

IT2221 - Netzwerktechnik

Dozentin:

Gabriele Schrenk

e_schrenk@doz.hwr-berlin.de

Organisatorisches

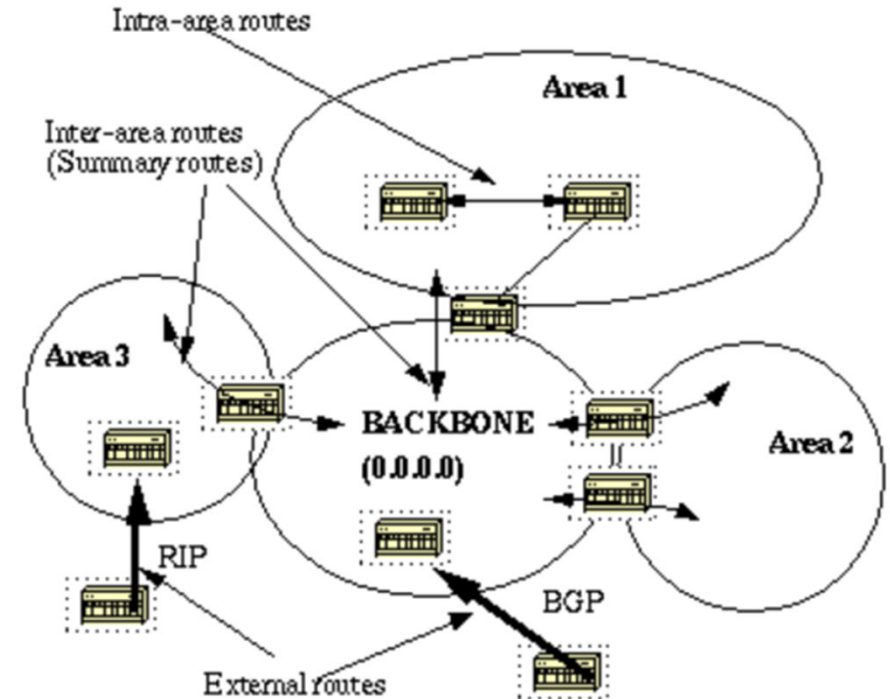
Insgesamt 10 Online-Vorlesungen mit BBB

1. Grundlagen, IP-Adressierung OSI-Modell, Ethernet (Labor)
2. Layer 1 und 2 an den Beispielen Ethernet und WLAN
3. Layer 3 am Beispiel von IPv4 und Routingprotokollen
4. Layer 3 Routen Zusammenfassen, IPv6 und DSL
5. Layer 3 Routingprotokolle am Beispiel, Layer 4 (TCP und UDP)
6. Layer 7 am Beispiel von DNS und DHCP, Weitverkehrsnetze
7. Weitverkehrsnetze, Ausfallsichere Netze
8. Netzwerksicherheit
9. Wiederholung, offene Fragen
10. Prüfungsvorbereitung

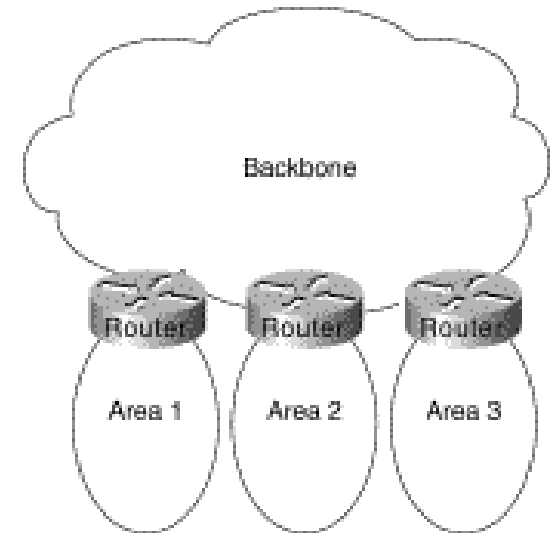
Network Layer - Netzwerkschicht

LAYER 3

- Areas verbergen Topologien
- Geringer Overhead
- Weniger Belastung durch kleinere LSDBs
- Area Border Router (ABR) vermitteln zwischen verschiedenen Areas
- Autonomous System Border Router (ASBR): Router, die Informationen aus anderen Routing-Protokollen erhalten



- ABR/ASBR legen Netzwerkadressen und Kosten zusammen
 - möglichst wenig Routen in Tabelle
 - spart Ressourcen ein
 - schnellere Konvergenz
 - verbergen von Netzdetails
 - unempfindlich gegen Zustandsänderungen einzelner Routen
- 1. Inter-area route summarization - Zusammenlegen innerhalb eines AS liegenden Netzwerkadressen
- 2. External route summarization - In einem AS integrierte Netzwerkadressen werden zusammengelegt



1. Netze in Binärdarstellung umwandeln
2. Anzahl der identischen Bits bestimmen
3. prüfen, ob nur die gewünschten Netze in der Zusammenfassung enthalten sind.
4. falls nein, dann weitere Bits hinzufügen, bis nur gewünschte Netze in der Zusammenfassung
5. mit den restlichen Netzen von vorne beginnen.

Zusammenfassen von Routen: Beispiel

Zusammenfassung von 172.16.0.0/24 bis 172.16.3.0/24

```
172.16.0.0: 1010 1100.0001 0000.0000 0000.0000 0000
172.16.1.0: 1010 1100.0001 0000.0000 0001.0000 0000
172.16.2.0: 1010 1100.0001 0000.0000 0010.0000 0000
172.16.3.0: 1010 1100.0001 0000.0000 0011.0000 0000
```



Zusammenfassung: 172.16.0.0/22

Zusammenfassung von 192.168.0.0/24 bis 192.168.9.0/24

192.168.0.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0000.0000 0000

: : : : : : : : : :

192.168.7.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0111.0000 0000

192.168.8.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1000.0000 0000

192.168.9.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1001.0000 0000



192.168.10.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1010.0000 0000

: : : : : : : : : :

192.168.15.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1111.0000 0000



Zusammenfassung von 192.168.0.0/24 bis 192.168.9.0/24

192.168.0.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0000.0000 0000
: : : : : : : : : : : :
192.168.7.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0111.0000 0000

192.168.8.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1000.0000 0000
192.168.9.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1001.0000 0000

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

Zusammenfassung von 192.168.0.0/24 bis 192.168.9.0/24

192.168.0.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0000.0000 0000
: : : : : : : : : : : :
192.168.7.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0111.0000 0000



192.168.0.0/21

192.168.8.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1000.0000 0000
192.168.9.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1001.0000 0000

Zusammenfassen von Routen: Beispiel

Zusammenfassung von 192.168.0.0/24 bis 192.168.9.0/24

192.168.0.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0000.0000 0000

: : : : : : : : : :

192.168.7.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0111.0000 0000



192.168.0.0/21

192.168.8.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1000.0000 0000

192.168.9.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1001.0000 0000



192.168.8.0/23

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

Zusammenfassung von 192.168.0.0/24 bis 192.168.9.0/24

192.168.0.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0000.0000 0000
: : : : : : : : : : : :
192.168.7.0: 1100 0000.1010 1000.0000 0111.0000 0000

und

192.168.8.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1000.0000 0000
192.168.9.0: 1100 0000.1010 1000.0000 1001.0000 0000

Zusammenfassung: 192.168.0.0/21 und 192.168.8.0/23

Die zusammengefassten Netze müssen logisch zum gleichen
Next Hop / gleichen Interface führen

Fassen Sie folgende Netze zusammen:

192.168.160.0/24

192.168.162.0/23

192.168.161.0/24

192.168.164.0/22



Zusammenfassung von 192.168.160.0/24, 192.168.161.0/24 ,
192.168.162.0/23 und 192.168.164.0/22

192.168.160.0: 1100 0000.1010 1000.1010 0000.0000 0000
192.168.161.0: 1100 0000.1010 1000.1010 0001.0000 0000
192.168.162.0: 1100 0000.1010 1000.1010 0010.0000 0000
192.168.164.0: 1100 0000.1010 1000.1010 0100.0000 0000



Zusammenfassung: 192.168.160.0/21

Fassen Sie folgende Netze zusammen:

172.30.31.0/24

172.30.32.0/24

172.30.33.0/24

172.30.34.0/23

172.30.36.0/23

172.30.38.0/24



Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und 172.30.38.0/24

172.30.0.0:	1010	1100	0001	1110.0000	0000.0000	0000
172.30.30.0:	1010	1100	0001	1110.0001	1110.0000	0000
172.30.31.0:	1010	1100	0001	1110.0001	1111.0000	0000
172.30.32.0:	1010	1100	0001	1110.0010	0000.0000	0000
172.30.33.0:	1010	1100	0001	1110.0010	0001.0000	0000
172.30.34.0:	1010	1100	0001	1110.0010	0010.0000	0000
172.30.36.0:	1010	1100	0001	1110.0010	0100.0000	0000
172.30.38.0:	1010	1100	0001	1110.0010	0110.0000	0000
172.30.39.0:	1010	1100	0001	1110.0010	0111.0000	0000
172.30.63.0:	1010	1100	0001	1110.0011	1111.0000	0000



Die zusammengefassten Netze müssen logisch zum
gleichen Next Hop / gleichen Interface führen

Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und
172.30.38.0/24

172.30.31.0: 1010 1100.0001 1110.0001 1111.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.31.0/24

172.30.32.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0000.0000 0000

172.30.33.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0001.0000 0000

172.30.34.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0010.0000 0000

172.30.36.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0100.0000 0000

172.30.38.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0110.0000 0000

172.30.39.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0111.0000 0000

172.30.63.0: 1010 1100 0001 1110.0011 1111.0000 0000

Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und
172.30.38.0/24

172.30.31.0: 1010 1100.0001 1110.0001 1111.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.31.0/24

172.30.32.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0000.0000 0000
172.30.33.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0001.0000 0000
172.30.34.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0010.0000 0000
172.30.36.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0100.0000 0000
172.30.38.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0110.0000 0000
172.30.39.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0111.0000 0000



Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und
172.30.38.0/24

172.30.31.0: 1010 1100.0001 1110.0001 1111.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.31.0/24

172.30.32.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0000.0000 0000

172.30.33.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0001.0000 0000

172.30.34.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0010.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.32.0/22

172.30.36.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0100.0000 0000

172.30.38.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0110.0000 0000

Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und 172.30.38.0/24

172.30.31.0: 1010 1100.0001 1110.0001 1111.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.31.0/24

172.30.32.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0000.0000 0000

172.30.33.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0001.0000 0000

172.30.34.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0010.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.32.0/22

172.30.36.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0100.0000 0000

172.30.38.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0110.0000 0000

172.30.39.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0111.0000 0000

Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und
172.30.38.0/24

172.30.31.0: 1010 1100.0001 1110.0001 1111.0000 0000
172.30.32.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0000.0000 0000
172.30.33.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0001.0000 0000
172.30.34.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0010.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.31.0/24 und 172.30.32.0/22

172.30.36.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0100.0000 0000

172.30.38.0: 1010 1100.0001 1110.0010 0110.0000 0000

Zusammenfassung: 172.30.36.0/23 und 172.30.38.0/24

Lösung Gruppenaufgabe

Zusammenfassung von 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/24,
172.30.33.0/24, 172.30.34.0/23, 172.30.36.0/23 und
172.30.38.0/24

172.30.31.0:	1010	1100.0001	1110.0001	1111.0000	0000
172.30.32.0:	1010	1100.0001	1110.0010	0000.0000	0000
172.30.33.0:	1010	1100.0001	1110.0010	0001.0000	0000
172.30.34.0:	1010	1100.0001	1110.0010	0010.0000	0000
172.30.36.0:	1010	1100.0001	1110.0010	0100.0000	0000
172.30.38.0:	1010	1100.0001	1110.0010	0110.0000	0000

Zusammenfassung: 172.30.31.0/24, 172.30.32.0/22,
172.30.36.0/23 und 172.30.38.0/24

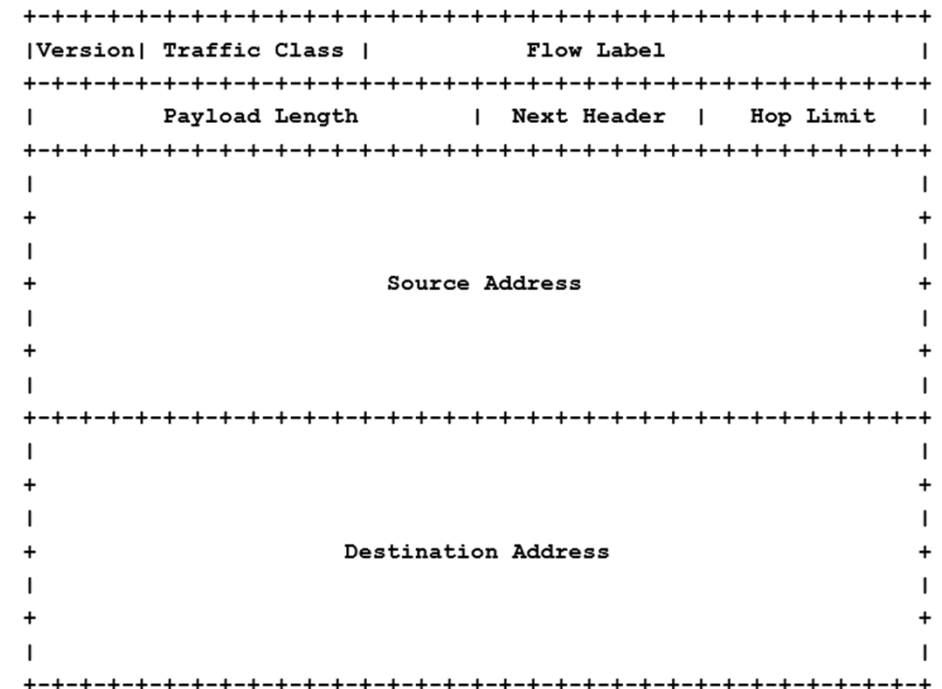
Network Layer - Vermittlungsschicht

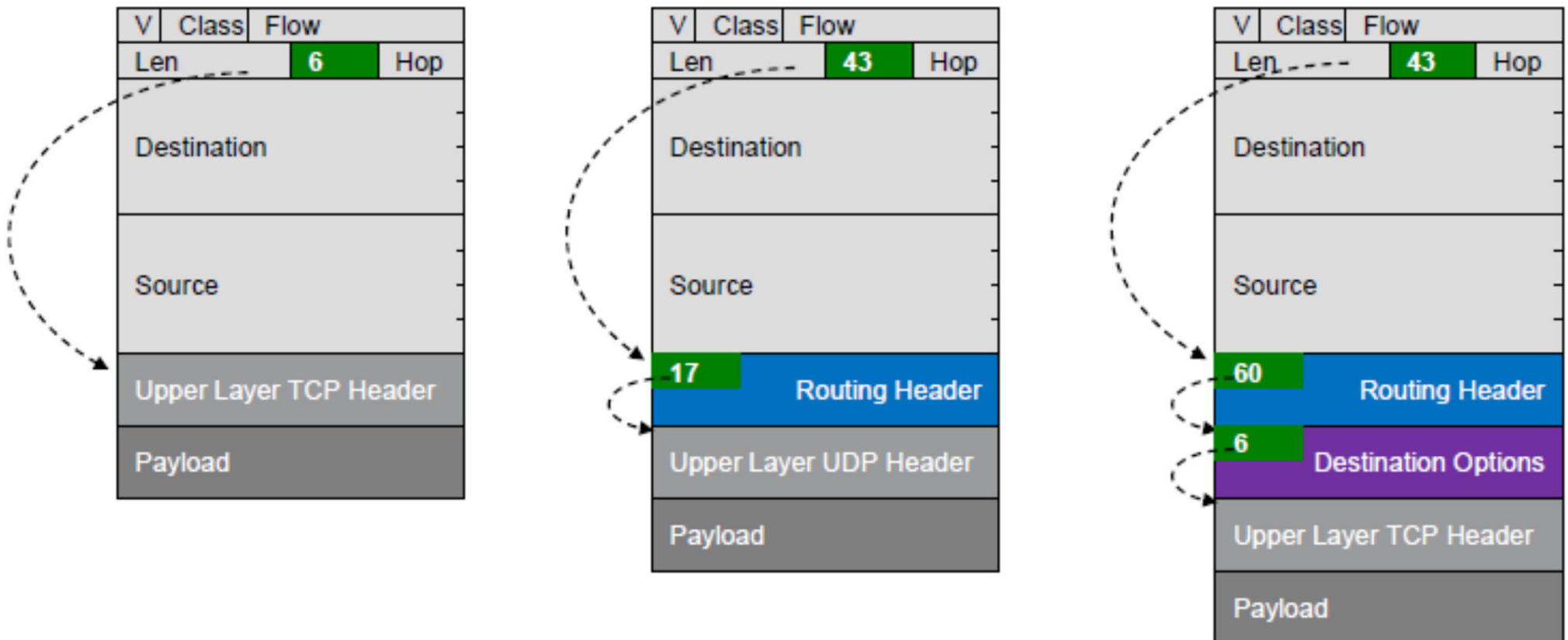
LAYER 3

- IPv6 wurde Dezember 1995 von der IETF in RFC 1883 spezifiziert
- Weiterentwicklung des IP Version 4
 - Vereinfachung des Protokollformats
 - Dienstgüte (QoS)
 - Sicherheitsmechanismen
 - Erweitertes Routing
- Existiert mit IPv4 parallel
- IP Adresse 128 Bits
 - Größerer Adressraum
 - Bildung mehrerer Hierarchiestufen
 - Einführung verschiedener Adresstypen
 - Einführung einer neuen Diensteadressierung
- Domain Name Service bleibt weiterhin gültig

- IPv4 Adressraum zu klein ($2^{32} = 4,3 \times 10^9$)
- IPv4 Adressen ungleich verteilt auf der Welt
- IPv6 Adressraum größer ($2^{128} = 3,4 \times 10^{38}$)
- Eigenschaften:
 - Der Protokollkopf ist stark vereinfacht (keine Checksumme)
 - Enthält nur grundlegende Information zur Weiterleitung
 - Feste Headerlänge (48 Byte) ermöglicht schnelles Routing
 - Trotz vierfacher IPv6-Adresslänge (16 Byte) nur doppelte Länge Header
 - Verschlüsselung möglich (IPSec)
 - Quality of Service
 - Autokonfiguration der Endgeräte
- Aktuell (2024) ca. 30-60% der Netze auf IPv6 migriert

- 4 Bits - Version
- 8 Bits - Traffic Class
 - Differentiated Services Code Point, Explicit Congestion Notification
- 20 Bits - Flow Label
 - Routing-Entscheidung nur über Flow-Label (könnte eine TCP-Verbindung oder ein Stream sein)
- 16 Bits Payload Length
 - Länge des Rests des Pakets nach Header in Byte
- 8 Bits - Next header
 - TCP, UDP oder weiterer IPv6-Header
- 8 Bits - Hop Limit
 - TTL aus IPv4
(Wert wird bei jedem Passieren eines Routers heruntergezählt und das Paket wird bei Wert ,0' verworfen)





Next Header = 6 (TCP), 17 (UDP)

Routing Header = 43, dann Typ 4 Segment Routing Header (SRH)

Extension header	<u>Next Header field value</u>	Description
<u>Hop-by-Hop Options</u>	0	Options that need to be examined by all devices on the path
<u>Routing</u>	43	Methods to specify the route for a datagram (used with <u>Mobile IPv6</u>) or used for Segment Routing Header (SRH) in SRV6
<u>Fragment</u>	44	Contains parameters for fragmentation of datagrams
<u>Authentication Header (AH)</u>	51	Contains information used to verify the authenticity of most parts of the packet
<u>Encapsulating Security Payload (ESP)</u>	50	Carries encrypted data for secure communication
<u>Destination Options</u> (before upper-layer header)	60	Options that need to be examined only by the destination of the packet
<u>Mobility</u> (currently without upper-layer header)	135	Parameters used with <u>Mobile IPv6</u>
<u>Host Identity Protocol</u>	139	Used for <u>Host Identity Protocol</u> version 2 (HIPv2) ^[10]
<u>Shim6 Protocol</u>	140	Used for <u>Shim6</u> ^[11]
Reserved	253	Used for experimentation and testing ^{[12][4]}
Reserved	254	Used for experimentation and testing ^{[12][4]}

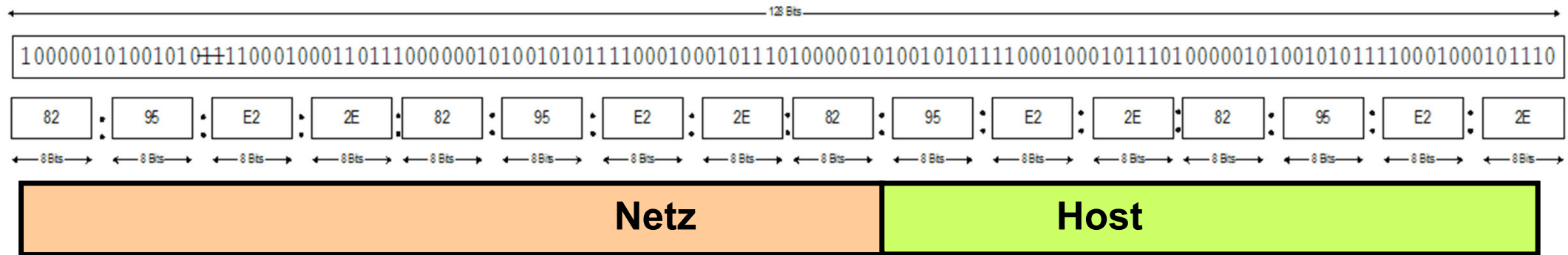
Quelle Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6_packet

- IPv6 uses Ethernet Protocol ID (0x86DD)



- IPv4 uses Ethernet Protocol ID (0x0800)





- Darstellung:
 - Hexadezimaldarstellung in 16-Bit-Blöcken (8 Blöcke mit 4 Zeichen)
 - Blöcke getrennt durch :
 - führende Nullen entfallen
 - Blöcke von Nullen zusammengefasst zu :: (darf nur 1x vorkommen)
 - Beispiel:
 - 2001:0000:0001:0002:0000:0000:0000:ABCD
 - 2001:0:1:2:0:0:0:ABCD
 - 2001:0:1:2::ABCD -> 3 Blöcke fehlen
- Adresstypen:
 - Unicast, Multicast und Anycast

Ein großes Netzwerk wird in kleinere, effizientere Subnetze unterteilt

- Bei IPv6 wird häufig die CIDR (Classless Inter-Domain Routing)-Notation verwendet
- Ein IPv6-Netzwerk dargestellt mit Präfixlänge in der CIDR-Notation, z. B. 2001:0db8:85a3::/64

Beispiel zur Berechnung einer zusammengefassten Route

- 2001:0db8:85a3:0001::/64
- 2001:0db8:85a3:0002::/64
- 2001:0db8:85a3:0003::/64

Für Präfixe zusammenfassen die ersten 64 Bits nehmen

- 2001:0db8:85a3:0001::/64

```
0010 0000 0001 0000 1101 1011 1000 0000 1000 0101 0011
1010 0011 0000 0000 0001 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000
```

- 2001:0db8:85a3:0002::/64

```
0010 0000 0001 0000 1101 1011 1000 0000 1000 0101 0011
1010 0011 0000 0000 0010 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000
```

- 2001:0db8:85a3:0003::/64

```
0010 0000 0001 0000 1101 1011 1000 0000 1000 0101 0011
1010 0011 0000 0000 0011 0000 0000 0000 0000 0000 0000
0000 0000
```


Vergleichen binäre Adressen für gemeinsame Bits

2001:0db8:85a3:0001::/64

- 2001:0db8:85a3: (gemeinsam)
- 0001 (1)
- 0002 (2)
- 0003 (3)

Die ersten 64 Bits der Adressen sind bis zur 62. Bit-Position identisch

Zusammengefasste Route für die angegebenen Präfixe:

2001:0db8:85a3:0000::/62

Die zusammengefasste Route wird durch die Identifizierung der gemeinsamen Bits und die Anpassung der Präfixlänge erstellt

In diesem Fall können sind die ersten 62 Bits gleich

Zusammengefasste Route

- `2001:0db8:85a3:0000::/62`

Vorteil Zusammenfassung der IPv6-Netzwerke auf /62

- Eine effizientere Nutzung des Adressraums und reduzieren die Anzahl der Routing-Tabellen-Einträge
- Verbesserung der Routing-Effizienz
- Vereinfachung des Netzwerkmanagement insgesamt

Wie bei IPv4, nur Adresslänge 128 Bit und Hex-Schreibweise

- IPv6-Adresse: 255.255.255.255.255.255.255.255.
255.255.255.255.255.255.255.255.
entspricht FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF:FFFF
- IPv4-Adresse: FFFF:FFFF
entspricht 255.255.255.255
- Auch bei Einführung von IPv6
bleibt Subnettings relevant

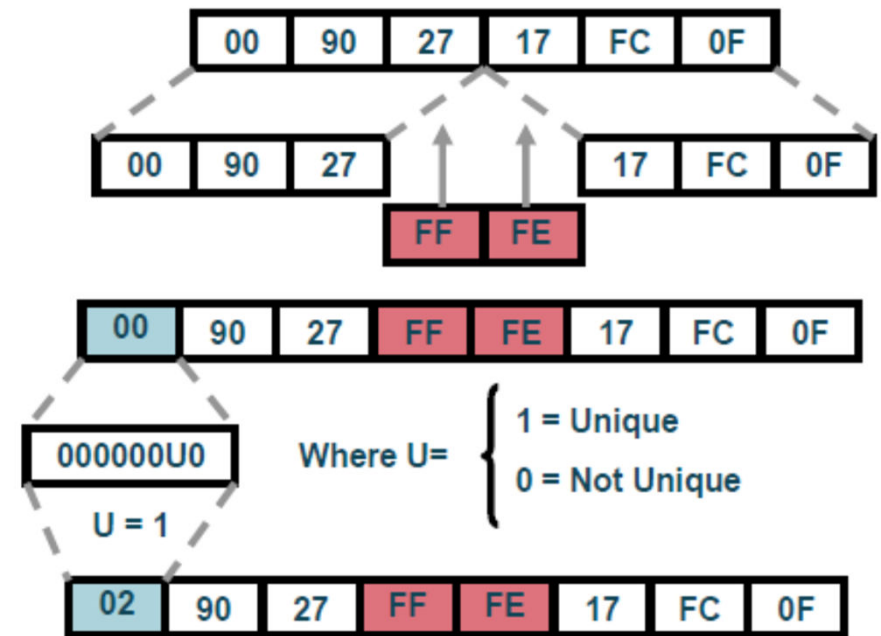
2001:0db8:0126:0000:0000:0000:0000:0000										Anzahl der IP-Adressen
										128 ----- 1
										124 ----- 16
										120 ----- 256
										116 ----- 4 096
										112 ----- 65 536
										108 ----- 1 048 576
										104 ----- 16 777 216
										100 ----- 268 435 456
										96 ----- 4 294 967 296
										92 ----- 68 719 476 736
										88 ----- 1 099 511 627 776
										84 ----- 17 592 186 044 416
										80 ----- 281 474 976 710 656
										76 ----- 4 503 599 627 370 500
										72 ----- 72 057 594 037 927 900
										68 ----- 1 152 921 504 606 850 000
										64 ----- 18 446 744 073 709 600 000
										60 ----- 295 147 905 179 353 000 000
										56 ----- 4 722 366 482 869 650 000 000
										52 ----- 75 557 863 725 914 300 000 000
										48 ----- 1 208 925 819 614 630 000 000 000
										44 ----- 19 342 813 113 834 100 000 000 000
										40 ----- 309 485 009 821 345 000 000 000 000
										36 ----- 4 951 760 157 141 520 000 000 000 000
										32 ----- 79 228 162 514 264 300 000 000 000 000
										28 ----- 1 267 650 600 228 230 000 000 000 000 000
										24 ----- 20 282 409 603 651 700 000 000 000 000 000
										20 ----- 324 518 553 658 427 000 000 000 000 000 000

- Spezielle Adressen:

- Loopback ::1 (0:0:0:0:0:0:0:1)
- Unspecified ::
verwendet vor Adresszuweisung
keine Zieladresse
- Default Route ::/0

- Interface Identifiers:

- Extended Universal ID 64 Bit (EUI-64)
- MAC-Adresse (48 Bit) wird in zwei 3 Byte Blöcke geteilt
- zwischen beiden Blöcken wird FFFE eingeschoben
- Universal/Local Bit (2. Bit)
- Privacy Extension



Global Aggregatable Unicast Adresen und Link-Local Unicast Adresen

- Zwei fundamentale Arten von IPv6-Adresen

Global Aggregatable Adresen

- für die Kommunikation im Internet
- Über verschiedene Netzwerke hinweg routbar

Link-Local Adresen

- für die Kommunikation innerhalb eines lokalen Netzwerks
- Nicht für das Routing über das Internet geeignet

- Global Aggregatable Unicast Adressen (2000::/3)

- Global Prefix (48 Bit)

- Subnet ID (16 Bit)

- Interface ID (64 Bit)



- Link-Local Unicast Adressen

- Prefix FE80::/64

- Interface ID



- werden nicht aus dem lokalen Netz weitergeleitet

- zur Autokonfiguration

Merkmal	Global Aggregatable Unicast	Link-Local Unicast
Präfix	2000::/3	fe80::/10
Verwendung	Kommunikation Internet	Kommunikation LAN
Routing	Ja, weltweit routbar	Nein, nicht routbar
Zuweisung	Von ISPs zugewiesen	Automatisch, lokal
Beispiel	2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7334	fe80::1a2b:3c4d:5e6f

IPv6-Adressen werden von der Internet Assigned Numbers Authority (IANA) oder regionalen Stellen zugewiesen.

- Anycast Adressen
 - Globale Unicast Adresse
 - mehrmals vergeben
 - Router leitet Verkehr zur nächstgelegenen Instanz

- Multicast Adressen

- Prefix FF00::/8 (8 Bit)
- Flags (4 Bit) z
- Scope (4 Bit) s
- Group ID (112 Bit)

FFzs : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx : xxx

Flags		Scope	
R = 0	No embedded RP	1	Node
R = 1	Embedded RP	2	Link
P = 0	Not based on unicast	3	Subnet
P = 1	Based on unicast	4	Admin
T = 0	Permanent address (IANA assigned)	5	Site
T = 1	Temporary address (local assigned)	8	Organization
		E	Global

- Nicht mehr gebräuchlich:

- IPv4 compatible IPv6 Adresse 0:::/96
- Site-local Adressen FC00::/7

FCgg : gggg : gggg : ssss : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx

FDgg : gggg : gggg : ssss : xxxx : xxxx : xxxx : xxxx

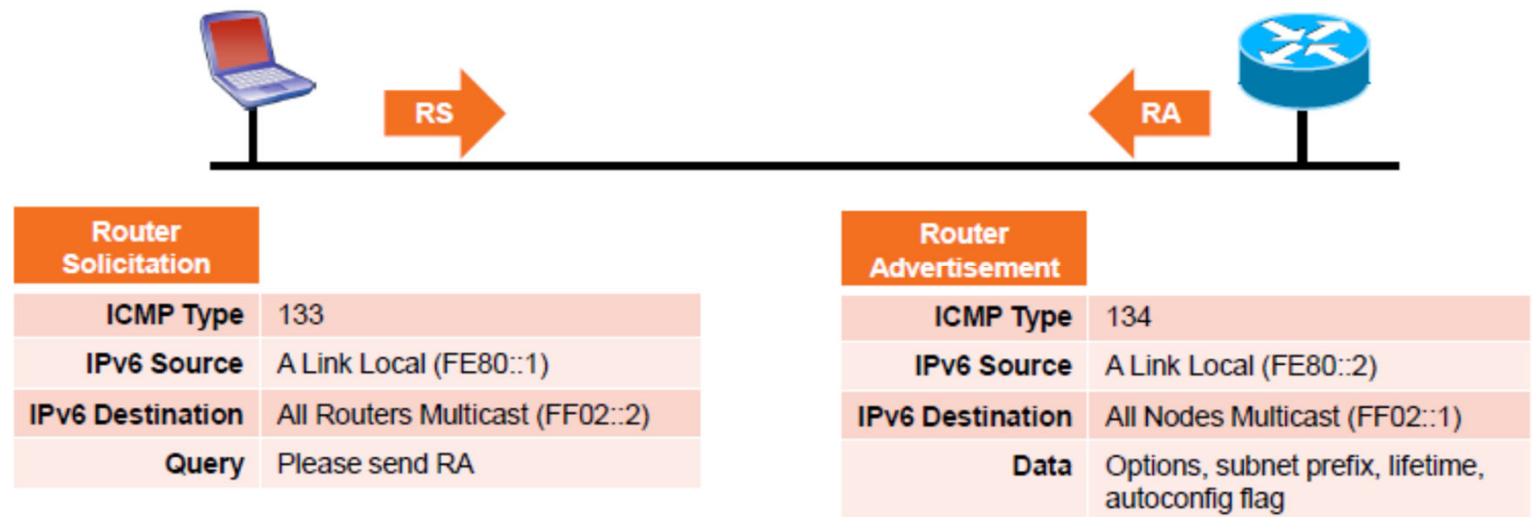
ICMPv4 (für IPv4) ist in RFC 792 spezifiziert

ICMPv6 (für IPv6) in RFC 4443

ICMP Message Type	ICMPv4	ICMPv6
Connectivity Checks	X	X
Informational/Error Messaging	X	X
Fragmentation Needed Notification	X	X
Address Assignment		X
Address Resolution		X
Router Discovery		X
Multicast Group Management		X
Mobile IPv6 Support		X

Message	Purpose	ICMP Code	Sender	Target
Router Solicitation (RS)	Prompt routers to send RA	133	Nodes	All routers
Router Advertisement (RA)	Advertise default router, prefixes Operational parameters	134	Routers	Sender of RS All routers
Neighbor Solicitation (NS)	Request link-layer of target	135	Node	Solicited Node Target Node
Neighbor Advertisement (NA)	Response to NS (solicited) Advertise link-layer address change (Unsolicited)	136	Nodes	
Redirect	Inform hosts of a better first hop	137	Routers	

Router Discovery Prozess



- Router Solicitation (RS): Hosts senden Router Solicitation-Nachrichten, um Router im Netzwerk zu erkennen und Informationen über die Netzwerkkonfiguration zu erhalten
- Nachrichten Multicast-Adresse ff02::2 (alle Router)
- Router Advertisement (RA): Router mit Router Advertisement-Nachrichten
- Nachrichten enthalten wichtige Informationen wie das Netzwerkpräfix, die Lebensdauer des Präfixes, Flags für die Verwendung von DHCPv6 und andere Konfigurationsparameter

IPv6-Host (z. B. ein PC oder ein Smartphone) wird in ein Netzwerk eingefügt und benötigt Informationen zur Konfiguration seiner IPv6-Adresse

Host sendet eine Router Solicitation-Nachricht an die Multicast-Adresse ff02::2

- Typ: 133 (Router Solicitation)
- Zieladresse: ff02::2 (alle Router)

Router empfangen die RS-Nachricht, antworten mit RA-Nachricht

- Mit Netzwerkpräfix, welcher vom Router bereitgestellt wird
- Die Lebensdauer des Präfixes.
- Informationen über die Unterstützung von DHCPv6.
- Flags, die angeben, ob der Router als DHCP-Server fungiert oder ob die Hosts SLAAC verwenden können.

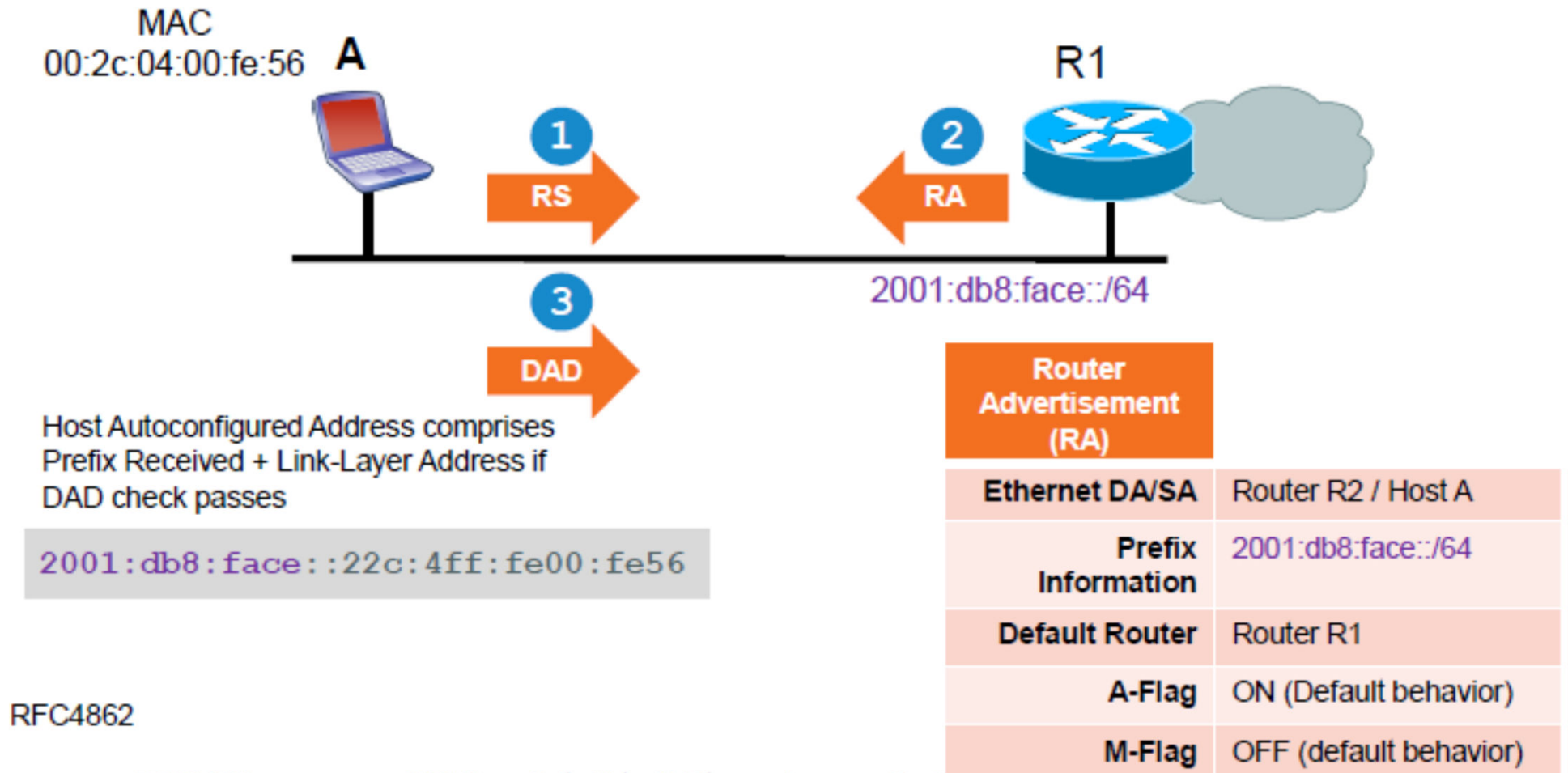
Nachricht:

- Typ: 134 (Router Advertisement)
- Zieladresse: ff02::1 (alle Hosts)
- Netzwerkpräfix: 2001:0db8:abcd::/64
- Präfix-Lebensdauer: 3600 Sekunden

Konfiguration des Hosts

- Host Empfängt Router-Advertisement-Nachricht
- Erhält Informationen, um seine IPv6-Adresse zu konfigurieren
- Bei Verwendung von SLAAC wird die IPv6-Adresse des Hosts aus dem Netzwerkpräfix und einer eindeutigen Interface-ID generiert
- Router senden regelmäßig Router-Advertisement-Nachrichten
- Hosts können auch Router-Solicitation-Nachrichten senden, um aktuelle Routerinformationen bei Bedarf abzufragen

Duplicated Address Detection





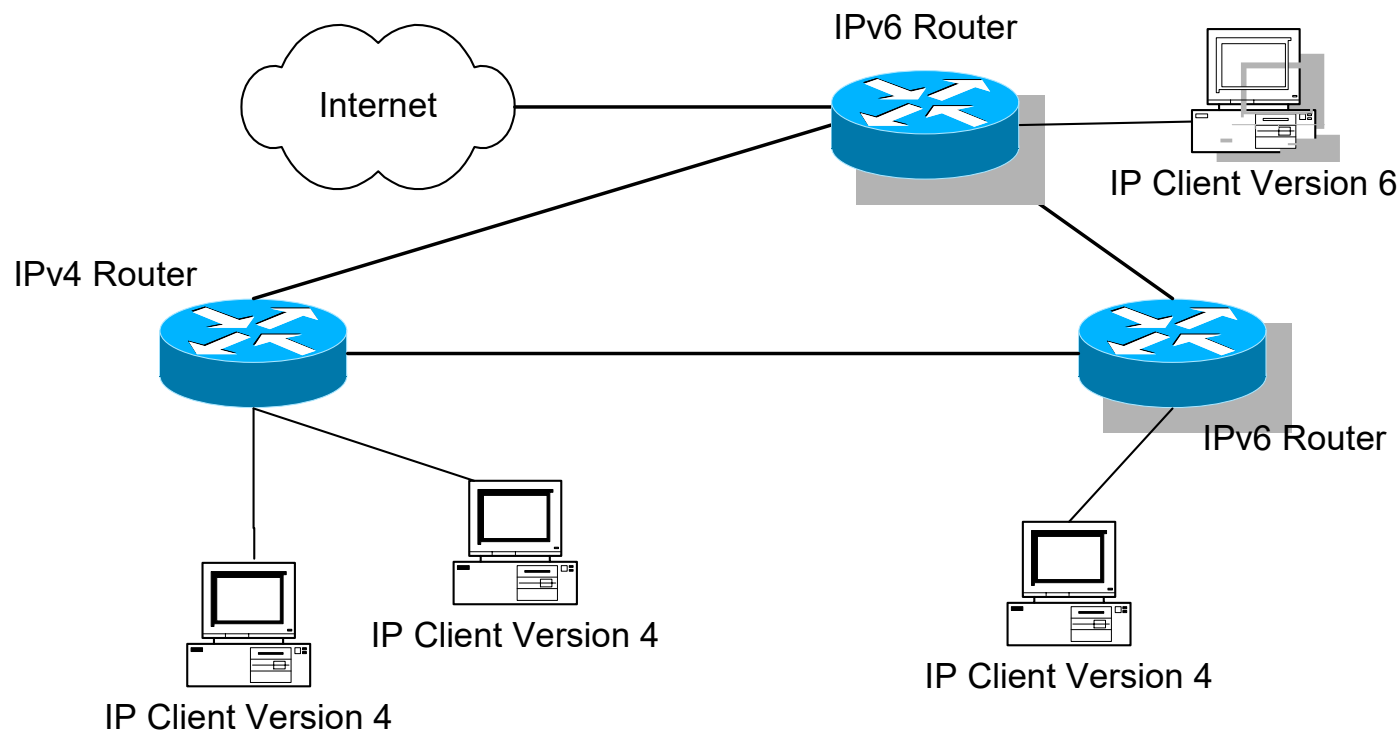
Neighbour Solicitation	
ICMP Type	135
IPv6 Source	A Unicast
IPv6 Destination	B Solicited Node Multicast
Data	FE80:: address of A
Query	What is B link layer address?



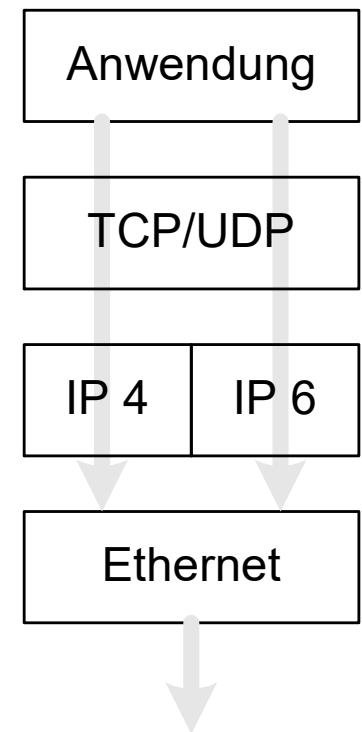
Neighbour Advertisement	
ICMP Type	136
IPv6 Source	B Unicast
IPv6 Destination	A Unicast
Data	FE80:: address of B, MAC Address



- Parallelbetrieb beider Protokolle
- Netzkomponenten können nach und nach auf IPv6 umgestellt werden

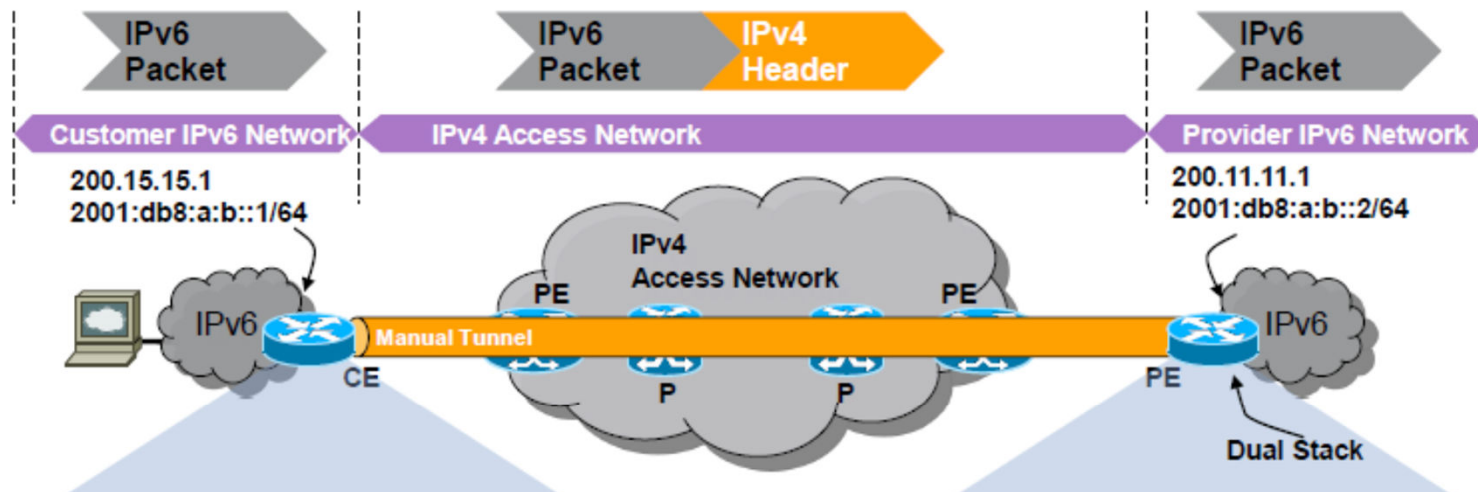


- Dual Stack
 - Server, Router und Hosts betreiben unabhängige Stacks für IPv4 und IPv6
 - falls IPv6 unterstützt erfolgt Kommunikation über IPv6
 - Anwendungen müssen IPv6 unterstützen
- Tunnel
 - Verbindung von zwei IPv6 Inseln
 - Transportnetz unterstützt nur IPv4
 - verschiedene Implementierungen



- Tunnel
 - Manuell
 - 6-to-4: IPv6-Prefix: 2002::/16 plus IPv4-Adresse des Edge-Routers (Übergangslösung)
 - 6rd: Weiterentwicklung von 6-to-4, kontrolliert von ISP
 - Teile der Kunden-IPv4-Adresse werden in den IPv6-Präfix eingebaut
 - Übergangslösung, Ziel Bereitstellung von IPv6
 - Teredo: IPv6 Pakete werden in IPv4-UDP-Pakete verpackt (Übergangstechnik, wird abgelöst)
 - Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol (ISATAP) (ebenfalls veraltet)

- Besser natives IPv6 (dual Stack)
- Wenn Tunnel nötig, dann manuell mit 6in4, oder 6rd



Application Layer - Anwendungsschicht

LAYER 7

IPv4

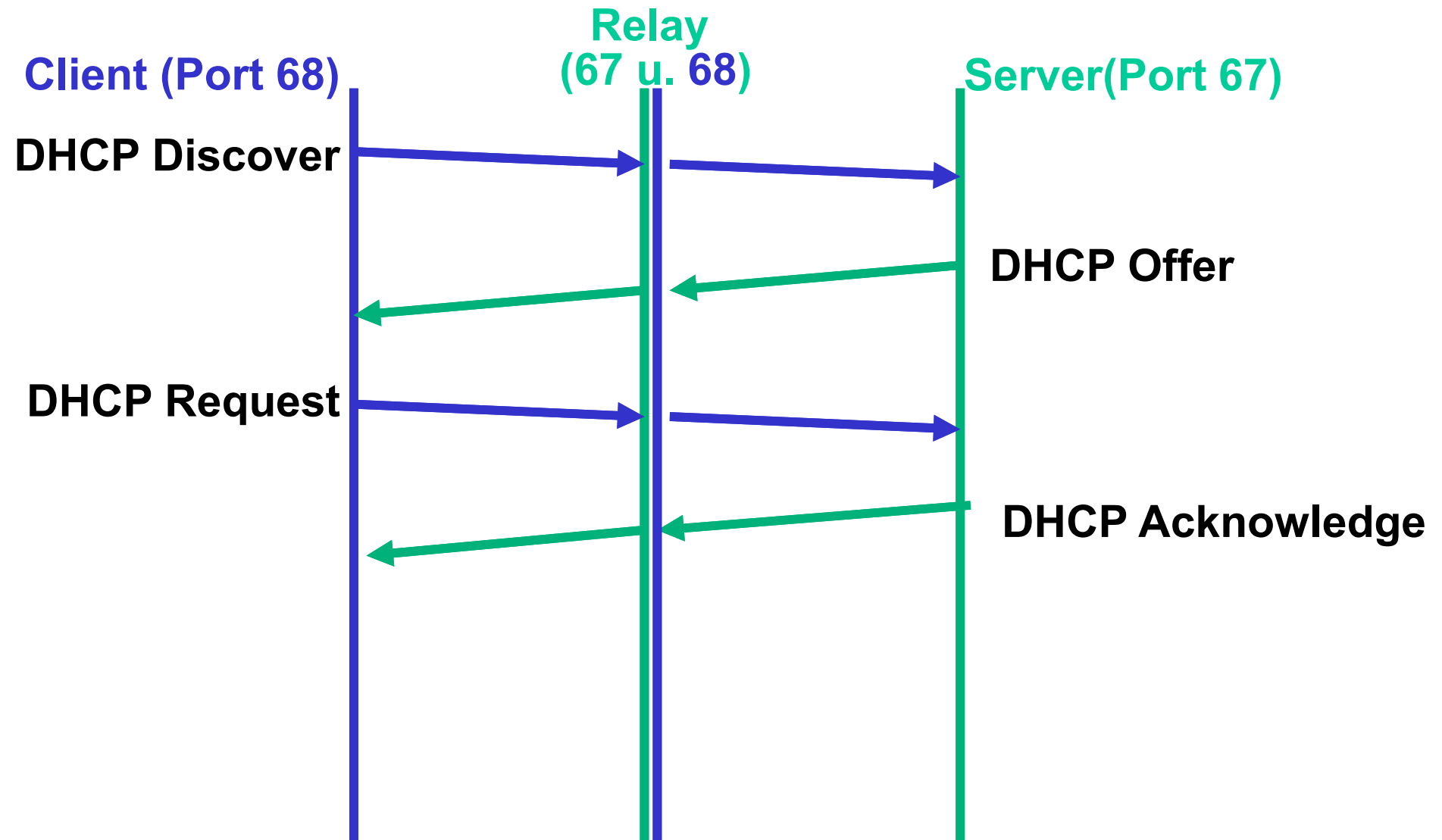
- DHCP Discover
 - Broadcast von 0.0.0.0 an 255.255.255.255
 - MAC-Adresse des Client-Rechners
- DHCP Offer
 - Broadcast von Server an 255.255.255.255
 - enthält Angebot einer IP-Adresse
- DHCP Request
 - Broadcast von 0.0.0.0 an 255.255.255.255
 - Server Identifier in den DHCP-Optionen
- DHCP ACK
 - Unicast
 - Server akzeptiert ausgewählte IP-Adresse

- DHCP-Dcline
 - Client macht ARP-Request für angebotene Adresse
 - ARP-Request wird beantwortet
- DHCP-NACK
 - Sever hat angefragte IP bereits vergeben
 - angefragte Optionen nicht verfügbar
 - Server nicht für angefragte Adresse zuständig
- DHCP-Release
 - Client benötigt IP-Adresse nicht mehr
 - unter Windows: ipconfig /release
- DHCP-Inform
 - Abfrage zusätzlicher Parameter

- Nach 50% Leasezeit
 - Client sendet DHCP Request für Adresse an bekannten Server
 - Unicast
 - Server antwortet mit DHCP ACK: neue Lease
 - Server antwortet nicht: Lease kann bis zum Ende genutzt werden
- Nach 7/8 Leasezeit
 - DHCP Request an alle
 - Broadcast
 - Verhalten wie nach 50% Leasezeit
- Nach Ende der Leasezeit
 - IP-Adresse wird freigegeben
 - senden von DHCP Discover

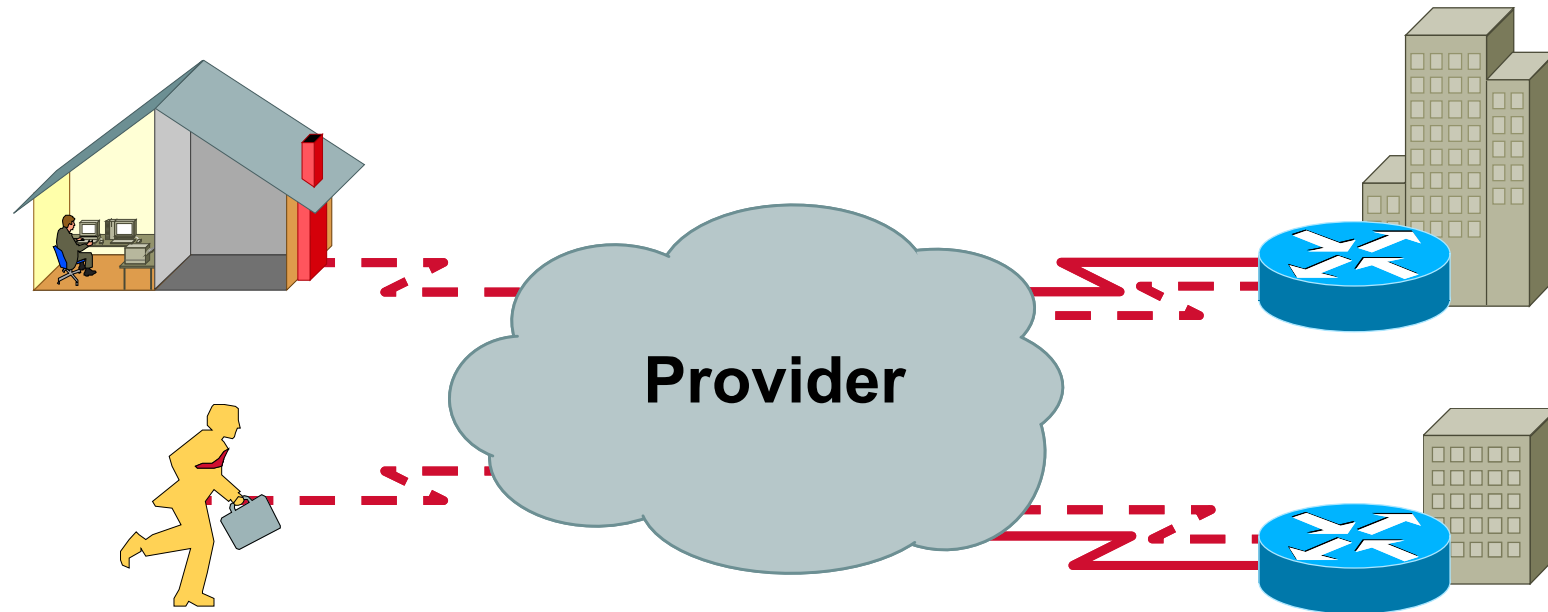
- Mögliche Parameter
 - IP-Adresse
 - Netzmakse
 - Default-Gateway
 - Name-Server
 - Time-Server
 - WINS
 - Proxy-Server
 - Bootimages
 - Bootserver
 - etc.

- DHCP arbeitet über Broadcast
- pro Subnetz ein DHCP-Server
- Router kann DHCP-Pakete weiterleiten, wenn nicht im gleichen Subnetz
- DHCP-Pakete benötigen zusätzliche Optionen
 - DHCP Relay-Agent
 - Option 82 (Switchport)

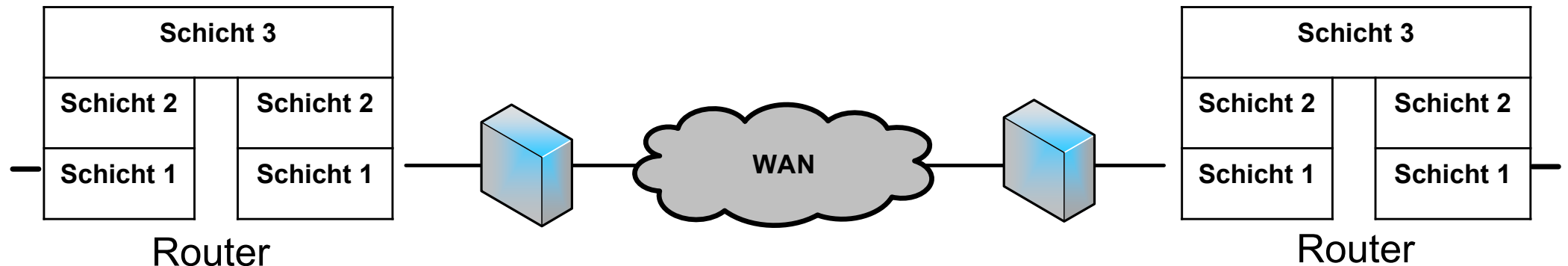


Network Layer - Vermittlungsschicht

LAYER 3

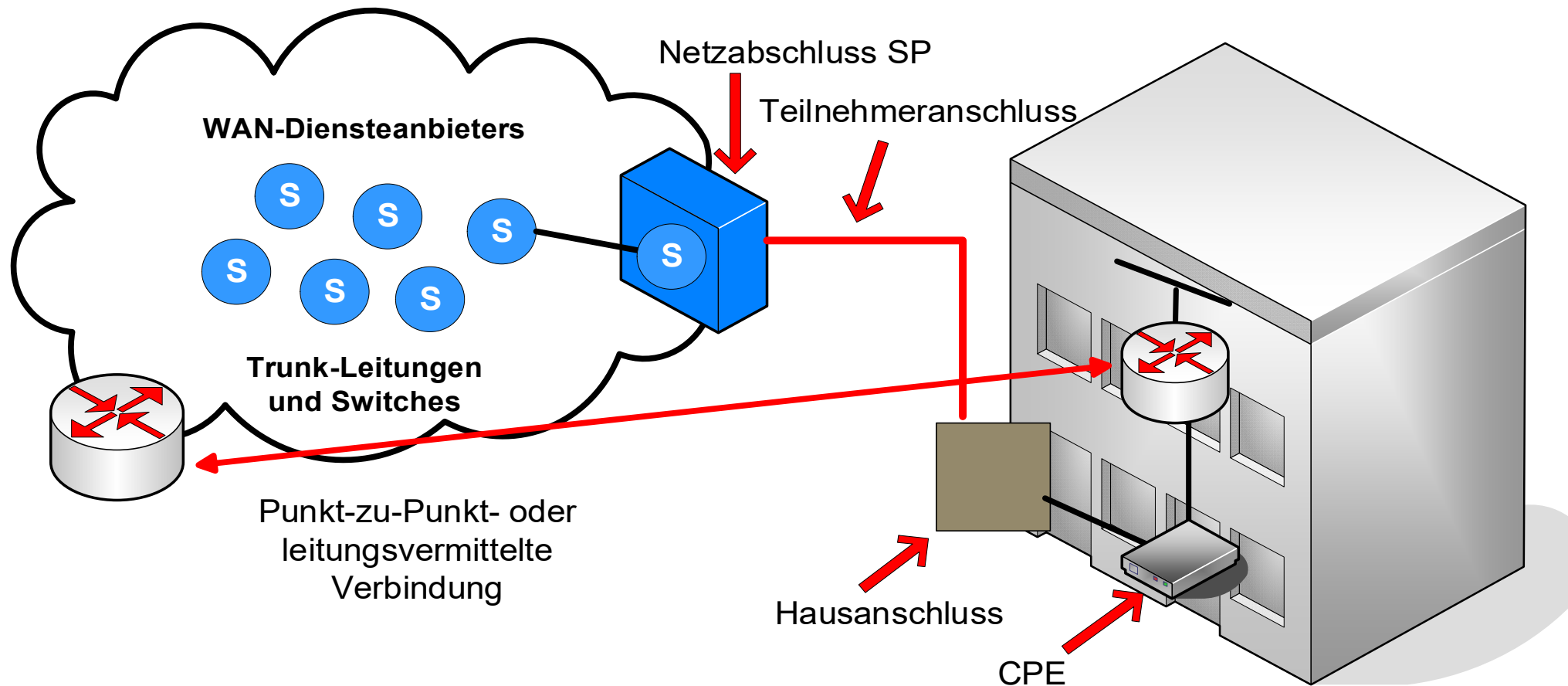


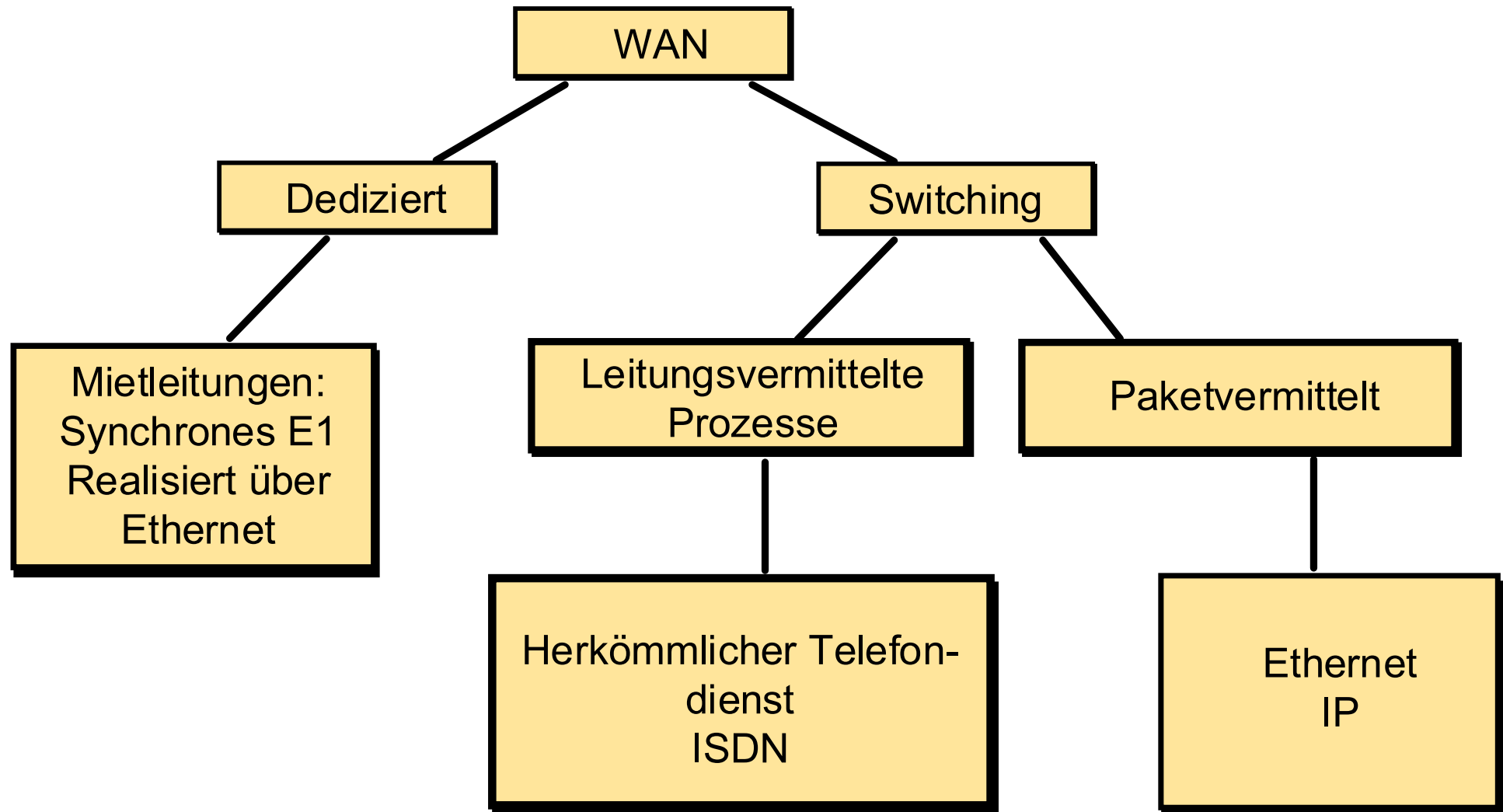
- WANs verbinden LANs
- Bereitstellung hängt von den Benutzeranforderungen



- WANs werden auf den drei unteren Schichten ausgeführt
- Die am häufigsten verwendeten WAN-Dienste sind Ethernet (Daten, Sprache, Video)

- Verantwortlichkeiten





Standleitung

Synchrone Dienste, z.B. E1

Realisiert über Ethernet



~~Leitungsvermittelt~~

Früher mit ISDN realisiert

Heute genutzt für DSL



Paketvermittelt

Layer 3 oder Layer 2, Glasfaseranschlüsse



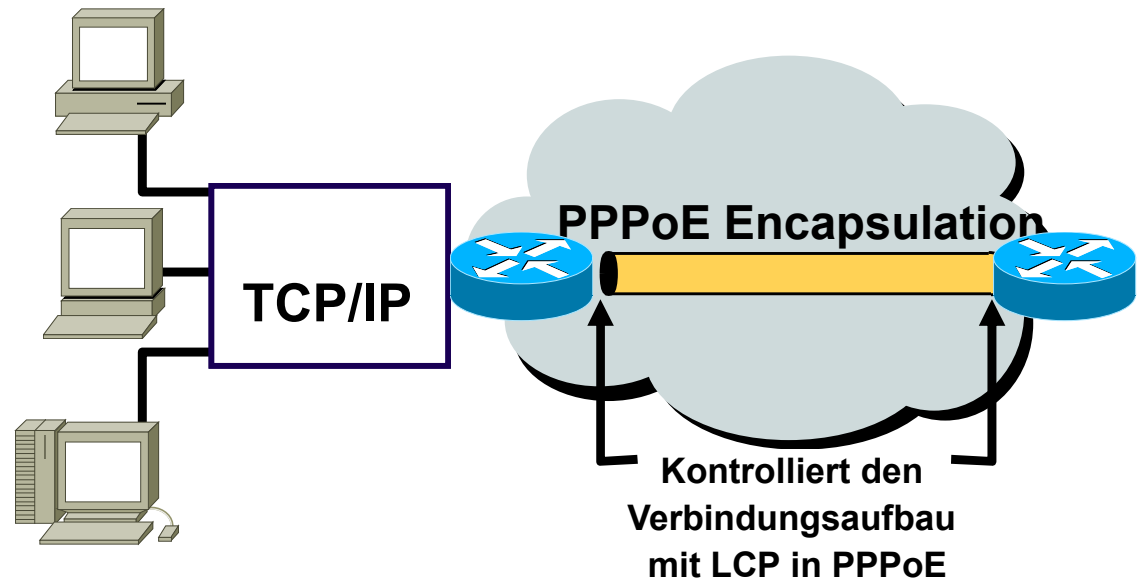
- Heutige paketvermittelte Dienste, in der Regel IP basiert
 - Glasfaseranschlüsse
 - Kupferkabel (frühere Telefonnetz, aktuell DSL)
 - Kabel-Internet über DOCSIS - Coaxialkabel genutzt für TV
 - (Data Over Cable Service Interface Specification)
 - Satelliten
 - LTE/5G Mobilfunk
- Frühere Technologien
 - Plesiochrone Digitale Hierarchie (PDH)
 - Synchrone Digitale Hierarchie (SDH)
 - Frame Relay
 - Asynchronous Transfer Mode (ATM)

- Paketvermittelte Dienste
 - Multiprotocol Label Switching (MPLS)
 - Technologien für Unternehmensnetzwerke und Service Provider
 - Ermöglicht die effiziente Datenübertragung und QoS (Quality of Service)
 - Segment Routing (SR-MPLS und SRv6)
 - Vereinfachte Netzwerkverwaltung, da intermediate Router keine Pfadinformationen benötigen
 - Bietet Traffic Engineering, ist eine Form von Source Routing
 - Ingress Router legt den Weg fest als Liste von Segmenten (im IPv6 Header als Routing Extension Header, im MPLS als Label Stack)
 - Ethernet (Carrier Ethernet)
 - Netzwerkarchitektur, die Ethernet-Protokolle verwendet
 - Hochgeschwindigkeitsdatenverbindungen zwischen verschiedenen Standorten
 - Von Carriern (SPs) bereitgestellt
 - SD-WAN
 - Ermöglicht eine dynamische Verwaltung von Netzwerkverbindungen über verschiedene Transportmittel wie MPLS, LTE und dem Internet
 - PPPoE – Point-to-Point Protocol over Ethernet
 - Nutzt DSL als Zugangstechnologie zum WAN des SPs

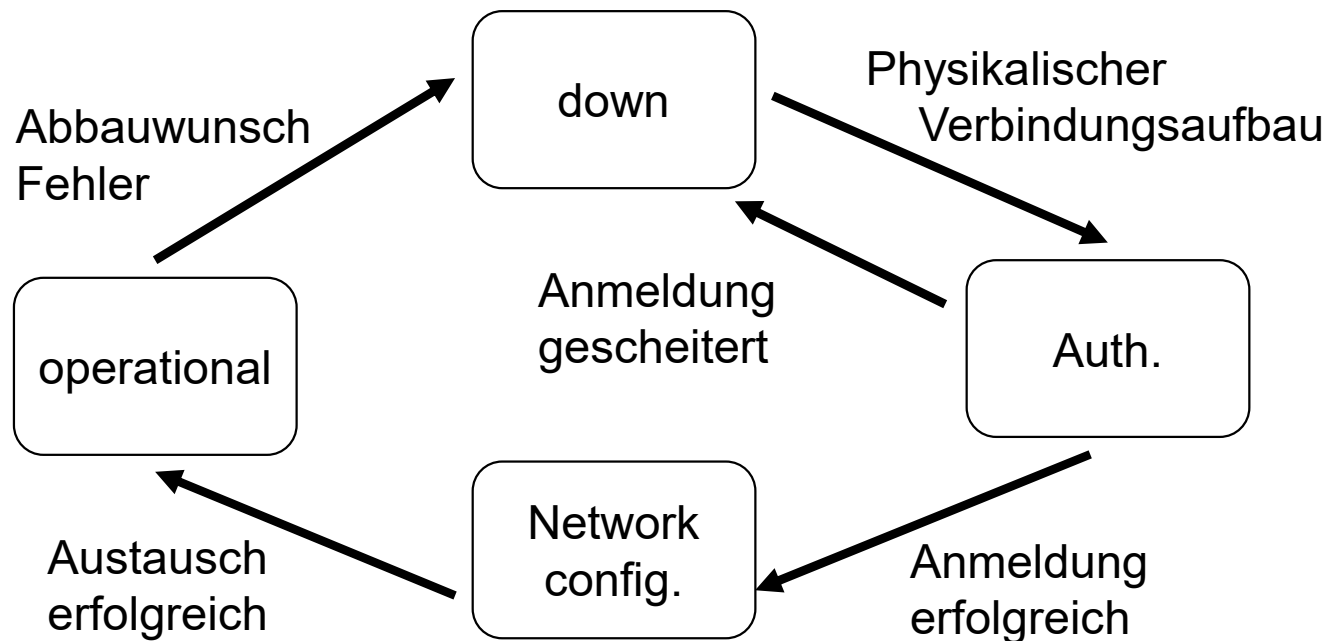
Data Link Layer - Sicherungsschicht

LAYER 2

- PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet)
- Übertragen unterschiedlicher Protokolle über eine Leitung
 - z.B. IP über Modem / (ISDN) / xDSL
 - Kontrolliert den Verbindungsaufbau LCP (Link Control Protocol)
- Zusatzfunktionalität
 - Authentifizierung (Abrechnung)
 - Autokonfiguration
- Standardisiert
 - Von der IETF in RFC 2516

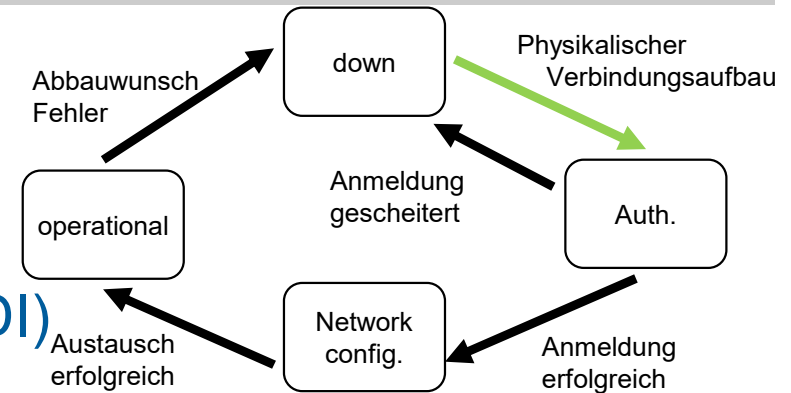


- Nach Aufbau des physikalischen Links
 1. Verbindungsaufbauphase
 2. Authentifizierungsphase
 3. Netzwerk-Layer Protokollphase



- Discovery Phase

- PPPoE-Client, Router oder Computer sendet Discovery-Paket (PPPoE Active Discovery Initiation - PADI)
- sucht nach PPPoE-Servern
- PPPoE-Server antworten mit einem Angebot (PPPoE Active Discovery Offer - PADO) mit Informationen über den Server



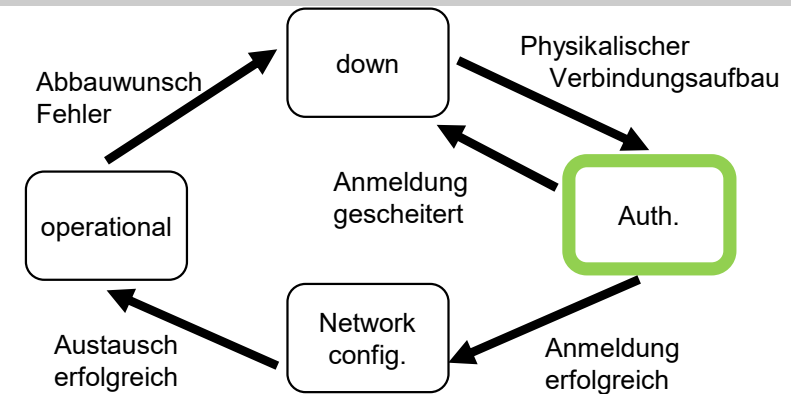
- Verbindungsanfrage

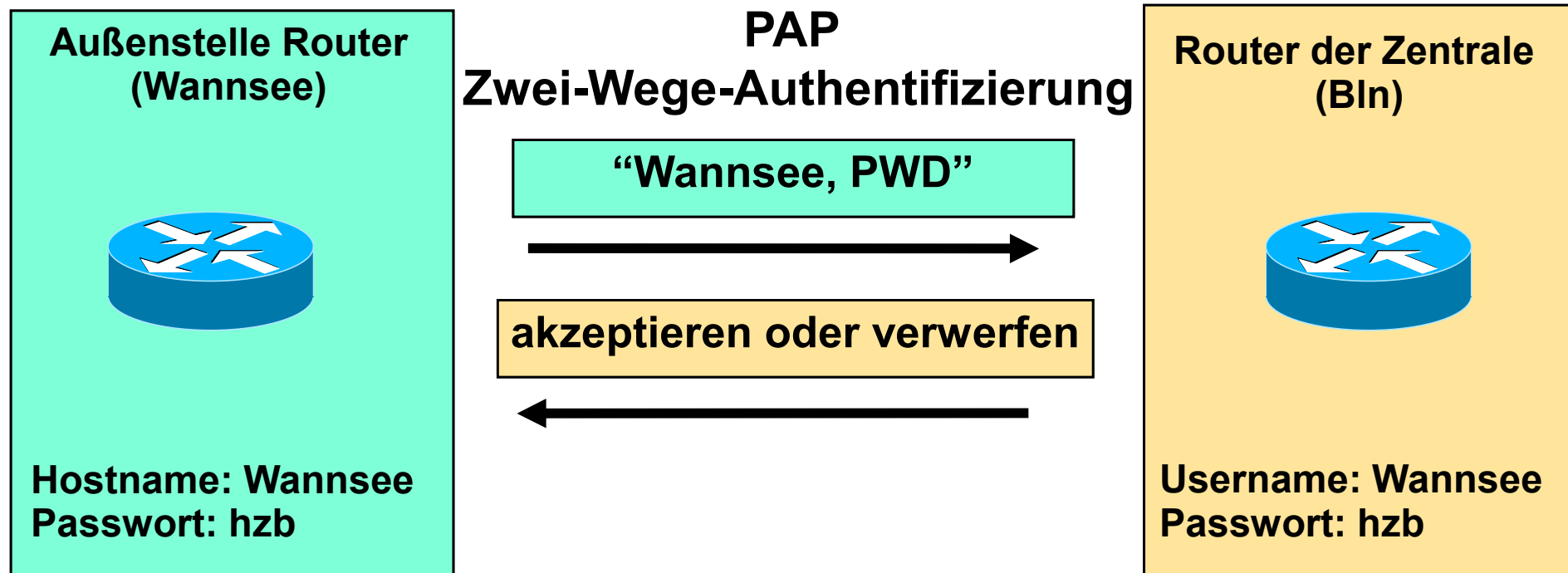
- Client wählt einen Server, sendet eine Anfrage (PPPoE Active Discovery Request - PADR)

- Bestätigung

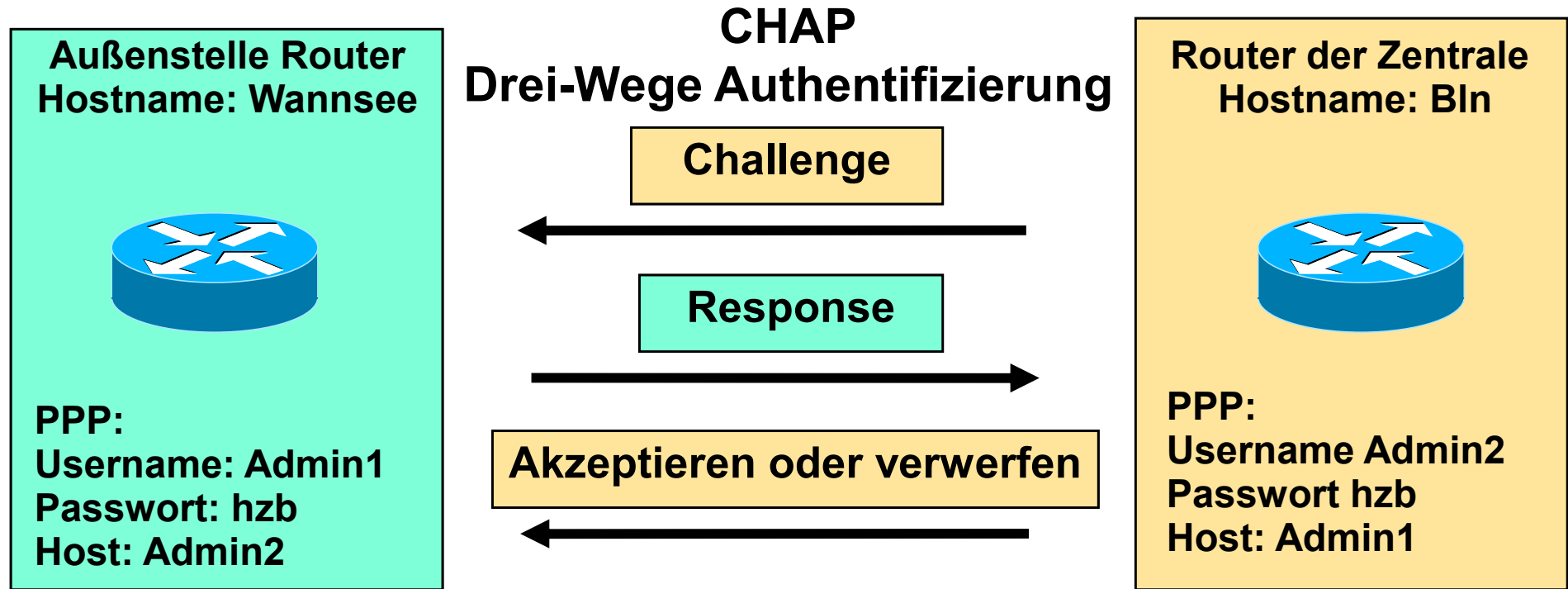
- Server bestätigt die Verbindung mit einer Bestätigung (PPPoE Active Discovery Session Confirm - PADS)
- Weist dem Client eine Session-ID zu

- Verbindungsaufbau erfolgreich
 - PPPoE-Sitzungstunnel zwischen Client und Server
 - Alle Daten in PPP-Pakete eingekapselt
- Client sendet und empfängt Daten über Tunnel
 - Session-ID wird verwendet zur korrekten Zuordnung der Daten
- Authentifizierung
 - Client startet mit Authentifizierungsprotokoll PAP (Password Authentication Protocol)
 - Einfaches, unverschlüsseltes = unsicher Verfahren
 - Übertragen von LoginID und Passwort (2-way Handshake)
 - Oder CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol)
 - Verschlüsseltes = sichereres Protokoll (MD5)
 - Berechnung eines Schlüssels auf der Gegenseite



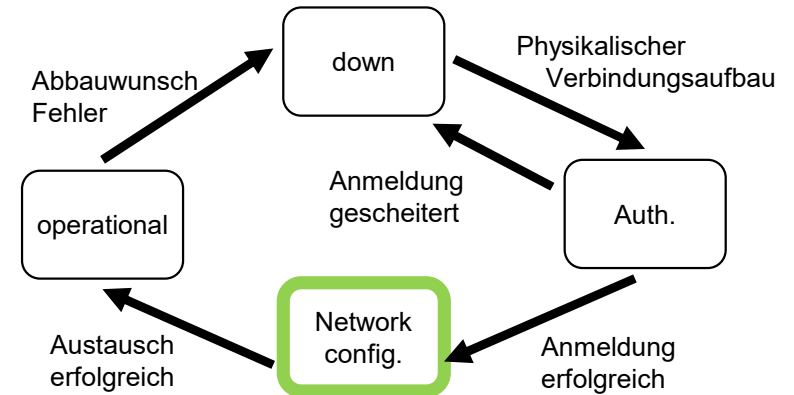


- Passwort wird im Klartext übertragen
- Gegenstelle kontrolliert die Verbindungsversuche
- Nicht mehr verwendet für Anschlüsse zum SP



- Router „Wannsee“ authentifiziert sich bei Router „Bln“ mit Hash-Wert
 - Verwendet eine Challenge-Response-Methode zur Authentifizierung
 - Server sendet eine zufällige Herausforderung (Challenge) an den Client
 - Client kombiniert die Herausforderung mit seinem Passwort und sendet einen Hashwert (z.B. mit SHA-1 oder SHA-256, ggf. SHA-384) zurück
 - Server führt die gleiche Berechnung durch, vergleicht die Ergebnisse
 - Keine Übertragung von Passwörtern
 - Lokale Router oder ein externer Authentifizierungsserver authentifiziert

- Authentifizierung erfolgreich
 - Austausch Netzwerkparameter zwischen PPPoE-Client und PPPoE-Server
- Parameter
 - IP-Adresse
 - Subnetzmaske
 - Standard-Gateway
 - DNS-Server-Adressen
 - MTU (Maximum Transmission Unit für Ethernet)
 - Session-ID
 - QoS Parameter (Quality of Service)

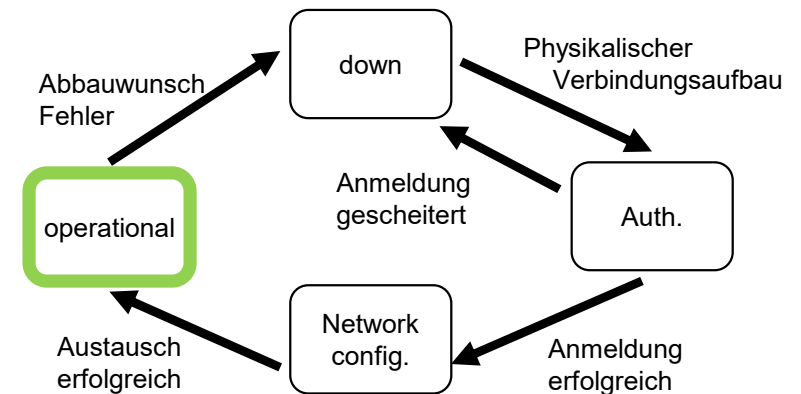


- Verschiedene Timer, um die Session zu verwalten

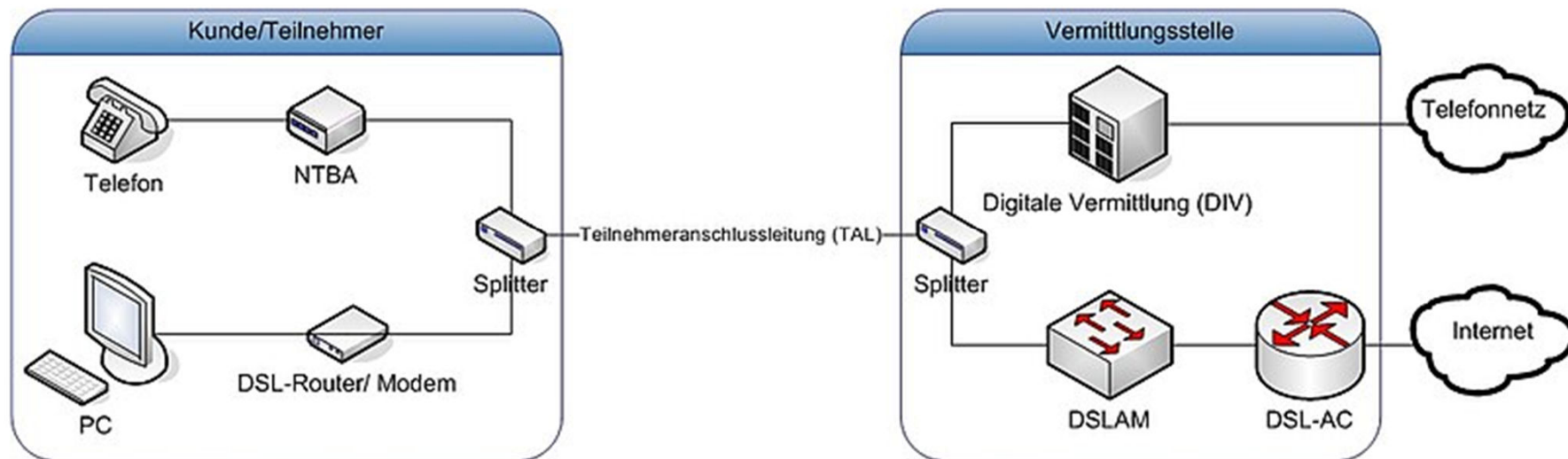
- Session Timer
- Idle Timer

- Session ID Überprüfung

- Keepalive Nachrichten
 - Beim Ausbleiben Session ungültig markieren
- Timeouts
 - Session ID für ungültig erklären nach Timer Ablauf
 - Ziel: Ressourcen freigeben
- Fehlerüberprüfung
 - Server fragt ggf. erneute Authentifizierung ab
 - Überprüft damit, dass die Session ID gültig ist

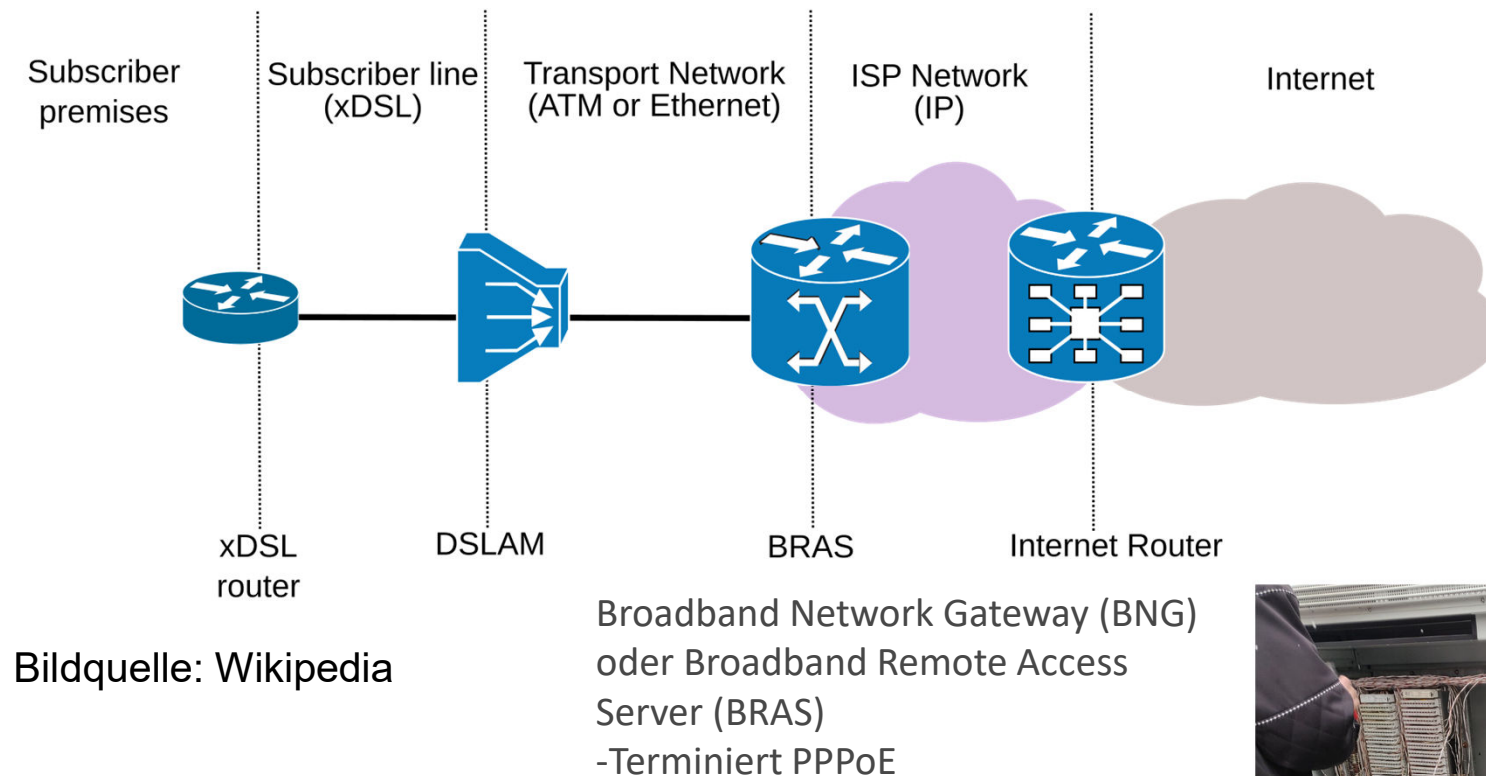


- Bereitstellung von Internet über herkömmliche Telefonleitungen



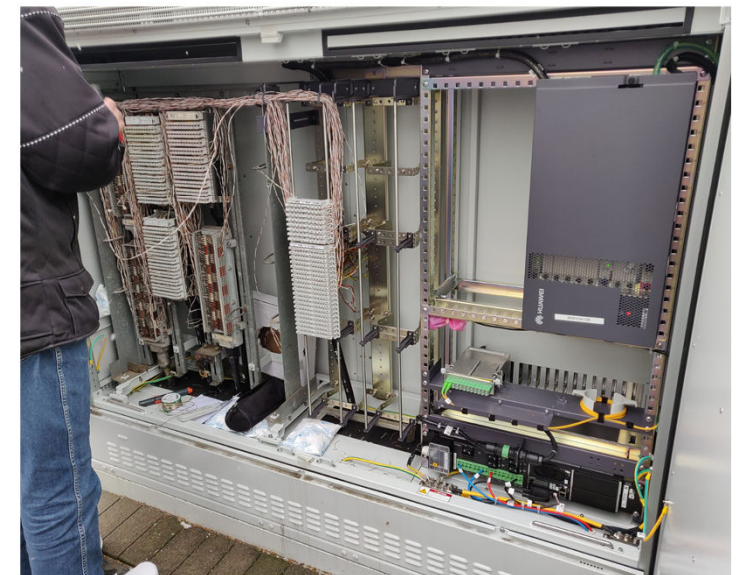
Quelle: Wikipedia

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)
 - Asymmetrisch, Download-Geschwindigkeit höher als Upload
 - ADSL2+: Erweitert um zusätzliche Frequenzbänder (24 Mbit/s)
- SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line)
 - Upload- und Download-Geschwindigkeiten gleich (2,36 Mbit/s)
- VDSL (Very High Bitrate Digital Subscriber Line)
 - Hohe Datenübertragungsraten (bis zu 100 Mbit/s)
 - Optimiert für kurze Entfernungen
- VDSL2-Vectoring
 - Hybrid (Kupfer letzter Meter, Glasfaser zum ISP)
 - Datenrate bis zu 250 Mbit/s
 - Höhere Raten nur über FTTH oder Kabelinternet möglich



Bildquelle: Wikipedia

- **DSLAM**
(Digital Subscriber Line Access Multiplexer)
 - **Sammelt Daten der Teilnehmer**
 - **Leitet Daten aggregiert weiter in der Regel über einen Gigabit-Uplink**



Bildquelle: Wikipedia

- Ausbau Glasfaser komplett bis 2030 in Deutschland
- DSL-Abschaltung bei einzelnen SPs kann ab 2026 beginnen
- Bundesnetzagentur
 - Bundesoberbehörde, zuständig für die Regulierung der Märkte für Energie, Telekommunikation, Post und Eisenbahn
- Glasfaseranschlüsse (www.bundesnetzagentur.de/breitbandatlas)
 - Nach den Zahlen des Breitbandatlas Stand Juni 2025 verfügten bereits 42,9 Prozent aller Haushalte über einen Glasfaseranschluss bis ins Gebäude (FTTB) beziehungsweise bis in die Wohnung (FTTH) oder können diesen kurzfristig einrichten lassen.
Die Versorgung mit Datenübertragungsraten von **1000 Mbit/s** (Gigabitversorgung) stieg **über alle Technologien hinweg auf knapp 79 Prozent.**