

4. Internet Protocol

4.1 Internet-Protokolle

4.2 Das IPv4 Protokoll

4.2.1 IPv4-Adressierung

4.2.2 IP - Forwarding

4.2.3 Das Datagramm-Format

4.3 Das IPv6 Protokoll

4.4 Fragmentierung

4.5 Address Resolution (ARP) – Protokoll

4.6 Network Address Translation

4.7 Internet Control Message Protocol – ICMP

4. Internet Protocol

4.1 Internet-Protokolle

4.2 Das IPv4 Protokoll

4.2.1 IPv4-Adressierung

4.2.2 IP - Forwarding

4.2.3 Das Datagramm-Format

4.3 Das IPv6 Protokoll

4.4 Fragmentierung

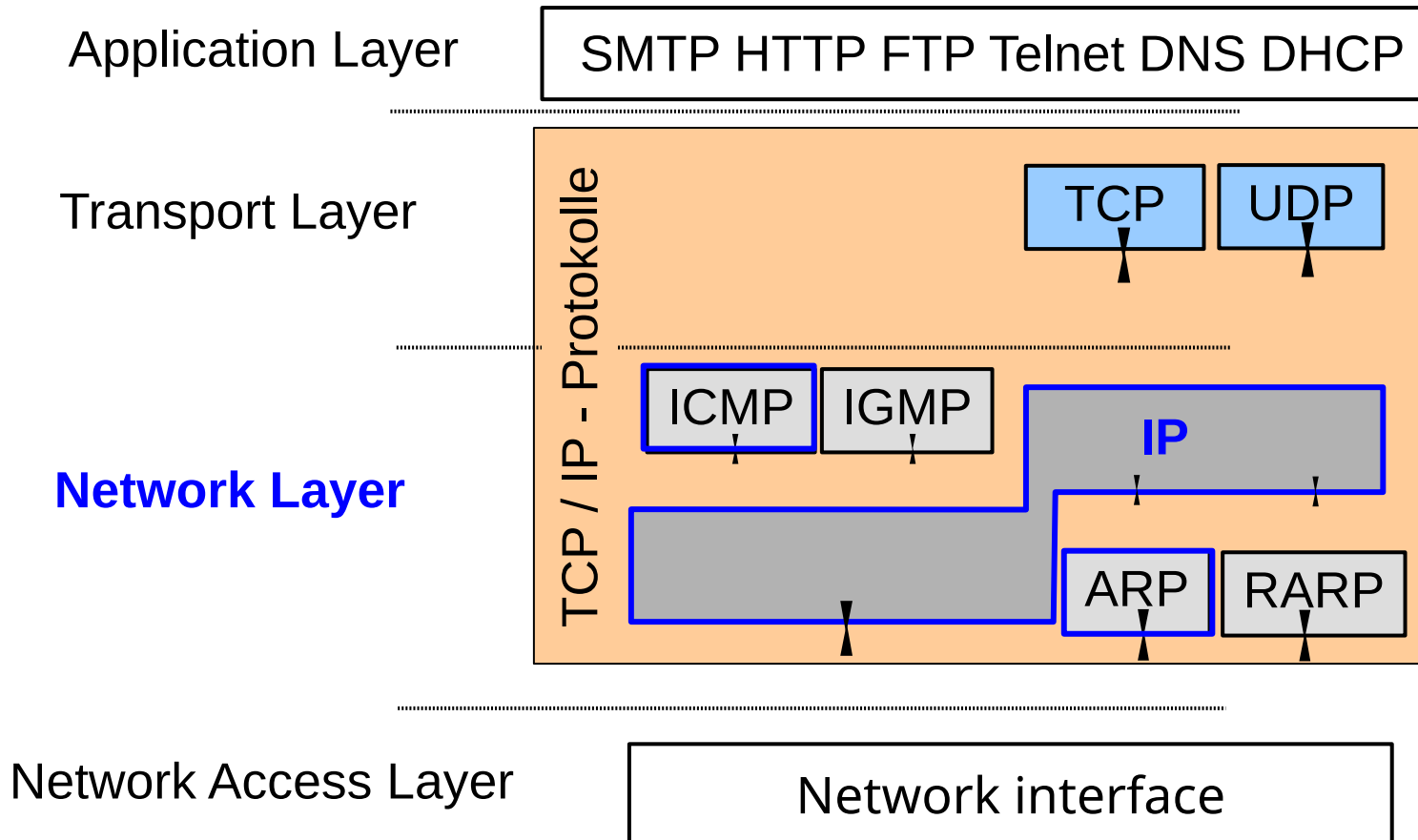
4.5 Address Resolution (ARP) – Protokoll

4.6 Network Address Translation

4.7 Internet Control Message Protocol – ICMP

4.1 Internet-Protokolle

TCP/IP-Modell



Protokolle der Network Layer

§IP: Internet Protocol

- unzuverlässige Übertragung von Dateneinheiten (Datagrammen) und deren Vermittlung durch das Netz
- zwei Versionen: IPv4 und IPv6

§ICMP: Internet Control Message Protocol

- dient dem Austausch von Kontrollmeldungen innerhalb der Vermittlungsschicht

§IGMP: Internet Group Management Protocol

- ist für die Verwaltung von Kommunikationsgruppen zuständig
- ICMP und IGMP verwenden das IP-Protokoll zum Transport ihrer Nachrichten
-trotzdem werden sie der Vermittlungsschicht zugeordnet

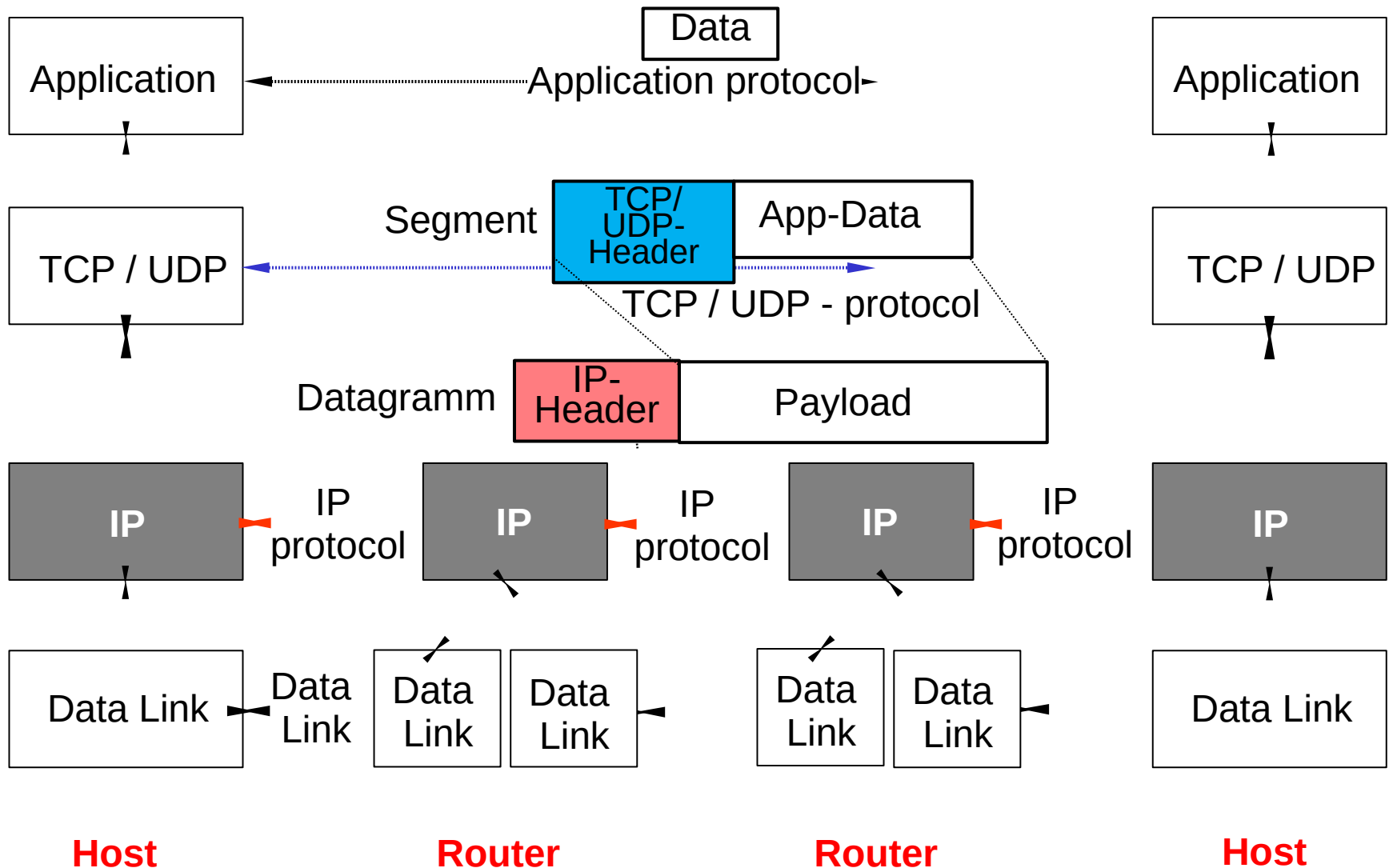
§ARP: Address Resolution Protocol

- Zuordnung von IP-Adressen zu den Adressen der Sicherungsschicht (HW-Adresse)

§RARP: Reverse Address Resolution Protocol

- Umkehrfunktion des ARP-Protokolls

Internet Protokoll – Stack in Hosts und Routern



IP stellt einen **unreliable connectionless Best Effort Service** bereit

§ Best effort service

- IP makes every effort to deliver datagrams, but it makes no guarantees

- keine Durchsatzgarantie
- keine Garantie für eine maximale Verzögerungszeit

•

§ Connectionless (verbindungslos)

- jedes Paket (Datagram) wird unabhängig von anderen transportiert
- keine Garantie, dass Reihenfolge der Datagramme erhalten bleibt

•

§ Unreliable (unsicher)

- keine Garantie, dass Datagramme fehlerfrei sind
- keine Mechanismen um verlorene Datagramme neu zu übertragen

4. Internet Protocol

4.1 Internet-Protokolle

4.2 Das IPv4 Protokoll

4.2.1 IPv4-Adressierung

4.2.2 IP - Forwarding

4.2.3 Das Datagramm-Format

4.3 Das IPv6 Protokoll

4.4 Fragmentierung

4.5 Address Resolution (ARP) – Protokoll

4.6 Network Address Translation

4.7 Internet Control Message Protocol – ICMP

Struktur der IPv4-Adresse

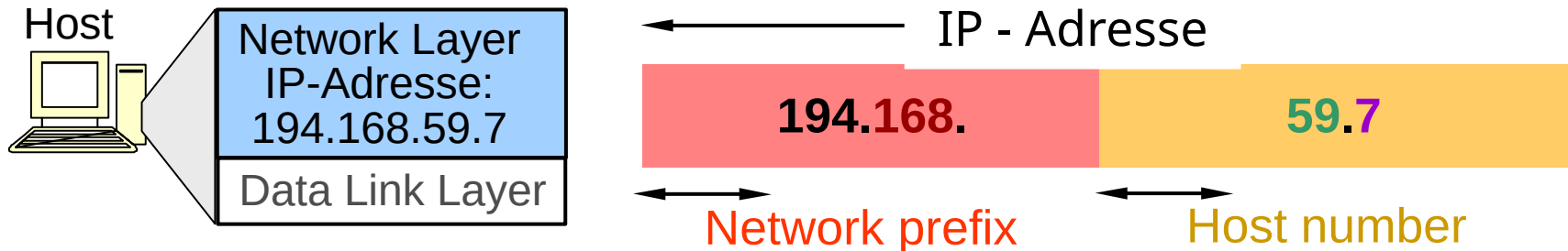
§Auf der Network-Layer wird einem Endgerät (Host, Server,...) eine 32 Bit lange IP - Adresse zugeordnet.

§Schreibweise in „dotted decimal notation“ (Punktdezimalnotation)

- jedes Byte entspricht einer Dezimalzahl im Bereich [0...255]

- Beispiel: 11000010 10101000 00111011 00000111

🔔 194.168.59.7



§Die IP - Adresse gliedert sich in zwei Teile:

- Network Prefix** (Netzwerkadresse, Präfix): identifiziert ein Netzwerk
- Host Number** (Hostadresse): kennzeichnet ein Endgerät im Netzwerk

- Beispiel: Netzwerkadresse ist 194.168.0.0
Hostadresse ist 59.7

Netmask (Netzwerkmaske)

§Die **Netzwerkmaske** kennzeichnet den Netzwerk-Präfix der IP- Adresse

- Binäre 1'en werden zur Kennzeichnung verwendet

§Beispiel:

- Die ersten beiden Bytes der IP-Adresse gehören zur Netzwerk-Adresse
- Netzmaske: **11111111 11111111** 00000000 00000000 🔔 **255.255.0.0**

§

§Verfahren zur Ermittlung der Netzwerk-Adresse

- UND - Verknüpfung von Netzwerkmaske und IP- Adresse
- Beispiel:

IP- Adresse: 11000010 10101000 00111011 00000111 🔔194.168.59.7

Netzmaske: **11111111 11111111** 00000000 00000000 🔔 **255.255.0.0**

Präfix: **11000010 10101000** 00000000 00000000 🔔 **194.168.0.0**

§

§Alternative Schreibweise:

- 194.168.0.0/16 🔔 ersten 16 Bit kennzeichnen das Netzwerk

Classless Inter-Domain Routing (CIDR)

☞ Netzwerk-Präfixe variabler Länge ersetzen ursprünglich feste Bereiche (Klasse A - 8 Bit, Klasse B – 16 Bit, Klasse C – 24 Bit)

-

- Beispiel 1: **194.168.56.0 / 24**

- Der Netzwerk - Präfix hat eine Länge von 24 Bit (früher Klasse C Netz)

-

- Beispiel 2: **194.168.56.0 / 22**

- Der Präfix hat eine Länge von 22 Bit

- Die ersten 22 Bit der IP - Adresse kennzeichnen das Netzwerk

• 11000010 10101000 00111000 00000000 🔔 194.168.56.0
• / 22 • 10 Bit Hostteil

- Konsequenz:

- IP- Adressbereiche können in variablen Blockgrößen vergeben werden

- Länge des Netzwerk-Präfixes muss mit IP - Adresse angegeben werden

-

• Anmerkung: CIDR wurde im Zusammenhang mit dem Border Gateway Routing Protokoll (BGP) eingeführt

Spezielle IP-Adressen

Netzwerkadresse (Präfix)



- Broadcast - Adresse

• an alle Hosts des Netzwerkes



- Loopback - Adresse

• IP - Kommunikation auf gleichem Rechner

•

Multicast-Adressen



- Private Adressen

• Datagramme werden nicht im Internet vermittelt

Network-ID	0 0 0	...	0 0 0
------------	-------	-----	-------

Network-ID	1 1 1	...	1 1 1
------------	-------	-----	-------

127.0.0	beliebig
---------	----------

1 1 1 0	Multicast - Adresse
---------	---------------------

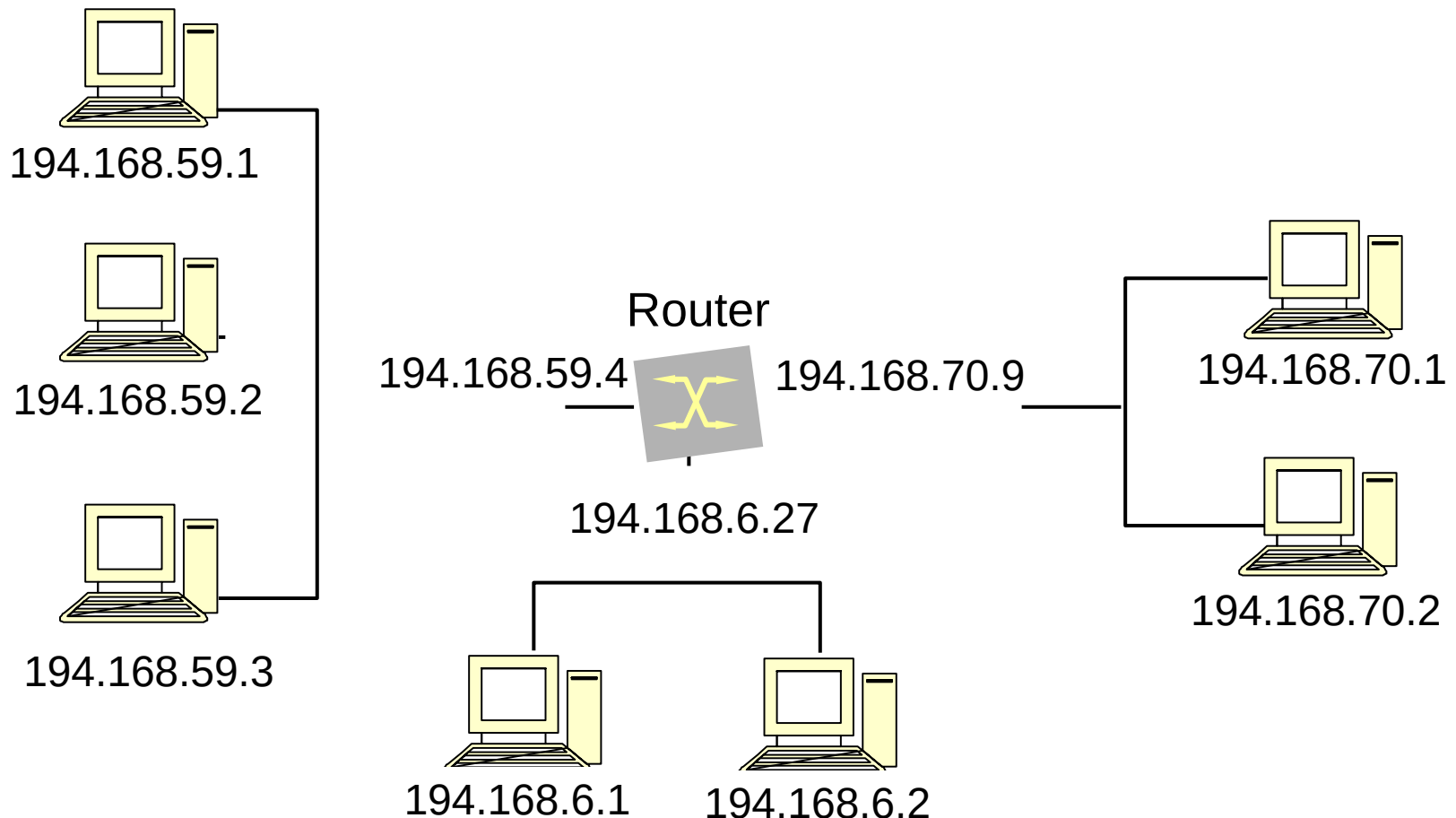
10.0.0.0 - 10.255.255.255 / 8

172.16.0.0 - 172.31.255.255 /16

192.168.0.0 - 192.168.255.255 /24

Beispiel IP-Adressen

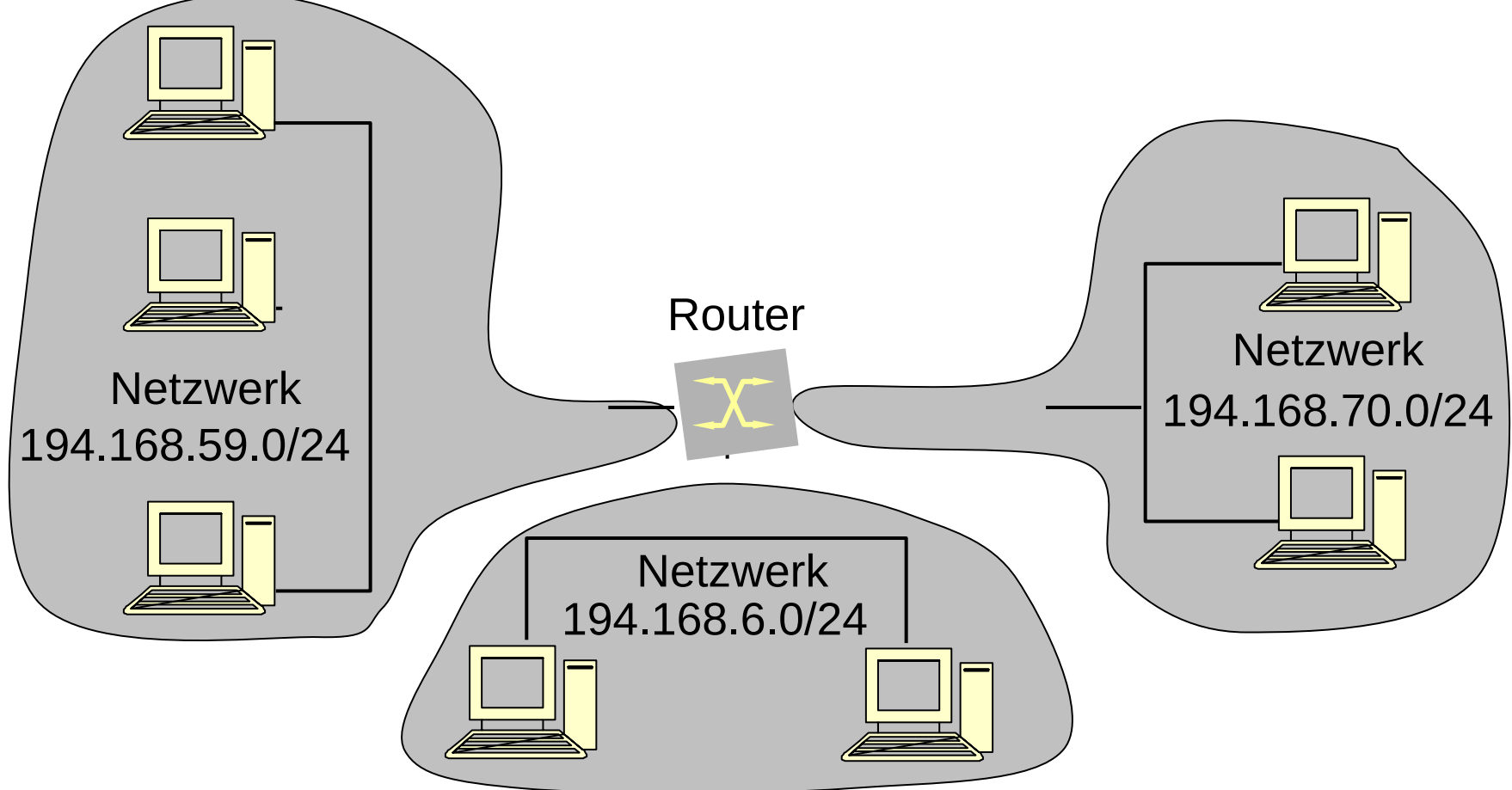
§Anmerkung: Ein Router hat mindestens zwei Schnittstellen und damit
mindestens zwei verschiedene IP - Adressen



Beispiel Netzwerkadressen

§Jede Router - Schnittstelle gehört zu einem anderen Netzwerk

§Netzwerk ist durch die Netzmaske 255.255.255.0 \Rightarrow /24 festgelegt



4. Internet Protocol

4.1 Internet-Protokolle

4.2 Das IPv4 Protokoll

4.2.1 IPv4-Adressierung

4.2.2 IP - Forwarding

4.2.3 Das Datagramm-Format

4.3 Das IPv6 Protokoll

4.4 IP Fragmentierung

4.5 Address Resolution (ARP) – Protokoll

4.6 Network Address Translation

4.7 Internet Control Message Protocol – ICMP

Man unterscheidet zwei Vorgänge beim Transport der Datagramme

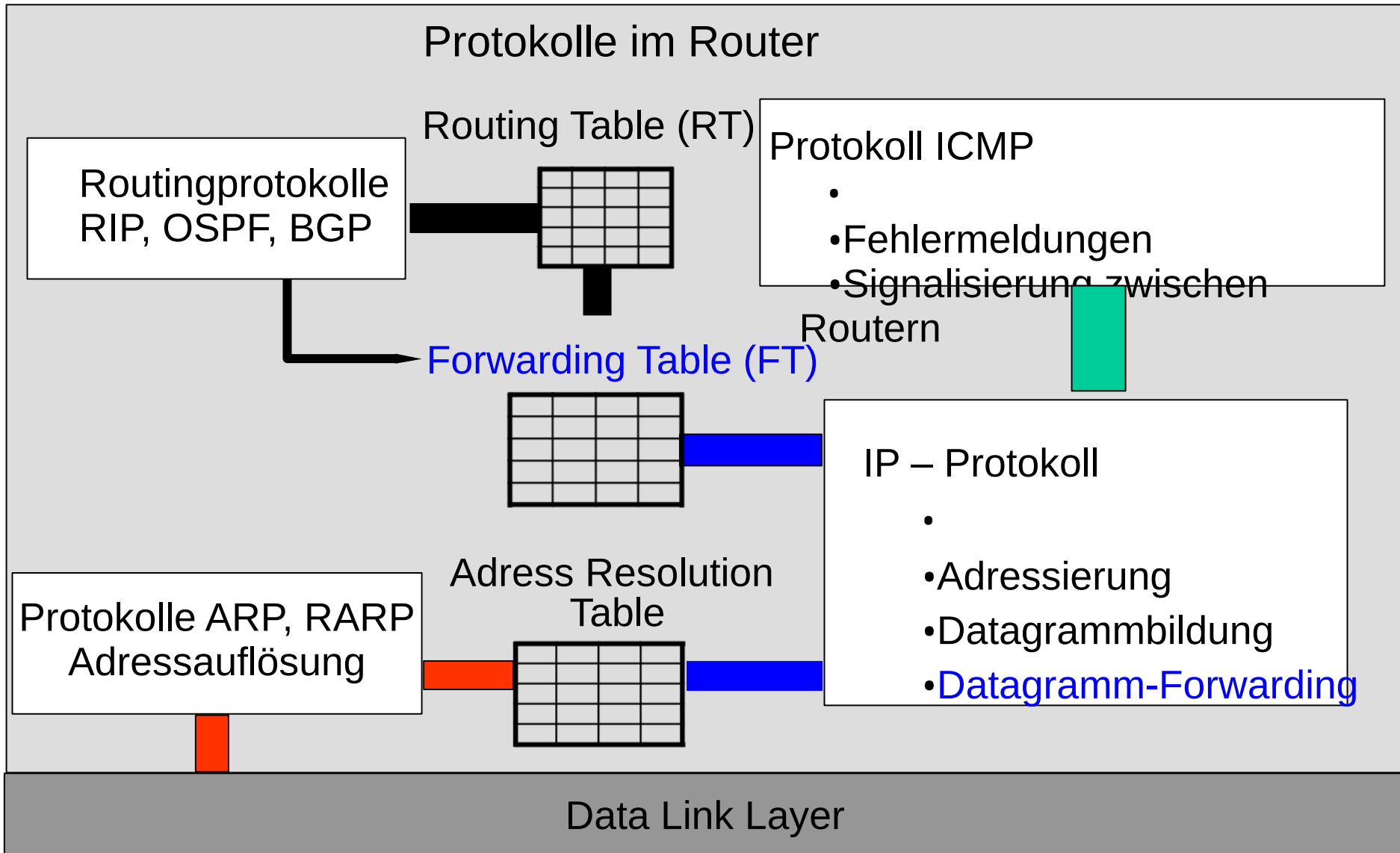
§Forwarding (Weiterleitung)

- Vorgang, der Datagramme von einem Eingangsinterface eines Routers zum richtigen Ausgangsinterface befördert
- Forwarding muss so schnell wie möglich erfolgen
 - in Routern meist mit Hardwareunterstützung (mit Line-Speed)
 - In PCs meist im Kernel des Betriebssystems

§Routing (Verkehrslenkung):

- Vorgang, der den Weg für ein Datagramm durch das Netz (von der Quelle zum Ziel über Router) festlegt
- Routing Algorithmen erstellen die Routing- und Forwarding-Tabellen in den Routern

Blick in die Network Layer eines Routers



- **Routing Table** (Routing Tabelle, Routing Information Database)
 - wird durch die Routing-Protokolle erstellt:
 - enthält Informationen über ggf. mehrere alternative Wege zum Zielnetzwerk und z.B. deren Kosten oder Verzögerungszeiten
 -
- **Forwarding Table** (Weiterleitungstabelle)
 - liefert Informationen über den nächsten Hop des Weges zum Zielnetz
 - Ausgangs-Interface und/oder IP-Adresse des nächsten Routers
 - zwischen Forwarding- und Routing-Table wird häufig nicht unterschieden
 -
- **Address Resolution Table** (Adressumsetztabelle, ARP-Tabelle)
 - wird vom ARP-Protokoll erstellt
 - liefert die zu einer IP-Adresse zugehörige Adresse der Data-Link Layer einer Schnittstelle

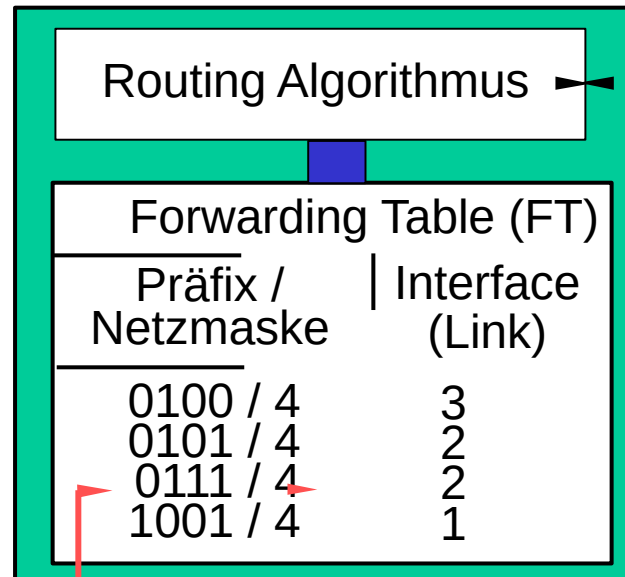
Hop-by-Hop IP-Forwarding

§Für jedes eingehende Datagramm führt der Router einen FT-Lookup durch

§Nur IP-Zieladresse wird als Index zum Lookup in der FT verwendet.

§Als Ergebnis des Lookups wird das Ausgangsinterface oder die Adresse des nächsten Routers ermittelt (next hop).

§**Forwarding basiert nur auf der Ziel-IP Adresse**



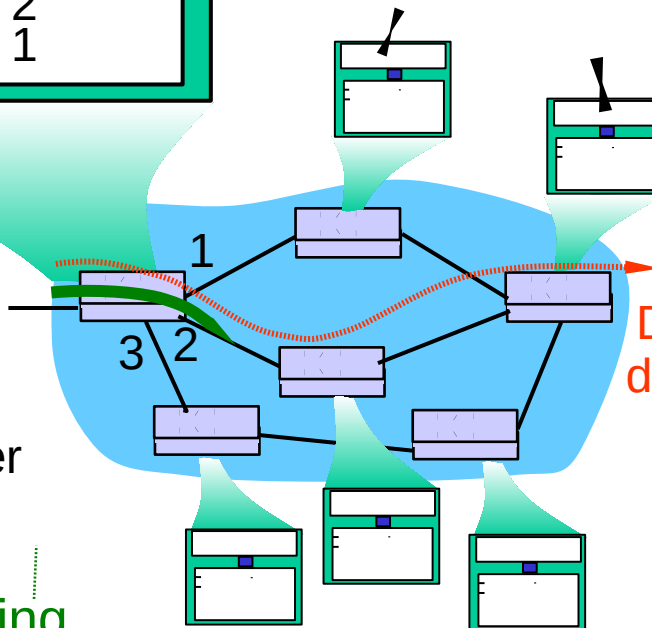
§Kommunikation mit anderen Routern mittels Routing-Protokoll

§Routing Algorithmus
§erstellt lokale Routing-
§und Forwarding-Tabelle

0111...

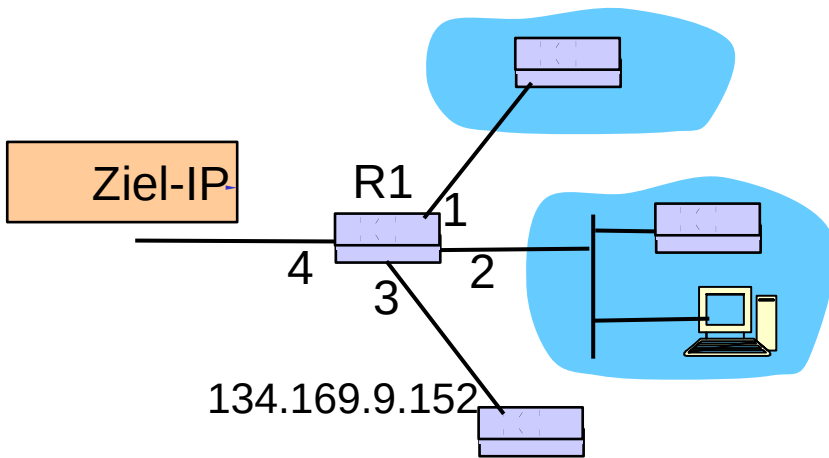
Zieladresse im
Datagramm-Header

Forwarding



Weg der
Datagramme
durch Routing

Prefix-Match Forwarding



Forwarding Table (FT) Router

Prefix	Gateway	IF
173.194.0.0/16	*	1
193.99.144.0/24	*	2
134.169.115.64/32	direct	2
default	134.169.9.152	3

Netzwerk Route

§Ziel-Adresse liefert einen Netzwerk-Prefix

§z.B. Ziel-IP 173.194.39.24 lookup: /16 -> 173.194.0.0 ☑ Interface 1

Host Route

🔍Ziel-Adresse entspricht einer Interface-Adresse

•z.B. Ziel-IP 134.169.115.64 lookup: /16 -> 134.169.0.0

/24 -> 134.169.115.0

/32 -> 134.169.115.64 ☑ Interface 2

Default Route Wird verwendet, falls kein Netzwerk- oder Host Prefix gültig ist

§z.B. Ziel-IP 193.99.139.44 lookup: default ☑ Interface 3

Longest Prefix Matching

Forwarding im Router:

§ Aus der Forwarding Table wird der Eintrag gewählt, der das Längste mit der Zieladresse übereinstimmende Netzwerkpräfix besitzt.

§ Beispiel:

Welches Interface wird für folgende IP-Zieladressen gewählt?

Ziel-IP DA1: 200.23.20.161

Forwarding Table (FT)

Prefix	Gateway	IF
200.23.16.0 /20	*	0
200.23.18.0 /23	*	1
200.23.48.0 /20	*	2
199.31.0.0 /16	*	1
default	134.169.9.152	3

Longest Prefix Matching

§Binäre Darstellung aller möglichen sich aufgrund der verschiedenen Netzmasken ergebenden Prefixe erforderlich.

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
128	64	32	16	8	4	2	1

[illegible]

A) 200.23.16.0 11001000.00010111.00010000.00000000 /20 0

B) 200.23.18.0 11001000.00010111.00010010.00000000 /23 1

C) 200.23.48.0 11001000.00010111.00110000.00000000 /20 2

Beispiel: Welches Interface?



DA1: 11001000.00010111.00010100.10100001 200.23.20.161

Longest Prefix Matching

§Binäre Darstellung aller möglichen sich aufgrund der verschiedenen Netzmasken ergebenden Prefixe erforderlich.

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
128	64	32	16	8	4	2	1

Forwarding – Table: Netzwerk- Prefix Link Interface

- A) 200.23.16.0 11001000.00010111.00010000.00000000 /20 0  (20 Bit)
- B) 200.23.18.0 11001000.00010111.00010010.00000000 /23 1
- C) 200.23.48.0 11001000.00010111.00110000.00000000 /20 2 

Beispiel: Welches Interface? /20 /23

DA1: 11001000.00010111.00010100.10100001 200.23.20.161

Longest Prefix Match

4. Internet Protocol

4.1 Internet-Protokolle

4.2 Das IPv4 Protokoll

4.2.1 IPv4-Adressierung

4.2.2 IP - Forwarding

4.2.3 Das Datagramm-Format

4.3 Das IPv6 Protokoll

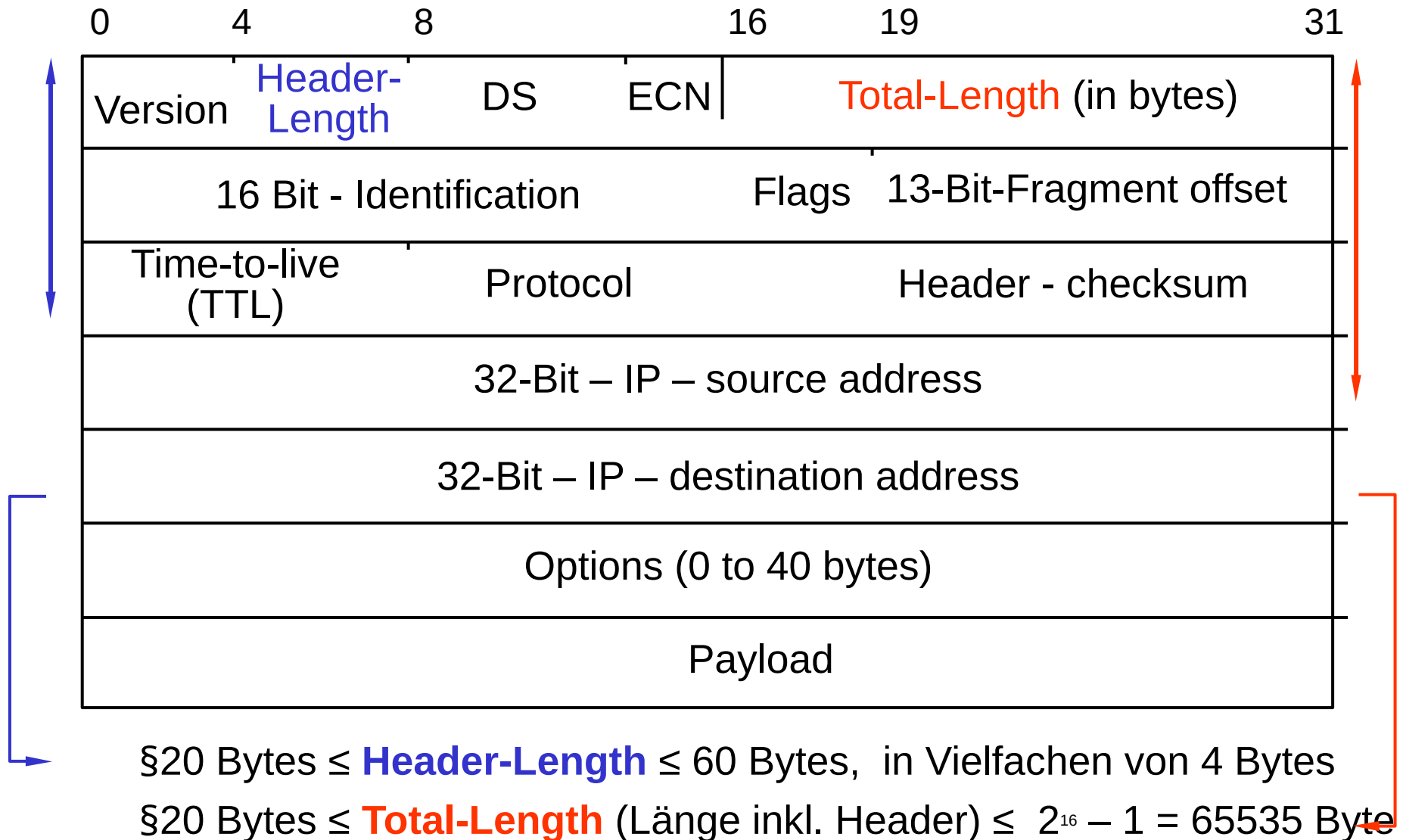
4.4 IP Fragmentierung

4.5 Address Resolution (ARP) – Protokoll

4.6 Network Address Translation

4.7 Internet Control Message Protocol – ICMP

Das Datagramm-Format



Das Datagramm-Format (2)

- Version (Versionsnummer), (4Bit):
- IP-Protokollversion (IPv4 oder IPv6)
-
- DS / ECN – Feld:
 - Wurde früher als Type Of Service (TOS) bezeichnet, jedoch neu definiert.
 - Differentiated Services (DS), (6Bit):
 - kennzeichnet QOS-Klassen bei den „Differentiated-Services“.
 - Explicit Congestion Notification (ECN), (2 Bit);
 - wird von neuen Verfahren der Überlastkontrolle verwendet, z.B. TCP
 -
- Identification (16 Bit):
 - eindeutige Kennzeichnung des Datagramms (ähnlich einer Sendefolgennummer)
 - wird von der Quelle für jedes gesendete Datagramm hoch gezählt
 - wird bei der Fragmentierung verwendet

Das Datagramm-Format (3)

- **Flags** (3 Bit) und **Fragment Offset** (13 Bit)
 - dienen zur Steuerung der IP-Fragmentierung
 - erstes Bit ist immer 0
 - DF – Bit: Datagram darf nicht fragmentiert werden.
 - MF – Bit: Es folgen weitere Fragmente
 - der Offset wird in Vielfachen von 8 Byte angegeben
- **Time-To-Live** (TTL), (8 Bit) stellt sicher, das Datagramme nicht für immer im Netz kreisen
 - Ursprungssystem setzt das Feld (Default-Wert = 64)
 - Jeder Router reduziert die TTL um eins
 - bei TTL = 0 wird das Datagramm gelöscht
- **Header Checksum** (Prüfsumme), (16 Bit): Internet-Prüfsumme über die Bytes des Headers

Das Datagramm-Format (4)

• **Protocol** (8 Bit): gibt das Protokoll an, dessen Daten transportiert werden
(siehe RFC 1700)

•

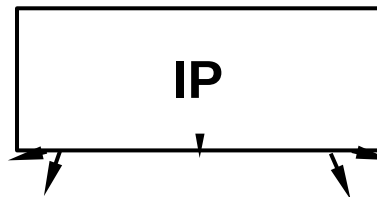
•

•

•

•

•



1 = ICMP

2 = IGMP

4 = IP-in-IP
encapsulation

6 = TCP

17 = UDP

• **IP- Source / Destination Address** (32 Bit):

• 32 Bit Adresse der Quelle und des Zielhost



Das Datagramm-Format (4)

• **Protocol** (8 Bit): gibt das Protokoll an, dessen Daten transportiert werden
(siehe RFC 1700)

•

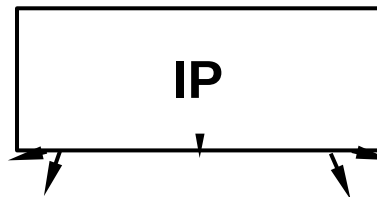
•

•

•

•

•



1 = ICMP

2 = IGMP

4 = IP-in-IP
encapsulation

6 = TCP

17 = UDP

• **IP- Source / Destination Address** (32 Bit):

• 32 Bit Adresse der Quelle und des Zielhost

