

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Kapitel 5

Internet Protokoll Adressen

5. 1 Einleitung

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Dieses Kapitel

- führt das Adressschema des Internet Protokolls (IPv4 und IPv6) ein.
- beschreibt Subnetz- und Klassenlose- Adressierung
- zeigt, wie das ursprüngliche IPv4 Adressschema in Klassen aufgeteilt war
- diskutiert besondere IP-Adressen
- Routing Teil II: Aggregation

5. 1 Einleitung

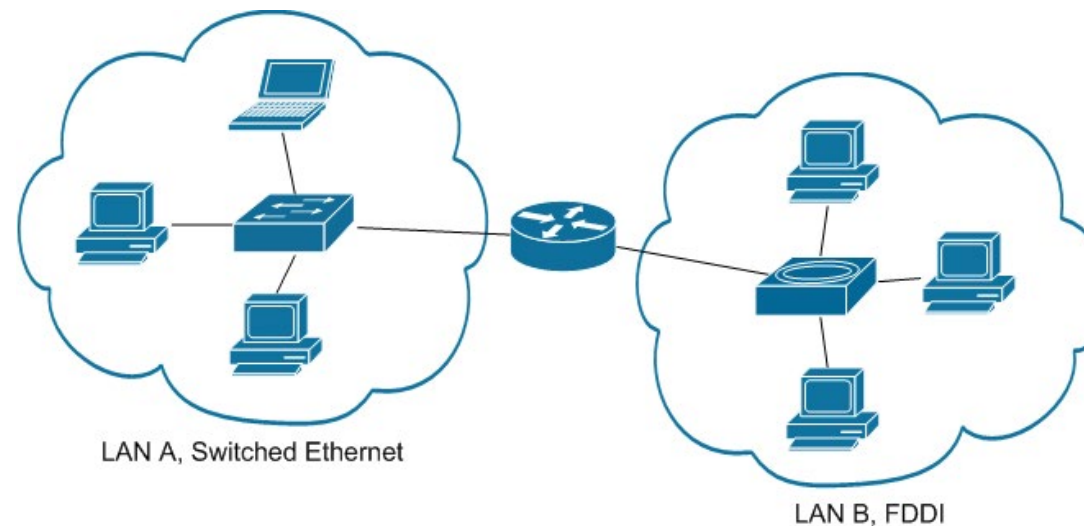
Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Aus den letzten Kapiteln:

- Unterschiedliche Netze verwenden unterschiedliche (Layer 2) Adressierungsschemata (Ein ATM-Netz „versteht“ keine Ethernet-MAC-Adresse, ein Telefonnetz auch nicht)
- Zur Verbindung dieser Netze aber eindeutige, einheitliche Adressen notwendig:

Einführung zusätzlicher, weltweit einheitlicher Adressen für alle Rechner (= Hosts), die über das internet kommunizieren! → Netzwerkübergreifende Internetadresse (= Layer 3 Adressen)

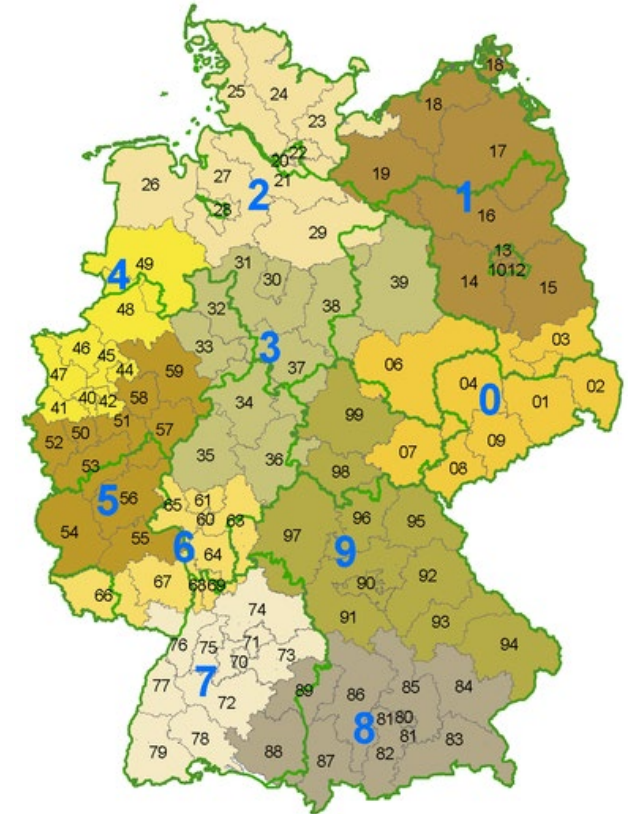


5.2 Adressen für das virtuelle Internet

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Hauptunterschied zwischen Internet und physikalischem NW
 - Internet ist eine reine Abstraktion, von Designern erdacht und gänzlich in SW realisiert
- Designer können frei wählen
 - Adressen, Paket Format und die Zustellungstechnik
- Alle Rechner (=Hosts) müssen eine eindeutige aber gleichförmige Adresse haben
 - Die für die Wegfindung/Routingtabellen optimal sind
 - Hinweise auf den Ort geben
 - „Aggregierbar“ sind (vgl. Postleitzahlen)
- RFC 791, Der Internet-Protokoll-Standard:
 - „A name indicates what we seek.
An address indicates where it is.
A route indicates how to get there.“



Aggregierbarkeit (Zusammenfassbar)
am Beispiel der Postleitzahlen
(Bild aus Wikipedia)

5.3 IP Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Der IP Standard verlangt, dass jedem Host (genauer: Netzwerkkarte) eine eindeutige Zahl zugewiesen wird
 - die Internet Protokoll Adresse bzw. Internet Adresse
 - Kurz IP-Adresse
 - IPv4 (RFC 791): 32-Bit Zahl
 - Ca. 4 Milliarden Adressen ($=2^{32}$)
 - ≈ 9 IP Adressen pro km^2 Erdoberfläche
 - IPv6 (RFC 4291): 128-Bit Zahl
 - Das sind nicht viermal so viele Adressen
 - Das sind viermal so viele Bits
 - ≈ 667 Billionen Adressen pro mm^2 Erdoberfläche
 - Wie bei jedem Nummerierungsschema wird nur ein Bruchteil davon verwendet
 - Üblich: Jeder Host besitzt mehrere IPv6 Adressen
- Jedes Paket, das über das Internet versendet wird, beinhaltet die IP-Adresse des
 - Senders (Source) und Empfängers (Destination)
 - IPv4: Beide Adressen sind 32-Bit Zahlen
 - IPv6: Beide Adressen sind 128-Bit Zahlen

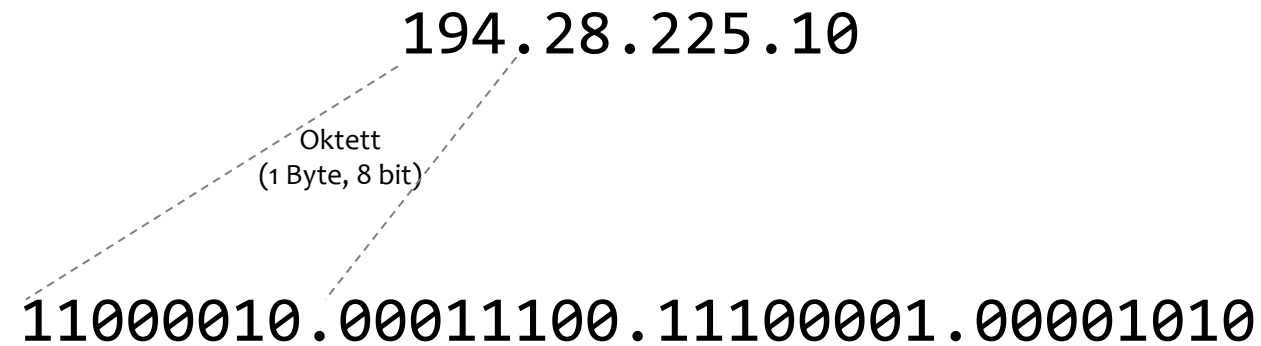
5.4 Darstellung IP Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

IPv4

- Darstellung der 32 bit IPv4-Adresse erfolgt in der Dotted Decimal Notation



- Jedes Oktett (Byte) wird als vorzeichenlose Ganzzahl in Dezimalschreibweise dargestellt
- Die Oktette werden durch einen Punkt getrennt
- Adressbereich **0.0.0.0** bis **255.255.255.255**

5.4 Darstellung IP Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

32-bit Binary Number	Equivalent Dotted Decimal
10000001 00110100 00000110 00000000	129 . 52 . 6 . 0
11000000 00000101 00110000 00000011	192 . 5 . 48 . 3
00001010 00000010 00000000 00100101	10 . 2 . 0 . 37
10000000 00001010 00000010 00000011	128 . 10 . 2 . 3
10000000 10000000 11111111 00000000	128 . 128 . 255 . 0

Figure 18.3 Examples of 32-bit binary numbers and their equivalent in dotted decimal notation. Each octet is written in decimal with periods (dots) used to separate octets.

(aus Comer)

5.4 Darstellung IP Adressen

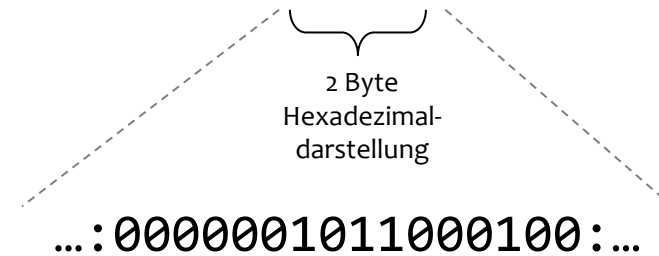
Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

IPv6

Darstellung der 128 bit IPv6-Adresse erfolgt in der Colon Hexadecimal Notation

2001:0000:02c4:0000:0000:a12b:0001:abc0



- Je zwei Bytes der Adresse werden als Hexadezimalwert ausgedrückt (0000 bis ffff) und durch einen Doppelpunkt getrennt
- Führende Nullen können weggelassen werden
 - ➔ 2001:0:2c4:0:0:A12B:1:ABC0
- Case sensitiv

5.4 Darstellung IP Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Beispiel (Fortsetzung):

- Aufeinanderfolgende Null-Felder können durch :: abgekürzt werden; aber **nur einmal** pro Adresse

- 2001:0000:0234:0000:0000:A12B:0001:ABCD
- 2001:0:234::A12B:1:ABCD
- Nicht gültig: 2001::234::A12B:1:ABCD

- Weitere Beispiele

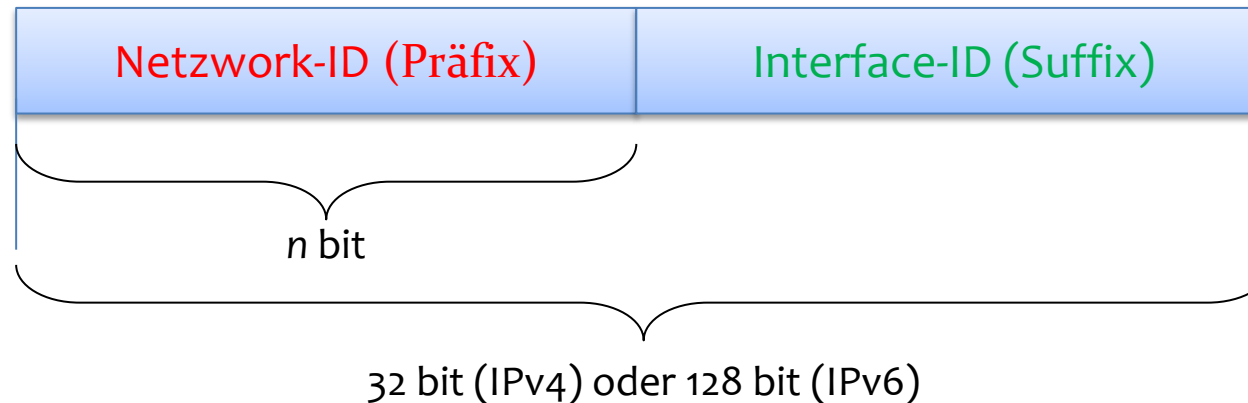
- FF02:0:0:0:0:0:0:1 → FF02::1
- 0:0:0:0:0:0:0:1 → ::1
- 0:0:0:0:0:0:0:0 → ::

➤ Randbemerkung: In einem Webbrowser (URL) ist die IPv6 Adresse in eckigen Klammern anzugeben

- [http://\[2001:0:234::A12B:1:ABCD\]:8080/index.html](http://[2001:0:234::A12B:1:ABCD]:8080/index.html)

5.5 Die Hierarchie von IP Adressen

- Die IP-Adresse setzt sich aus **Netzwerk-ID (Präfix)** und **Interface-ID (Suffix)** zusammen



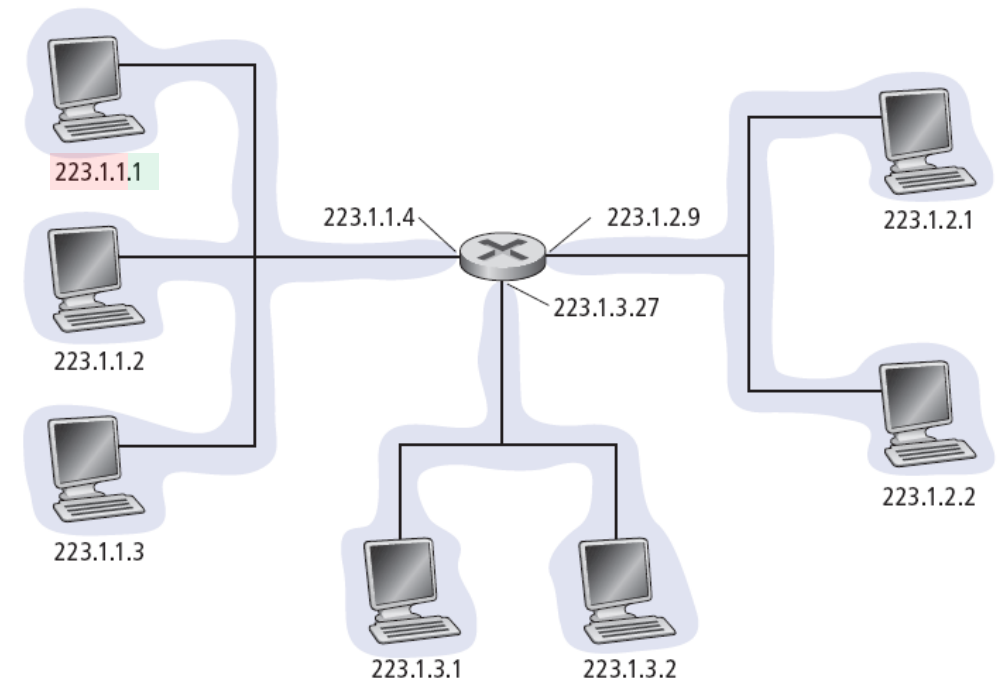
- **Präfix** ist die Adresse des Physikalischen Netzwerks
- **Suffix** ist die Adresse des Rechner **innerhalb** dieses Netzwerkes
 - Genauer: der Netzwerkkarte (=Interface zwischen Netzwerk und Rechner) des Rechners
- Diese Hierarchie vereinfacht das Routing erheblich, da Router und deren Tabellen
 - sich nur um die Zustellung an das richtige Netzwerk kümmern.
 - Daher nur den Präfix auswerten müssen und
 - nicht die Adressen der einzelnen Stationen innerhalb des Netzes kennen müssen

5.5 Die Hierarchie von IP Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Beispiel: Drei physikalische Netze, IPv4
- n sei überall 24, d.h. **3 Byte Präfix**
 - Die **ersten drei Zahlen** der IP Adresse sind die Netz-ID,
 - gleich für alle Rechner im selben Netzwerk.
 - Die **letzte Zahl** ist die **Interface ID**,
 - unterschiedlich für Rechner im gleichen Netz
 - Router hat 3 Interfaces also auch 3 IP-Adressen (eine pro Netzwerk)



(Grafik aus Kurose)

5.5 Die Hierarchie von IP Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Die IP Adressen Hierarchie bedingt im Internet:
 - Jeder Rechner (genauer: Interface) bekommt weltweit eindeutige Adresse
 - Die Zuweisung der Netz-ID muss global koordiniert sein
 - Keine zwei Netzwerke dürfen gleiche Netz-ID haben
 - Suffixe können lokal vergeben werden (keine globale Koordination notwendig)
 - Router müssen nur Netzwerkpräfixe, aber keine Einzeladressen in ihren Routingtabellen pflegen

5.6 (Sub-)Netzwerke

Inhalt

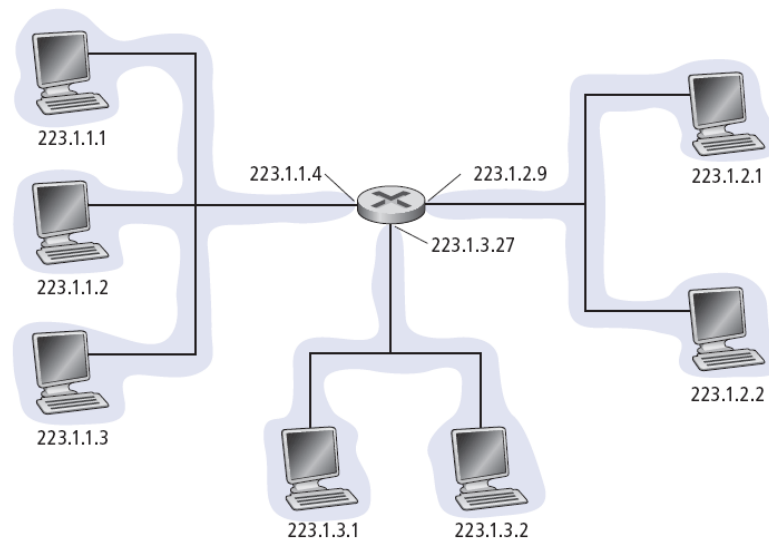
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Terminologiewechsel

- Aus Sicht von IP ist das Gesamtnetz das „Netzwerk“
- ... die einzelnen physikalischen Netzwerke heißen jetzt Subnetze (Teilnetze)

➤ Was ist ein Subnetz?

- Alle Rechner (Interfaces) mit derselben Netz-Id (Präfix) formen ein Subnetz
- Alle Rechner (Interfaces) eines Subnetzes können sich direkt, also ohne einen Router zu durchqueren, erreichen



Drei Subnetze, die mit einem Router verbunden sind. Die Netz-Id steht hier in den ersten 24 Bit.

Subnetzmaske: /24

5.6 (Sub-)Netzwerke

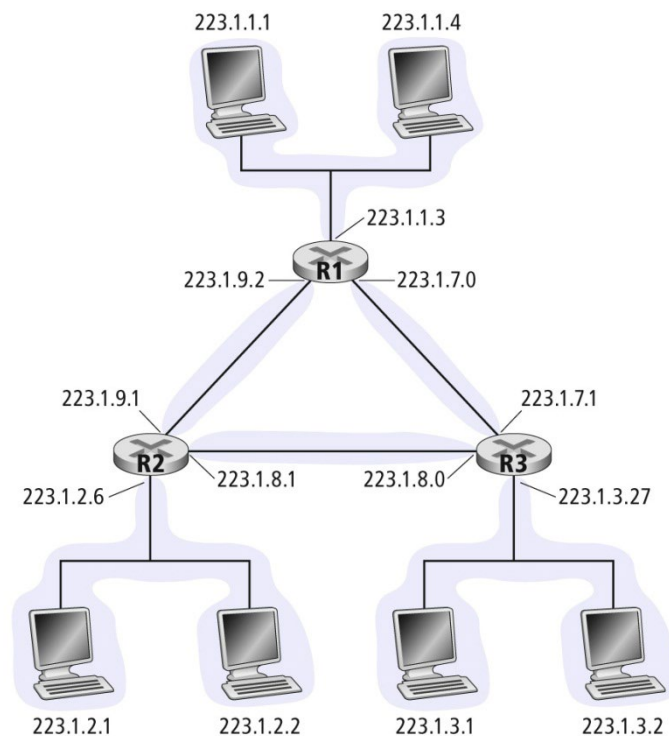
Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Aufgabe

- Wie viele Subnetze erkennen Sie?

- Welche NetzIds erkennen Sie?



Aus Computernetzwerke, Kurose und Ross

5.6 (Sub-)Netzwerke

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Was ist eine Subnetzmaske?
- Gibt die Anzahl *n* der Bits der Netz-ID an. Eine (IPv6) bzw. zwei (IPv4) Darstellungsmöglichkeiten:
1. CIDR-Darstellung (Classless Interdomain Routing):
 - Wird der IP-Adresse mittels */n* angehängt
 - Beispiele: IPv4 und IPv6

223.1.1.4 /24 → Die linken 24 Bit von 223.1.1.4 sind die Netz-Id, die rechten 8 Bit die Interface-ID

F001::1 /64 → Die linken 64 Bit von F001::1 sind die Netz-Id, die rechten 64 Bit die Interface-ID
 2. Klassische IPv4 Darstellung von */n* durch 32-Bit Zahl,
 - deren linken *n* Bits „Eins“ sind und
 - die restlichen Bits „Null“ sind.
 - 32-Bit Zahl wird in der Dotted-Dezimal-Darstellung angeben.
- Beispiele für IPv4 Subnetzmasken

CIDR-Darstellung	Klassische IPv4 Darstellung	
/3	224.0.0.0	(=11100000.00000000.00000000.00000000b)
/24	255.255.255.0	(=11111111.11111111.11111111.00000000b)
/27	255.255.255.224	(=11111111.11111111.11111111.11100000b)

5.6 (Sub-)Netzwerke

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Wie viele Hosts (genauer: Interface) passen in ein Subnetz mit Subnetzmaske $/n$?

- **IPv4:** Anzahl Bits für Interface-ID $= (32 - n)$

→ es können $2^{(32-n)}$ Interface-IDs gebildet werden

Beispiele:

- $/24 \rightarrow 2^{32-24} = 2^8 = 256$ Interface Ids $\rightarrow 256$ Hosts
- $/25 \rightarrow 2^{32-25} = 2^7 = 128$ Interface Ids $\rightarrow 128$ Hosts
- $/30 \rightarrow 2^{32-30} = 2^2 = 4$ Interface Ids $\rightarrow 4$ Hosts

- **IPv6:** Anzahl Bits für Interface-ID $= (128 - n)$

- $/64 \rightarrow 2^{128-64} = 2^{64} =$ Interface Ids $\rightarrow 1,8 \cdot 10^{19}$ Hosts

Merke: Je größer die Subnetzmaske umso weniger IP Adressen stehen für das Subnetz zur Verfügung

5.6 (Sub-)Netzwerke

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- IPv4: Zwei Suffixe sind reserviert und dürfen keinem Host zugewiesen werden:
 - Der kleinste Interface-Suffix (bei /24 z.B. **.0**, bei /8 z.B. **.0.0.0**) steht für das gesamte Subnetz und stellt die **Netzwerkadresse** dar.
 - Der größte Interface-Suffix stellt die **Broadcast-Adresse** im Subnetz dar
- IPv6: Ein Suffix ist reserviert und darf keinem Host zugewiesen werden:
 - Der kleinste Interface-Suffix stellt die Netzwerkadresse dar.
- Beispiele:

192.168.1. 0 /24	→ Netzwerkadresse des /24-Netzes 192.168.1.0/24
10. 0.0.0 /8	→ Netzwerkadresse dieses /8-Netzes
192.168.1. 255 /24	→ Broadcast-Adresse des Netzes 192.168.1.0/24
10. 255.255.255 /8	→ Broadcast-Adresse des Netzes 10.0.0.0/8
10. 2.255.255 /8	→ Mögliche Host-Adresse des Netzes 10.0.0.0/8
2001:1::/64	→ Netzwerkadresse dieses /64 Netzwerkes
2001:1:: 1 /64	→ Host Adresse 1 des Netzes 2001:1::/64

5.6 (Sub-)Netzwerke

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Wie viele Subnetze mit Subnetzmaske $/n$ kann es maximal geben?

- Anzahl Bits für Netz-ID = n
 - es können 2^n Netz-IDs gebildet werden

Beispiel:

- $/8 \rightarrow 2^8=256$ Netz-Ids \rightarrow max. 256 Subnetze mit $/8$
- $/9 \rightarrow 2^9=512$ Netz-Ids \rightarrow max. 512 Subnetze mit $/9$

Merke: Je größer die Subnetzmaske umso mehr entsprechende Subnetze gibt es

- Allerdings wird man nie 256 Subnetze mit $/8$ bilden, da dann alle Adressen vergeben wären

5.7 Ursprüngliche Aufteilung der IPv4 Adressen in Klassen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Der **Präfix benötigt genügend viele Bits**, damit jedem physikalischen Netz eine eindeutige NW-Nummern zugewiesen werden kann
- Der **Suffix benötigt genügend Bits** damit jeden Computer ein eindeutiger Suffix zugewiesen werden kann
- Designer wählten einen Kompromiss:
 - der mit kleinen und großen Netzwerken zurecht kommt
- Im ursprüngliche Schema, das heute „**classful addressing**“ genannt wird
 - Die ersten vier Bits einer Adresse bestimmen die Klasse
- Figure 18.1 zeigt die fünf Adress-Klassen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Gültige Verwendung

(sprich: ein /24 Netz nennt man Class C Netz)

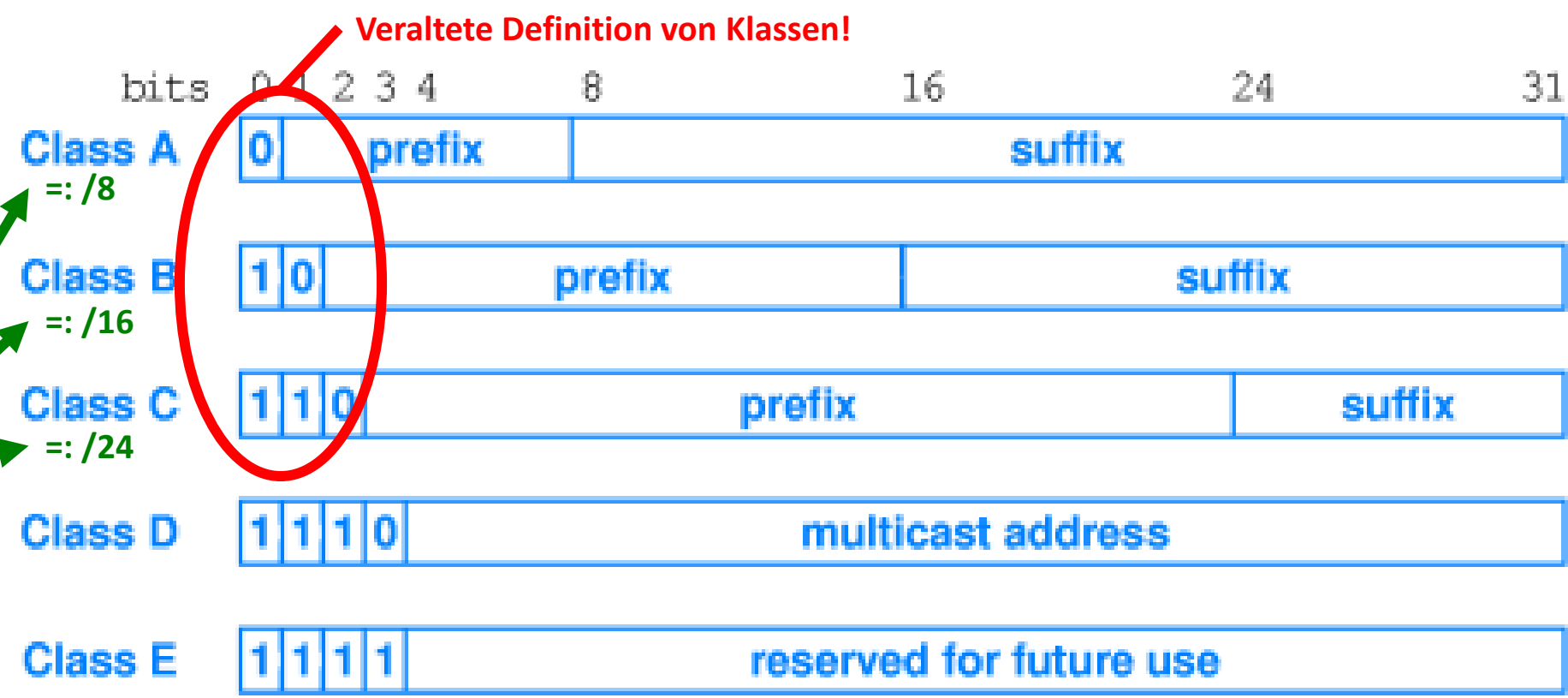


Figure 18.1 The five classes of IP addresses in the original classful scheme. The address assigned to a host is either class *A*, *B*, or *C*; the *pre-**fix* identifies a network, and the suffix is unique to a host on that network.

Aus Comer

5.7 Ursprüngliche Aufteilung der IPv4 Adressen in Klassen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- 1993: Einführung von CIDR
 - Reduzierung der Größe der weltweiten Routingtabelle
 - Keine „Verschwendung“ von IP-Adressen durch zu große oder zu kleine Klassen
- Im Gegensatz zur klassenbasierten Adressierung (Classfull Addressing): Subnetzmaske kann jetzt jede beliebige Länge besitzen.
(/8, /9, ... /19, /20, /21 ...)
→ Feingranularere Aufteilung des Adressraums möglich (siehe nächste Folie)
- Die Byteweisen Klassen des Classfull Addressing sind jetzt nur noch „Spezialfälle“ von CIDR
- Ehemalige Klassen:
 - A → /8
 - B → /16
 - C → /24
- In IPv6 gibt es keine Klassen

5.7 Klassenbestimmung einer IPv4 Adresse

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Beispiel:

Ein Unternehmen hat 300 Rechner in einem Subnetz:

Ein **Class C /24** Netz bietet $2^{32-24}-2 = 254$ Adressen → zu wenig.

Ein **Class B /16** Netz bietet $2^{32-16}-2 = 65534$ Adressen → viel zu viel.

Mit CIDR: **/23** Netz mit $2^{32-23}-2 = 510$ Adressen → passt (besser)

5.8 Vergabe von IP-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Unternehmen bzw. Netzkunde erhält ein **Präfix**, also eine Netzwerknummer vom Internet Service Provider (**ISP**)
- Der ISP erhält seinerseits Netzwerknummern von der zuständigen Regional Internet Registry (**RIR**); (Europa: *RIPE NCC*)
- Weltweit gibt es 5 RIRs



5.8 Vergabe von IP-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Die einzelnen RIRs stehen unter der Verwaltung und Koordination durch die Internet Assigned Numbers Authority (**IANA**)



5.8 Vergabe von IP-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

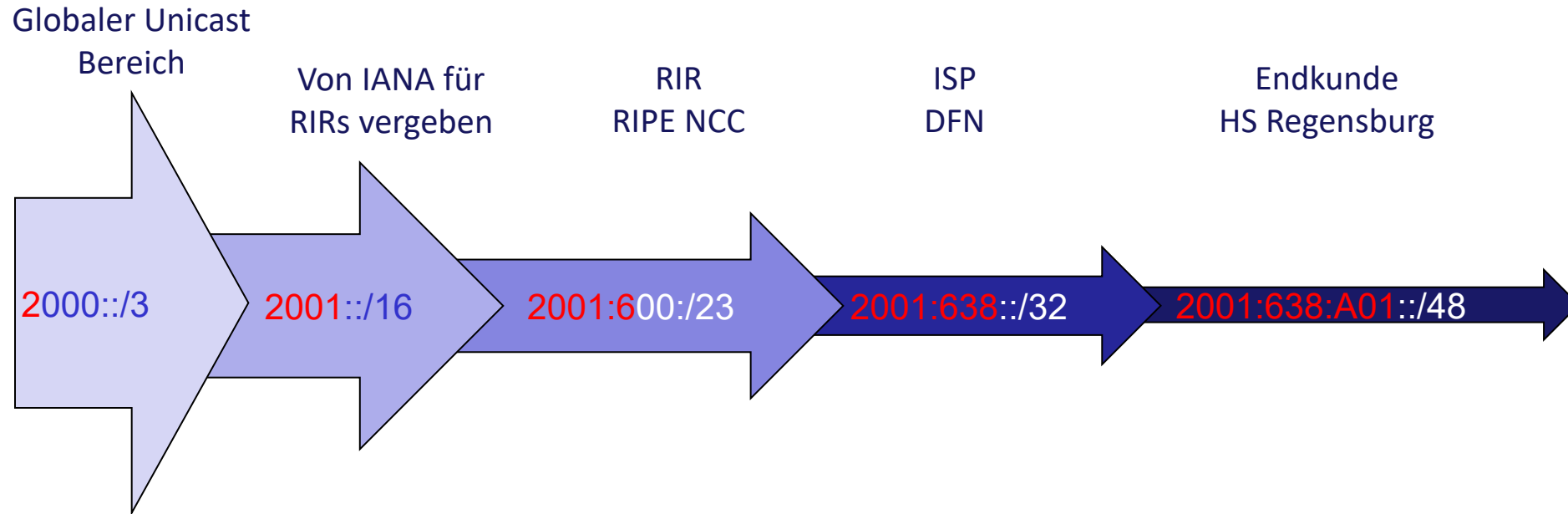
Einschub: Angabe von IP-Adressblöcken

- **Bisher:** Darstellung „*IP-Adresse /n*“ gibt an, dass der Präfix der *IP-Adresse* aus *n* Bits besteht.
- **Weitere Verwendung** der Darstellung „*IP-Adresse/n*“ als **CIDR-Adressblock**:
 - *IP-Adresse/n* steht für alle IP-Adressen, die in den ersten *n* Bits mit der *IP-Adresse* übereinstimmen
 - Diese Menge der IP-Adressen bezeichnet man als Adressblock *IP-Adresse/n*, wobei *IP-Adresse* üblicherweise die kleinste dieser IP-Adressen ist.
 - Beispiele
 - 10.0.0.0/16 steht für alle IP-Adressen von 10.0.0.0 bis 10.0.255.255
 - 2000:: /3 steht für den Adressblock 2000:0:0:0:0:0:0:0 bis 3FFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF
 - Der Adressblock 12.0.0.0 – 12.255.255.255 heißt 12.0.0.0/8.
 - » 12.1.2.3/8 steht für die gleichen IP-Adressen, ist aber keine übliche Darstellung dafür

5.8 Vergabe von IP-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW



➤ IPv6 Präfix als aggregierte Route:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| – 2001:600::/23 | zum RIP NCC |
| – 2001:638::/32 | zum DFN |
| – 2001:638:a01::/48 | zur OTH Regensburg |
| – 2001:638:a01:109::/64 | NW1 KS-Labor |
| – 2001:638:a01:110::/64 | NW2 KS-Labor |

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Durch die hierarchische Vergabe von Adressen erreicht man eine deutliche Reduzierung der Routing Tabellen im Internet

➤ Beispiel: Internetrechner A sendet Paket an Rechner B 2001:638:a01:109::2 im NW1 des KS-Labors der OTH Regensburg

Routingtabellen im Internet:
ein Eintrag für alle Rechner, die über DFN angeschlossen sind:

2001:638::/32 to Router DFN

Routingtabellen im DFN Netzwerk benötigen spezifischere Einträge:
einen Eintrag für alle Rechner eines DFN Kunden (wie OTH Regensburg)

2001:638:a01::/48 to Router OTH Regensburg
2001:638:a02::/48 to Router HS xy
...

Routingtabellen im OTH Netz benötigen noch spezifischere Einträge:
einen Eintrag für alle OTH Subnetze:

2001:638:a01:109::/64 to NW1 KS Labor
2001:638:a01:110::/64 to NW2 KS Labor
...

Internet

A

To 2001638:a01:109::2 DATA

DFN

2001:638::/32

OTH

2001:638:a01::/48

B

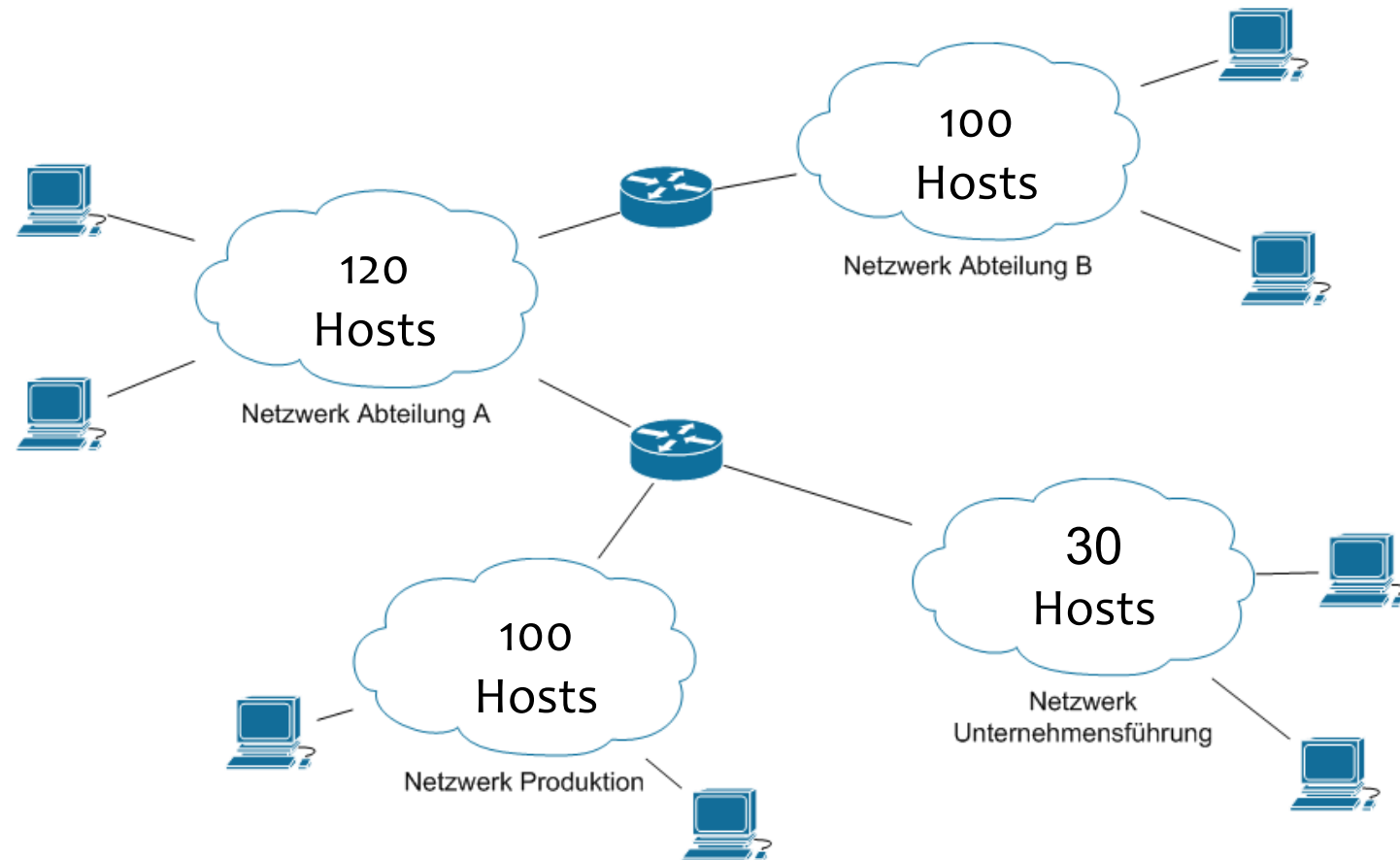
29

5.9 Beispiel für Zuweisung von Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Unternehmen möchte ein IP-Netz einrichten. Vier physikalische Netze sollen verbunden werden.



5.9 Beispiel für Zuweisung von Adressen: IPv4

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Abschätzung der Anzahl an Rechnern ergibt 350 Hosts
 - Unternehmen kauft ein /23-Netzwerk (510 Adressen) beim ISP

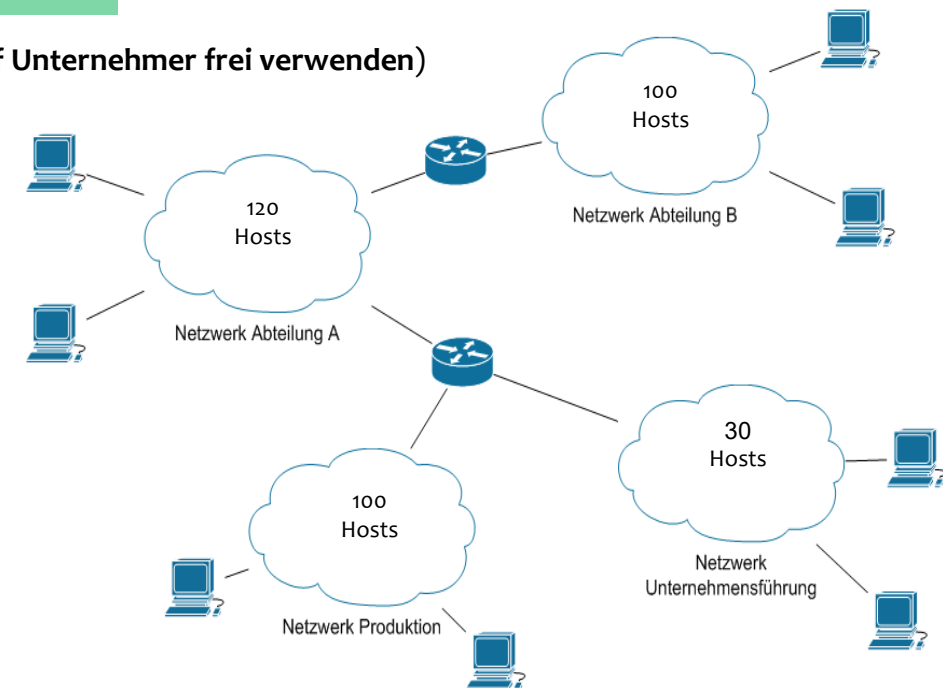
84.122.212.0/23

Adresse 01010100.01111010.11010100.00000000 /23

Präfix (für Unternehmen vorgeschrieben)

Suffix (darf Unternehmer frei verwenden)

Ein Nachteil von CIDR:
Man sieht Interface- und Netznummer in der Dotted Decimal Notation nicht mehr auf einem Blick, da die Grenze nicht mehr (wie bei den Klassen) an einer Byte-Grenze liegt



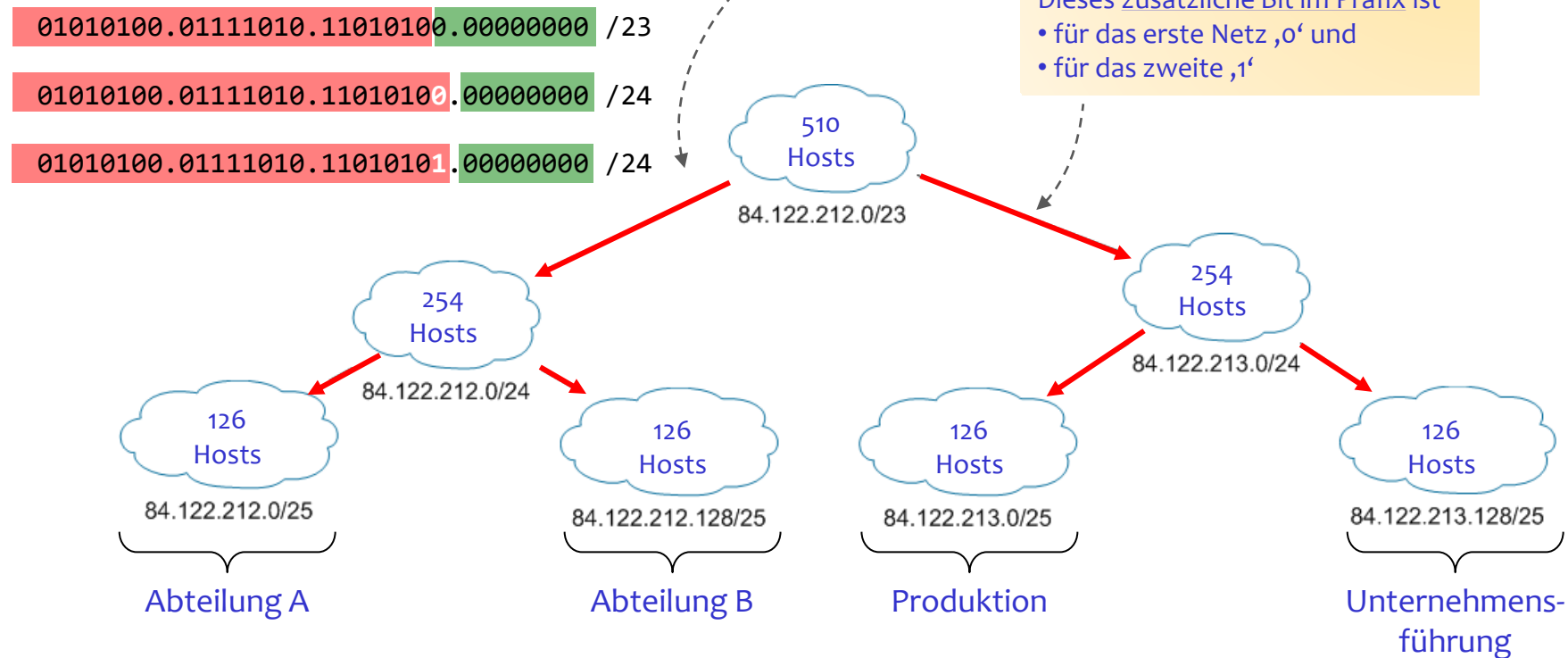
5.9 Beispiel für Zuweisung von Adressen: IPv4

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Aus dem Adressraum muss der NW-Administrator 4 kleinere Netze (Netzadressräume) machen.

- Erste Iteration: Aufteilung in zwei Netze



- Zweite Iteration (Aufteilung der zwei Netze in vier Netze) analog

Die vier /25-Netze sind für den ISP immer noch ein großes /23-Netz

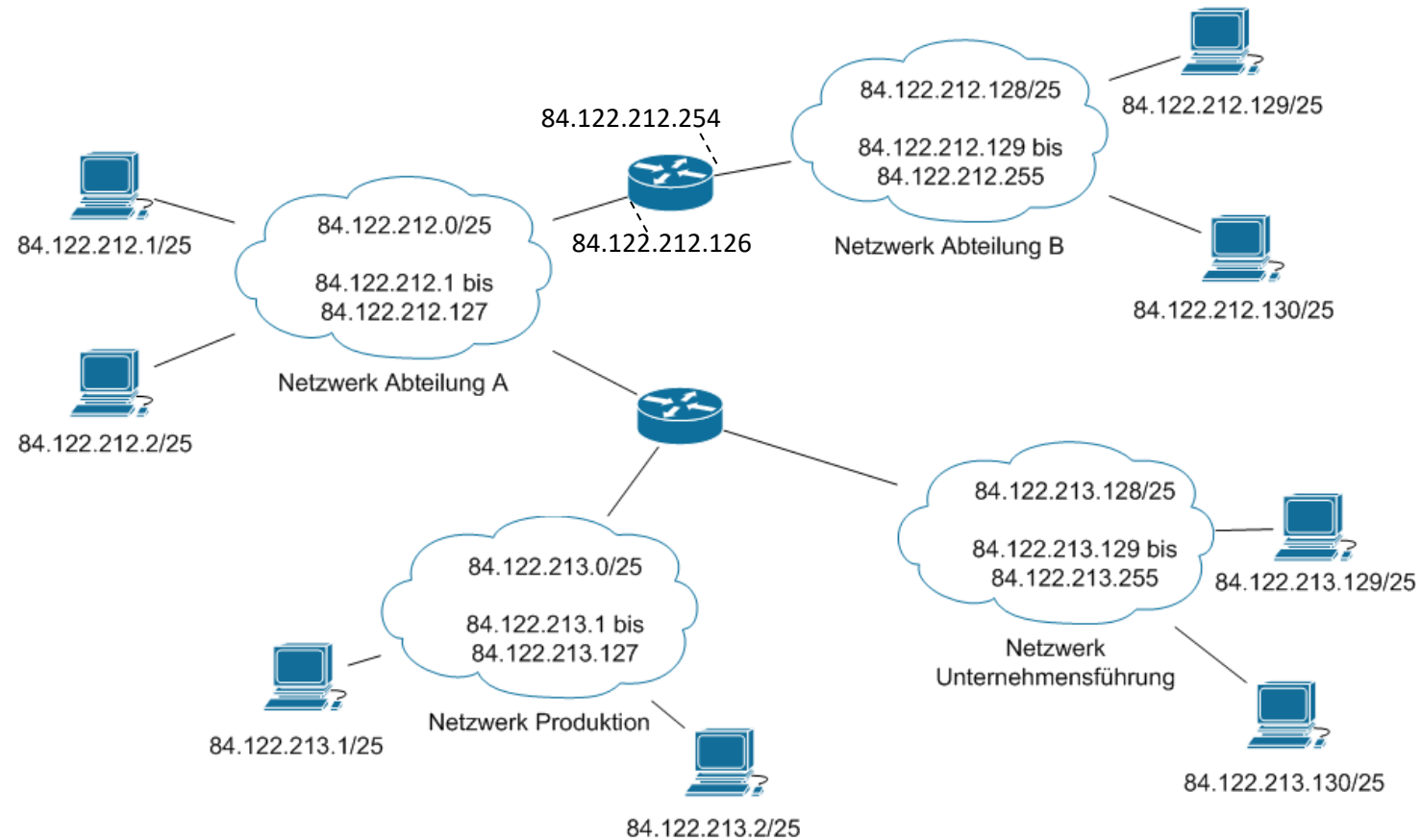
(→ vgl. *Aggregation*)

5.9 Beispiel für Zuweisung von Adressen: IPv4

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Ergebnis (mögliche Router-Adressen nur für oberen Router gezeigt):



5.9 Beispiel für Zuweisung von Adressen: IPv6

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

IPv6

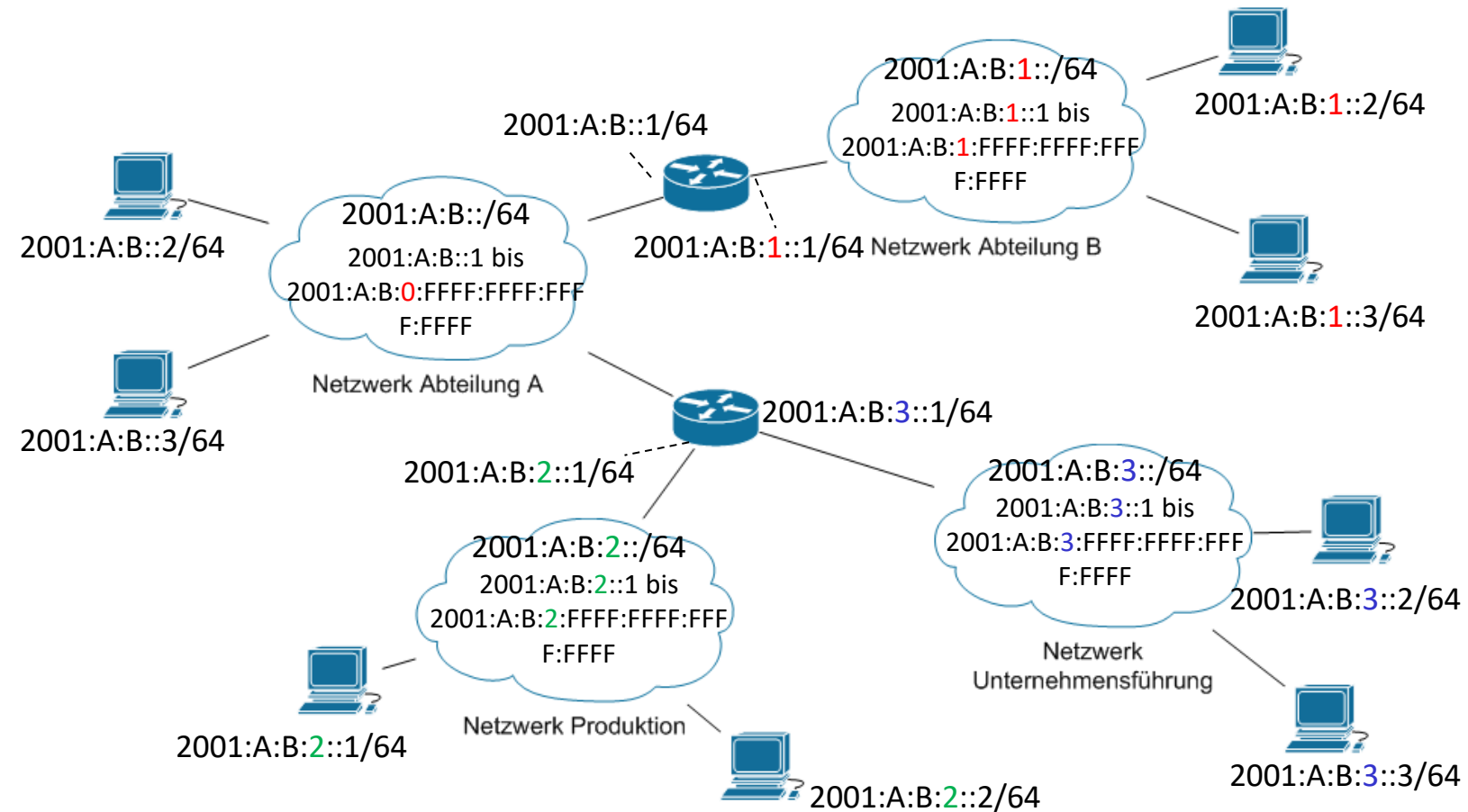
- Analog funktioniert es bei IPv6, nur dass man 128Bit Zahlen betrachten muss
- Ein Subnetz bekommt (üblicherweise) die Subnetzmaske /64
- Ein ISP bekommt von der RIR üblicherweise ein /32 Adressbereich, dass er an Endkunden verteilen kann
 - Endkunde erhält davon einen /48 Adressbereich (oder nur /56)
 - Endkunde kann damit bis zu $2^{(64-48)} = 2^{16} = 65536$ Subnetze betreiben
- Anteil von IPv6 im Internet: <http://www.google.de/ipv6/statistics.html>

5.9 Beispiel für Zuweisung von Adressen: IPv6

Unternehmen bekommt vom ISP ein /48 Netz:

– 2001:A:B::/48

➤ Weist daraus /64 Netze zu



5.10 Private IP-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Bei IPv4 gibt es Netzwerknnummern, die für private Subnetze ohne Beantragung verwendet werden dürfen.
- Diese Adressen dürfen nicht direkt im globalen Internet sichtbar sein (Eindeutigkeit)
 - Netze ohne Anschluss ans Internet
 - Netze, die mittels Network Address Translation (NAT) ans Internet angeschlossen sind
 - Internet Router verwerfen Pakete, die private Adressen enthalten
- RFC 1918: Address Allocation for Private Internets
 - 1x Class A: 10.0.0.0/8 (10.0.0.0 – 10.255.255.255)
 - 16x Class B: 172.16.0.0/12 (172.16.0.0 – 172.31.255.255)
 - 256x Class C: 192.168.0.0/16 (192.168.0.0 – 192.168.255.255)
- Bei IPv6 gibt es keine privaten Adressen
 - Globale Erreichbarkeit jedes IPv6-Hosts
 - Kein NAT mehr

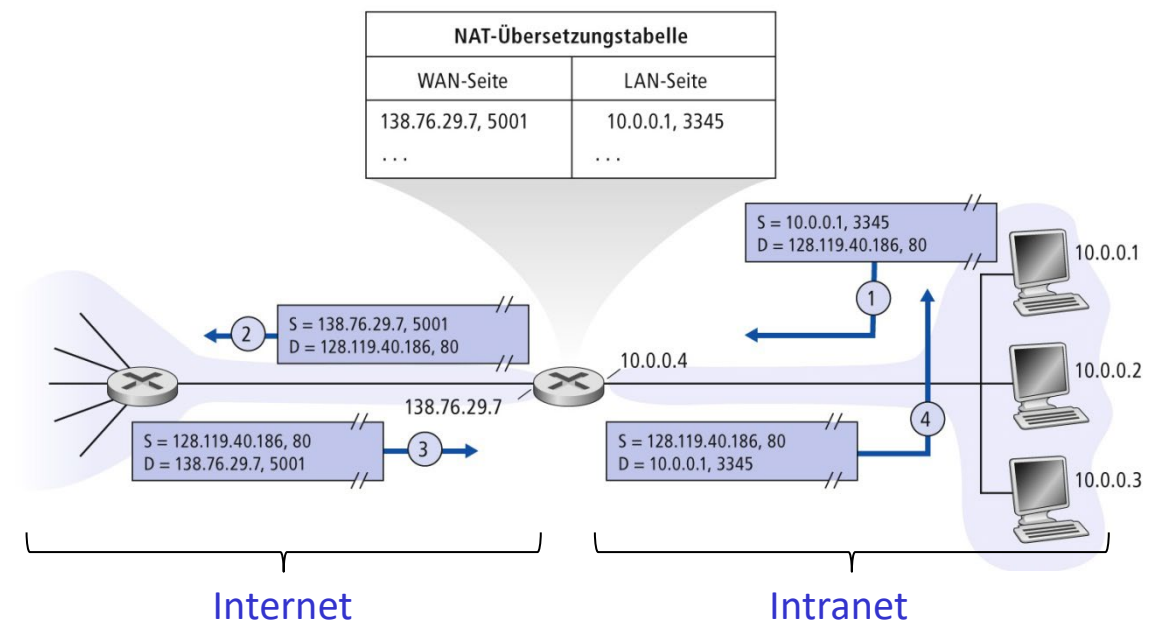
5.10 Private IP-Adressen - NAT

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Knapper IP Adressraum
 - Unternehmen/Haushalte verwenden private IP Adressen für ihre Subnetze
 - NAT, genauer NAPT (Network Address Port Translation), ermöglicht Verbindungsaufbau mit Internet Hosts
- NAT-Idee: Router, der das **Intranet** (Firmen- bzw. Heimnetz) mit dem Internet verbindet, ersetzt private IP-Adressen durch seine offizielle IP-Adresse
 - Aus Sicht des Internet erscheint es so, als ob nicht die Hosts des Intranets Nachrichten senden, sondern der Router
 - Hosts im Internet antworten dem Router, nicht dem Hosts des Intranets

- Router muss NAPT-Übersetzungstabelle pflegen, um Antworten an den richtigen Intranet-Host zu senden
- In der Regel werden auch die Ports (= Layer 4 Adresse, 0-65535, siehe später) ersetzt



Grafik aus Computernetze, Kurose und Ross

5.11 Spezielle IPv4-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Abgesehen von der Zuweisung von Adressen für einzelne Computer
 - ist es bequem Adressen zu haben, die ein ganzes NW oder eine Gruppe von Computern kennzeichnen
- IPv4 definiert dafür einen Satz spezieller IP-Adressen → Reserviert
- Spezielle IPv4-Adressen dürfen nie einem Host zugewiesen werden
 - 5.17.1 Netzwerk Adresse
 - 5.17.2 Gerichtete Broadcast-Adresse
 - 5.17.3 Begrenzte Broadcast-Adresse
 - 5.17.4 „This Computer“ Adresse
 - 5.17.5 Loopback Adresse

5.11.1 Netzwerk-Adresse

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

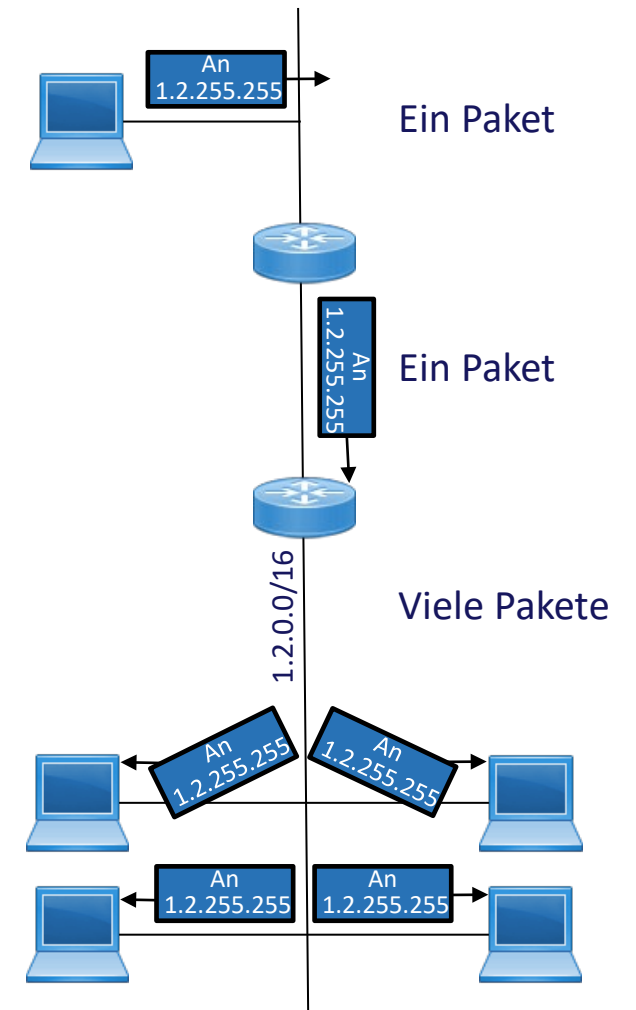
- Bezieht sich auf das Netzwerk selbst, nicht auf die Hosts dieses Netzwerks
- IP reserviert dafür die Hostadresse Null
 - 128.211.0.0/16 kennzeichnet das Subnetz mit dem Präfix 128.211
 - 10.0.0.0/8 kennzeichnet das Subnetz mit dem Präfix 10
- Derartige Adressen werden beispielsweise in **Routingtabellen** verwendet, da Router nicht jeden Host kennen müssen, sondern nur einzelne Netzwerke.
- Die NW-Adresse sollte nie als Zieladresse in einem IP-Paket erscheinen

5.11.2 Gerichtete Broadcast-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Um eine Kopie eines Paketes an alle Host zu senden
 - verwendet ein NW „Broadcasting“
- Wenn ein Paket an eine gerichtete Broadcast-Adresse gesendet wird
 - wandert ein einzelnes Paket durch das Internet bis es das angegebene NW erreicht
 - danach wird es an alle Host des NW gesendet
- Gerichtete Broadcast-Adresse
 - Suffix besteht aus lauter 1 Bits
 - IP reserviert dafür die Host-Adresse die aus lauter 1 Bits besteht
- Falls ein NW Broadcast unterstützt
 - wird dieser zur Zustellung eines gerichteten Broadcasts verwendet
- Falls kein HW Support
 - SW sendet jedem Host des NW eine getrennte Kopie oder
 - Broadcast wird nicht unterstützt



Obere Host sendet „Gerichteten BC“ an das untere Subnetz
40

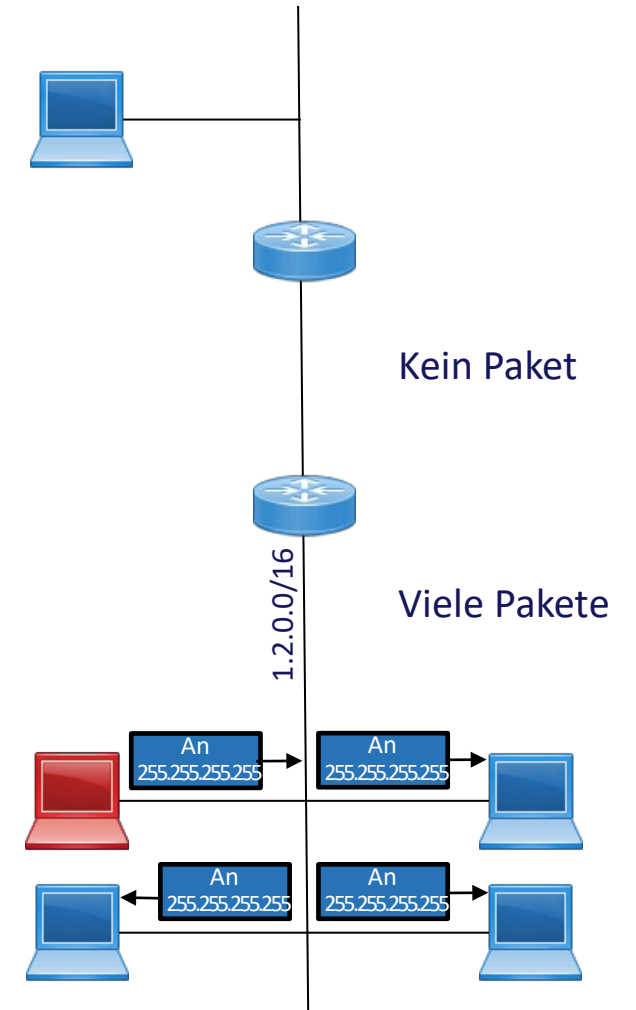
5.11.3 Begrenzte Broadcast-Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Adressiert alle Hosts des **lokalen** physikalischen Subnetzes.
- Wird während des Starts von einem Computer verwendet, der seine NW-Adresse noch nicht kennt
- IP reserviert hierzu die Adresse, die aus lauter 1 Bits besteht (**255.255.255.255**)

Roter Host sendet
„Begrenzten Broadcast“



5.11.4 Die Adresse „This Computer“

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Ein Computer muss seine IP-Adresse kennen, um Pakete senden oder empfangen zu können
 - jedes Paket beinhaltet die Adresse der Quelle und des Ziels
- Die TCP/IP-Familie umfasst Protokolle, die ein Computer verwenden kann, um beim Starten seine IP Adresse automatisch einzuholen (DHCP).
- Das Startprotokoll kommuniziert selbst mittels IP
- Während des Startprotokolls
 - kann der Computer keine korrekte IP-Quellenadresse verwenden
- Für diese Fälle reserviert IP die Adresse **0.0.0.0**, die sinngemäß „**dieser Computer**“ heißt

5.11.5 Loopback-Adresse

Inhalt

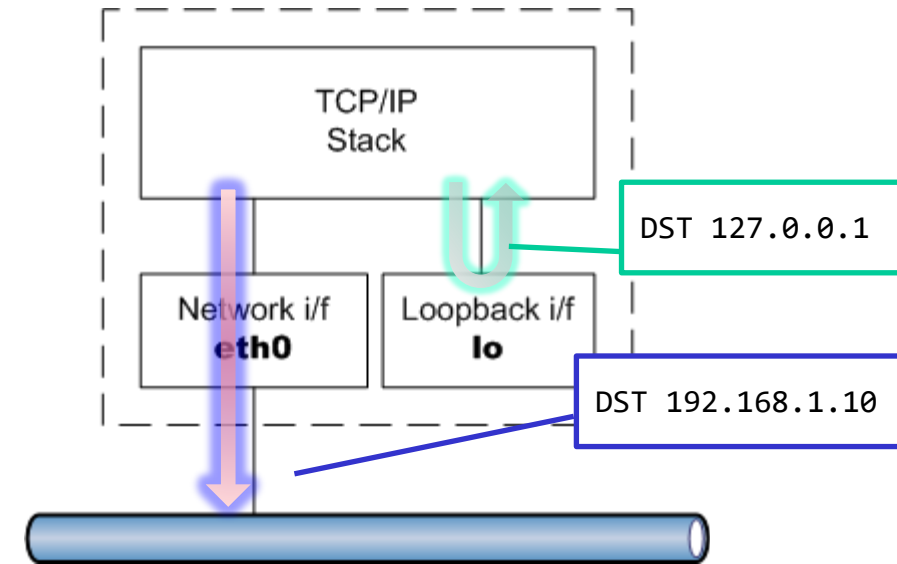
- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Jeder Host besitzt eine virtuelle Netzwerkkarte, das so genannte Loopback IF
- Pakete, die an Loopback-Adresse geschickt werden, werden an eigenen Computer zugestellt – daher der Name *loopback*

- Bei IPv4 ist hierfür das Präfix **127.0.0.0/8** reserviert
- Die populärste Loopback-Adresse **127.0.0.1** wird auch als localhost bezeichnet

- Einsatzzweck:
 - Fehlerdiagnose
 - Kommunikation zweier Netzwerkanwendungen auf dem selben Computer
 - Z.B.: Medienserver, der sowohl vom Netzwerk aus zu erreichen ist, als auch vom lokalen PC aus über eine Client-Software
 - Weitere Beispiele sind Printserver, HTTP-Server, etc. ... alle können über 127.0.0.1 auf dem lokalen Rechner kontaktiert werden

- Wird ein Paket an die eigene IP-Adresse gesendet, löst die Routingtabelle diese automatisch in 127.0.0.1 auf



5.12 Spezielle IPv6 Adressen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

IPv6 kennt folgende Adresstypen

➤ Unicast

- Unspecified
- Loopback
- Scoped address
 - Link-local
 - Site-local (veraltet)
 - Unique Local Unicast
- Aggregatable Global (global zusammenfassbare)

➤ Multicast

- Broadcast: nicht vorhanden bei IPv6

➤ Anycast (nicht Inhalt der Vorlesung)

5.13.1 Unspecified

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Wird als Platzhalter verwendet, falls keine andere Adresse verfügbar ist
 - DHCP request (Adresszuordnungsprotokoll)
 - Duplicate Address Detection (DAD)
- Wie 0.0.0.0 in IPv4
- 0:0:0:0:0:0:0:0 oder ::

5.13.2 Loopback

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Identifiziert sich selbst
- „localhost“
- Wie 127.0.0.1 in IPv4
- 0:0:0:0:0:0:0:1 oder ::1
- Um zu testen, ob ihr IPv6 Stack funktioniert:
 - ping ::1

5.13.3 Link-local

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Scoped Adresse (neu in IPv6): Nur in einem Bereich des Intranets gültig

- Scope link-local = lokales Subnetz („link“)
 - Kann nur zwischen Rechner des selben Subnetzes verwendet werden
 - Werden nicht geroutet
- Automatisch auf jedem Interface vorhanden
- Format:
 - FE80:0:0:0:<interface identifizier>
 - <interface identifizier> basiert auf MAC Adresse des Interfaces
- Gibt jeder Netzwerkkarte eine gültige IPv6 Adresse zum Start der Kommunikation
- Anwendungen sollen diese Adresse nicht verwenden

5.13.4 Unique Local Unicast

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Scope = Site (ein Netzwerk von Subnetzen, z.B. Firmennetz eines Standortes)
 - Funktioniert nur zwischen Rechner der gleichen Site
 - Werden nicht außerhalb der Site geroutet
 - Ähnlich zu privaten Adressen in IPv4
 - Pakete mit diesem Scope werden von Internet Routern verworfen
- Nicht defaultmäßig konfiguriert
- Zwei Formen:
 - fd00/8 : nächste 40 Bit zufällig, dann 16 Bit für Netz-ID, z.B. fd7a:a34f:7d5e:0:1::/64
 - fc00/8 : global zugewiesene eindeutige Werte für die nächsten 40 Bit

Inhalt

– Grundlagen

– Pakete, Rahmen, Fehlererkennung

– LAN-Technologien

– Routing

– IP-Adressen

– IP

– UDP

– TCP

– DNS

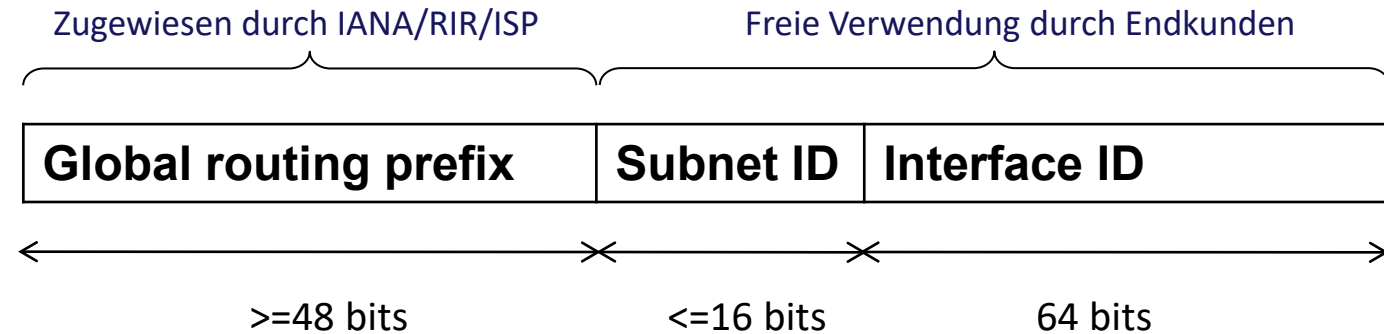
– DHCP

– WWW

- Eigentliche IPv6 Adressen des Internet
- Scope = Welt
- Vergeben durch IANA
 - An Regional Registries (RIR)
 - Dann an die ISPs
 - Dann an die Sites (Endkundennetz)
 - Dann an die Subnetze der Endkunden

5.13.6 Aggregatable Global

➤ Struktur



- 128 bit Total
- ≥ 48 bit Präfix für Site (Firmennetz oder Heimnetz)
- ≤ 16 bit für Subnetze in der Site
- 64 bit für Interface ID (aus MAC-Adresse oder zufällig oder zugewiesen über DHCP)

➤ Adressen beginnen mit

- 2001:
- Genauer: Das erste Byte hat die Bits 001x xxxx

5.13.7 Multicast

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Multicast = one-to-many
- Kein Broadcast in IPv6. Dafür wird Multicast verwendet, meist für das lokale Subnetz
- Scoped Adressen
 - Node, link, site, organisation, global
- Format:
 - FF<flags><scope>::<multicast group>

5.13.8 Multicast

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Einige reservierte Multicast Adressen

Adress	Scope	Use
FF01::1	Interface-local	All Nodes = lokaler Broadcast
FF02::1	Link-local	All Nodes
FF01::2	Interface-local	All Routers
FF02::2	Link-local	All Routers
FF05::2	Site-local	All Routers

➤ RFC2373, Kapitel 2.7

5.14 Multi-Homed Hosts

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Kann ein Host an mehrere Netzwerke angeschlossen sein?
 - Ja!
- Ein solcher Host
 - wird „multi-homed“ genannt
 - hat mehrere IP-Adressen
 - IPv4: Pro Interface eine
 - IPv6: pro Interface mehrere
- Multi-homing wird manchmal zur Erhöhung der Ausfallsicherung verwendet
 - falls ein Anschluss ausfällt, kann das Internet noch immer über den anderen Anschluss erreicht werden
- aber auch zur Performance-Verbesserung
 - durch Anschlüsse an mehrere Netzwerke lassen sich Daten direkt senden und Router umgehen, die manchmal überlastet sind
- Unterschied zu Router: Leitet keine Pakete weiter (kein „Forwarding“)

5.15 Subnetzmaske in IPv4

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

- Adressierung benötigt folgende Information
 - die eigentliche 32-Bit Adresse und
 - die Anzahl der Bits des NW-Präfix
- Die Anzahl der NW-Präfix-Bits wurde bisher durch $/n$ (Subnetzmaske) dargestellt.
- In IPv4 wird diese Information (Subnetzmaske) üblicherweise durch eine 32-Bit Zahl dargestellt
 - Ursprung des Begriffes „Subnetzmaske“
 - linker Teil besteht aus 1er Bits
 - rechter Teil aus 0er Bits
 - Beispiel: 1111 1111 .1111 1111.1111 1111.1111 0000 weist eine 28Bit NW-Präfix aus (und 4 Bit Interface-Suffix)
 - dotted-decimal Darstellung der Subnetzmaske 255.255.255.240 (240=11110000b)
 - Entspricht $/28$ in der bisherigen (CIDR) Notation
 - Beide Notationen sind gültig und gebräuchlich

5.15 Subnetzmasken in IPv4

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Die Maskendarstellung erlaubt eine schnelle Berechnung der Netzwerkadresse N aus der IP-Adresse A

➤ Beispiel:

- Betrachte die Subnetzmaske $M = 255.255.254.0 = /23$, binär:

1111 1111 1111 1111 1111 1110 0000 0000

- Betrachte die IP-Adresse
A = 128.10.3.3, binär:

1000 0000 0000 1010 0000 0011 0000 0011

&

1000 0000 0000 1010 0000 0010 0000 0000 = 128.10.2.0

- Ergebnis: Ein bitweises logisches „Und &“ von (A & M) ergibt N zu 128.10.2.0

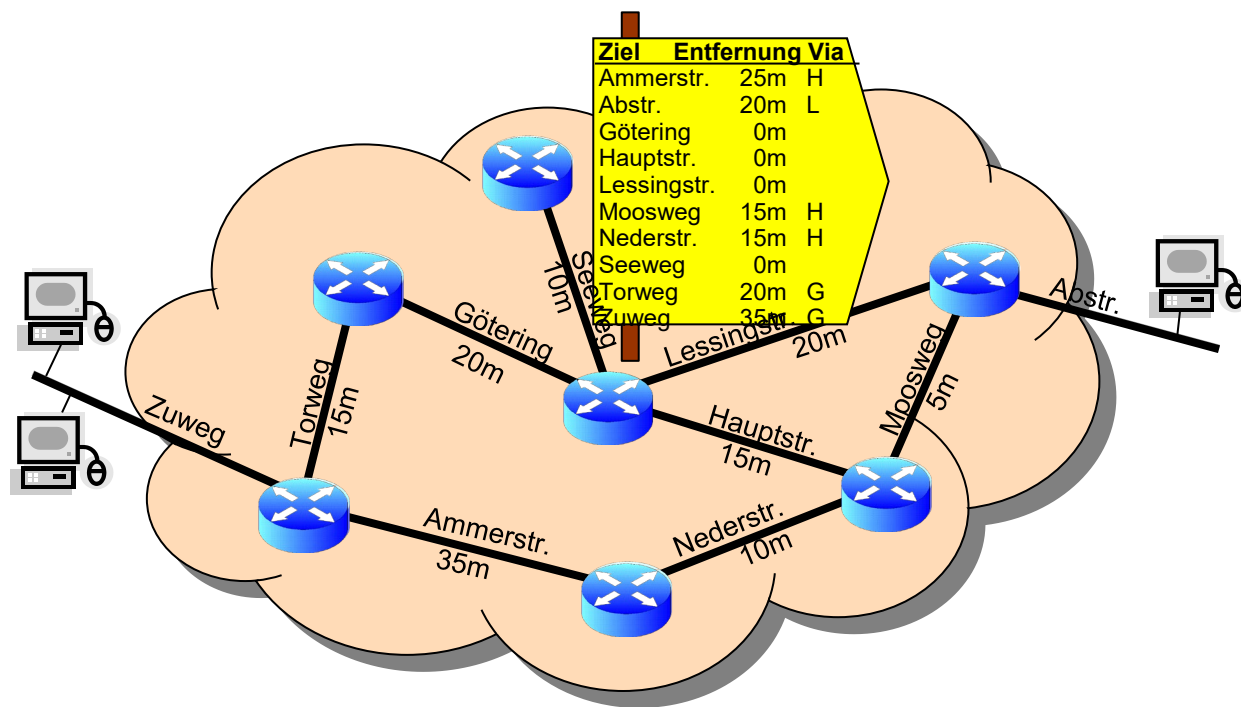
➤ Wird intensiv bei Router eingesetzt

5.16 Routing, Teil 2

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Aus Kapitel 4:



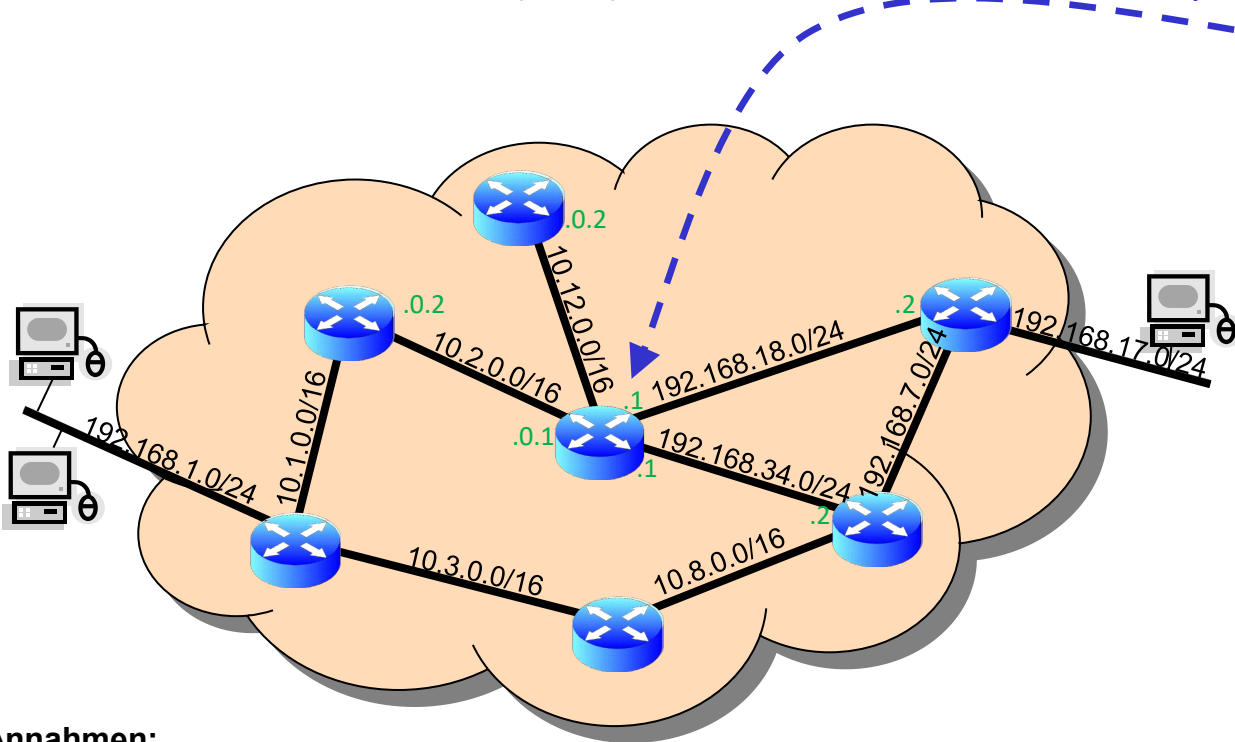
Vereinfachte Routing Tabelle des zentralen Routers. Der kürzeste Weg z.B. zur Ammerstraße führt über die Hauptstraße und ist 25m (=Länge Hauptstr. + Länge Nederstr.) lang.
H: Hauptstraße, L: Lessingstraße, G: Göterring sind die direkt angeschlossenen Straßen.

5.16 Routing, Teil 2

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- **IP-Adressen**
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

➤ Jetzt mit IP Adressschema (IPv4), Metrik ist die Anzahl der Hops



Annahmen:

- Die Interface ID des zentralen Routers ist hier immer .1 bzw. .0.1
- Die Interface ID des benachbarten Routers ist hier immer .2 bzw. .0.2

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Hops
10.3.0.0	255.155.0.0	192.168.34.2	192.168.34.1	2
192.168.17.0	255.255.255.0	192.168.168.2	192.168.168.1	1
10.2.0.0	255.255.0.0	Auf Verbindung	10.2.0.0.1	0
192.168.34.0	255.255.255.0	Auf Verbindung	192.168.34.1	0
192.168.18.0	255.255.255.0	Auf Verbindung	192.168.18.1	0
192.168.7.0	255.255.255.0	192.168.34.2	192.168.34.1	1
10.8.0.0	255.255.0.0	192.168.34.2	192.168.34.1	2
10.12.0.0	255.255.0.0	Auf Verbindung	10.12.0.1	0
10.1.0.0	255.255.0.0	10.2.0.2	10.2.0.1	1
192.168.1.0	255.255.255.0	10.2.0.2	10.2.0.1	2

Routingtabelle des zentralen Routers

➤ Zugriffslogik: Erhält der Router (=„Gateway“) Paket mit Zieladresse A,

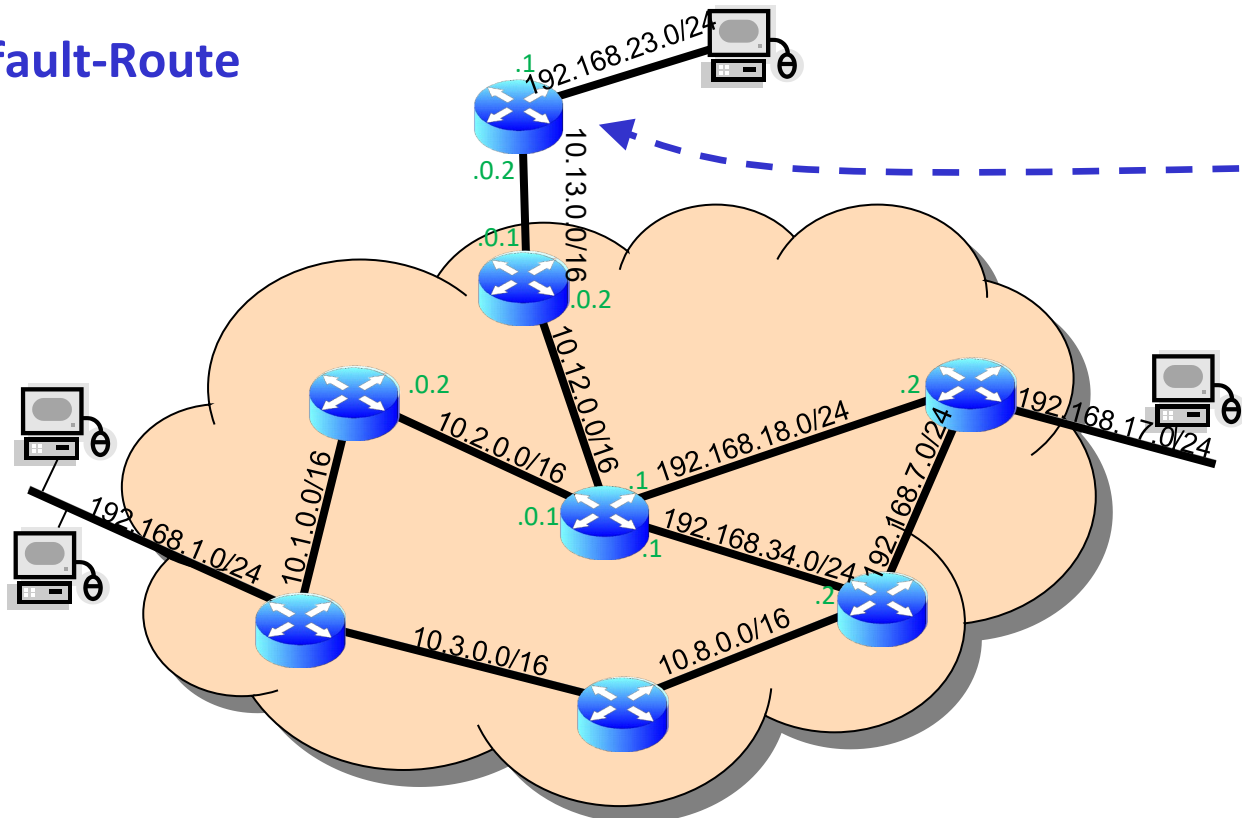
- geht er Zeile für Zeile durch die Routingtabelle,
- verknüpft er A „bitweise &“ mit der zweiten Spalte (Netzwerkmaske) und vergleicht das Ergebnis mit der ersten Spalte (Netzwerkziel). Bei Übereinstimmung → Treffer → mögliche Route über dritte und vierte Spalte gefunden

5.17 Routing Tabelle - Optimierungen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Default-Route



Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Hops
0.0.0.0	0.0.0.0	10.13.0.1	10.13.0.2	-
192.168.23.0	255.255.255.0	Auf Verbindung	192.168.23.1	0
10.13.0.0	255.255.0.0	Auf Verbindung	10.13.0.2	0

Optimierte Routingtabelle des oberen Routers. 0.0.0.0/0 ist die „Default“-Route und 10.13.0.1 (der zweitoberste Router) das „Default-Gateway“ aus Sicht des oberen Routers. Alle Pakete für die „Wolke“ müssen über 10.13.0.1 gesendet werden, d.h. die Routing-Tabelle muss keine Unterscheidung treffen. Dies entspricht der Situation eines „Heimrouters“

- **Zugriffslogik:** Treffen mehrere Zeilen für Zieladresse A zu,
- wird die mit der größeren Subnetzmaske gewählt („longest prefix rule“, da die Route spezifischer ist, d.h. für weniger IP-Adressen zutrifft),
 - dann erst die mit der niedrigeren Metrik (hier letzte Spalte „Hops“).
- ➔ Default Route trifft immer zu, da A&0.0.0.0 immer 0.0.0.0 ergibt. Die Default Route wird aber nur verwendet, falls nicht eine andere Zeile auch zutrifft (0.0.0.0 ist die kleinste Subnetzmaske)

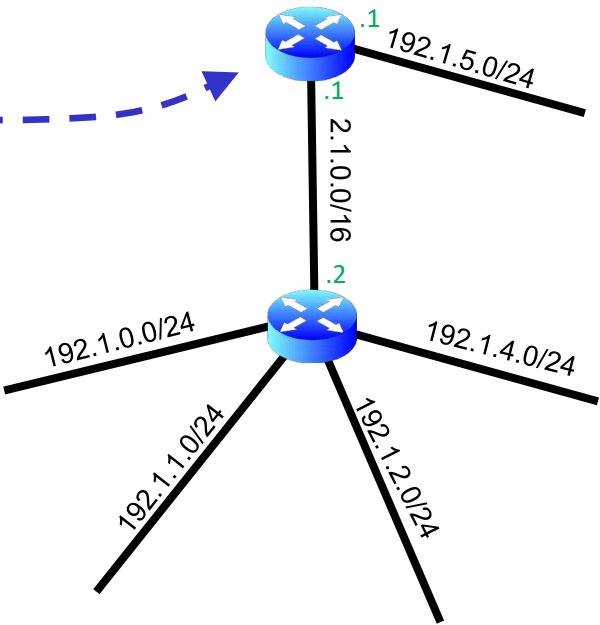
5.17 Routing Tabelle - Optimierungen

Inhalt

- Grundlagen
- Pakete, Rahmen, Fehlererkennung
- LAN-Technologien
- Routing
- IP-Adressen
- IP
- UDP
- TCP
- DNS
- DHCP
- WWW

Zusammenfassung (Aggregation) mehrerer Netz zu einer Route

Netzwerkziel	Netzwerkmaske	Gateway	Schnittstelle	Hops
192.1.5.0	255.255.255.0	Auf Verbindung	192.1.5.1	0
2.1.0.0	255.255.0.0	Auf Verbindung	2.1.0.1	0
192.1.0.0	255.255. 252 .0	2.1.0.2	2.1.0.1	1



Optimierte Routingtabelle des oberen Routers.

- Die dritte Zeile fasst („aggregiert“) die vier unteren Netze zusammen.
Bem: 255.255.252.0 = /22
- Obwohl es 6 mögliche Netzwerkziele gibt, reichen 3 Routingzeilen