

Gruppen Di-T14 / Mi-T25

Tutorübung zu Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme (SS 16)

Michael Schwarz

Institut für Informatik
Technische Universität München

31.05 / 01.06.2016

Adressierung im Internet

Die Sicherungsschicht (Schicht 2) bietet

- mehr oder weniger fairen Medienzugriff bei von mehreren Hosts geteilten Medien,
- einen „ausreichenden“ Schutz vor Übertragungsfehler und
- Adressierung innerhalb eines Direktverbindungsnetzes.

Die Vermittlungsschicht (Schicht 3) ergänzt dies um

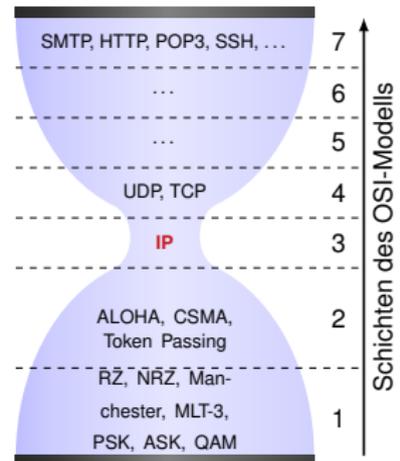
- Möglichkeiten zur global eindeutigen **und** strukturierten / logischen Adressierung sowie
- Verfahren zur Bestimmung von (möglichst) optimalen Pfaden.

Wir beschränken uns in diesem Teilkapitel auf die Betrachtung von

- **IPv4 (Internet Protocol v4, 1981)** bzw.
- seinem Nachfolger **IPv6 (1998)**.

Beispiele für alternative Protokolle der Netzwerkschicht:

- **IPX (Internetwork Packet Exchange, 1990)**
- **DECnet Phase 5 (1987)**
- **AppleTalk (1983)**



Merke:

- MAC-Adressen dienen zur Adressierung **innerhalb** eines (Direktverbindungs-)Netzes und werden beim Routing verändert.
- IP-Adressen dienen der End-zu-End-Adressierung **zwischen** mehreren (Direktverbindungs-)Netzen und werden beim Routing nicht verändert.

Anmerkungen

- Das Ergebnis einer Adressauflösung wird i. d. R. im **ARP-Cache** eines Hosts zwischengespeichert, um nicht bei jedem zu versendenden Paket erneut eine Adressauflösung durchführen zu müssen.
- Die Einträge im ARP-Cache altern und werden nach einer vom Betriebssystem festgelegten Zeit invalidiert (5-10 Minuten).
- Den Inhalt des ARP-Caches kann man sich unter Linux, OS X und Windows mittels des Befehls `arp -a` anzeigen lassen.
- ARP-Replies können auch als MAC-Broadcast verschickt werden, so dass alle Hosts innerhalb einer Broadcast-Domain den Reply erhalten. Abhängig vom Betriebssystem werden derartige „unaufgeforderten ARP-Replies“ (engl. **unsolicited ARP replies**) häufig ebenfalls im ARP-Cache gespeichert.

Fragen: Was würde passieren, wenn ...

- zwei Hosts innerhalb derselben Broadcast-Domain identische MAC-Adressen aber unterschiedliche IP-Adressen haben?
- ein Host absichtlich auf ARP-Requests antwortet, die nicht an ihn gerichtet waren?
- ein Host unsinnige ARP-Replies via MAC-Broadcasts verschickt?

Subnetting (Classless Routing)

Bereits 1993 wurde mit CIDR³ ein Verfahren zur Unterteilung von IP-Netzen eingeführt:

- Zusätzlich zur IP-Adresse erhält ein Interface eine ebenfalls 32 bit lange **Subnetzmaske**
- Die Subnetzmaske unterteilt die IP-Adresse in einen **Netzanteil** und einen **Hostanteil**
- Eine logische 1 in der Subnetzmaske bedeutet Netzanteil, eine logische 0 Hostanteil
- UND-Verknüpfung von IP-Adresse und Subnetzmaske ergibt die Netzadresse
- Die übliche Klassenzugehörigkeit hat damit nur noch im Sprachgebrauch eine Bedeutung

Beispiel 1:

IP-Adresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10110010	192.168.0.178
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000	255.255.255.0
Netzadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 00000000	192.168.0.0
Broadcastadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 11111111	192.168.0.255

- 24 bit Netzanteil, 8 bit Hostanteil $\Rightarrow 2^8 = 256$ Adressen
- Netzadresse: 192.168.0.0
- Broadcast-Adresse: 192.168.0.255
- Nutzbare Adressen für Hosts: $2^8 - 2 = 254$

³Classless Inter-Domain Routing

Subnetting (Classless Routing)

Bereits 1993 wurde mit CIDR³ ein Verfahren zur Unterteilung von IP-Netzen eingeführt:

- Zusätzlich zur IP-Adresse erhält ein Interface eine ebenfalls 32 bit lange **Subnetzmaske**
- Die Subnetzmaske unterteilt die IP-Adresse in einen **Netzanteil** und einen **Hostanteil**
- Eine logische 1 in der Subnetzmaske bedeutet Netzanteil, eine logische 0 Hostanteil
- UND-Verknüpfung von IP-Adresse und Subnetzmaske ergibt die Netzadresse
- Die übliche Klassenzugehörigkeit hat damit nur noch im Sprachgebrauch eine Bedeutung

Beispiel 2:

IP-Adresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10110010	192.168.0.178
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 10000000	255.255.255.128
Netzadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10000000	192.168.0.128
Broadcastadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 11111111	192.168.0.255

- 25 bit Netzanteil, 7 bit Hostanteil $\Rightarrow 2^7 = 128$ Adressen
- Netzadresse: 192.168.0.128
- Broadcast-Adresse: 192.168.0.255
- Nutzbare Adressen für Hosts: $2^7 - 2 = 126$

³Classless Inter-Domain Routing

Subnetting (Classless Routing)

Bereits 1993 wurde mit CIDR³ ein Verfahren zur Unterteilung von IP-Netzen eingeführt:

- Zusätzlich zur IP-Adresse erhält ein Interface eine ebenfalls 32 bit lange **Subnetzmaske**
- Die Subnetzmaske unterteilt die IP-Adresse in einen **Netzanteil** und einen **Hostanteil**
- Eine logische 1 in der Subnetzmaske bedeutet Netzanteil, eine logische 0 Hostanteil
- UND-Verknüpfung von IP-Adresse und Subnetzmaske ergibt die Netzadresse
- Die übliche Klassenzugehörigkeit hat damit nur noch im Sprachgebrauch eine Bedeutung

Beispiel 3:

IP-Adresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10110010	192.168.0.178
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 11000000	255.255.255.192
Netzadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10000000	192.168.0.128
Broadcastadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10111111	192.168.0.191

- 26 bit Netzanteil, 6 bit Hostanteil $\Rightarrow 2^6 = 64$ Adressen
- Netzadresse: 192.168.0.128
- Broadcast-Adresse: 192.168.0.191
- Nutzbare Adressen für Hosts: $2^6 - 2 = 62$

³Classless Inter-Domain Routing

Supernetting

Dasselbe Prinzip funktioniert auch in die andere Richtung:

- Zusammenfassung mehrerer **zusammenhängender** kleinerer Netze zu einem größeren Netz
- Wird häufig von Routern angewendet, um die Anzahl der Einträge in der Routingtabelle zu reduzieren

Beispiel:

IP-Adresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 10110010	192.168.0.178
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111110 . 00000000	255.255.254.0
Netzadresse	11000000 . 10101000 . 00000000 . 00000000	192.168.0.0
Broadcastadresse	11000000 . 10101000 . 00000001 . 11111111	192.168.1.255

- 23 bit Netzanteil, 9 bit Hostanteil $\Rightarrow 2^9 = 512$ Adressen
- Netzadresse: 192.168.0.0
- Broadcast-Adresse: 192.168.1.255
- Nutzbare Adressen für Hosts: $2^9 - 2 = 510$

Präfixschreibweise:

Anstelle die Subnetzmaske auszuschreiben, wird häufig nur die Länge des Netzanteils (Anzahl führender Einsen in der Subnetzmaske) angegeben, z. B. 192.168.0.0/23.

Frage: Können die beiden Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Frage: Können die beiden Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort: Nein, denn es gibt keine passende Subnetzmaske:

- 192.168.0.0/23 enthält die Netze 192.168.{0,1}.0/24
- 192.168.2.0/23 enthält die Netze 192.168.{2,3}.0/24
- 192.168.1.0/23 ist **keine gültige** Netzadresse, denn UND-Verknüpfung der Adresse 192.168.1.0 mit der Subnetzmaske 255.255.254.0 ergibt 192.168.0.0 als Netzadresse!
⇒ 192.168.1.0 ist eine Hostadresse im Netz 192.168.0.0/23.

Frage: Können die beiden Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort: Nein, denn es gibt keine passende Subnetzmaske:

- 192.168.0.0/23 enthält die Netze 192.168.{0,1}.0/24
- 192.168.2.0/23 enthält die Netze 192.168.{2,3}.0/24
- 192.168.1.0/23 ist **keine gültige** Netzadresse, denn UND-Verknüpfung der Adresse 192.168.1.0 mit der Subnetzmaske 255.255.254.0 ergibt 192.168.0.0 als Netzadresse!
⇒ 192.168.1.0 ist eine Hostadresse im Netz 192.168.0.0/23.

Frage:

Können die beiden Netze 192.168.0.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Frage: Können die beiden Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort: Nein, denn es gibt keine passende Subnetzmaske:

- 192.168.0.0/23 enthält die Netze 192.168.{0,1}.0/24
 - 192.168.2.0/23 enthält die Netze 192.168.{2,3}.0/24
 - 192.168.1.0/23 ist **keine gültige** Netzadresse, denn UND-Verknüpfung der Adresse 192.168.1.0 mit der Subnetzmaske 255.255.254.0 ergibt 192.168.0.0 als Netzadresse!
⇒ 192.168.1.0 ist eine Hostadresse im Netz 192.168.0.0/23.
-

Frage:

Können die beiden Netze 192.168.0.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort:

Nein, denn die beiden Netze sind nicht benachbart:

- Das Netz 192.168.0.0/22 würde zwar beide Subnetze enthalten, zusätzlich aber auch die beiden Netze 192.168.{1,3}.0/24.

Frage: Können die beiden Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort: Nein, denn es gibt keine passende Subnetzmaske:

- 192.168.0.0/23 enthält die Netze 192.168.{0,1}.0/24
 - 192.168.2.0/23 enthält die Netze 192.168.{2,3}.0/24
 - 192.168.1.0/23 ist **keine gültige** Netzadresse, denn UND-Verknüpfung der Adresse 192.168.1.0 mit der Subnetzmaske 255.255.254.0 ergibt 192.168.0.0 als Netzadresse!
⇒ 192.168.1.0 ist eine Hostadresse im Netz 192.168.0.0/23.
-

Frage:

Können die beiden Netze 192.168.0.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort:

Nein, denn die beiden Netze sind nicht benachbart:

- Das Netz 192.168.0.0/22 würde zwar beide Subnetze enthalten, zusätzlich aber auch die beiden Netze 192.168.{1,3}.0/24.
-

Frage:

Können die vier Netze 192.168.{4,5,6,7}.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Frage: Können die beiden Netze 192.168.1.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort: Nein, denn es gibt keine passende Subnetzmaske:

- 192.168.0.0/23 enthält die Netze 192.168.{0,1}.0/24
 - 192.168.2.0/23 enthält die Netze 192.168.{2,3}.0/24
 - 192.168.1.0/23 ist **keine gültige** Netzadresse, denn UND-Verknüpfung der Adresse 192.168.1.0 mit der Subnetzmaske 255.255.254.0 ergibt 192.168.0.0 als Netzadresse!
⇒ 192.168.1.0 ist eine Hostadresse im Netz 192.168.0.0/23.
-

Frage:

Können die beiden Netze 192.168.0.0/24 und 192.168.2.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort:

Nein, denn die beiden Netze sind nicht benachbart:

- Das Netz 192.168.0.0/22 würde zwar beide Subnetze enthalten, zusätzlich aber auch die beiden Netze 192.168.{1,3}.0/24.
-

Frage:

Können die vier Netze 192.168.{4,5,6,7}.0/24 zu einem größeren Netz zusammengefasst werden?

Antwort:

Ja, das Netz 192.168.4.0/22 umfasst genau diese vier Netze.

Warum?

Adressknappheit !

⇒ 128 statt 32 Bit (IPv4)

Und dann?

“A 128-bit address space provides 655,570,793,348,866,943,898,599 addresses for every square meter of the Earth’s surface.”¹

Fun Facts

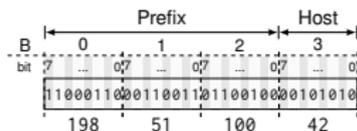
- Standardisierung 1998
- Aber nur < 12% des Traffics²

¹<https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc781652%28v=ws.10%29.aspx>

²Nach: <https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html> - 29.05.2016
Subnetting

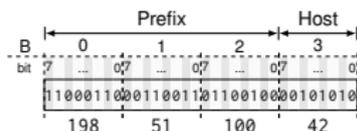
Adressformat

- IPv4-Adressen werden üblicherweise in **Dot-Decimal-Notation** dargestellt, d.h. je eine 8 bit lange Gruppe wird als Dezimalzahl im Bereich 0–255 getrennt durch Punkte notiert.
- Diese Schreibweise würde bei IPv6 insgesamt 16 Gruppen ergeben – und merken könnte sich das auch niemand mehr.

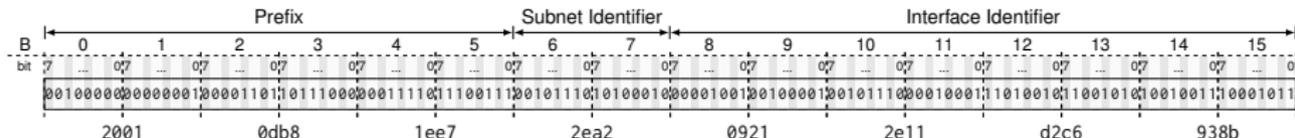


Adressformat

- IPv4-Adressen werden üblicherweise in **Dot-Decimal-Notation** dargestellt, d.h. je eine 8 bit lange Gruppe wird als Dezimalzahl im Bereich 0–255 getrennt durch Punkte notiert.
- Diese Schreibweise würde bei IPv6 insgesamt 16 Gruppen ergeben – und merken könnte sich das auch niemand mehr.



- Stattdessen werden IPv6-Adressen in Gruppen zu je 16 bit getrennt durch Doppelpunkte (**colon-separated**) in hexadezimaler Schreibweise dargestellt.



Achtung:

- Bitte IPv6-Adressen nicht mit MAC-Adressen verwechseln, nur weil beide hexadezimal notiert werden.
- Bitte das Präfix, das es auch bei IPv4 gibt, und den Subnet Identifier auseinander halten.

Hinweise zur Notation [7]⁵

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

⁵Weitere Details finden sich in RFC 5952.

Hinweise zur Notation [7]⁵

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

⁵Weitere Details finden sich in RFC 5952.

Hinweise zur Notation [7]⁵

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

⁵Weitere Details finden sich in RFC 5952.

Hinweise zur Notation [7]⁵

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:
✓ 2001:db8:0:0:1:0:0:1
2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:
✓ 2001:db8::1:0:0:1
3. Gibt es mehrere Möglichkeiten für Fall 2), so wählt man die längste Sequenz von Nullen. Bei mehreren gleich lange Sequenzen wählt man die erste Möglichkeit. **Falsch** wäre also:
✗ 2001:db8:0:0:1::1
✗ 2001:db8::1::1

⁵Weitere Details finden sich in RFC 5952.

Hinweise zur Notation [7]⁵

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

3. Gibt es mehrere Möglichkeiten für Fall 2), so wählt man die längste Sequenz von Nullen. Bei mehreren gleich lange Sequenzen wählt man die erste Möglichkeit. **Falsch** wäre also:



2001:db8:0:0:1::1



2001:db8::1::1

4. Ein einzelner 0 Block darf **nicht** mit :: abgekürzt werden:



2001:db8:0:1:1:1:1:1



2001:db8::1:1:1:1:1

Anderes Beispiel: Die Loopback-Adresse (vgl. 127.0.0.1 bei IPv4) lässt sich wie folgt kürzen:

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001/128

⁵Weitere Details finden sich in RFC 5952.

Hinweise zur Notation [7]⁵

Wir betrachten die folgende Adresse:

2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001

1. Führende Nullen in den einzelnen Blöcken werden weggelassen:



2001:db8:0:0:1:0:0:1

2. Höchstens eine Gruppe konsekutiver Blöcke, die nur aus Nullen bestehen, darf wie folgt abgekürzt werden:



2001:db8::1:0:0:1

3. Gibt es mehrere Möglichkeiten für Fall 2), so wählt man die längste Sequenz von Nullen. Bei mehreren gleich lange Sequenzen wählt man die erste Möglichkeit. **Falsch** wäre also:



2001:db8:0:0:1::1



2001:db8::1::1

4. Ein einzelner 0 Block darf **nicht** mit :: abgekürzt werden:



2001:db8:0:1:1:1:1:1



2001:db8::1:1:1:1:1

Anderes Beispiel: Die Loopback-Adresse (vgl. 127.0.0.1 bei IPv4) lässt sich wie folgt kürzen:

0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001/128 ⇨ ::1/128

⁵Weitere Details finden sich in RFC 5952.