

5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)


5.7 Network Address Translation (NAT)


5.8 IPv6


5.9 Mobilitätsunterstützung

5.10 Zusammenfassung

Adressierung im Internet basiert auf der MAC Adresse, der IP Adresse und der Port-Nummer

- Ethernet II-Header (18 Bytes) /WiFi-Header (34 Bytes):
 - Source MAC Address: 6 Bytes
 - Destination MAC Address: 6 Bytes

von Host zu Host (lokal)
von Host zu Router
von Router zu Router
- IPv4/v6 Header (20/40 Bytes):
 - Source IPv4/IPv6 Address: 4 Bytes / 16 Bytes
 - Destination IPv4/IPv6 Address: 4 Bytes / 16 Bytes

von Host zu Host
(Ende-zu-Ende)
- TCP/UDP Header (20/8 Bytes):
 - Source Port: 2 Bytes
 - Destination Port: 2 Bytes

von Socket/Prozess zu Socket/Prozess
(Ende-zu-Ende)

Arten von Adressräumen

- flach: kein Zusammenhang zwischen Adresse und Topologie
- hierarchisch strukturiert:
 - Zusammenhang zwischen Topologie und Adresse
 - Teil der Adresse spezifiziert, wo in der Topologie sich die Adresse befindet

Beispiele allgemeiner Adressen

- strukturiert: Postanschrift, Postleitzahl, Telefonnummer, Straßen (USA)
- flach: Mobilfunknummer, Straßen (Europa)

Adressen im Internet

- strukturiert: IP Adresse (e.g., 128.112.7.156)
- flach: MAC (Medium Access Control) Adresse, physikalische Adresse (e.g., 00-15-C5-49-04-A9)

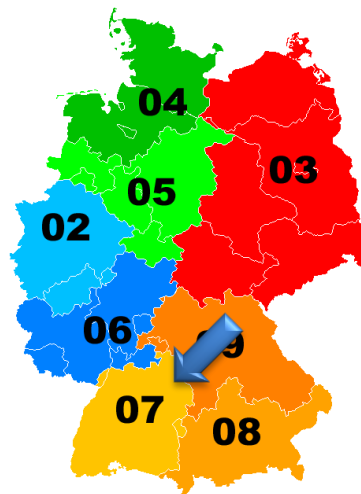
Strukturierte Adressen: Telefonnummer

- Telefonnummer: +49 7531 206 645
- Telefonnummer ist hierarchisch strukturiert, basierend auf dem Prefix kann ein Telefonanruf von Vermittlungsstelle zu Vermittlungsstelle durchgestellt werden.

+49



+49 7



+49 75

070x/071x – Stuttgart und Umgebung
072x – Karlsruhe und Umgebung
073x – Ulm und Umgebung
074x – Tübingen und Umgebung
075x – Oberschwaben/Bodensee
076x – Freiburg und Umgebung
077x – Südschwarzwald, westlicher Bodensee
078x – Offenburg und Nordschwarzwald
079x – Schwäbisch Hall und Umgebung



+49 7531

+49 7531 206

+49 7531 206 645

Telefon-Vermittlungsstelle

Manuell



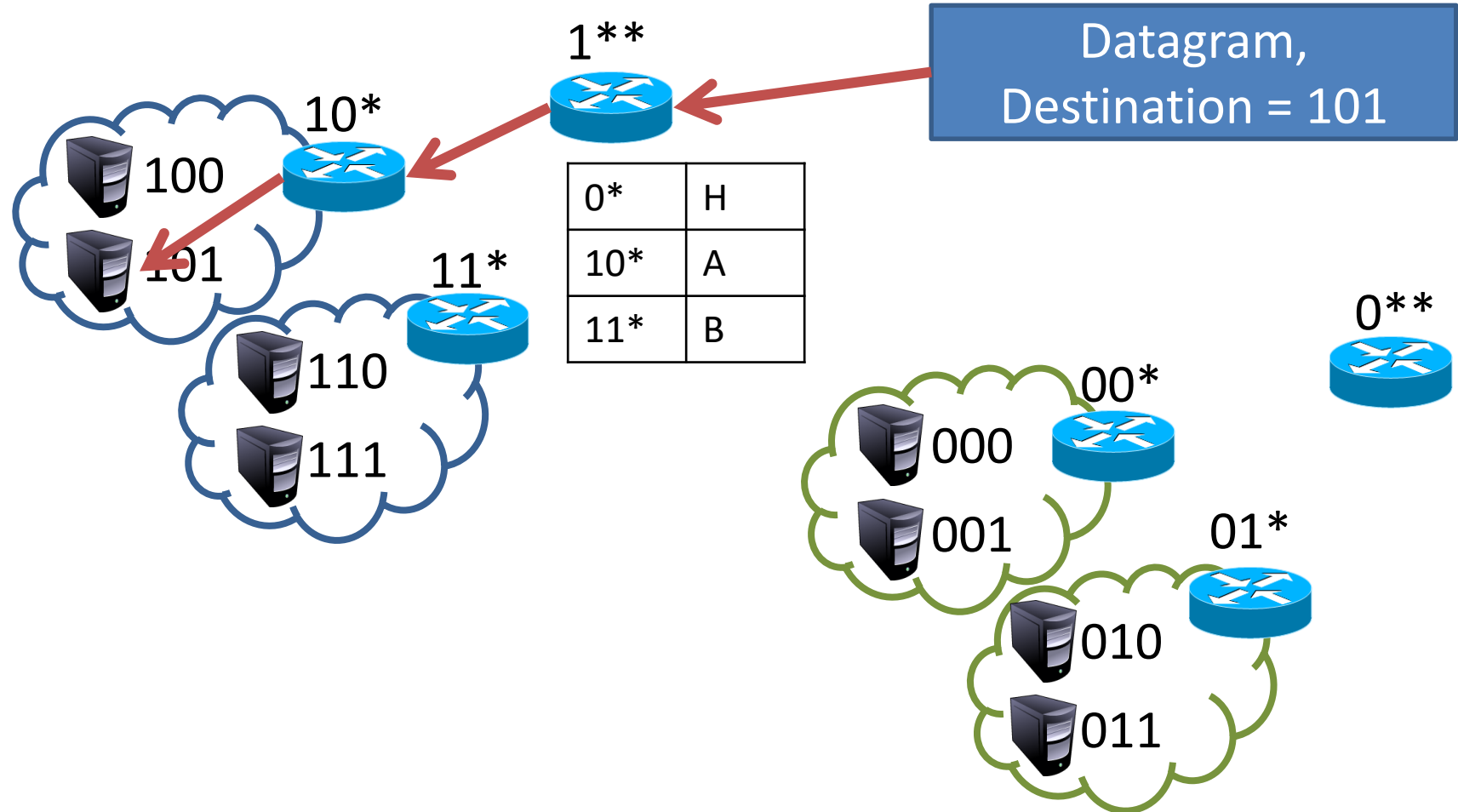
Automatisiert - Tonwahlverfahren



Quelle: Wikipedia

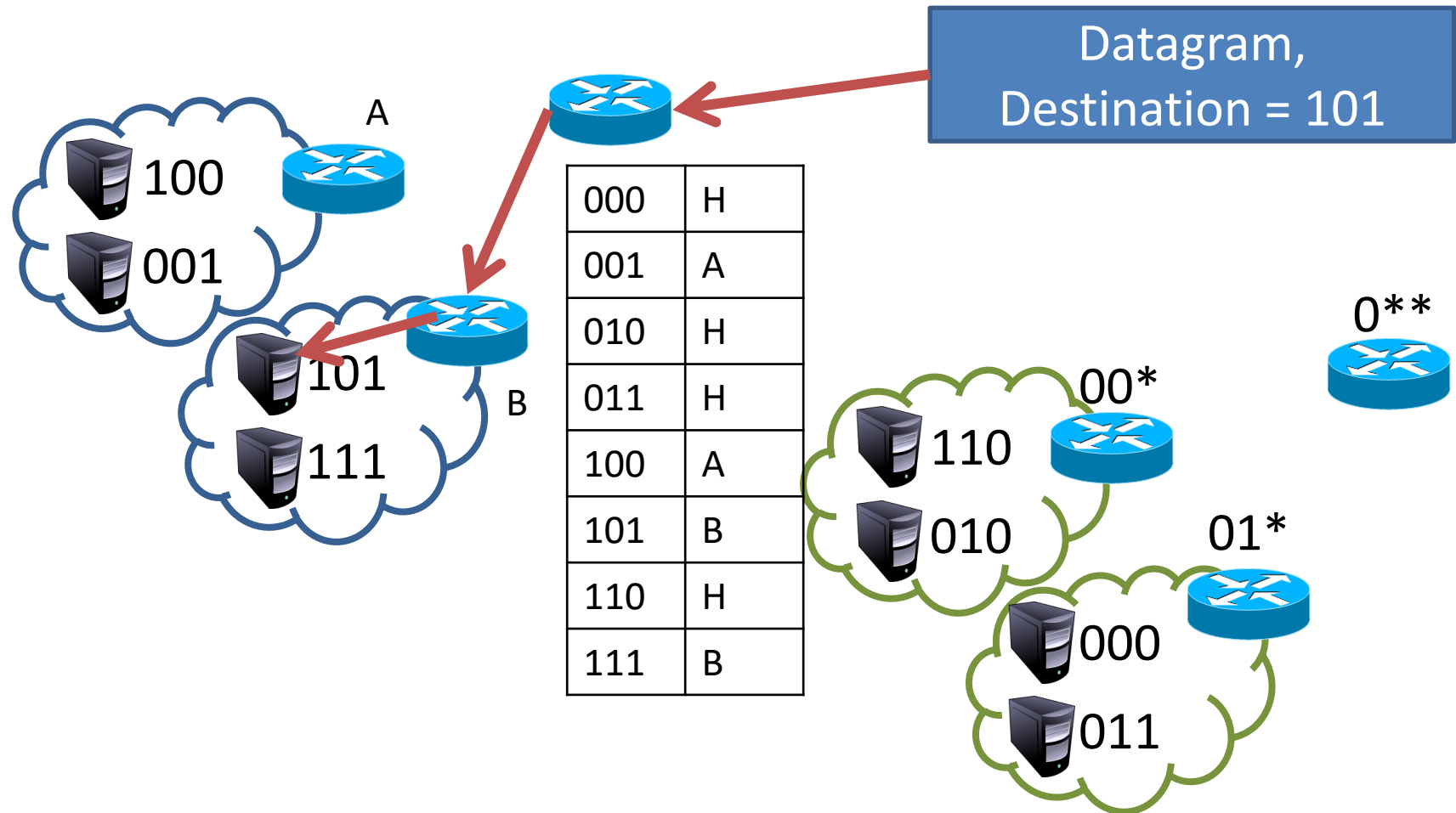
Binäre Hierarchie

Routing in einer binären Hierarchie ist sehr einfach: in der Routing-Tabelle stehen nur drei Einträge: links, rechts, nach oben



Flacher Adressraum

Routing mit flachem Adressraum skaliert schlecht. Router muss für jede Adresse einen Eintrag in der Routingtabelle halten.



5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

5.8 IPv6

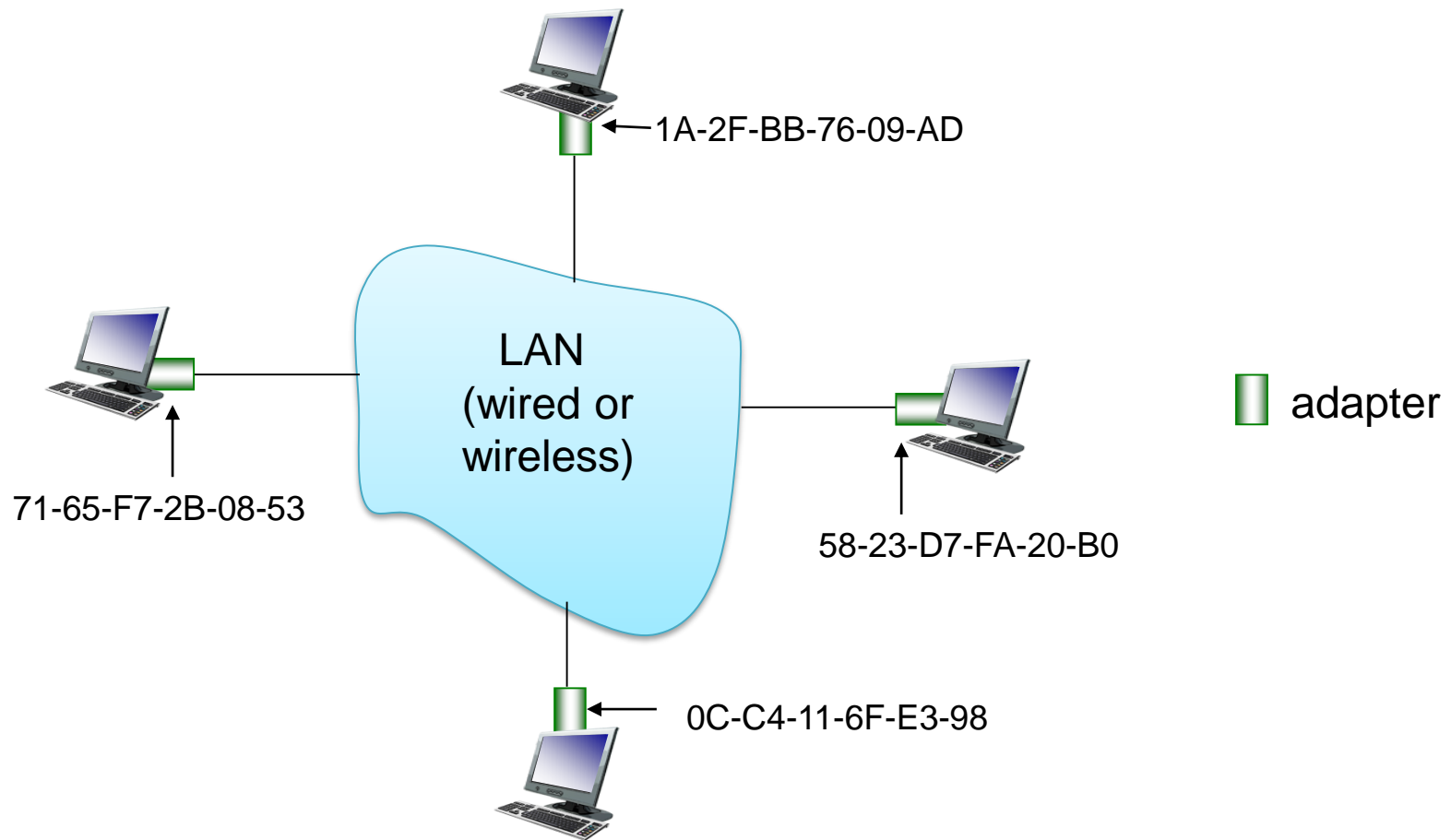
5.9 Mobilitätsunterstützung

5.10 Zusammenfassung

- Netzknoten werden in einem LAN über die **MAC Adresse** identifiziert
 - MAC (Medium Access Control) ist ein Sublayer von Schicht 2
 - spezifiziert vor allem die Koordination von Übertragungen auf einem **gemeinsam genutzten Übertragungsmedium**
 - dazu zählen auch die Adressen
- MAC Adressen
 - bestehen aus 6 Bytes=48 Bits
 - Hexadezimale Notation: **1A-23-F3-22-AB-92**
 - **Bytes 1-3** von IEEE an Hersteller vergeben
 - **Bytes 4-6** vom Hersteller für Netzwerkkarten vergeben
- MAC Adressen sind **nicht strukturiert**
 - Verwendung der gleichen MAC Adresse in allen LANs
 - Keine Konfiguration einer MAC Adresse bei Zutritt zu einem LAN
 - Verkehrslenkung muss flache Adresshierarchie mit **kontinuierlicher Veränderung** der MAC Adressen im Netz unterstützen

MAC Adressen

- Werden nicht für einen Rechner vergeben sondern für Netzwerkadapter
- Jeder Netzwerkadapter in einem LAN hat seine eigene MAC Adresse
- Die MAC Adresse bleibt immer gleich, sie ändert sich nicht, wenn der Knoten das Netz wechselt.



5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.3.1 Struktur

5.2.3.2 Adressbereiche mit Netzmasken

5.2.3.3 Subnetze

5.2.3.4 Netzwerksegmente

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

5.8 IPv6

5.9 Mobilitätsunterstützung

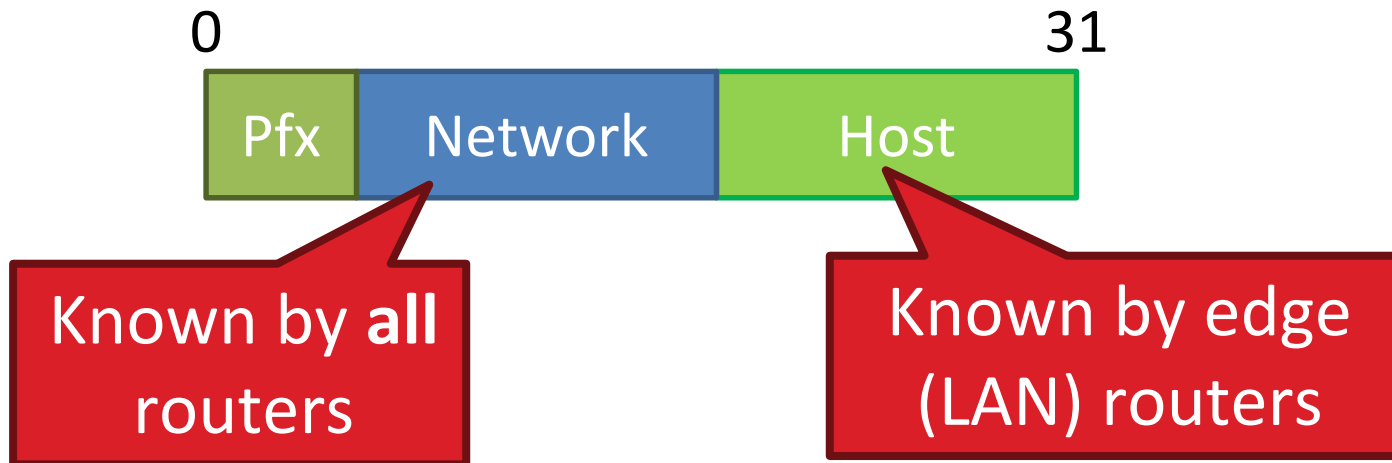
5.10 Zusammenfassung

- IPv4: 32-bit Adressen
 - übliche Notation (dezimal) : 192.168.21.76
 - jede Zahl ist ein Byte
 - als Big-Endians gespeichert

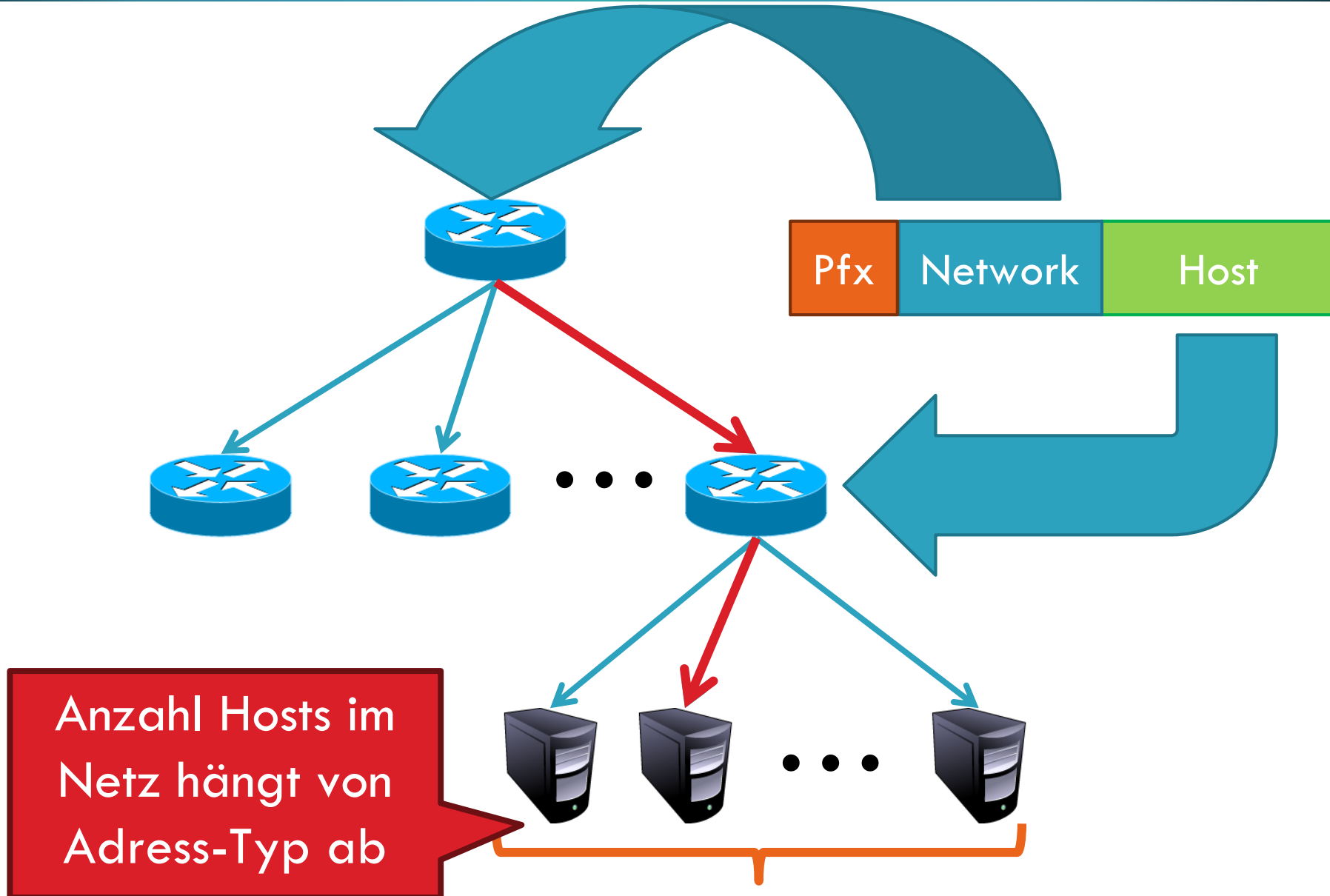
	0	8	16	24	31
Decimal	192	168	21	76	
Hex	C0	A8	15	4C	
Binary	11000000	10101000	00010101	01001100	

- IPv6: 128-bit Adressen
 - übliche Notation (hex): 2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7344

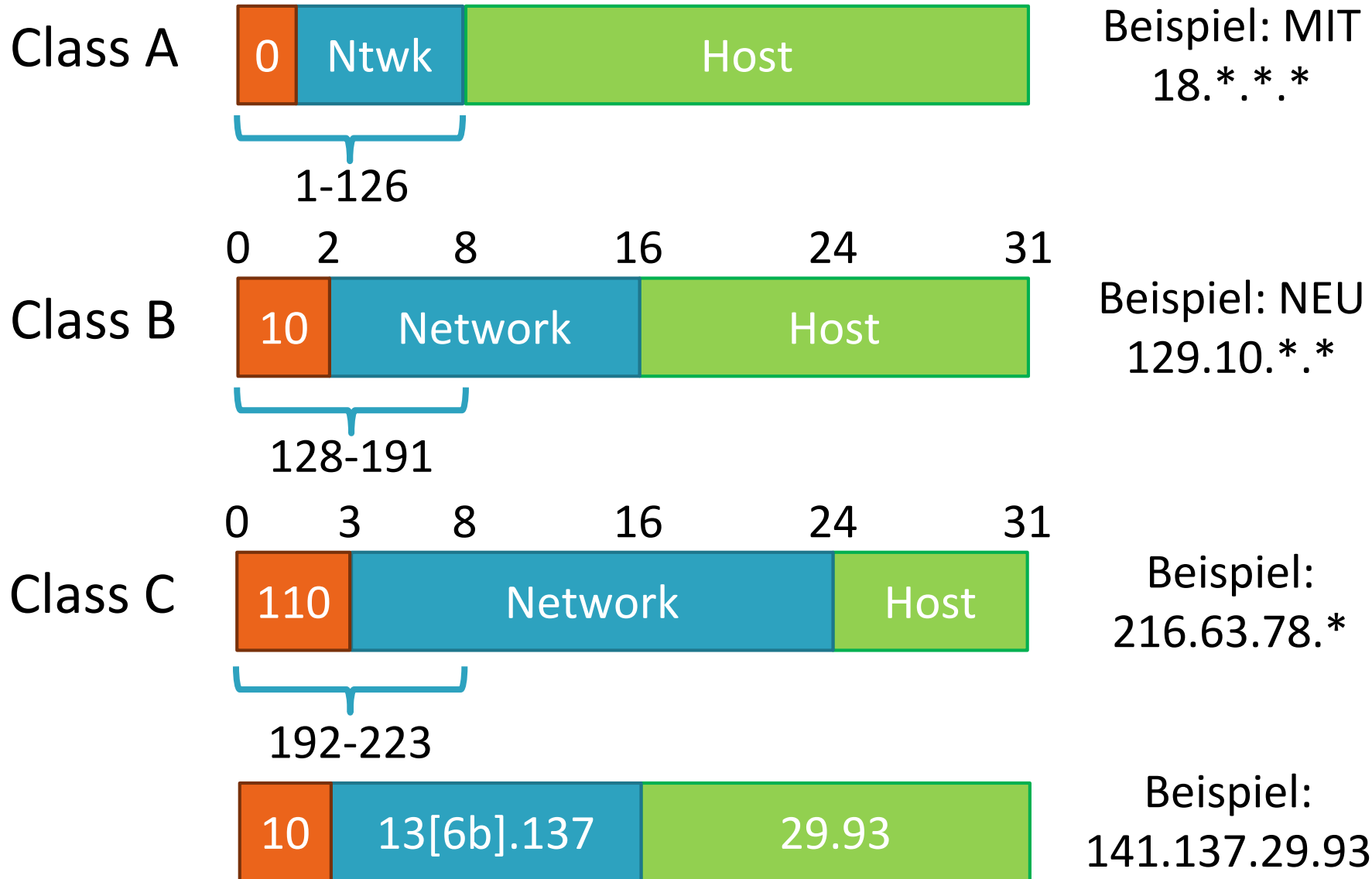
- Anforderungen an eine Routing Tabelle
 - muss für jede IP Adresse den nächsten Hop liefern
 - sehr viele Einträge:
 - Wie viele IPv4 Adressen? $2^{32}=4.3$ Milliarden
 - Wie viele IPv6 Adressen? $2^{128}=340$ Sextillionen
 - ein Eintrag pro IP Adresse skaliert nicht
- Hierarchisches Adress-Struktur
 - IP Adresse enthält Netzwerk-Adresse und Host-Adresse im Netzwerk



Hierarchie mit zwei Stufen



Klassen von IP Adressen / Netzen (historisch)



Woher kommen IP Adressen?

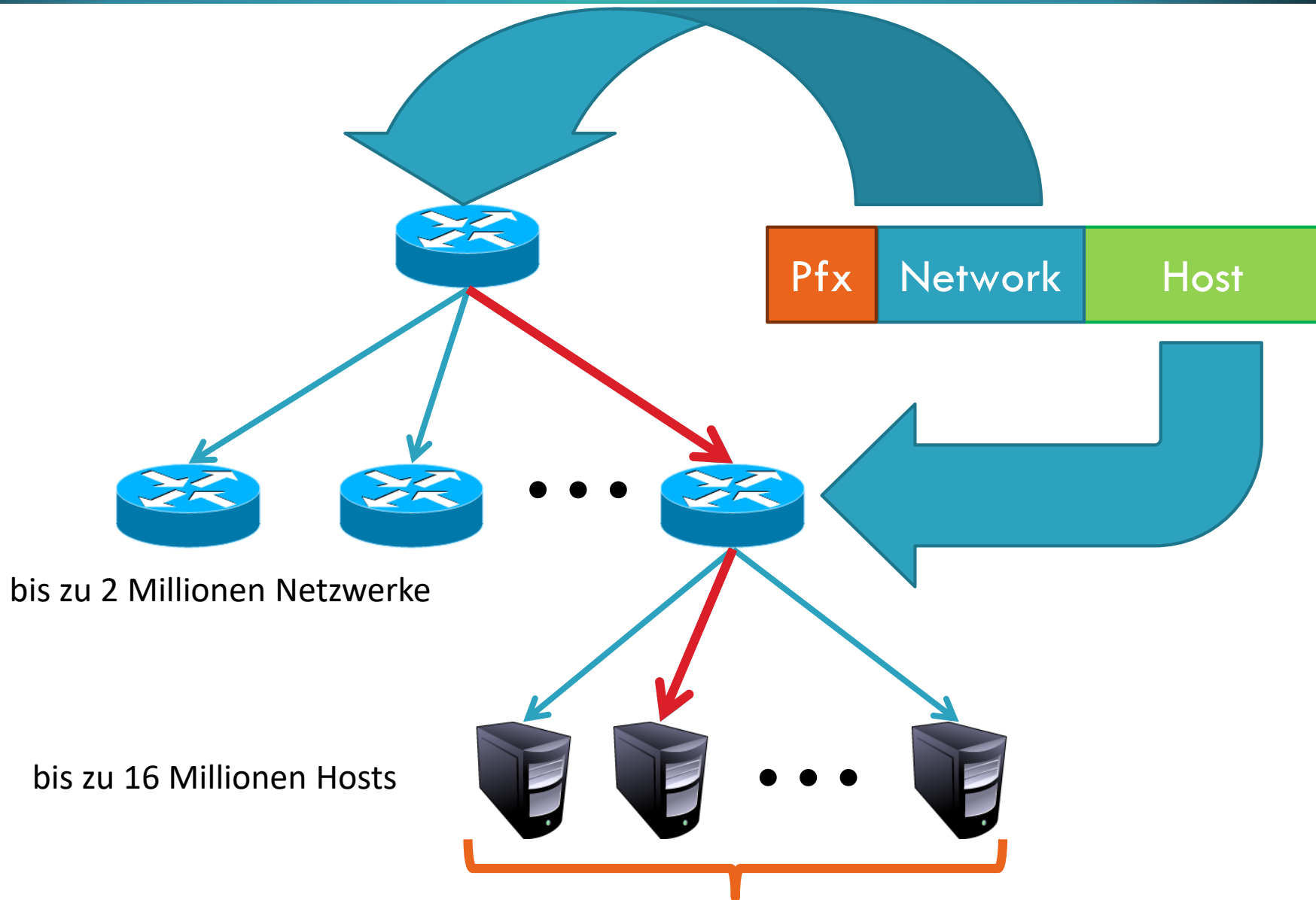
- Vergabe von IP Adressen kontrolliert durch die



Internet Assigned Numbers Authority

- Internet Assigned Number Authority
 - Ursprünge 1972, ARPANET, UCLA
 - heute Teil von ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*)
-
- IANA vergibt IP-Netzwerk-Präfixe an Unternehmen und Organisationen
 - danach können Router installiert werden, die den Weg in diese Netz weisen

Granularität mit historischen Netzwerkklassen passt nicht



Adress-Typen und resultierende Netze

- Unzureichende Anzahl von Netzen und Hosts pro Netz nach klassischer Aufteilung in Netzklassen
 - Unterteilung von Netzen in **Subnetze** (→ Intra-Domain-Routing)
 - Flexibel skalierbare Netzgrößen mit **CIDR** (→ Inter-Domain-Routing)
 - CIDR=Classless Inter-Domain Routing

Class	Prefix	Network	Number of Classes	Hosts per Class
A	1	7	$2^7 - 2^1 = 126$	$2^{24} - 2^1 = 16,777,214$
B	2	14	$2^{14} = 16,398$	$2^{16} - 2^1 = 65,534$
C	3	21	$2^{21} = 2,097,512$	$2^8 - 2^1 = 254$
			Total: 2,114,036	

viel zu viele

zu viele

zu viele Netze
(siehe Inter-Domain-routing)

zu wenige

¹⁾ (0 and 127 are reserved)

5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.3.1 Struktur

5.2.3.2 Adressbereiche mit Netzmasken

5.2.3.3 Subnetze

5.2.3.4 Netzwerksegmente

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

5.8 IPv6

5.9 Mobilitätsunterstützung

5.10 Zusammenfassung

- Problem:
 - die Einteilung in Class A, Class B und Class C Netze ist zu grob → CIDR
 - innerhalb eines Netzes wird eine weitere hierarchische Struktur d.h. in Aufteilung in zusammenhängende Adressbereiche mit gleichem Präfix benötigt → Subnetze, Subnetzmaske und Netzwerksegmente
- Lösung:
 - Adressbereich: alle Adressen mit gleichem Präfix beliebiger Länge
 - Definition eines Adressbereichs durch IP Adresse und Netzwerkmaske
 - Netzwerkmaske:
 - besteht aus 32 Bit mit führenden 1en
 - Anzahl führender 1en spezifiziert Größe des Adressbereichs
 - Schreibweisen (für 20 führende 1en):
 - in Form einer IP Adresse: 255.255.240.0
 - in kompakter Form als $/n$ geschrieben mit n der Anzahl führender 1en: /20

Beispiel

- Adressbereich 141.37.0.0-141.37.15.0
 - festgelegt durch irgendeine Adresse aus dem Adressbereich
 - hier wird meist die kleinste Adresse verwendet
 - durch die Netzmaske: 255.255.240.0 bzw. /20
 - Beispiele:
 - 141.37.0.0 mit 255.255.240.0 (in Routingtabellen)
 - 141.37.0.0/20 (für Netzwerksegmente)
 - 141.37.7.23 mit 255.255.240.0 (für eigenes Netzwerksegment)
- Einträge (Bytes) in Netzmaske in IP Schreibweise

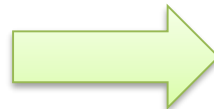
Anzahl 1en	Dezimal	Binär	Anzahl 1en	Dezimal	Binär
0	0	0000 0000	5	248	1111 1000
1	128	1000 0000	6	252	1111 1100
2	192	1100 0000	7	254	1111 1110
3	224	1110 0000	8	255	1111 1111
4	240	1111 0000			

Adressbereiche

- Die Größe des Adressbereichs ist $2^{32-PräfixBits}$
- Die kleinste Adresse eines Adressbereichs ist immer ein Vielfaches der Größe des Adressbereiches
 - das gilt konsequenterweise auch für jedes Byte einzeln betrachtet
- Beispiel: Adressbereich 141.37.168.6-9
 - Feststellungen:
 - kleinste Adresse (2) ist kein Vielfaches der Größe (4)
 - Präfix für Größe 4 hat eine Länge von 30 Bits
 - Betrachten Präfixe (nur des letzten Bytes)

Dezimal	Binär
6	0000 0110
7	0000 0111
8	0000 1000
9	0000 1001

mögliche
Adressbereiche



141.37.168.4-7 (Präfix 0000 01)
 141.37.168.8-11 (Präfix 0000 10)
 141.37.168.0-7 (Präfix 0000 0)
 141.37.168.8-15 (Präfix 0000 1)
 141.37.168.0-15 (Präfix 0000)

- Finde Subnetzmasken zu folgenden Adressbereichen:
 - 141.37.168.0-141.37.168.63
 - 141.37.40.0-141.37.47.255
 - 141.96.0.0-141.97.127.255
 - 141.96.0.0-141.127.255.255
 - 141.96.0.0-141.96.255.255
- Welche Adressen liegen in den folgenden Adressbereichen
 - 141.37.168.43/14
 - 141.37.168.0 mit 255.255.255.224
 - 141.37.0.0/18
 - 141.37.24.35 mit 255.255.248.0
- Tipp zu Netzmasken in IP Schreibweisen:
 - Die Anzahl „Adressen pro Byte“ ist immer 256 – Byte in Netzmaske
 - 255.255.255.240 ➔ $256 - 240 = 16$ Adressen
 - 255.255.224.0 ➔ $256 - 224 = 32$ (x 256 ergibt Adressen)

- Finde Subnetzmasken zu folgenden Adressbereichen:
 - 141.37.168.0-141.37.168.63 → 141.37.168.0/26 (255.255.255.192)
 - 141.37.40.0-141.37.47.255 → 141.37.40.0/21 (255.255.248.0)
 - 141.96.0.0-141.97.127.255 → geht nicht
 - 141.96.0.0-141.96.255.255 → 141.96.0.0/16 (255.255.0.0)
 - 141.96.0.0-141.98.255.255 → geht nicht
 - 141.96.0.0-141.127.255.255 → 141.96.0.0/11 (255.224.0.0)
 - 141.97.127.255-141.97.127.255 → 141.97.127.255/32 (255.255.255.255)
- Welche Adressen liegen in den folgenden Adressbereichen
 - 141.37.168.0 mit 255.255.255.224 → 141.37.168.0-141.37.168.31
 - 141.37.0.0/18 → 141.37.0.0-141.37.63.255
 - 141.37.24.35 mit 255.255.248.0 → 141.37.24.0-141.37.31.255
 - 141.37.168.43/14 → 141.36.0.0-141.39.255.255
 - 141.37.168.43 mit 255.255.255.240 → 141.37.168.32-141.37.168.47
- Abkürzende Schreibweise:
 - 141.36.0.0-141.39.255.255 → 141.36-39.*.*

5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.3.1 Struktur

5.2.3.2 Adressbereiche mit Netzmasken

5.2.3.3 Subnetze

5.2.3.4 Netzwerksegmente

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

5.8 IPv6

5.9 Mobilitätsunterstützung

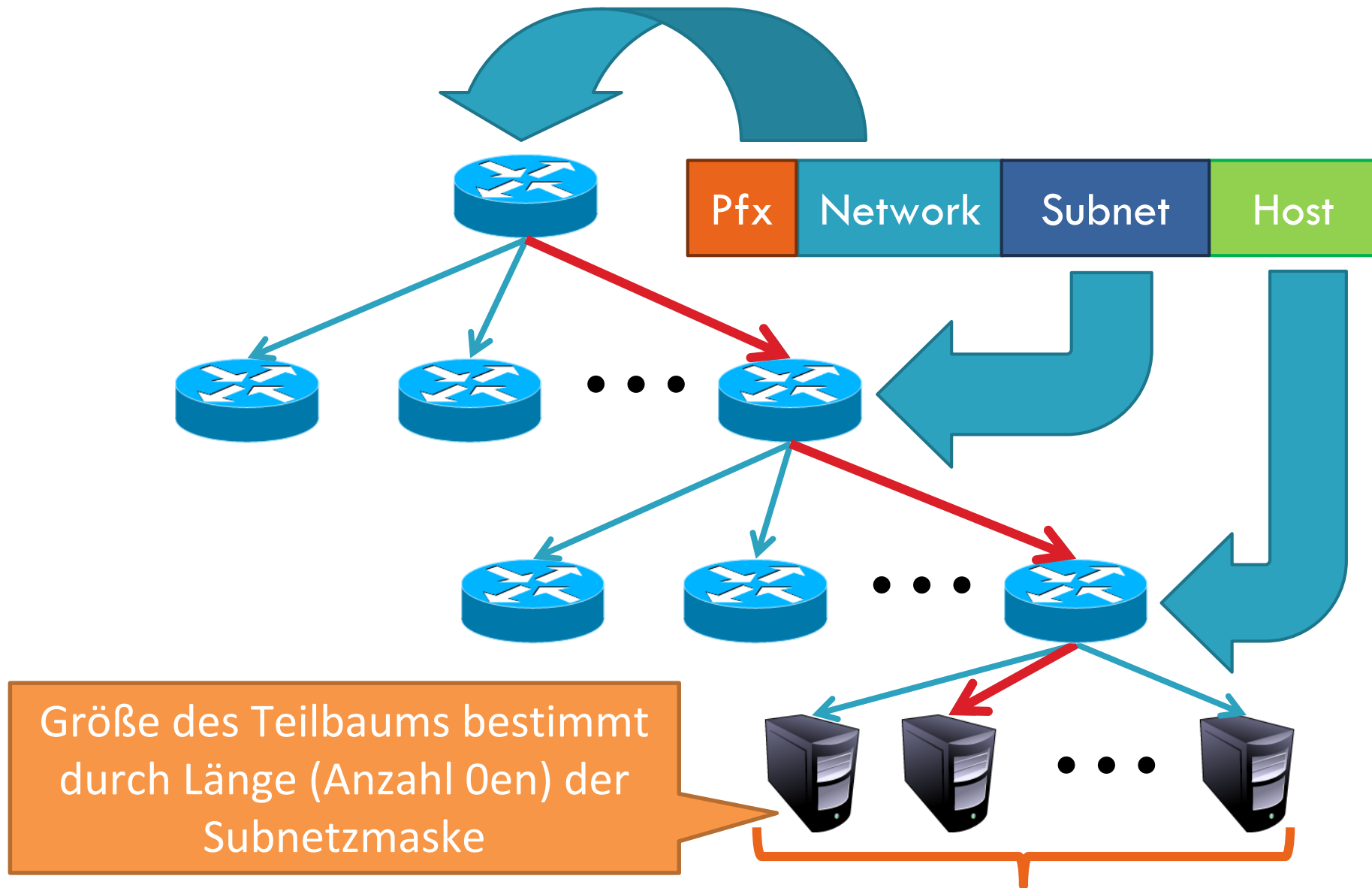
5.10 Zusammenfassung

- Problem: Class A und B Netze sind zu groß für flachen Adressraum
 - zu viele Hosts, zu große Routing-Tabellen
- Lösung:
 - **hierarchisch strukturierter Adressraum** innerhalb eines Netzes (AS)
 - Aufteilen des Adressraums in kleinere Adressräume (Subnetze) durch Verwendung einer **Subnetzmaske**



- Betrieb mehrere Router innerhalb des Netzes, die jeweils für einen Teil des Adressraums zuständig sind
- Sicht von außen:
 - ein Netz, ein Eintrag in globale (inter-domain) Routing-Tabellen
- Interne Sicht:
 - Eintrag in Routingtabelle der internen (intra-domain) Router ist ein Subnetz (später mehr zu Routingtabellen)

Hierarchische Strukturierung von Subnetzen



Hierarchische Strukturierung von Subnetzen



Pfx

Network

Subnet

Host

- Baum hat keine feste Tiefe
- Verzweigung durch spezifischere Subnetzmasken (spezifischer=mehr 1en)



...



Größe des Teilbaums bestimmt
durch Länge (Anzahl 0en) der
Subnetzmaske



...



5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.3.1 Struktur

5.2.3.2 Adressbereiche mit Netzmasken

5.2.3.3 Subnetze

5.2.3.4 Netzwerksegmente

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

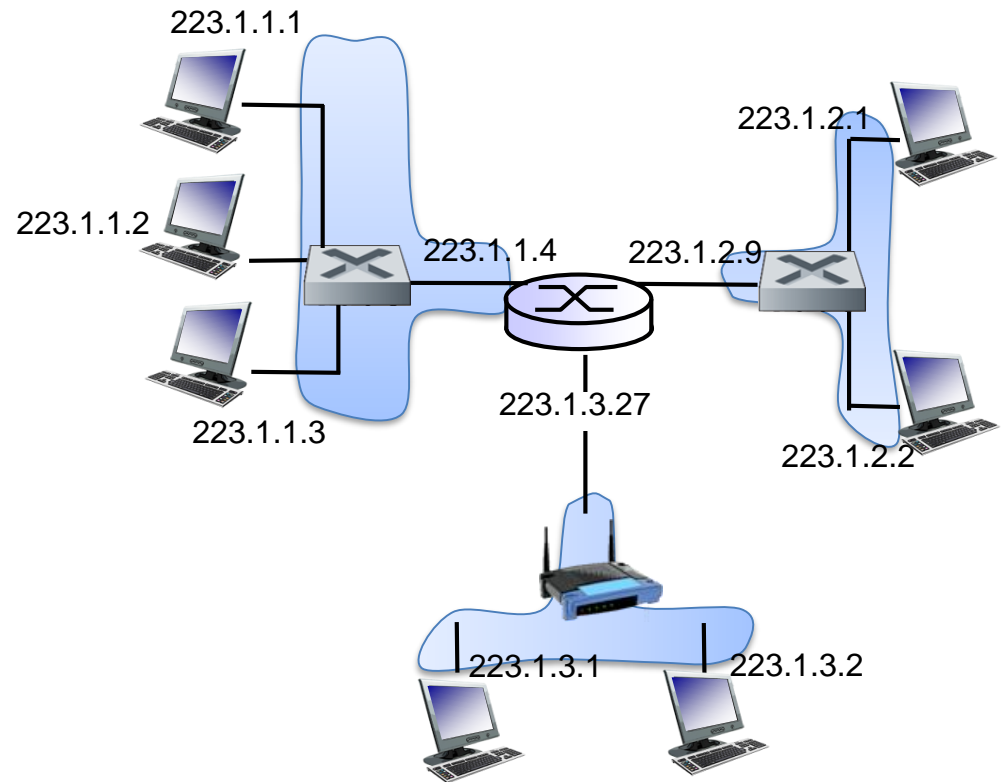
5.8 IPv6

5.9 Mobilitätsunterstützung

5.10 Zusammenfassung

IP Adressen eines Routers

- Ein Router hat mehrere Interfaces (Netzwerkadapter, Port)
 - Interface ist die Verbindung von Host/Router mit physikalischem Link
- Ein Router hat eine IP Adresse pro Interface (Port)
 - IP-Adressen der Interfaces eines Routers gehören normalerweise zu unterschiedlichen Netzsegmenten
- Netzwerksegmente sind die atomaren Bausteine eines Netzes
- Alle Knoten eines Netzwerksegments können sich gegenseitig direkt erreichen (über die MAC Adresse, ohne Router)



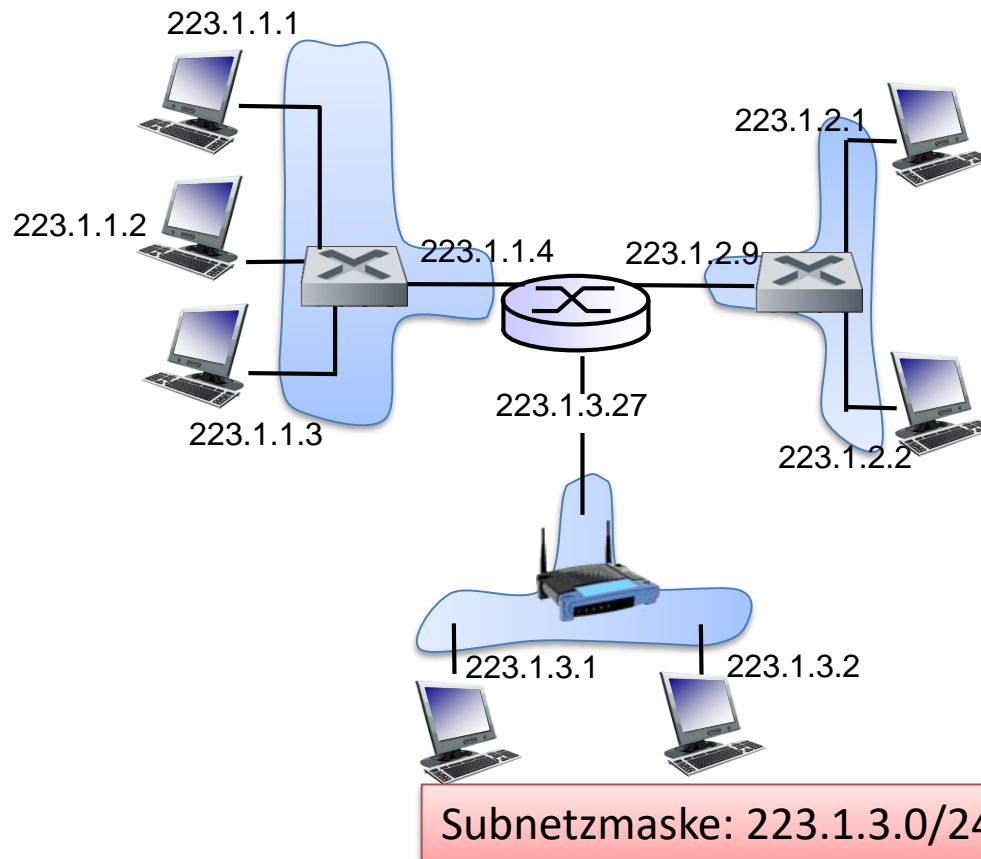
Netzwerksegment:

- Teil des Netzes, in dem alle Rechner (Netzwerkadapter) und Router sich gegenseitig über die MAC Adresse erreichen können
- alle IP Adressen im Netzwerksegment gehören zu einem Subnetz
 - Netzwerksegmente sind die kleinsten Subnetze
 - IP-Adresse und Subnetzmaske eines Rechners (einer Netzwerkkarte) bestimmen das Netzwerksegment des Rechners (der Netzwerkkarte)
 - erste IP-Adresse (Hostteil nur 0en) im Subnetz dient als Netzwerkadresse
 - letzte IP-Adresse (Hostteil nur 1en) im Subnetz dient als Broadcastadresse
- Netzwerksegmente werden durch Router verbunden
 - ein oder mehrere Router befinden sich "am Rand" eines Netzwerksegments
 - jedes VLAN ist ebenfalls ein eigenes Netzwerksegment
- Zuweisung von IP-Adressen zu Netzsegmenten sollte Aggregation von Netzsegmenten zu Subnetzen bzgl. der Einträge in Routingtabellen berücksichtigen

Beispiel 1: Netzwerksegmente und deren Subnetzmasken

Subnetzmaske: 223.1.1.0/24

Subnetzmaske: 223.1.2.0/24

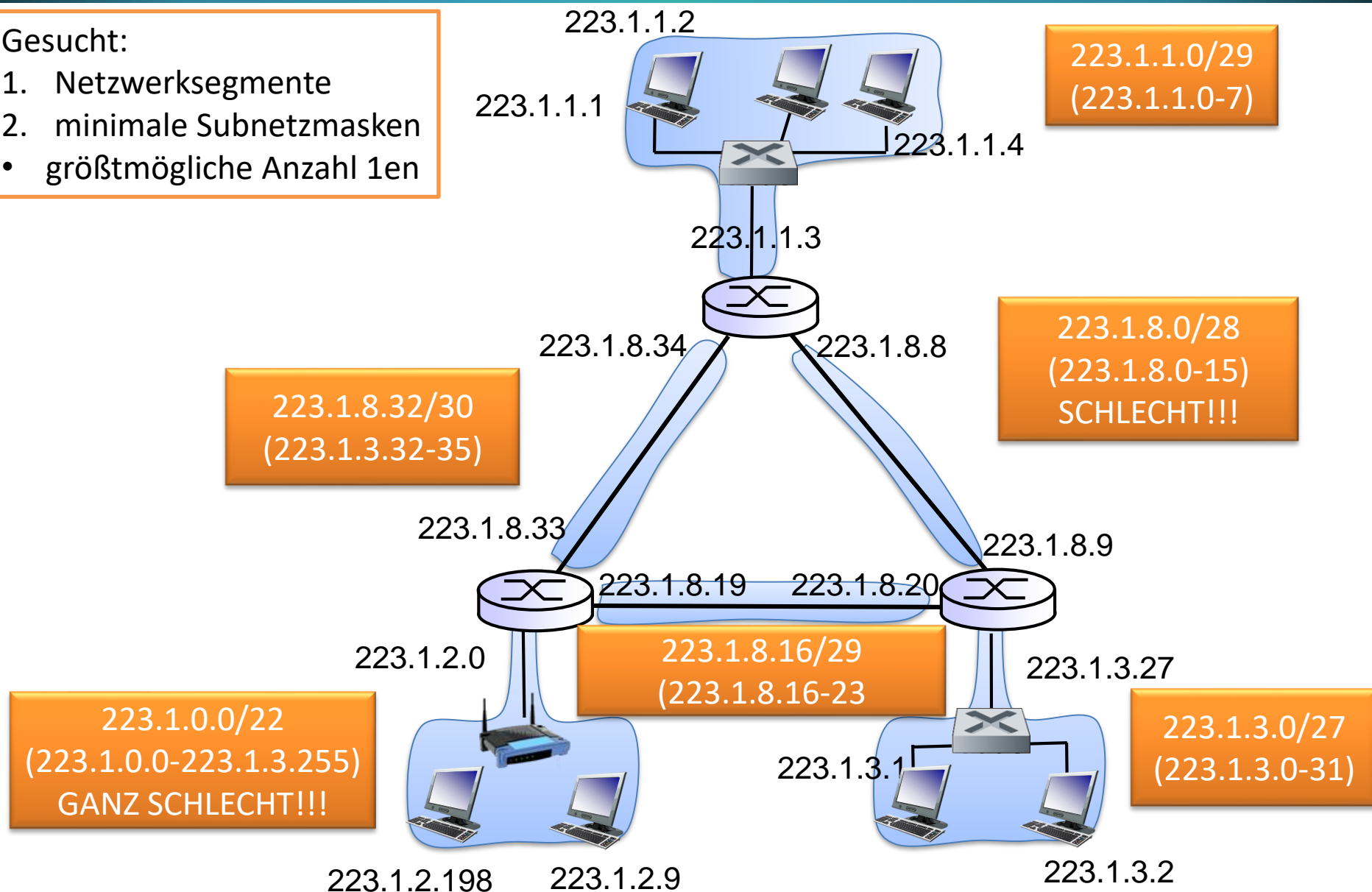


Subnetzmaske: 223.1.3.0/24

Beispiel 2: Netzwerksegmente und deren Subnetzmasken

Gesucht:

1. Netzwerksegmente
 2. minimale Subnetzmasken
- größtmögliche Anzahl 1en



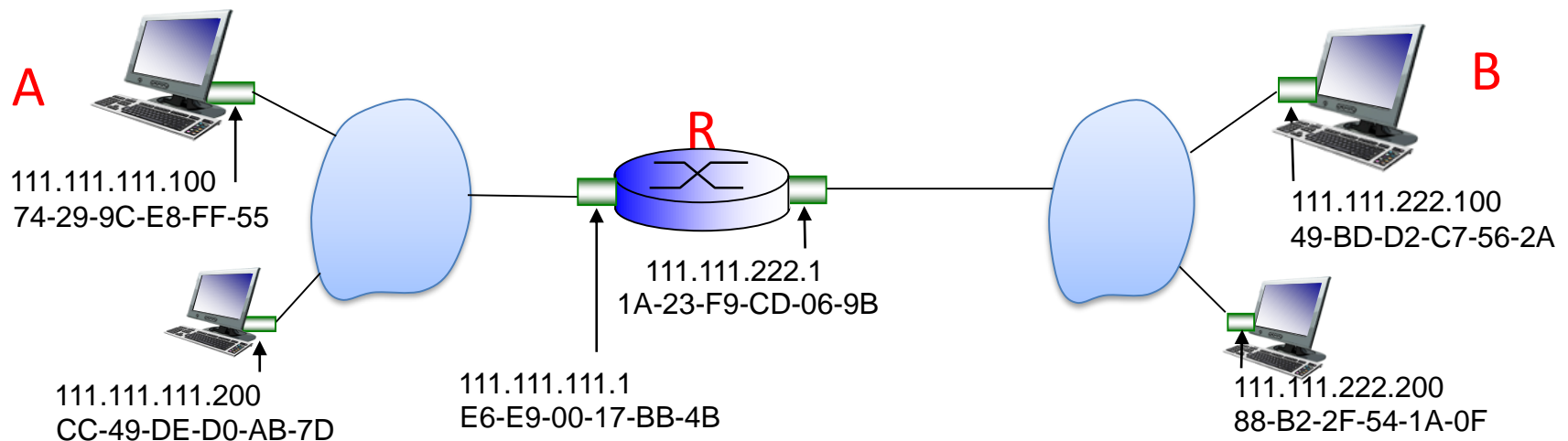
Router verbindet zwei Netzwerksegment (LANs)

Walkthrough:

- Übertragung eines Datagramms von Host A in Netzwerksegment 1 zu Host B in Netzwerksegment 2
- Router R verbindet die beiden Netzwerksegmente

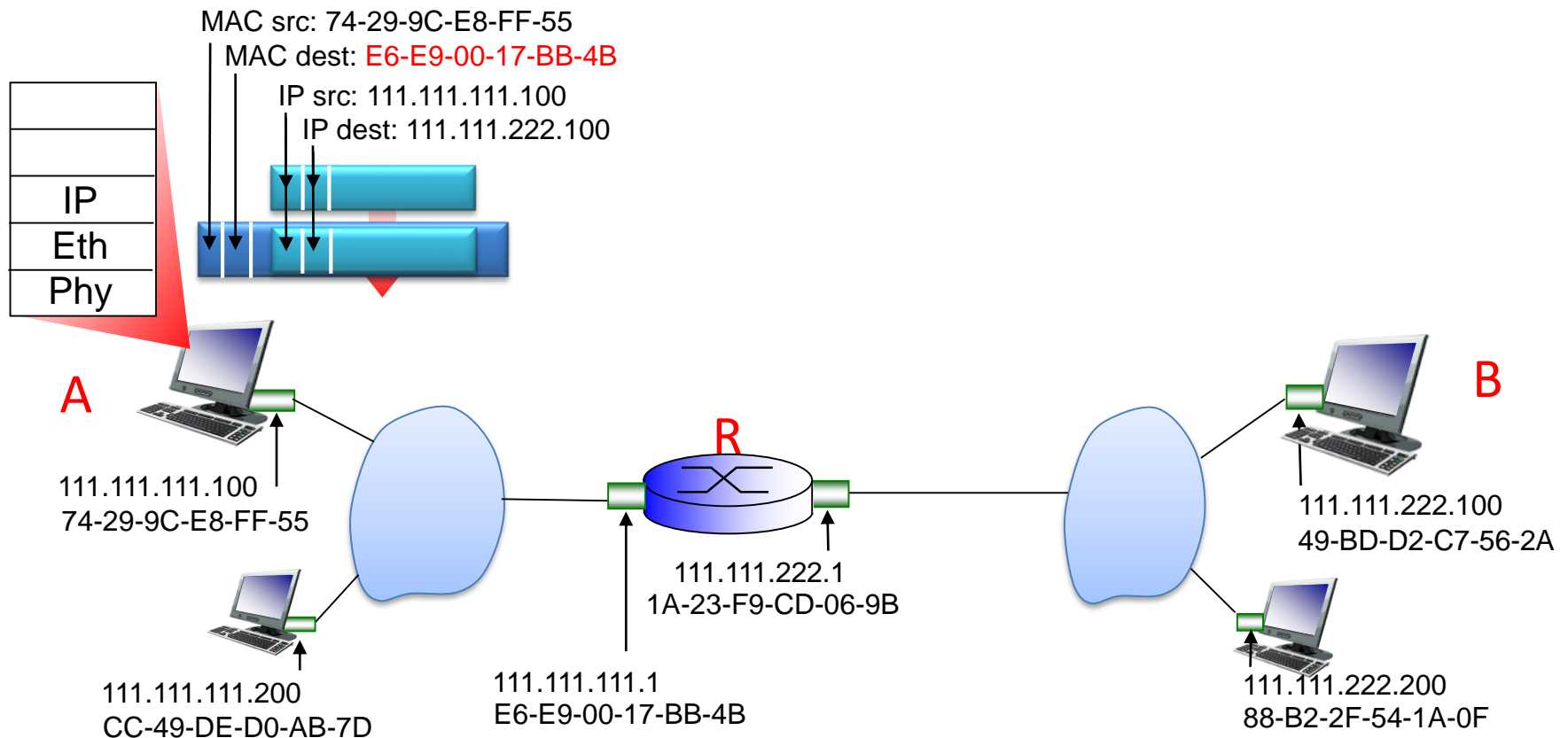
Netzwerksegment 1:
111.111.111.0/24

Netzwerksegment 2:
111.111.222.0/24



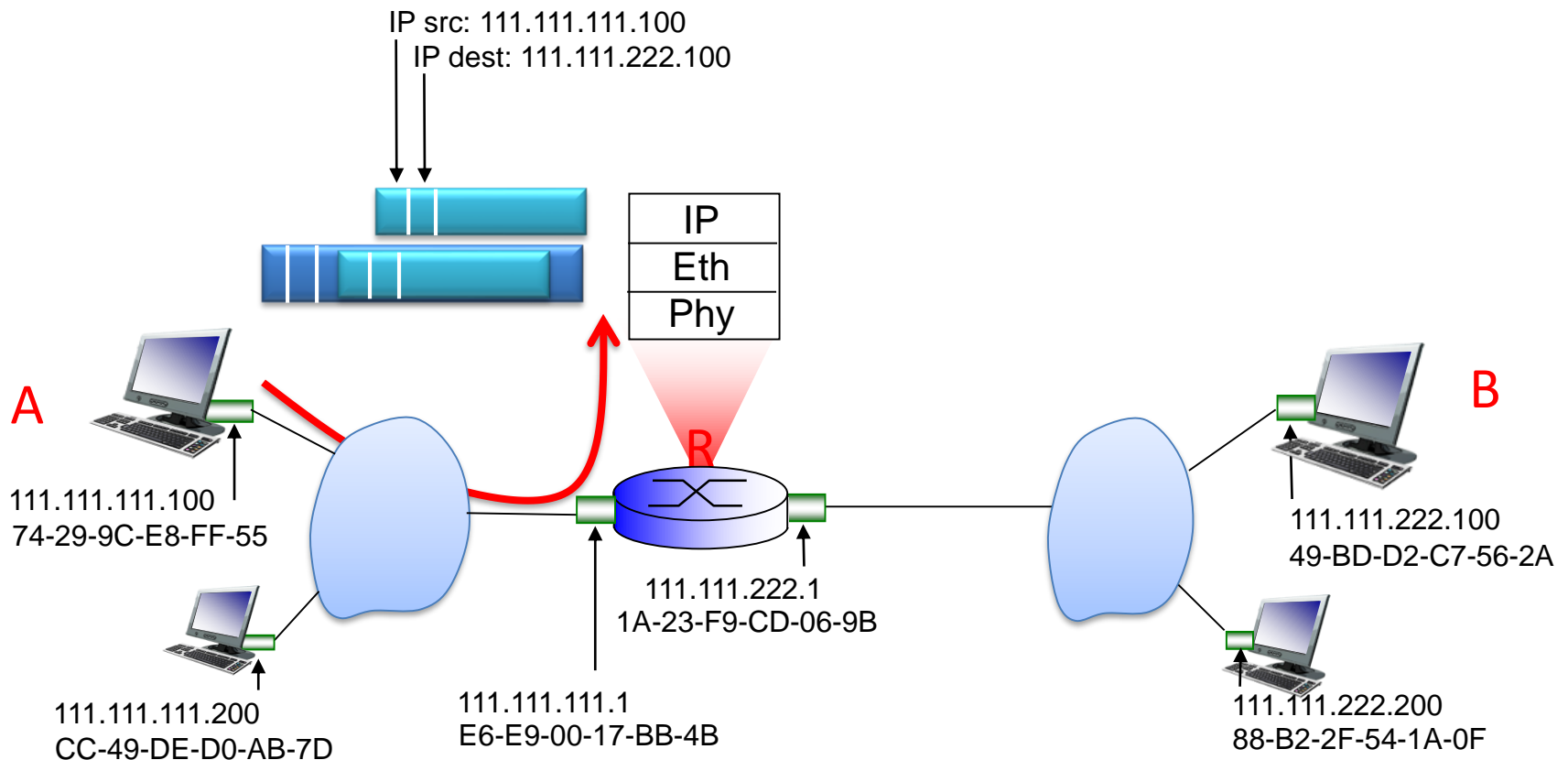
Router verbindet zwei LANs

- A erstellt IP Datagramm mit Ziel B
- A packt IP Datagramm in Ethernet-Frame mit MAC-Adresse von R als Ziel ein



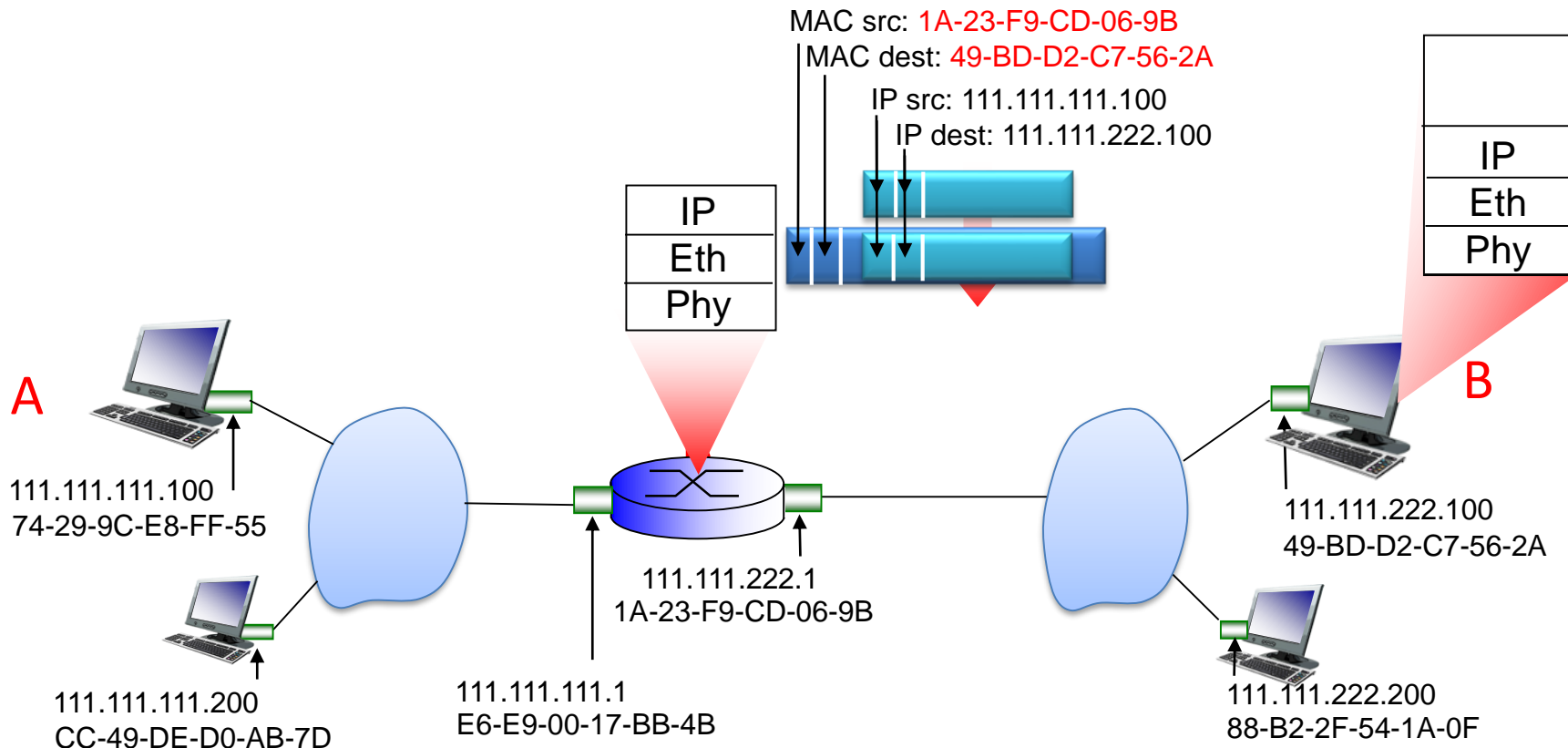
Router verbindet zwei LANs

- A schickt Ethernet-Frame an R
- R packet IP Paket aus Ethernet-Frame aus



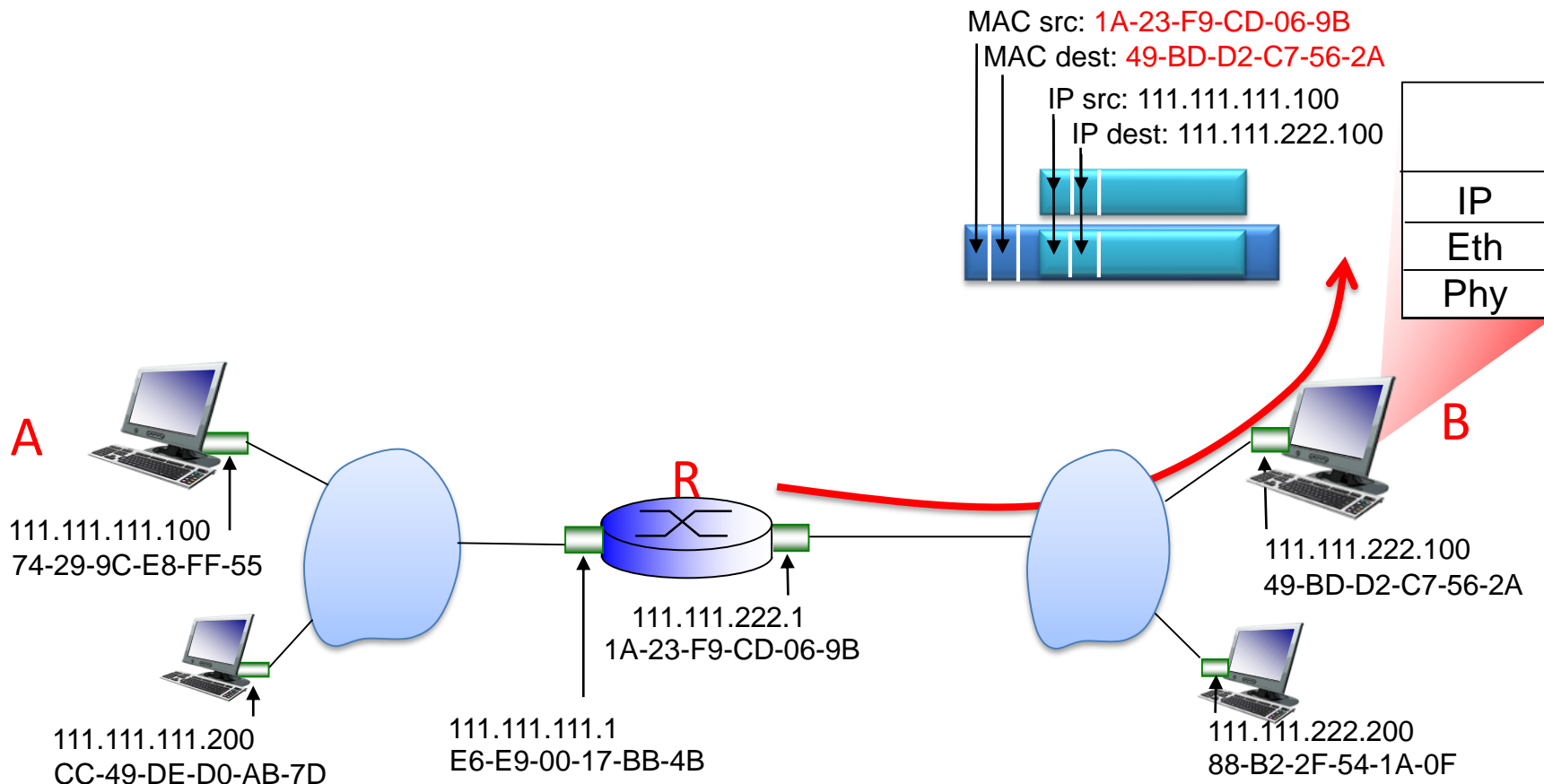
Router verbindet zwei LANs

- R schickt das IP Paket an B weiter (Routingtabelle)
- R packt das IP Paket in einen Ethernet-Frame mit MAC-Adresse von B als Ziel ein



Router verbindet zwei LANs

- B empfängt den Ethernet-Frame
- B packt das IP-Paket aus dem Ethernet-Frame aus



Ziele der Netzwerksegmentierung

- Verkehrsoptimierung: Einschränkung von LAN-Broadcasts z.B. von ARP-Paketen
 - siehe ARP und Ethernet
- Netzwerkmanagement:
 - einfachere Vergabe von Netzadressen und Fehlerdiagnose
 - z.B. Betrieb eines DHCP Servers pro Netzwerksegment
- Sicherheit:
 - Vermeiden der unmittelbaren Erreichbarkeit von Geräten über die MAC-Adresse. Netzwerksegmente sind durch Router evtl. mit Firewall getrennt
 - Angriffsvektoren innerhalb eines Netzwerksegments über ARP Spoofing, DHCP Spoofing, etc. werden vermieden
 - Über einen Router können Regeln implementiert werden, welche Rechner/Ports in Netzsegment A mit welchen Rechnern in Netzsegment B kommunizieren können
 - Separieren von Netzen mit unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen
 - Separieren eines Gäste WLANs als eigenes VLAN
 - Separieren von Netzwerksegmenten für Professoren, Studierende und Administration
 - Separieren einzelner Rechner z.B. in eduRoam
- Netzwerksegmente sind oft nicht räumlich sondern organisatorisch zusammengehörig und werden daher häufig über VLANs (siehe Ethernet) realisiert

5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

5.8 IPv6

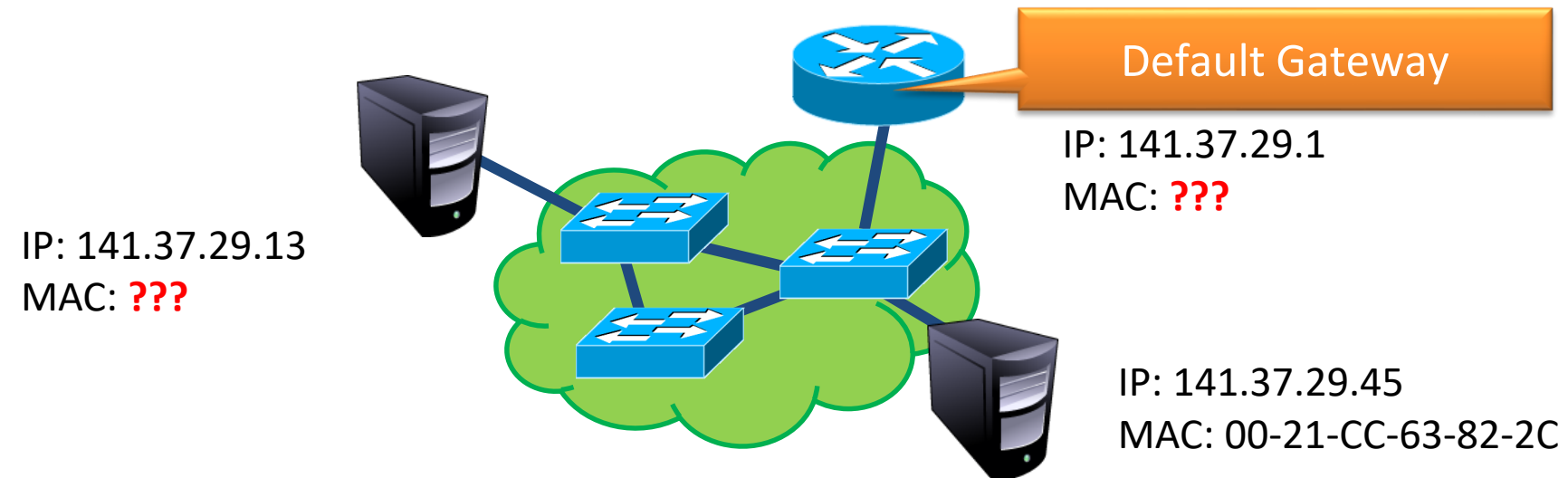
5.9 Mobilitätsunterstützung

5.10 Zusammenfassung

- Verkehrslenkung innerhalb eines Netzwerksegments (VLANs) erfolgt auf Schicht 2 (z.B. Ethernet oder WLAN) über die MAC Adresse
 - Zugehörigkeit einer Ziel-IP-Adresse zum eigenen Netzwerksegment erfolgt über eigene IP-Adresse und eigene Subnetzmaske
- Verkehrslenkung zu Zielen außerhalb des eigenen Netzwerksegments erfolgt über die IP Adresse
 - Ziel der Übertragung innerhalb des Netzwerksegments ist der Router, der als Default-Gateway konfiguriert ist
 - dieser wird wiederum über seine MAC Adresse erreicht
- Über die Netzwerkmaske kann einer Rechner bestimmt, ob ein Ziel innerhalb oder außerhalb seines Netzwerksegments liegt

Aufgabe von ARP

- Problem:
 - Übertragung zu einer IP Adresse mit unbekannter MAC Adresse
 - Konfiguration im Netz und Einträge in Routingtabellen über IP Adresse nicht über MAC Adresse → DHCP
 - Übertragungen im eigenen Netzwerksegment erfordern aber die Ziel-MAC-Adresse
- Lösung
 - Ermittlung der MAC-Adresse zu einer IP-Adresse im eigenen Netzwerksegment über das Adress-Resolution Protocol (ARP)



- A möchte ein Paket an B schicken, die MAC-Adresse von B ist nicht in der ARP-Tabelle von A
- A schickt eine ARP-Query als Broadcast-Frame mit der IP-Adresse von B als Query
 - Empfänger-MAC-Adresse:
FF-FF-FF-FF-FF-FF (broadcast)
 - alle Systeme im LAN erhalten diese Anfrage
- Switch leitet ARP Querys auf allen Ports (des VLANs) weiter
 - Switches verbreiten ARP Querys im ganzen Subnetz
 - mit ARP werden alle lokalen IP Adressen (lokal heißt aus dem gleichen Subnetz) aufgelöst. Jeder Rechner im Subnetz muss die ARP Querys empfangen.
- B empfängt die ARP-Query, erkennt seine IP-Adresse und antwortet A mit seiner eigenen MAC-Adresse
 - Empfänger-MAC-Adresse = MAC-Adresse von A
- ARP ist eines der Probleme in großen LANs (IP-Subnetzen), in dem die Rechner viel intern kommunizieren und zahlreiche lokale Adressen auflösen müssen

ARP Query

*LAN-Verbindung [Wireshark 1.12.1 (v1.12.1-0-g01b65bf from master-1.12)]

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Tools Internals Help

Filter: arp Expression... Clear Apply Save

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6284	246.530849000	72:dd:d9:7c:59:c3	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.28.254? Tell 141.37.31.226
6291	249.559135000	4a:0c:8d:2b:85:61	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.31.55? Tell 141.37.31.227
6308	249.689653000	ca:57:ee:08:bb:48	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.28.254? Tell 141.37.29.140
6383	250.906950000	Flextron_63:82:2c	Broadcast	ARP	42	who has 141.37.29.1? Tell 141.37.29.93
6384	250.907209000	Hewlett-_e4:dc:47	Flextron_63:82:2c	ARP	60	141.37.29.1 is at 00:19:bb:e4:dc:47
6449	253.575521000	Hewlett-_98:10:45	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.31.3? Tell 141.37.31.15
6491	255.907142000	Hewlett-_e4:dc:47	Flextron_63:82:2c	ARP	60	who has 141.37.29.93? Tell 141.37.29.1
6492	255.907177000	Flextron_63:82:2c	Hewlett-_e4:dc:47	ARP	42	141.37.29.93 is at 00:21:cc:63:82:2c
6542	258.346363000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10
6546	259.343391000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10
6599	260.343354000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10
6689	261.345988000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10

Frame 6383: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits) on interface 0

Ethernet II, Src: Flextron_63:82:2c (00:21:cc:63:82:2c), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)

- Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
- Source: Flextron_63:82:2c (00:21:cc:63:82:2c)
Type: ARP (0x0806)
- Address Resolution Protocol (request)
 - Hardware type: Ethernet (1)
 - Protocol type: IP (0x0800)
 - Hardware size: 6
 - Protocol size: 4
 - opcode: request (1)
 - Sender MAC address: Flextron_63:82:2c (00:21:cc:63:82:2c)
 - Sender IP address: 141.37.29.93 (141.37.29.93)
 - Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
 - Target IP address: 141.37.29.1 (141.37.29.1)

File: "C:\Users\dstaehle\AppData\Local\Te... Packets: 6... Profile: Default

ARP Response

Wireshark 1.12.1 (v1.12.1-0-g01b65bf from master-1.12)

Filter: **arp** Expression... Clear Apply Save

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6284	246.530849000	72:dd:d9:7c:59:c3	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.28.254? Tell 141.37.31.226
6291	249.559135000	4a:0c:8d:2b:85:61	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.31.55? Tell 141.37.31.227
6308	249.689653000	ca:57:ee:08:bb:48	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.28.254? Tell 141.37.29.140
6383	250.906950000	Flextron_63:82:2c	Broadcast	ARP	42	who has 141.37.29.1? Tell 141.37.29.93
6384	250.907209000	Hewlett_e4:dc:47	Flextron_63:82:2c	ARP	60	141.37.29.1 is at 00:19:bb:e4:dc:47
6449	253.575521000	Hewlett_e4:dc:47	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.31.3? Tell 141.37.31.15
6491	255.907142000	Hewlett_e4:dc:47	Flextron_63:82:2c	ARP	60	who has 141.37.29.93? Tell 141.37.29.1
6492	255.907177000	Flextron_63:82:2c	Hewlett_e4:dc:47	ARP	42	141.37.29.93 is at 00:21:cc:63:82:2c
6542	258.346363000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10
6546	259.343391000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10
6599	260.343354000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10
6689	261.345988000	d2:f5:4d:15:37:af	Broadcast	ARP	60	who has 141.37.29.42? Tell 141.37.29.10

Frame 6384: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0

- Ethernet II, Src: Hewlett_e4:dc:47 (00:19:bb:e4:dc:47), Dst: Flextron_63:82:2c (00:21:cc:63:82:2c)
 - Destination: Flextron_63:82:2c (00:21:cc:63:82:2c)
 - Source: Hewlett_e4:dc:47 (00:19:bb:e4:dc:47)
 - Type: ARP (0x0806)
 - Padding: 00000000000000000000000000000000
- Address Resolution Protocol (reply)
 - Hardware type: Ethernet (1)
 - Protocol type: IP (0x0800)
 - Hardware size: 6
 - Protocol size: 4
 - opcode: reply (2)
 - Sender MAC address: Hewlett_e4:dc:47 (00:19:bb:e4:dc:47)
 - Sender IP address: 141.37.29.1 (141.37.29.1)
 - Target MAC address: Flextron_63:82:2c (00:21:cc:63:82:2c)
 - Target IP address: 141.37.29.93 (141.37.29.93)

File: "C:\Users\dstaehle\AppData\Local\Te... Packets: 6... Profile: Default

ARP Cache

- Jeder IP-Knoten (Host und Router) verwaltet einen ARP Cache, der Paare von IP und MAC Adressen inklusive einer Gültigkeitsdauer (TTL) enthält
 - < IP address; MAC address; TTL>
- Anzeigen des ARP Caches in Windows: *arp -a*

```
C:\Windows\system32\cmd.exe

C:\HTWG\Vorlesungen\REchnernetze\Labor>arp -a

Schnittstelle: 141.37.29.93 --- 0xa
Internetadresse      Physische Adresse    Typ
141.37.28.254        38-22-d6-67-19-00    dynamisch
141.37.29.13         4e-66-27-57-39-46    dynamisch
141.37.31.227        4a-0c-8d-2b-85-61    dynamisch
141.37.31.255        ff-ff-ff-ff-ff-ff    statisch
224.0.0.2            01-00-5e-00-00-02    statisch
224.0.0.22          01-00-5e-00-00-16    statisch
224.0.0.252         01-00-5e-00-00-fc    statisch
239.255.255.250     01-00-5e-7f-ff-fa    statisch
255.255.255.255     ff-ff-ff-ff-ff-ff    statisch
```

5.1 Übersicht

5.2 Adressen

5.2.1 Adressräume

5.2.2 MAC Adressen

5.2.3 IP Adressen

5.2.4 ARP

5.2.5 DHCP

5.3 Lokale Netze: Bridges und Switches

5.4 Intra-Domain Routing

5.5 Inter-Domain Routing

5.6 Internet Protocol (IP)

5.7 Network Address Translation (NAT)

5.8 IPv6

5.9 Mobilitätsunterstützung

5.10 Zusammenfassung

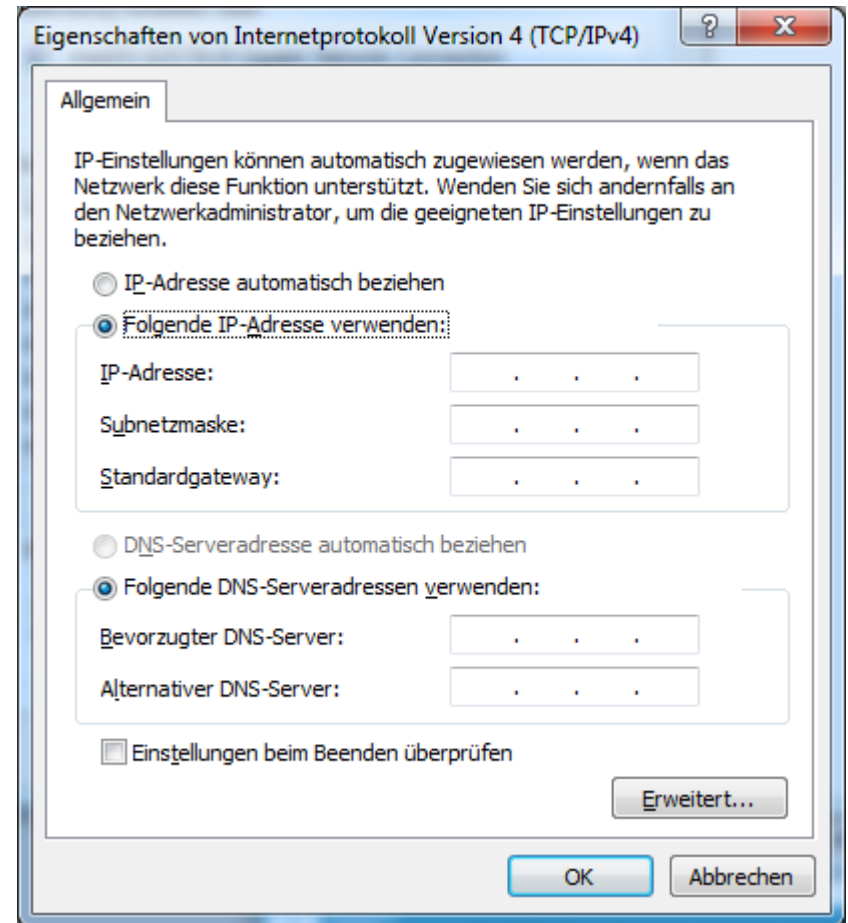
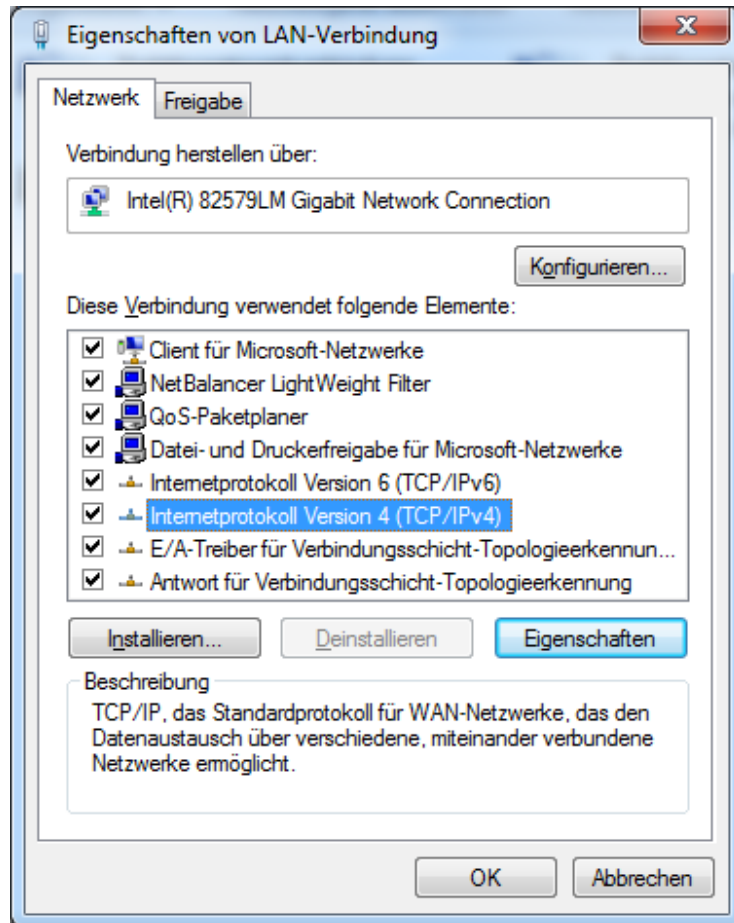
- Grundkonfiguration eines Rechners im lokalen Netz
 - IP-Adresse und Subnetzmaske
 - IP-Adresse des Default-Gateways (erster Router)
 - IP-Adresse des lokalen DNS-Servers
- Resultierende minimale Routingtabelle
 - IP-Adresse: 141.37.168.40
 - Subnetzmaske: 255.255.255.192
 - Default-Gateway: 141.37.168.5

Address Pattern	Subnet Mask	Next Hop
0.0.0.0	0.0.0.0	141.37.168.5
141.37.168.0	255.255.255.192	on route

- Möglichkeiten zur Konfiguration des Rechners
 - manuell
 - automatisch mittels DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

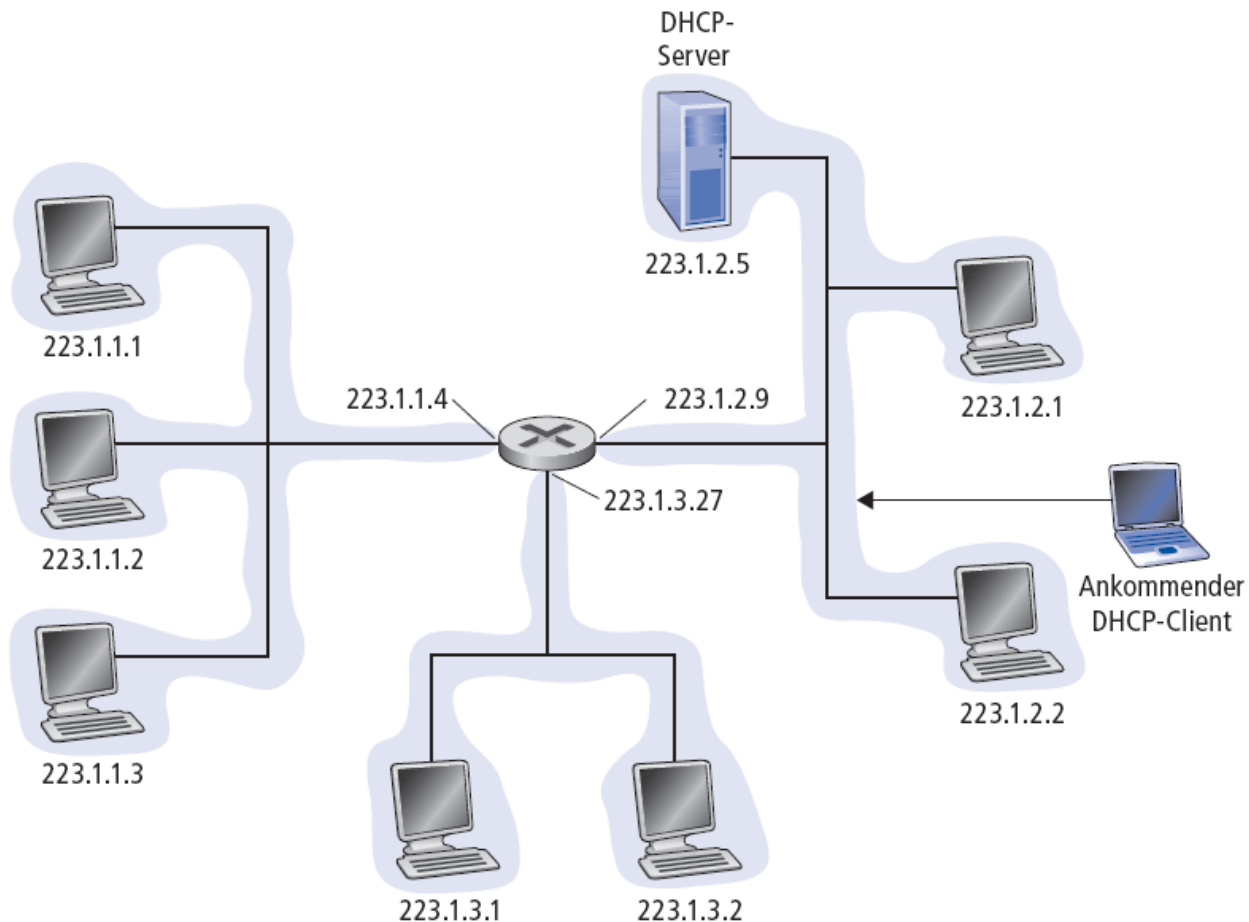
Manuelle Konfiguration (Windows)

Unter Windows können **IP Adresse**, Subnetzmaske, Standardgateway und DNS-Server entweder über das **Netzwerk- und Freigabecenter** unter **Adaptoreinstellungen** manuell konfiguriert werden oder über die Kommandozeile mit dem Befehl **netsh**. Wird die Option „IP-Adresse bzw. DNS-Serveradresse automatisch beziehen“ gewählt, so werden die Einstellungen über DHCP automatisch konfiguriert.



DHCP Szenario

DHCP Server vergibt Adressen aus dem Subnetz 223.1.2.0/24. Möglicherweise ist bereits eine IP-Adresse für die MAC-Adresse des Clients vorkonfiguriert.



DHCP Ablauf

DHCP nutzt UDP Socket

- Client: Port 68
- Server: Port 67

Source 0.0.0.0:

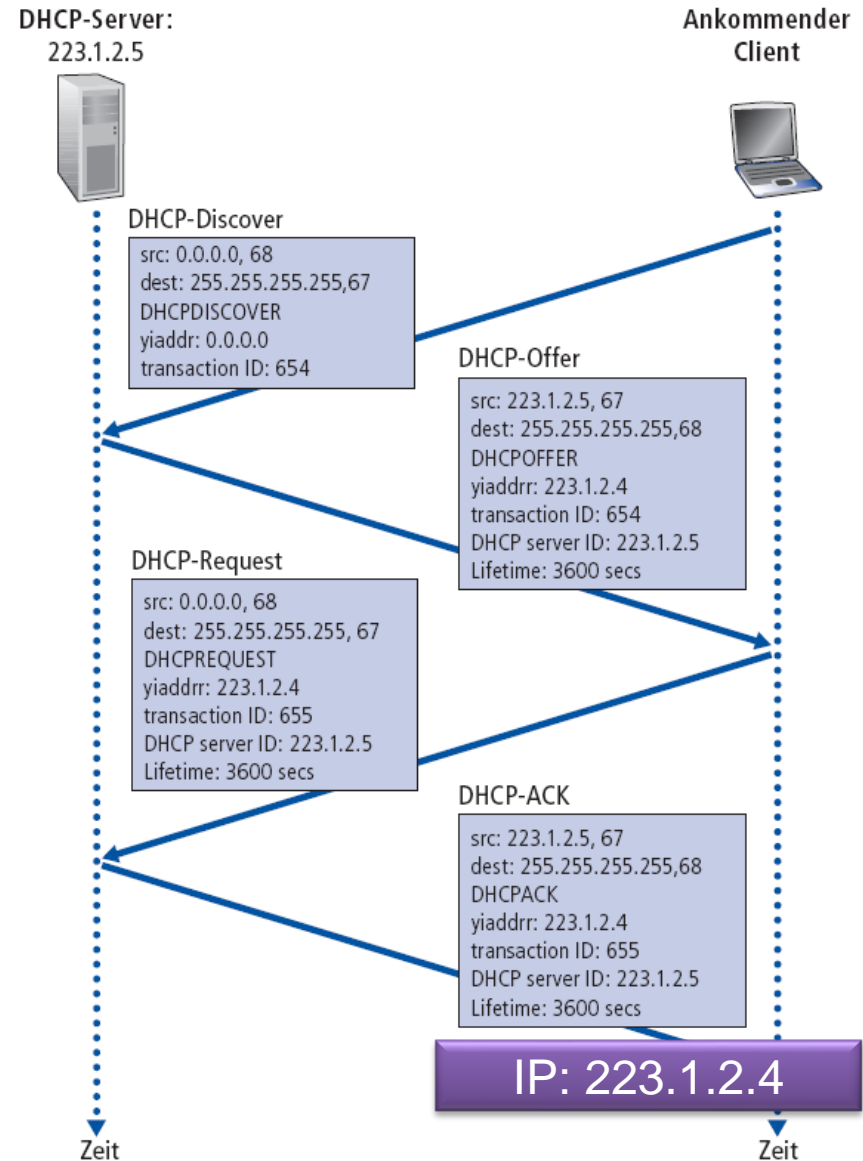
- Client hat noch keine IP
- aus diesem Netz

Destination 255.255.255.255:

- IP-Level Broadcast
- an alle in diesem Subnetz
- wird von Routern nicht weitergeleitet
 - Ausnahme: Router als DHCP Relay

Mehrere DHCP Server

- mehrere Server sind möglich
- DHCP Nachrichten werden gebroadcastet
- Client wählt Server aus



DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

- DHCP vergibt:
 - IP Adresse, Subnetzmaske, Default Gateway
 - DNS Server, WINS (Windows Internet Naming Service) Server
 - Proxy mittels WPAD (Web Proxy Autodiscovery Protocol)
- DHCP Server
 - **Manuelle Adresszuweisung:** Für eine angegebene MAC-Adresse wird immer dieselbe IP-Adresse vergeben. Dies ist für alle Netzwerkgeräte von Vorteil, deren Dienste von anderen genutzt werden, wie z. B. Printserver.
 - **Dynamische Zuordnung:** Ein anfragender Client bekommt eine beliebige Adresse aus einem festgelegten Adressbereich für eine bestimmte Zeit zugewiesen. Die Zuweisung selbst nennt man *Lease*, die Zeitspanne der Gültigkeit *Leasetime*.
- DHCP Authentifizierung
 - bei normalem DHCP keine Authentifizierung von Server und Client
 - in späterem RFC 3118 hinzugefügt, aber oft nicht implementiert
- Angriffsszenarien
 - Rogue DHCP Server: vergibt falsche IP Adresse
 - Böartige Clients, die alle verfügbaren IP Adressen belegen

- IP Adressen sind hierarchisch strukturiert, MAC Adresse sind nicht strukturiert (flach)
- Netzmasken dienen dazu, Adressbereiche über ein Präfix variabler Länge festzulegen
- Subnetze sind Adressbereiche innerhalb einer Netzes, die über die Subnetzmaske festgelegt werden
 - Routing innerhalb eines Netzes wird ermöglicht
 - Ziele in Routing-Tabellen sind Subnetze
 - kleine Routing-Tabellen und kurze Pfade durch geeignete Strukturierung von Subnetzen
- Netzwerksegmente sind als kleinste Subnetze die atomaren Bestandteile eines Netze
 - alle Knoten in einem Netzwerksegment können sich die MAC-Adresse erreichen
 - Router verbinden Netzwerksegmente
 - Netzwerksegmente werden meist nach organisatorischen Strukturen gewählt, um das Netzwerkmanagement zu vereinfachen und Sicherheitsrichtlinien umzusetzen
- ARP dient zum Auffinden der MAC Adresse zu einer IP Adresse
- DHCP dient zur automatisierten Netzwerkkonfiguration von Rechnern