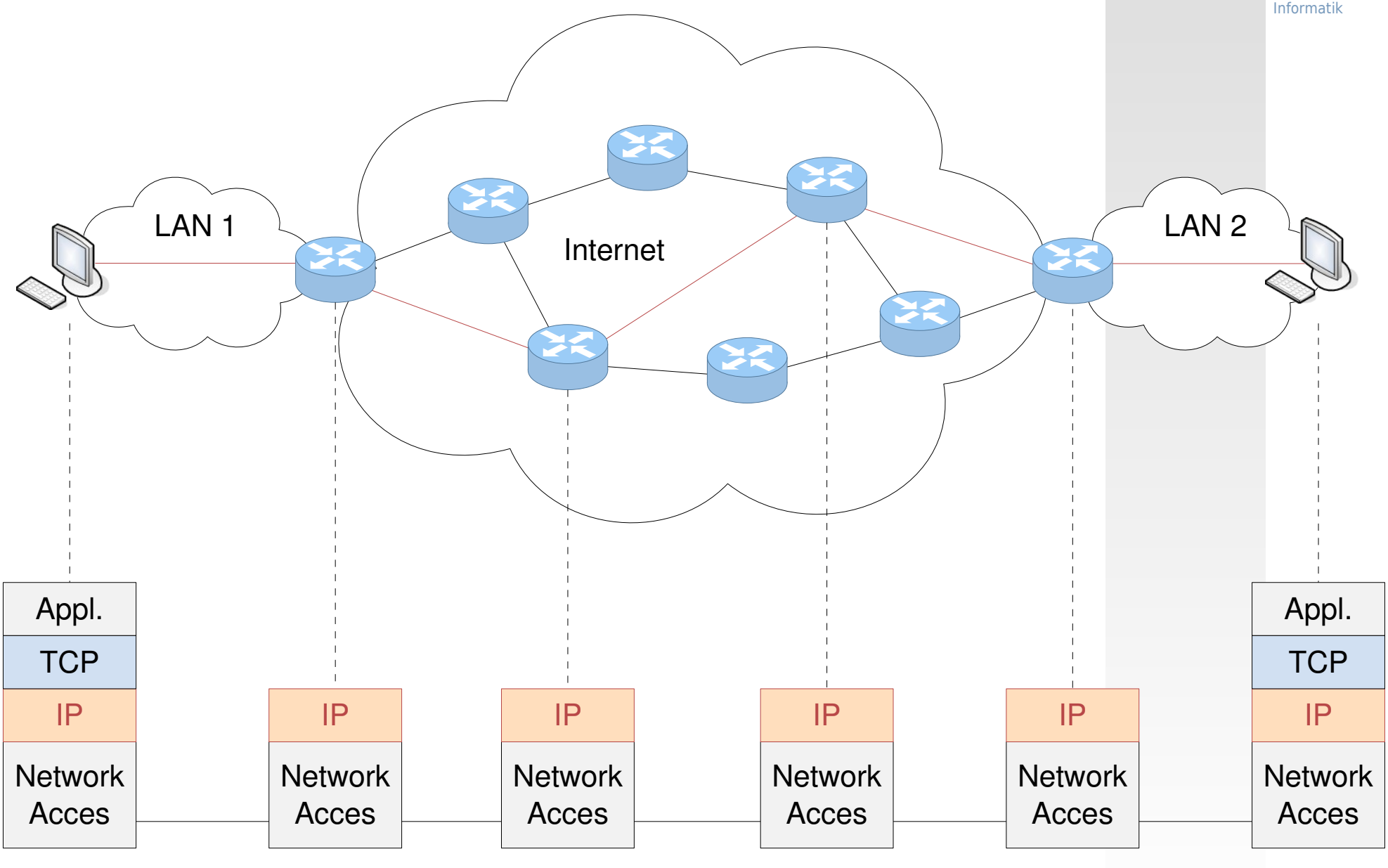
IPv4 - Internet Protocol Version 4

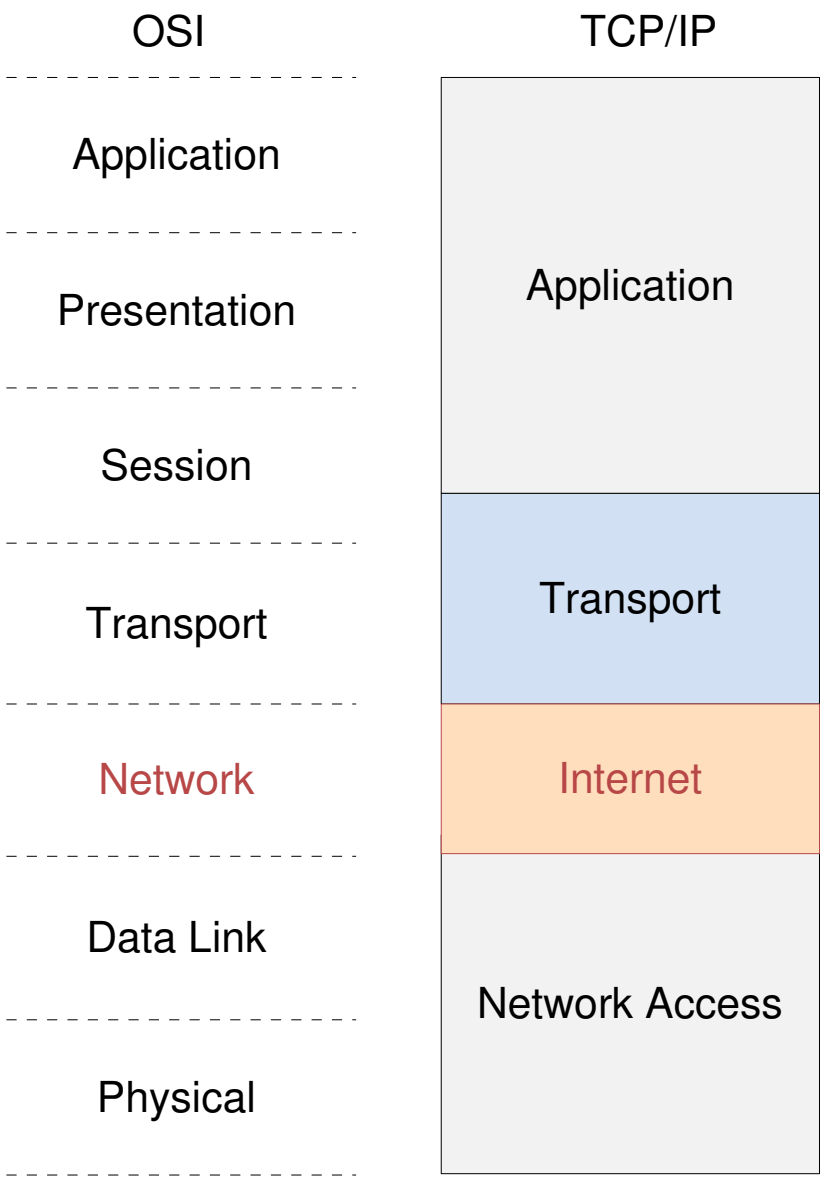
- Einführung
- Paketformat (Datagram)
- Adressierung
- Fragmentierung
- Routing
- Hilfsprotokolle

Internet Protocol (IP): Einordnung

FACHHOCHSCHULE ERFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Angewandte Informatik



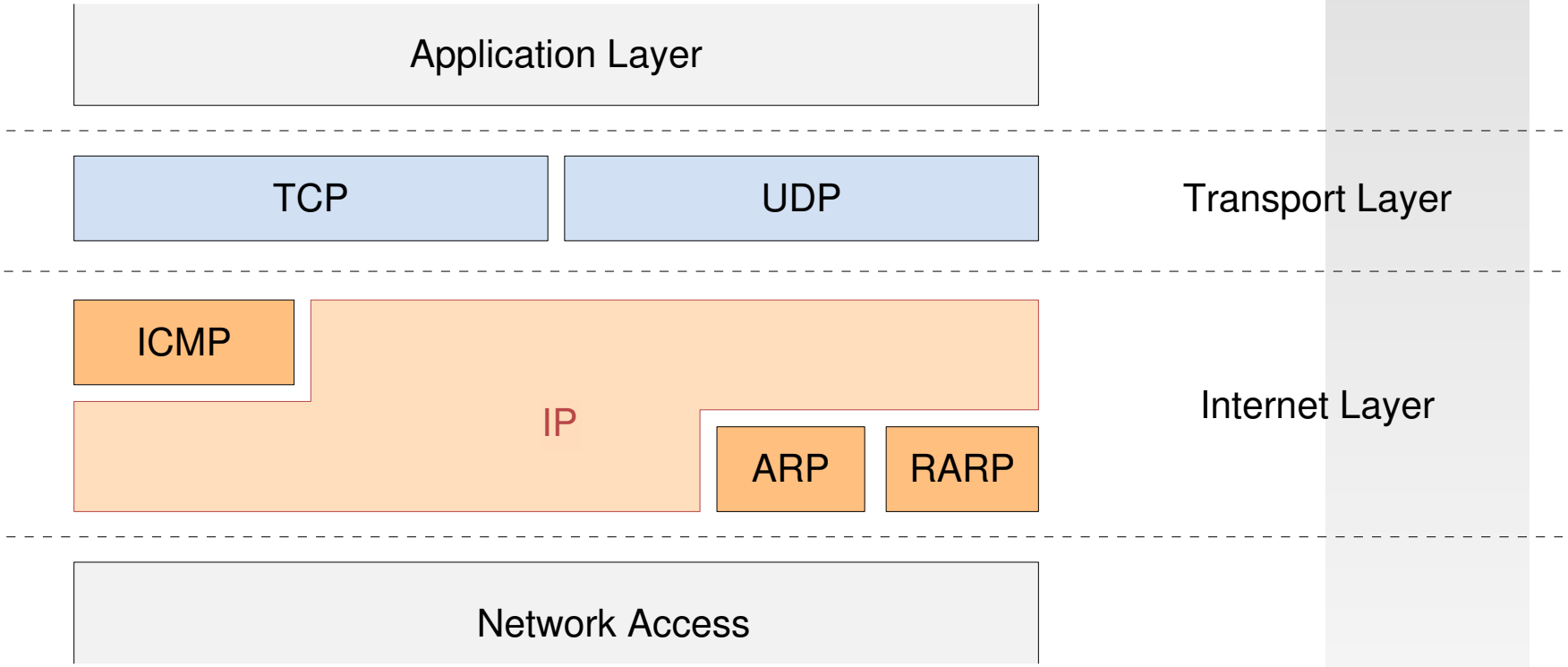
Internet Protocol (IP): Aufgaben



- Aufgaben IP (Internet Protocol)
  - Formatierung IP-Datagramme
  - Adressierung
  - Wegwahl (Routing)
  - Fragmentierung
  - Mapping IP- auf MAC-Adressen (ARP)
- Eigenschaften
  - Träger für Transportprotokolle
  - verbindungslos
  - unterschiedliche Wege möglich
  - kein Erhalt der Reihenfolge
  - nicht zuverlässig
- Standard IPv4: RFC 791 (1981)

Internet Protocol (IP): Hilfsprotokolle

- TCP/IP-Protokollstack

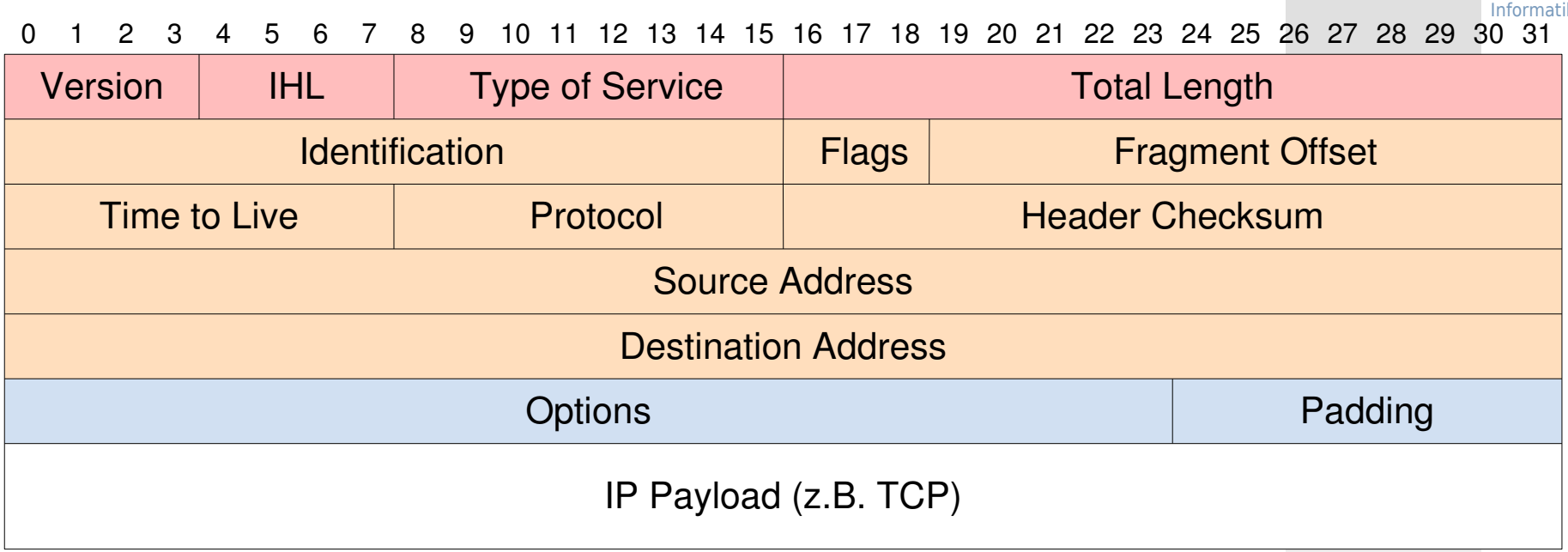


IP - Internet Protocol
TCP - Transport Control Protocol
UDP - User Datagram Protocol

ICMP - Internet Control Message Protocol
ARP - Address Resolution Protocol
RARP - Reverse Address Resolution Protocol

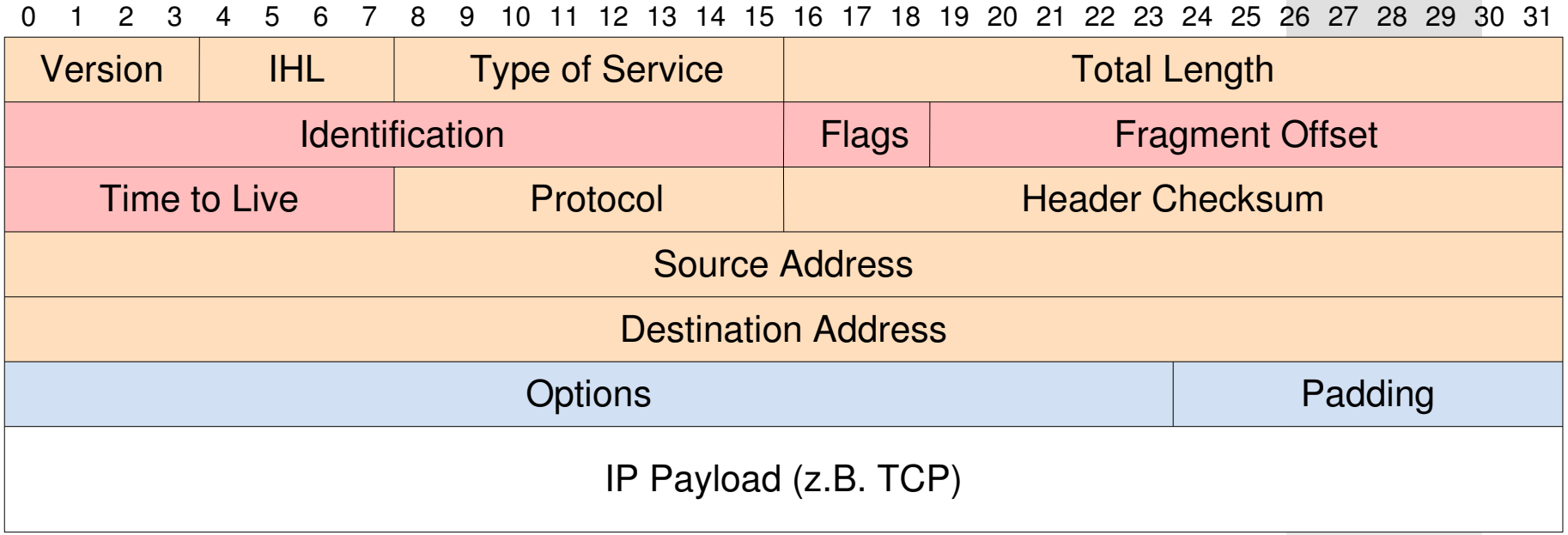
- Implementierungsvorgaben IPv4: RFC 1122

IPv4-Header (1)



- Version
  - 4 – IPv4
  - 6 – IPv6
- Internet Header Length (IHL)
  - Header-Länge in 32-bit-Worten
  - min. 5 (20 Byte), max. 15 (60 Byte)
- Type of Service
  - Dienstanforderungen des Paketes
  - ursprünglich für Quality of Service
- Total Length
  - Gesamtlänge IP-Datagram in Byte
  - max. 65.535

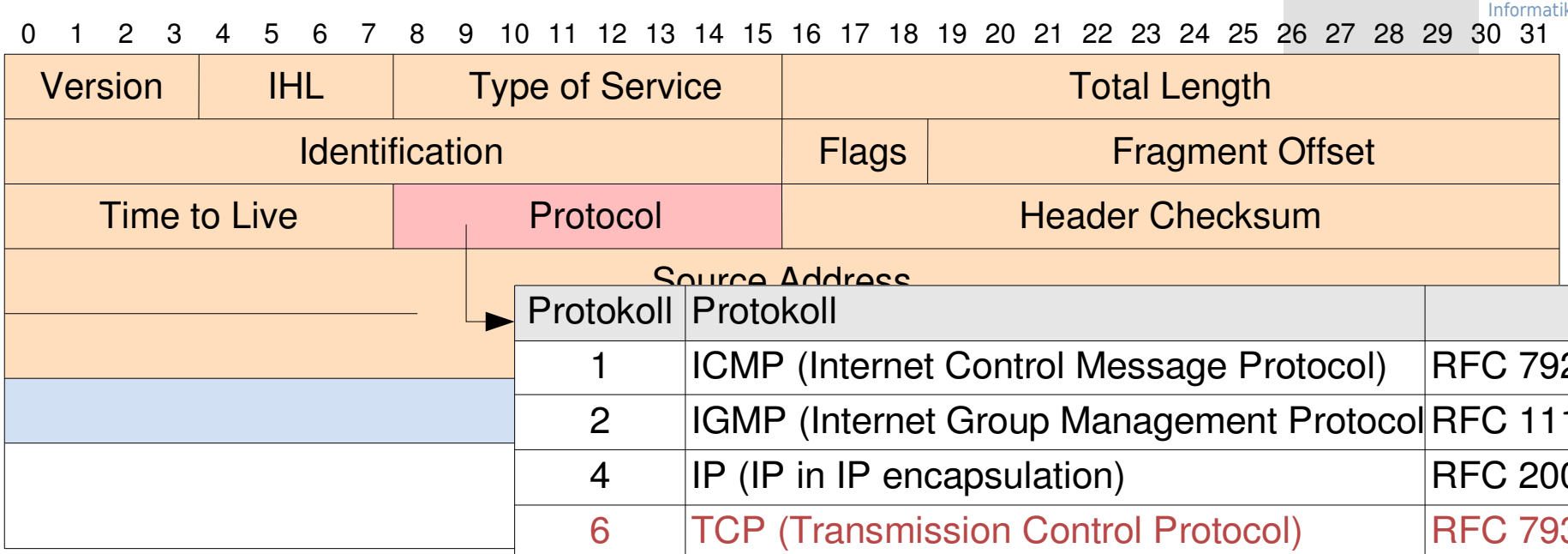
IPv4-Header (2)



- Identification:
  - eindeutige Identifikation IP-Datagram
  - benötigt für Reassembly bei Fragmentierung
- Flags:
  - steuert Fragmentierung
- Fragmentation Offset:
  - Position der Nutzdaten des IP-Datagrams im IP-Paket
- Time to Live (TTL)
  - in jedem Knoten dekrementiert
  - wenn 0, wird IP-Datagram verworfen

IPv4-Header: Protocol Field

FACHHOCHSCHULE ERFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Angewandte Informatik

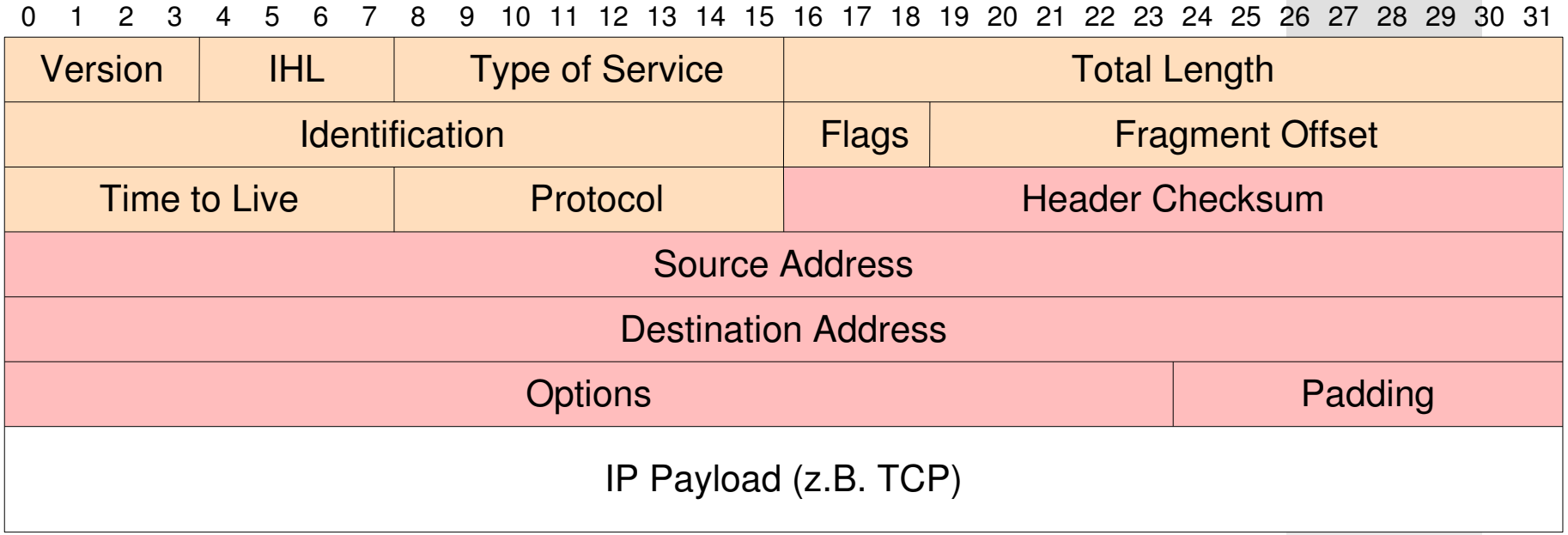


Protokoll	Protokoll	
1	ICMP (Internet Control Message Protocol)	RFC 792
2	IGMP (Internet Group Management Protocol	RFC 1112
4	IP (IP in IP encapsulation)	RFC 2003
6	TCP (Transmission Control Protocol)	RFC 793
8	EGP (Exterior Gateway Protocol)	RFC 888
9	IGP (any private interior gateway)	IANA
17	UDP (User Datagram Protocol)	RFC 768
50	ESP (Encapsulating Security Payload)	RFC2406
51	AH (Authentication Header)	RFC2402
138–252	Unassigned	
253–254	Use for experimentation and testing	
255	Reserved	

- Protocol
  - Typ der enthaltenen Nutzdaten
  - meist Transportschicht

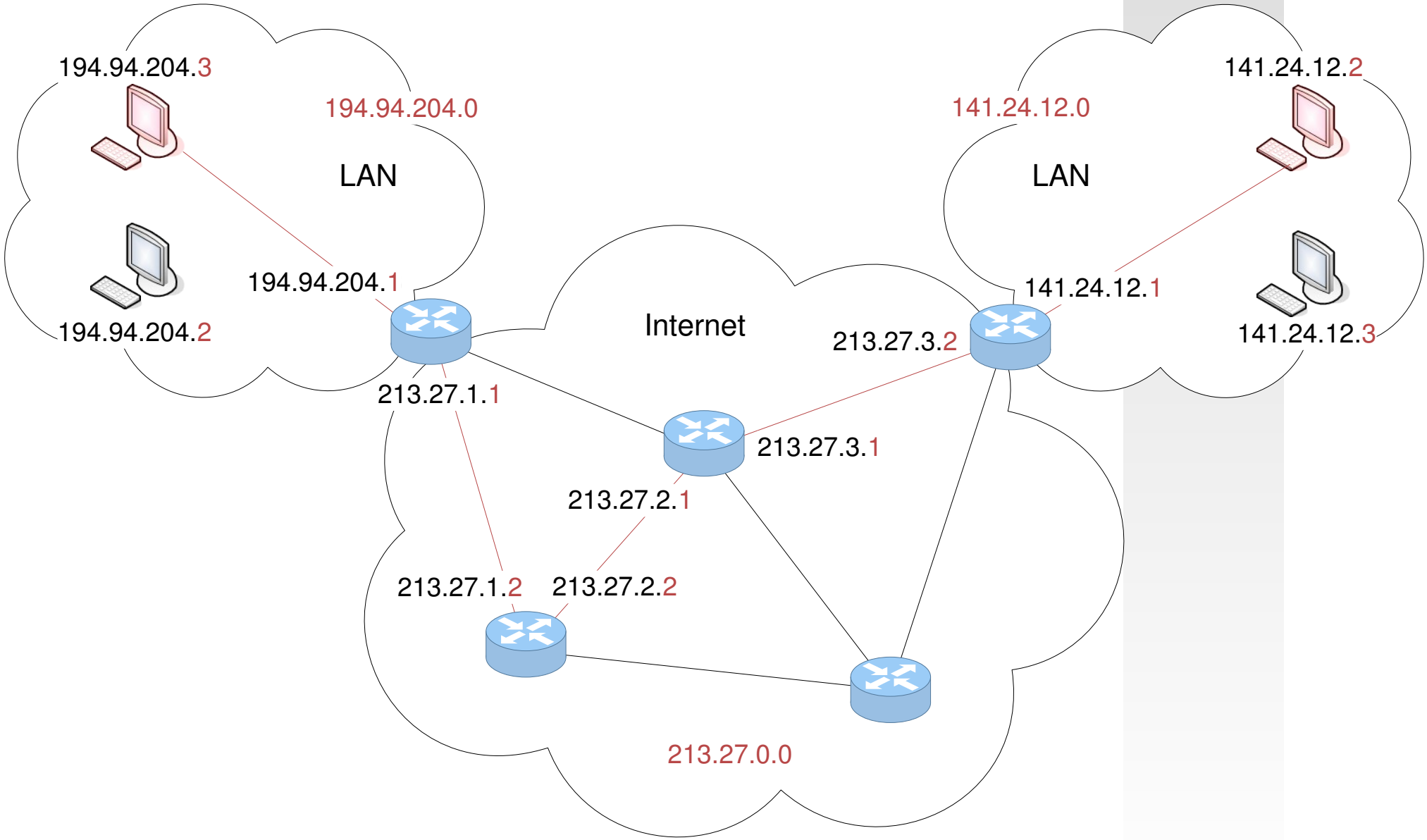
[http://www.iana.org/assignments/protocol-numbers]

IPv4-Header (3)



- Source/Destination Address:
  - IPv4-Adressen
  - Absender bzw. Empfänger
- Header Checksum:
  - Sicherung gegen Übertragungsfehler
  - Berechnung nur über Header
- Options
  - spezielle Informationen (var. Länge)
  - max. 40 Byte
- Padding:
  - Auffüllen Header auf Wortgrenzen
  - bei Verwendung von Optionen

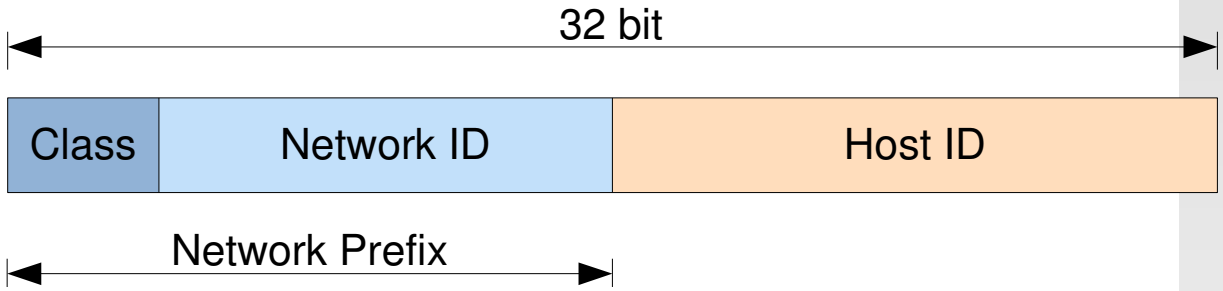
IPv4-Adressierung: Problemstellung



IPv4-Adressierung: Klassenbasierte Adressierung

FACHHOCHSCHULE ERFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Angewandte Informatik

- Adressaufbau (zweistufig)



- Darstellung (Beispiel)

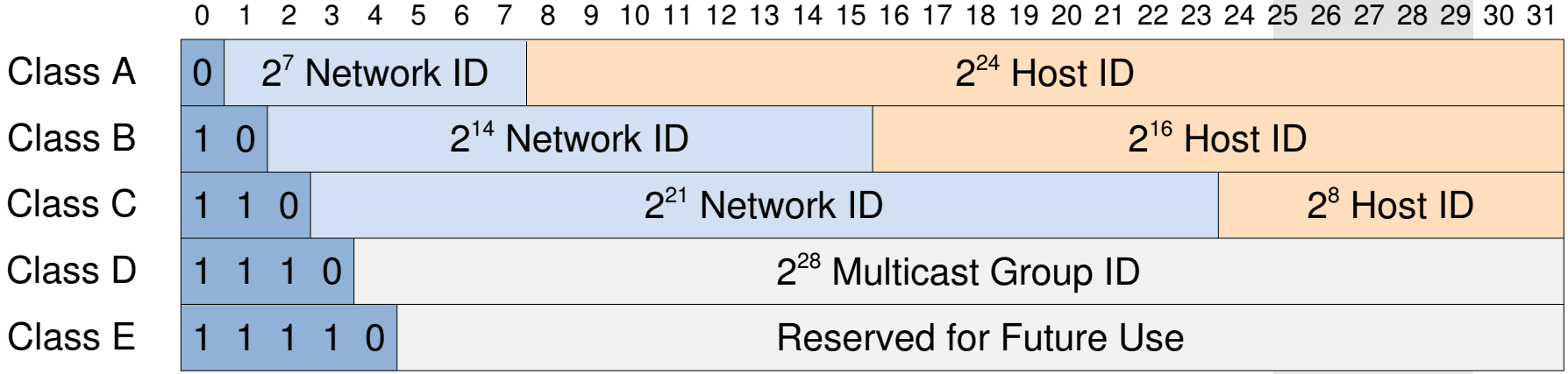
	Class	Network ID			Host ID
binäre Darstellung	11000001	. 01011110	. 11001100	.	00010111
hexadezimale Darstellung	C2	5E	CC		17
dezimale Darstellung	194	. 94	. 204	.	23

- spezielle Adressen
  - Netzwerkadresse: Host ID Bits = 0 — 194.94.204.0
  - Broadcast: Host ID Bits = 1 — 194.94.204.255

IPv4-Adressierung: Klassenbasierte Adressierung

FACHHOCHSCHULE ERFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Angewandte Informatik

Klassen



Eigenschaften

	Klasse A - Netz	Klasse B - Netz	Klasse C - Netz
Class ID (binär)	1 Bit = 0	2 Bit = 10	3 Bit = 110
Netz-ID (einschl. Class)	7 Bit (1 Byte)	14 Bit (2 Byte)	21 Bit (3 Byte)
Host ID	24 Bit (3 Byte)	16 Bit (2 Byte)	8 Bit (1 Byte)
Wertebereich (theoretisch)	0.0.0.0 bis 127.255.255.255	128.0.0.0 bis 191.255.255.255	192.0.0.0 bis 223.255.255.255
Anzahl Netze	126 (2^7-2)	16.382 (2^{14}-2)	2.097.150 (2^{21}-2)
Anzahl Rechner im Netz	16.777.214 (2^{24}-2)	65.534 (2^{16}-2)	254 (2^8-2)

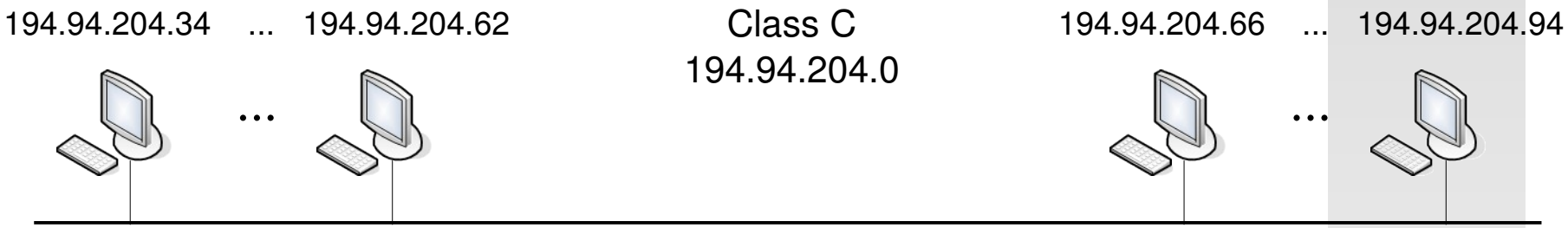
IPv4-Adressierung: Adressvergabe

- Internet Assigned Numbers Authority (IANA)
  - Vergabe von IP-Adressen, Top-Level-Domains, IP-Protokollnummern, Portnummern
  - Vergabe von IP-Adressbereichen an Regional Internet Registries (RIR)
    [http://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space]

[IP-Adressbreiche]

- Regional Internet Registries (RIR)
  - ARIN (American Registry for Internet Numbers)
  - RIPE (Réseaux IP Européens Network Coordination Centre)
  - APNIC (Asia Pacific Network Information Centre)
  - LACNIC (Regional Latin-American and Caribbean IP Address Registry)
  - AfriNIC (African Network Information Centre)für Afrika

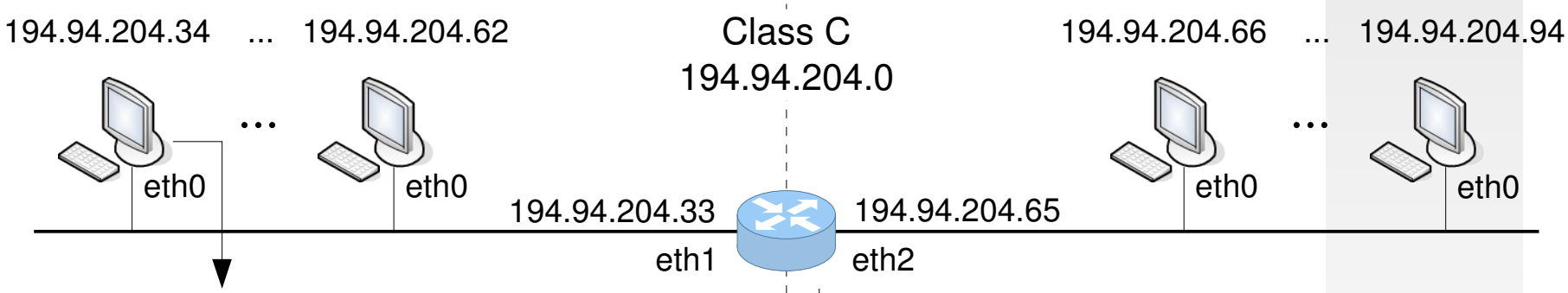
Subnetting: Problemstellung



Strukturierung

Subnet: 194.94.204.32

Subnet: 194.94.204.64

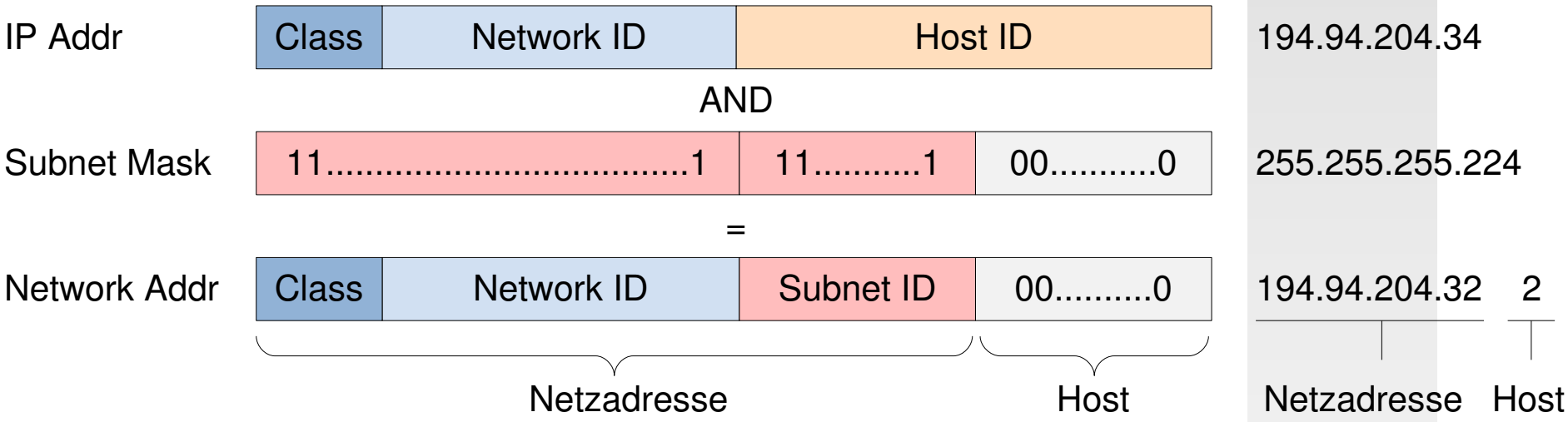


Destination	Next Hop	Interface
194.94.204.34	0.0.0.0	eth0
194.94.204.35	0.0.0.0	eth0
...	...	...
194.94.204.66	194.94.204.33	eth0
194.94.204.67	194.94.204.33	eth0
...	...	...

Destination	Next Hop	Interface
194.94.204.34	0.0.0.0	eth1
194.94.204.35	0.0.0.0	eth1
...	...	...
194.94.204.66	0.0.0.0	eth2
194.94.204.67	0.0.0.0	eth2
...	...	...

Subnetting: Subnet-Maske (1)

- Netz bestimmter Netzklasse mittels Subnet-Maske strukturierbar (RFC 950)



- Beispiel
  - IP-Adresss 11000010 . 01011110 . 11001100 . 00100010 194. 94 .204. 34
  - Subnet-Maske 11111111 . 11111111 . 11111111 . 11100000 255.255.255.224
  - Netzadresse 11000010 . 01011110 . 11001100 . 00100000 194. 94 .204. 32
  - Host ID 00000000 . 00000000 . 00000000 . 00000010 2
  - Broadcast 11000010 . 01011110 . 11001100 . 00111111 194. 94 .204. 63

Subnetting: Subnet-Maske (2)

- allgemein

Subnet ID Bits	Host ID Bits	Subnetze	Subnet-Maske
1	7	2 (0)	128
2	6	4 (2)	192
3	5	8 (6)	224
4	4	16 (14)	240
5	3	32 (30)	248
6	2	64 (62)	252
7	1	128 (126)	254

jeweiliges Octet
- Class A: 2. Octet
- Class B: 3. Octet
- Class C: 4. Octet

im 4. Octet

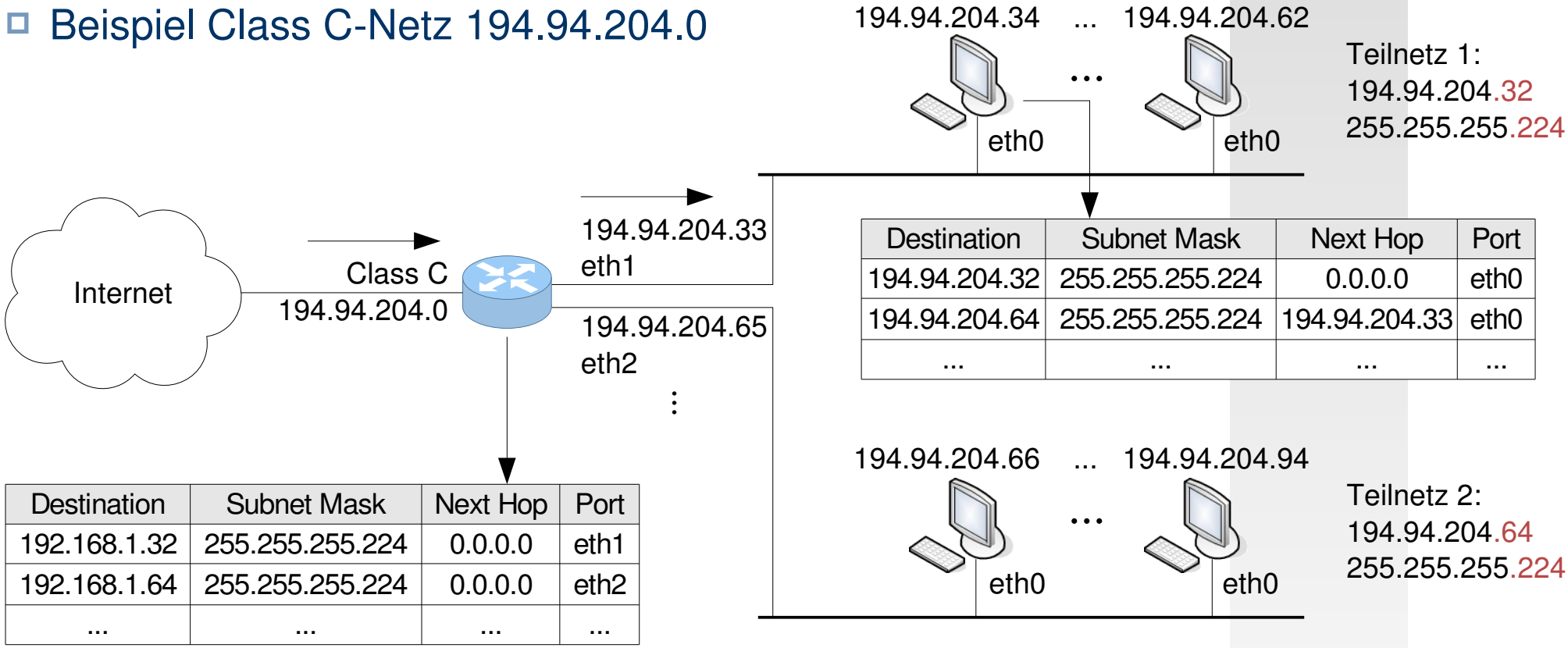
- Beispiel Class C

Subnet ID Bits	Host ID Bits	Subnetze	Subnet-Maske	Host IDs
1	7	2 (0)	255.255.255.128	128 (126)
2	6	4 (2)	255.255.255.192	64 (62)
3	5	8 (6)	255.255.255.224	32 (30)
4	4	16 (14)	255.255.255.240	16 (14)
5	3	32 (30)	255.255.255.248	8 (6)
6	2	64 (62)	255.255.255.252	4 (2)
7	1	128 (126)	255.255.255.254	2 (0)

theoretische Zahl
tatsächlich nutzbare Zahl (RFC 950)

Subnetting: Beispiel

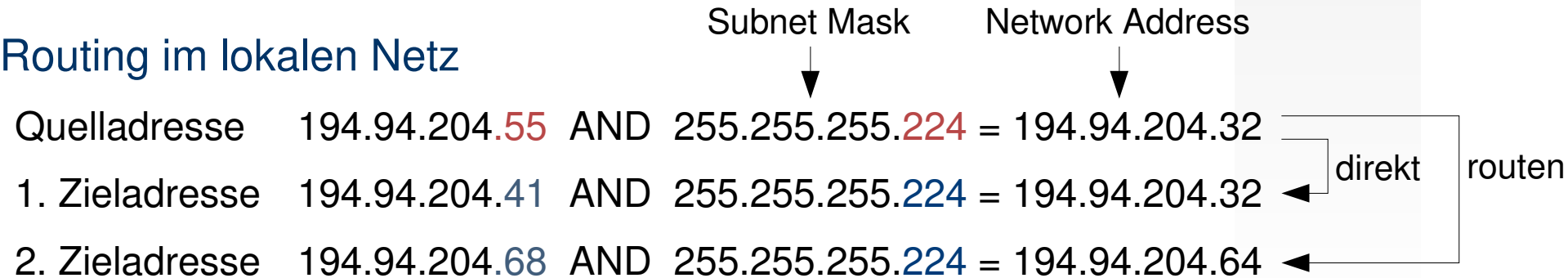
- Beispiel Class C-Netz 194.94.204.0



Destination	Subnet Mask	Next Hop	Port
194.94.204.32	255.255.255.224	0.0.0.0	eth0
194.94.204.64	255.255.255.224	194.94.204.33	eth0
...	...	...	...

Destination	Subnet Mask	Next Hop	Port
192.168.1.32	255.255.255.224	0.0.0.0	eth1
192.168.1.64	255.255.255.224	0.0.0.0	eth2
...	...	...	...

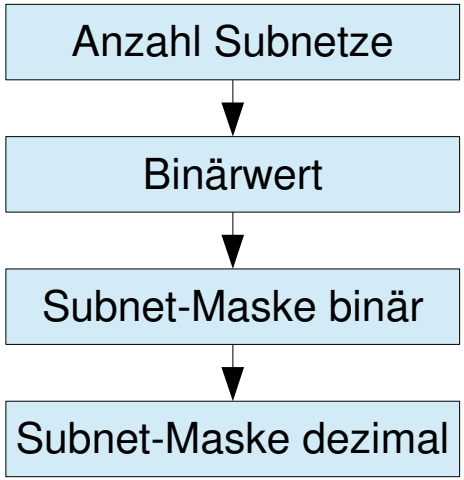
- Routing im lokalen Netz



Subnetting: Subnetzbildung

Subnet-Maske ermitteln

Beispiel: 194.94.204.0



Anzahl Subnetze: 5

Binärwert: 101 — Anzahl Bits Subnet ID ≙ ⌈ ld Anzahl Subnetze ⌉

Subnet-Maske binär: 11111111.11111111.11111111.11100000

Subnet-Maske dezimal: 255 . 255 . 255 . 224

Subnet Mask: 11111111.11111111.11111111.11100000 = 225.255.255.224

Network Adresses

11000010.01011110.11001100.~~00000000 = 194.94.204.0~~
.00100000 = 194.94.204.32
.01000000 = 194.94.204.64
.01100000 = 194.94.204.96
.10000000 = 194.94.204.128
.10100000 = 194.94.204.160
.11000000 = 194.94.204.192
.~~11100000 = 194.94.204.224~~

- bei klassenbasierter Adressierung ungültig (RFC 950)
- bei klassenloser Addressierung nutzbar (RFC 1812)

IPv4-Adressierung: Probleme

- klassenbasierte Adressierung unflexibel:
  - begrenzte Anzahl Netze je Klasse und feste Anzahl Adressen je Netz
  - Strukturierung innerhalb des Adressbereiches einer Klasse nicht möglich
  - anwachsende Routing-Tabellen aufgrund fehlender Routenaggregation
  - feste Größe von NetworkID und HostID entsprechend Klasse

- verschiedene Adressbereiche reserviert, z.B:

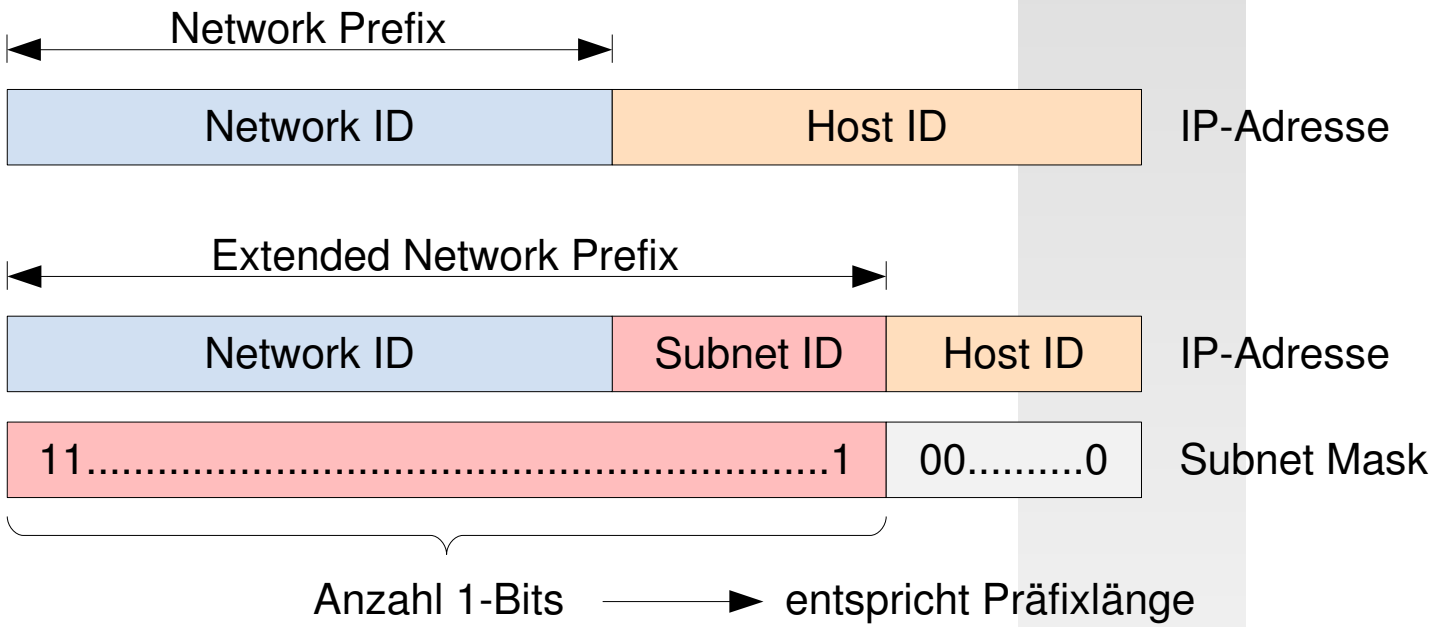
Bedeutung	Adressen	Bemerkung
Private Use	10.0.0.0 ... 10.255.255.255	1 Class A-Netz
Public Data	14.0.0.0 ... 14.255.255.255	1 Class A-Netz
Cable TV	24.0.0.0 ... 24.255.255.255	1 Class A-Netz
Loopback	127.0.0.0 ... 127.255.255.255	1 Class A-Netz
Link Local	169.254.0.0 ... 169.254.255.255	1 Class B-Netz
Private Use	172.16.0.0 ... 172.31.255.255	16 Class B-Netze
Private Use	192.168.0.0 ... 192.168.255.255	256 Class C-Netze
...	...	...
Multicast	224.0.0.0 ... 239.255.255.255	

[http://tools.ietf.org/html/rfc3330]

IPv4-Adressierung: Klassenlose Addressierung (1)

FACHHOCHSCHULE ERFURT UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Angewandte Informatik

- Netzwerkpräfix
  - ohne Subnetting
  - mit Subnetting



- Netzwerkpräfixnotation:

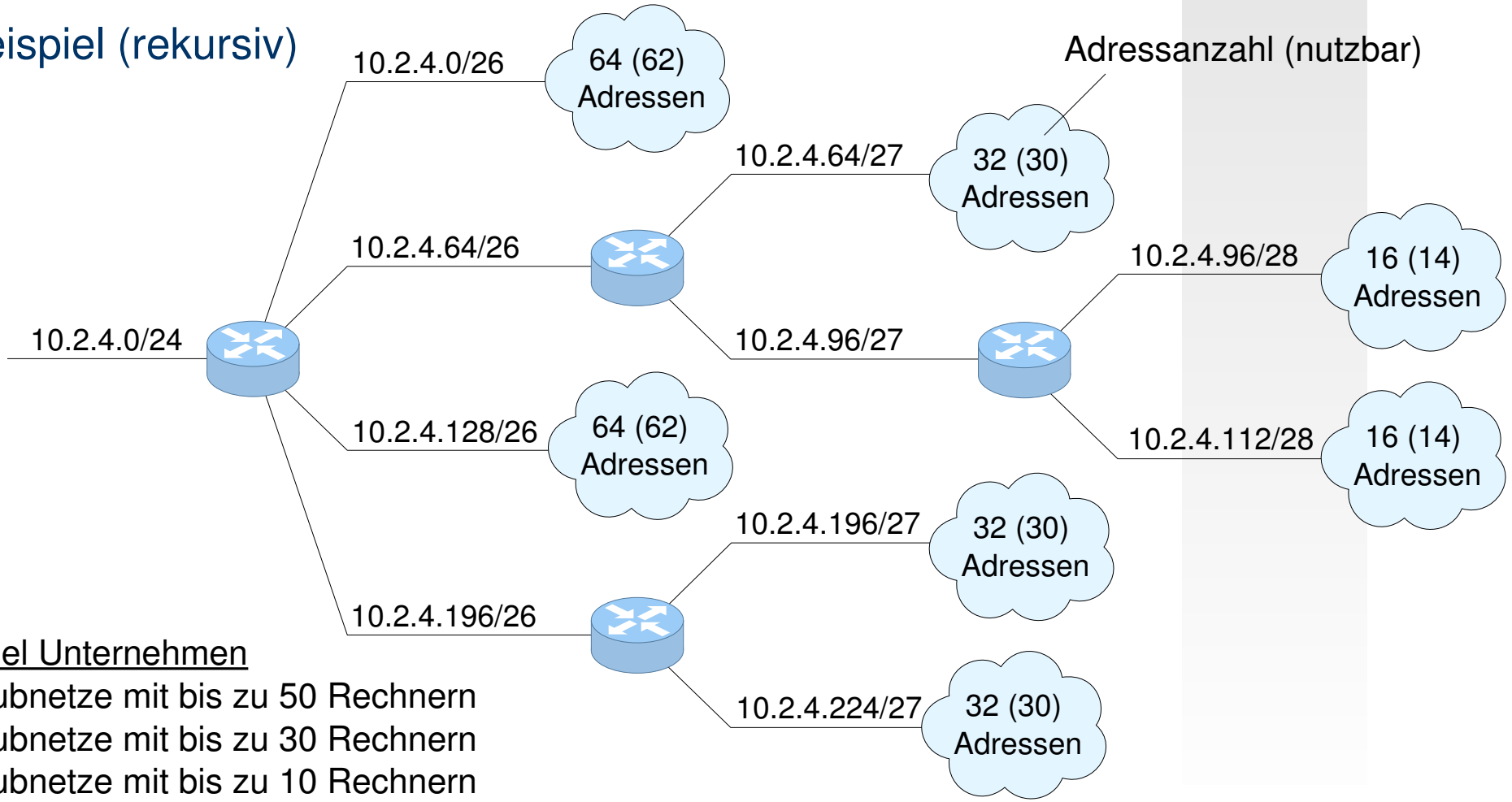
<Network Address>/<Prefix Length>

  - 192.168.2.0/24 — 24 Bit Network ID, 8 Bit Host ID (entspricht Class C)
  - 192.168.2.0/26 — 26 Bit Network ID, 6 Bit Host ID (entspricht Class C Subnetting)
  - 192.168.2.0/23 — 23 Bit Network ID, 9 Bit Host ID (entspricht Class C Supernetting)

IPv4-Adressierung: Variable Length Subnet Mask

- VLSM - Variable Length Subnet Mask (RFC 1009)
  - erlaubt Subnet-Masken verschiedener Länge in privaten IP-Netzen
  - ermöglicht hierarchische Zerlegung eines zugewiesenen Adressbereiches

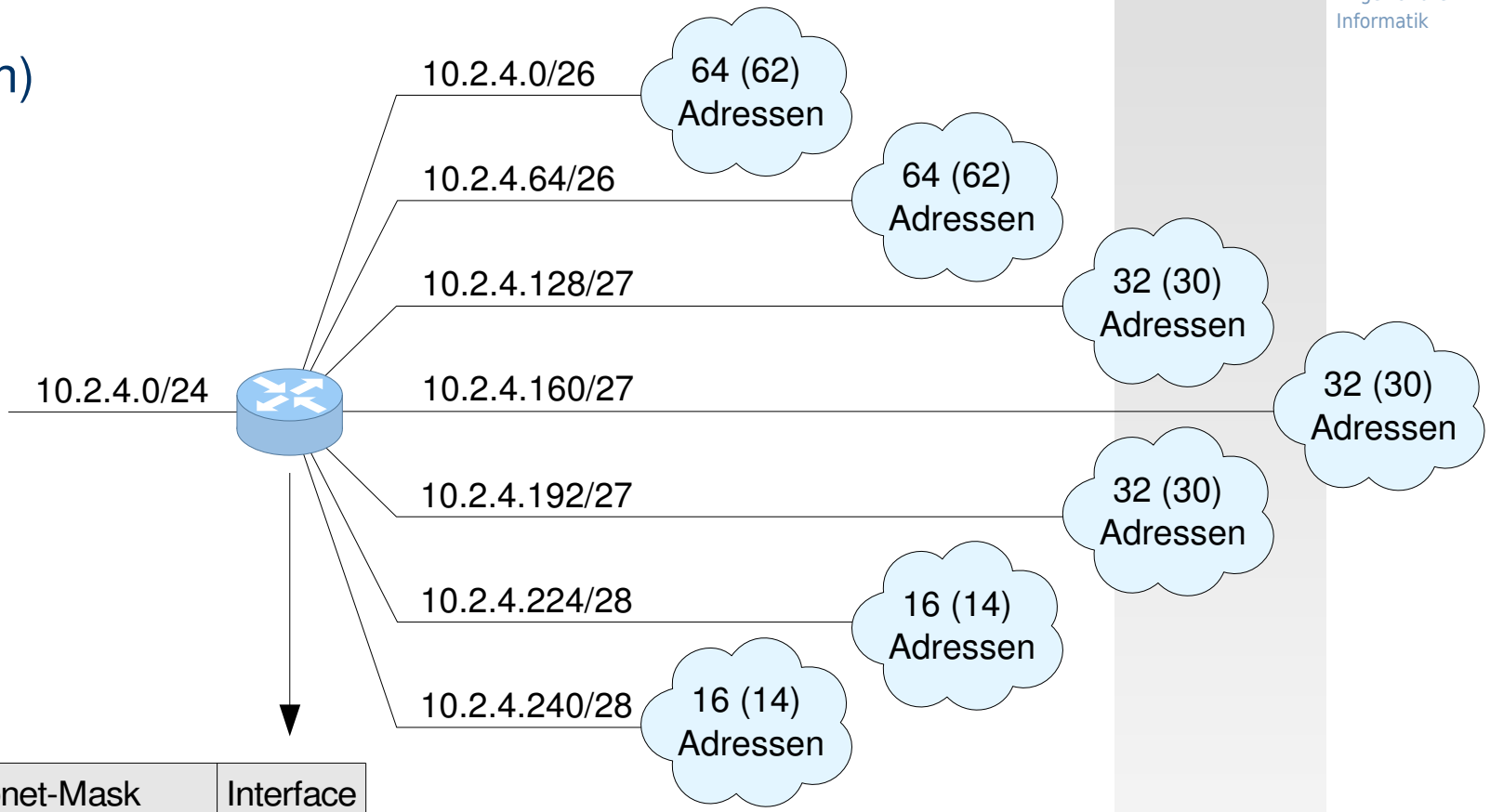
- Beispiel (rekursiv)



Beispiel Unternehmen
- 2 Subnetze mit bis zu 50 Rechnern
- 3 Subnetze mit bis zu 30 Rechnern
- 2 Subnetze mit bis zu 10 Rechnern

IPv4-Adressierung: Variable Length Subnet Mask

- Beispiel (flach)



Destination	Subnet-Mask	Interface
10.2.4.0/26	255.255.255.192	1
10.2.4.64/26	255.255.255.192	2
10.2.4.128/27	255.255.255.224	3
10.2.4.160/27	255.255.255.224	4
10.2.4.192/27	255.255.255.224	5
10.2.4.224/28	255.255.255.240	6
10.2.4.240/28	255.255.255.240	7

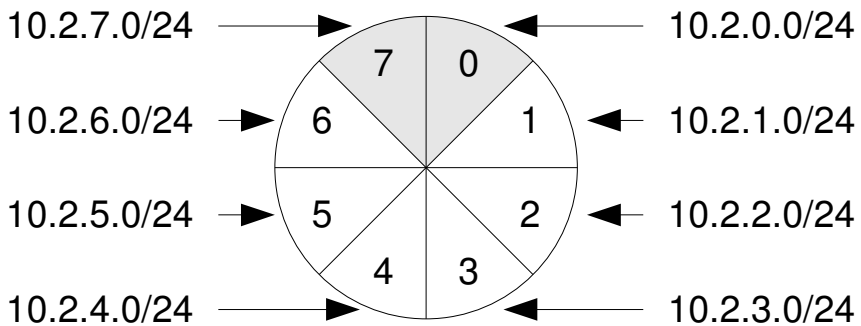
Beispiel Unternehmen

- 2 Subnetze mit bis zu 50 Rechnern
- 3 Subnetze mit bis zu 30 Rechnern
- 2 Subnetze mit bis zu 10 Rechnern

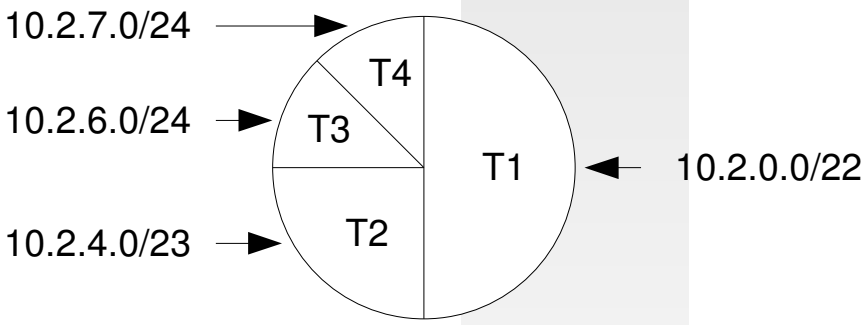
IPv4-Adressierung: Classless Interdomain Routing

- Classless Interdomain Routing – CIDR (RFC 1517-1520)
  - Nutzung VLSM in öffentlichen IP-Netzen mittels Netzwerkpräfixnotation
  - beliebige Zerlegung eines gegebenen Adressbereiches entsprechend Netztopologie

- Beispiel: 10.2.0.0/21



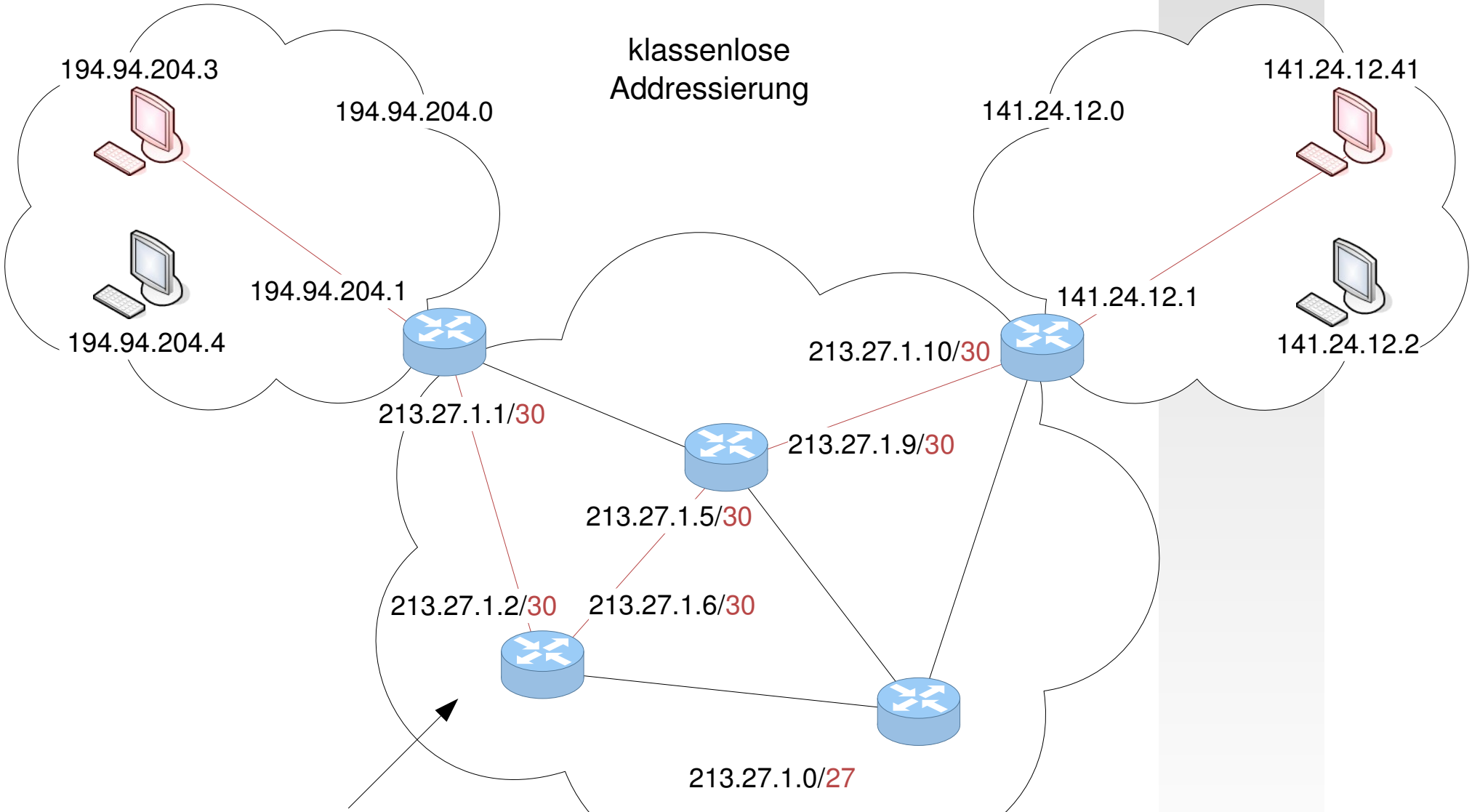
klassenbasiert



klassenlos

- Anforderungen
  - Routing-Protokolle müssen CIDR unterstützen
  - Weiterleitung in Routern muss Longest Prefix Match unterstützen
  - Adresszuweisungen müssen zur Routenaggregation Netztopologie berücksichtigen

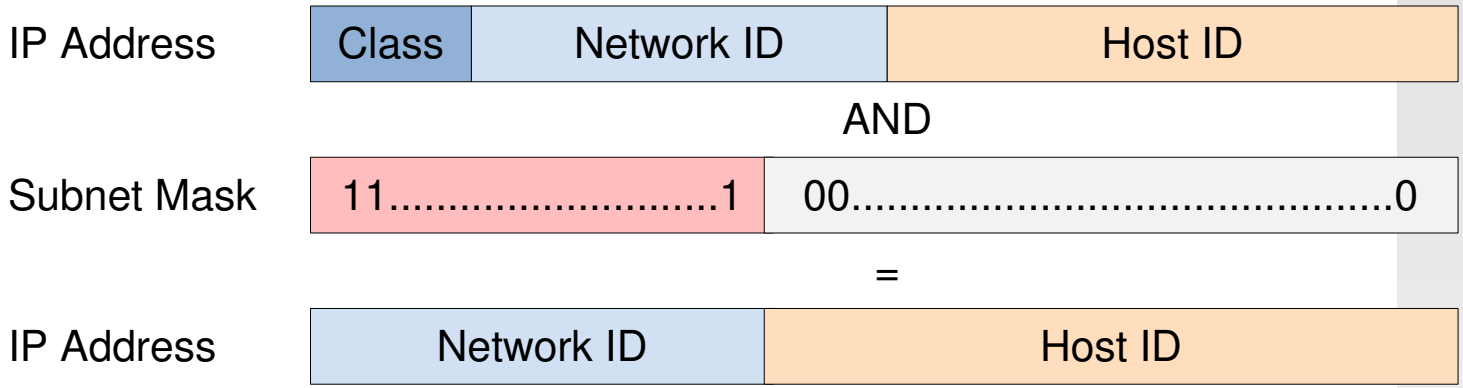
IPv4-Adressierung: Classless Interdomain Routing



Bedarf: 7 Netze a 4 Adressen (o Direktverbindung)
28 Adressen

Supernetting mittels klassenloser Adressierung

- Zusammenfassen linearer IP-Adressbereiche

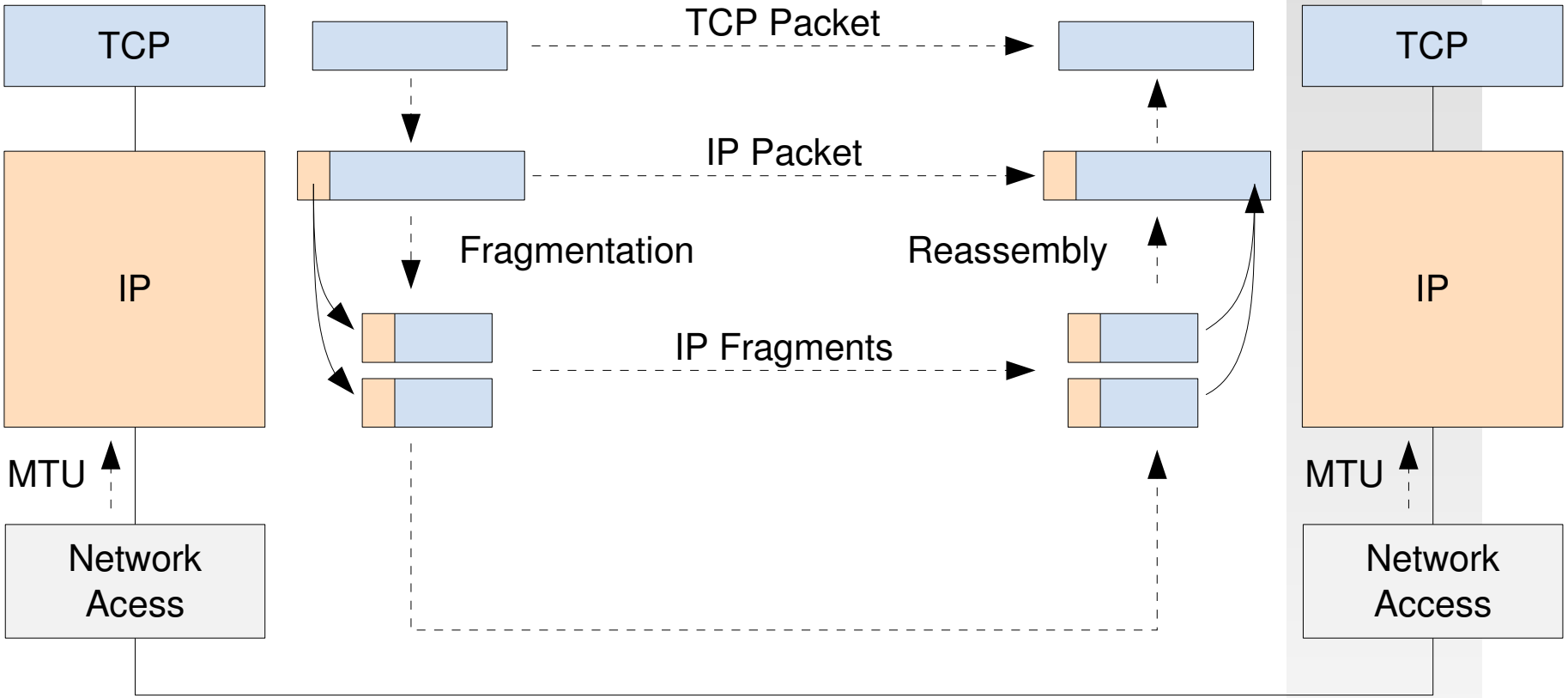


- Beispiel

Class C	194.94.204.0	11000010.01011110.11001100.00000000
Class C	194.94.205.0	11000010.01011110.11001101.00000000
Class C	194.94.206.0	11000010.01011110.11001110.00000000
Class C	194.94.207.0	11000010.01011110.11001111.00000000
		AND
Subnet-Mask	255.255.252.0	11111111.11111111.11111100.00000000
		=
Netzadresse	194.94.204.0	11000010.01011110.11001100.00000000

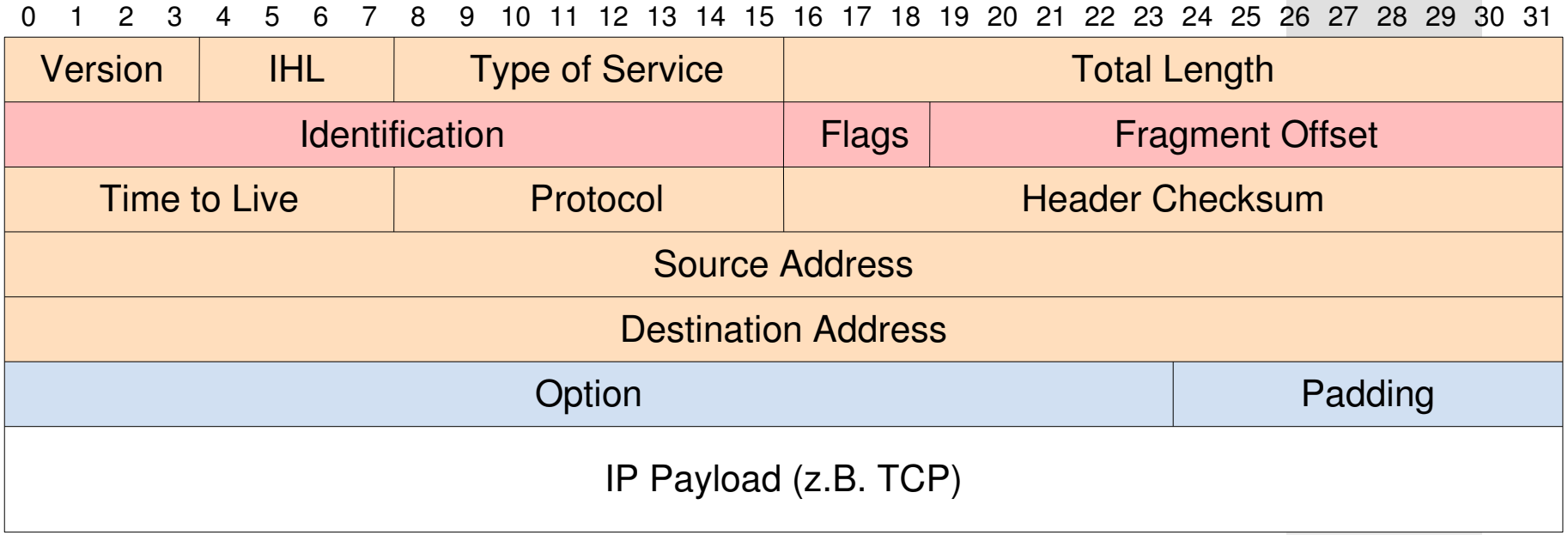
194.94.204.1
...
194.94.207.254

Fragmentierung: Grundprinzip

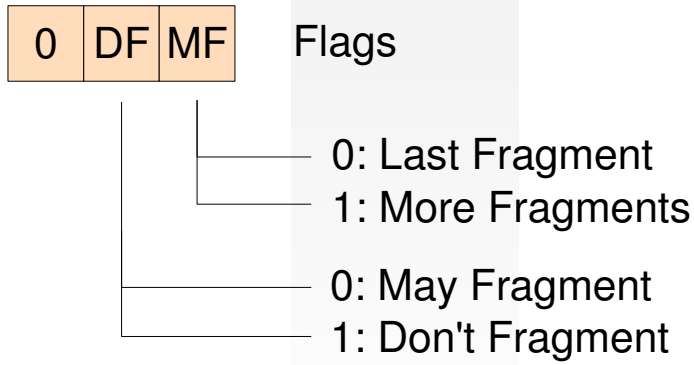


- nicht transparente Fragmentierung
  - kein Zusammensetzen in Zwischensystemen
  - erneute Fragmentierung, wenn fragmentiertes Paket zu groß
  - damit nicht transparent für nachfolgende Übertragungsabschnitte

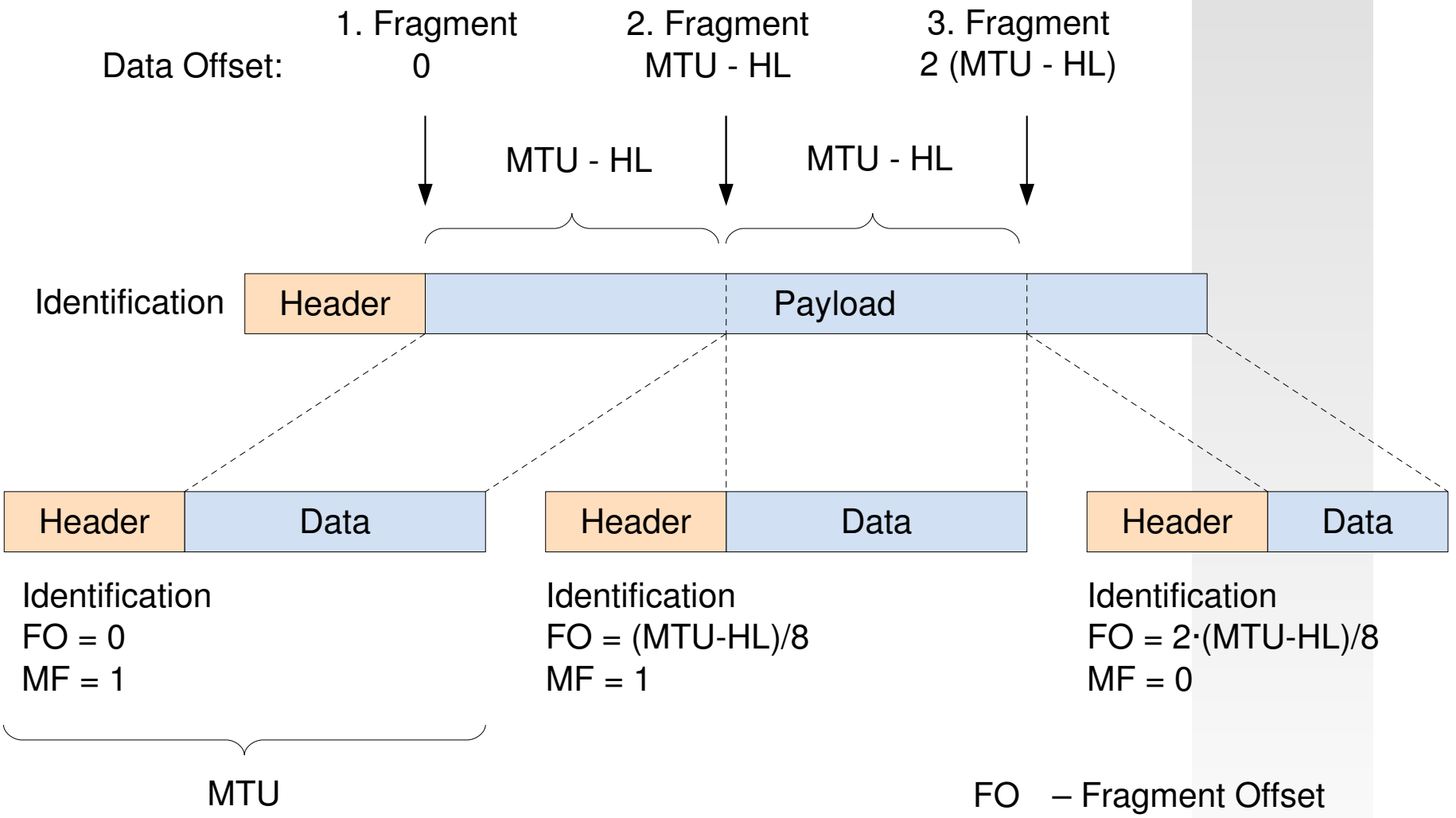
Fragmentierung: Informationen im IP-Header (1)



- Identification
  - Nummerierung des IP-Paketes
  - eindeutig für gegebenes Quell-/Zieladresspaar
- Fragment Offset
  - Position Daten innerhalb Nutzlast des IP-Paketes
  - gemessen in 8 Byte-Blöcken
- Flags



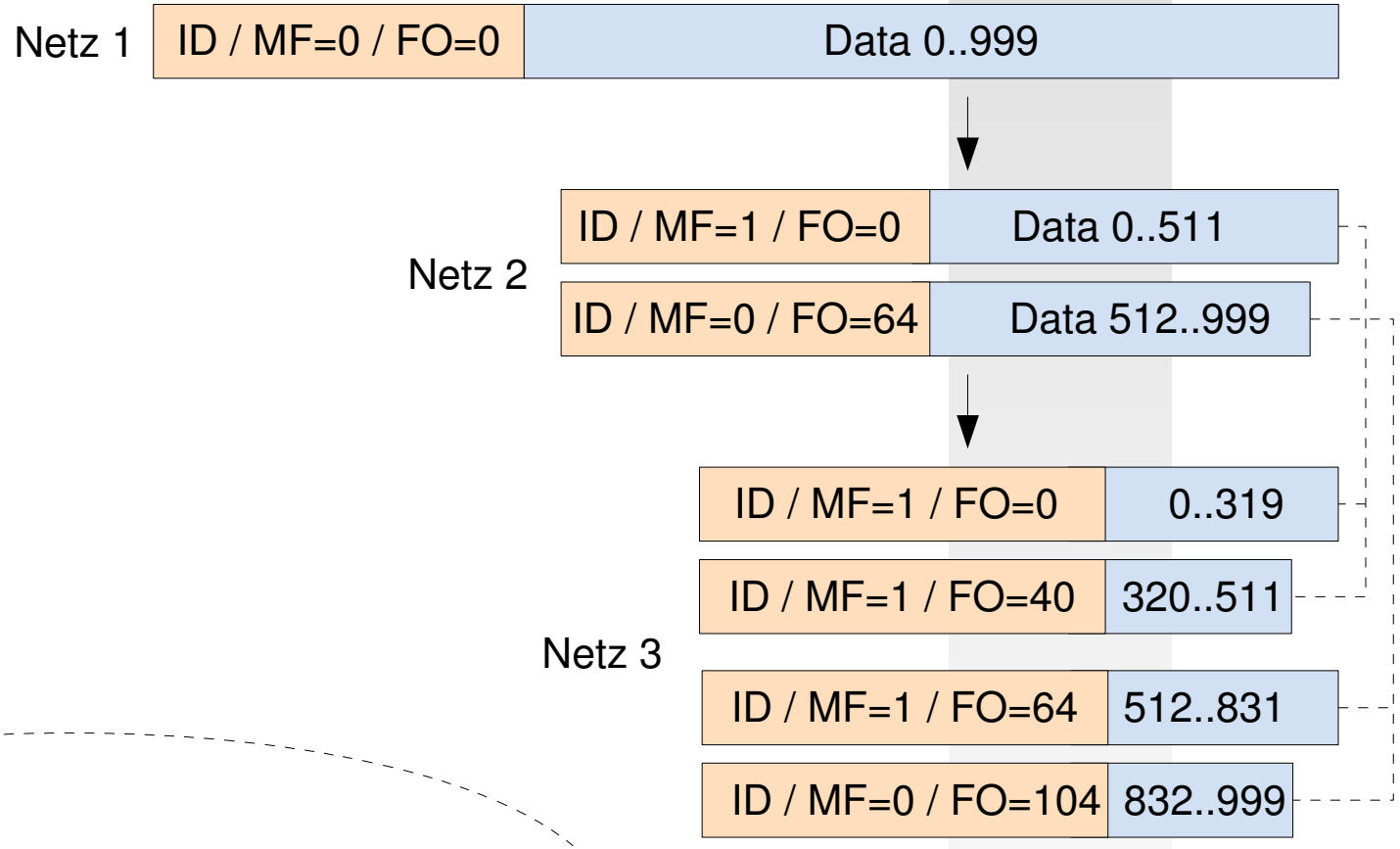
Fragmentierung: Informationen im IP-Header (2)



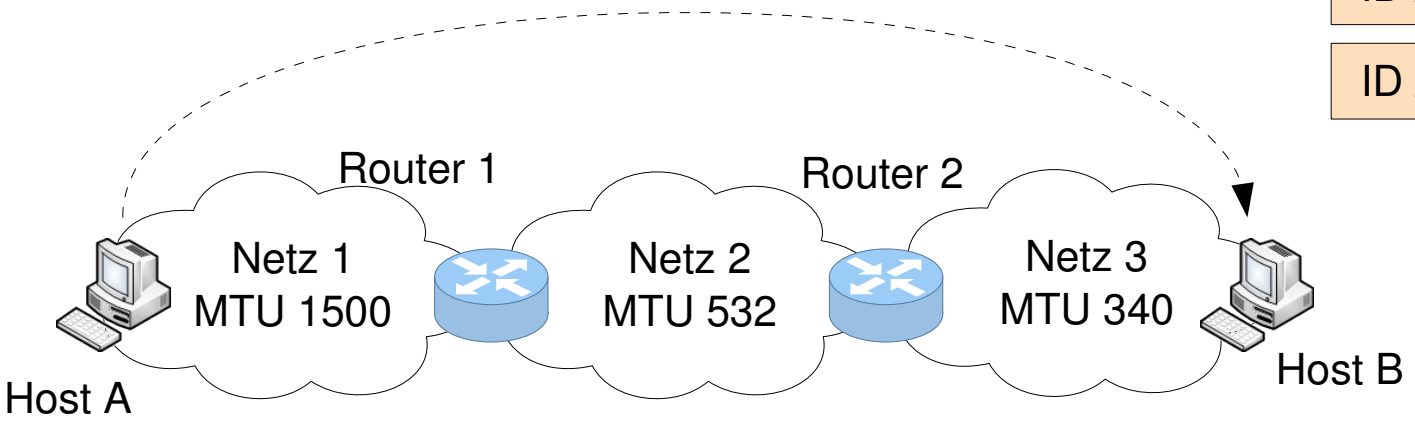
FO – Fragment Offset
HL – Header Length = 4 IHL
MF – More Fragments Flag
MTU – Maximum Transmission Unit

Fragmentierung: Beispiel

- Paket
  - Länge: 1020 Byte
  - Header: 20 Byte
  - Nutzlast: 1000 Byte

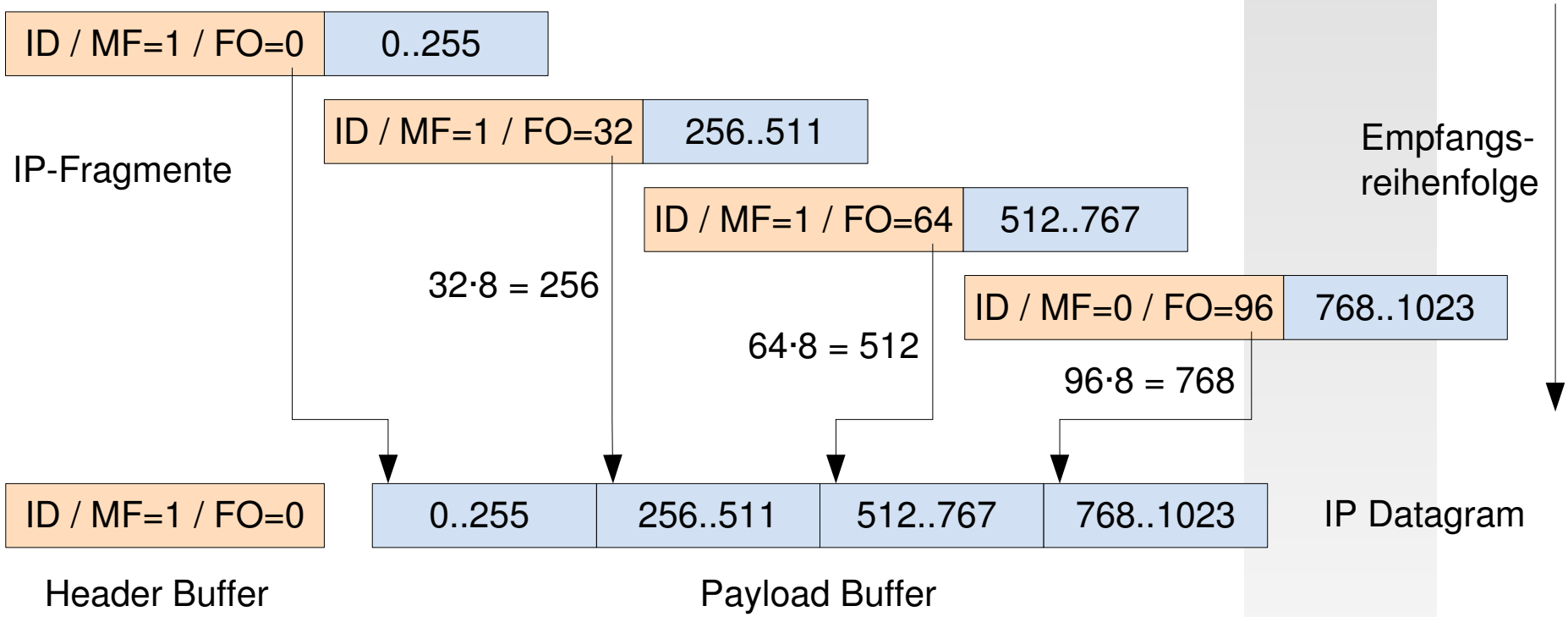


- Übertragungsstrecke



Reassemblierung

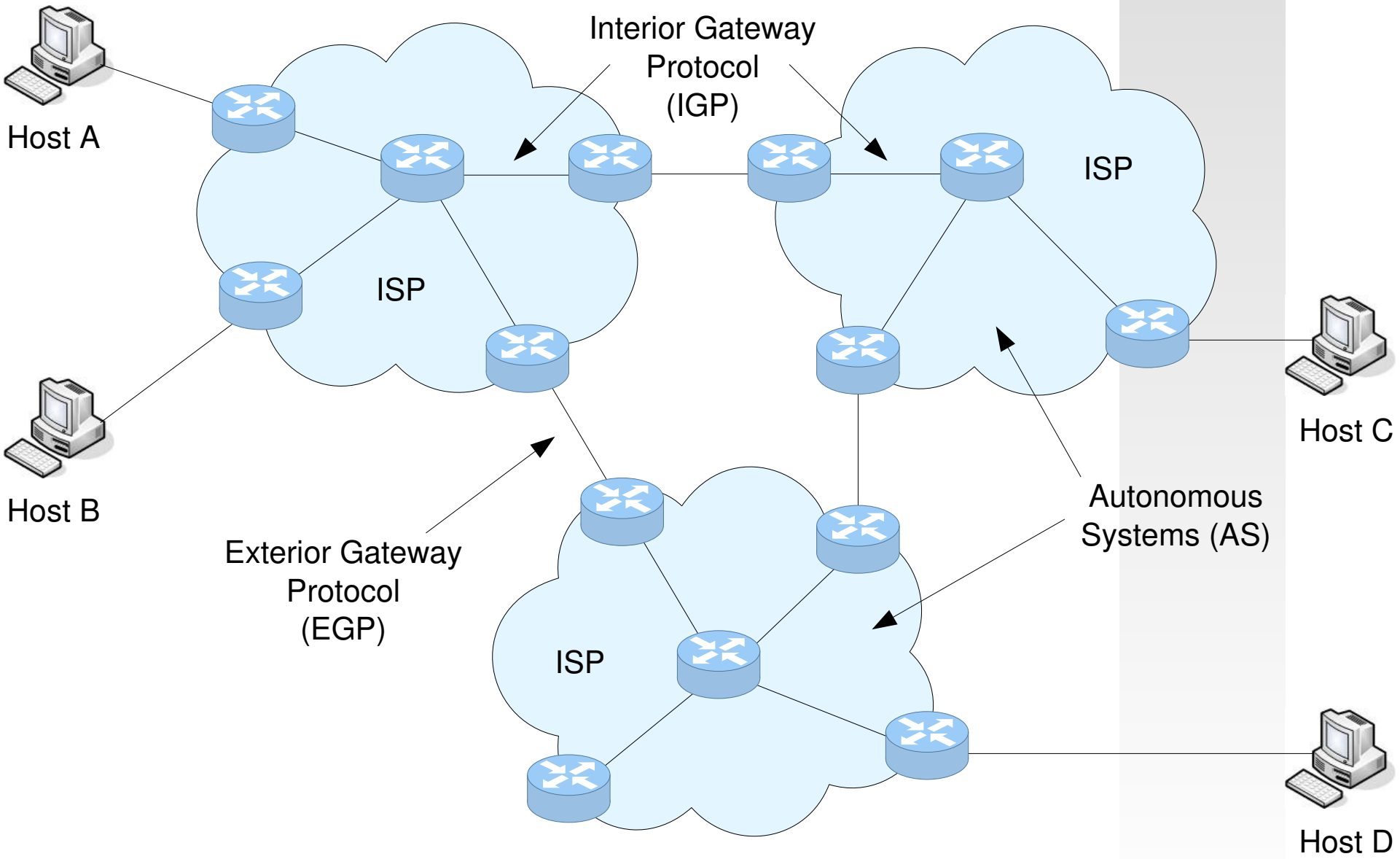
Prinzip



Probleme

- ungesicherte Reihenfolge der Fragmente
- Reservierung von Ressourcen, Freigabe erst nach Timeout

Routing im Internet



Rounting: Überblick

- statisches Routing
  - Routing-Tabellen manuell konfiguriert
  - kein Re-Routing im Fehlerfall
- dynamisches Routing
  - Anpassung an aktuelle Netzsituation und Re-Routing im Fehlerfall
  - Nachbarknoten tauschen Topologie-Informationen mittels Routing-Protokollen aus

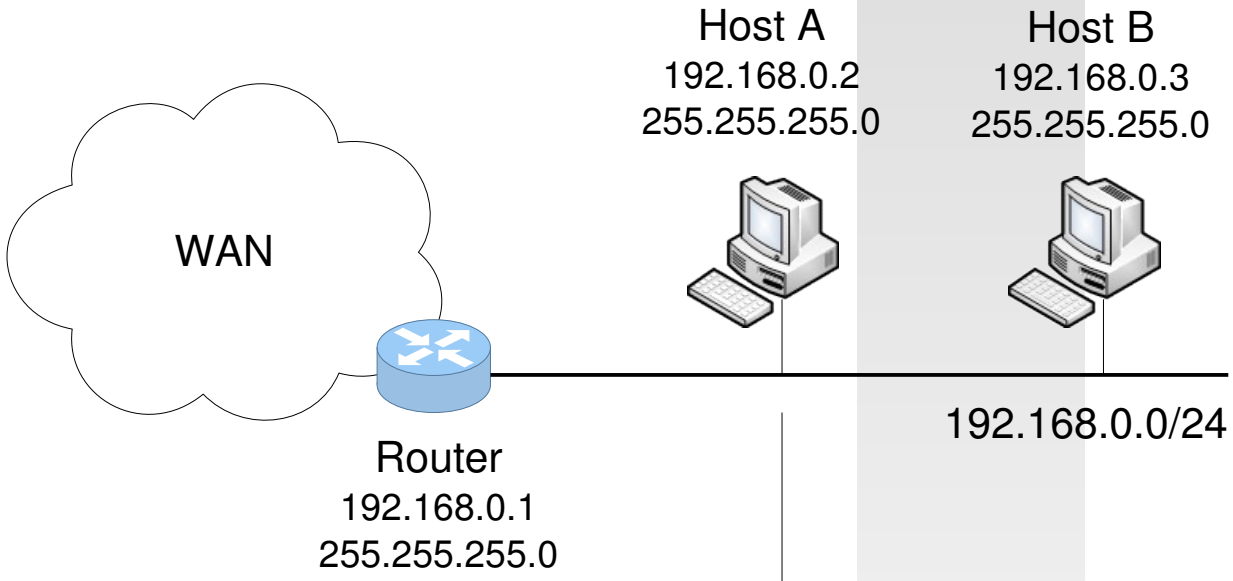
Routing-Protokoll	Routing-Vefahren	Routing-Algorithmus	Einsatz	Metrik	Anmerkungen
BGP	Path Vector	Bellman-Ford	EGP	Policies	de Facto-Standard
RIP	Distance Vector	Bellman-Ford	IGP	Hop-Count	Count-to-Infinity-Problem
OSPF	Link State	Dijkstra	IGP	*	hierarchisches Routing
IS-IS	Link State	Dijkstra	IGP	*	ISO-Standard, vglb. mit OSPF

* verschiedene kombinierbare Metriken

BGP - Border Gateway Protocol
RIP - Routing Information Protocol
OSPF - Open Shortest Path First

Routing: Routing-Tabellen

- Informationen je Eintrag
  - Zielnetz
  - Netzmaske
  - nächster Router
  - Netzwerk-Interface
  - Metrik



- Beispiel Host A

Destination	Netmask	Next Hop	Interface	Metrik
192.168.0.0	255.255.255.0	0.0.0.0	eth0	0
127.0.0.0	255.0.0.0	0.0.0.0	lo	0
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.1	eth0	0

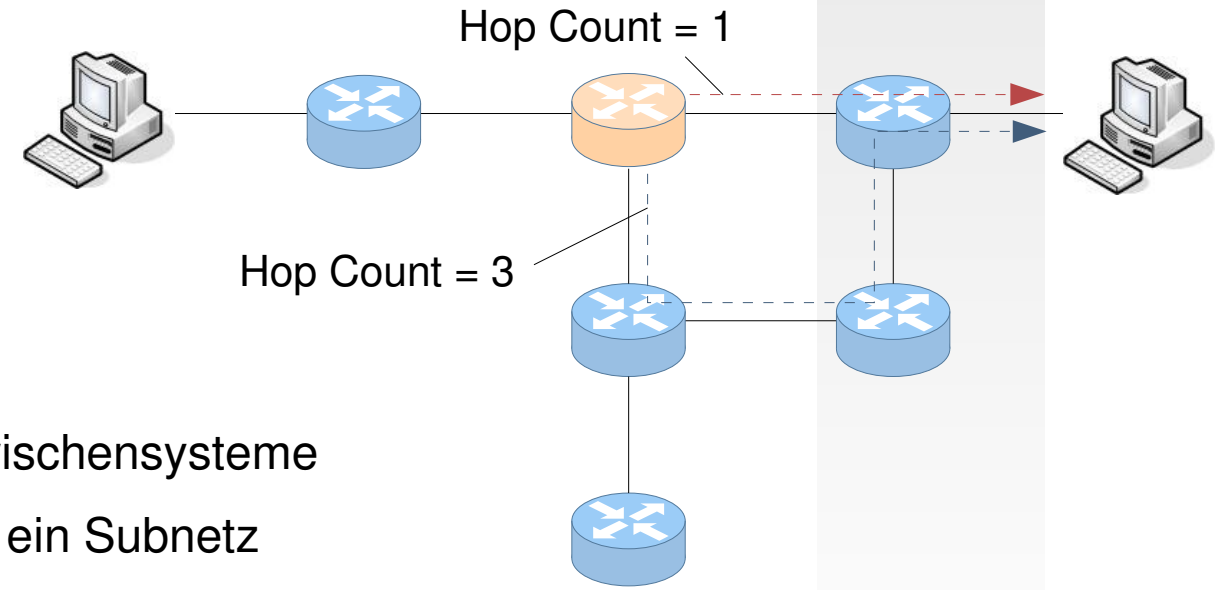
Eigenes Netz

Loopback Device (eigener Rechner)

Default Route

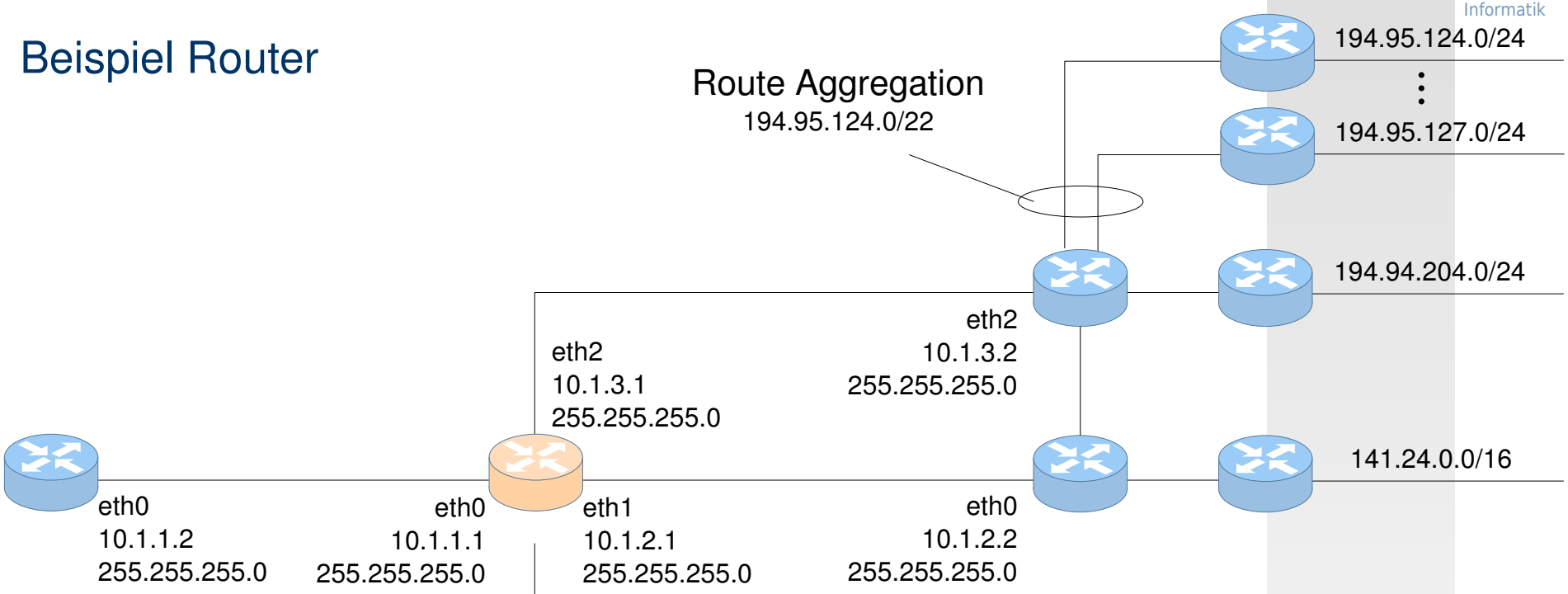
Metriken

- Definition: Metrik
  - definiert das Maß für die Bewertung einer Verbindung
  - dient Routing-Algorithmus zur Ermittlung der besten Route
- verschiedene Informationen als Metrik nutzbar (auch Kombinationen)
  - Hop-Count
  - Bandbreite
  - Verzögerung
  - Zuverlässigkeit
  - Kosten
- Hop-Count:
  - Anzahl zu durchlaufender Zwischensysteme
  - alternativ: Anzahl Sprünge in ein Subnetz



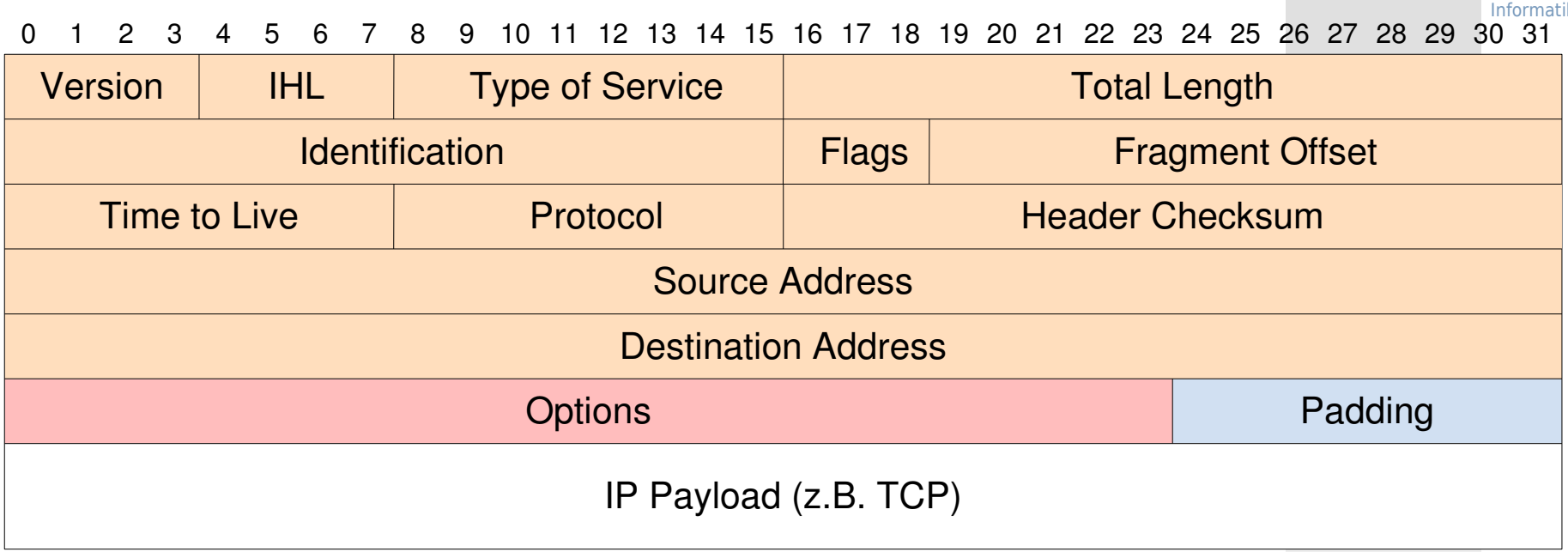
Routing-Tabellen

- Beispiel Router



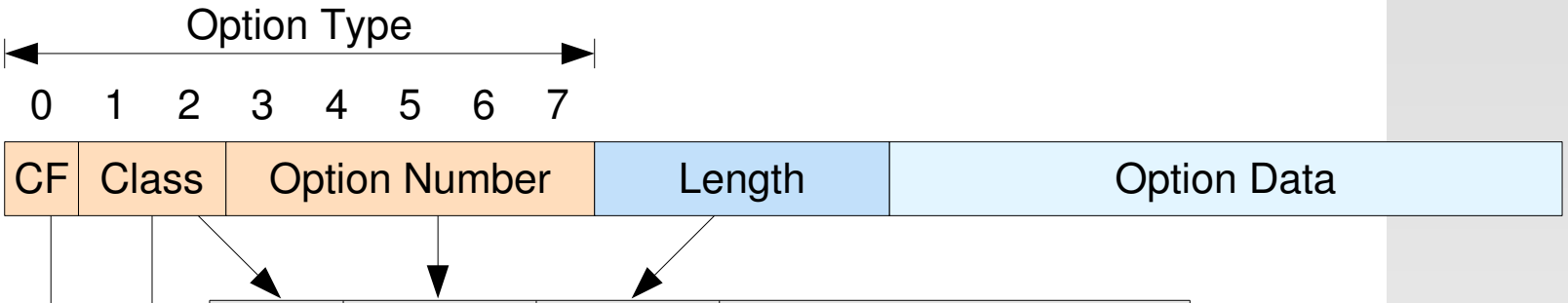
Destination	Netmask	Next Hop	Interface	Metrik
141.24.0.0/16	255.255.0.0	10.1.2.2	eth1	2
141.24.0.0/16	255.255.0.0	10.1.3.2	eth2	3
194.94.204.0/24	255.255.255.0	10.1.3.2	eth2	2
194.94.204.0/24	255.255.255.0	10.1.2.2	eth1	3
194.95.124.0/22	255.255.252.0	10.1.3.2	eth2	2
0.0.0.0	0.0.0.0	10.1.1.2	eth0	0

IPv4-Header Optionen



- Options
  - spezielle Informationen
  - variable Länge
  - max. 40 Byte

IPv4-Header Optionen

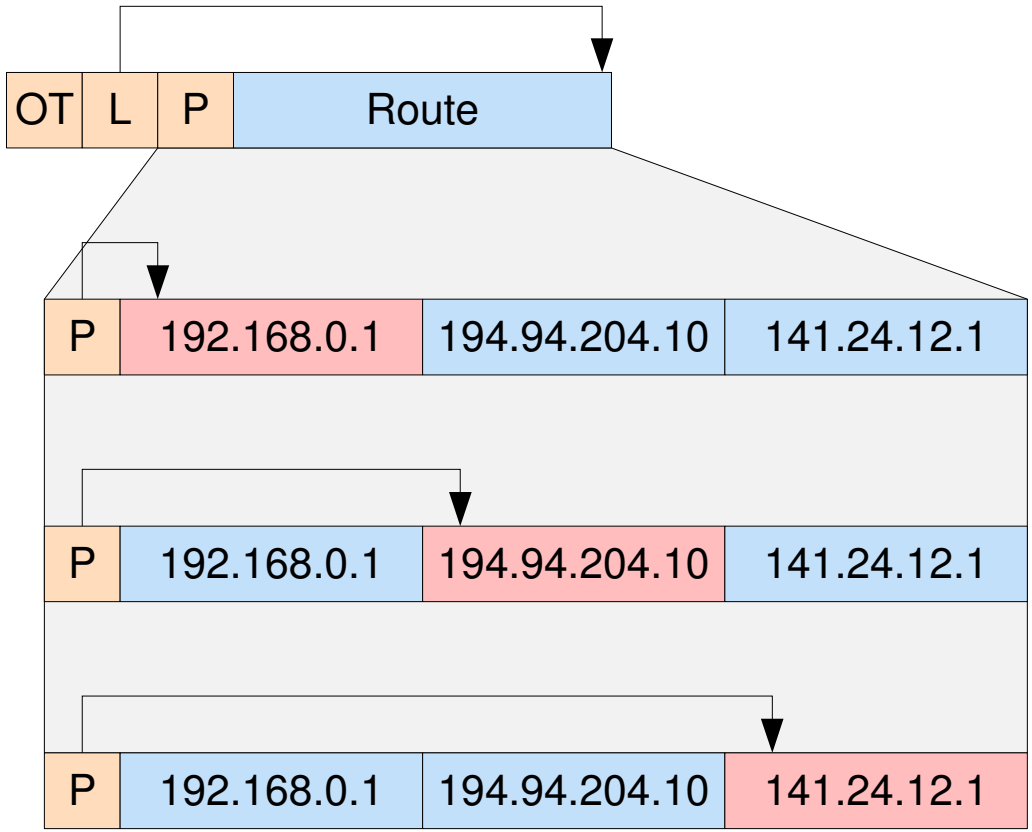


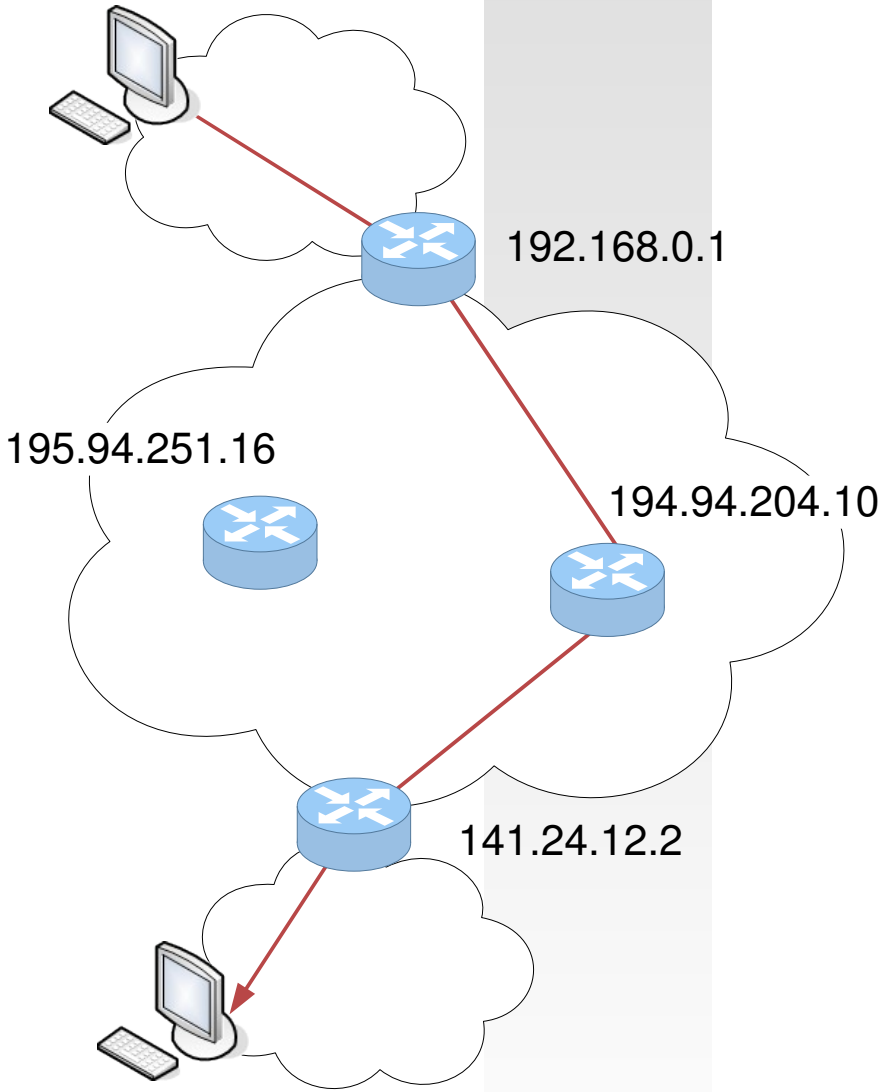
Class	Number	Length	Description
0	0	-	End of Option List
0	1	-	No Operation.
0	2	11	Security
0	3	variabel	Loose Source Routing
0	7	variabel	Record Route
0	8	4	Stream ID
0	9	variabel	Strict Source Routing
2	4	variabel	Internet Timestamp

0 – Control
1 – Reserved
2 – Debugging and Measurement
3 – Reserved

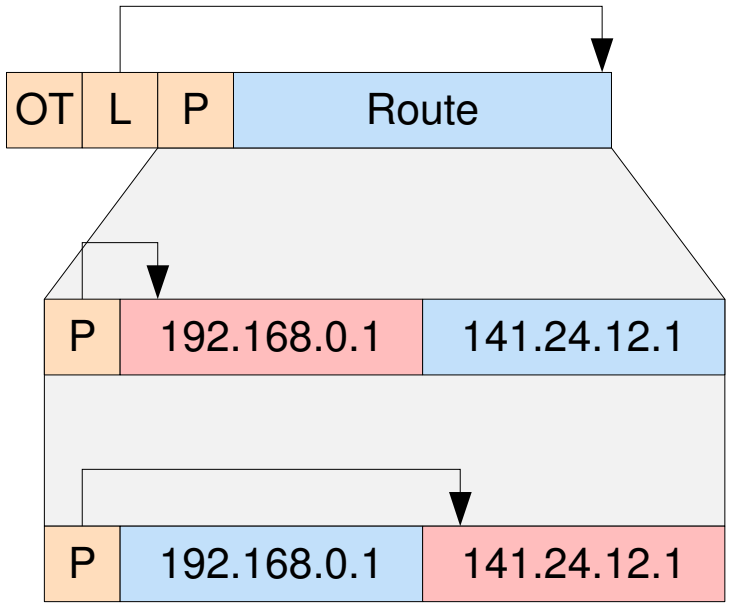
Copied Flag 0 – Kopie nur im 1. Fragment
1 – Kopie in allen Fragmenten

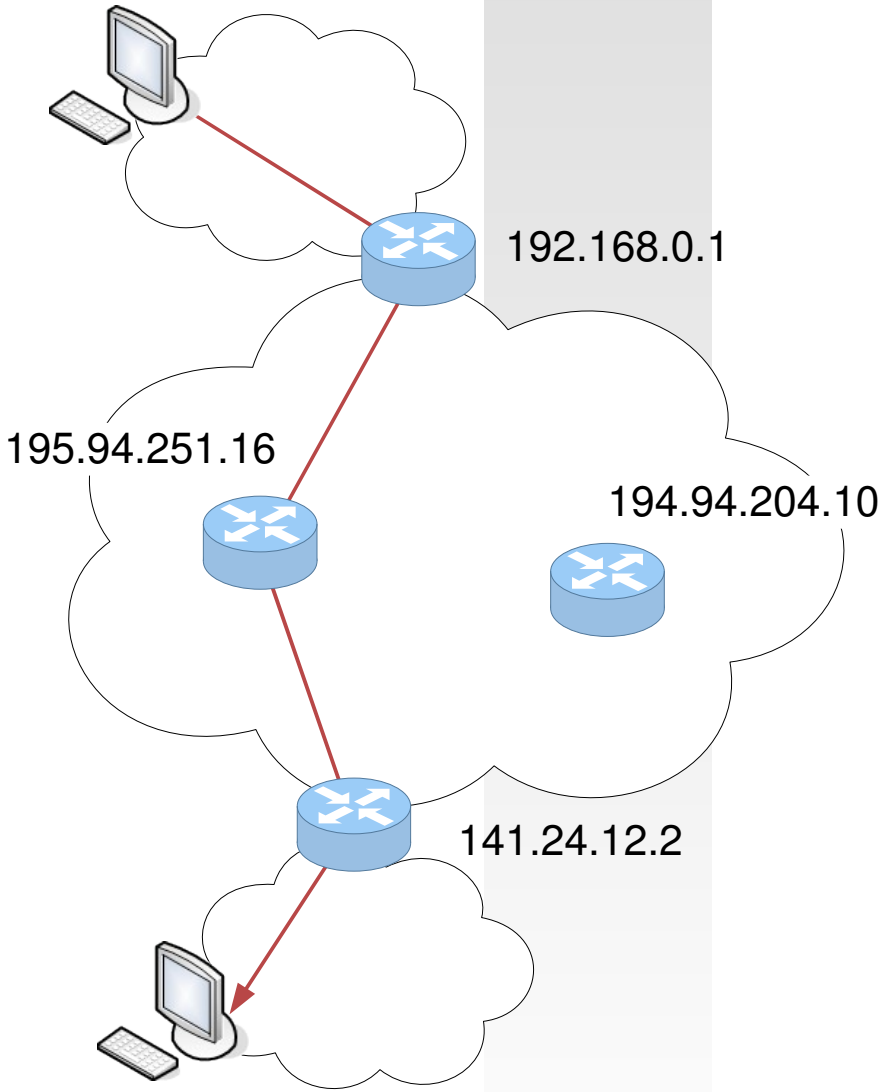
IPv4-Header Optionen: Strict Source Routing



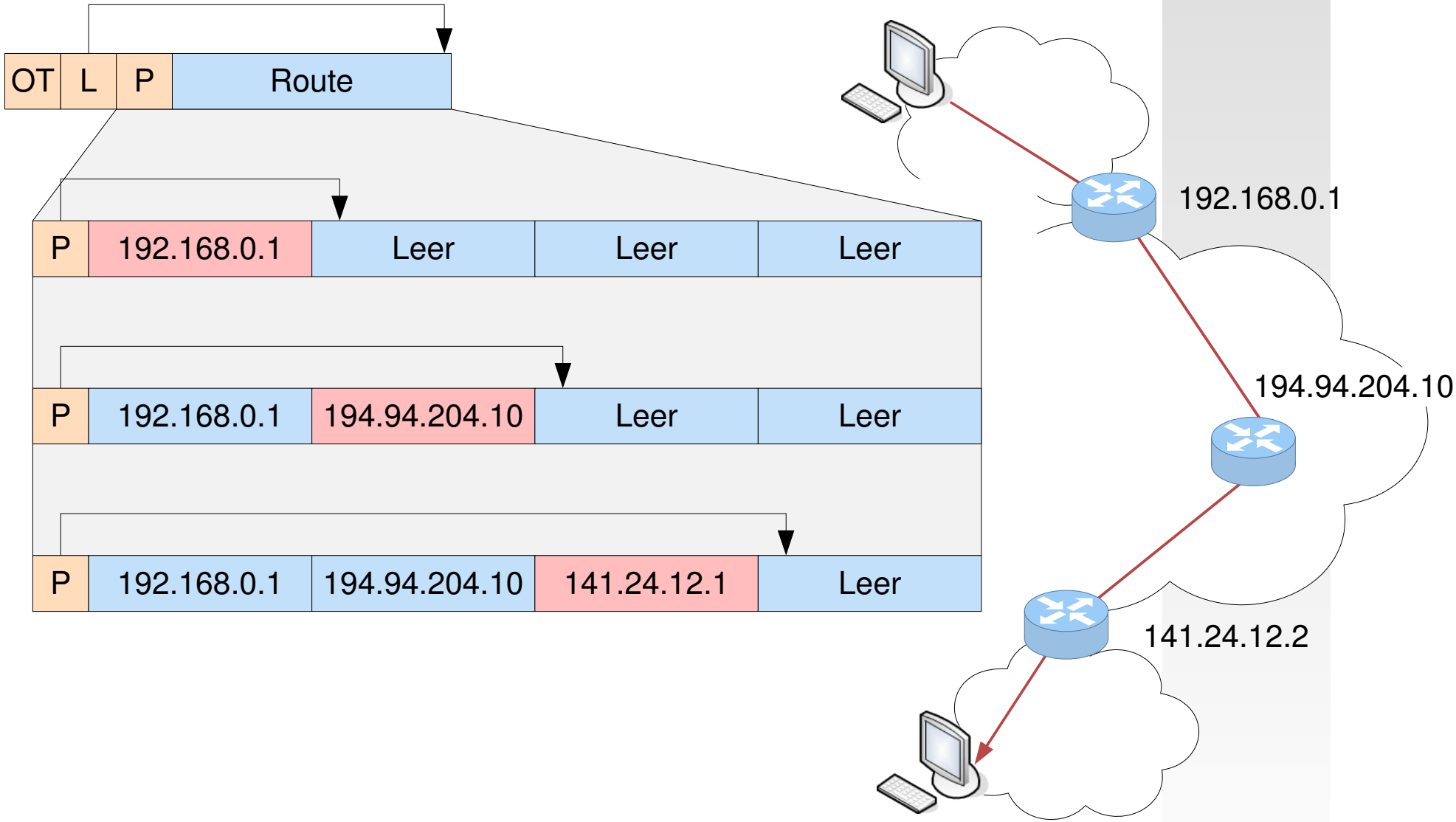


IPv4-Header Optionen: Loose Source Routing



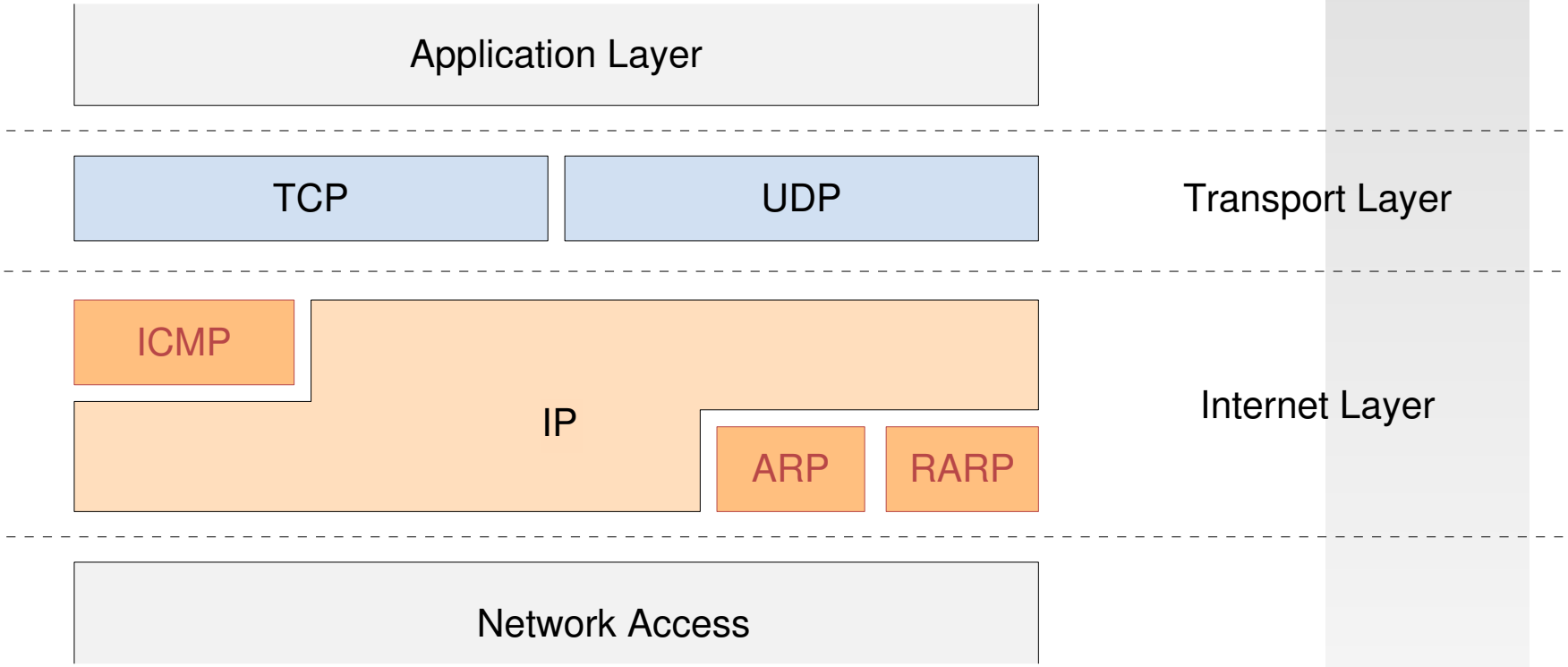


IPv4-Header Optionen: Recording Route



Protokolle zur Unterstüzung von IPv4

- Protokollstack



IP - Internet Protocol
TCP - Transport Control Protocol
UDP - User Datagram Protocol

ICMP - Internet Control Message Protocol
ARP - Address Resolution Protocol
RARP - Reverse Address Resolution Protocol

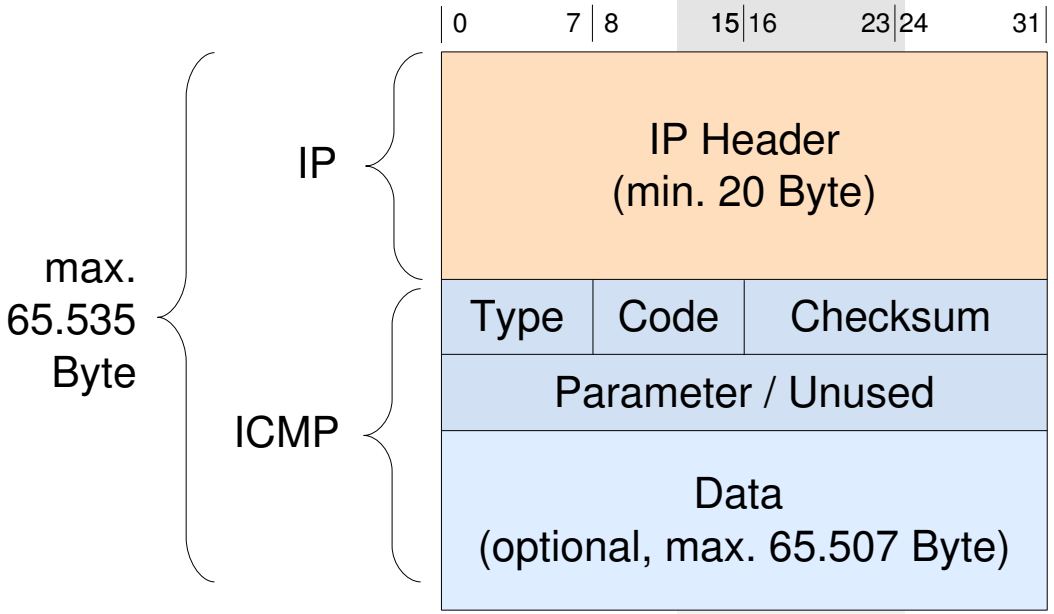
- Implementierungsvorgaben: RFC 1122

IP ist nicht alleine

ICMP – Internet Control Message Protocol

- Aufgaben
  - Fehler- und Informationsmeldungen
  - Unterstützung Diagnose
  - Aufzeichnung von Zeitmarken
  - Verwaltung Routing-Tabellen
  - Berichtigung Flusskontrolle
- Standard: RFC 792 (1981)

ICMP als Nutzlast von IP



- Format
  - Type: Typ der ICMP-Nachricht
  - Code: nähere Erläuterung (wenn nicht genutzt = 0)
  - Checksum: über komplette ICMP-Nachricht (zur Berechnung = 0)
  - Daten: abhängig von Type

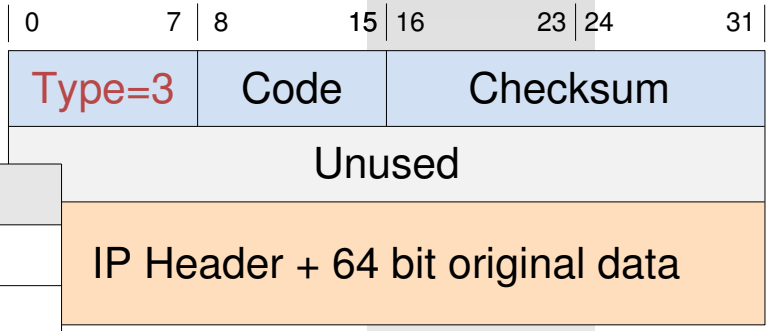
ICMP: Typen

Type	Name	Type	Name
0	Echo Reply	19	Reserved (for Security)
3	Destination Unreachable	20-29	Reserved (for Robustness Experiment)
4	Source Quench	30	Traceroute
5	Redirect	31	Datagram Conversion Error
6	Alternate Host Address	32	Mobile Host Redirect
8	Echo	33	IPv6 Where-Are-You
9	Router Advertisement	34	IPv6 I-Am-Here
10	Router Solicitation	35	Mobile Registration Request
11	Time Exceeded	36	Mobile Registration Reply
12	Parameter Problem	37	Domain Name Request
13	Timestamp	38	Domain Name Reply
14	Timestamp Reply	39	SKIP
15	Information Request	40	Photuris
16	Information Reply	41	ICMP messages utilized by experimental
17	Address Mask Request	42-255	Reserved
18	Address Mask Reply		

[http://www.iana.org/assignments/icmp-parameters]

ICMP-Abläufe (1)

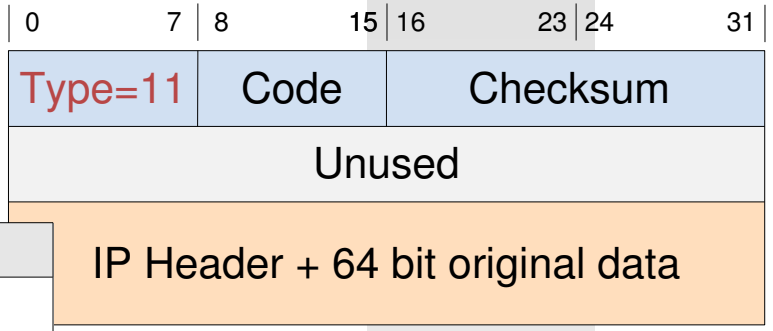
- Destination Unreachable (Type=3)



Code	Meaning
0	Net Unreachable
1	Host Unreachable
2	Protocol Unreachable
3	Port Unreachable
4	Fragmentation Needed and Don't Fragment was Set
5	Source Route Failed
6	Destination Network Unknown
7	Destination Host Unknown
8	Source Host Isolated
9	Communication with Destination Network Prohibited
10	Communication with Destination Host Prohibited
11	Destination Network Unreachable for Type of Service
12	Destination Host Unreachable for Type of Service
13	Communication Administratively Prohibited
14	Host Precedence Violation
15	Precedence cutoff in effect

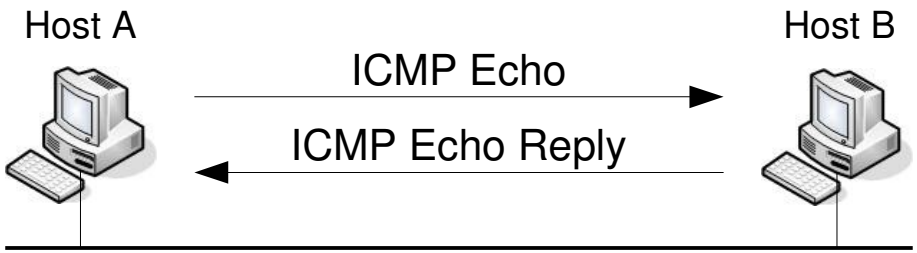
ICMP-Abläufe (2)

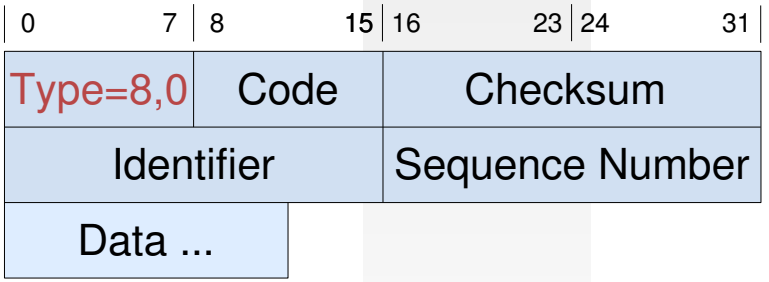
- Time Exceeded (Type=11)
  - TTL in IP-Header wird in Zwischensystem 0
  - bei Verlust IP-Fragment Timeout im Empfänger



Code	Meaning
0	Time To Live exceeded in transmit
1	Fragment reassembly time exceeded

- Echo Request / Echo Reply (Type=8/0)



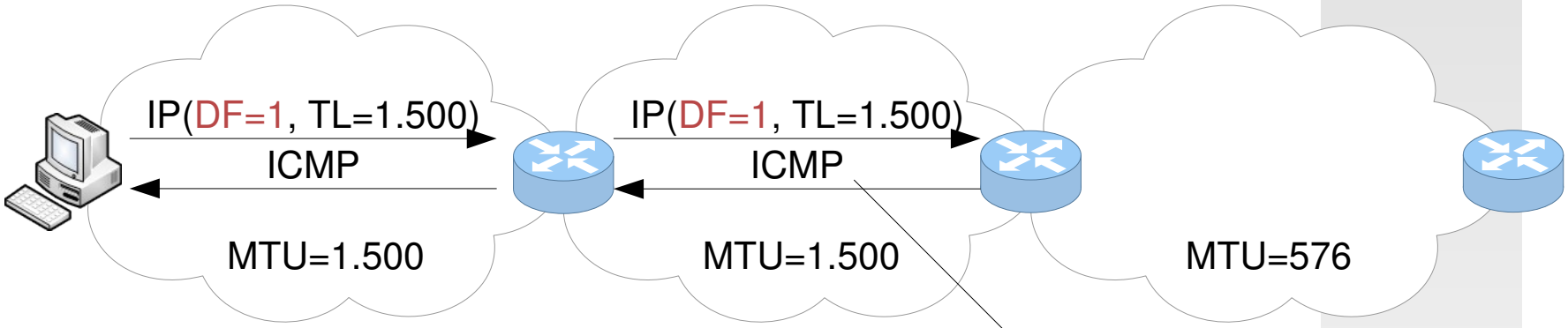


  - Prüfen der Erreichbarkeit
  - Nutzung MS-DOS/UNIX-Kommando `ping`, z.B.: `ping 194.94.204.23`

ICMP-Abläufe (2)

- Path MTU Discovery (RFC 1191)

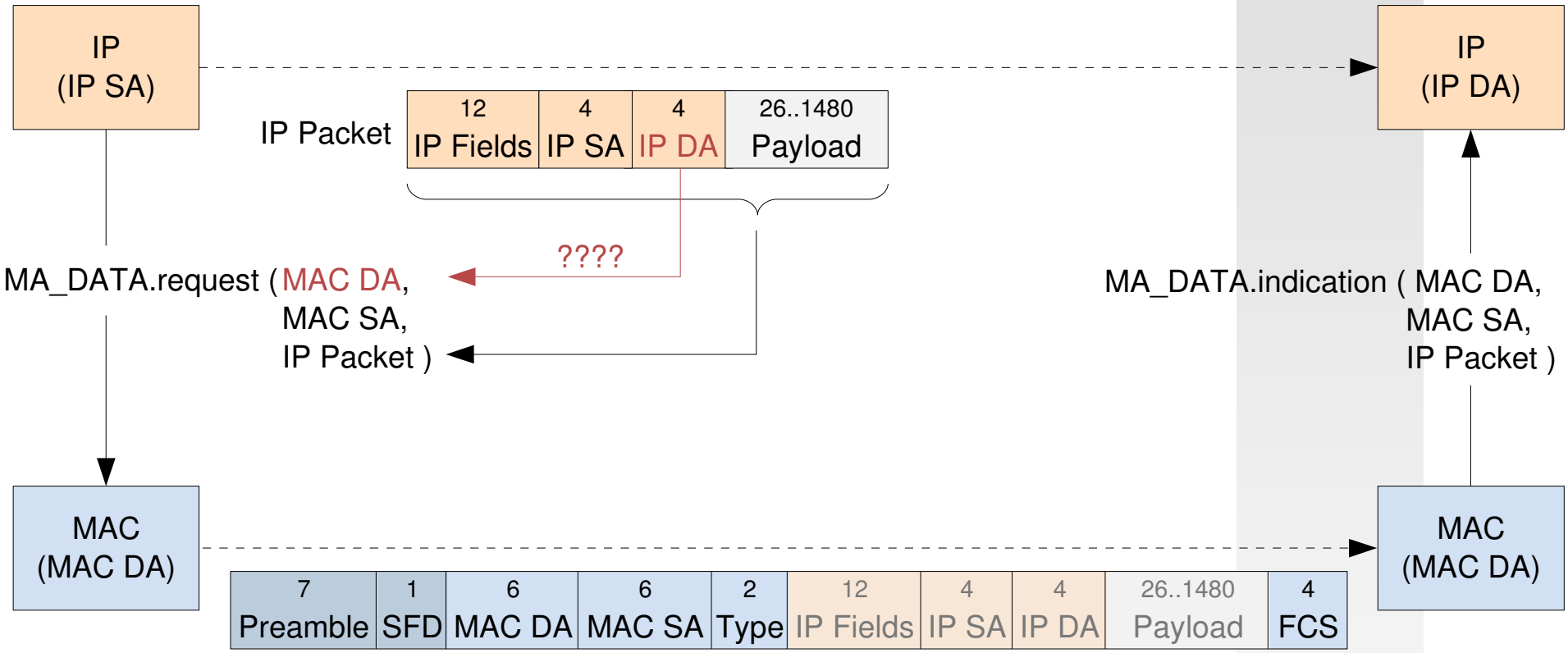
DF = Don't Fragment
TL = Total Length



0 – 7	8 – 15	16 – 23	24 – 31
Type=3	Code=4	Checksum	
Unused		Next Hop MTU	
IP Header + 64 bit original data			

Type=3 : Destination Unreachable
Code=4: Fragmentation Needed and DF Flag was Set

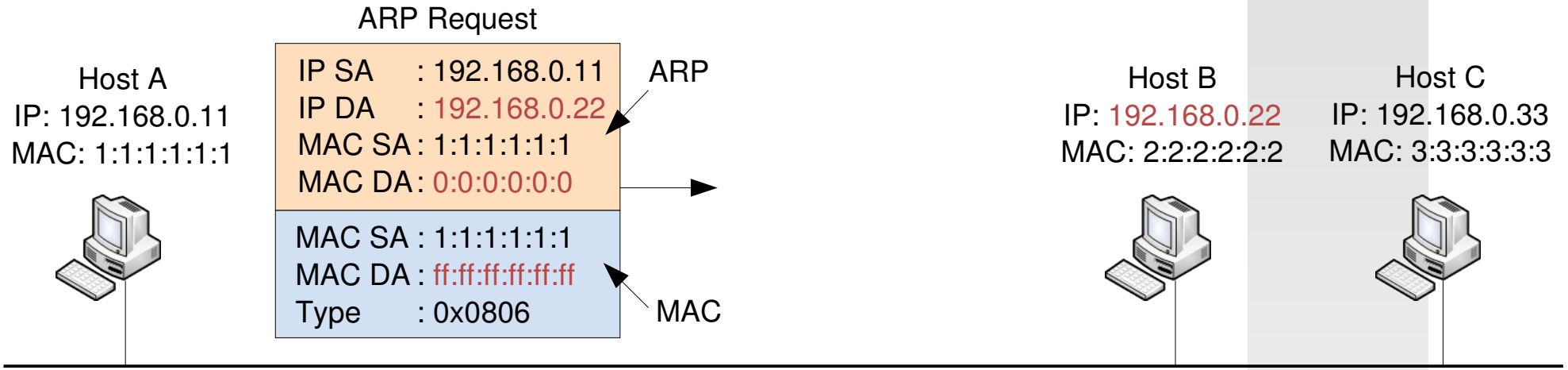
Adress Resolution: Problemstellung



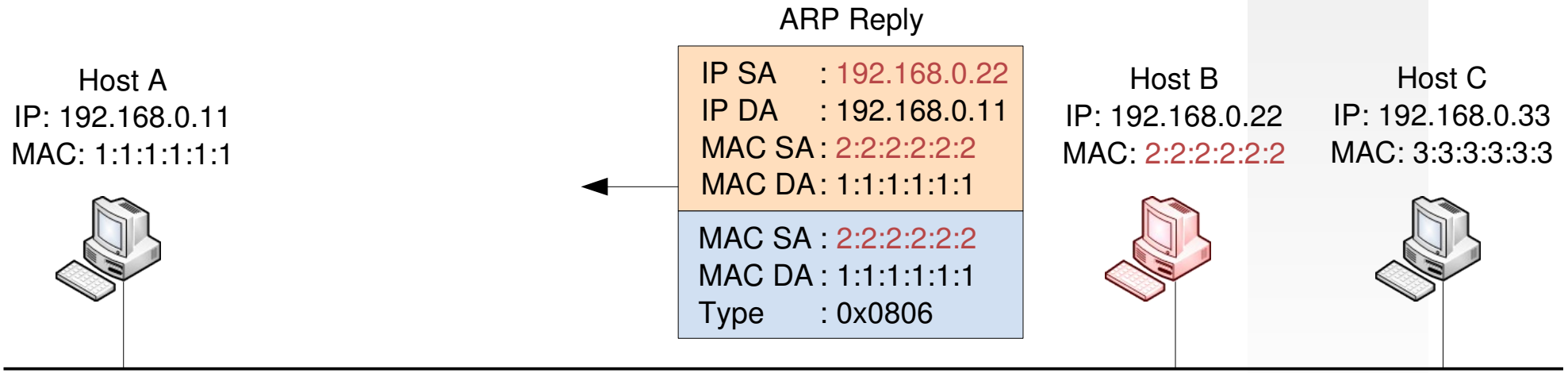
MAC DA	MAC Destination Address
MAC SA	MAC Source Address
IP DA	IP Destination Address
IP SA	IP Source Address

LAN Adressierung

Adress Resolution Protocol (ARP)



Prinzip des ARP



Zusammenfassung

- Internet Protokoll
  - Network Layer im TCP/IP
  - Adressierung
  - Wegwahl (Routing)
  - Fragmentierung
- Adressierung
  - klassenbasiert mit Subnet-Mask
    - Subnetting (gleichgroße Subnetze)
    - Supernetting
  - klassenlos mit Netzwerkpräfix
- Fragmentierung
  - Zerlegung und Zusammensetzen
  - entsprechend MTU
  - Fragmente unabhängig
- Routing
  - statisch durch manuelle Konfiguration
  - dynamisch mittels Protokollen
- ICMP
  - Austausch von Nachrichten
  - Fehlermeldungen
- Automatische Adresszuordnung
  - Erstellung von Zuordnungstabellen IP/MAC-Adressen
  - ARP