Kommunikationstechnik - S4

Raphael Nambiar

Version: 13. Juni 2023

OSI-Modell

Dienst

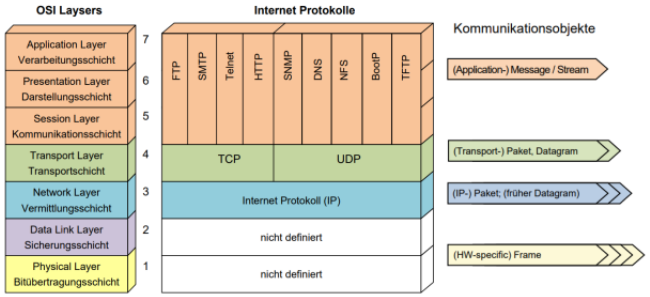
Klassifizierung von Diensten:

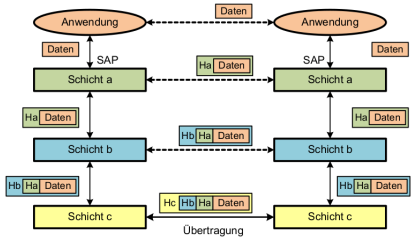
Verbindungsorientiert	verbindungslos
Verbindungs-Aufbau nötig Ziel muss bereit sein	Jederzeit Nachrichten schicken Ziel muss nicht «bereit» sein

Zuverlässig	Unzuverlässig
Kein Datenverlust Sicherung durch Fehler-Erkennung -/ Korrektur	Möglicher Datenverlust Keine Sicherung
Text-Nachrichten, Backup Dateidienste	Streaming Voip

Schicht

Eine Schicht hat die Aufgabe der darüberliegenden Schicht bestimmte Dienste zur Verfügung zu stellen. Die Schichten benötigen kein Wissen über die Realisierung der darunterliegenden Schicht.





Protokoll

Ein Protokoll ist eine Sammlung von Nachrichten, Nachrichtenformaten und Regeln zu deren Austausch.

Übertrangungsmedien

Ausbreitungsgeschwindigkeit

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:

$$c_0 = 299'792'458 m/s$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit in Medien:

$$c_{Medium} = 200'000 km/s = \frac{2}{3} c_0$$

Beispiel:

Licht im Glas, Brechnungsindex $n = 1.5$

$$c_{Glas} = \frac{c_0}{n} = 200'000 km/s$$

Signaldämpfung

Signaldämpfung bezeichnet die Leistungsabnahme eines Signals.

- Je grösser die Bandbreite (Hz), desto höhere Datenraten (bit/s) übertragen
- Je kleiner die Dämpfung ist, desto grössere Distanzen können erreicht werden
- Senkt man die Bitrate (bei gleicher Dämpfung), können grössere Distanzen erreicht werden

$$dB = 10 \cdot log(\frac{P_1}{P_2})$$

$$dB = 10 \cdot log(\frac{U_1}{U_2})^2$$

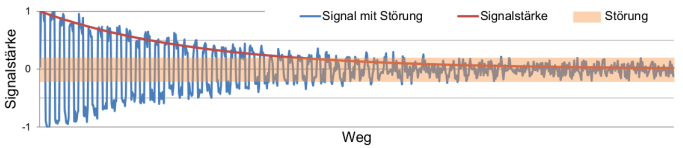
Signal-Rausch-Verhältnis (SNR)

Das SNR ist ein Mass für die Qualität eines Signals. Es gibt an, wie stark das Signal im Vergleich zum Rauschen ist.

$$SNR = 10 \cdot log(\frac{P_{Signal}}{P_{Noise}})$$

In dB angegeben.
P_{Signal} die Sendeleistung (Watt), P_{Noise} die Empfangsleistung (Watt)

Signale und Störungen



Mögliche Ursachen der Störungen:

- Übersprechen zwischen den Leitungen
- Rauschen des Empfängers
- Einstreuungen durch andere Geräte / Anlagen (Motoren etc.)

Kabeltypen

- Koaxialkabel → Geeignet für hochfrequente Signale
- Twinaxial-Kabel → Hoher Schutz
- Twisted Pair (TP) → Häufig im Einsatz (Shielded / Unshielded)
- Glasfaser → Hohe Bandbreite, Geringe Dämpfung, Resistent

Schirmeigenschaften

- Drahtgeflecht →niederfrequente Einstreuungen
- Metallisch beschichtete Folien → hochfrequente Störungen

xx/*y*TP worin TP für Twisted Pair steht:

xx steht für die Gesamtschirmung:
U = ungeschirmt
F = Folienschirm
S = Geflechtschirm
SF = Schirm aus Geflecht und Folie

y steht für die Aderpaarschirmung:
U = ungeschirmt
F = Folienschirm
S = Geflechtschirm

TP Kabel und Störungen

- TP Kabel sind anfälliger auf Störungen als Koaxialkabel oder Glasfasern
- Störungen werden kapazitiv oder induktiv eingekoppelt z.B. von parallel geführten Leitungen oder Motoren etc.
- Bei Störungen von benachbarten Leitungen spricht man von Übersprechen oder Nebensprechen (crosstalk)

Fausregel:

- Kappazitive Störung → Abschirmung
- Induktive Störung → twisted

Lichtwellenleiter

- Zentrum aus Kernglas mit hoher optischer Dichte (Brechungsindex 1.5)
- Vom Mantelglas umschlossen, geringere optische Dichte (Brechungsindex 1.48)
- Lichtstrahlen breiten sich im Kernglas aus und werden am Mantelglas totalreflektiert
- Die Eigenwellen (Ausbreitungswege der Lichtstrahlen) werden als Moden bezeichnet.

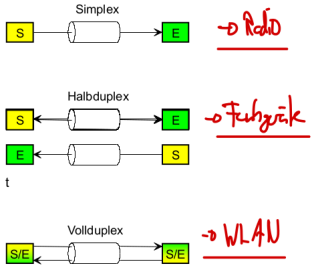
Physical Layer

Arten der Kommunikation (Verkehrsbeziehung)

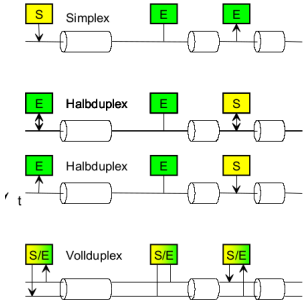
- Simplex → Ein Kanal, in eine Richtung
- Halbduplex → Ein Kanal, abwechslungsweise in zwei Richtungen
- Vollduplex → Ein Kanal pro Richtung

Arten der Verbindungen (Kopplung)

Punkt - Punkt Direkte Verbindung zweier Kommunikationspartner



Shared Medium Mehrere Partner verwenden das gleiche Medium

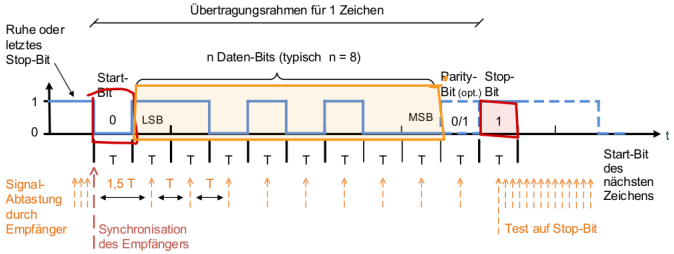


Leitungscodes

Leitungscodes sollen:

- die physikalisch vorhandene Bandbreite effizient nutzen
- Taktrückgewinnung erlauben, um eine separate Taktleitung einzusparen
  - 3-wertiger AMI-Code (Alternate Mark Inversion)
  - PAM3 Kanalcodierung
  - Manchester (10Base2), HDB3, dreiwertiger NRZI (100Base-T)
- möglichst gleichspannungsfrei sein, um Sender und Empfänger mit Übertragern (Signaltransformatoren, Magnetics) galvanisch trennen zu können. (AMI, HDB3, dreiwertiger NRZI (100Base-T))

Serielle asynchrone Übertragung

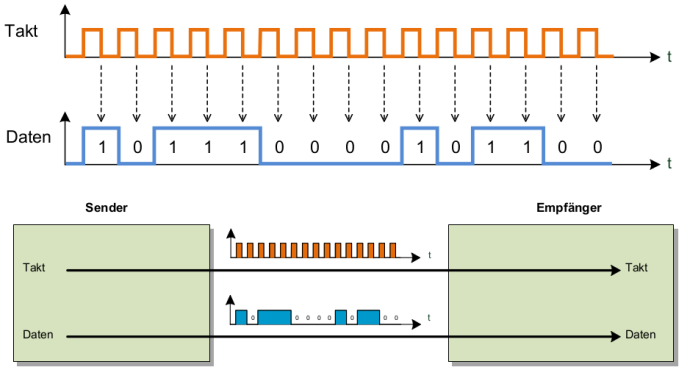


LSB = Least Significant Bit, MSB = Most Significant Bit

Wichtig:

Übertragener Wert ablesen:
LSB zuerst, MSB zuletzt
1101‘0100 → LSB zuerst → 0100‘1101

Serielle synchrone Übertragung



Datenübertragungsrate

- Baudrate → Symbole pro Sekunde
- Zeichenrate → Zeichen pro Sekunde

Maximale Zeichenrate (asynchronen Schnittstelle)

T [s] = Bit-Dauer

Maximale Zeichenrate

$$= \frac{1}{T*(BitsProZeichen+StoppBits)}$$

Frequenz

Die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde.
Masseinheit Hertz (Hz)

Bit-Dauer

T [s] = Bit-Dauer, B = Baud

$$T = \frac{1}{B}$$

maximale Symbolrate (Nyquist))

Die maximale Symbolrate f_s (Baud) ist gleich der doppelten Bandbreite B (Hz) des Übertragungskanals.

Einheit: Baud (Bd)

$$f_s = 2 \cdot B$$

Maximal erreichbare Bitrate (Hartley)

R [bit/s] = Bitrate
Für M Signalzustände und Bandbreite B [Hz]

$$R \leqslant 2B \cdot log_2 M$$

$$log_2(x) = \frac{log_{10}(x)}{log_{10}(2)}$$

Bandbreite

Die Bandbreite hängt von der Übertragungsstrecke und der Stärke des Signals im Vergleich zu den vorhandenen Störungen, ab.

- Eigenschaft des Übertragungskanals und durch das Medium begrenzt
- Masseinheit Hertz (Hz)

Kanalkapazität

Berücksichtigt für einen realen Kanal das Signal-zu-Rausch Leistungverhältnis S/N (Shannon)
Einheit Bit/s (bps)

$$C_s = B \cdot log_2(1 + \frac{S}{N})$$

$$log_2(x) = \frac{log_{10}(x)}{log_{10}(2)}$$

maximale Distanz

- L die Dämpfung in dB → SNR

$$\text{Distanz} = \frac{L}{\text{Dämpfung pro km}}$$

in km

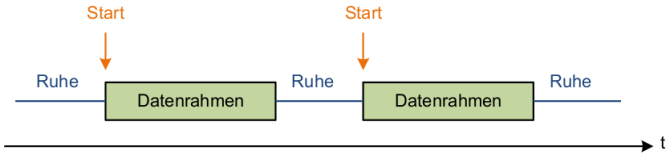
Data Link Layer (Sicherungsschicht)

Layer 2 Aufgaben:

- Frame Delineation → Präambel und SFD
- Fehlererkennung → CRC
- Fehlerkorrektur → bei Ethernet keine auf dem MAC Layer
- Adressierung → global gültige MAC-Adressen
- Media Access Control → CSMA/CD
- Master/Slave: Master fragt Slaves ab (Master ist Single Point of Failure)
- Token Passing: Berechtigung wird weitergereicht (Token Management ist aufwendig)
- Zeitgesteuerte Zuteilung des Mediums (aufwendige Planung nötig)

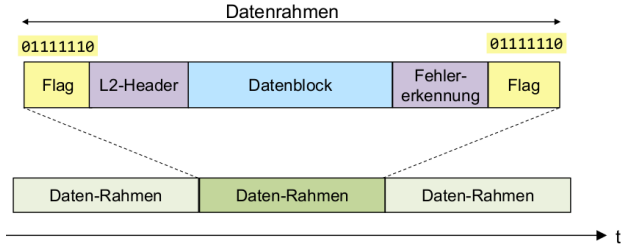
Framing (Asynchron)

- Keine Daten → Nichts wird gesendet
- Zu Beginn eines Frames wird ein Start-Bit gesendet



Framing (Synchron)

- Frames werden ohne Unterbruch gesendet
- Stehen keine Daten an, werden Flags gesendet
- Frames werden durch ein Start- und ein End-Flag begrenzt



Bitstopfen

Wird verwendet, um ein Bitmuster zu garantieren.

- Sender fügt im Datenstrom nach 5 Einsen immer eine 0 ein.
- Empfänger wirft nach 5 Einsen immer ein Bit weg.

Fehlererkennung / Fehlerkorrektur

- FER (Frame Error Ratio)
- RER (Residual Error Ratio)
- BER (Bit Error Ratio) Anzahl fehlerhafte Bits im Verhältnis zu Gesamtzahl der Bits

Wahl der Framelänge

- Lange Frames → Höhere Nutzdatenrate, Fehleranfällig
- Kurze Frames → Tiefere Nutzdatenrate, Zuverlässig

Datenraten

$F_R = FrameRate, B = BitRate, F_L = FrameLength$
$N = NutzBits, P = Payload$

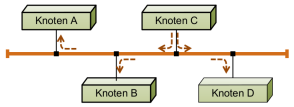
$$F_R = \frac{B}{8 \cdot (F_L + IFG)}$$

$$N = F_R \cdot P \cdot 8$$

Ethernet 1 (LAN, Grundlagen)

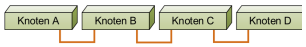
Topologien

Bus



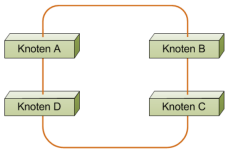
- Alle Stationen: sind passiv angeschlossen, horchen Leitung permanent ab, werden aktiv, wenn sie etwas senden wollen
- Taktrückgewinnung erlauben, um eine separate Taktleitung einzusparen
- Empfänger erkennt anhand einer Adresse, ob die Daten für ihn relevant sind

Linie



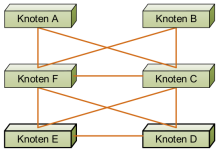
- Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen benachbarten Knoten
- Alle Stationen müssen: Daten empfangen, Daten regenerieren, falls nötig weiterleiten
- Der Ausfall einer Station führt zur Segmentierung des LAN in zwei Teile

Ring



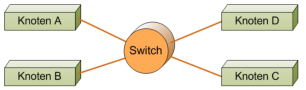
- Benötigt Verfahren zur Verhinderung von ëndlosem Kreisverkehr"
- Gewisse Redundanz: beim Ausfall einer Station kann immer noch jede Station erreicht werden

Vermascht



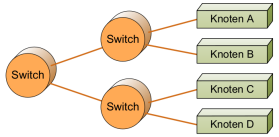
- Weitere Erhöhung der Redundanz:
- Ausfall einer oder eventuell auch mehrerer Stationen oder Verbindungen kann toleriert werden
- Zusätzliche Kosten und Aufwand, um mehrfache Lieferung von Daten zuverhindern

Stern



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

Baum



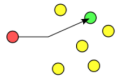
- Hierarchische Erweiterung der Sterntopologie
- Intelligenten Switches ermöglichen einen Grossteil der Kommunikation „lokal"
- Dadurch Verringerung der Last für die einzelnen Switches

Layer 3 Aufgaben:

- Netzweite Adressierung
- Nachführen der Routing Informationen
- Ermitteln des optimalen Weges
- Weiterleiten der Daten über den festgelegten Weg

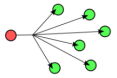
Übertragungsarten

Unicast



- Genau ein, klar spezifizierter Empfänger
- Frame trägt die Adresse dieses Empfängers
- Analogie: Briefpost

Broadcast



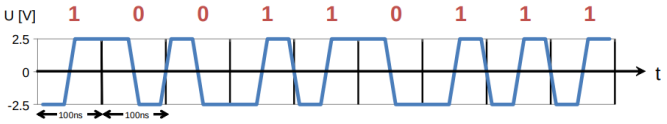
- An alle Knoten im LAN gerichtet
- Frame trägt die Broadcast-Adresse des LAN
- Analogie: Radio-Sendestation

Multicast

- Gruppe von Empfängern
- Frame trägt die Multicast-Adresse der Gruppe
- Analogie: Mailing-Liste

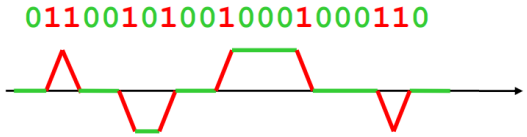
10 Mbit/s (10BASE-T) Manchester Codierung

- Erlaubt die Taktrückgewinnung auf einfache Weise: weil Bei jedem Bit gibt es einen Signalwechsel
- Bandbreite von 10 MHz benötigt (also das doppelte des theoretischen Minimums)
- 1 positive Flanke, 0 negative Flanke



100 Mbit/s (100BASE-TX) NRZI-Codierung

- NRZI-Codierung (Non Return to Zero Inverted),kombiniert mit MLT-3 (MLT-3 = Multi-Level Transmit) 125 MBaud → 1 Symbol entspricht 8 ns
- 4B/5B Code Leitungscodierung
- 4 Bits des MII (Zeichen) werden mit einem 5 Bit-Zeichen (Code Group) auf der Leitung codiert

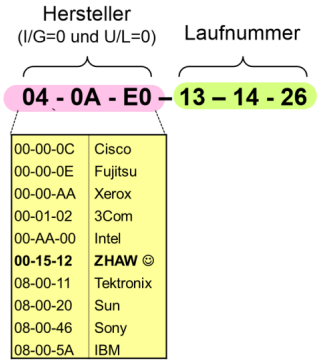


MAC Adressen

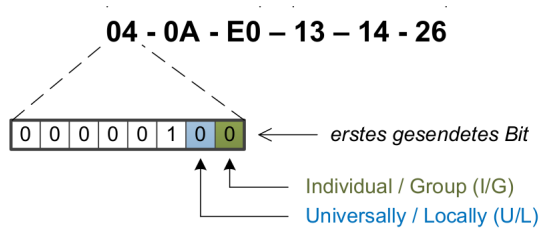
Adressierung in LANs, bestehen aus 6 Bytes

Registrierung bei IEEE

- 3-Byte "OUI" identifiziert Hersteller
- 3-Byte Laufnummer durch Hersteller verwaltet



Zwei Bits klassifizieren die MAC Adresse:



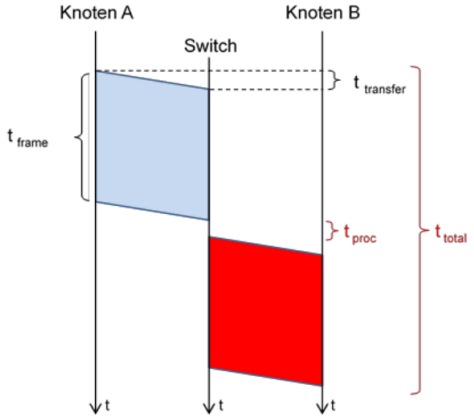
Individual/Group Bit (I/G):
0 = individual address (Normalfall),
1 = group address z.B. Broadcast FF-FF-FF-FF-FF-FF

Universally/Locally Bit (U/L):
0 = universally administrated address (Normalfall)
1 = locally administrated address

Ethernet Types:

- 0x0800 → IPv4
- 0x0806 → ARP
- 0x8100 → VLA-tagged
- 0x86DD → IPv6

Switch Performance



$$t_{frame} = \frac{Framesize}{Bitrate}$$

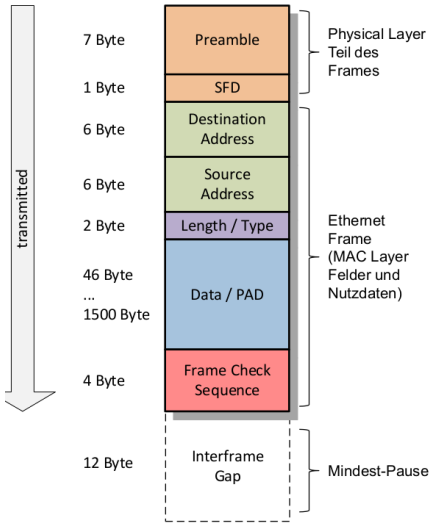
$$t_{delay} = \frac{Framesize \cdot 8}{Bitrate}$$

$$t_{transfer} = \frac{Leitungslänge}{Ausb.\ geschwindigkeit}$$

Falls nur Nutzdaten angegeben:

$$t_{frame} = \frac{[Data + 8\ (Prä/SFD) + 12\ (MACs) + 2\ (Type) + 4\ (FCS)] \cdot 8}{Bitrate}$$

Ethernet - Frame Format



- 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

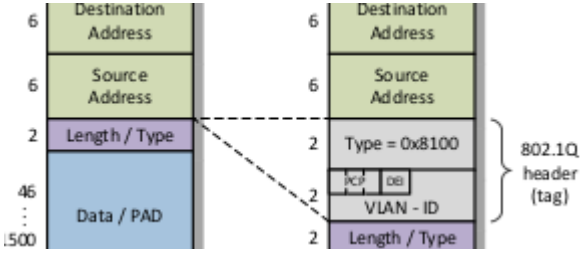
Ethernet 2 (Ethernet Systeme)

Virtuelle LANs

Trunk-Links Trunk Links sind Teil von mehreren VLANs. Auf den Trunk Links müssen Frames der verschiedenen VLANs eindeutig gekennzeichnet werden!

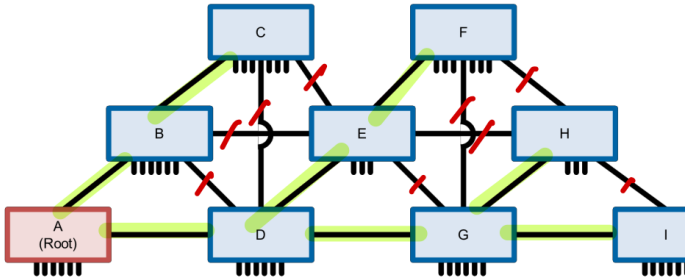
VLAN-Tag Erweiterung des Ethernet Headers durch einen VLAN-Tag. Die maximalen Nutzdatenlänge bleibt erhalten, der Ethernet Frame wird 4 Bytes länger

- Type 0x8100 → getaggtes Frame
- Priority Code Point ermöglicht die Priorisierung gewisser Applikationen
- Discard Eligibility Indicator 0 → Frame wird bei Überlastsituationen zuerst verworfen
- VLAN Tagging erfolgt oft beim Eintritt / Austritt ins Netz
- Für Endgeräte unsichtbar



Spanning Tree

Ziel: Alle Segmente in einer loop-freien Topologie verbinden. Beim Spanning-Tree werden von redundanten Pfaden alle ausser einer gesperrt. Im Fehlerfall wird falls möglich ein ausgefallener Port ersetzt. Der Algorithmus bestimmt eine Root-Bridge, von welcher aus dem Baum aufgespannt wird.



Autonegotiation

Ziel: Ermittlung der besten Betriebsart durch Austausch der Leistungsmerkmale zweier Netzwerkkomponenten.

Bridges

Bridges verfügen über einen Mechanismus zum Erlernen von Adressen. Eine Bridge hört den Verkehr von allen Ports ab und merkt sich die Sender-Adressen aus den empfangenen Frames in der sogenannten «Filtering Database».

Filtering Database beinhaltet für jede bekannte Mac-Adresse das Bridge-Port, über welches der zugehörige Knoten erreichbar ist. Unbenutzte Einträge in der Filtering Database werden nach einer gewissen Zeit automatisch gelöscht

Router

Router sind Komponenten, die es erlauben Subnetze miteinander zu verbinden. Router haben eine ähnliche Funktion wie Bridges, allerdings arbeiten sie auf dem Network Layer.

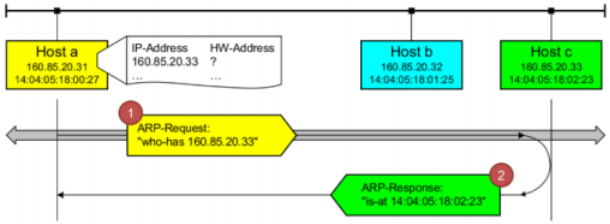
- Router empfangen nur Pakete, die direkt an sie adressiert sind.
- Die Weiterleitung erfolgt anhand der Network Layer Adresse.
- DBenutzen immer den optimalen Pfad.
- Für Endgeräte unsichtbar

Routing-Tabelle

- Sortiert nach der Länge der Netzmaske
- Von oben nach unten durchsucht
- Verglichen werden die Netzadressen

ARP (Address Resolution Protocol)

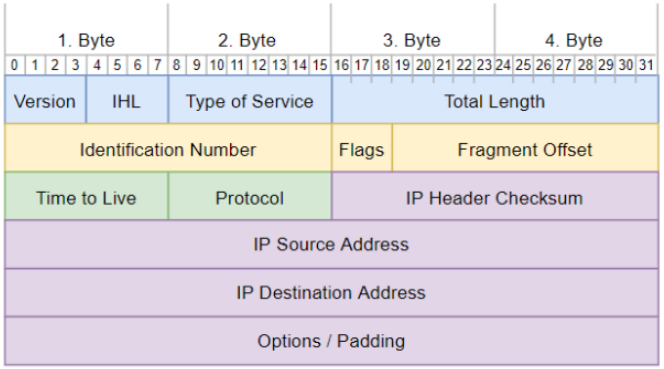
Ziel: Ermittlung der MAC-Adresse zu einer IP-Adresse.



ARP (Internet Protokoll Format (IP-Header))

Ein IP-Packet besteht aus einem Header (min. 20 Byte) und Nutzdaten.

Version	IPv4 / IPv6
IHL	Header Length in 4-Byte (20 Byte → IHL = 5)
Type of Service	Erlaubt Priorisierung
Total Length	Länge des IP-Packets (Header + Nutzdaten)
ID Number	Identifikation des IP-Pakets / Fragmente
Flags	Kontroll-Flags für Fragmentierung
Fragment Offset	Gibt an, wo ein Fragment hingehört
Time to Live	Hop-Counter, 0 → Paket wird verworfen
Protocol	Übergeordnetes Protokoll



Das unterliegende Netz limitiert die Grösse eines Pakets (Maximum Transfer Unit). Der Sender kennt die MTU der Netze nicht.

Fragmentierung

Um über Netze mit verschiedenen Maximum Transfer Units (MTU) arbeiten zu können, unterstützt IP Fragmentierung und Reassembly.

- Länge der Nutzdaten = Vielfaches von 8 Bytes
- Die Pakete haben die gleiche und grösstmögliche Länge

Jedes IP Fragment beinhaltet alle notwendigen Daten um den Endknoten zu erreichen (IP Header) und ein Vielfaches von 8 Bytes an Transportlayer-Daten (Ausnahme: letztes Fragment)

Reassembly

- 1. Zusammensetzen beim Zielhost
- 2. Letztes Fragment: MF = 0

Feld	Position	Werte	Funktion
	0	0	Reserved, must be Zero
DF	1	0 / 1	May / Don't Fragment
MF	2	0 / 1	Last / More Fragments

Internet-Adressierung (IPv4)

- Netzadresse → Tiefste Adresse im Subnetz
- Broadcast → Höchste Adresse im Subnetz

Beispiel im Anhang.

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	

Private Adressbereiche (werden im Internet nicht weitergeleitet):

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

Transport Layer

User Datagram Protocol (UDP)

- unzuverlässiges, verbindungsloses Protokoll
- UDP-Sitzungen werden durch eine 2-Tupel-Adresse (Ziel-IP, Zielport) identifiziert.
- keine Mechanismen zur Fehlererkennung oder Fehlerkorrektur, Zuverlässigkeit und Flusskontrolle
- UDP-Pakete → beliebiger Reihenfolge ankommen oder verloren gehen, ohne Empfänger benachrichtigt
- für Anwendungen: geringe Latenz → Echtzeitkommunikation oder Streaming.
- Multicasting und Broadcasting,

Transmission Control Protocol (TCP)

- zuverlässiges, verbindungsorientiertes Protokoll
- implementiert Fehlererkennung, Flusskontrolle und Sequenzierung.
- TCP-Sitzungen werden durch eine 4-Tupel-Adresse (Quell-IP, Quellport, Ziel-IP, Zielport) identifiziert.
- 3-Way-Handshake, um eine Verbindung aufzubauen: SYN, SYN-ACK, ACK.
- Sequenznummern, um Reihenfolge empfangener Pakete zu überprüfen und fehlende oder beschädigte Pakete zu erkennen.
- Bestätigungen (ACKs), um Empfang von Datenpaketen zu bestätigen und Sender informieren, welche Daten erfolgreich übertragen.
- Flusskontrolle, um sicherzustellen, dass der Sender Daten nicht schneller sendet, als der Empfänger verarbeiten kann.
- Überlastkontrolle, um die Netzwerküberlastung zu vermeiden
- Segmentierung von Daten in kleinere Einheiten (Segmenten) für Übertragung → stellt sicher, dn Reihenfolge zusammengefügt.
- TCP bietet Mechanismen zur Zuverlässigkeit, Flusskontrolle und Fehlerbehebung, ist jedoch im Vergleich zu UDP (User Datagram Protocol) langsamer und erzeugt einen höheren Overhead.

Ports

- System Ports (Well-Known)
- User Ports (Registered)
- Dynamic / Private Ports

System Ports	User Ports	Dynamic Ports
0 - 1023	1024 - 49'151	49'152 - 65'535

Verbindungsauf und -abbau und Datenaustausch

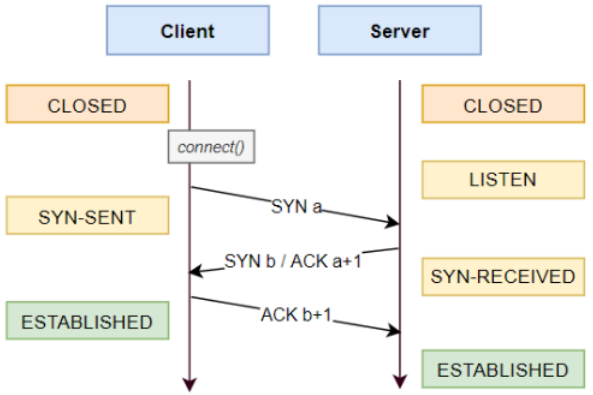
Abkürzungen:

LISTEN	Auf Anforderung warten
SYN-SENT	Auf Anforderung warten
SYN-RECEIVED	Anforderung erhalten
ESTABLISHED	Verbindung besteht

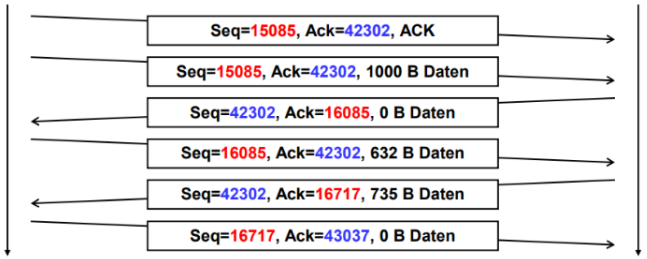
SYN	Verbindungsaufbau
ACK	Paket bestätigen
FIN	Verbindungsabbau

FIN-WAIT-1	Verbindungsaufbau
FIN-WAIT-2	Abbauanforderung bestätigt
CLOSE-WAIT	Auf Lokale Verbindung warten
LAST-ACK	Verbindungsabbau bestätigt
TIME-WAIT	Letzte Bestätigung gesendet

Verbindungsaufbau:



Datenaustausch:



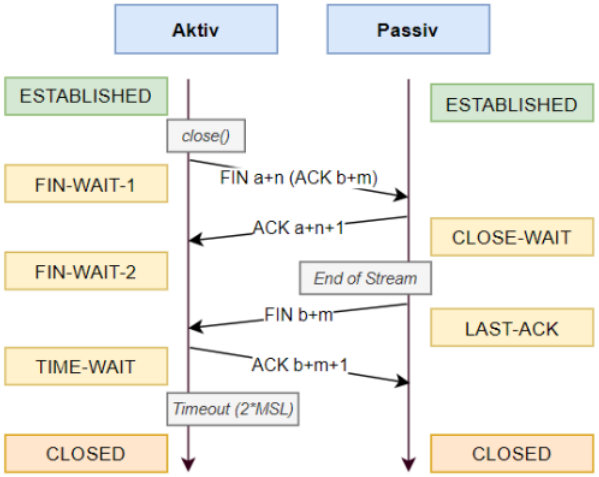
Fall: Abwechselndes Senden

A → B: ACK: Daten$_{i-1}$ + SEQ$_{i-1}$
B → A: SEQ: ACK$_{i-1}$

Fall: Doppeltes Senden

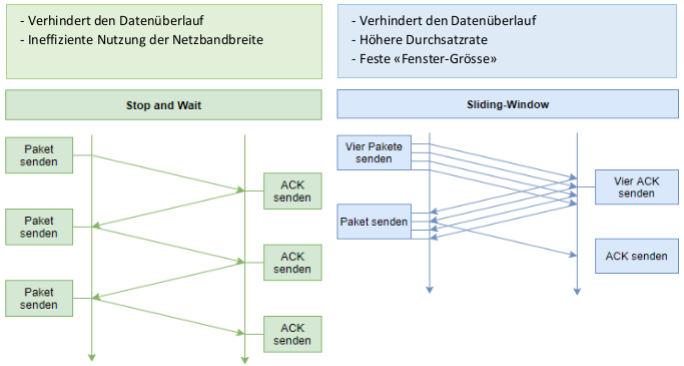
A → B: ACK: ACK$_{i-1}$
A → B: SEQ: Daten$_{i-1}$ + SEQ$_{i-1}$

Verbindungsabbau:

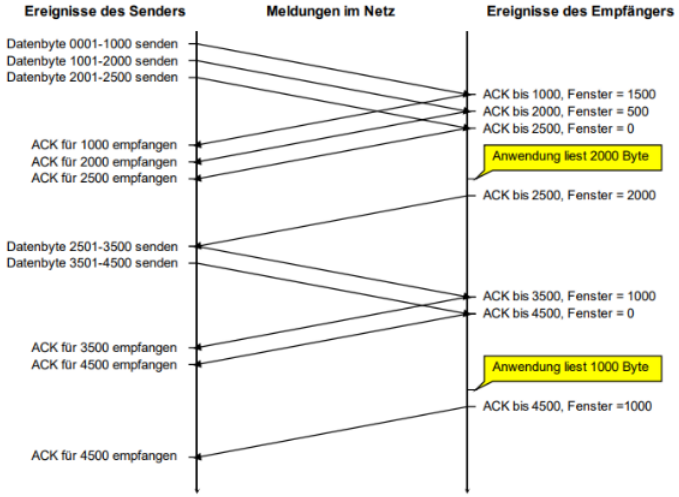


Überlast des Empfängers: Fluss-Steuerung

TCP verwendet den Sliding-Window Mechanismus. Beide Seiten einen Buffer (Window).



Fluss-Steuerung bei TCP



Erkennung von verlohrene Telegramme (Round Trip Time)

Um Fehler Paketverluste und andere Fehler zu verhindern, werden Pakete nach einer bestimmten Zeit erneut übertragen, wenn keine Bestätigung gesendet wurde. Um diese Zeit zu optimieren, misst TCP bei jeder aktiven Verbindung die Round-Trip Time (RTT).

Retransmission Time-Out RTO

Application Layer

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

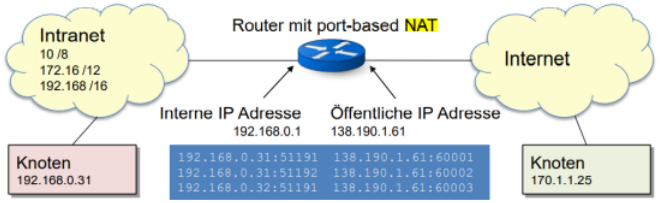
- Paketformat identisch zu BOOTP
- Dynamische Zuweisung von IP-Adressen
- PReserviert nur IP's von aktiven Geräte

Ablauf (DHCP):

- 1. Client sucht DHCP Server mittels Broadcast
- 2. DHCP Server antwortet (DHCP offer)
- 3. Der Client wählt einen Server und fordert eine
- 4. Der Server bestätigt mit einer Message, welche die endgültigen Parameter enthält
- 5. Vor Ablauf der Lease-Time erneuert der Client die Adresse

Network Address Translation (NAT)

NAT verletzt das Konzept der OSI-Layer, da eine Network-Funktion auf den Transport-Header zugreift. IP-Adresse und Portnummer werden dabei verändert.



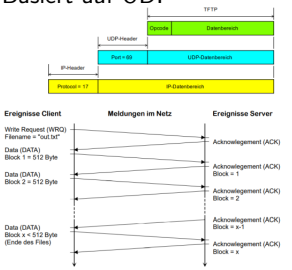
Intranet (privates Netz)					Internet (öffentliches Netz)			
Quell-Adresse	Port	Ziel-Adresse	Port		Quell-Adresse	Port	Ziel-Adresse	Port
192.168.0.31	51991	170.1.1.25	80	→	138.190.1.61	60001	170.1.1.25	80
192.168.0.31	51992	170.1.1.25	443	→	138.190.1.61	60002	170.1.1.25	443
192.168.0.32	51991	170.1.1.25	25	→	138.190.1.61	60003	170.1.1.25	25

BOOTP

- Manuelle Verwaltung
- Heimanwender sind überfordert
- Statische Adresszuordnung

Trivial File Transfer Protocol (TFTP)

Basiert auf UDP



Filtering-Database

Aging-Time: 50 Sekunden

Zeit	Step	S → E	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
			Gelernte Adressen			
0 s	1	AtoB			A	
20 s	2	AtoC			A	
40 s	3	BtoC	B		A	
60 s	4	CtoA	B		A	C
80 s	5	CtoA	B			C
100 s	6	BtoA	B			C
120 s	7	BtoA	B			C
140 s	8	AtoB	B		A	
160 s	9	AtoB	B		A	
180 s	10	AtoB			A	

Addressierung IPv4 Beispiel:

- Interface 000...000 32 – Länge vom Subnetz
- Subnetzmaske 255.255.240.0 1111'1111.1111'1111.1111'0000.0000'0000
- Subnetz 160.85.16.0/20 20 = Länge

					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Subnetzmaske	255	255	240	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Subnetz	160	85	16	0 / 20	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	AND
Netzadresse	160	85	16	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Subnetzmaske (invertiert)	255	255	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Subnetz	160	85	16	0 / 20	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	OR
Broadcast	160	85	31	255	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Umrechnung Dezimal zu Binär

177_{10}

177	1
88	0
44	0
22	0
11	1
5	1
2	0
1	1

} 10110001

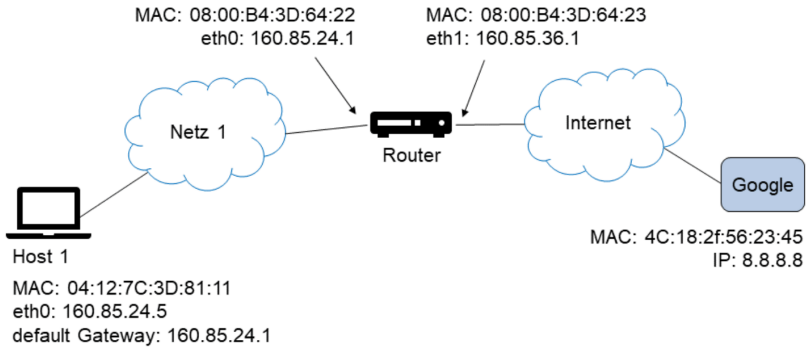
Umrechungstabelle

0	00000000
128	10000000
192	11000000
224	11100000
240	11110000
248	11111000
252	11111100
254	11111110
255	11111111

IP Subnetzmasken

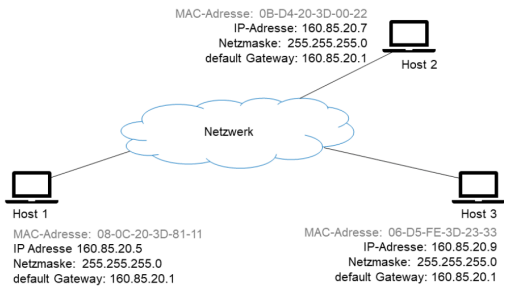
Netzmaske (DEC)	Nezmaske (BIN)	Netz	Anzahl IPs
255.255.0.0	11111111'11111111'00000000'00000000	/16	65'534
255.255.128.0	11111111'11111111'10000000'00000000	/17	32'766
255.255.192.0	11111111'11111111'11000000'00000000	/18	16'382
255.255.224.0	11111111'11111111'11100000'00000000	/19	8'190
255.255.240.0	11111111'11111111'11110000'00000000	/20	4'094
255.255.248.0	11111111'11111111'11111000'00000000	/21	2'046
255.255.252.0	11111111'11111111'11111100'00000000	/22	1'022
255.255.254.0	11111111'11111111'11111110'00000000	/23	510
255.255.255.0	11111111'11111111'11111111'00000000	/24	254
255.255.255.128	11111111'11111111'11111111'10000000	/25	126
255.255.255.192	11111111'11111111'11111111'11000000	/26	62
255.255.255.224	11111111'11111111'11111111'11100000	/27	30
255.255.255.240	11111111'11111111'11111111'11110000	/28	14
255.255.255.248	11111111'11111111'11111111'11111000	/29	6
255.255.255.252	11111111'11111111'11111111'11111100	/30	2

ARP Table Beispiel 1



Request Typ (ARP-Request, ARP-Reply, IP Paket)	MAC Source	MAC Destination	IP source	IP Destination	What
ARP Request	11	FF	-	-	Who has IP 24.1
ARP Reply	22	11	-	-	24.1 has 22
IP Paket	11	22	24.5	8.8.8.8	-

ARP Table Beispiel 2



Message-Type	MAC-source	MAC-destination	IP-source (falls IP Paket)	IP-destination (falls IP Paket	Bedeutung / Inhalt
ARP-Request	81-11	FF-FF	-	-	Who has 20.9
ARP Reply	23-33	81-11	-	-	20.9 is at 23-33
Ping-Request	81-11	23-33	20.5	20.9	Echo (ICMP 8)

Subnet Beispiel 1

Gegeben ist das Netz 172.30.10.0/25. Dieses Netz soll in drei Subnetze aufgeteilt werden: ein größeres Subnetz 1 für 50 IP-Hosts und zwei kleinere Subnetze 2 und 3 für je 25 IP-Hosts.

1. **Subnetz 1 für 50 Hosts:**
   Wir benötigen 6 Bits für die Host-IDs, um mindestens 50 Hosts zu unterstützen ($2\hat{6}$ - 2 = 62). Das führt zu einer Subnetzmaske von /26 (32 - 6 = 26).
   - Netzadresse: 172.30.10.0/26
   - Broadcastadresse: 172.30.10.63/26
   - Anzahl adressierbarer Hosts: 62
2. **Subnetz 2 und 3 für jeweils 25 Hosts:**
   Wir benötigen 5 Bits für die Host-IDs, um mindestens 25 Hosts zu unterstützen ($2\hat{5}$ - 2 = 30). Das führt zu einer Subnetzmaske von /27 (32 - 5 = 27).
   - **Subnetz 2:**
     - Netzadresse: 172.30.10.64/27
     - Broadcastadresse: 172.30.10.95/27
     - Anzahl adressierbarer Hosts: 30
   - **Subnetz 3:**
     - Netzadresse: 172.30.10.96/27
     - Broadcastadresse: 172.30.10.127/27
     - Anzahl adressierbarer Hosts: 30

Subnet Beispiel 2

Sie bekommen von Ihrem Internet Service Provider (ISP) ein privates Klasse-C Netz zugeteilt. In Ihrem Haus befinden sich 4 Parteien, welche sich den Internet-Anschluss teilen. Sie geben jeder Partei ein gleich grosses Subnetz, indem sie das Klasse-C Netz 192.168.1.0/24 in 4 Subnetze aufteilen.
Wir teilen das gegebene Klasse-C Netz 192.168.1.0/24 in vier gleich große Subnetze auf, indem wir zwei zusätzliche Bits für die Subnetz-ID verwenden. Dies führt zu einer neuen Subnetzmaske von /26 und 62 adressierbaren Hosts pro Subnetz ($2^6 - 2 = 62$).

1. **Subnetz 1:**
   - Netzadresse: 192.168.1.0/26
   - Netzmaske: 255.255.255.192
   - Broadcastadresse: 192.168.1.63/26
   - Default Gateway: 192.168.1.1
   - Anzahl adressierbarer Hosts: 62
2. **Subnetz 2:**
   - Netzadresse: 192.168.1.64/26
   - Netzmaske: 255.255.255.192
   - Broadcastadresse: 192.168.1.127/26
   - Default Gateway: 192.168.1.65
   - Anzahl adressierbarer Hosts: 62
3. **Subnetz 3:**
   - Netzadresse: 192.168.1.128/26
   - Netzmaske: 255.255.255.192
   - Broadcastadresse: 192.168.1.191/26
   - Default Gateway: 192.168.1.129
   - Anzahl adressierbarer Hosts: 62
4. **Subnetz 4:**
   - Netzadresse: 192.168.1.192/26
   - Netzmaske: 255.255.255.192
   - Broadcastadresse: 192.168.1.255/26
   - Default Gateway: 192.168.1.193
   - Anzahl adressierbarer Hosts: 62

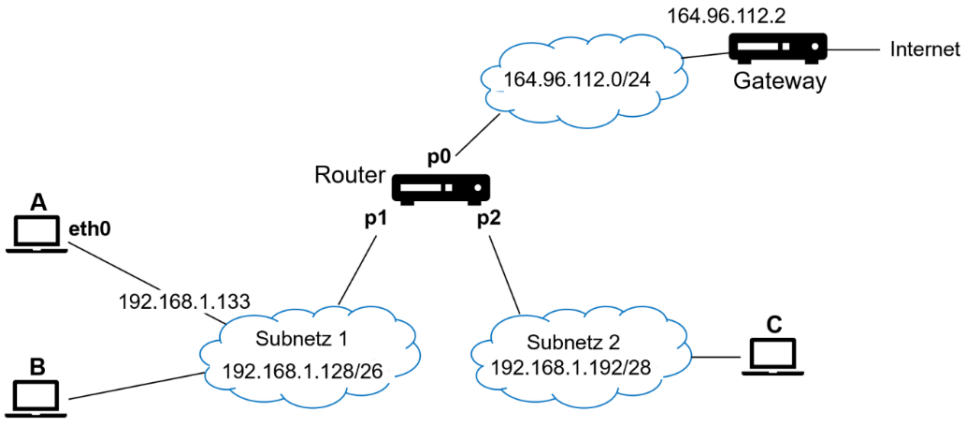
Wireshark Hex-Dump

```
0000:  08 00 2B C3 AC A5 00 00 F8 1A 84 1A 08 00 45 00
0010:  00 2C 1B 31 40 00 80 06 99 5E A0 55 82 2A A0 55
0020:  83 67 04 1A 12 67 00 00 C0 C5 00 00 00 00 60 02
0030:  20 00 5A A3 00 00 02 04 05 B4 00 00 A3 7C 51 FB
```

- Oktett 0-5: Destination MAC-Address
- Oktett 6-11: Source MAC-Address
- Oktett 12/13: Length / Type → hier Type = 0x0800
- Oktett 14-59: Data / padding
- Oktett 60-63: Frame Check Sequence

3. Oktett = $0x2B = 00101011$

Routing Tabellen



Netzadresse	Netz-maske	Port	Gateway
192.168.1.192	/28	p2	direkt
192.168.1.128	/26	p1	direkt
164.96.112.0	/24	p0	direkt
default	/	p0	164.96.112.2

Reihenfolge: Grösste Netzmaske zuerst → top down
Default Route als letztes

Dezimal, Hexadezimal, Binär

Dezimal	Hexadezimal	Binär
0	0 / 0x00	0000
1	1 / 0x01	0001
2	2 / 0x02	0010
3	3 / 0x03	0011
4	4 / 0x04	0100
5	5 / 0x05	0101
6	6 / 0x06	0110
7	7 / 0x07	0111
8	8 / 0x08	1000
9	9 / 0x09	1001
10	A / 0x0A	1010
11	B / 0x0B	1011
12	C / 0x0C	1100
13	D / 0x0D	1101
14	E / 0x0E	1110
15	F / 0x0F	1111

Fragmentierung

Frame#	1	1	1	1
TL	420	420	380	340
MF	1	1	1	0
FO	0	50	100	145

Header := 4 * IHL
Daten = TL - Header