschi. Src Ports



WAN Seite/Internet (NAT)		LAN Seite/Heim-Netz (Source)	
IP Adr	Port	IP Adr	Port
239.120.38.24	5100	192.168.0.4	9929
239.120.38.24	5101	192.168.0.5	9929
239.120.38.24	5102	192.168.0.6	9929
239.120.38.24	5103	192.168.0.4	9930
...	...	...	...

DNS (Domain Name System) (Layer 5 Protokoll)

Übersetzung Hostname -> IP Adresse
Host Aliasing: Host kann mehrere Namen haben
- Canonical Name: relay1.west-coast.enterprise.com
- Alias Name: www.enterprise.com

Mail Server Aliasing: Finde Mailserver für eine Domain
Load Balancing:
- Replizierte Web Server: Viele IP Adressen habe gleichen Namen
- Antwort des DNS Servers bestimmt, welche physikalische Server/IP verwendet wird.

Eigenen Name Server Betreiben

Registriere nwt.de: Informiere Registrar über IP Adr. des eigenen Nameservers (z.B. dns1.nwt.de) -> Registrar fügt seinem (TLD) Nameserver 2 Records hinzu: (nwt.de, dns1.nwt.de, NS) und (dns1.nwt.de, 212.212.212.1, A)
Auf eigenem Nameserver: Type A Record für www.nwt.de anlegen
und MC Record für network.tec anlegen

Klassifizierung der Name Server

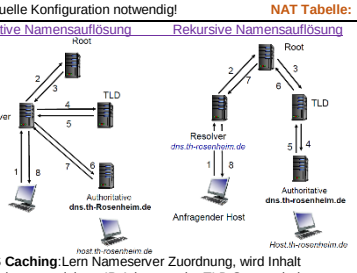
Root: Kennt IPs aller TLD-Nameserver. **.de, .org, .net...**
Top-Level Domain (TLD): Kennt Nameserver, die zuständig für Domains sind.
z.B. .de TLD Server kennt Nameserver für Domain **th-rosen**.de
Authorative: DNS Server einer Domain.
- Kennt IP Adressen von Hosts. Seine Auskunft ist verbindlich
- Beispiel: **eagle.**th-rosen.de

Resolver: Stellt DNS Anfragen an Root/TLD/Authorative
- Stellt Anfragen im Namen von Hosts (Proxy)
- Speichert selber keine verbindliche Information, nur Caching!
- Häufig vom ISP bereitgestellt.

DNS Einträge MX: Name: z.b.foo.com, Value: name d. mailse

Einträge: Resource Records (name, value, type, ttl)
type=A: Name:Hostname, Value:IPv4 address
type=CNAME: Name:Alias-Name, Val: Canonical Name
type=NS: Name(z.B. foo.com), Value: Name des authorative NS

Iterative Namensauflösung Rekursive Namensauflösung



DNS Caching:Lern Nameserver Zuordnung, wird Inhalt zwischengespeichert. IP Adressen der TLD Server sind so gut wie immer im Cache des Resolvers

ping – messen der RTT
tracert (W), traceroute (L) – Weg eines Pakets durch Internet verfolgen
route print (W), route (L) – Routing Tabelle anzeigen
ipconfig /all (W), ifconfig (L) – MAC Adresse rausfinden
Systemsteuerung Gerätemanager – MAC Adresse ändern

Adresszuweisung
- Linux: ifconfig eth0 200.23.16.4 netmask 255.255.255.0 **oder** ip addr add 200.23.16.4/24 dev eth0 **oder** persistent: /etc/network/interfaces
- Windows: Systemsteuerung -> Netzwerk- und Freigabecenter -> Adaptereinstellungen

ipconfig /release (W), dhclient (L) - IP Adr von DHCP Server anfordern
arp -a (W), arp (L) – ARP-Tabellen anzeigen
arp -d <IP-Adresse> (L) – Eintrag aus ARP-Tabelle löschen
nmap: Portscanner, scannt auf offene Ports im Netzwerk (TCP SYN Scan). Falls ein Port offen ist, wird ein TCP SYN ACK vom Zielhost an Scanner zurückgeschickt. Benutzt ARP Requests zur Erkennung von aktiven Hosts.
netstat -p tcp (W) – TCP Verbindungen anzeigen
nslookup, oder ipconfig /all (W) – IP Adr des lokalen DNS Servers herausfinden
nslookup www.bla.de – DNS Anfrage stellen
DNS Resolver spielen: nslookup eingeben (interaktiver modus) – www.bla.de eingeben – antwort als server setzen („server ,antwort") – usw usw.
nslookup type setzen – interaktiver modus, set type=mx oder set q=AAAA (ipv6)

Abkürzungen

Einführung

DSL: Digital Subscriber Line
ISP: Internet Service Provider
TCP: Transmission Control Protocol (Netzwerkprotokoll, das definiert auf welche Art und Weise Daten zwischen Netzwerkkomponenten ausgetauscht werden sollen)
UDP:
IP: Internet Protocol (Protokoll das die Grundlage des Internets darstellt)
HTTP: Hypertext Transfer Protocol (Protokoll zur Übertragung von Daten in der Anwendungsschicht)
RFC: Request for Comments (legt Internet Standards fest)
VoIP: Voice over IP
DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer (übersetzt hochfrequente Töne in digitale Signale, bevor Daten zum Modem im Heimnetz kommen)
CMTS: Cable Modem Termination System (Wie DSLAM aber für Kabelmodem)
DHCP Server: Dynamic Host Configuration Protocol Server (Verteilt automatisch Adressen an Hosts in einem Netzwerk)
DNS Server: Domain Name System Server (Weist im Internet einer URL die richtigen IP-Adresse zu)
SAP: Service Access Point (Im Schichtenmodell stellt jede niedrigere Schicht der jeweils höheren Schicht einen SAP zur Verfügung. Somit kann die Höhere Schicht die Services der niedrigeren benutzen)
ISO: International Organization for Standardization
OSI: Open Systems Interconnection

Network Layer

CIDR: Classless Interdomain Routing (Subnetzteil einer Adresse kann beliebige Länge haben)

Windows/Linux Befehle

Messen der Round Trip Time:
- Windows: ping, mehrere Pings: ping -a 10000

Wege eines Pakets durch das Internet verfolgen:
- Windows: tracert
- Linux: traceroute

Routing Tabelle anzeigen:
- Linux: route
- Windows: route print

Route in Routingtabelle hinzufügen:
- Linux: ip route add 100.0.2.0/24 via 100.0.1.2

Forwarding aktivieren:
- Linux: sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1

TCP Server starten:
- Linux: netcat -l -p 9000

Mit TCP Server verbinden:
- Linux: netcat <dstIP> 9000

MAC-Adresse rausfinden:
- Windows: ipconfig /all -> physische Adresse
- Linux: ifconfig -> ether, oder ip addr

MAC-Adresse ändern:
- Windows: Systemsteuerung -> Gerätemanager

Adresszuweisung
- Linux: ifconfig eth0 200.23.16.4 netmask 255.255.255.0 **oder** ip addr add 200.23.16.4/24 dev eth0 **oder** persistent: /etc/network/interfaces
- Windows: Systemsteuerung -> Netzwerk- und Freigabecenter -> Adaptereinstellungen

IP Adresse von DHCP Server anfordern
- Linux: dhclient
- Windows (ipconfig /release)

ARP-Tabellen anzeigen
- Linux: arp
- Windows: arp -a

Eintrag aus ARP-Tabelle löschen
- Linux: arp -d <IP-Adresse>

nmap – Portscanner, scannt auf offene Ports im Netzwerk (TCP SYN Scan). Falls ein Port offen ist, wird ein TCP SYN ACK vom Zielhost an Scanner zurückgeschickt. Benutzt ARP Requests zur Erkennung von aktiven Hosts

TCP Verbindungen anzeigen:
- Windows: netstat -p tcp

IP Adresse des lokalen DNS Servers herausfinden:
- nslookup, oder ipconfig /all

DNS Anfrage stellen:
- Windows: nslookup www.sueddeutsche.de

DNS Resolver spielen:
- nslookup eingeben (interaktiver modus)
- www.fh-rosenheim.de eingeben
- antwort als server setzen („server ‚antwort'")
- wieder www.fh-rosenheim.de eingeben
- usw usw.

nslookup type setzen
- interaktiven modus starten
- set type =mx z.B.
- set q=AAAA (für ipv6)

WIRESHARK

Filter für MAC destination:
- z.B. Broadcasts finden: **eth.dest == ff:ff:ff:ff:ff:ff**

TODO

Evtl. Übung 7 1.
Was ist ein IXP