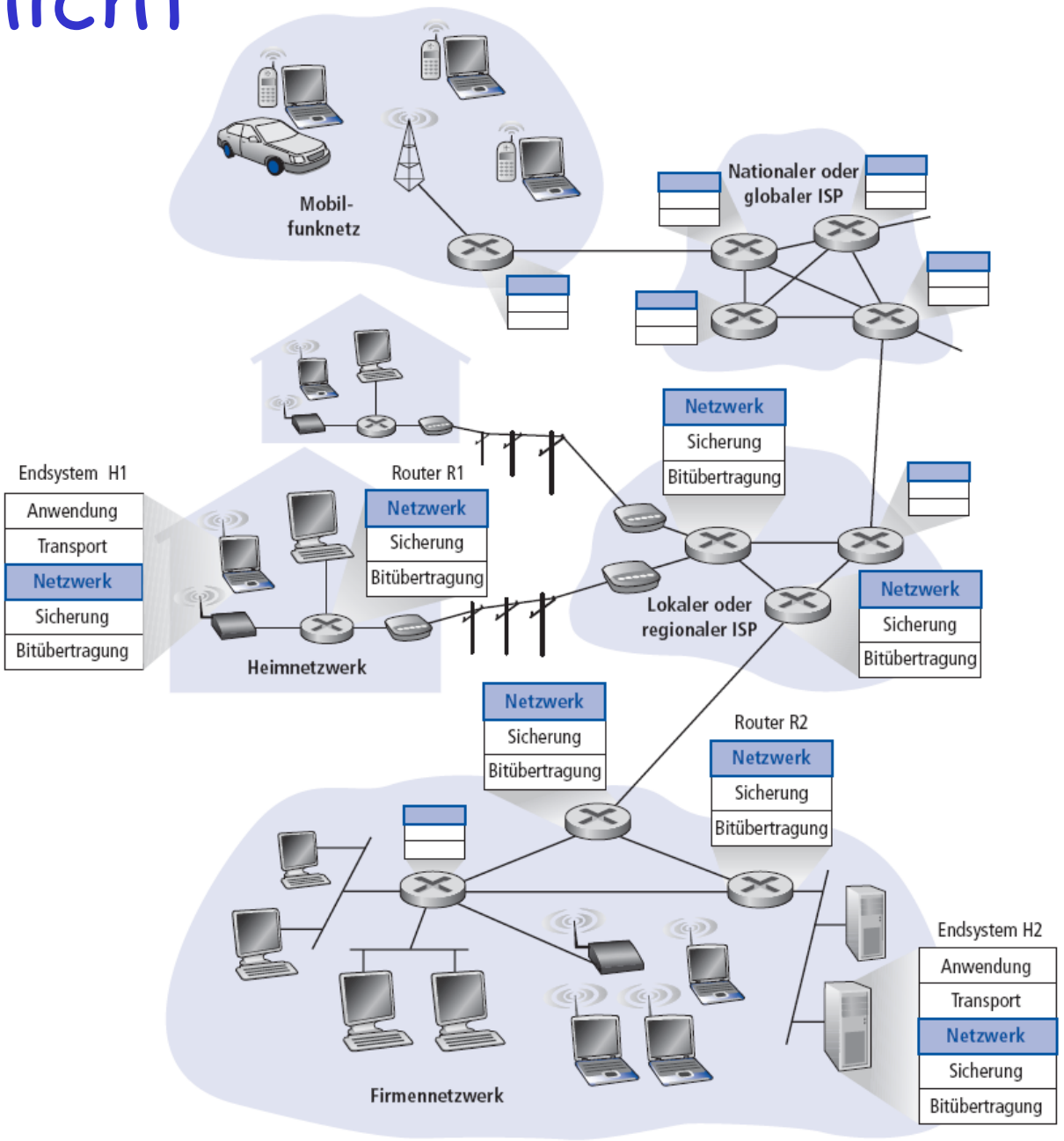
Kapitel 4: Netzwerkschicht

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

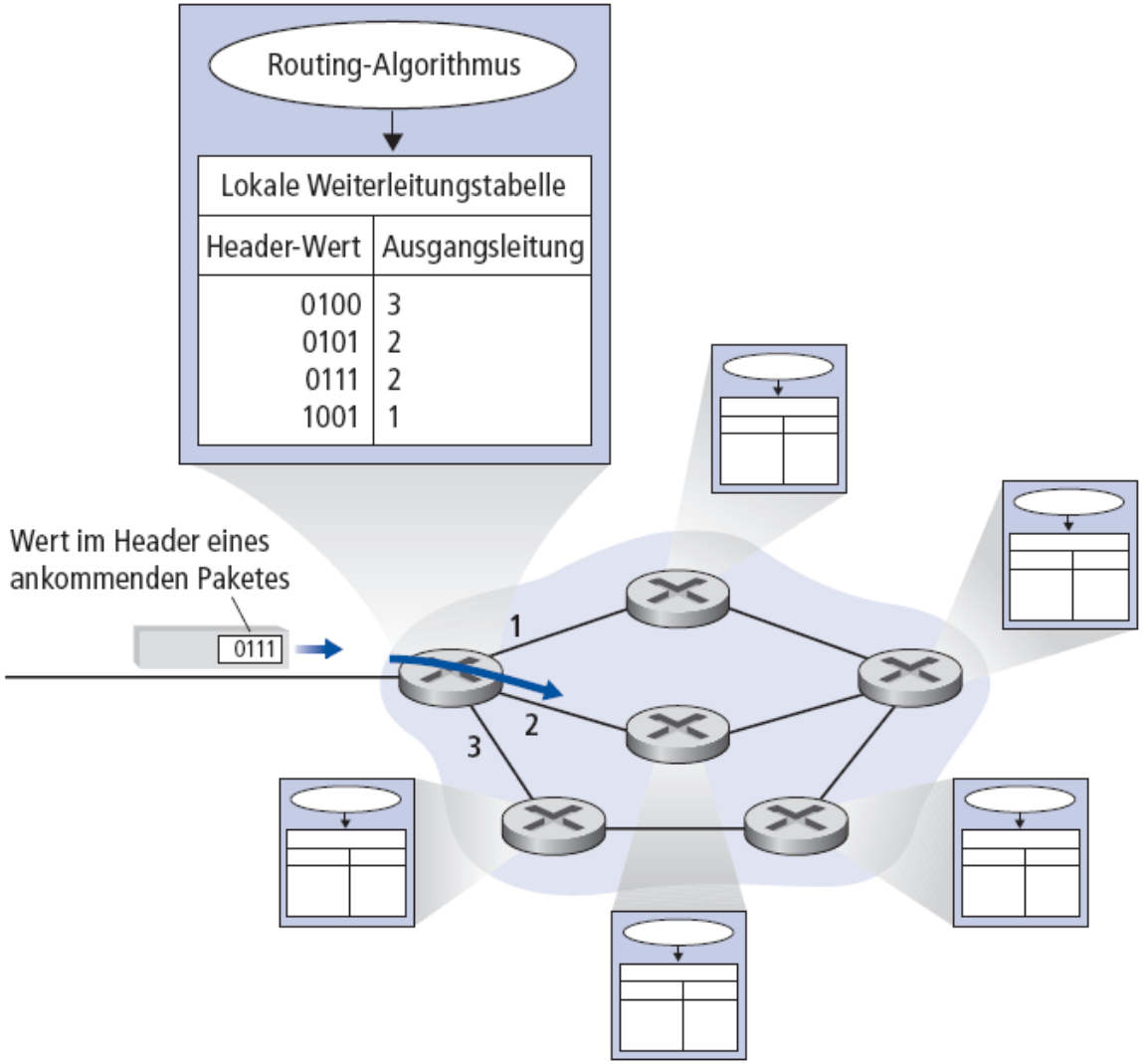
- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP – Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

Netzwerkschicht



Zusammenspiel von Routing und Forwarding

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN



Kapitel 4: Netzwerkschicht

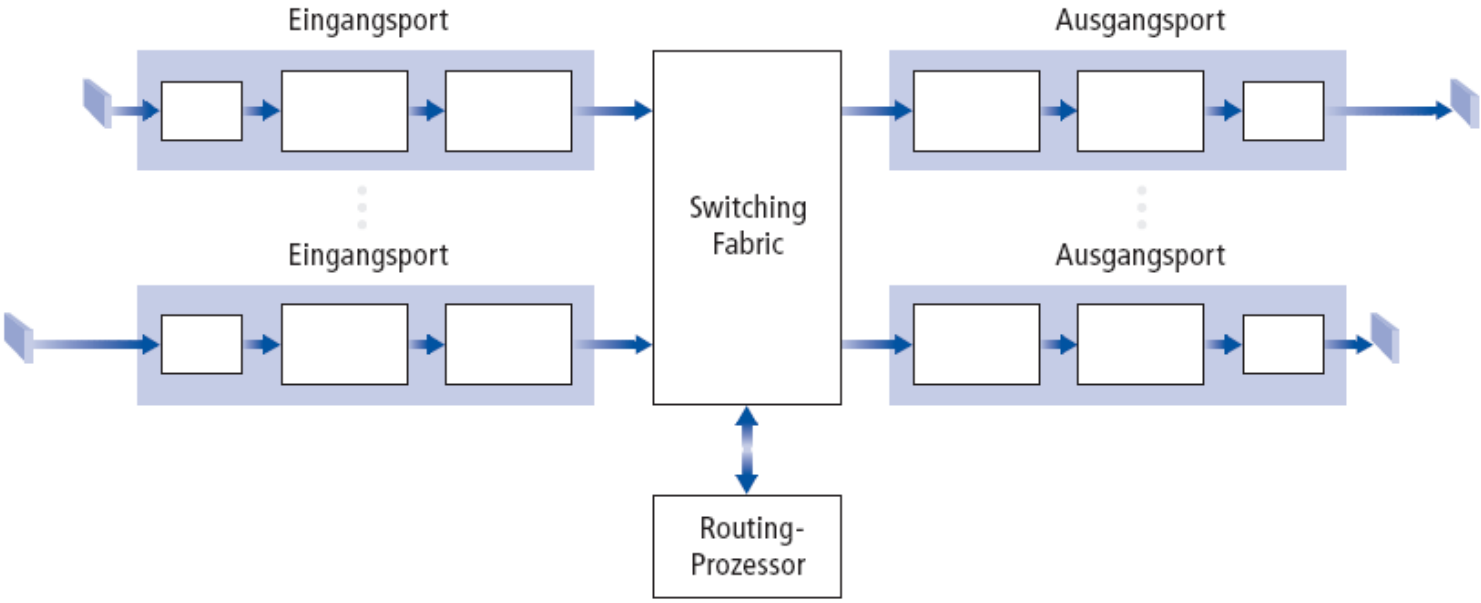
Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP: Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

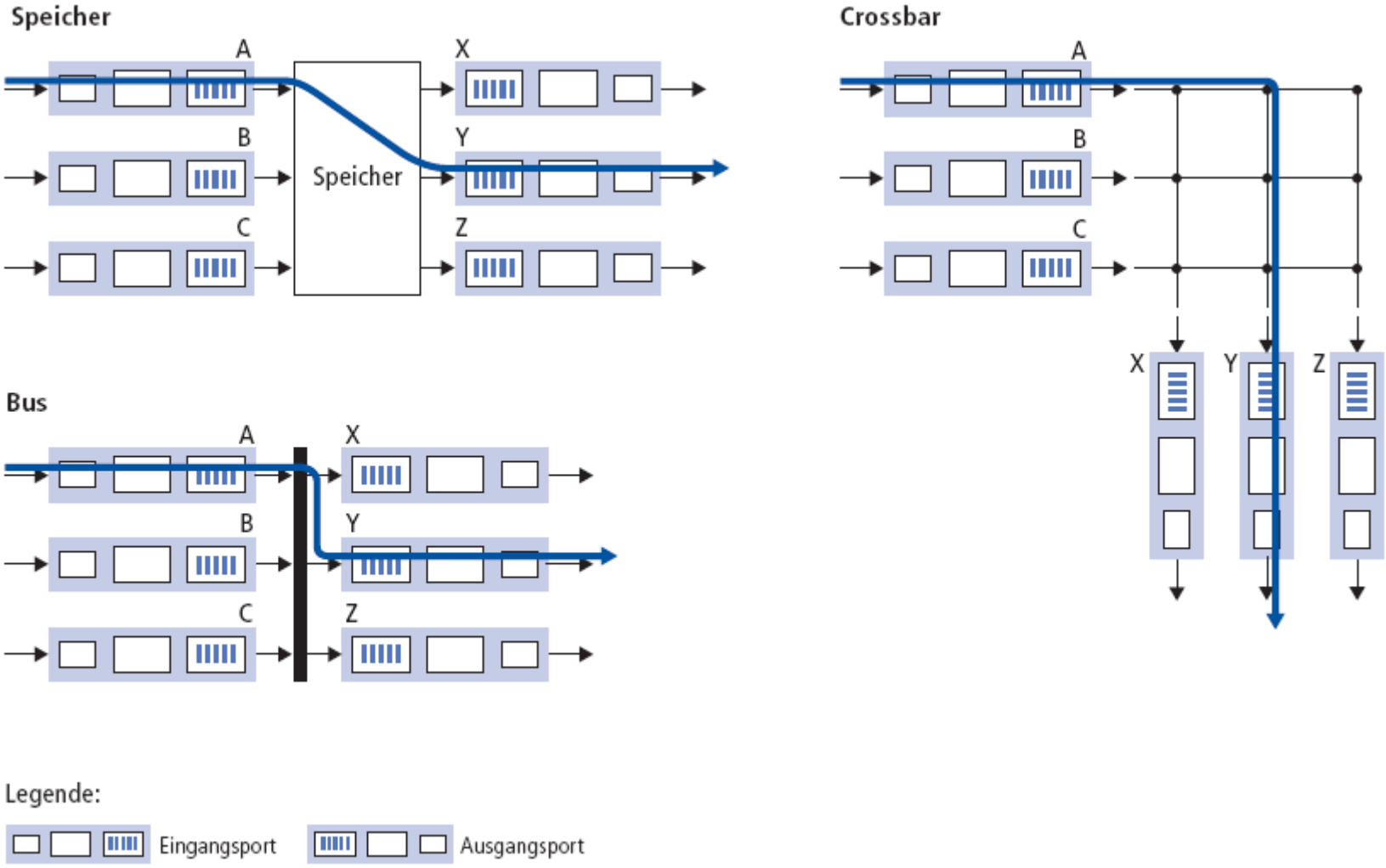
Übersicht: Routerarchitektur

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

- Leitungsabschluss: physikalische Schicht, Bits empfangen
- Sicherungsschicht: z.B. Ethernet (s. Kapitel 5)
- Nachschlagen, Weiterleiten, Queuing:
  - Suche nach einem geeigneten Ausgangsport
  - Dezentral, Kopie der Routing-Tabelle (oder Teile davon) notwendig
  - Ziel: Behandlung der Pakete mit „line speed", also mit der Geschwindigkeit der Eingangsleitung des Ports
  - Puffern von Paketen, wenn die Switching Fabric belegt ist



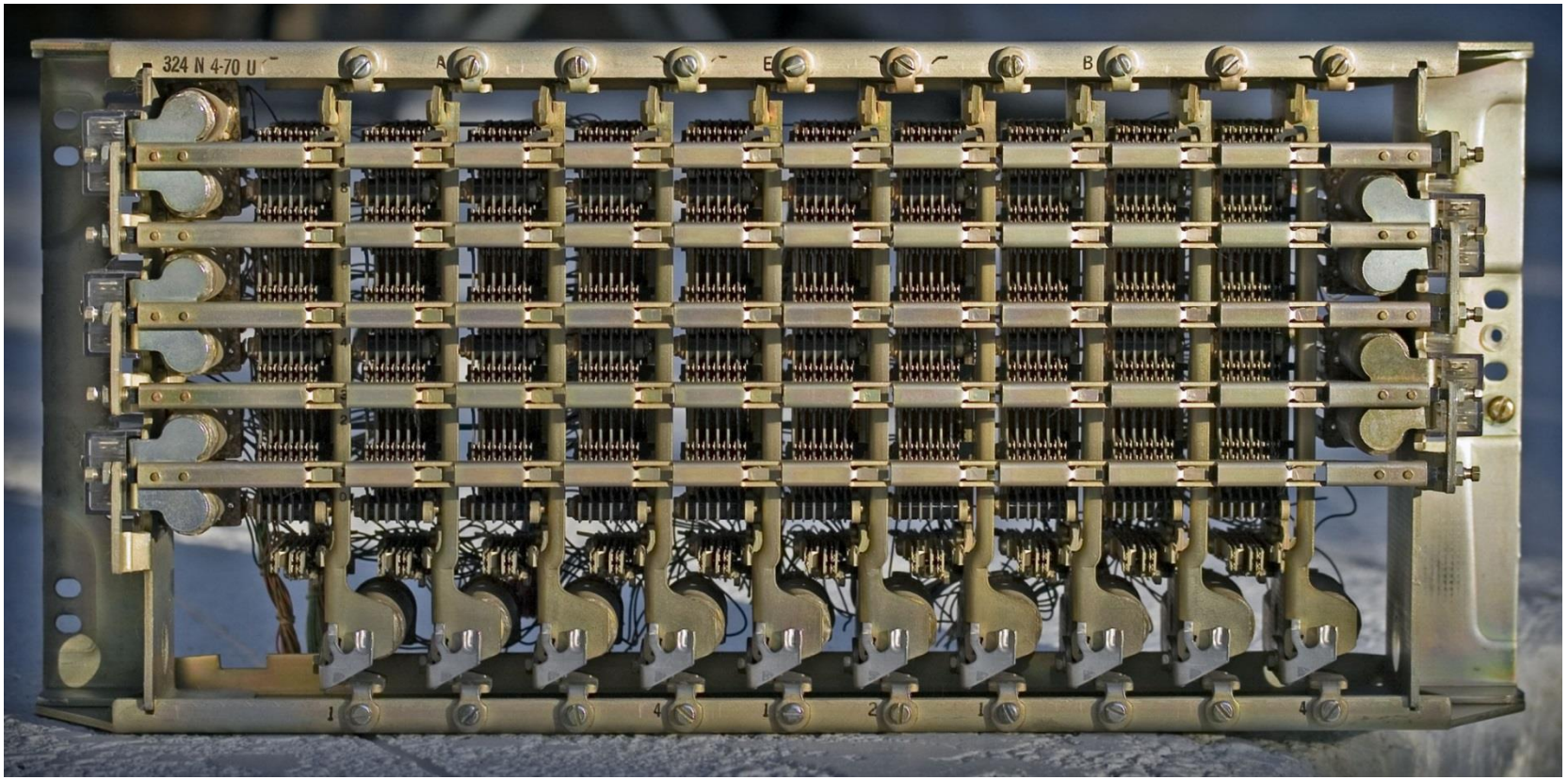
Drei verschiedene Arten von Switching Fabrics



Übersicht: Routerarchitektur

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

Crossbar – Switch: klassisch



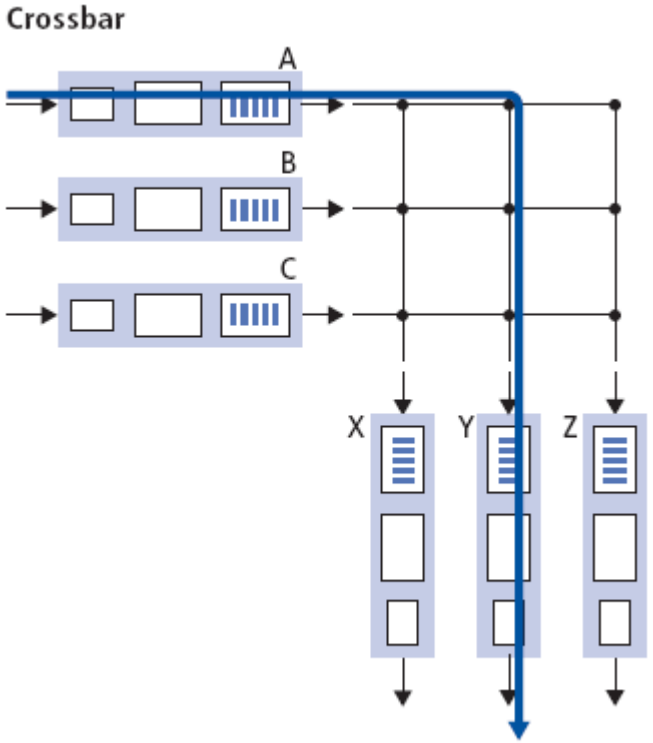
Wikipedia: Western Electric 100-point six-wire Type B crossbar switch (1960)

Switching über einen Bus

- Beispiel: 32-Gbps-Bus, Cisco 7600,
- ausreichend für Zugangsrouter und Router für Firmennetze (nicht geeignet im Backbone)

Switching über ein Spezialnetz

- Ports sind über ein Netzwerk miteinander verbunden
  - Beispielsweise alle Eingangsports über einen Crossbar mit allen Ausgangs-ports
  - Oder Banyan-Netzwerke
  - Technologie ursprünglich für das Verbinden mehrerer Prozessoren in einem Parallelrechner entwickelt
- Weitere Fortschritte: Zerlegen der Pakete in Zellen fester Größe, Zellen können dann schneller durch die Switching Fabric geleitet werden
- Beispiel: Cisco 12000, Switching von 60 Gbps durch das interne Netz



Switching über ein Spezialnetz

- Beispiel: Cisco 12000, Switching von 60 Gbps durch das interne Netz

Switching IC

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

BROADCOM
Connecting everything®

BCM88130 PRODUCT Brief

HIGH-PERFORMANCE PACKET SWITCH FABRIC

FEATURES

- **Scales linearly to over 10 Tbps**
- **Non-blocking architecture**
- **100 GE ready**
- **600 Gbps switched bandwidth in single device**
- **Central bandwidth management in single device**
  - Globally managed Quality of Service (QoS)
  - Bandwidth guarantees and low latency/Jitter
  - Hierarchical VOQs with 16 COS
- **High-speed 6.5 Gbps SerDes**
- **High-performance multicast**
- **Self-routing crossbar**
- **Reliability and availability features**
  - 1+1 and load shared redundancy
  - Hardware based lossless switchover
  - Fault detection and correction
  - Graceful degradation
- **Complete end-to-end application solutions**

SUMMARY OF BENEFITS

- **Proven fabric architecture for a range of modular platforms**
- **Interoperable with current QE2000 and future Queuing Engines to provide line-card future-proofing**
- **Central bandwidth management enforces service level agreements (SLAs) and bandwidth guarantees, including low latency and jitter services.**
- **Very low fabric overhead optimizes the use of backplane bandwidth.**
- **Line rate operation for all packet sizes with a full mesh of unicast and multicast traffic under stress**
- **High-performance multicast provides wirespeed non-blocking multicast while maintaining system SLAs. Streaming multicast/broadcast services such as IPTV requires these efficient multicast capabilities.**
- **Deep buffers provide a single control point for managing and guaranteeing QoS, and absorbing network round trip delays.**
- **Self-routing crossbar for chip-level autonomous operation allowing for single control point across devices and efficient multicast.**

Kapitel 4: Netzwerkschicht

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

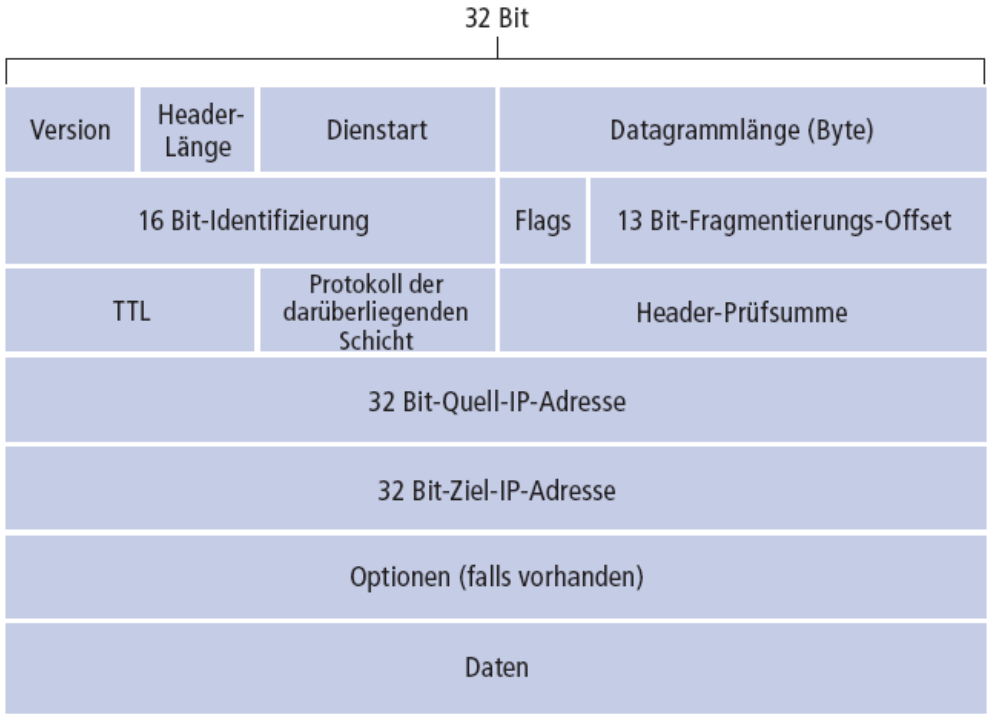
- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP: Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

Kapitel 4: Netzwerkschicht

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP: Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

IP-Datagrammformat

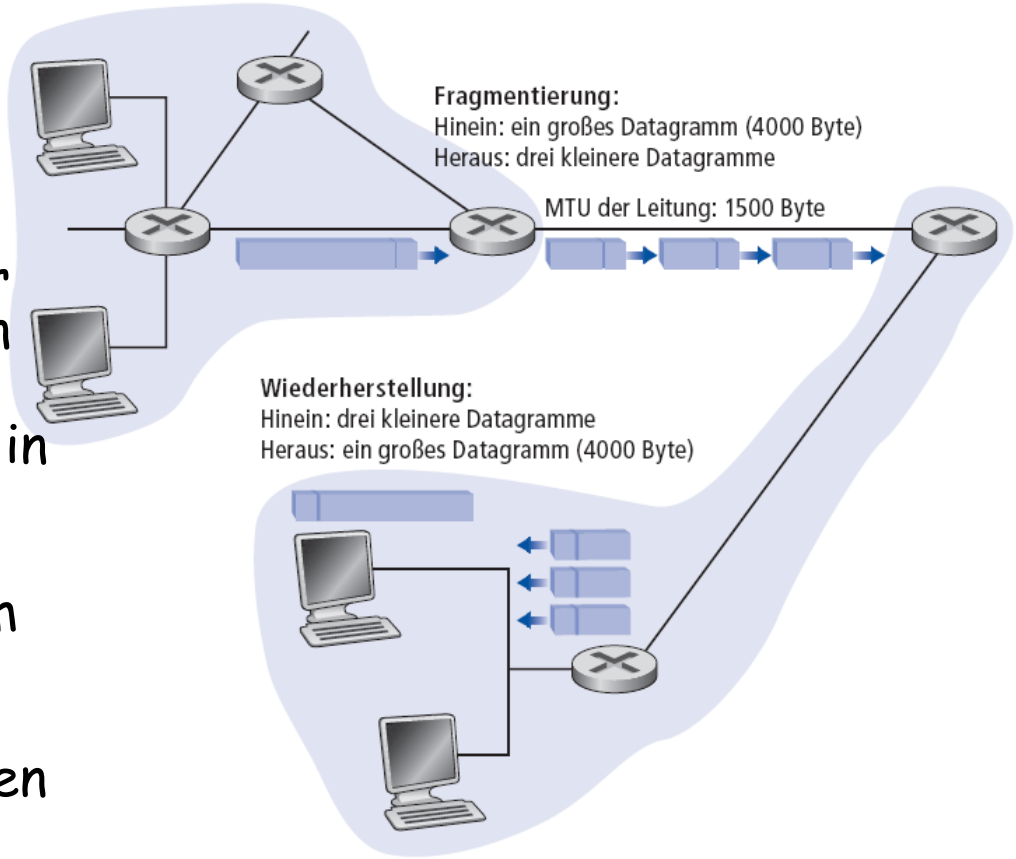


Wie viel Overhead entsteht bei Verwendung von TCP?

- 20 Byte für den TCP-Header, 20 Byte für den IP-Header
- = 40 Byte + Overhead auf der Anwendungsschicht

IP-Fragmentierung

- Links haben eine Maximalgröße für Rahmen
- Diese nennt man Maximum Transmission Unit (MTU)
- Verschiedene Links haben unterschiedliche MTUs
- IP-Datagramme müssen unter Umständen aufgeteilt werden
  - Aufteilung (Fragmentierung) erfolgt in den Routern
  - Zusammensetzen (Reassembly) erfolgt beim Empfänger
  - IP-Header enthält die notwendigen Informationen hierzu



IP-Fragmentierung

Beispiel: IP-Datagramm mit 4000 Byte (inklusive 20 Byte IP-Header), MTU des nächsten Links = 1500 Byte

Fragment	Bytes	ID	Offset	Flag
1. Fragment	1.480 Byte im Daten-feld des IP-Datagramms	Identifizierung = 777	Offset = 0 (d.h., die Daten sollten beginnend bei Byte 0 eingefügt werden)	Flag = 1 (d.h., da kommt noch mehr)
2. Fragment	1.480 Datenbytes	Identifizierung = 777	Offset = 185 (d.h., die Daten sollten bei Byte 1.480 beginnend einge-fügt werden; beachten Sie, dass 185 · 8 = 1.480)	Flag = 1 (d.h., da kommt noch mehr)
3. Fragment	1.020 Datenbytes (= 3.980 – 1.480 – 1.480)	Identifizierung = 777	Offset = 370 (d.h., die Daten sollten beginnend bei Byte 2.960 eingefügt werden; beachten Sie, dass 370 · 8 = 2.960)	Flag = 0 (d.h., es ist das letzte Fragment)

IP-Fragmentierung

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

Beispiel: ping –l 1600 www.web.de

```
  351 100.354998000   192.168.2.118   212.227.222.8   IPv4     1514 Fragmented IP protocol (proto=ICMP 1, off=0, ID=77d3) [Reassembled in #352]
  352 100.355008000   192.168.2.118   212.227.222.8   ICMP      162 Echo (ping) request  id=0x0001, seq=479/57089, ttl=128
  353 100.402886000   212.227.222.8   192.168.2.118   IPv4     1506 Fragmented IP protocol (proto=ICMP 1, off=0, ID=b7ef) [Reassembled in #355]
  354 100.403052000   212.227.222.8   192.168.2.118   IPv4      162 Fragmented IP protocol (proto=ICMP 1, off=1480, ID=b7ef) [Reassembled in #355]
  355 100.403333000   212.227.222.8   192.168.2.118   ICMP       42 Echo (ping) reply    id=0x0001, seq=479/57089, ttl=58
  356 101.356895000   192.168.2.118   212.227.222.8   IPv4     1514 Fragmented IP protocol (proto=ICMP 1, off=0, ID=77d4) [Reassembled in #357]
  357 101.356907000   192.168.2.118   212.227.222.8   ICMP      162 Echo (ping) request  id=0x0001, seq=480/57345, ttl=128
```

```
⊞ Frame 352: 162 bytes on wire (1296 bits), 162 bytes captured (1296 bits) on interface 0
⊞ Ethernet II, Src: IntelCor_a3:85:1c (58:94:6b:a3:85:1c), Dst: Avm_e2:5b:8b (00:04:0e:e2:5b:8b)
⊟ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.118 (192.168.2.118), Dst: 212.227.222.8 (212.227.222.8)
    Version: 4
    Header length: 20 bytes
  ⊞ Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))
    Total Length: 148
    Identification: 0x77d3 (30675)
  ⊞ Flags: 0x00
    Fragment offset: 1480
    Time to live: 128
    Protocol: ICMP (1)
  ⊞ Header checksum: 0x4bd2 [correct]
    Source: 192.168.2.118 (192.168.2.118)
    Destination: 212.227.222.8 (212.227.222.8)
    [Source GeoIP: Unknown]
    [Destination GeoIP: Unknown]
  ⊞ [2 IPv4 Fragments (1608 bytes): #351(1480), #352(128)]
⊞ Internet Control Message Protocol
```

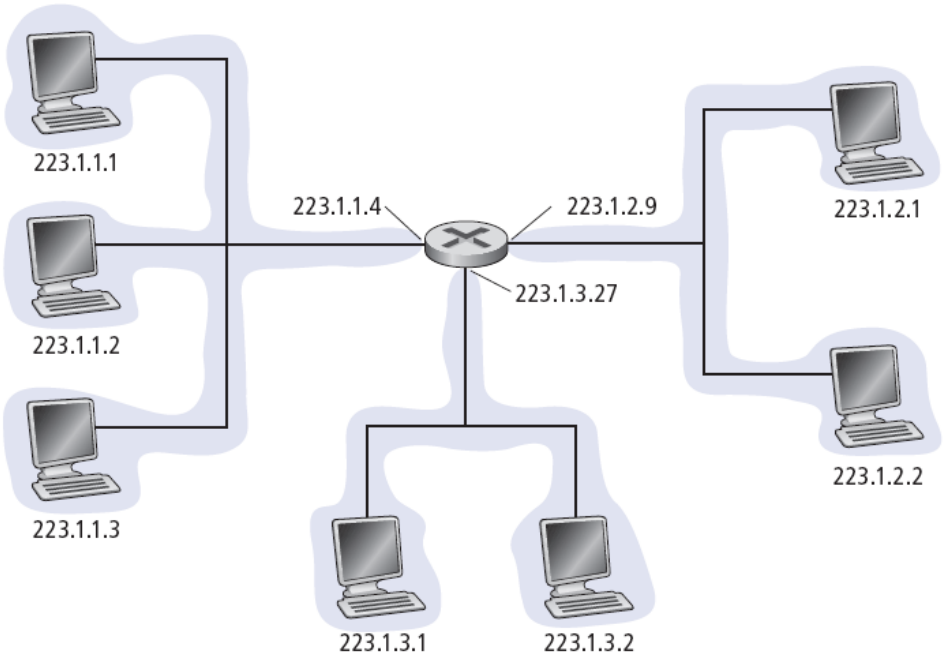
Kapitel 4: Netzwerkschicht

- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP: Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

IP-Adressierung - Grundlagen

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

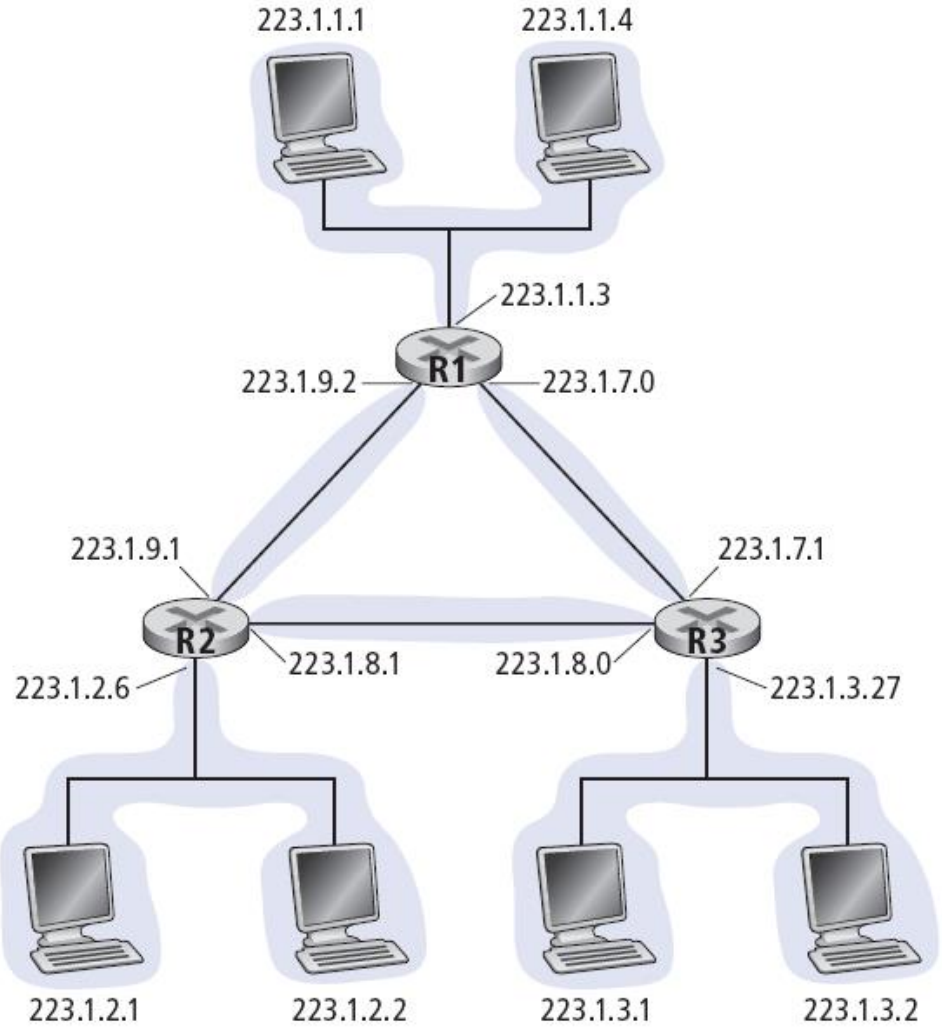
- IP-Adresse: 32-Bit-Kennung für das Interface (Schnittstelle) eines Endsystems oder eines Routers
- Interface: Verbindung zwischen dem System und dem Link
  - Wird normalerweise durch eine Netzwerkkarte bereitgestellt
  - Router haben typischerweise mehrere Interfaces
  - Endsysteme können ebenfalls mehrere Interfaces haben
  - Jedes Interface besitzt eine IP-Adresse



223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223 1 1 1

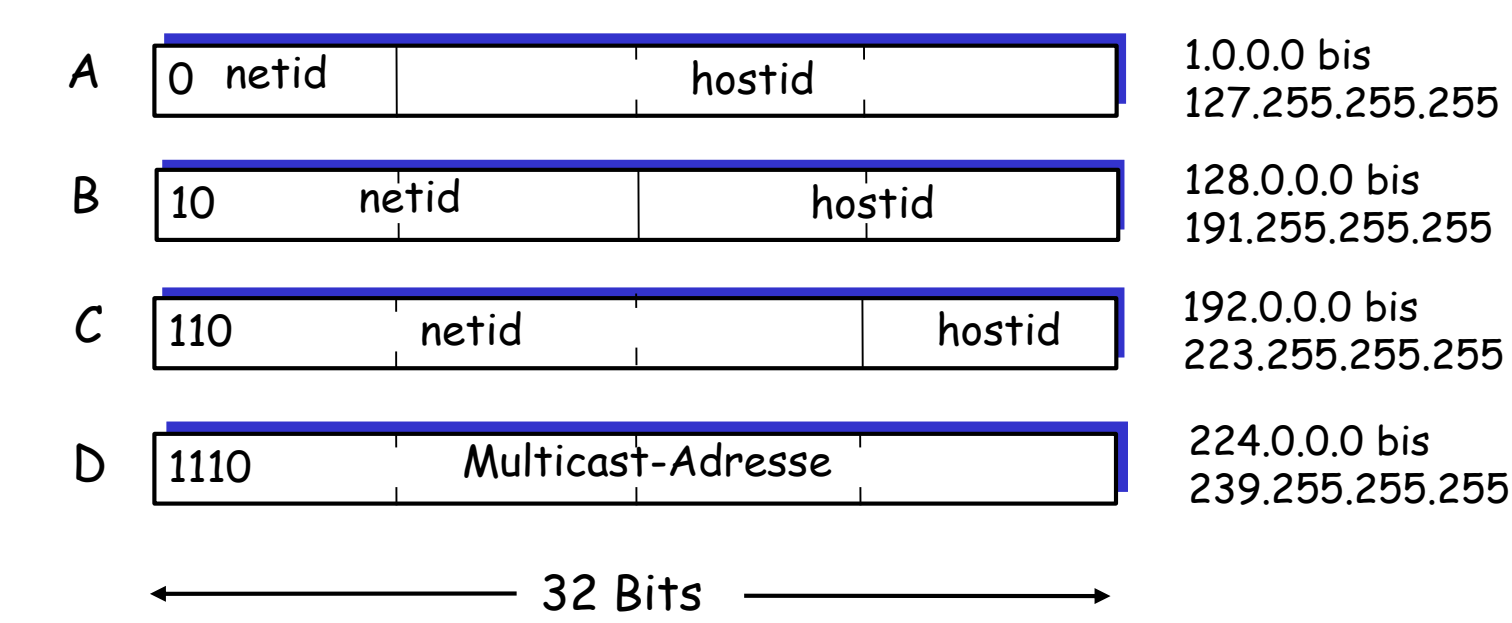
Wie viele Subnetzwerke sehen Sie?



IP-Adressierung - Adressklassen

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

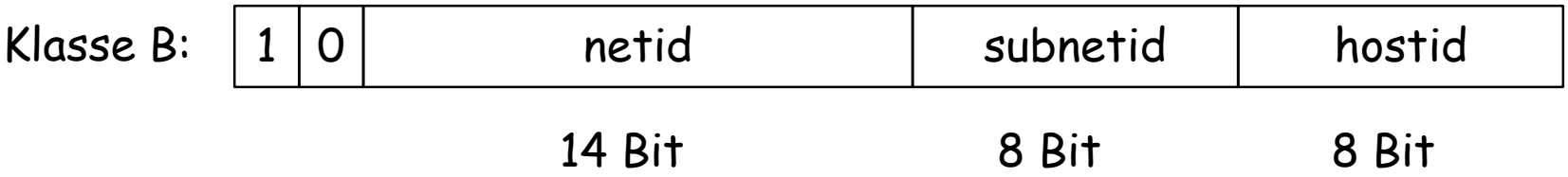
- Früher wurden IP-Adressen in Adressklassen aufgeteilt
- Die Klasse bestimmte das Verhältnis der Längen netid/hostid
- Dies nennt man „classfull" addressing oder auch klassenbasierte Adressierung



Adressierung von Subnetzen I

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

- Klasse-A- und –B-Adressen haben Platz für mehr Endsysteme, als man in einem Netzwerk sinnvoll unterbringen kann
- Daher teilt man die hostid weiter auf, z.B. so:

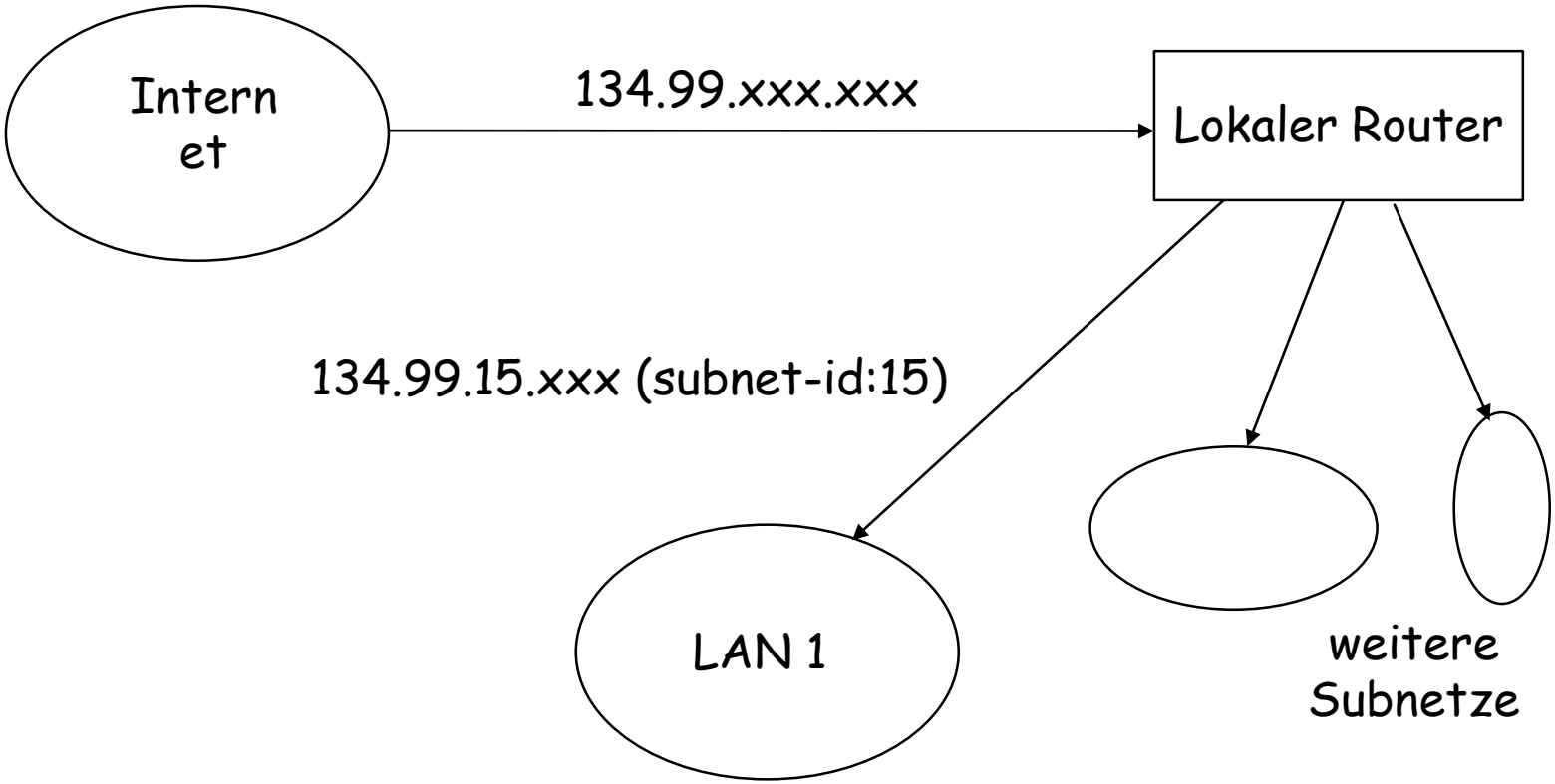


- Die Unterteilung (subnetid, hostid) ist eine lokale Entscheidung und wird von der Organisation vorgenommen, der die netid zugeordnet wurde

Adressierung von Subnetzen II

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

- Die subnetid ist außerhalb des Netzwerkes, für das sie verwendet wird, nicht sichtbar:



Adressierung von Subnetzen III

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

- Subnetzmaske (subnet mask)
  - Wird für jede IP-Adresse eines Systems im System gespeichert
  - Sie identifiziert, welcher Teil der Adresse zur subnetid und welcher zur hostid gehört

	16 Bit	8 Bit	8 Bit
Beispiel (Class B)	1111111111111111	11111111	00000000

subnet mask:
0xffffff00=255.255.255.0 oder
auch /24

- Die eigene IP-Adresse in Verbindung mit der Subnetzmaske erlaubt Rückschlüsse darüber, wo sich eine andere IP-Adresse befindet:
  - im selben Subnetz (also direkt erreichbar)
  - im selben Netzwerk, aber in einem anderen Subnetz
  - in einem anderen Netzwerk

Beispiel für die Verwendung von Subnetzmasken

- Gegeben:
  - Eigene IP-Adresse: 134.155.48.10
  - Subnetzmaske: 255.255.255.0
  - Adresse A: 134.155.48.96, Adresse B: 134.155.55.96

- Überprüfen der beiden Adressen:
  - 134.155.48.10 & 255.255.255.0 = 134.155.48.0
  - 134.155.48.96 & 255.255.255.0 = 134.155.48.0 identisch, gleiches Subnetz
  - 134.155.55.96 & 255.255.255.0 = 134.155.55.0 verschieden, anderes Subnetz

Subnetzmasken variabler Länge

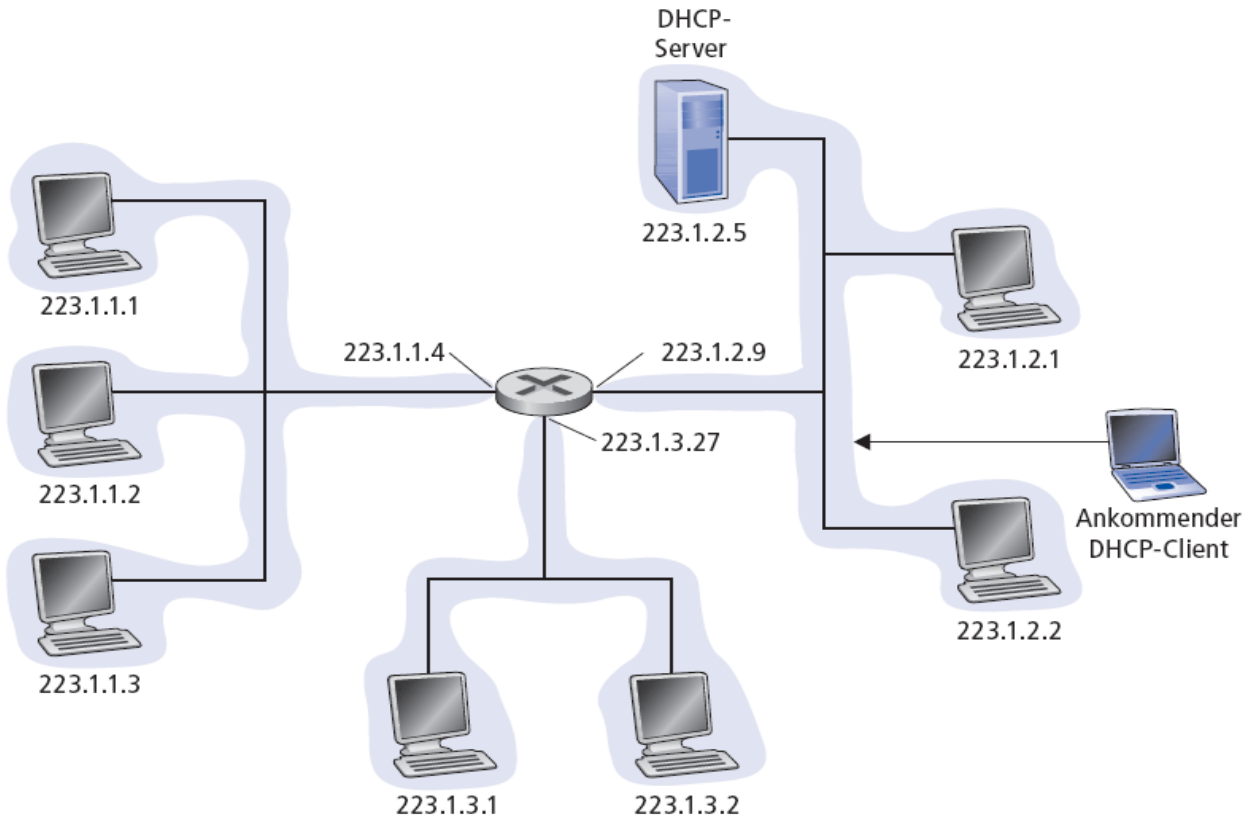
- Problem: Gegeben sei ein Klasse-C-Netzwerk, welches in zwei Subnetze mit 50 Endsystemen und ein Subnetz mit 100 Endsystemen unterteilt werden soll.
- Das funktioniert nicht mit einer einzelnen Subnetzmaske!
  - 255.255.255.128: zwei Netze mit je 128 hostids
  - 255.255.255.192: vier Netze mit je 64 hostids
- Lösung: Subnetzmasken variabler Länge
  - Unterteile den Adressraum zunächst mit der kürzeren Subnetzmaske (1 Bit im Beispiel)
  - Unterteile eine Hälfte davon weiter mit der längeren Subnetzmaske (2 Bit im Beispiel)
  - Resultat: Subnetze verschiedener Größe

Adressvergabe - Hosts

Frage: Wie bekommt ein Host seine IP-Adresse?

- Durch manuelle Konfiguration:
  - IP-Adresse
  - Subnetzmaske
  - Weitere Parameter
- DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol: dynamisches Beziehen der Adresse von einem Server
  - "Plug-and-Play"

DHCP-Szenario

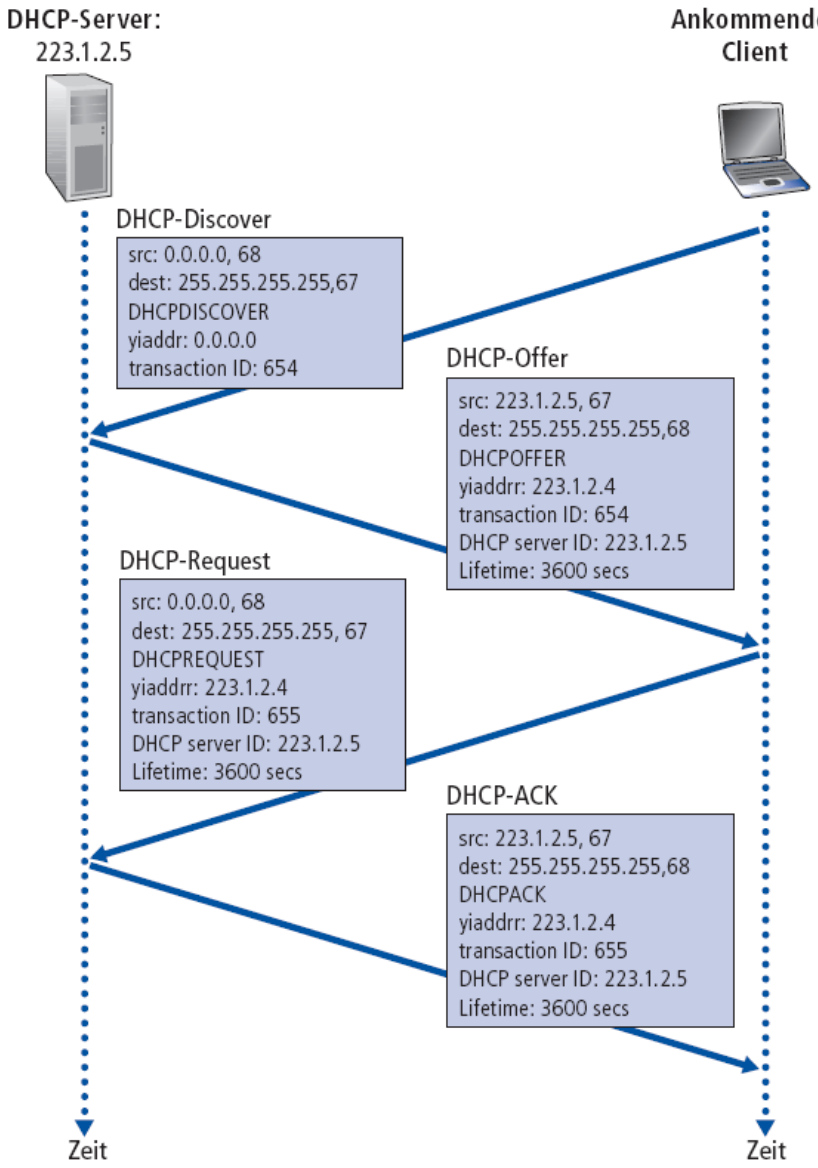


DHCP-Szenario

DHCP verwendet UDP.

DHCP-Nachrichten werden an die MAC-Broadcast-Adresse geschickt.

Es gibt ein Feld, in dem eine eindeutige Kennung des Clients verpackt ist. Dies ist meist die MAC-Adresse.



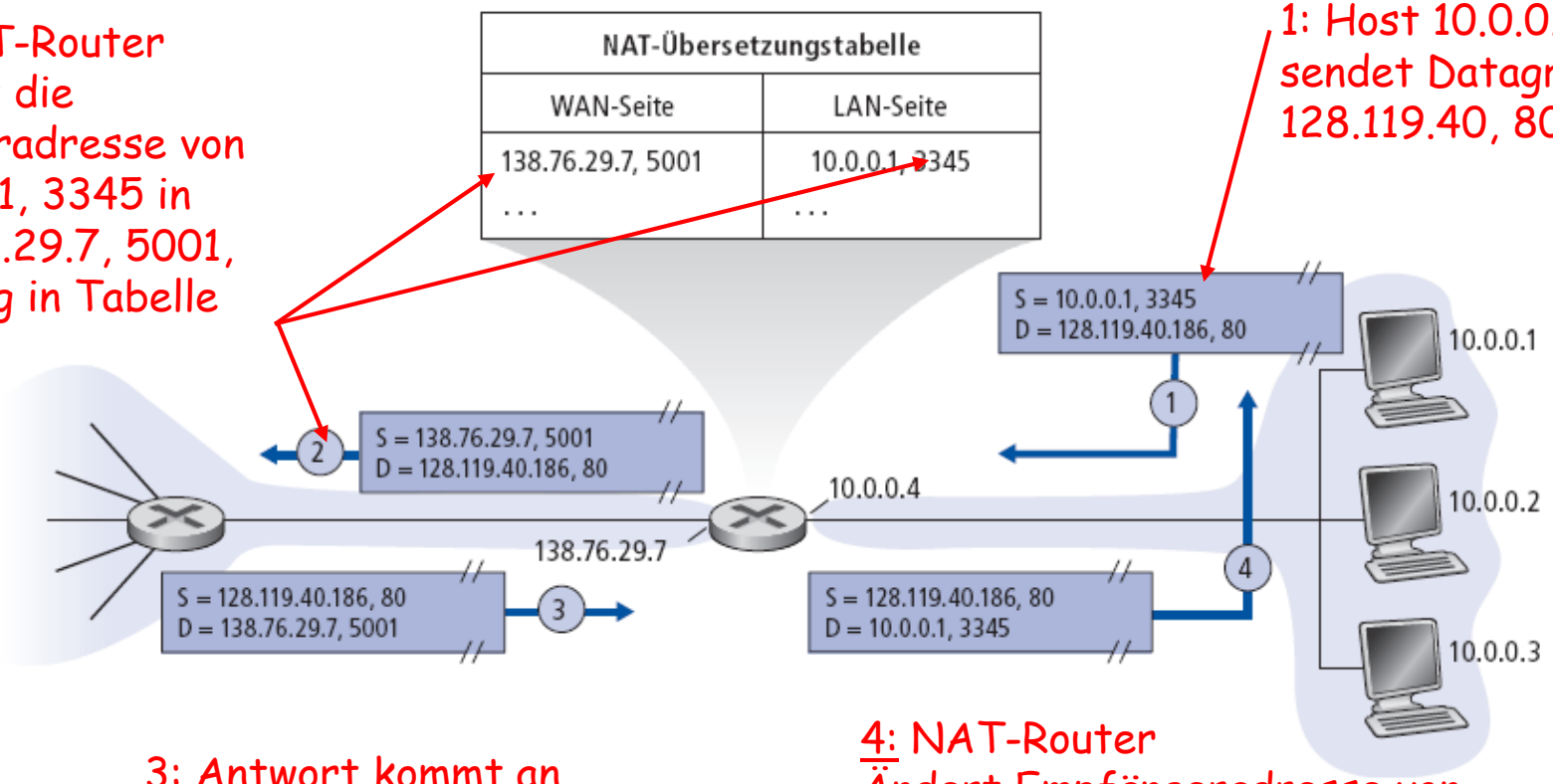
Besondere Adressen (RFC3330)

Address Block	Present Use	Reference
0.0.0.0/8	"This" Network	[RFC1700, page 4]
10.0.0.0/8	Private-Use Networks	[RFC1918]
14.0.0.0/8	Public-Data Networks	[RFC1700, page 181]
24.0.0.0/8	Cable Television Networks	--
39.0.0.0/8	Reserved but subject to allocation	[RFC1797]
127.0.0.0/8	Loopback	[RFC1700, page 5]
128.0.0.0/16	Reserved but subject to allocation	--
169.254.0.0/16	Link Local	--
172.16.0.0/12	Private-Use Networks	[RFC1918]
191.255.0.0/16	Reserved but subject to allocation	--
192.0.0.0/24	Reserved but subject to allocation	--
192.0.2.0/24	Test-Net	
192.88.99.0/24	6to4 Relay Anycast	[RFC3068]
192.168.0.0/16	Private-Use Networks	[RFC1918]
198.18.0.0/15	Network Interconnect Device Benchmark Testing	[RFC2544]
223.255.255.0/24	Reserved but subject to allocation	--
224.0.0.0/4	Multicast	[RFC3171]
240.0.0.0/4	Reserved for Future Use	[RFC1700, page 4]

NAT: Network Address Translation

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

2: NAT-Router ändert die Senderadresse von 10.0.0.1, 3345 in 138.76.29.7, 5001, Eintrag in Tabelle



1: Host 10.0.0.1 sendet Datagramm an 128.119.40, 80

3: Antwort kommt an für Adresse 138.76.29.7, 5001

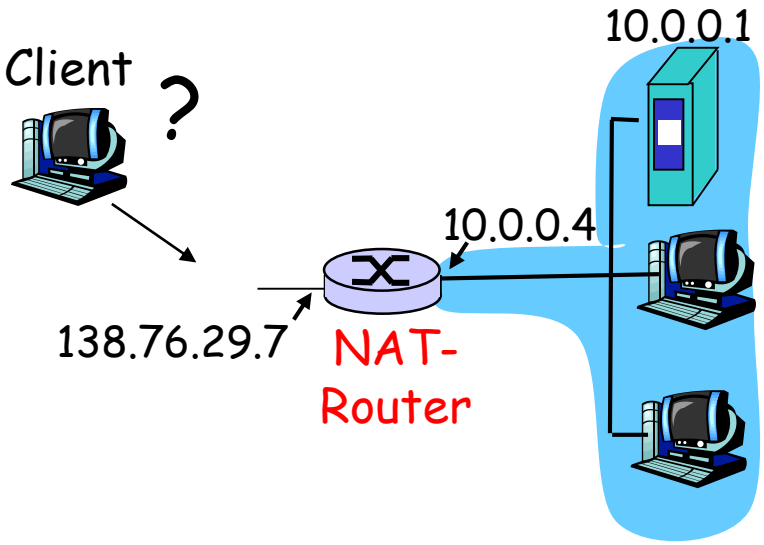
4: NAT-Router Ändert Empfängeradresse von 138.76.29.7, 5001 in 10.0.0.1, 3345

NAT: Network Address Translation

- 16-Bit-Port Number-Feld:
  - Mehr als 60.000 gleichzeitige Verbindungen mit einer IP-Adresse
- NAT ist nicht unumstritten:
  - Router sollten nur Informationen der Schicht 3 verwenden
  - Verletzung des sogenannten Ende-zu-Ende-Prinzips (end-to-end principle):
    - Transparente Kommunikation von Endsystem zu Endsystem, im Inneren des Netzes wird nicht an den Daten „herumgepfuscht"
    - Bei NAT: Der Anwendungsentwickler muss die Präsenz von NAT-Routern berücksichtigen. Beispiele:
      - Verwenden der IP-Adresse als weltweit eindeutige Nummer
      - Verwenden von UDP
  - NAT dient hauptsächlich der Bekämpfung der Adressknappheit im Internet. Dies sollte besser über IPv6 (s. später) erfolgen

Durchqueren von NAT

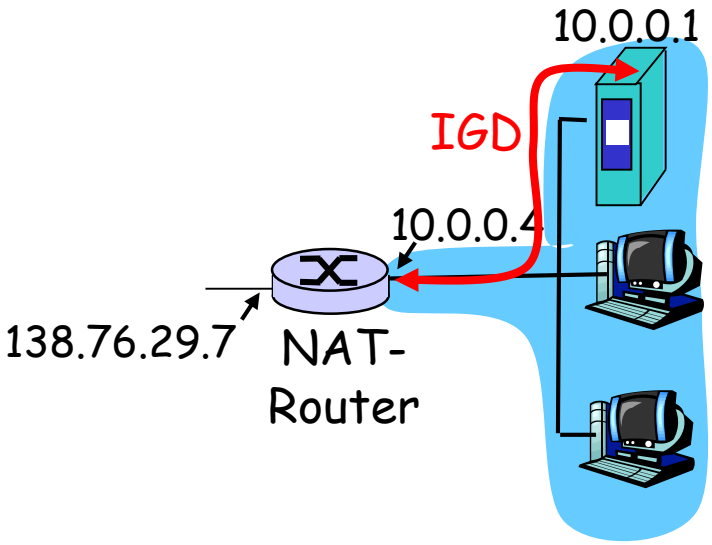
- Engl. NAT traversal
- Der Client möchte den Server mit der Adresse 10.0.0.1 kontaktieren
  - Die Adresse 10.0.0.1 ist eine lokale Adresse und kann nicht als Adresse im globalen Internet verwendet werden
  - Die einzige nach außen sichtbare Adresse ist: 138.76.29.7
- Lösung 1: Statische Konfiguration von NAT, so dass eingehende Anfragen geeignet weitergeleitet werden
  - Beispiel: (123.76.29.7, Port 2500) wird immer an 10.0.0.1, Port 25000 weitergeleitet



Durchqueren von NAT

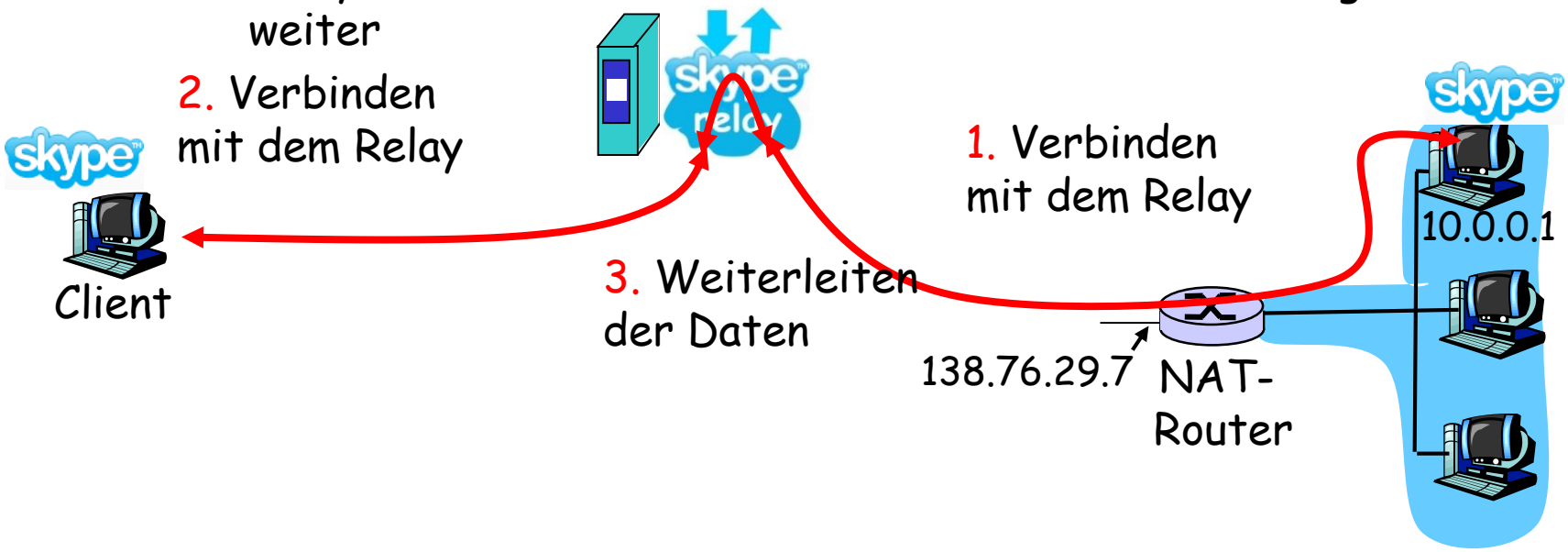
- Lösung 2: Universal Plug and Play (UPnP) Internet Gateway Device (IGD) Protocol. Dies ermöglicht dem Host hinter dem NAT Folgendes:
  - Herausfinden der öffentlichen IP-Adresse des NAT-Routers (138.76.29.7)
  - Kennenlernen existierender Abbildungen in der NAT-Tabelle
  - Einträge in die NAT-Tabelle einfügen oder aus ihr löschen

  Das heißt automatische Konfiguration von statischen NAT-Einträgen



Durchqueren von NAT

- Lösung 3: Relaying (von Skype verwendet)
  - Server hinter einem NAT-Router baut eine Verbindung zu einem Relay auf (welches nicht hinter einem NAT-Router liegt)
  - Client baut eine Verbindung zum Relay auf
  - Relay leitet die Pakete vom Client zum Server und umgekehrt weiter



Kapitel 4: Netzwerkschicht

- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP: Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

ICMP: Internet Control Message Protocol

- Wird von Hosts und Routern verwendet, um Informationen über das Netzwerk selbst zu verbreiten
  - Fehlermeldungen: Host, Netzwerk, Port, Protokoll nicht erreichbar
  - Echo-Anforderung und Antwort (von ping genutzt)
- Gehört zur Netzwerkschicht, wird aber in IP-Datagrammen transportiert
- ICMP-Nachricht: Type, Code und die ersten 8 Byte des IP-Datagramms, welches die Nachricht ausgelöst hat

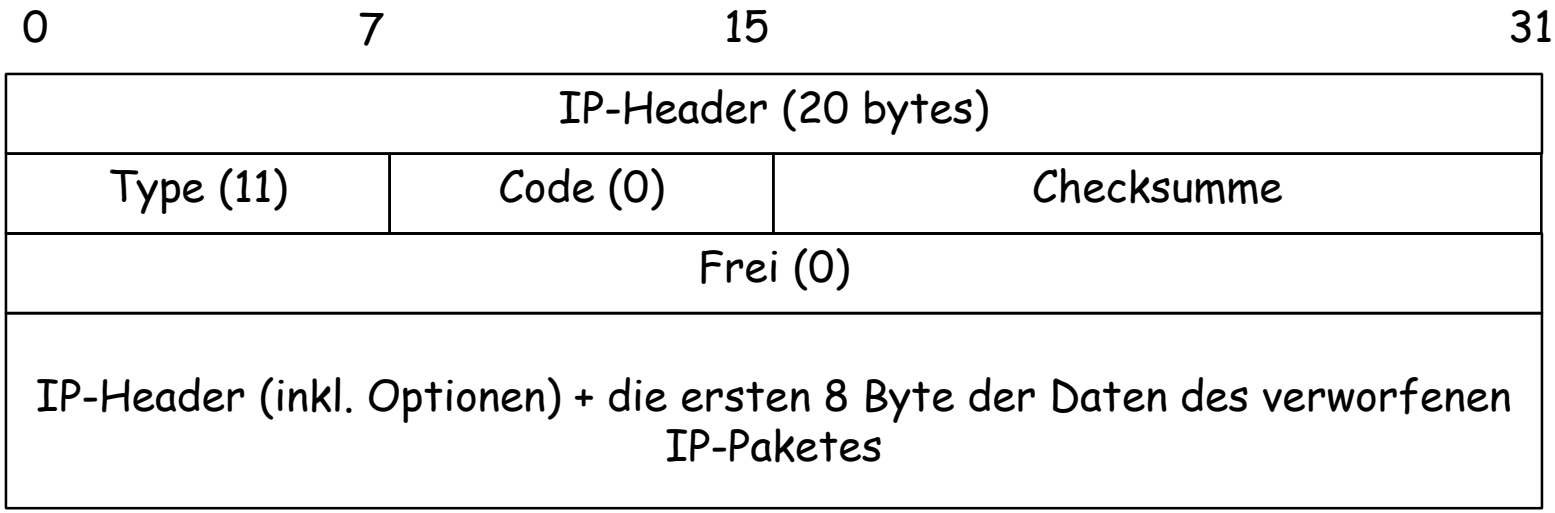
Type	Code	Beschreibung
0	0	echo reply (ping)
3	0	dest. network unreachable
3	1	dest host unreachable
3	2	dest protocol unreachable
3	3	dest port unreachable
3	6	dest network unknown
3	7	dest host unknown
4	0	source quench (congestion control - not used)
8	0	echo request (ping)
9	0	route advertisement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

Traceroute und ICMP

- Aufgabe:
  - Traceroute bestimmt Informationen über alle Router, die auf dem Weg zu einer IP-Adresse liegen
  - Dabei wird auch die Round-Trip-Zeit zu jedem Router bestimmt
- Funktionsweise:
  - Traceroute schickt ein UDP-Paket an die Adresse, für die der Weg untersucht werden soll; TTL im IP-Header wird auf 1 gesetzt
  - Der erste Router verwirft das IP-Paket (TTL = 1!) und schickt eine ICMP-Time-Exceeded-Fehlermeldung an den Absender
  - Traceroute wiederholt dies mit TTL = 2 etc.

ICMP-Time-Exceeded-Nachricht

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN



Kapitel 4: Netzwerkschicht

Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN · FH MÜNCHEN

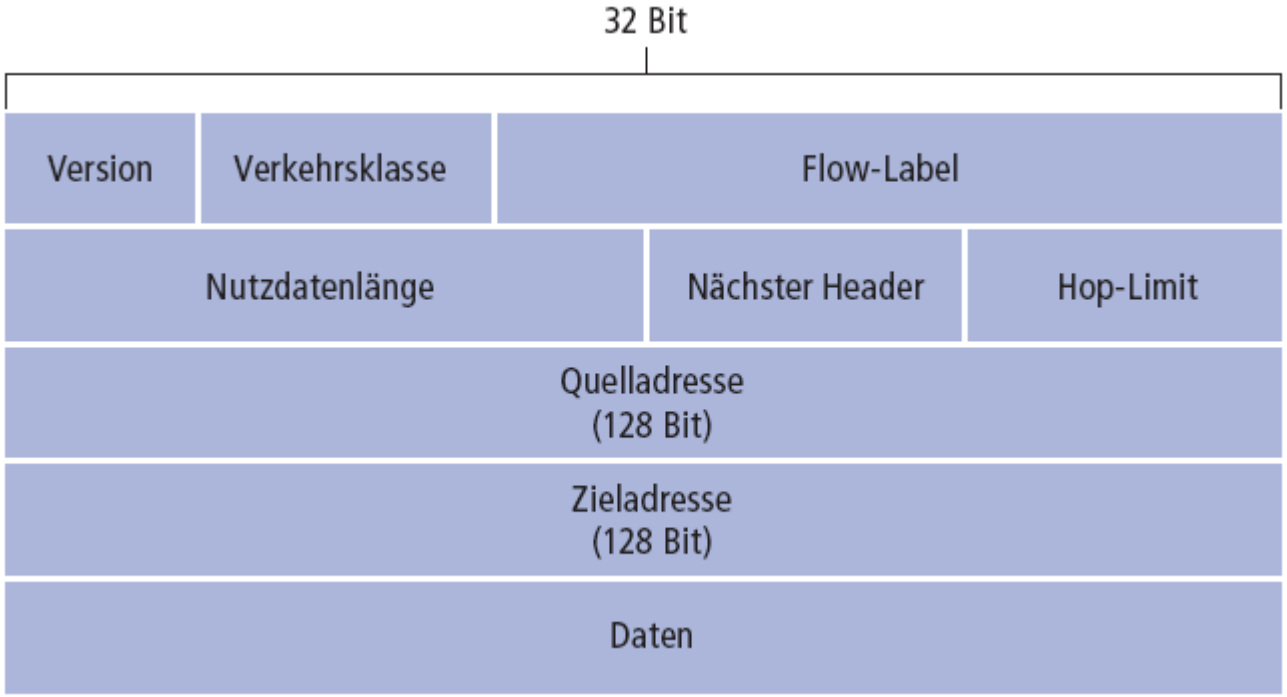
- 4.1 Einleitung
- 4.2 Aufbau eines Routers
- 4.3 IP: Internet Protocol
  - Datagrammformat
  - IPv4-Adressierung
  - ICMP
  - IPv6
- 4.4 statisches Routen
- 4.5 Routing-Algorithmen
  - Link State
  - Distance Vector
  - Hierarchisches Routing
- 4.6 Routing im Internet
  - RIP
  - OSPF
  - BGP
- 4.7 Broadcast- und Multicast-Routing

IPv6

- Ursprüngliche Motivation: 32-Bit-Adressen werden in naher Zukunft komplett zugeteilt sein
  - NAT hat dies ein wenig verzögert, aber das grundlegende Problem nicht gelöst
  - Beispiel: Was passiert, wenn jedes Handy eine feste IP-Adresse bekommen soll?
- Weitere Motivation:
  - Vereinfachtes Header-Format für eine schnellere Verarbeitung in den Routern
  - Header soll Dienstgütemechanismen (Quality of Service, QoS) unterstützen
- IPv6-Datagrammformat:
  - Header fester Länge (40 Byte)
  - keine Fragmentierung in den Routern

IPv6-Header

Verkehrsklasse: Priorisierung von Datagrammen
Flow Label: Identifikation von zusammengehörigen Flüssen von Datagrammen (z.B. ein Voice-over-IP-Telefonat)
Nächster Header: An welches Protokoll sollen die Daten im Datenteil übergeben werden? Beispiel: TCP!



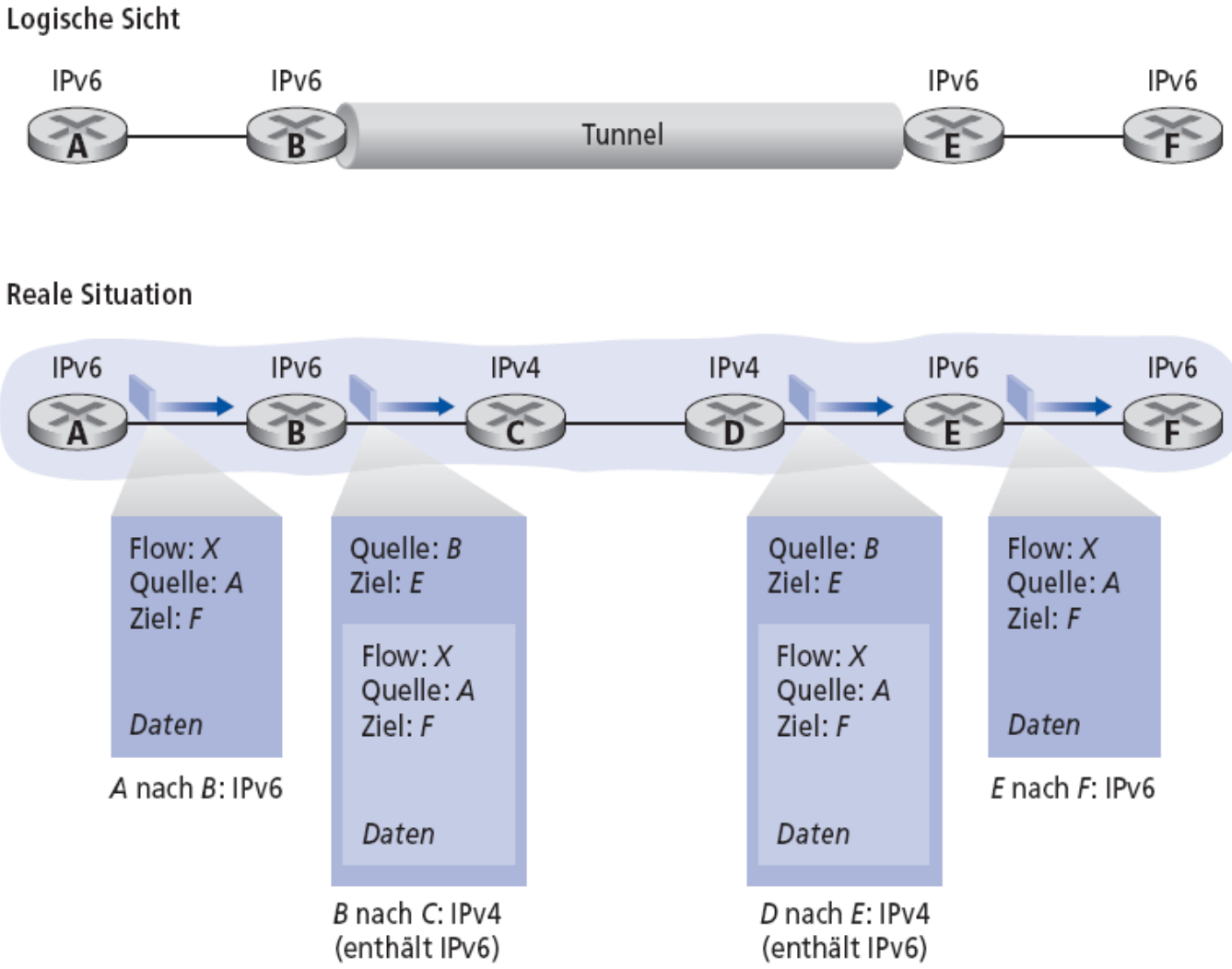
Weitere Veränderungen gegenüber IPv4

- *Checksumme:* entfernt, um die Verarbeitung in den Routern zu erleichtern
- *Optionen:* als separate Header, die auf den IP-Header folgen
  - Werden durch das "Nächster Header"-Feld angezeigt
  - Einfachere Behandlung in Hosts und Routern
- *ICMPv6:* neue Version von ICMP
  - Zusätzliche Pakettypen, z.B. "Packet Too Big"
  - Funktionen zur Verwaltung von Multicast-Gruppen (später mehr)

Übergang von IPv4 zu IPv6

- Es können nicht alle Router gleichzeitig umgestellt werden
  - Wie kann ein Netzwerk funktionieren, in dem sowohl IPv4- als auch IPv6-Router vorhanden sind?
- *Tunneling:* IPv6 wird im Datenteil von IPv4-Datagrammen durch das klassische IPv4-Netzwerk transportiert

Tunneling


Logische Sicht
IPv6
IPv6
IPv6
IPv6
A
B
Tunnel
E
F
Reale Situation
IPv6
IPv6
IPv4
IPv4
IPv6
IPv6
A
B
C
D
E
F
Flow: X
Quelle: A
Ziel: F
Daten
A nach B: IPv6
Quelle: B
Ziel: E
Flow: X
Quelle: A
Ziel: F
Daten
B nach C: IPv4
(enthält IPv6)
Quelle: B
Ziel: E
Flow: X
Quelle: A
Ziel: F
Daten
D nach E: IPv4
(enthält IPv6)
Flow: X
Quelle: A
Ziel: F
Daten
E nach F: IPv6