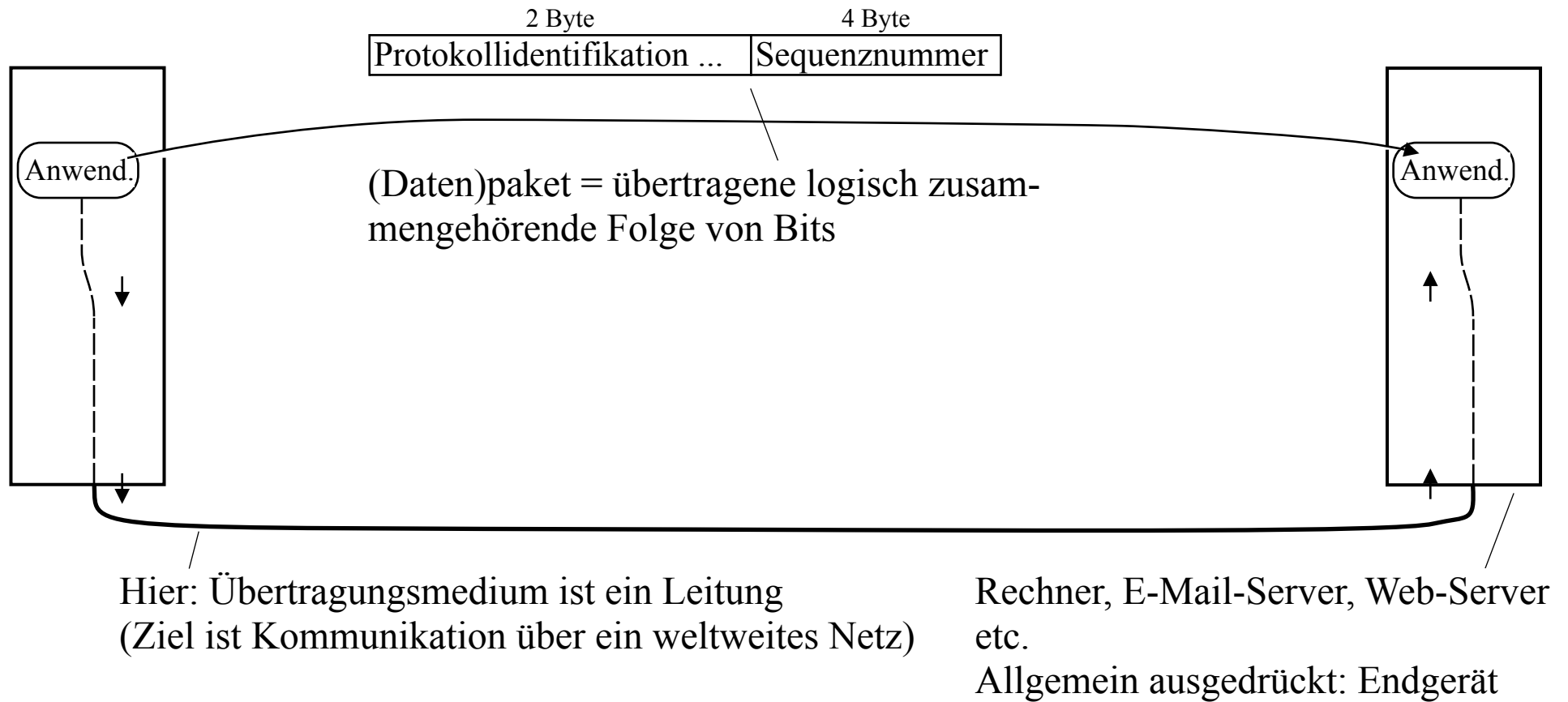

Vom Bit zum Router - Wirkungsweise von Paketvermittlungsnetzen

Themen

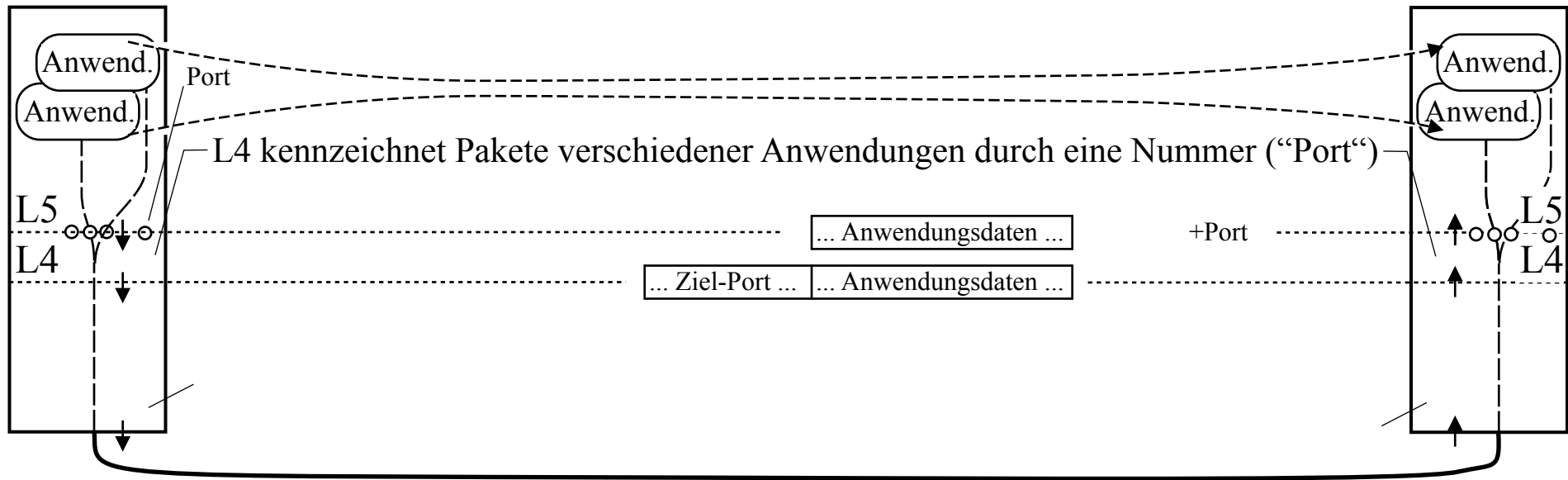
1. Kommunikation zwischen Anwendungen
2. Signale
3. Übertragungsnetz
4. Rahmenübertragung
5. Vermittlungsnetz / Paketvermittlung
6. Netzstruktur / Netztopologie
7. Adressierung
8. Verkehrslenkung / Routing

1. Kommunikation zwischen Anwendungen

Kommunikation zwischen zwei Anwendungen



Kommunikation zwischen mehreren Anwendungen zweier oder mehrerer Rechner



Hier: Übertragungsmedium ist eine Leitung
(Ziel ist Kommunikation über ein weltweites Netz)

Funktionen, die bestimmte, immer wieder vorkommene Kommunikationsfunktionen unterstützen, heißen Protokollschicht oder einfach Schicht (layer); Schichten werden zur einfachen Bezeichnung numeriert. In der Abbildung bildet Schicht 5 (L5) die Pakete mit den Anwendungsdaten, und Schicht 4 (L4) kennzeichnet (bei Internet-Protokollen) unter anderem Pakete, die zur selben Kommunikation gehören (durch eine Portnummer).

2. Signale

- Signale, digitale Signale
- Leitungscode
- Synchronisation, Signalabtastung, Signalinterpretation

Signal:

Physikalische Erscheinung, die man zur Kommunikation verwenden kann.

z. B. Licht: Taschenlampe? Blitz? Verkehrsampel? Sternefunkeln?

z. B. früher: Rauchzeichen

Analoges Signal:

Ein (in Grenzen) beliebiger Wert soll übertragen werden.

z. B. Windstärke, Wassertemperatur, Schalldruck, z. B. übertragen durch Lichtstärke, modulierte Amplitude oder Frequenz

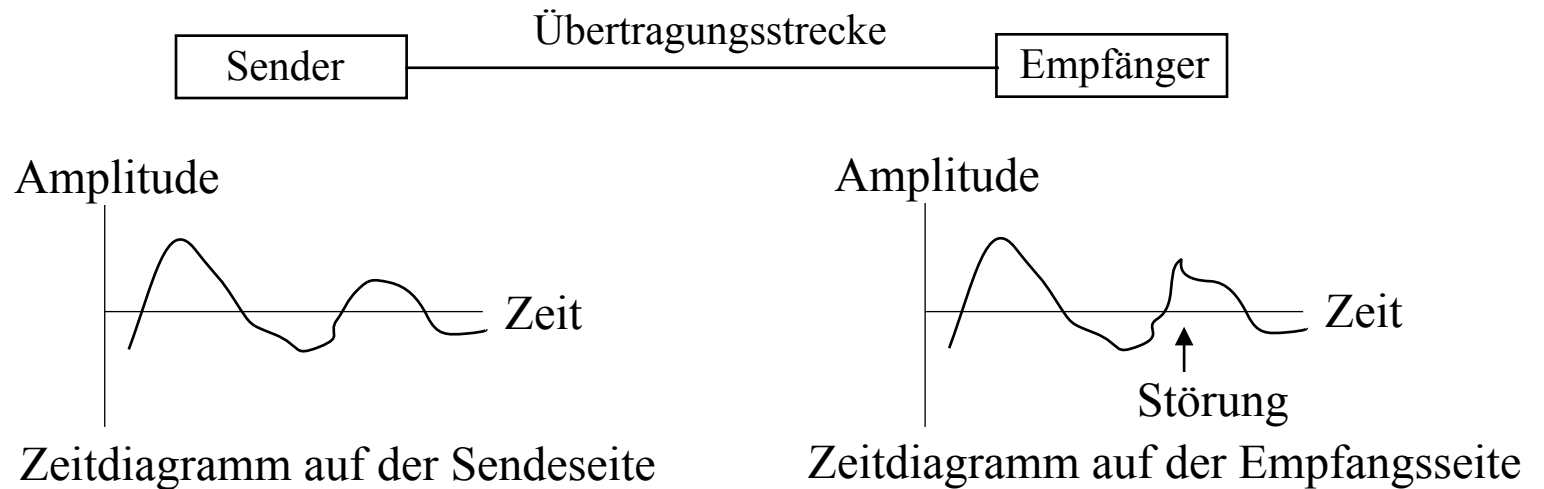
Digitales Signal:

Eine begrenzte Anzahl Bedeutungen sollen übertragen werden,

z. B. Wochentag, Phase einer Verkehrsampel

z. B. Bitwerte null/eins, Zeichen des Alphabets

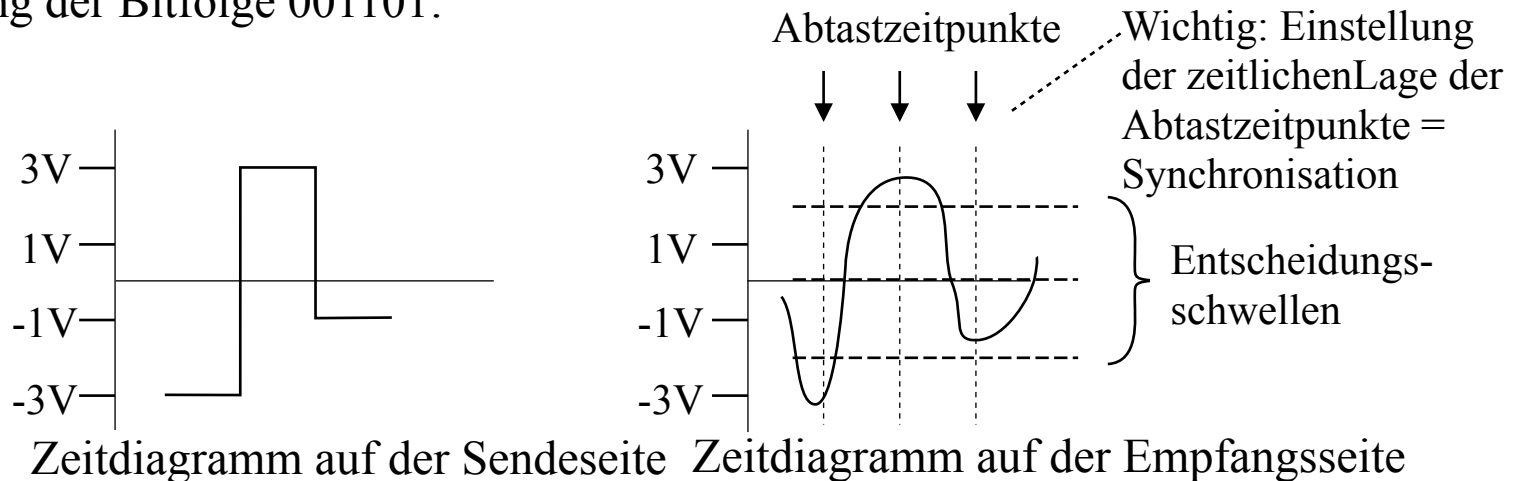
Nachteil analoger Signale: Signalstörungen verfälschen die übertragenen Werte:



Vorteil digitaler Signale: kleinere Signalstörungen verfälschen die übertragenen Werte nicht:

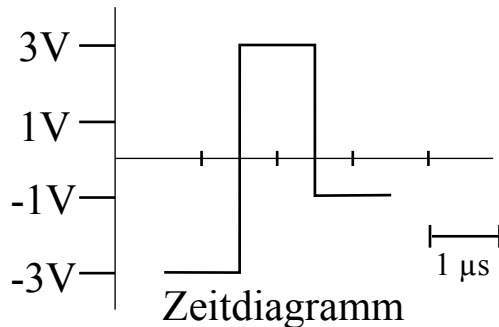
Beispiel: Übertragung der Bitfolge 001101:

Leitungscode	
Bitwerte	Amplitude
00	-3 Volt
01	-1 Volt
10	+1 Volt
11	+3 Volt



Bitrate <-> Durchsatz (beide gemessen in bit/s, kbit/s, Mbit/s, Gbit/s)

zur Bitrate



- Bitrate: Anzahl der mit einem gegebenen Signal übertragbaren bit/s
- hängt vom Signal ab; ist auf derselben Leitung immer gleich
 - im Beispiel: Bitfolge 001101, d.h. 6 bit in 3 μ s -> Bitrate = 2 Mbit/s

zum Durchsatz (throughput)

Durchsatz: Anzahl der in einer gewissen Zeit übertragenen interessierenden Bit; hängt auch von der Bitrate ab, aber z. B. auch von:

- Stockungen der Übertragung (z. B. wegen starker Belastung des Netzes)
- Leistung des Protokolls (z. B. Warten auf Bestätigungen?)
- Störungen (Wiederholung zur Korrektur von Fehlern?)
- Leistungsfähigkeit der beteiligten Rechner
- Welche Bit sind die „interessierenden“? Z. B. nur die zu einer übertragenen Datei gehörenden? Ohne oder mit Wiederholungen? Oder auch die zum Protokoll gehörenden Bit?

-> ist ein Mittelwert; kann von Messung zu Messung schwanken; Beispiel: die Dauer der Übertragung einer Datei zwischen zwei Rechnern wird immer wieder unterschiedlich lang dauern

Masseinheiten für Signale und Datenmengen

Achtung:

Telekommunikation

1 Oktett = 1 Byte = 8 bit

1 kilobit (kbit) = 1000 bit
1 Megabit (Mbit) = 1'000'000 bit
1 Gigabit (Gbit) = 1'000'000'000 bit

Informatik

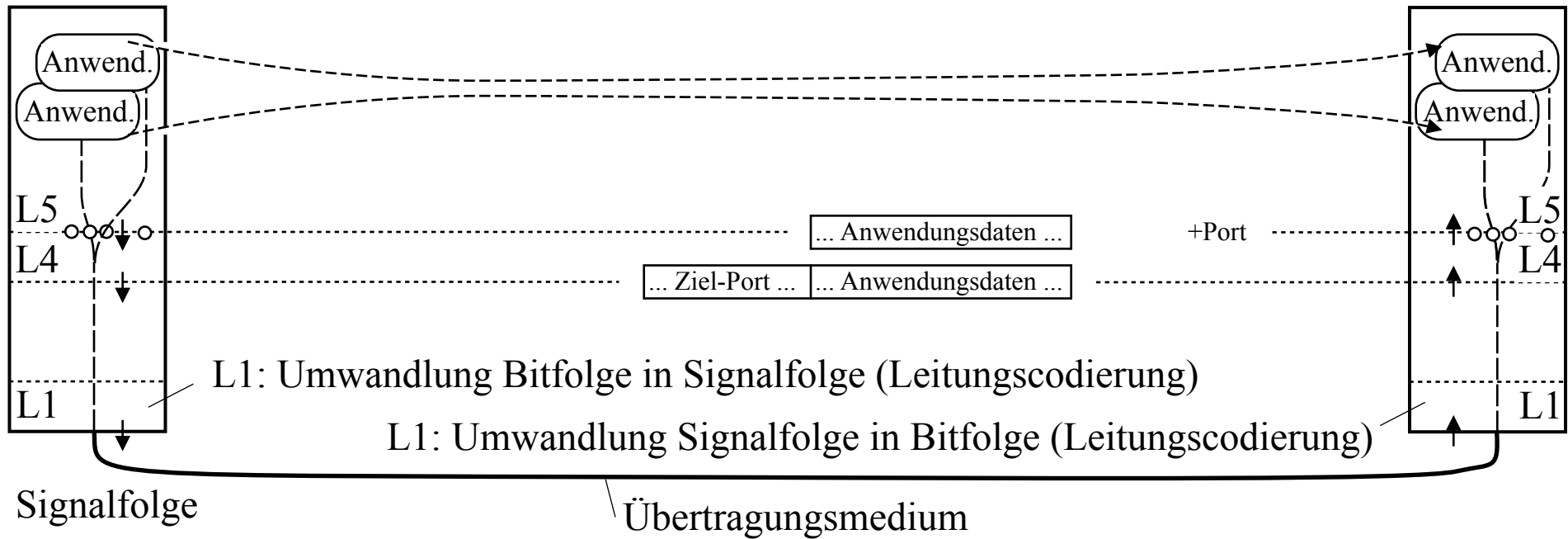
1 Byte = 8 bit

1 k = 1024 (d.h. 2^{10}), daher:

1 kByte = 1024 Byte
1 MByte = 1024*1024 Byte
1 GByte = 1024*1024*1024 Byte

Der Unterschied zwischen 8 kbit und 1 kByte etc. ist zum Glück meistens nicht wichtig.

Kommunikation über ein Übertragungsmedium

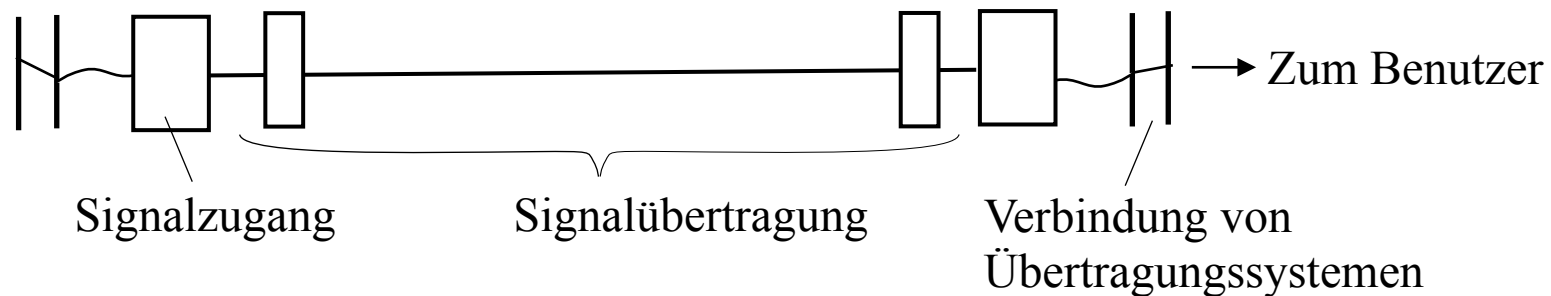


3. Übertragungsnetz

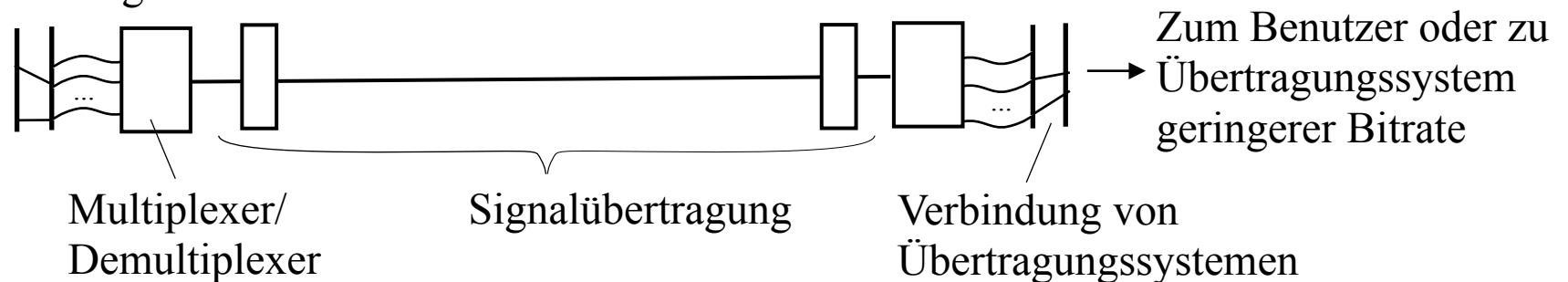
Übertragungsnetz

Übertragungssysteme verbinden die gewünschte Einrichtungen durch Übertragungskanäle, die vom Netzbetreiber eingerichtet werden.

- Übertragungsmedium (heute meist Glasfaser; ev. noch metallische Leiter, Funk)
- Repeater (zur Verstärkung und Regeneration der Signale)
- Endeinrichtungen (Zu- bzw. Wegführen der zu übertragenden/übertragenen Signale)
- und weitere Einrichtungen



Multiplexierung



Übertragungstechnologien

Zwei verbreitete Übertragungstechnologien: beide beruhen auf der Zeitmultiplextechnik (TDM), d.h. auf der zeitlichen Verschachtelung von Oktettströmen verschiedener Kanäle:

PCM

- Seit etwa 1970
- Sehr verbreitet im Telefonnetz ist das System PCM30 mit 2,048 Mbit/s; multiplexiert 31 Kanäle à 64 kbit/s
- Höhere Bitraten werden durch Systeme neuerer Technologie ersetzt

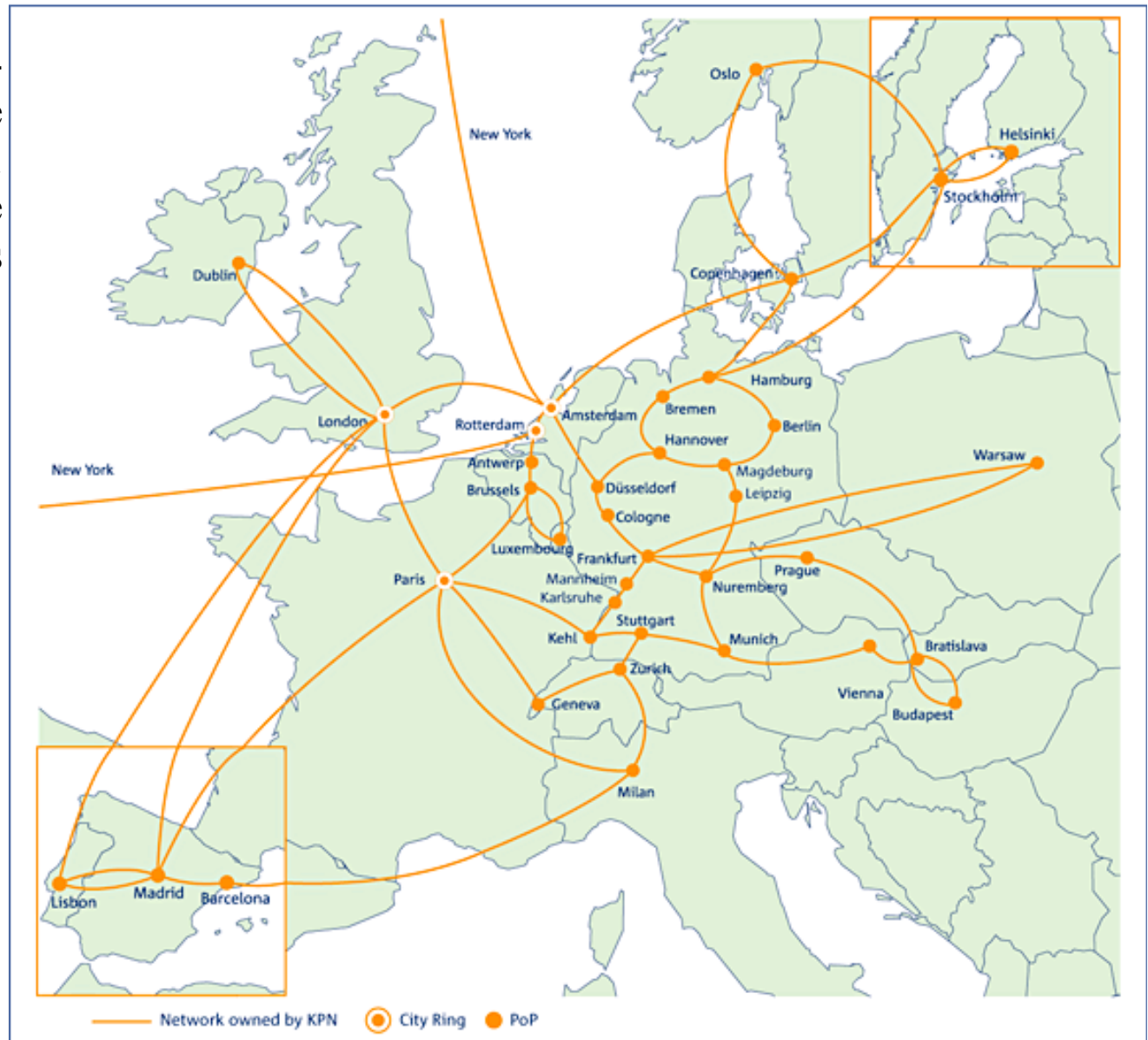
SDH

- Seit etwa 1990
- Heute bei allgemein übliche Technologie für die Übertragung höherer Bitraten über grössere Distanzen, z. B. 2,5 Gbit/s
- multiplexiert Kanäle vieler verschiedener Bitraten

Beispiel Übertragungsnetze

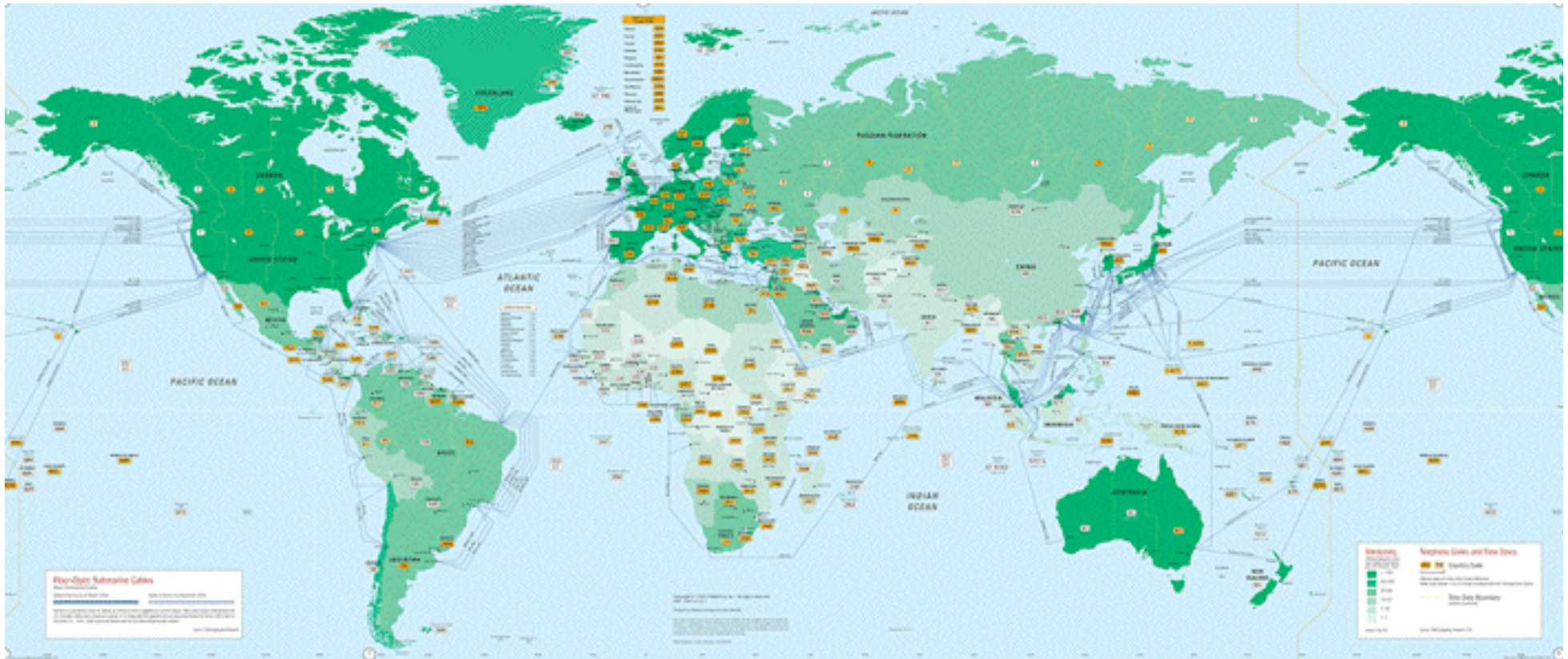
Durch Verbindung von Übertragungssystemen werden grosse Übertragungsnetze gebildet. Beispiel: das europaweite SDH-Netz eines Netzbetreibers (KPN):

KPN - International Network



Kommunikation zwischen verschiedenen Kontinenten

Die Übertragung von Kontinent zu Kontinent wird heute vor allem mit optischer Übertragung (Glasfasern) realisiert. Es gibt Dutzende von Seekabeln:



4. Rahmenübertragung

Rahmenerkennung 1:

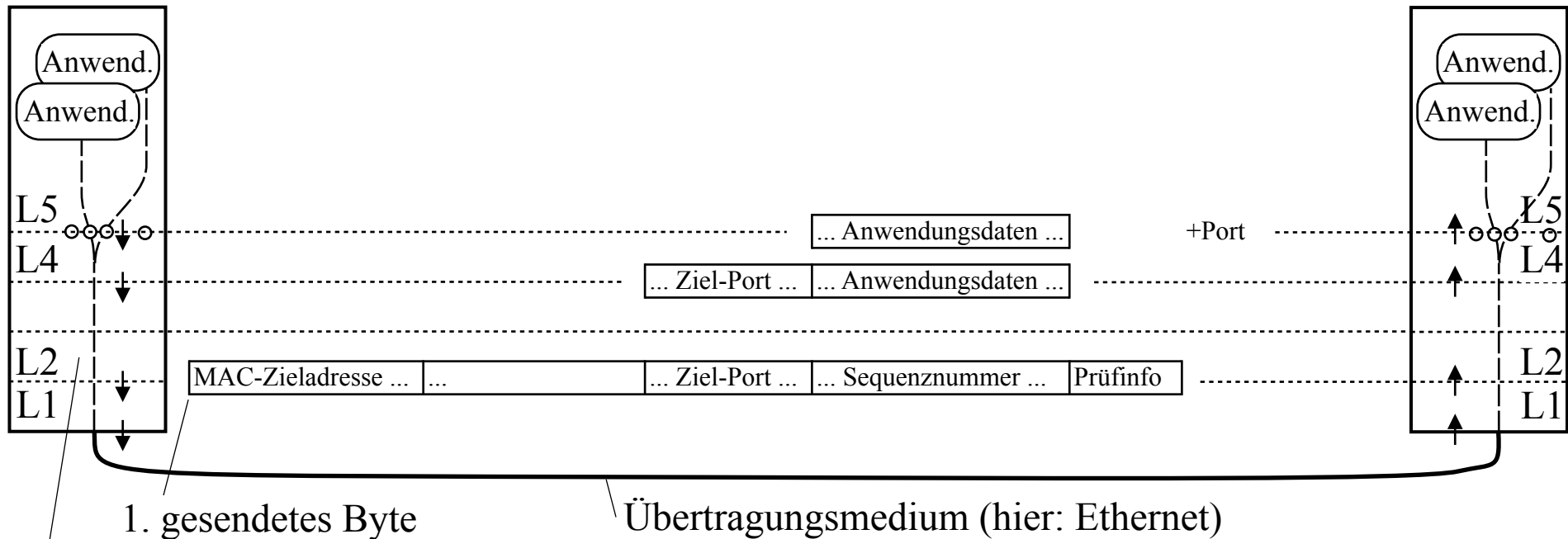
Mit den Übertragungstechnologien PCM und SDH werden ununterbrochene Ströme von Oktetten übertragen; Oktettströme sind z.B. gut geeignet für die Übertragung PCM-codierter Sprache wie bei den Kanälen eines ISDN-Anschlusses (à 64 kbit), wie ihn heute viele Telefonbenutzer haben.

Wenn über einen solchen Kanal Datenpakete übertragen werden sollen, müssen die Oktette jedes Pakets, des sogenannten Rahmens (frame), von den Fülloktetten zwischen den Paketen unterschieden werden. Dazu wird z. B. vor und nach jedem Rahmen mindestens ein flag (Bitfolge 0111110) gesendet, und im Rahmen wird nach 5 aufeinanderfolgenden Einsen eine 0 eingefügt (gestopft), die nach dem Empfang wieder entfernt wird:

Beispiel mit der zu sendenden Bitfolge 011100111111100001111100:



Verwendung von Adressen der Schicht 2, z. B. von MAC-Adressen bei Ethernet



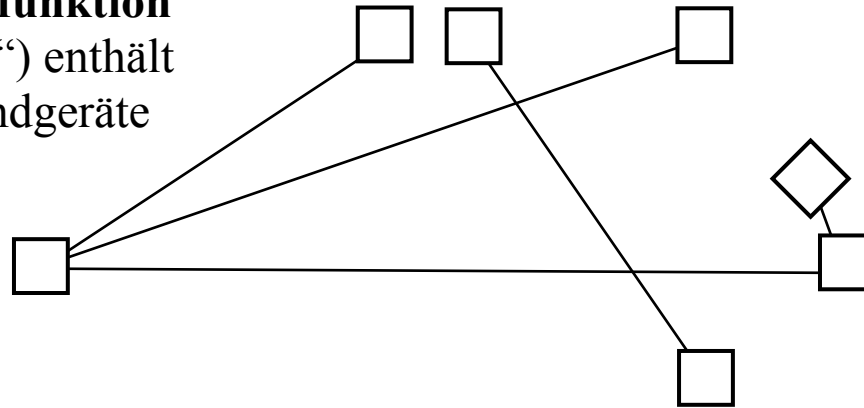
Schicht 2 (L2):

- Erkennung von Rahmenbeginn (bei Ethernet mit Synchronisationsbitfolge) und -ende
- MAC-Adresse beim Senden einsetzen und beim Empfang prüfen;
nur das adressierte Gerät verarbeitet die empfangenen Daten.
- Einsetzen der Prüfinformation beim Senden und Prüfung ihrer Korrektheit beim Empfang

5. Vermittlungsnetz / Paketvermittlung

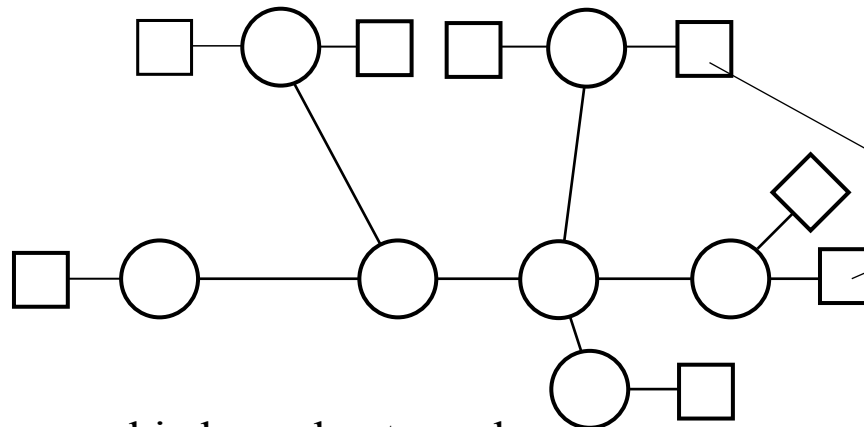
Netz ohne Vermittlungsfunktion

Netz („Standleitungsnetz“) enthält Kanäle, die bestimmte Endgeräte verbinden.



Netz mit Vermittlungsfunktion

Netz enthält Einrichtungen (Vermittlungsknoten), die nach Wunsch der Benutzer Kanalstücke zu einem von Endgerät zu Endgerät durchgehenden Kanal verbinden und damit vom Benutzer gesteuerte Verbindungen zu jedem beliebigen Endgerät ermöglichen.



Zeichenerklärung:

□ Endgerät

— Kanal

○ Vermittlungsknoten

Beim Internet z.B.
Mail-Server oder Web-
Server

Vermittlungsnetze können verschieden gebaut werden:

- Übertragung von Oktettströmen End-zu-End -> Leitungsvermittlungsnetz -> Telefonnetz/ISDN
- Übertragung von Paketen -> Beispiel: Internet (**nur dieses Thema wird im Folgenden vertieft!**)

Qualitätskriterien bei der Paketübertragung und -vermittlung

(Auch bei Netzen ohne Vermittlung; verstärkt in Vermittlungsnetzen*):

- Paketverluste *
- Verzögerungen der Übertragung (Signallaufzeiten, Sendedauern*, Wartezeiten*)
- Schwankung der Verzögerungen*
- ...

Versuch: Messungen des round trip delay

Versuchsergebnisse 1:

```
ping -c 5 www.switch.ch
PING aslan.switch.ch (130.59.108.36): 56 data bytes
64 bytes from 130.59.108.36: icmp_seq=0 ttl=56 time=21.422 ms
64 bytes from 130.59.108.36: icmp_seq=2 ttl=56 time=20.057 ms
64 bytes from 130.59.108.36: icmp_seq=3 ttl=56 time=19.578 ms
64 bytes from 130.59.108.36: icmp_seq=4 ttl=56 time=29.342 ms
```

--- aslan.switch.ch ping statistics ---

5 packets transmitted,
4 packets received, 20% packet loss

round-trip min/avg/max/stddev =
19.578/22.600/29.342/3.951 ms

Versuchsergebnisse 2

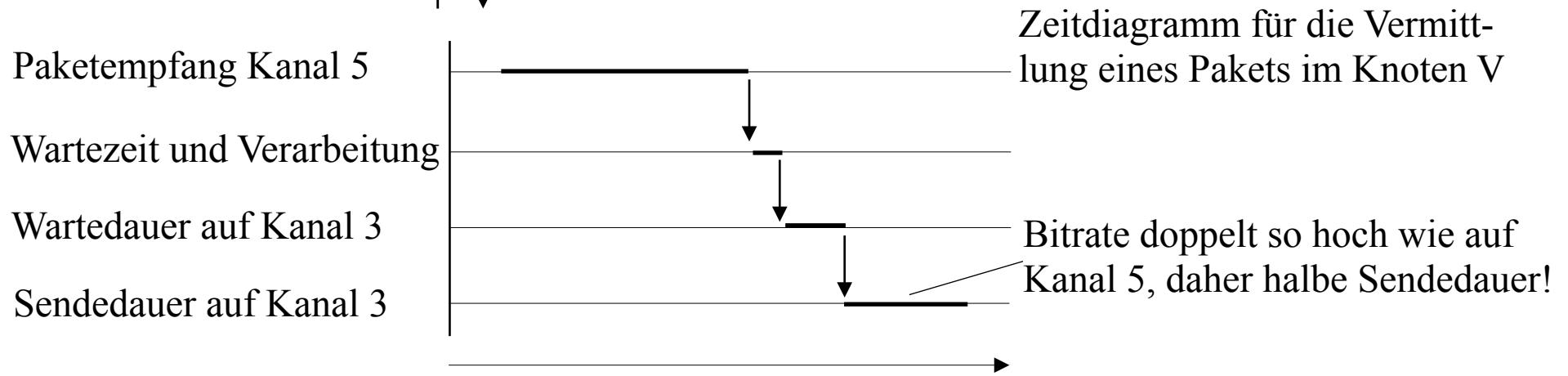
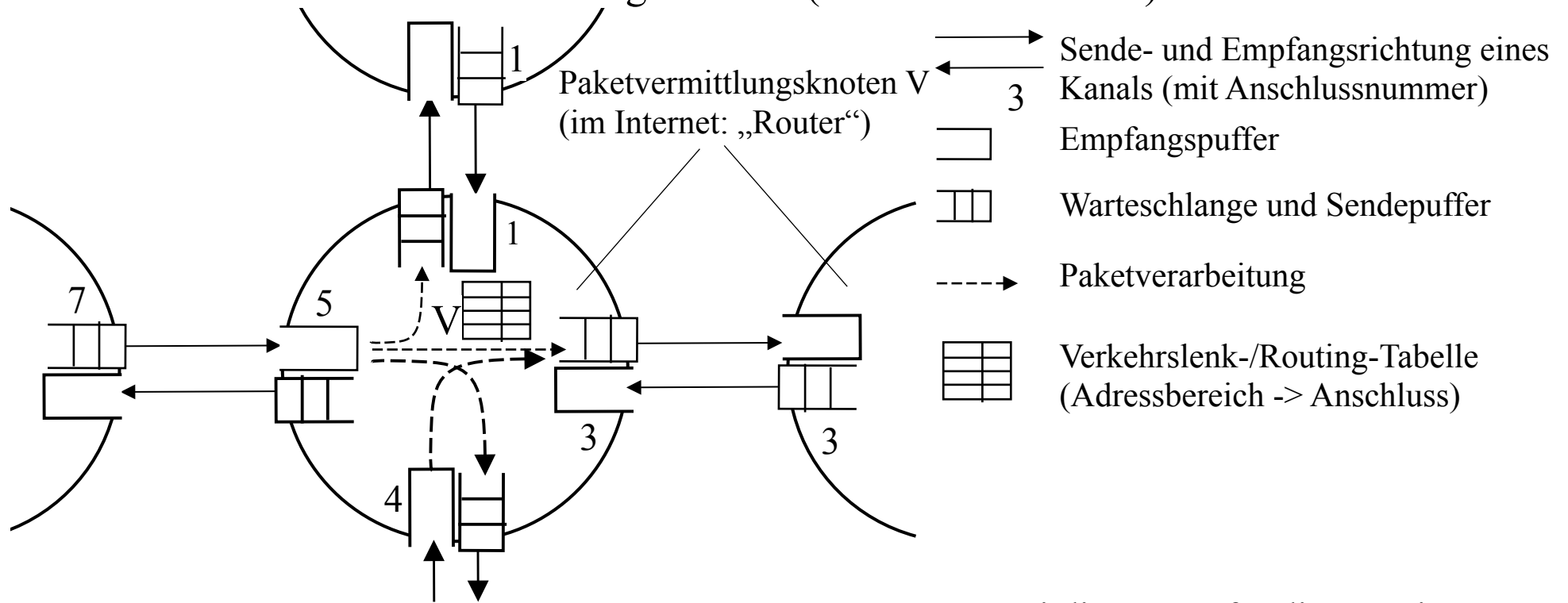
```
ping -c 5 rs7.loc.gov
PING rs7.loc.gov (140.147.249.7): 56 data bytes
64 bytes from 140.147.249.7: icmp_seq=0 ttl=244 time=127.403 ms
64 bytes from 140.147.249.7: icmp_seq=1 ttl=244 time=126.178 ms
64 bytes from 140.147.249.7: icmp_seq=2 ttl=244 time=129.844 ms
64 bytes from 140.147.249.7: icmp_seq=3 ttl=244 time=139.322 ms
64 bytes from 140.147.249.7: icmp_seq=4 ttl=244 time=134.980 ms
```

--- rs7.loc.gov ping statistics ---

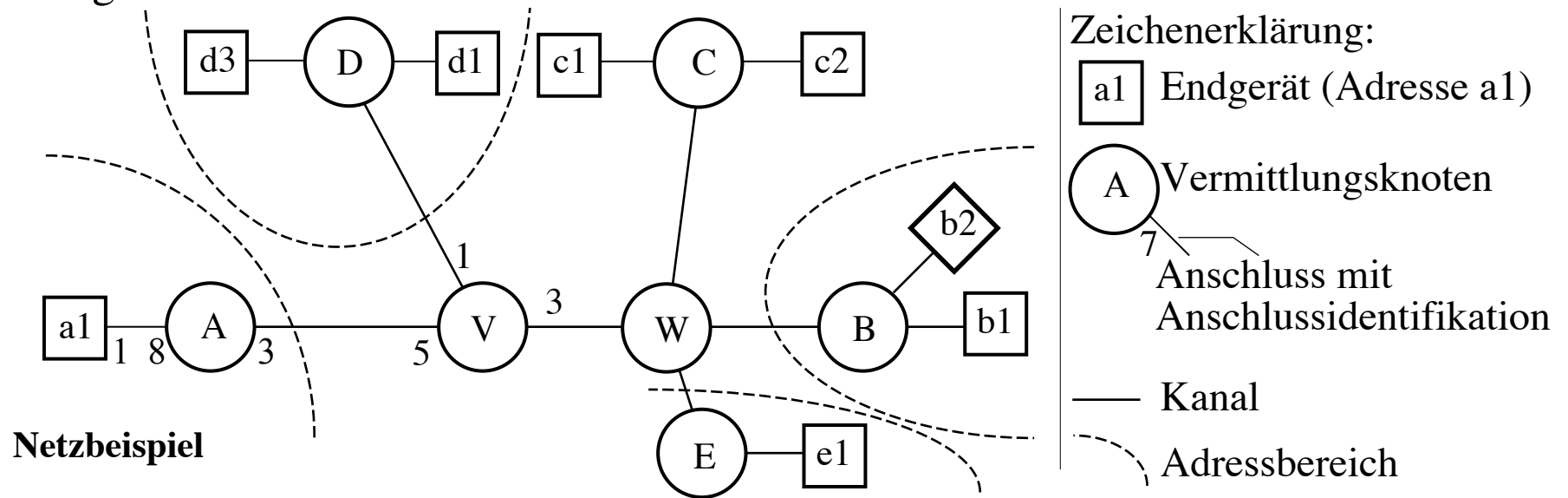
5 packets transmitted,
5 packets received, 0% packet loss

round-trip min/avg/max/stddev =
126.178/131.545/139.322/4.922 ms

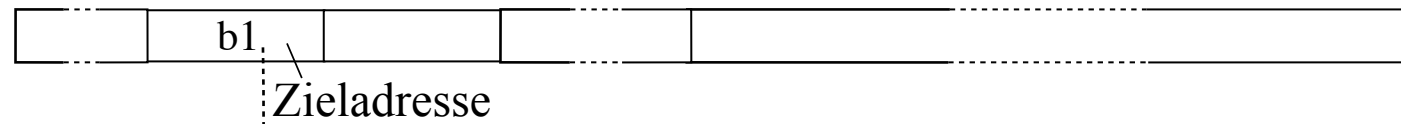
Arbeitsweise eines Paketvermittlungsknotens (im Internet: Router)



Ermittlung des Anschlusses des Sendekanals in V aus der Zieladresse b2



a) Empfangenes Paket Paketkopf (Vermittlungsschicht) User Data (Vermittlungsschicht)



Routing-Tabelle des Knotens V

Adressbereich	Anschluss
a...	5
▶ b...	3
c...	3
d...	1
e...	3

Suche des passenden Eintrags

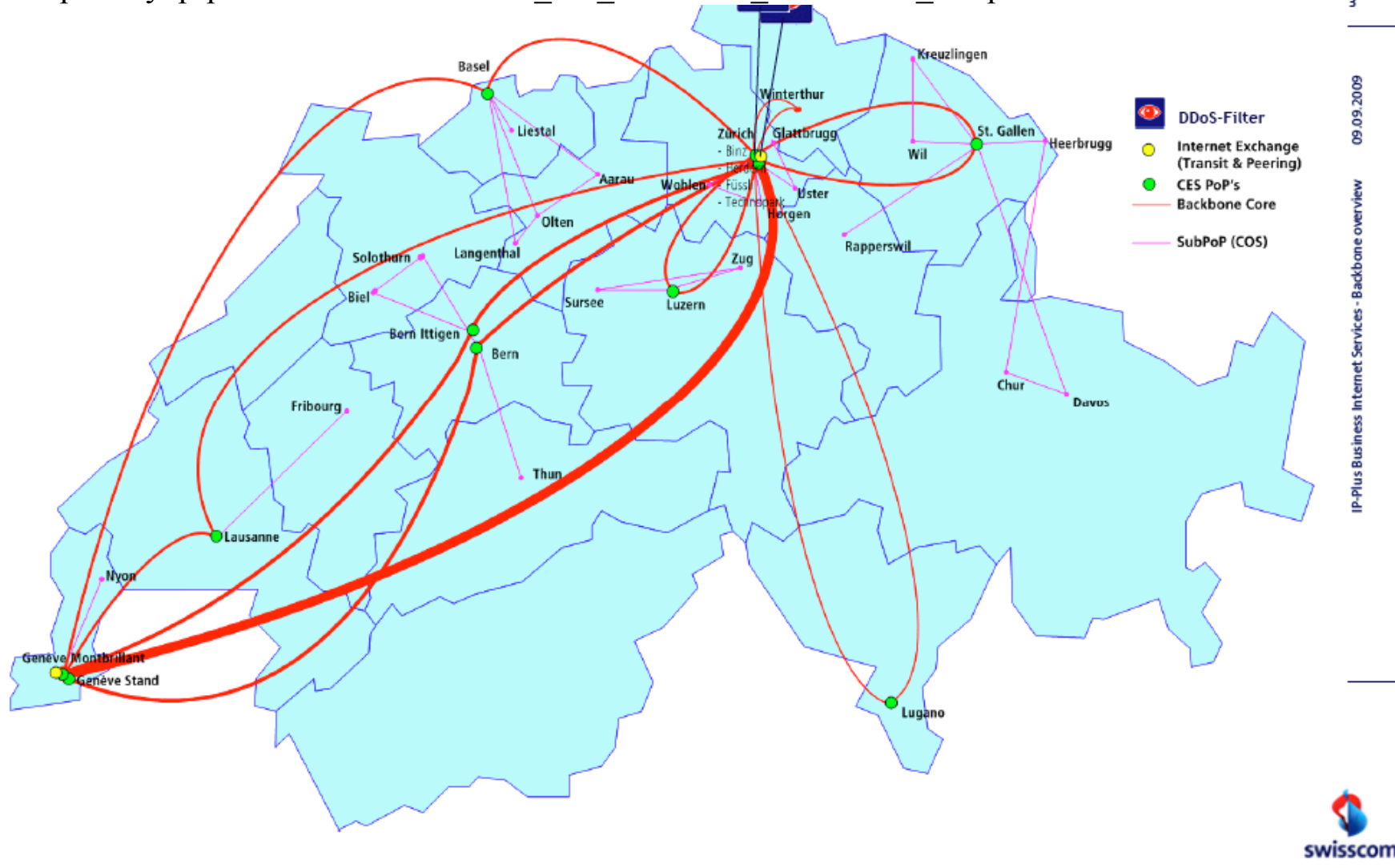
→ Anschluss 3

b) Auswahl des Sendekanals

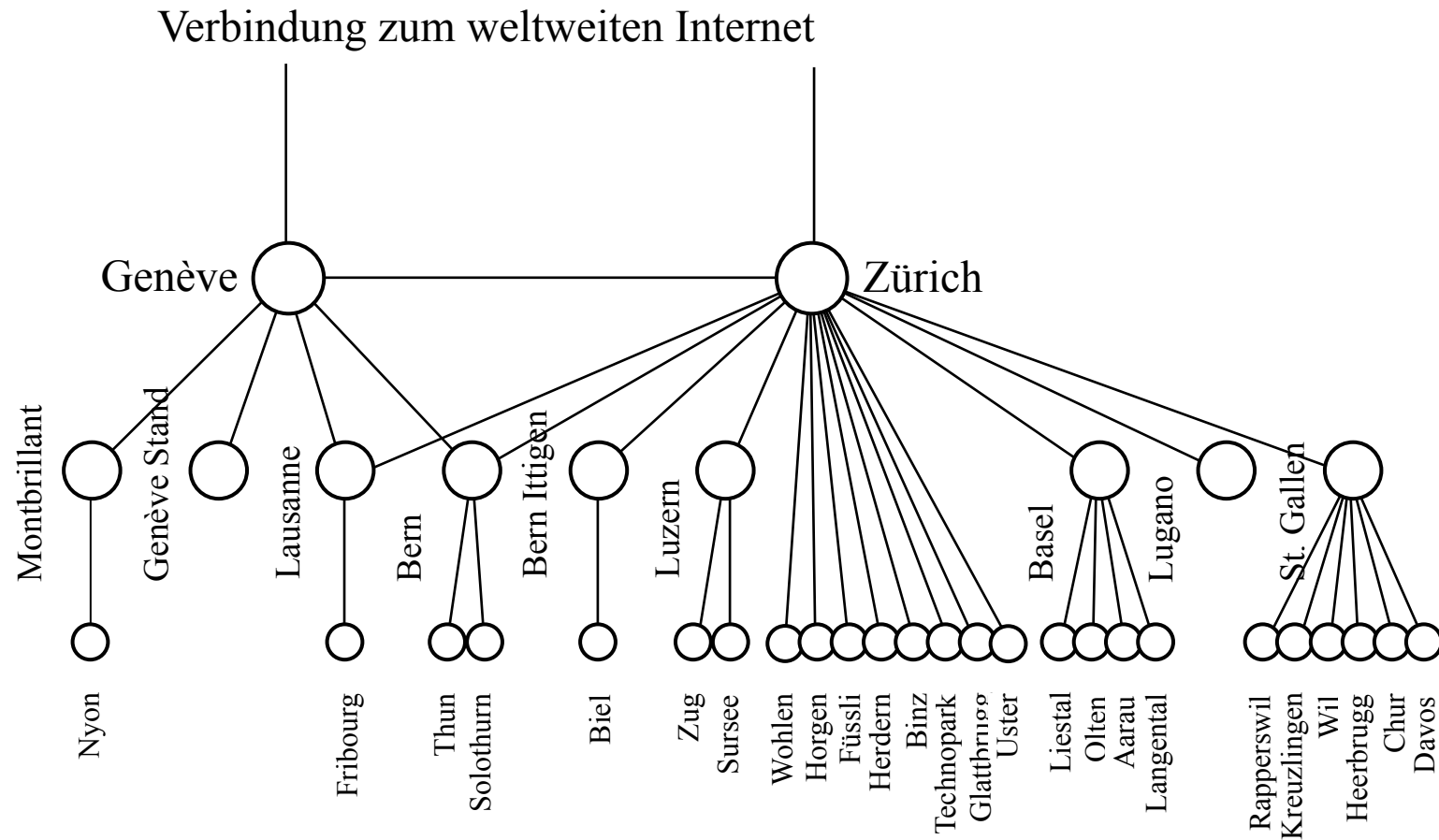
6. Netzstruktur / Netztopologie

IP-Plus® - Swiss Backbone

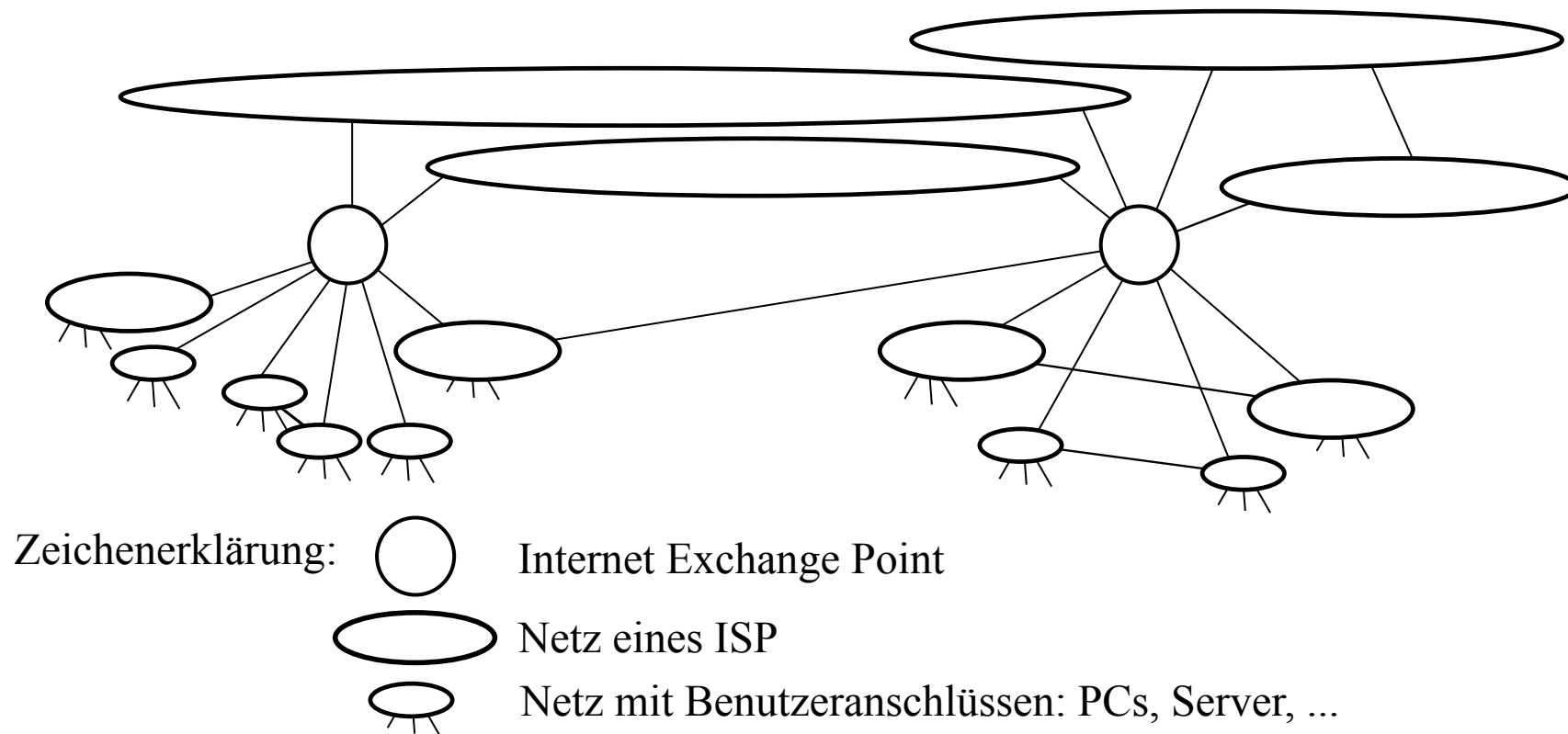
https://my.ip-plus.net/documents/BIS_BB_Backbone_Uebersicht_EN.pdf



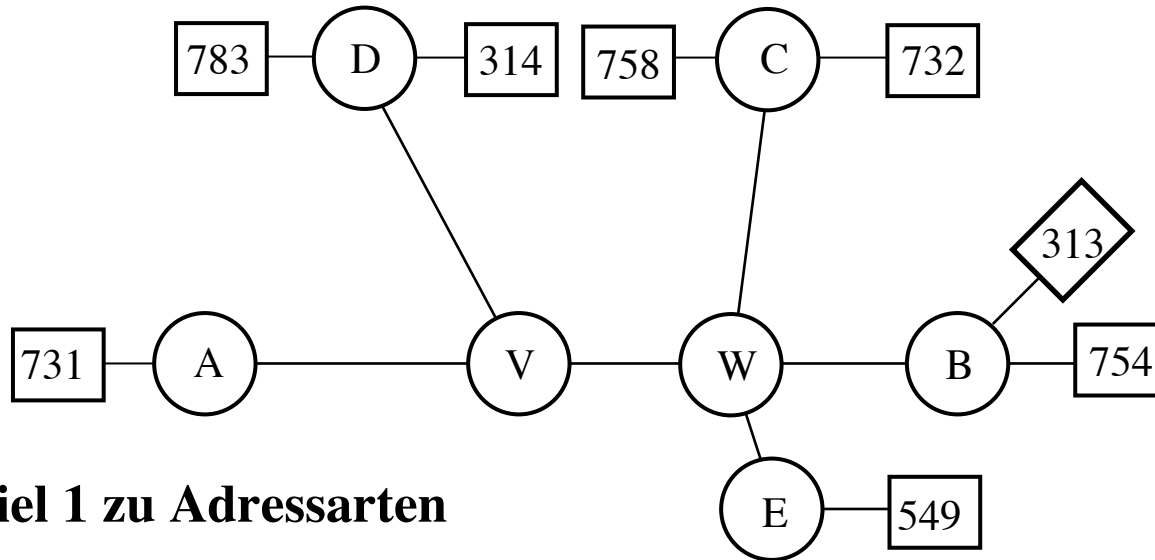
Struktur/Topologie des Netzes von IP-Plus (Prinzip)



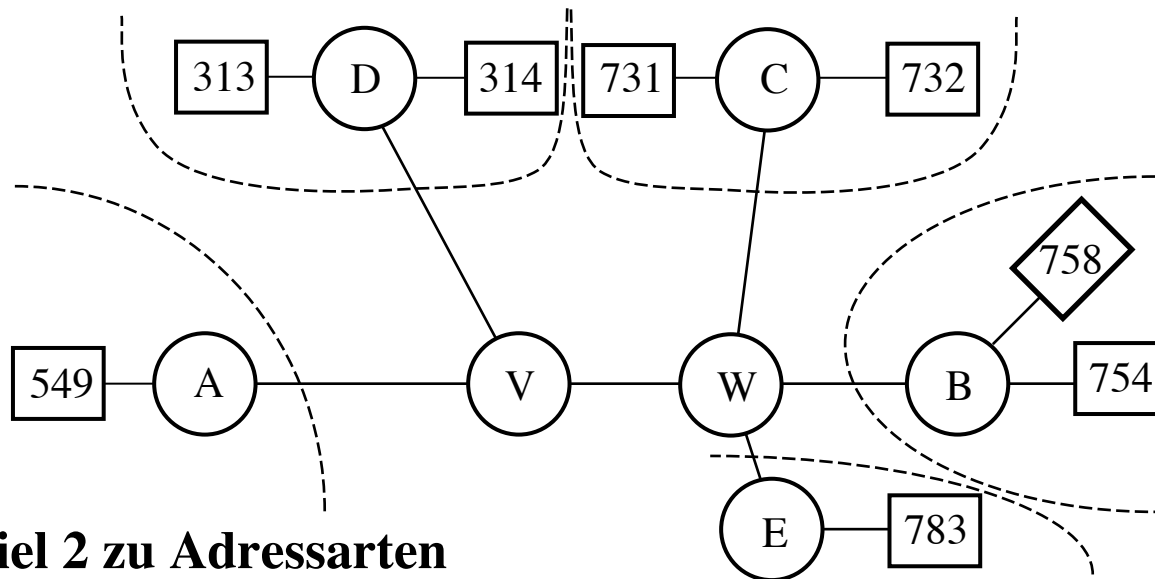
Prinzip der Struktur / Topologie des weltweiten Internets



7. Adressierung



Beispiel 1 zu Adressarten



Beispiel 2 zu Adressarten

Adressen des Beispiels 1:

- Die Adresse gibt keinen Hinweis auf den Anschlussort des Endgeräts.
„nicht hierarchischer/flacher Adressraum“

Beispiel: MAC-Adressen

- Z.B. bei Ethernet verwendet; jede Ethernet-Karte trägt eine Nummer (MAC-Adresse) von 6 Byte Länge; besteht aus Herstellerangabe und durch Hersteller zugeteilten Nummernteil.
- Diese Adresse einer Karte bleibt daher bei Verwendung in einem anderen Endgerät gleich.
- Ermittlung des Weges zu einem Anschluss: Routingtabelle mit Eintrag pro Endgerät oder Abfrage der Wege zu allen Endgeräten -> geht nur bei kleinen Netzen.

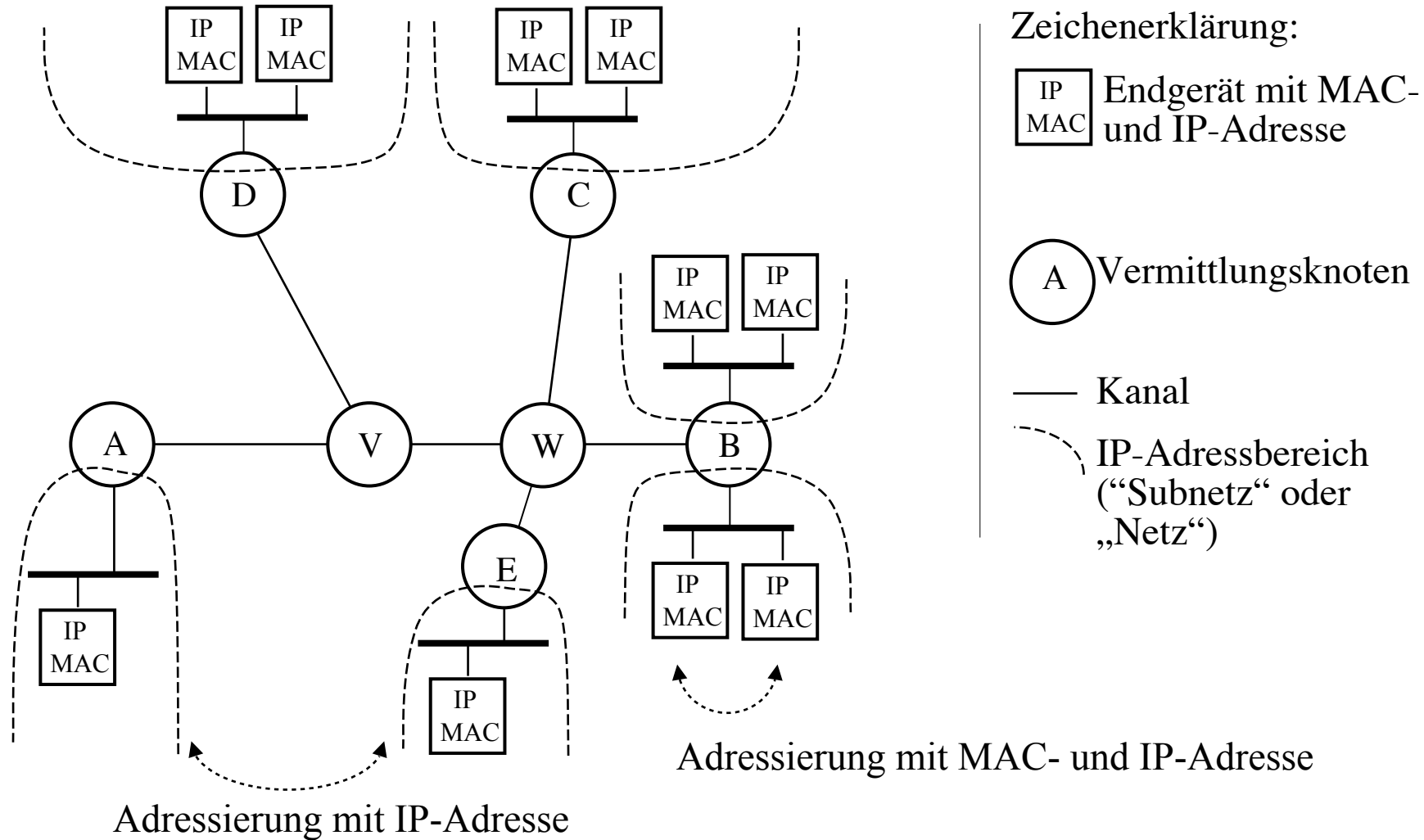
Adressen des Beispiels 2:

- Eine Gruppe von Adressen, die sich nur in einer bestimmten Anzahl der letzten Zeichen (Ziffern) unterscheiden dürfen, heisst Adressraum oder Nummernraum.
- Solche Adressen können den Endgeräten so zugeordnet werden, dass der Weg zu ihnen (weitgehend) gleich ist -> Routing-Tabelle enthält nur einen Eintrag je Adressraum statt je Endgerät!

Beispiel: Telefonnummern und Internet-Adressen:

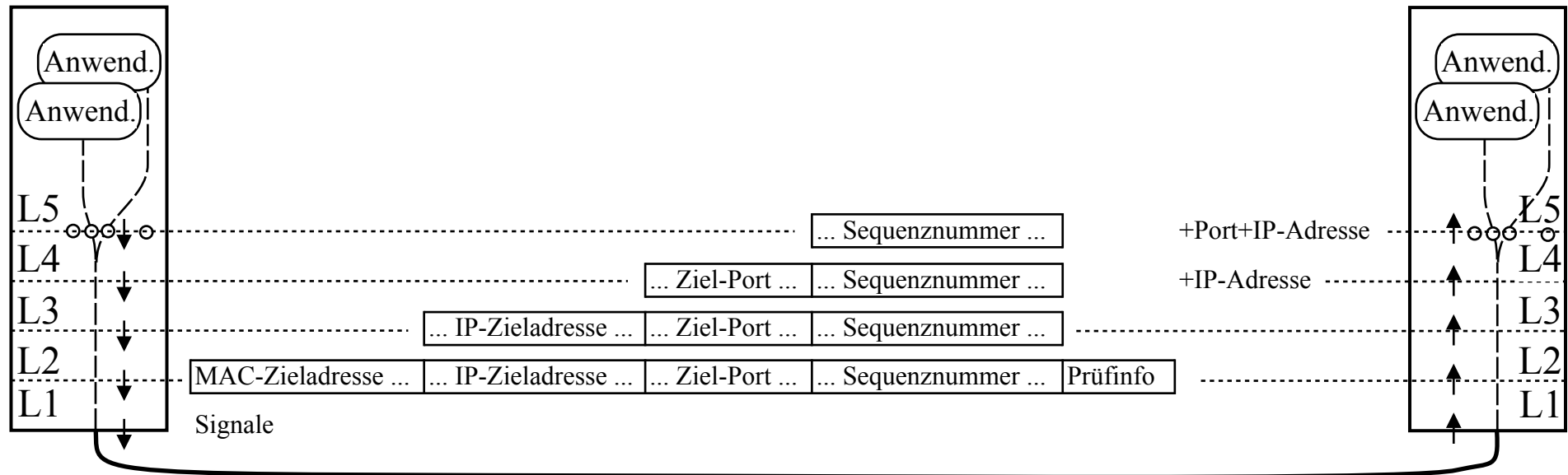
- Endgerät muss eine andere Adresse bekommen, wenn es an einem anderen Anschluss angeschlossen wird
- Ermittlung des Weges: Routingtabelle mit Eintrag je Adressraum -> geht bei beliebig grossen Netzen

Adressiermöglichkeit mit MAC-Adressen und mit IP-Adressen



Für die Verkehrslenkung geeignete Adressen

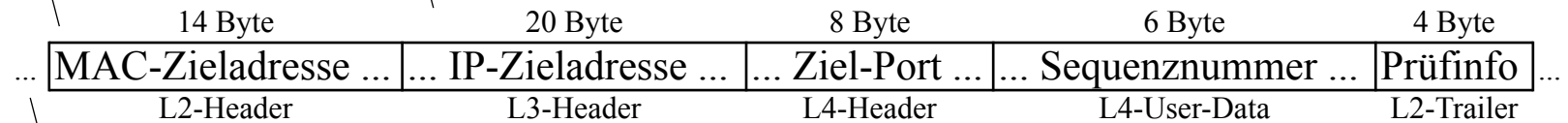
Endgeräte mit IP-Adressen desselben Adressraums werden über denselben Weg erreicht.



Übertragungsmedium (hier: Ethernet)

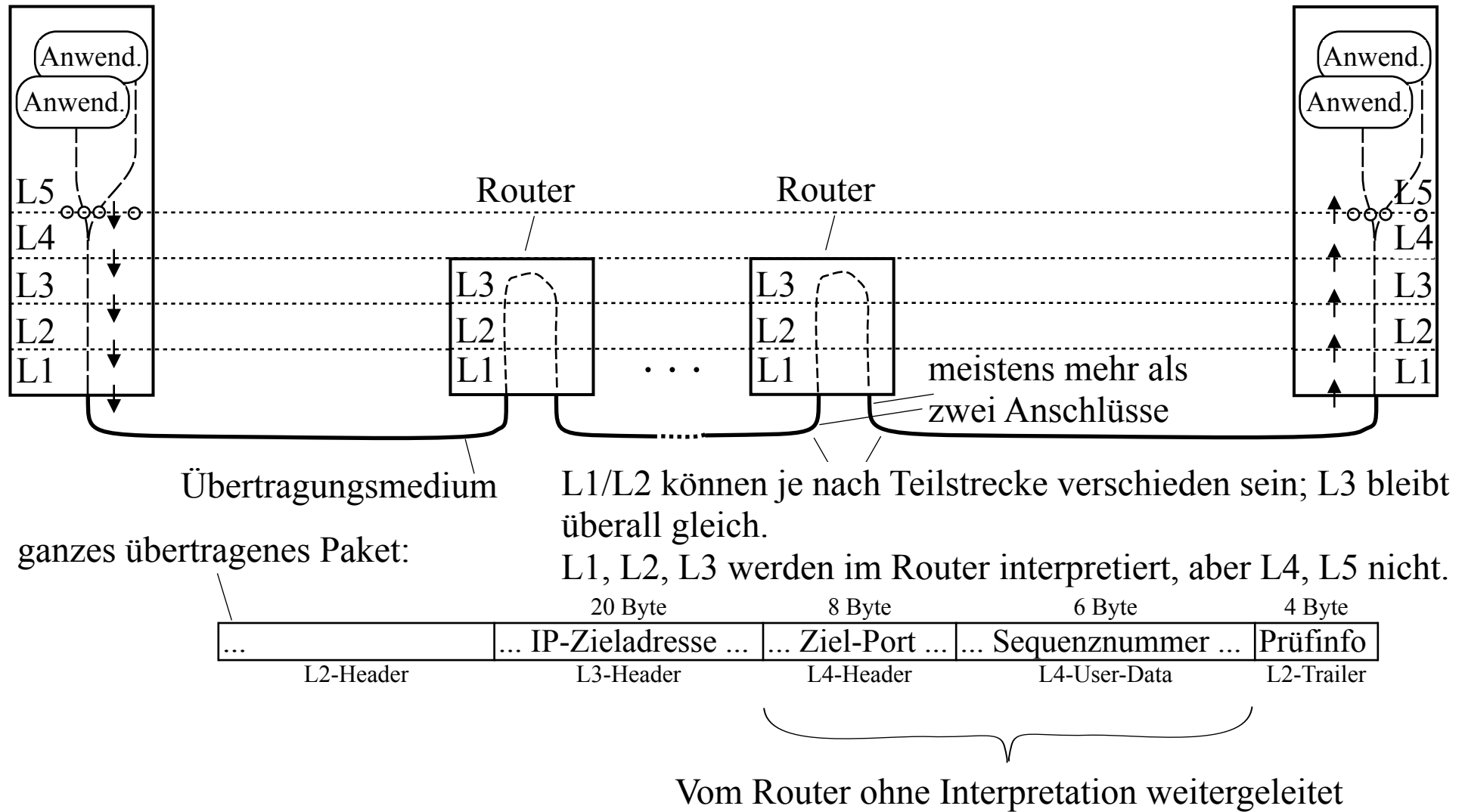
ganzes übertragenes Paket:

1. gesendetes Byte



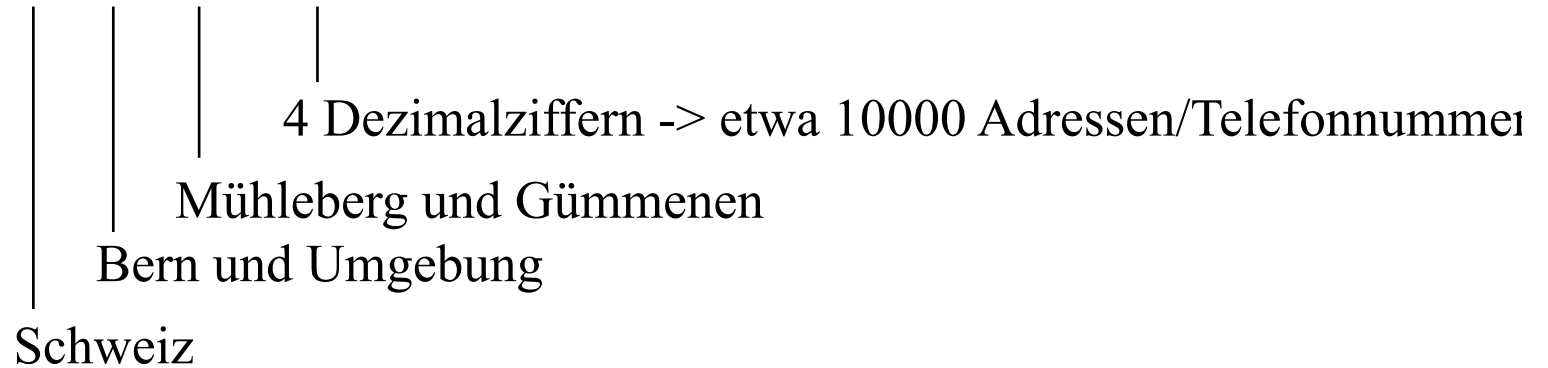
Synchronisationssignale

Kommunikation über Router

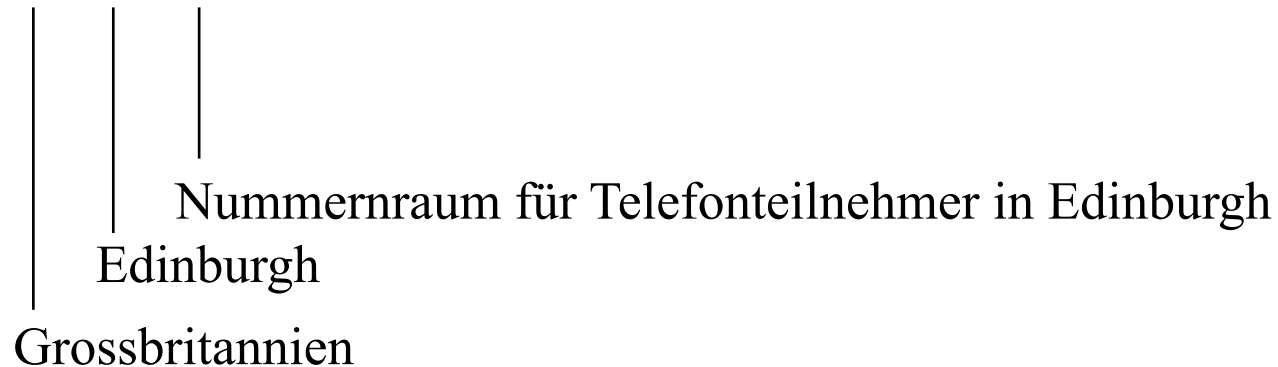


Adressbereich im Telefonnetz und ISDN:

Beispiel: 41 31 751 xxxx



Beispiel: 44 72 ...



Beispiel: 4 ... oder 3 ... -> Europa

Im Folgenden nur Adressierung und Routing im Zusammenhang mit dem Internet:
 Adressbereich bei Adressen des Internet-Protokolls (IP-Adressen, hier IPv4))
 Adresslänge: 32 Bit

Adressbeispiel

Adresse in Bitschreibweise:	11000000	10101000	00000000	00001001			
	 64	 32 8		 1			
Stellenwerte (Dezimalzahl)	128	128		8			
Adresse in dotted decimal notation:	192	.	168	.	0	.	9

Beispiel für Adressbereich (= Subnetz oder Netz) (tiefste Adresse heisst Netzadresse)

Subnetz mit 256 Adressen:

Subnetz in Bitschreibweise:	11000000	10101000	00000000	
					(8 bit beliebig)
Subnetz in Präfixschreibweise:	192.168.0.0/24 (-> 24 Bit gehören zum Präfix)				
Subnetz in Maskenschreibweise:	192.168.0.0	Netzmaske: 255.255.255.0			

Bitschreibweise: nicht üblich; einfach zu verstehen; lange Bitfolgen mühsam

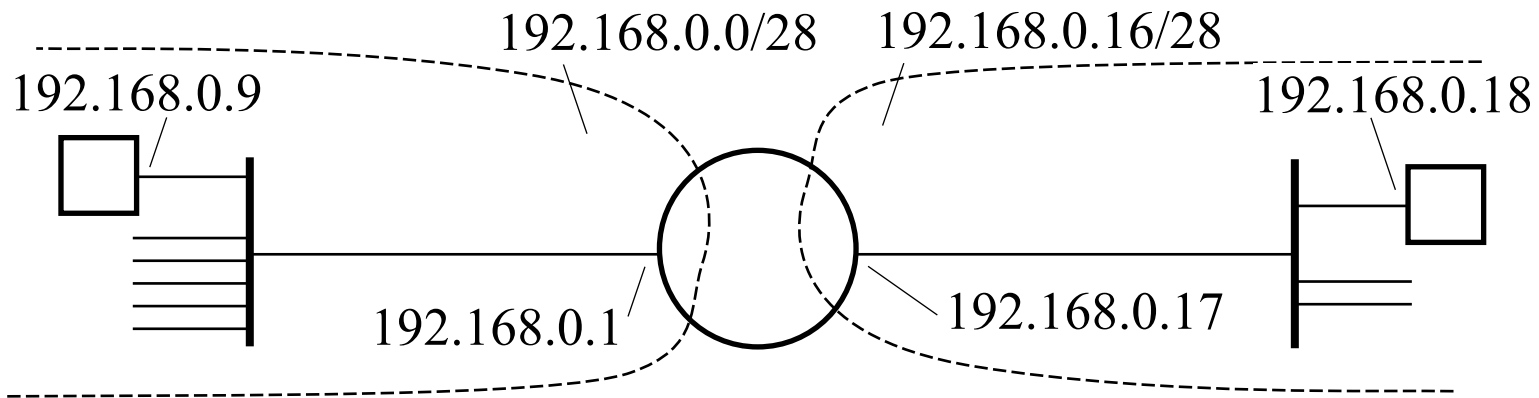
Die anderen Schreibweisen: kompakter; Kenntnis des Binärsystems nötig:

	<u>Beispiel 1</u>	<u>Beispiel 2</u>
Adressen:	192.168.0.9	192.168.0.18

Subnetze mit 16 möglichen Adressen, die die genannte Adresse enthalten: Präfixschreibweise:	192.168.0.0/28	192.168.0.16/28
--	----------------	-----------------

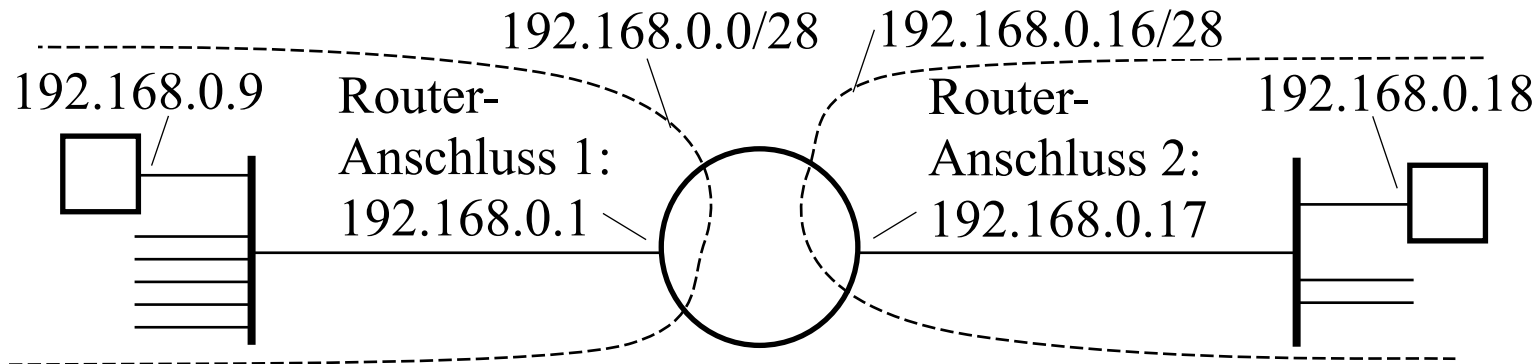
Netzadresse mit Netzmaske:	192.168.0.0 255.255.255.240	192.168.0.16 255.255.255.240
-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

Netz gemäss Beispiel 1 und 2: Alle Anschlüsse erhalten eine Adresse. Routeranschlüssen teilt man gewöhnlich die erste Adresse über der Netzadresse zu.



Routing-Tabelle mit IP-Adressen

Netzadresse	Maske	Anschluss
192.168.0.0	255.255.255.240	1
192.168.0.16	255.255.255.240	2



Bei der Weiterleitung eines Rahmens wird die Bitfolgen der Zieladresse mit den Bitfolgen der Einträge der Routing-Tabelle verglichen:

Vergleich mit 1. Eintrag:

Zieladresse: 192.168.0.18
 Bitfolge: 1100...00010010

}
 zu vergleichende Bits

Maskierte Bitfolge: 1100...00010000
 Bitfolge Netzadresse: 1100...00000000

Vergleich mit 2. Eintrag:

Zieladresse: 192.168.0.18
 Bitfolge: 1100...00010010

}
 zu vergleichende Bits

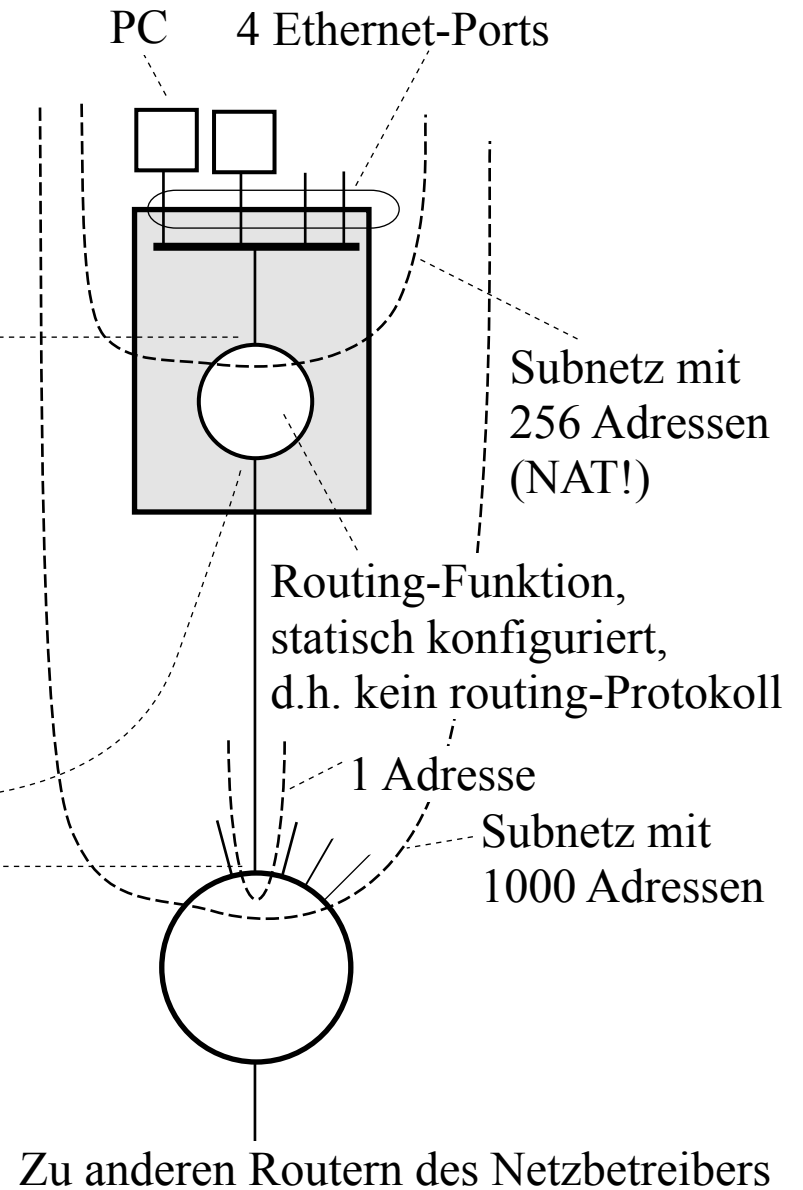
Maskierte Bitfolge: 1100...00010000
 Bitfolge Netzadresse: 1100...00010000

Einige Einstellungen eines privaten Zugangsrouter

LAN	
MAC-Adresse	00-19-5B-B3-C3-77
IP-Adresse	192.168.0.1
Subnetzmaske	255.255.255.0
DHCP-Server	Aktiviert

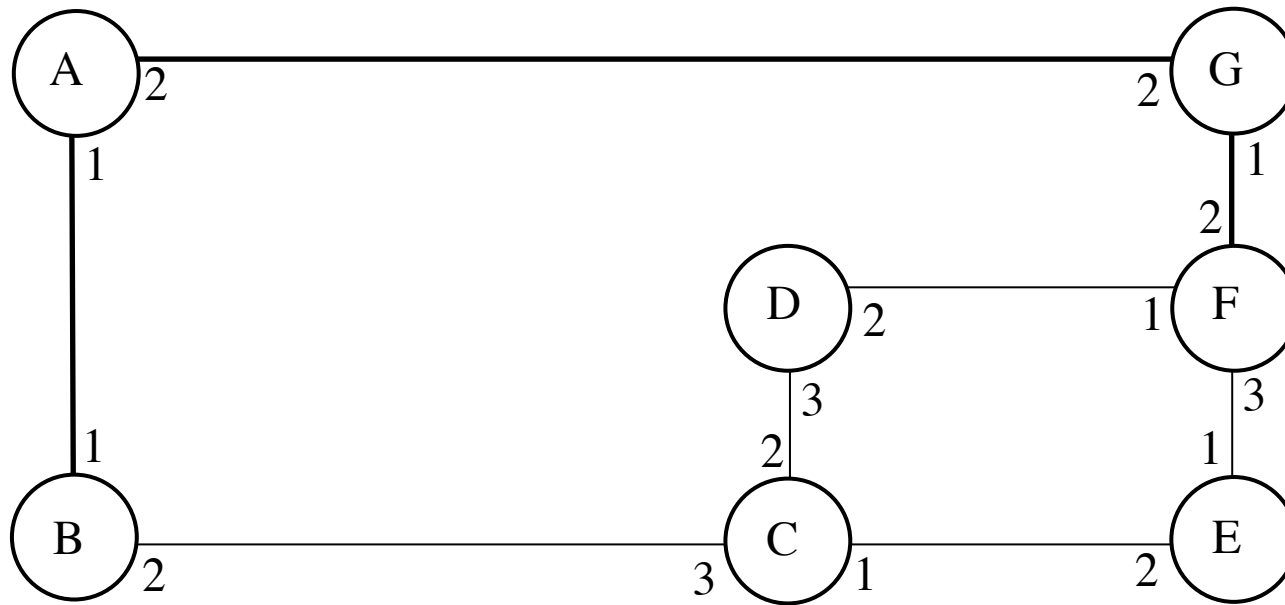
WAN	
MAC-Adresse	00-19-5B-B3-C3-76
Verbindung	DHCP Verbundener Client. <input type="button" value="DHCP erneuern"/> <input type="button" value="DHCP freigeben"/>
Verbleibende Lease-Time	23:04:59
IP-Adresse	195.202.254.9
Subnetzmaske	255.255.252.0
Gateway	195.202.252.1
Domain Name Server	62.2.17.61, 62.2.24.158

Netzschema dazu

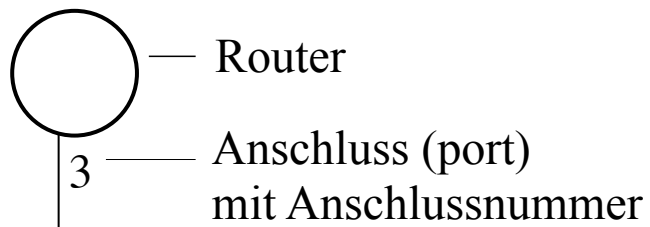


8. Verkehrslenkung / Routing

Kriterium für die Wahl der Wege: Metrik



Erläuterung:



Beispiel für Bitraten der Kanäle:

- 1984 kbit/s
- 64 kbit/s

Ein Mass für die Eignung einer Route heisst Metrik; je kleiner die Metrik, desto besser die Route. Welche Eigenschaften sollen berücksichtigt werden?

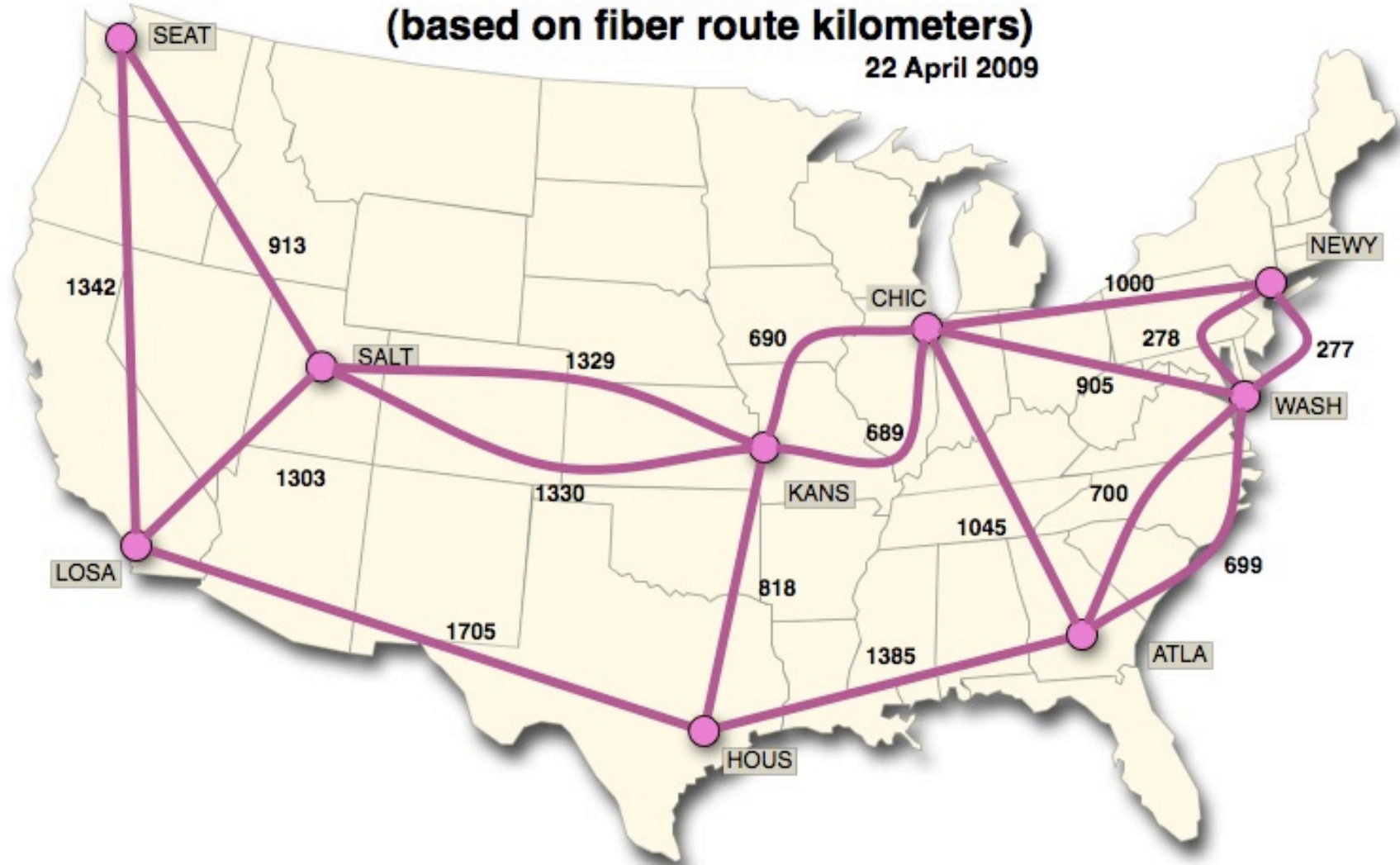
- Anzahl Teilstrecken (hop count)?
- Bitraten der Kanäle?
- Signallaufzeiten?
- Verkehrsbelastung der Kanäle?
- Verkehrsbelastung der Router?
- vertragliche Regelungen?

Internet2 IP Network

IGP Metrics

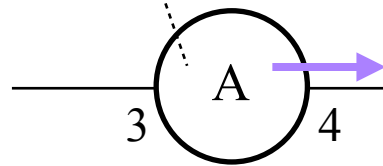
(based on fiber route kilometers)

22 April 2009



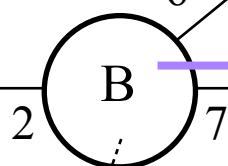
Router A

Netzadr.	Maske	Port
62.2.0.0	255.255.254.0	4
82.2.2.0	255.255.254.0	4
195.7.8.0	255.255.248.0	4

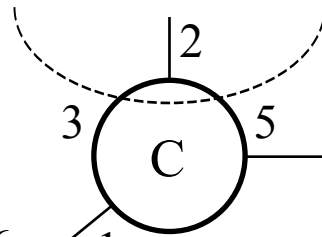


Router B

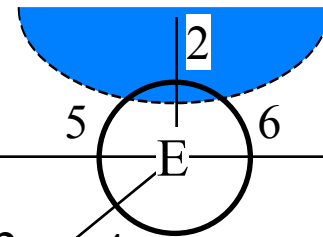
Netzadr.	Maske	Port
62.2.0.0	255.255.254.0	7
82.2.2.0	255.255.254.0	6
195.7.8.0	255.255.248.0	7



82.2.2.0/23



62.2.1.0/24

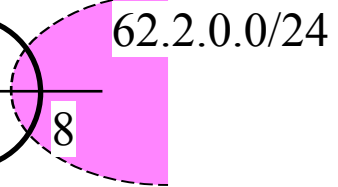


Routing-Tabellen
für ein kleines Netz

195.7.8.0/21

Router F

Netzadr.	Maske	Port
62.2.0.0	255.255.255.0	8
62.2.1.0	255.255.255.0	1
82.2.2.0	255.255.254.0	1
195.7.8.0	255.255.248.0	1



Routen können durch den Netzbetreiber konfiguriert werden (statisches Routing).

Die meisten Routen werden aber automatisch ermittelt (adaptives oder dynamisches Routing), indem die Router untereinander Informationen austauschen (Routing-Protokoll). So können die Router bei Netzveränderungen selbständig andere Wege suchen.

Jeder Router speichert in seiner Routing-Tabelle je Adressbereich nur den Anschluss der zum nächsten Router führenden Leitung und nicht den ganzen Weg (schrittweise Wegesuche).

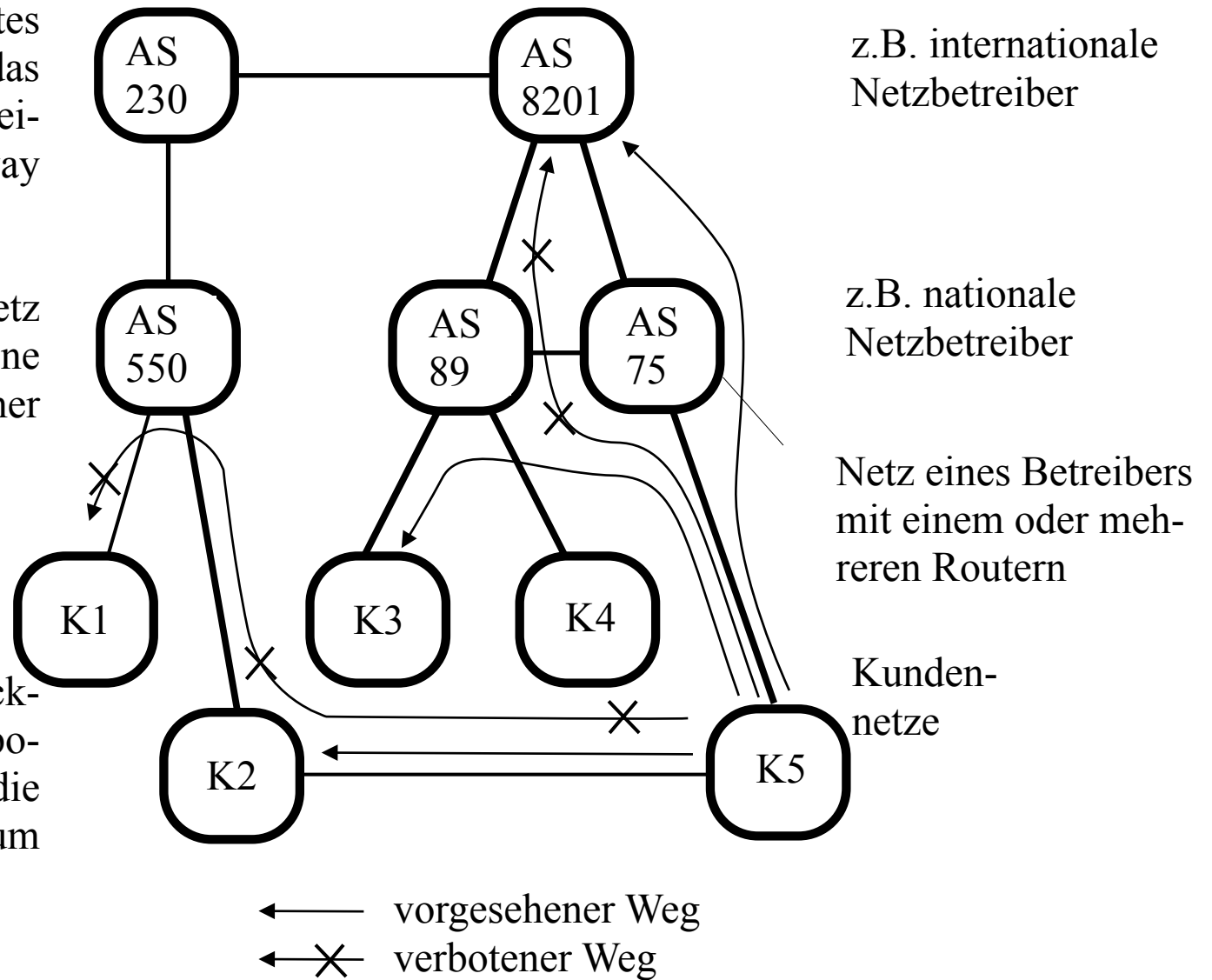
Durch route summarization/route aggregation können passende Einträge einer Routing-Tabelle mit längeren IP-Präfixen in einem einzigen Eintrag mit einem kürzeren IP-Präfix zusammengefasst werden!

Netzbeispiel für Policy Routing: Berücksichtigt nicht nur technisch ableitbare Regeln

Heute meistverwendetes Routing-Protokoll für das Routing zwischen Netzbetreibern: BGP (Border Gateway Protocol).

BGP benötigt für jedes Netz eines Netzbetreibers eine Nummer, die AS-Nummer (Autonomous System).

BGP erstellt unter Berücksichtigung der Regeln (policy) eine Liste der AS, die Pakete auf dem Weg zum Ziel durchlaufen sollen.



Das auf der folgenden Seite angegebene Buch enthält Themen dieses Vortrags und einige weitere in ausführlicherer und nicht zu umfangreicher Form (250 Seiten), z. B.

- Ermittlung der Verkehrsbelastung und der passenden Zahl Einrichtungen
- Verfügbarkeit der Netzeinrichtungen
- Einführungs- und Ausbaustrategien
- Beschreibung der Technologien PCM, SDH, Lokale Netze mit Ethernet
- Beispiele mit den Routing-Protokollen Distance Vector, OSPF, BGP
- Beschreibung einiger Grundlagen wie Signalübertragung, Protokollstapel, Prinzip der Arbeitsweise prozessorgesteuerter Kommunikationssysteme

Planung von Vermittlungsnetzen

Eine Einführung

Rolf Herheuser

Dieses Buch bietet eine auch für das Selbststudium geeignete Einführung in grundlegende Themen der Telekommunikationsnetze. Das Buch möchte vor allem das Verständnis der Arbeitsweise der Vermittlungsnetze und Überlegungen zur Planung solcher Netze fördern.

Es beschränkt sich auf Grundlagen der Vermittlungsnetze, behandelt diese jedoch themenorientiert, aufeinander aufbauend und mit vielen erläuterten Abbildungen, sodass der Inhalt mit geringen Vorkenntnissen gut verständlich ist. Auf mathematische Begründungen und detaillierte Beschreibungen von Protokollen wird zugunsten einer nicht zu umfangreichen Einführung verzichtet. Alle vorkommenden wichtigen Fachausdrücke werden in einem erklärenden Zusammenhang eingeführt und im Index referenziert. Ausgearbeitete Aufgabenbeispiele mit Lösungen ergänzen die Ausführungen. Zusätzliche Übungsaufgaben und Lösungen sind online unter www.vdf.ethz.ch abrufbar.



UTB 8394

2008, 272 Seiten, Format 17 x 24 cm, broschiert
zahlreiche Abbildungen und Tabellen

CHF 38.– / EUR 24.90 (D)

ISBN 978-3-8252-8394-0

vdf

vdf Hochschulverlag AG
an der ETH Zürich

Senden Sie die Bestellung an:

vdf Hochschulverlag AG
an der ETH Zürich
VOB D, Voltastr. 24, 8092 Zürich
Tel. +41 (0)44 632 42 42
Fax +41 (0)44 632 12 32
E-Mail: verlag@vdf.ethz.ch

Unser Katalog im Internet:

www.vdf.ethz.ch

Abonnieren Sie unseren
E-Mail-Newsletter unter
www.vdf.ethz.ch!

B
E
S
T
E
L
L
U
N
G

Ich/Wir bestelle(n) aus dem vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich,
Voltastrasse 24, 8092 Zürich, zur Lieferung gegen Rechnung
(zuzüglich Versandkosten):

— Ex. **Planung von Vermittlungsnetzen**
von Rolf Herheuser

CHF 38.– / EUR 24.90 (D), ISBN 978-3-8252-8394-0

Name

Adresse

PLZ/Ort

E-Mail-Adresse

Datum/Unterschrift

Preisänderungen vorbehalten