

AI-B.41: Verteilte Systeme

- Lecture Notes [SL] -

VI. Netzwerke

C. Schmidt | SG AI | FB 4 | HTW Berlin

Stand: WiSe 18

Urheberin: Prof. Dr. Christin Schmidt



Verwertungsrechte: keine außerhalb des Moduls

Rückblick letzte Vorlesung

Nach dieser Lehrveranstaltung kennen Studierende idealerweise:

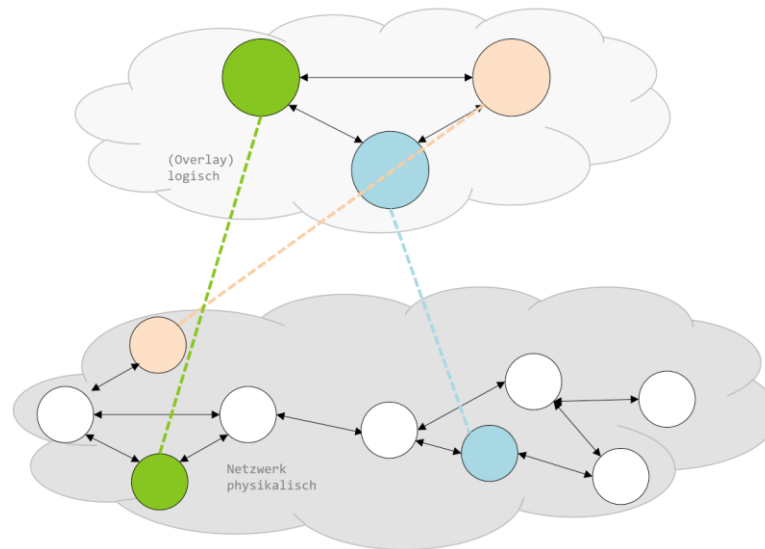
- Aspekte des Konzepts „Cloud Computing“
 - » Begriff der Rechenwolke und seine Verknüpfung zu Technologien des Web
 - » Eigenschaften des Cloud Computing
 - » Dienstmodelle: Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS), Infrastructure as a Service (IaaS)
 - » Cloud stacks & deployment models
 - » Akteure im Rahmen eines Referenzmodells für Cloud-Computing
- Grundlegende Kommunikationstechnologien und –protokolle im Bereich „Web Services“:
 - » Konzept der Web Dienste
 - » Architektur- und Technologiestack
 - » Hypertext Transfer Protocol (HTTP)
 - » Uniform Resource Identifier (URI) / Uniform Resource Locator (URL)
 - » SOAP
 - » Web Service Description Language (WSDL),
 - » REpresentational State Transfer (REST) als leichtgewichtigere Alternative zu SOAP
- Ausgewählte Beispiele zu den o.g. Themen / Inhalten
- ✓ Studierende lernen grundlegende Aspekte hinsichtlich von Architekturen, Technologien und Protokollen webbasierter dienstorientierter verteilter Systeme am Beispiel des Konzeptes Cloud Computing kennen.

Roadmap (Stand: 28 XII 2017)

	SL
1	Organisatorisches, Einführung
2	Systemmodelle & Architekturstile
3	Systemarchitekturen I: C/S
4	Systemarchitekturen II: P2P
5	Cloud Computing: Architekturaspekte web-basierter dienstorientierter verteilter Systeme
 	6 Netzwerke
7	Interprozesskommunikation I
8	Interprozesskommunikation II - Verteilte Objekte und entfernter / externer Aufruf
9	Synchronisation und Koordination I - Nebenläufigkeit und Threads
10	Synchronisation und Koordination II - Zeit
11	Synchronisation und Koordination III- Ausgewählte Algorithmen
12	Sicherheit und Schutz
13	Ausgewählte Themen: Globale Zustände
14	Ausgewählte Themen: tbd.
15	Prüfungsvorbereitung/Klausurtipps

Netzwerke: Ausgangspunkt

- Verteilte Systeme verwenden (immer) Netzwerke (z.B. (W)LANs, WANs, verbundene Netzwerke („Internetworks“))
- Netzwerke beeinflussen das Verhalten und den Entwurf von VS durch, Leistung, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit, Mobilität, Dienstgüte
- Wir haben einige (logische) Netzwerkstrukturen bereits kennen gelernt (vgl. Lecture Notes „Systemarchitekturen: P2P“) und wollen nun diese Sicht vertiefen und um ausgewählte Aspekte (in Ergänzung zum Modul Netzwerke) erweitern



Lernziele

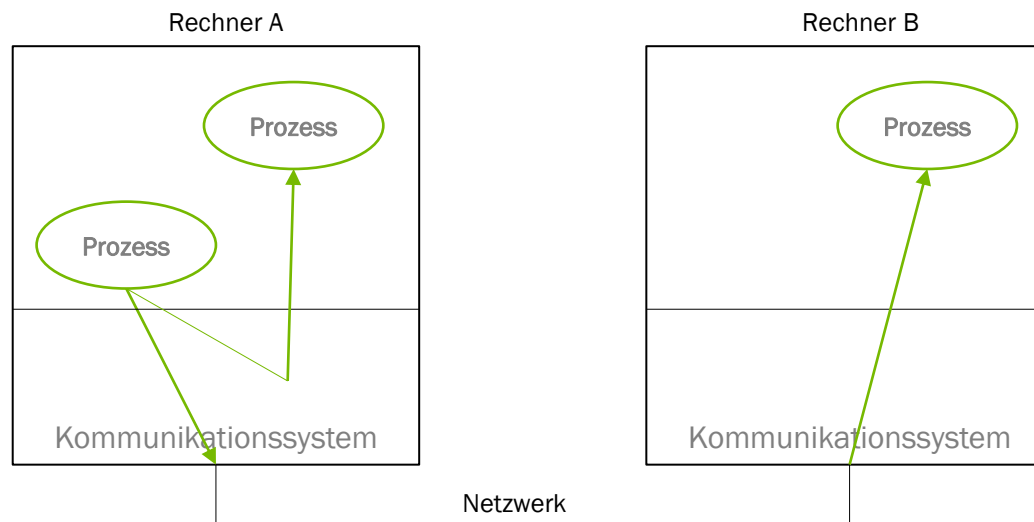
Nach dieser Lehrveranstaltung kennen Studierende idealerweise:

- Den Einfluss von Netzwerken auf das Kommunikations-Teilsystem eines verteilten Systems
 - Anforderungen an Netzwerke für verteilte Systeme
 - Unterscheidungskriterien für Netzwerke
 - Die Bedeutung von Protokollen für die Netzwerkkommunikation
 - Unterschiedliche Protokoll-Schichten des Open Systems Interconnection Reference Models (OSI)
 - Protokoll-Schichten des TCP/IP-Stacks im Kontext der OSI-Layers
 - Ausgewählte Aspekte im Zusammenhang mit Protokoll-Schichten am Beispiel TCP/IP
 - » Enkapsulation
 - » Paketübermittlung / Zerteilung von Daten in andere Protocol Data Units
 - » IP-Adressierung sowie der Unterschied zwischen IPv4 und IPv6
 - » Netzklassen und der Zusammenhang mit dem Classless Internet Domain Routing (CIDR)
 - » Router und Routing
 - Funktionsmerkmale von Routern
 - Verfahren zur Ermittlung von Routing Tabellen
 - Route discovery: dynamische Algorithmen zur Wegewahl (distance vector vs. link state)
 - Aktualisierung und Fehlerbehandlung
 - » Folgen von single bit errors bei verschiedenen Frame-Größen
 - Ausgewählte Beispiele zu den o.g. Themen
- ✓ Studierende lernen grundlegende Aspekte im Themenbereich Netzwerke kennen, da verteilte Systeme per definitionem die Existenz eines Netzwerkes voraussetzen und sich je nach Protokollfolge Implikationen für den Entwurf und die Implementierung verteilter Systeme auf verschiedenen Schichten ergeben.

Netzwerke: Grundlagen [I]

vgl. Weber [1998:21ff.]

- Aufgabe eines Netzwerkes ist die Übertragung von Informationen, Daten, Nachrichten von einem Rechner zu einem anderen
- Um die ausgetauschten Informationen verarbeiten zu können, müssen diese an einen entsprechenden Prozess gerichtet werden (Interprozesskommunikation, Vertiefung im weiteren Verlauf des Moduls)
- Soll Interprozesskommunikation lokationstransparent erfolgen, so muss sie immer über ein Kommunikationssystem abgewickelt werden, da die Aufrufe zur Kommunikation gleich sein sollen, egal ob der Empfangsprozess lokal oder auf einem anderen Rechner liegt

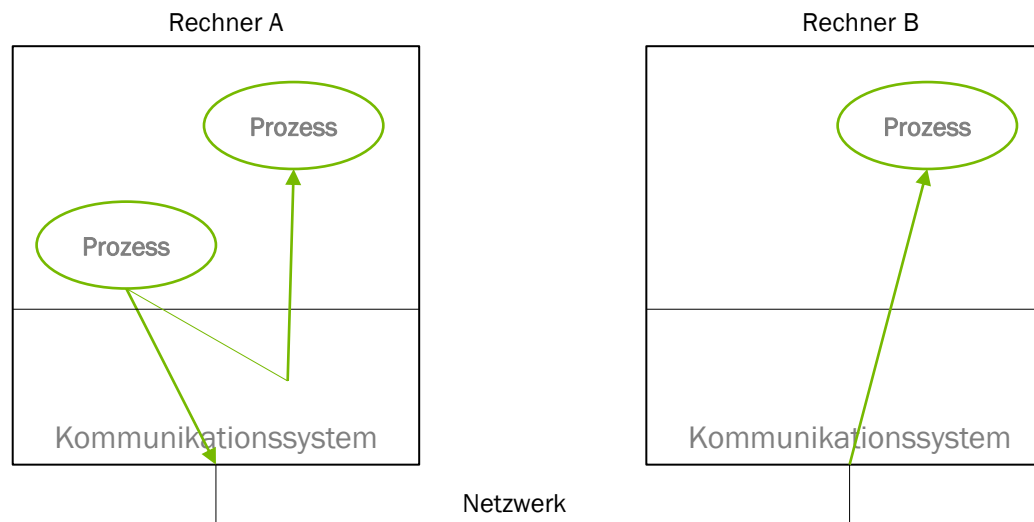


Quelle: Weber [1998:21]

Netzwerke: Grundlagen [II]

vgl. Weber [1998:21ff.]

- „Kommunikations-Teilsystem“: stellt Funktionsmerkmale für die Kommunikation eines VS bereit und setzt sich zusammen aus:
 - » Übertragungsmedien: Draht, Kabel, Fiberglas, Funk
 - » Hardwarekomponenten/Geräte: Switch, Router, Hub, Repeater
 - » Softwarekomponenten: Treiber, Protokollstapel (Kommunikationssystem)
- Begriffe:
 - » Hosts: Computer & Geräte, die ein Netzwerk zu Kommunikationszwecken nutzt
 - » Knoten: an das Netzwerk angeschlossene(r) Computer
- Netzwerktechnologien beeinflussen das „Kommunikations-Teilsystem“

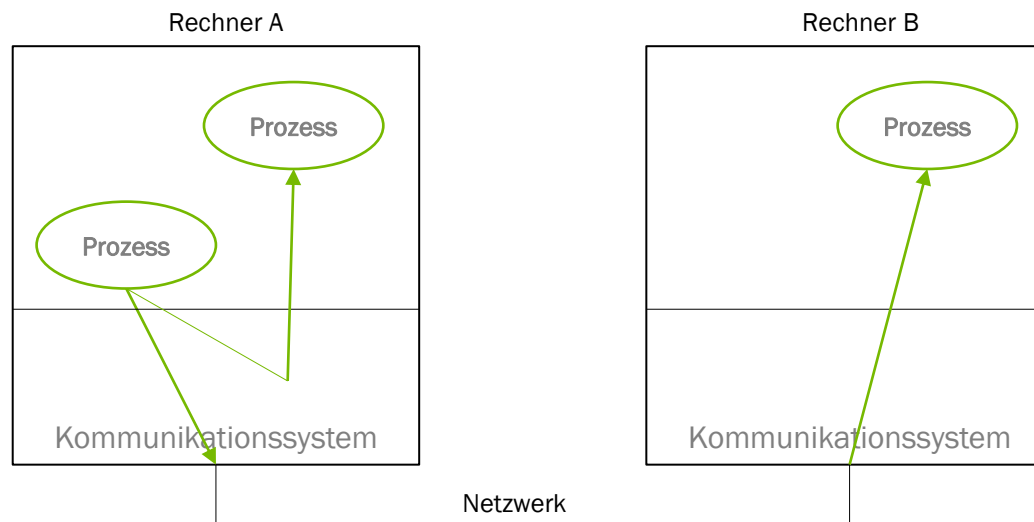


Quelle: Weber [1998:21]

Netzwerke: Grundlagen [III]

vgl. Weber [1998:21ff.]

- Je nach Einsatzbereich können Netzwerke mehr oder weniger komplex aufgebaut sein (z.B.: Vernetzung innerhalb eines Raumes vs. interkontinentale Vernetzung)
- Die meisten Netze übertragen Daten bit-seriell
- Innerhalb eines Computers werden Daten wort-parallel zwischen Subsystemen bewegt.
- Folge: es besteht bedarf an einer parallel-zu seriell Konversion vor dem Abschicken der Daten sowie einer seriell-zu-parallel Konversion nach dem Empfang.



Quelle: Weber [1998:21]

Anforderungen an Netzwerke für verteilte Systeme [I]

vgl. Weber [1998:22ff.], Coulouris et al. [2002:90ff.]

- Skalierbarkeit
- Sicherheit (vgl. Lecture Notes „Sicherheit“)
- Zuverlässigkeit
- Dienstgüte (Quality of Service) (oft auch „Leistung“):
 - » Latenzzeit [s], engl. „latency“, „delay“: Die Zeit (Verzögerung), die eine leere Nachricht, d.h. eine Nachricht ohne Nutzinformation, vom Sendeprozess durch die Kommunikationsschichten und das Netzwerk bis zum Empfangsprozess braucht.
 - » Datentransferrate [(bit)/s], engl. „transfer rate“: Anzahl der Bits, die maximal zwischen zwei Prozessen pro Sekunde übertragen werden kann.
 - » Nachrichtentransferzeit [s]: (Latenzzeit + Nachrichtenlänge)/Datentransferrate
 - » Durchsatz [(bit)/s]: Anzahl übertragener Bits pro Sekunde über eine gewisse zeitliche Dauer (Betrachtung aller Prozesskommunikationen zusammen)
 - » Bandbreite [(bit/s)]: Die physikalische obere Schranke des Durchsatzes, d.h. das Gesamtvolumen, das durch ein Netzwerk übertragen werden kann.

Anforderungen an Netzwerke für verteilte Systeme [II]

vgl. Weber [1998:22ff.], Coulouris et al. [2002:90ff.]

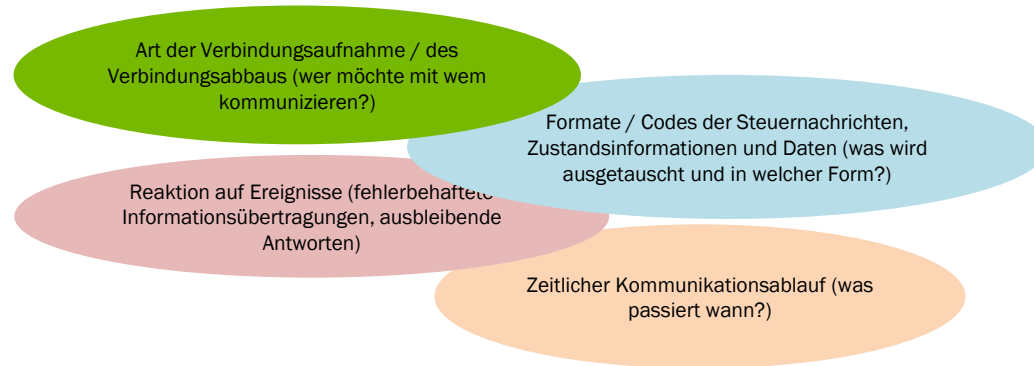
- Dienstgüte (Quality of Service) (oft auch „Leistung“):
// Bei Übertragung kontinuierlicher Daten (z.B. direkt abzuspielende Audio- und Videodateien):
 - » Verzögerung [s]: Zeit zwischen dem Abschicken und der Ankunft einer Nachricht
 - » Jitter [s]: Varianz der Verzögerung
- Fehlerkontrolle: Instanz, welche zum einen Fehler erkennen kann (Fehlererkennung), zum anderen Fehler durch redundante Datenübertragung möglicherweise beheben kann (Fehlerkorrektur)
- Flußkontrolle: Geschwindigkeit, mit welcher der Sender mit Empfänger kommuniziert, muss eventuell angeglichen werden (z.B. durch Puffer)
- ✓ Bei größeren Netzen mit verschiedenen möglichen Wegen von Prozess A zu Prozess B spielt die Wegeführung (Routing, vgl. ff.) eine wichtige Rolle bezüglich der Zuverlässigkeit, aber auch bezüglich der Dienstgüte.

Netzwerke: Unterscheidungskriterien

- Nach Vermittlungsschemata (bei paketvermittelten Netzen wie bspw. Internet) auf Schicht 2 im OSI-Modell (vgl. ff.)
 - » Pakete werden vom Sendeknoten über Vermittlungsknoten zum Zielknoten weitergereicht
 - » Schnelle Zwischenspeicherung in den Vermittlungsknoten sowie Weiterreichung suggeriert unmittelbaren Datenfluss
 - » Verbindungslose Paketvermittlung:
 - Paket beinhaltet Zieladresse, Quelladresse, Port-Nr., Sequenznr.
 - Keine genaue Pfadangabe notwendig
 - Beispiele: Ethernet, Internet Protocol (IP), User Datagram Protocol (UDP)
 - » Verbindungsorientierte:
 - Verbindungs-ID statt Adressinformation (virtuelle Leitungsverbindung bleibt für alle Pakete gleich)
 - Beispiele: X.25, Frame Relay, Asynchronous Transfer Mode (ATM)
- Nach Topologie: Struktur der Verbindungen zwischen Geräten (vgl. Appendix)
 - » Physikalisch: Aufbau der Verkabelung (Infrastruktur)
 - » Logisch: Datenfluss zwischen Endgeräten (Regeln)
 - » Typen: Bus, Stern, Ring, ...
- Größe / Ausdehnung (vgl. Appendix): bei steigender Größe werden viele Topologien genutzt (z.B.: Local Area Networks (LANs), Metropolitan Area Networks (MANs), Wide Area Networks (WANs), Wireless Networks (Funknetzwerke))

Protokolle

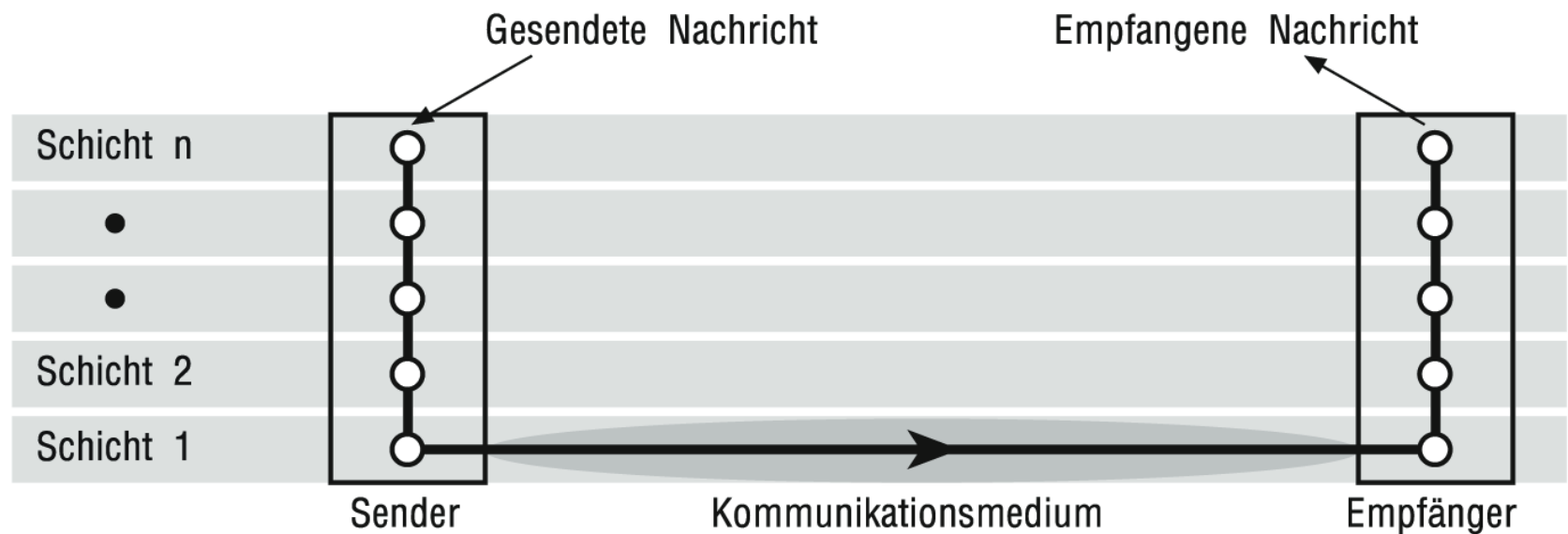
Was regeln Sie?



- Bekannte Menge aus Regeln und Formaten, die für die Kommunikation zwischen Prozessen benutzt werden, um eine bestimmte Aufgabe zu erledigen
 - » Spezifikation der Reihenfolge des Nachrichtenaustauschs
 - » Spezifikation des Datenformats in den Nachrichten
- Gesamtheit aller syntaktischen und semantischen Festlegungen für den Informationsaustausch zwischen Kommunikationspartnern (Steuerungsvorschrift)
- Implementierung von Protokollen erfolgt durch Softwaremodule für den Sender und den Empfänger (z.B. Transportprotokoll)

Protokollschichten

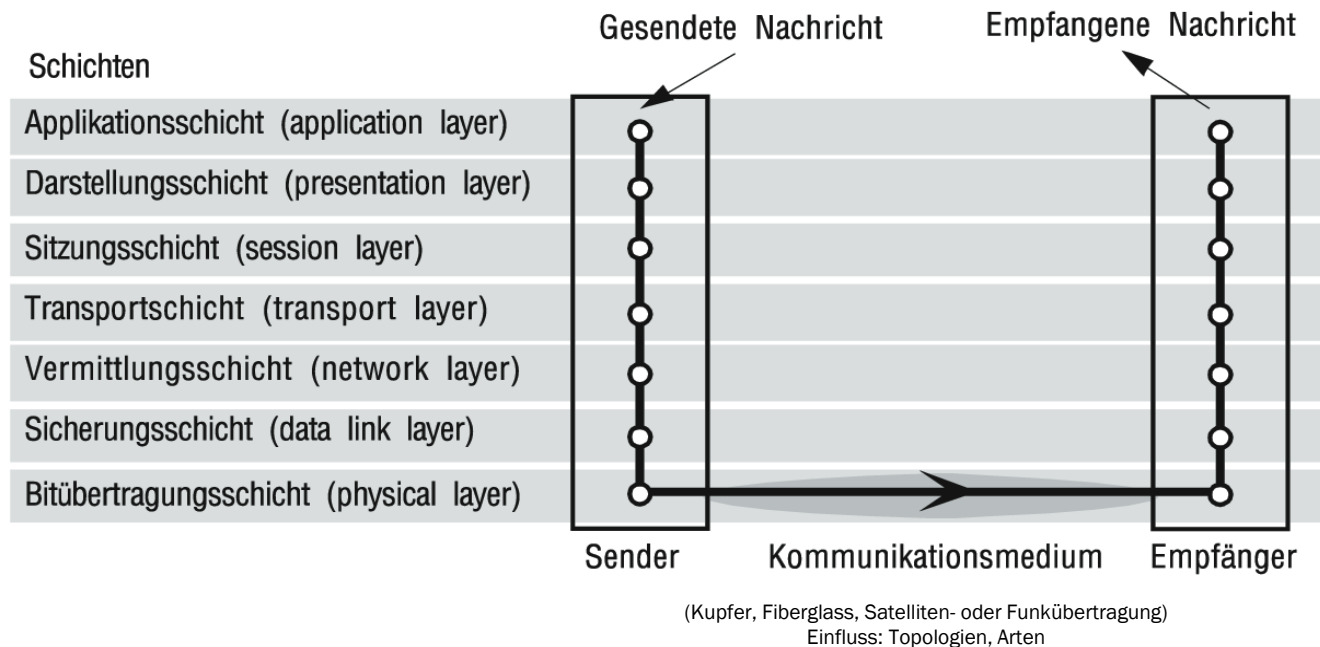
- ✓ Kommunikation wird aufgeteilt
- ✓ Module = Schichten:
 - ✓ Jede Schicht erweitert das zugrunde liegende Kommunikationssystem
 - ✓ Module über Schicht 1 kommunizieren nicht auf gleicher Ebene zwischen Sender und Empfänger, sondern mit darüber oder darunter befindlichen Modulen/Schichten



Quelle: Coulouris et al. [2002:101]

Protokollfolgen

- Vollständige Menge von Protokollschichten
- Orientierung am Sieben-Schichten-Referenzmodell der Open Systems Interconnection (OSI), vgl. f.
 - » Übernommen durch International Standards Organization (ISO)
 - » Abweichungen sind möglich (Konformität mit Modell bei mindestens einer übernommenen OSI-Schicht)



Quelle: Coulouris et al. [2002:103]

Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model: Schichten [I]

OSI-Schicht (Layer)	Beschreibung der Aufgaben
7. Anwendungen (Application)	<ul style="list-style-type: none"> - Bereitstellen von Anwendungsdiensten durch Schnittstelle zu einem Dienst (z.B. E-Mail)
6. Darstellung (Presentation)	<ul style="list-style-type: none"> - Erhaltung der Bedeutung übermittelter Datenstrukturen (Datenformate, Darstellungs- und Verschlüsselungsinformationen)
5. Sitzung (Session)	<ul style="list-style-type: none"> - Realisierung und Gewährleistung von Zuverlässigkeit der Verbindungen (z.B. Fehlererkennung, automatische Wiederherstellung)
4. Transport	<ul style="list-style-type: none"> - Steuerung/Überwachung des korrekten Versandes von Nachrichten (Ende-zu-Ende Transportsteuerung): <ul style="list-style-type: none"> - Verbindungsorientiert - Verbindungslos - Schaffung von Paaren von Netzwerk-Ports - Fehlerbehandlung und Empfangsbestätigung
3. Vermittlung / Netzschicht (Network)	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung von Datenpaketen - Bereitstellung von Netzadressen (Adressinformationen) - Identifikation von Empfangsnetz/-station - Erstellung der Route
2. Sicherung/Leitungsschicht (Data Link)	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragungssteuerung / Fehlerbehandlung der Pakete auf Übermittlungsabschnitten <ul style="list-style-type: none"> - Zwischen Knoten/Router-Paaren - Zwischen Knoten /Routern und Hosts
1. Bitübertragung (Physical Layer)	<ul style="list-style-type: none"> - Physikalische Verbindungen zwischen Hardware zur Übermittlung von Bitströmen/binärer Daten durch analoge Signale (elektrisch, Licht, elektromagnetisch)

Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model: Schichten [II]

OSI	Layer	Beschreibung der Aufgaben	Devices	Protocol Data Unit (PDU)	Address-Typ
7. Anwendungen	Application	Bereitstellen von Anwendungsdiensten durch Schnittstelle zu einem Dienst (z.B. E-Mail)		Data	URL
6. Darstellung	Presentation	Erhaltung der Bedeutung übermittelter Datenstrukturen (Datenformate, Darstellungs- und Verschlüsselungsinformationen)		Data	
5. Sitzung	Session	Realisierung und Gewährleistung von Zuverlässigkeit der Verbindungen (z.B. Fehlererkennung, automatische Wiederherstellung)		Data	
4. Transport	Transport	Steuerung/Überwachung des korrekten Versandes von Nachrichten (Ende-zu-Ende Transportsteuerung): 1. Verbindungsorientiert 2. Verbindungslos - Schaffung von Paaren von Netzwerk-Ports - Fehlerbehandlung und Empfangsbestätigung		Segment	Port
3. Vermittlung	Network	<ul style="list-style-type: none"> - Übertragung von Datenpaketen - Bereitstellung von Netzadressen (Adressinformationen) - Identifikation von Empfangsnetz/-station - Erstellung der Route 	Router	Paket	IP (logisch)
2. Sicherung	Data link	Übertragungssteuerung / Fehlerbehandlung der Pakete auf Übermittlungsabschnitten <ul style="list-style-type: none"> - Zwischen Knoten/Router-Paaren - Zwischen Knoten /Routern und Hosts 	Switch, Bridge, Network adapter	Frame	Media Access Control (physisch)
1. Bitübertragung	Physical	Physikalische Verbindungen zwischen Hardware zur Übermittlung von Bitströmen/binärer Daten durch analoge Signale (elektrisch, Licht, elektromagnetisch)	Hub, Repeater, Network Adapter, line driver, wireless access point	Bit-Stream	

Bildquelle: eigene Darstellung i. A. an Anthony [2016:252]

Komponenten zum Verbund/zur Kopplung von Netzen

Komponente	Beschreibung	OSI-Schicht
Gateway	Verbindung zwischen (inkompatiblen) heterogenen Netzen (Adressierungsart, Protokoll)	4-7
Router	<ul style="list-style-type: none"> - Gerät, welches: <ul style="list-style-type: none"> - Getrennte Netzwerke koppelt/Große Netze in Subnetze aufteilen kann - Für die korrekte Weiterleitung von Paketen verantwortlich ist (Hauptfunktion: Wegefindung) - Ermöglicht Verbindung von LANs unterschiedlicher Topologien auf Schicht 1/2 	3 (IP-Adressierung)
Bridge	<ul style="list-style-type: none"> - Verbindungselement <ul style="list-style-type: none"> - eines logischen, aber physikalisch in Segmente aufgeteilten Netzwerkes - Zweier LANs (Subnetze) - Ermöglicht <ul style="list-style-type: none"> - Erkennung von fehlerhaften Segmenten/Teilnetzen - Nachrichtenübermittlung innerhalb eines Segments - Aber: kein Broadcast in Teilnetze, sondern an alle 	2 (MAC-Adressierung)
Switch	<ul style="list-style-type: none"> - Weiterentwicklung einer Bridge (effizienterer „Hub-Router“) - Leitet Pakete zum korrekten Ziel (Computer oder Teilnetz) - Gleichzeitiges Senden und Empfangen 	
Hub	<ul style="list-style-type: none"> - Zentrum der Informationsübertragung in physikalischen Stern-Netzwerken (logische Bus-Netze) - Sendet Informationen an alle im Netzwerk angeschlossenen Computer - Kann Quelle/Ziel nicht identifizieren - Interner Bus: Verbindungen zwischen Ports des Hubs (Backplane) - Aktiver Hub: fungiert zusätzlich als Repeater 	1 (vollkommen transparent -> angeschlossene Geräte, Programme wissen nicht um Existenz des Hubs/Repeaters)
Repeater	<ul style="list-style-type: none"> - Aktive Netzwerkkomponente mit Regenerierungsfunktion (Signalverstärkung) - Kann nur zwischen Netzen gleicher logischer Topologie vermitteln (Ethernet vs. Token Ring geht nicht) 	

Beispiel: TCP/IP-Protokollfolge (Stack) [I]

OSI	Layer	PDU	Address-Typ	TCP/IP Stapel	Beispiele (Dienste, Protokolle)
7. Anwendungen	Application	Data	URL	Anwendungen	HTTP, FTP, SMTP, RPC, RMI
6. Darstellung	Presentation	Data			
5. Sitzung	Session	Data			
4. Transport	Transport	Segment	Port	Transport	TCP, UDP
3. Vermittlung	Network	Paket	IP (logisch)	Internet	IP (IPv4, Ipv6)
2. Sicherung	Data link	Frame	Media Access Control (physisch)	Netzzugang	Ethernet, Fiber Distributed Data Interface (FDDI), Token Ring...
1. Bitübertragung	Physical	Bit-Stream			

Quelle: eigene Darstellung i. A. an Anthony [2016:252]

TCP/IP layer #	TCP/IP layer name	OSI layer equivalents	Protocol Data Unit	Example protocols
4	Application	Application	Message / data	FTP, Telnet, SMTP, NTP, HTTP, RPC, RMI, DNS, NFS, SNMP, SMTP, SSH
		Presentation		
		Session		
3	Transport	Transport	Segment	TCP, UDP
2	Internet	Network	Packet	IP, ICMP
1	Link	Data link	Frame	Ethernet, IEEE 802.11
		Physical	Bits transmitted on medium	100BASE-TX, OC-48, OC-192

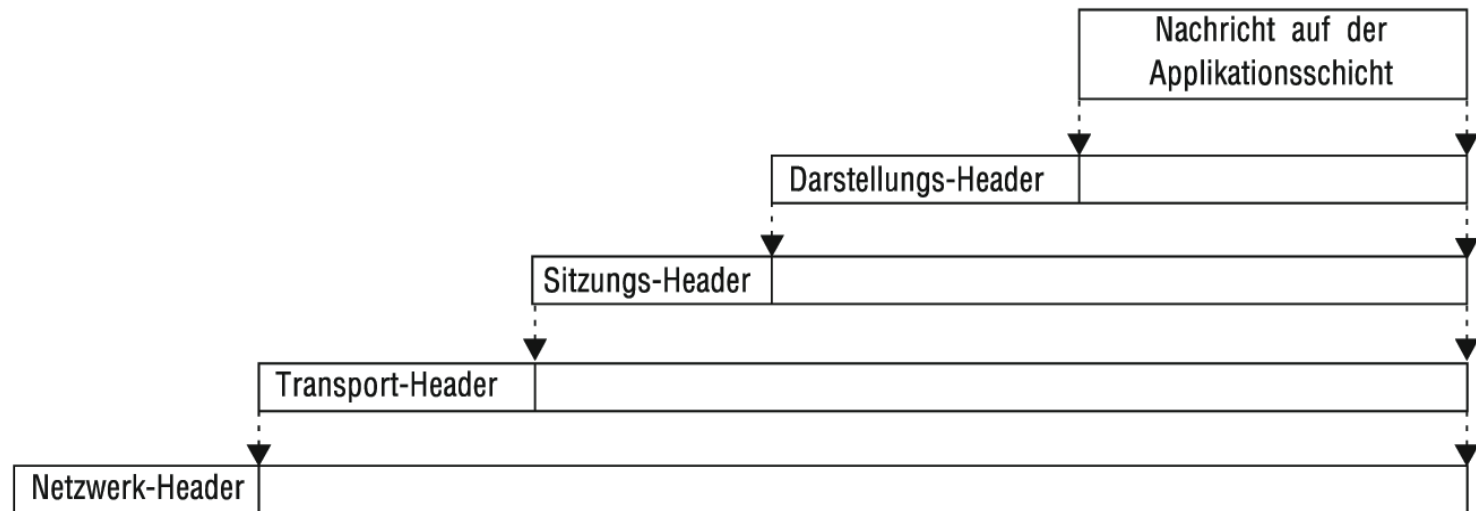
Quelle: Anthony [2016:132]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Anwendung“ (OSI-Layer 5-7)

Enkapsulation [I]

vgl. Anthony [2016:130ff.]

- ✓ Bezeichnet die Einbettung einer Protocol Data Unit (PDU) auf einer Protokollschicht in eine darunter liegende Schicht, so dass die Daten der oberen Schicht als Nutzlast (engl. „payload“) in der unteren enthalten sind
- ✓ Beispiel: FTP-Enkapsulation von oberster zur untersten Schicht beim File Transfer Protocol (FTP, Details zu Hypertext Transfer Protocol (HTTP) vgl. lecture Notes „Cloud Computing“):



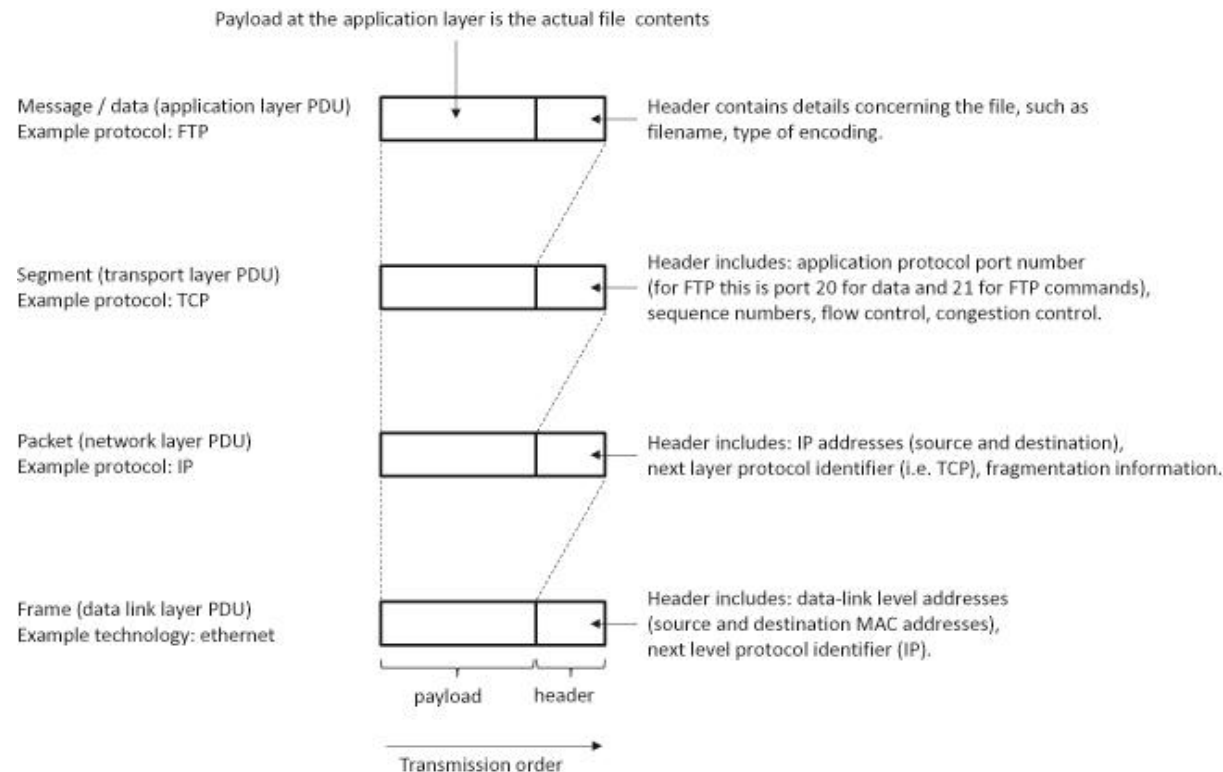
Quelle: Coulouris et al. [2002:101]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Anwendung“ (OSI-Layer 5-7)

Enkapsulation [II]

vgl. Anthony [2016:130ff.]

- ✓ Bezeichnet die Einbettung einer Protocol Data Unit (PDU) auf einer Protokollschicht in eine darunter liegende Schicht, so dass die Daten der oberen Schicht als Nutzlast (engl. „payload“) in der unteren enthalten sind
- ✓ Beispiel: FTP-Enkapsulation von oberster zur untersten Schicht beim File Transfer Protocol (FTP, Details zu Hypertext Transfer Protocol (HTTP) vgl. lecture Notes „Cloud Computing“):



Quelle: Anthony [2016:130]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Transport“ (OSI-Layer 4)

- „Zerteilung“ der PDUs erfolgt auf der Transportschicht:
 - Wenn die Größe der Nachricht auf der Applikationsschicht \geq maximale Paketgröße (Maximum Transfer Unit (MTU)) des zu Grunde liegenden Netzwerks
 - Erfordert Folgenummern zur korrekten Zusammensetzung beim Empfänger
 - Beispiel: MTU Ethernet = 1.500 Byte
- Protokolle TCP / UDP auf Transportschicht ermöglichen Interprozesskommunikation (vgl. Lecture Notes) mittels Port-Addressierung:
 - Transmission Control Protocol (TCP): verbindungsorientiert
 - User Datagram Protocol (UDP): Übertragung von Dateneinheiten/Datagrammen
- Kombinationen mit Protokollen auf Anwendungsschicht sind möglich
- Kombination mit Internetschicht (Internet Protocol (IP)) ermöglicht Transparenz der Übertragungsmedien (link, Netzzugang)

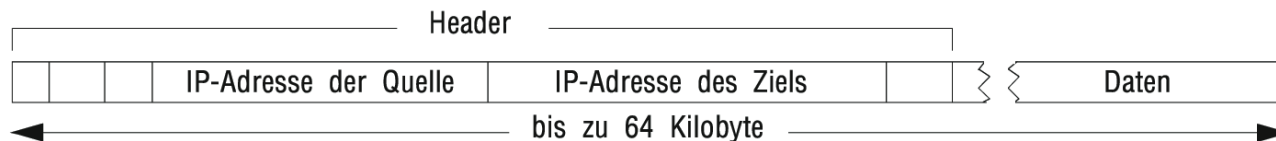
SMTP	HTTP	FTP	Telnet	SNMP	TFTP	BOOTP	NFS
Transport Control Protocol (TCP)				User Datagram Protocol (UDP)			
Internet Protocol (IP)							
Link							

Quelle: Anthony [2016:133]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Paketübermittlung

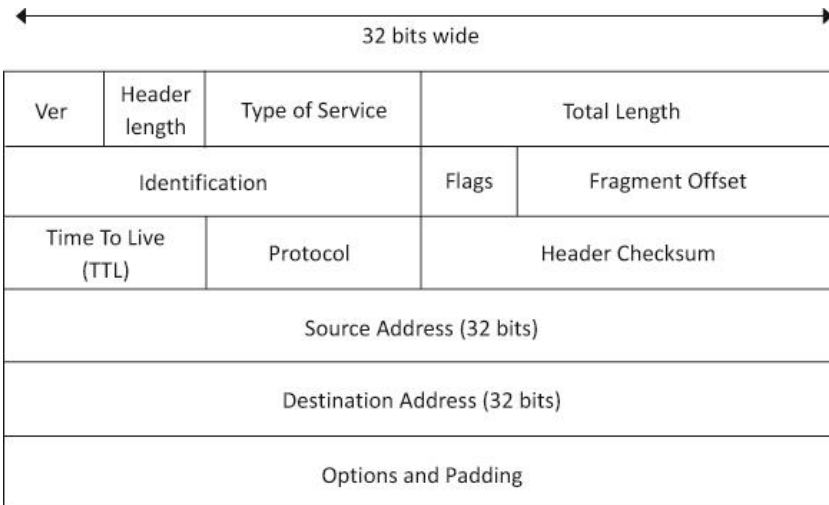
- Ausgangspunkt: IP überträgt als Protocol Data Unit (PDU) Datagramme/Pakete von einem Host zum anderen
- Paket = Bestandteil einer Nachricht
 - » Abfolge von binären Daten begrenzter Länge +
 - » Adressinformationen: Adresse der Quelle, Adresse des Ziels
- Warum Pakete und nicht die ganze Nachricht?
 - » Vermeidung von Verzögerungen
 - » Effiziente Reservierung von Pufferspeicherkapazität der Computer im Netzwerk
 - » Ermöglichung asynchroner Kommunikation: Verwendung einer Kommunikationsverbindung zur Versendung von Paketen mit verschiedenen Adressen
- Übertragung von Datenpaketen am Beispiel Internet Protocol (IP, vgl. ff.):
 - » Grundprinzipien: IP-Adressierung, Netzklassen, IPv4 vs. IPv6
 - » Erstellung der Route: Routing-Verfahren, Routing-Strategien, Routing-Algorithmen



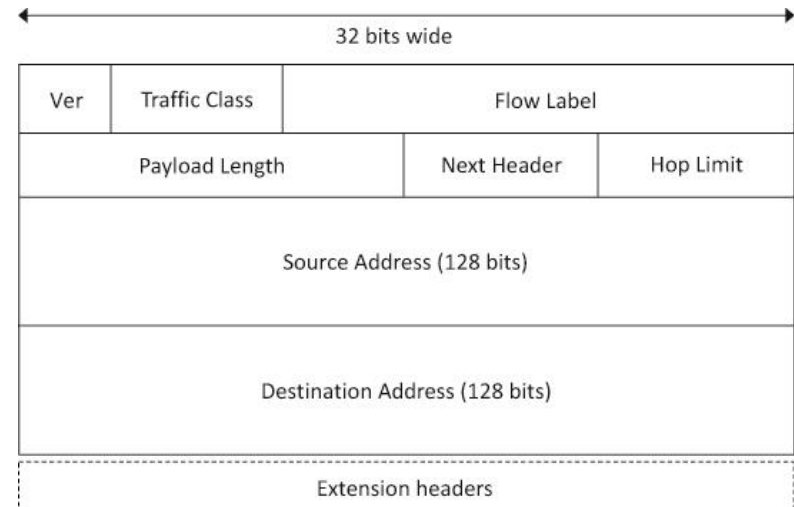
Quelle: Coulouris et al. [2002:123]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Beispiel: IP-Header (IPv4 vs IPv6)



Quelle: Anthony [2016:135]



Quelle: Anthony [2016:136]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

IP-Adressierung

- Schema
 - » zur eindeutigen Benennung und Adressierung von Hosts (Stationen in Netzwerk)
 - » zum Routing von IP-Paketen an ihre Ziele
- Jeder Host besitzt eine eindeutig identifizierbare IP-Adresse
 - » 32 Bit (4 Byte/Oktette) langer numerischer Bezeichner
 - » Enthält
 - Netzwerk-ID (Teilnetz, Domäne): wird durch Network Information Center (NIC) zugeteilt
 - Host-ID (Host = Rechnersystem, auf dem sich der Nutzer (Client) eines Internet-Dienstes befindet)
- Konzepte:
 - » Netzklassen
 - » Classless Inter-Domain Routing (CIDR)

	Beispiel 1	Beispiel 2
IP-Adresse	137.138.144.16	137.138.144.16
Subnetz	255.255.255.0	255.255.0.0
Netz-ID	137.138.144	137.138
Host-ID	16	144.16

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Beispiel: Aufbau IPv4-Adresse mit 4 Oktetten (32 Bit)

■ Oktett

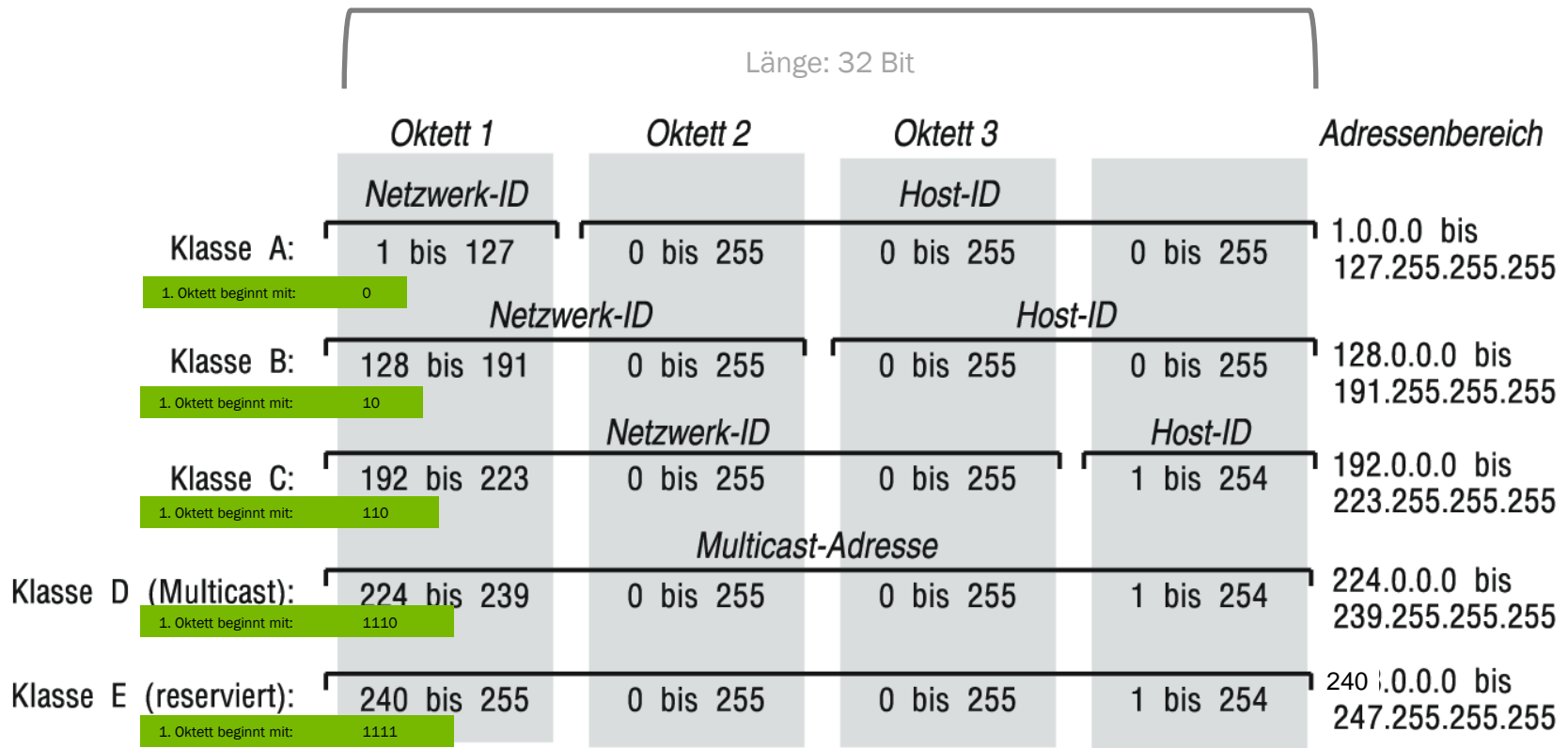
	Oktett = Folge von 8 Bit (1 Byte)							
Wert	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰
	128	64	32	16	8	4	2	1
Bit	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Binäre / Duale Repräsentation: Bsp.: 127 (Class A)	0	1	1	1	1	1	1	1
Binäre / Duale Repräsentation: Bsp.: 137 (Class B)	1	0	0	0	1	0	0	1

■ IP-Adresse (IPv4)

	Beispiel (Klasse C)	Beispiel (Klasse B)
IP-Adresse	<div>Oktett</div> 137.138.144.16	137.138.144.16
Subnetz	<div>Subnetz: gibt an, wie viele Oktette die Netz-ID beschreiben (hier: 3)</div> 255.255.255.0	255.255.0.0
Netz-ID	137.138.144	137.138
Host-ID	16	144.16

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Netzklassen



Quelle: Coulouris et al. [2002:122]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Herausforderungen

- Matching von öffentlichen/zugeteilten Adressen und privat vergebenen Adressen (z.B. in LANs (private Class C-Netze): 192.168.x.x)
 - ✓ Lösungsansätze: Network Address Translation (NAT),...
- Dynamische Verwaltung von IP-Adressen in Netzwerken
 - ✓ Lösungsansätze: Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)
- Hohe Nachfrage nach Klasse B-Netzen (max. Anzahl Stationen: 65.534)
 - Netze der Klasse A sind zu groß (max. Anzahl Stationen: 16.777.214)
 - Netze der Klasse C sind zu klein (max. Anzahl Stationen: 254)
 - ✓ Konsequenz: Verschwendung von nicht genutzten Adressblöcken bei blockweiser Vergabe von Netzen der Klasse B
 - ✓ Lösungsansätze: Classless Internet Domain Routing (CIDR, vgl. f.)
- Begrenzung des IPv4-Adressraums (maximal 4.294.967.296 eindeutige Adressen) bei kontinuierlich steigender Notwendigkeit der Reservierung/Nutzung vieler IP-Adressen für Endgeräte durch
 - » Kontinuierlich steigende Anzahl an Endgeräten/Netzwerken
 - » Mobilität: Computer, die an mehrere Netzwerke angeschlossen sind und zwischen diesen wechseln, wechseln auch die IP-Adresse
 - ✓ Lösungsansätze: IPv6 (vgl. ff.)

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Classless Internet Domain Routing (CIDR)

- Seit 1993: effizientere Ausnutzung von Subnetzen (Fokus: Nutzung mehrerer Klasse C-Netze)
- Neue Notation:
„Prefix/Adresse des Netzes (4-Oktett-IPv4-Adresse)“ + „/“ + „Suffix (Netzmaske: 0-32)“
- Beispiel (Notation):
 - » Traditionell (Dotted Decimal): 193.17.232.0/255.255.0.0
 - » Binär/Dual: 11000001.00010001.11101000.00000000/11111111.11111111.00000000.00000000
 - » CIDR: 193.17.232.0/16

Address (Host or Network)	Netmask (i.e. 24)	Netmask for sub/supernet (optional)
<input type="text" value="193.17.232.0"/>	<input type="text" value="16"/>	move to: <input type="text"/>
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Help"/>		

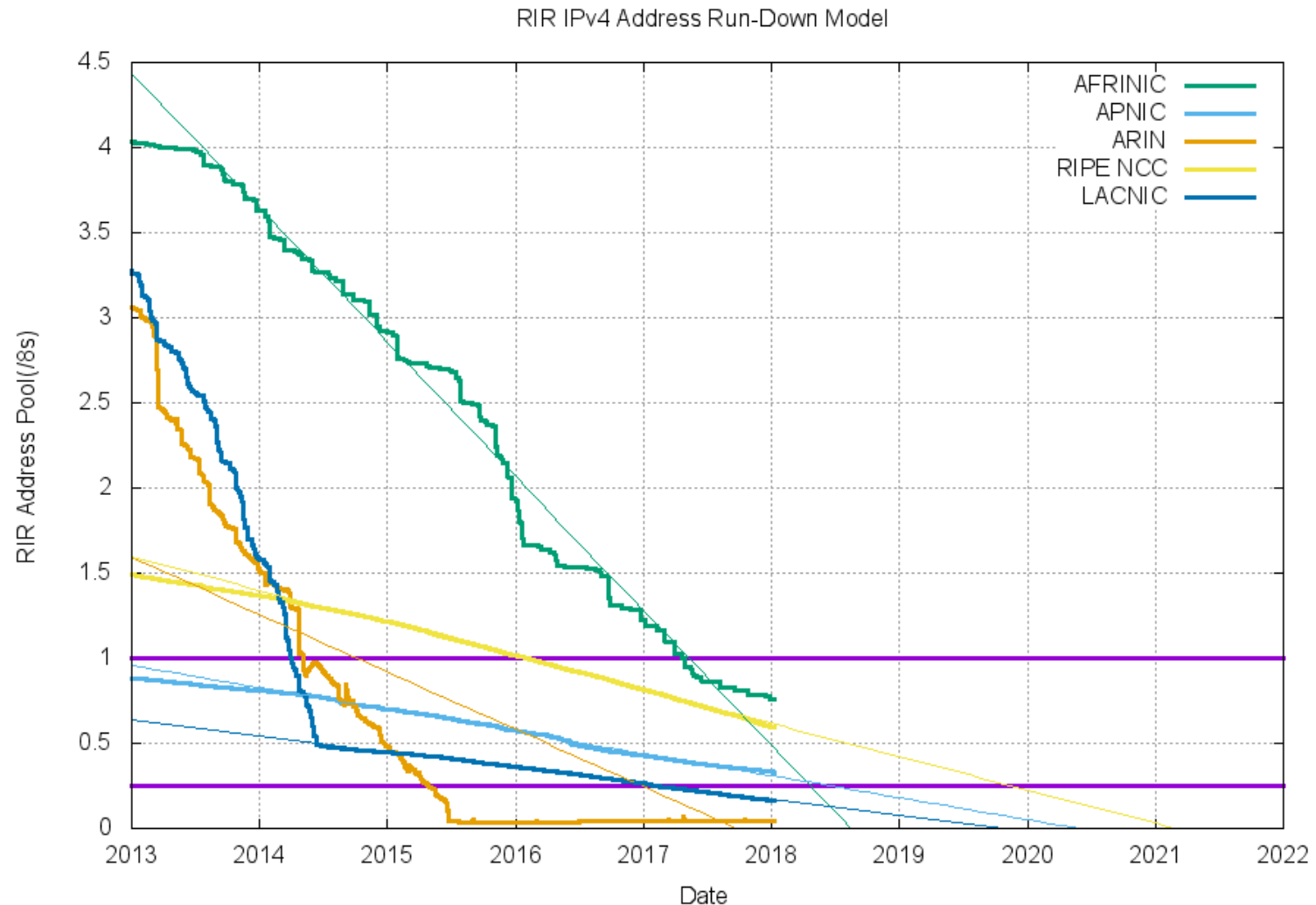
Address:	193.17.232.0	11000001.00010001	.11101000.00000000
Netmask:	255.255.0.0 = 16	11111111.11111111	.00000000.00000000
Wildcard:	0.0.255.255	00000000.00000000	.11111111.11111111
=>			
Network:	193.17.0.0/16	11000001.00010001	.00000000.00000000 (Class C)
Broadcast:	193.17.255.255	11000001.00010001	.11111111.11111111
HostMin:	193.17.0.1	11000001.00010001	.00000000.00000001
HostMax:	193.17.255.254	11000001.00010001	.11111111.11111110
Hosts/Net:	65534		

Suffix: Wie viele der ersten Bits sind signifikant zur Erkennung des Netzes, d.h. gleich „1“ ?

Quelle: <http://jodies.de/ipcalc?host=193.17.232.0&mask1=16&mask2=> [last accessed: 12 X 2012]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

IP Address Consumption (IPv4)



Quelle: <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/plotend.png> [last accessed: 10 | 18]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

IPv4 vs. IPv6

IPv4

- Adressgröße: 32 Bit (4 Oktette)
- Adressraum: 2³² Adressen
- CIDR-Notation (dezimal):
„Prefix/Adresse des Netzes (4-Oktett-IPv4-Adresse)“ + „/“ + „Suffix (Netzmaske: 0-32)“



IPv6

- Adressgröße: 128 Bit (16 Oktette)
- Erweiterung des Adressraums auf 2¹²⁸ Adressen (Prognose: NAT/DHCP werden obsolet)
- Notation:
 - » Hexadezimal
 - » Zusammenfassung von zwei Oktetten (16 Bits, entsprechen 4 Hexadezimalstellen)
 - » Trennung der Blöcke durch Doppelpunkt
- CIDR-Notation (hexadezimal):
„Prefix/Adresse des Netzes (8 Hexadezimal-Blöcke (16-Oktett)-IPv6-Adresse)“ + „/“ + „Suffix (Netzmaske: 0-128)“

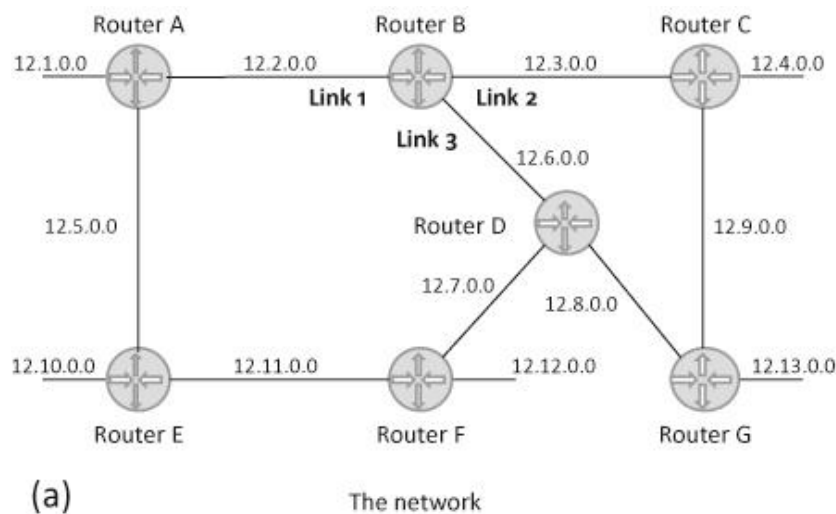


2001 : 4860 : 0000 : 2001 : 0000 : 0000 : 0000 : 0068

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

IP Routing

- Vor 1993 konnte aus einer IP-Adresse kein Standort abgeleitet werden
- Probleme von Routing Information Protocol (RIP-1 und RIP-2): Nicht alle Router können vollständige Routing-Tabellen verwalten, um alle Ziele im Internet erfassen zu können
- Lösungsansätze:
 - » Aufteilung des Adressraums nach Topologien und geografischen Bereichen (z.B. nutzen Gateway-Router Standardroute/Eintrag für den nächsten Router am Backbone des Zielbereichs)
 - » Parallele Reduzierung der Größe von Routing-Tabellen: Classless Interdomain Routing (CIDR)



Destination network	Outgoing link	Distance (hops)
12.1.0.0	1	1
12.2.0.0	1	0
12.3.0.0	2	0
12.4.0.0	2	1
12.5.0.0	1	1
12.6.0.0	3	0
12.7.0.0	3	1
12.8.0.0	3	1
12.9.0.0	2	1
12.10.0.0	1	2
12.11.0.0	1	2
12.12.0.0	3	2
12.13.0.0	2	2

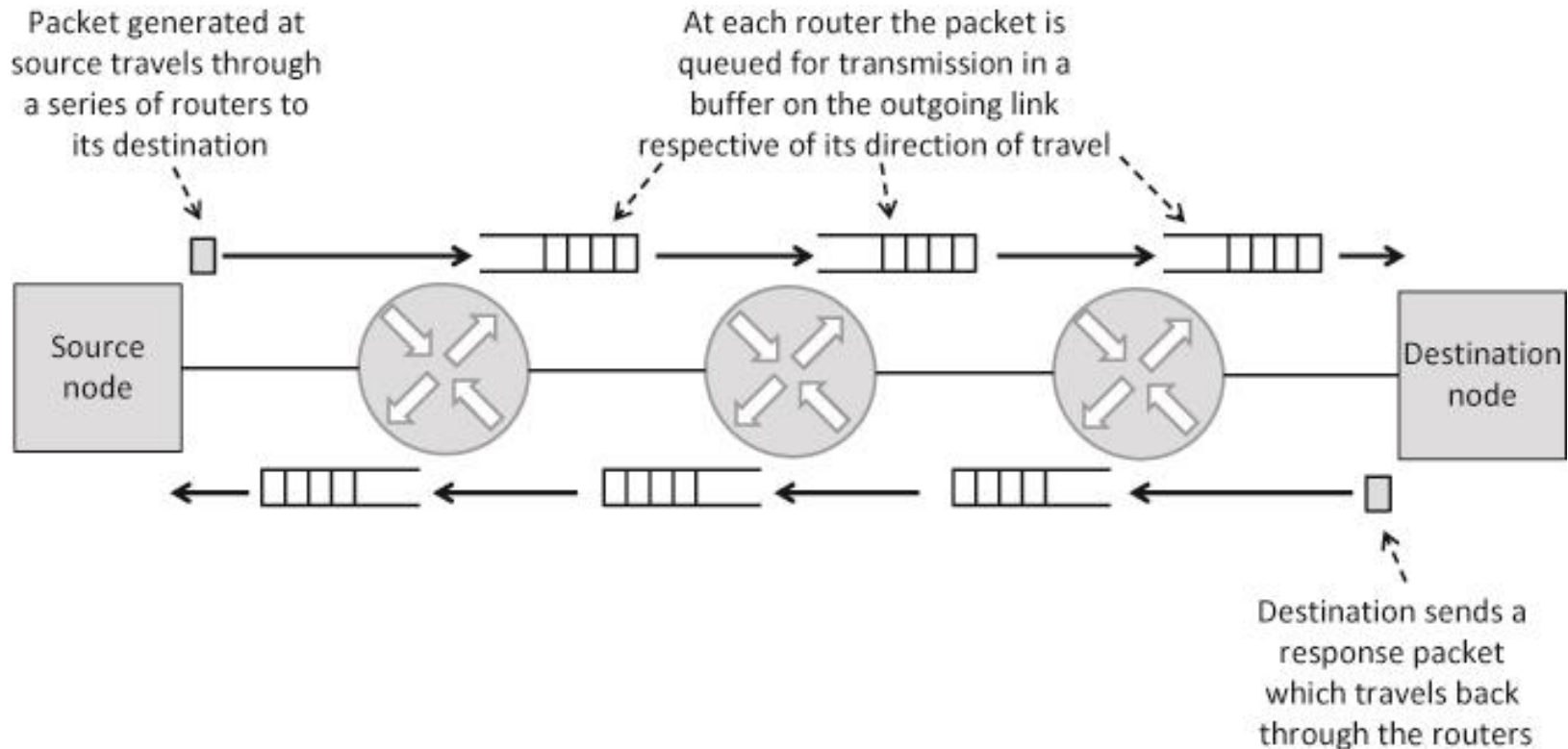
(b) Routing table for Router B (assumes distance vector routing)

Bildquelle: Anthony [2016:254]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Route = Sequenz von Warteschlangen

vgl. Anthony [2016:254ff.]



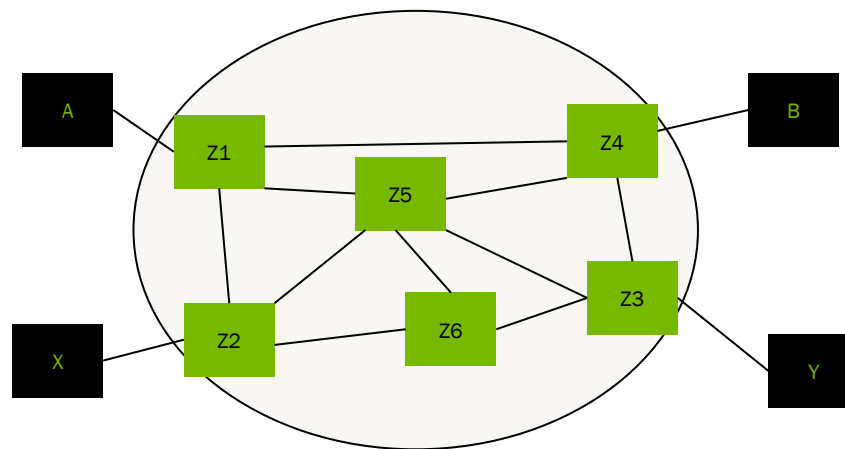
Quelle: Anthony [2016:256]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Router

Funktionsmerkmale eines Routers Z_i in einem Netzwerk:

- Routing: Aufstellen der Routing-Tabelle (Determiniert durch Verfahren, Strategie, Algorithmus)
- Route discovery: Wegewahl von Quelle zum Ziel, d.h. Router extrahiert Zieladresse aus Paket & sucht in Routing-Tabelle nach zugeordnetem Zwischensystem/Ziel
- Forwarding: Weitergabe von Paketen (Anwendung einer Routing-Tabelle auf ein Paket)



Quelle: i.A. an Stein [2004:107]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Routing: Verfahren zur Ermittlung der Routing-Tabelle

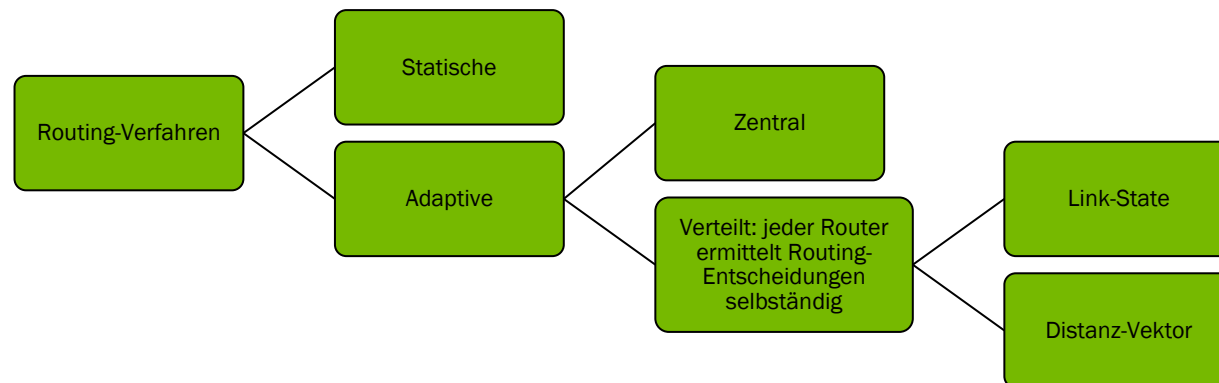
- Flooding
 - » Isoliertes Verfahren: Jeder Knoten verwendet nur die ihm verfügbare lokale Information (z.B.: Zustand eines Nachbarn, Länge der Warteschlange für ausgehende Datenpakete)
 - » Jedes Paket wird an alle Nachbarknoten weitergegeben (Ausnahme: sendender Knoten)
 - » Vorteil: Robustheit/Ausfallsicherheit
 - » Nachteil: Hohe Netzlast, Duplikate (Eindämmung durch dekrementieren eines voreingestellten Zählwerts (hop count, Time-To-Live (TTL))
- Hot-Potato: Jedes Datenpaket wird in die am geringsten ausgelastete ausgehende Verbindung/Warteschlange gelegt
- P2P: Flooding, Distributed Hash Tables (vgl. Lecture Notes „Systemarchitekturen: P2P“)

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Route discovery: Verfahren zur Wegewahl

Routing-Algorithmus:

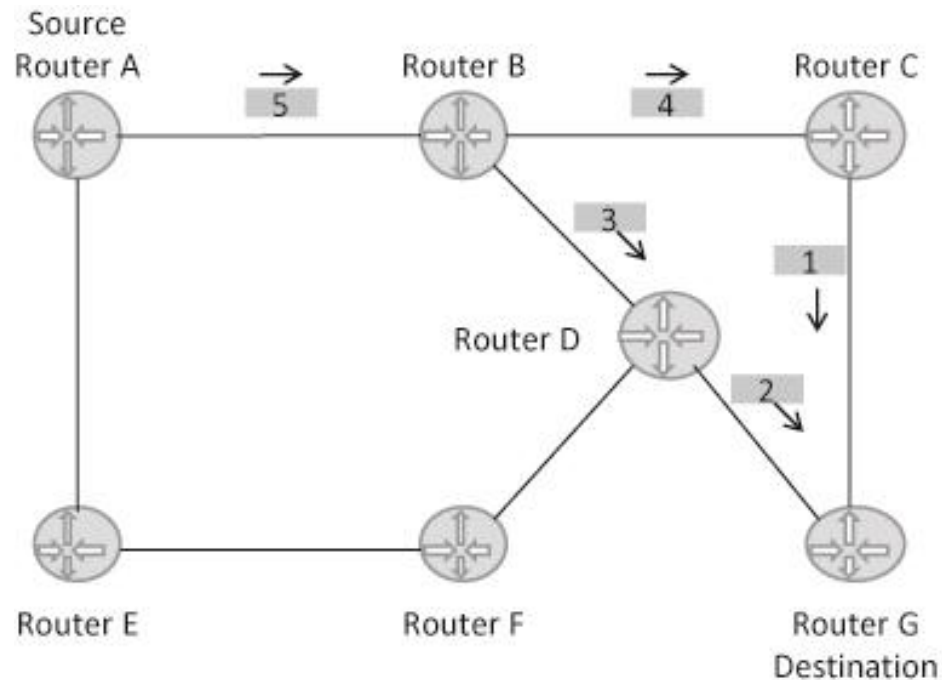
- Implementiert durch Programm auf Vermittlungsschicht (3) jedes Knotens
- Aufgaben:
 - » Bestimmung der Route für die Übertragung von Paketen zum Ziel i.A. der Transportschicht: Separat für jedes Paket (Paketvermittlung) oder einmal für Paketfolge (virtuelle Verbindung)
 - » Wissensaktualisierung durch Verkehrsbeobachtung zur Fehlererkennung/Konfigurationsänderung des Netzwerks (z.B. Auslastung, Fehlerzustand)



TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Dynamische Routenfindung auf Basis von Netzwerk-Eigenschaften

vgl. Anthony [2016:254ff.]



Dynamic routing scenario:

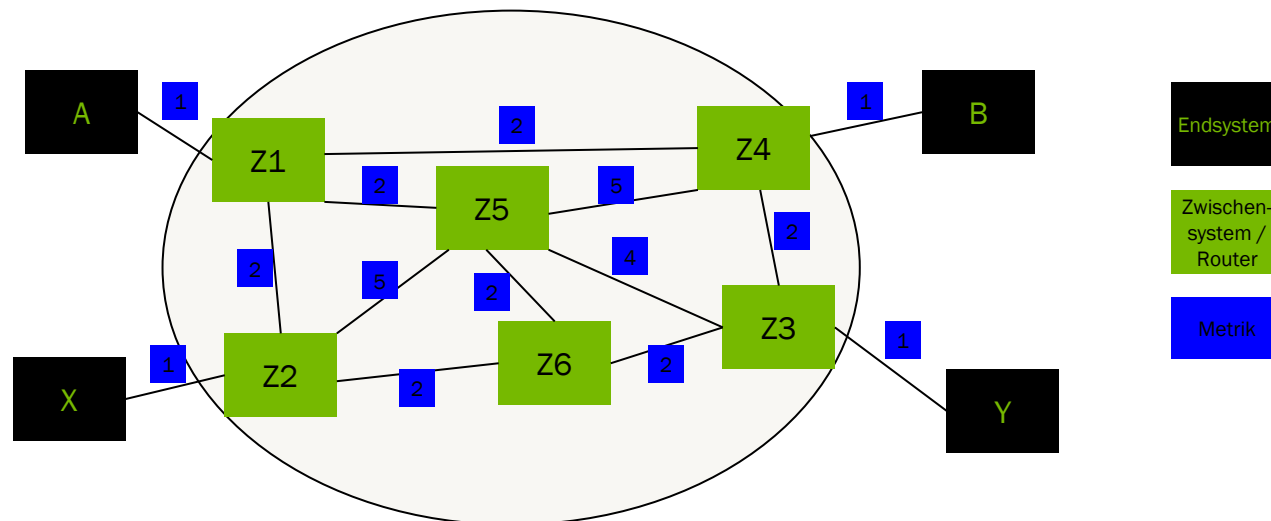
- A series of 5 packets are sent from Router A to Router G
- The routing metric is delay, which is sensitive to fluctuating traffic levels in the network
- The router dynamically adjusts its choice of route to reach the destination node, each time choosing the route with lowest expected delay

Quelle: Anthony [2016:255]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Dynamische Routenfindung

Verfahren / Algorithmus	Distanz-Vektor	Link-State
Beschreibung	Wahl des kürzesten Weges = kleinstmögliche Anzahl von Zwischensystemen (<i>hops</i>)	Ermittlung der minimalsten Summe von möglichen Teilstrecken (<i>links</i>) mit Gewichtungen (sog. „Metrik“: Kosten, Distanz, Bandbreite, Auslastung)
Beispiel (von B nach X)	<p>Weg über Z4, Z5, Z2: insgesamt vier Teilstrecken/drei Zwischensysteme -> optimal</p> <p>Weg über Z4, Z1, Z2 -> (ebenfalls) optimal</p> <p>Weg über Z4, Z3, Z6, Z2: vier Zwischensysteme -> nicht optimal</p>	<p>Weg über Z4, Z1, Z2: Kosten (Summe der Metriken) = $1 + 2 + 2 + 1 = 6$ -> optimal</p> <p>Weg über Z4, Z3, Z6, Z2: Kosten = 8 -> nicht optimal</p> <p>Weg über Z4, Z5, Z6, Z2: Kosten = 12 -> nicht optimal</p>



Quelle: i.A. an Stein [2004:111]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Routing-Tabellen

Aktualisierung/Wartung

- Router schickt Informationen (Kopie der lokalen Routing-Tabelle) über das Netzwerk
 - » Mittels Router Information Protocol (RIP)
 - » An seine benachbarten Knoten (nicht fehlerhafte Einträge in der Tabelle)
 - » Zu festgelegten Zeiten / innerhalb festgelegter Intervalle, oder
 - » Wenn seine lokale Routing-Tabelle sich ändert
- Aktualisierung der Routing-Tabellen durch Empfänger
 - » Neue Ziele
 - » „Bessere“ Ziele mit geringeren Kosten (Synonym: „Metrik“)

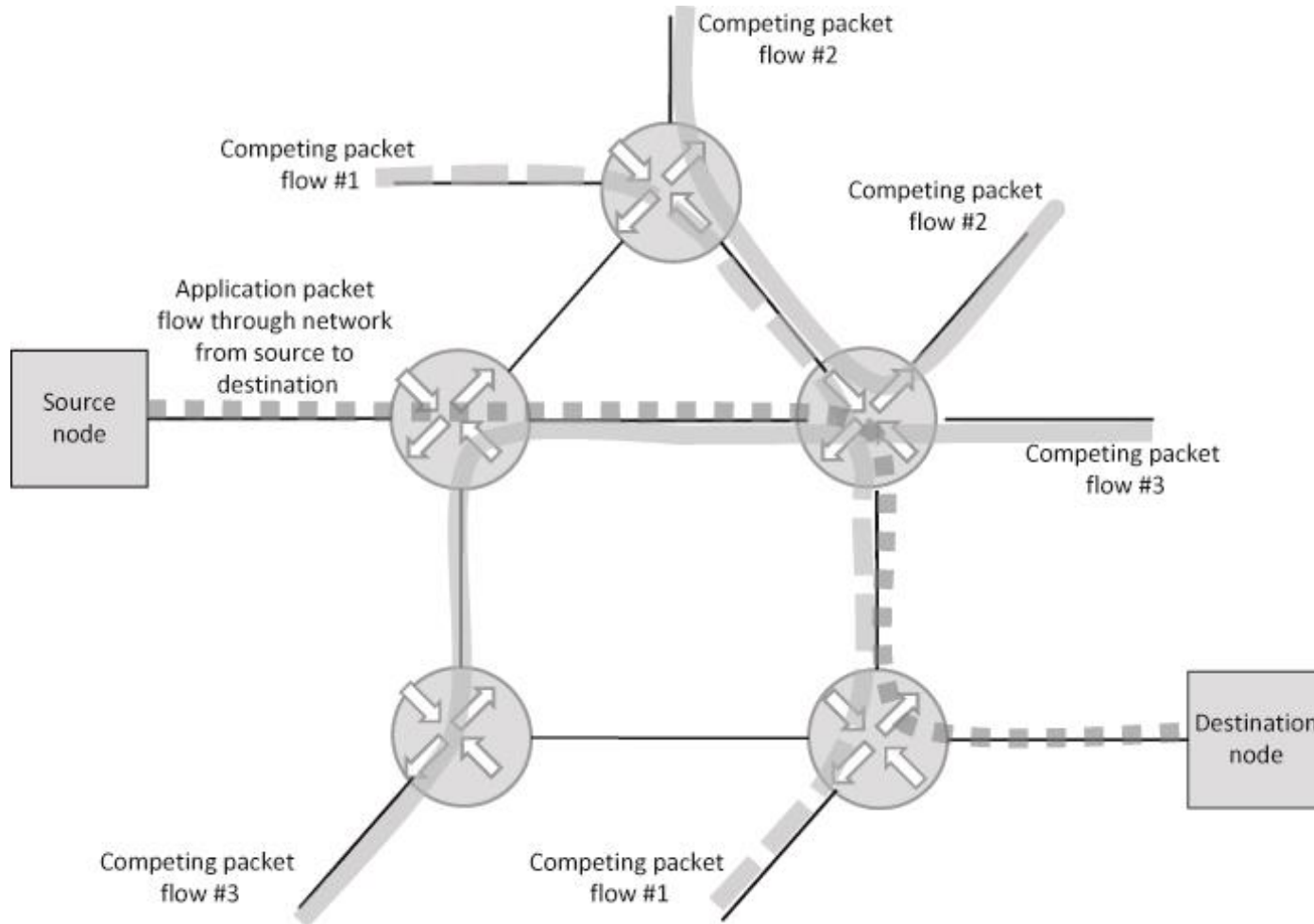
Fehlerbehandlung:

- Erkennender Knoten (Router erkennt fehlerhafte Verbindung n)
 - » Ändert Kosteneintrag für die Verbindung in seiner lokalen Routing-Tabelle auf ∞
 - » Versendet seine Routing-Tabelle an benachbarte Knoten
- Empfangender Knoten: Fehlerhafte Verbindung zum Ziel über erkennenden Knoten ist eingetragen:
 - » Aktualisierung der Verbindungskosten auf $\infty + 1 = \infty$,
 - » Versand der aktualisierten Tabelle an benachbarte Knoten
- Probleme:
 - » Langsame Konvergenz (Erkennung der besten Routen)
 - » Unerwünschte Zwischenzustände

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Komplexität des Nachrichtenverkehrs

vgl. Anthony [2016:254ff.]



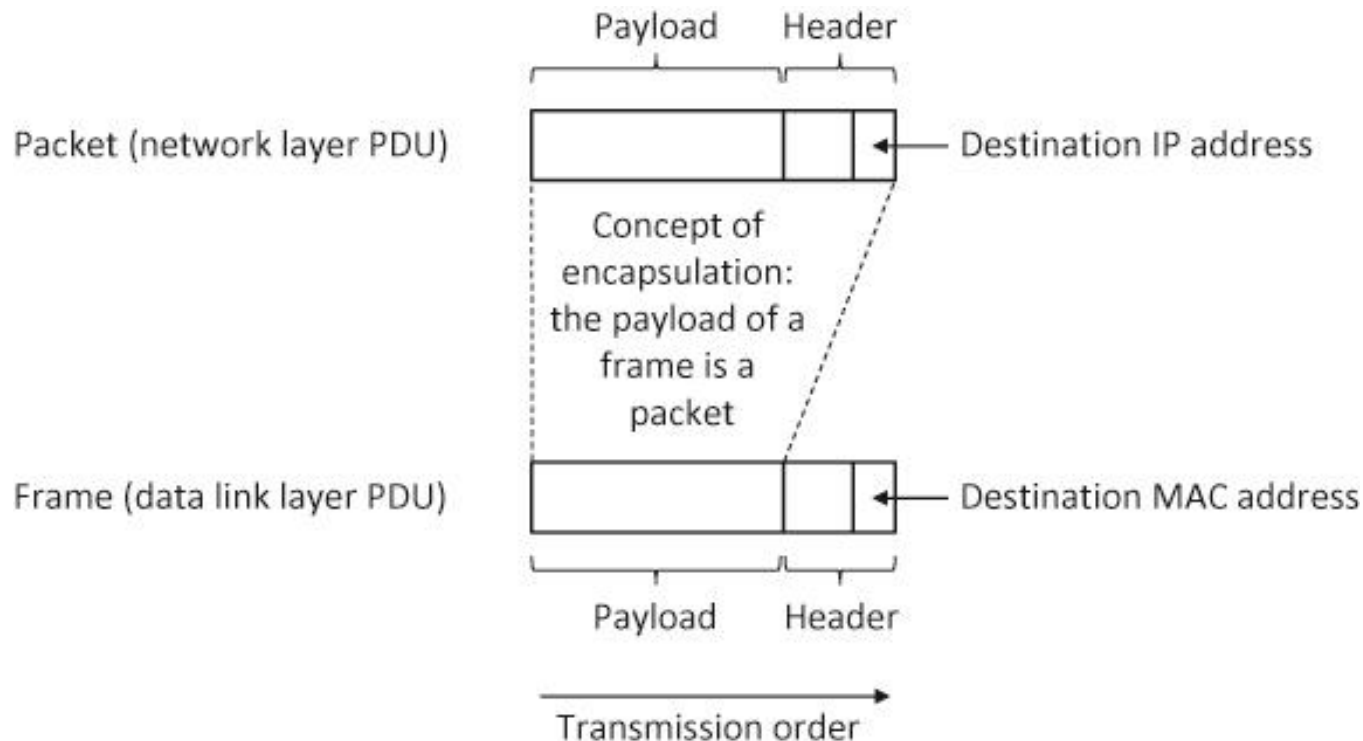
Quelle: Anthony [2016:257]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Enkapsulation eines Nachrichtenpakets / einer PDU

vgl. Anthony [2016:240ff.]

Vom Paket (Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3) zum Frame (OSI-Layer 2)



Bildquelle: Anthony [2016:253]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Netzzugang“ (OSI-Layer 1-2)

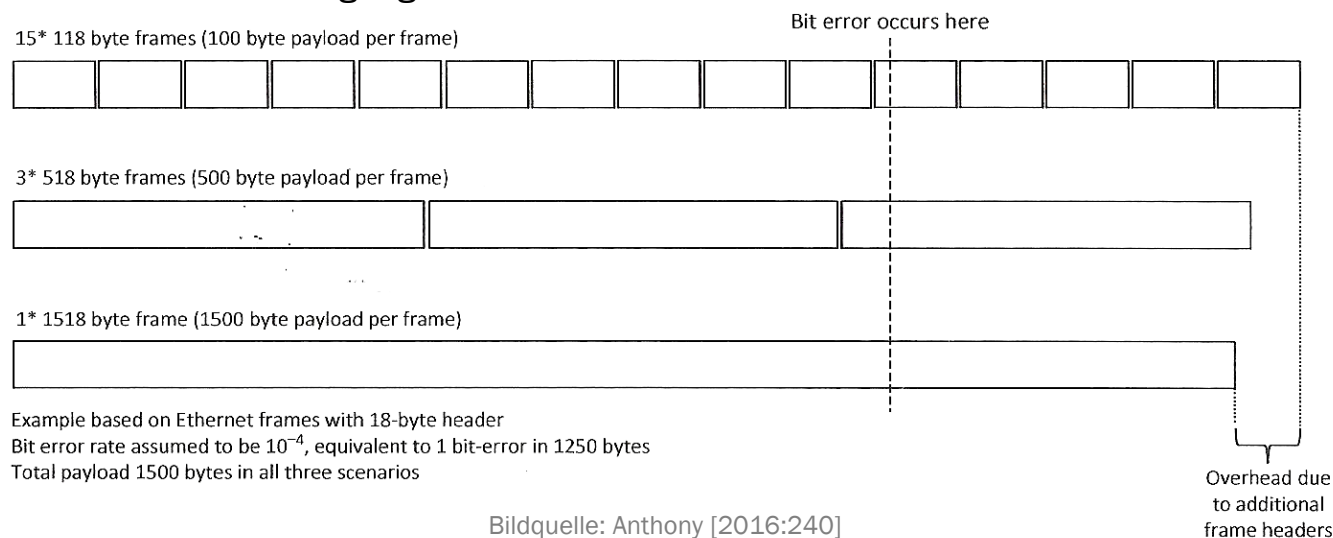
vgl. Anthony [2016:240ff.]

OSI-Layer 1 (Bitübertragung / physical):

- Sendet lediglich bits, also überträgt Einsen und Nullen
- Keine Möglichkeit zur Entdeckung und Behebung von Fehlern (dies ist Aufgabe der Schicht „Sicherung“ (OSI-Layer 2))

OSI-Layer 2 (Sicherung / data link): Kosten eines single bit errors bei unterschiedlichen Frame-Größen

- Drei Szenarien einer Ethernet-Übertragung eines 1.500 byte payloads (12.000 bit) mittels verschiedenen Frames: 15, 3, 1
- Payload = max. Größe eines einzelnen Ethernet-Frames
- Frame-Overhead = 18 bytes
- Bit error:
 - » korrumpiert das aktuell in der Übertragung befindliche bit / den entsprechenden Frame
 - » Erfordert Neuübertragung des betroffenen Frames



Danke. Lernziele erreicht?

Nach dieser Lehrveranstaltung kennen Studierende idealerweise:

- Den Einfluss von Netzwerken auf das Kommunikations-Teilsystem eines verteilten Systems
 - Anforderungen an Netzwerke für verteilte Systeme
 - Unterscheidungskriterien für Netzwerke
 - Die Bedeutung von Protokollen für die Netzwerkkommunikation
 - Unterschiedliche Protokoll-Schichten des Open Systems Interconnection Reference Models (OSI)
 - Protokoll-Schichten des TCP/IP-Stacks im Kontext der OSI-Layers
 - Ausgewählte Aspekte im Zusammenhang mit Protokoll-Schichten am Beispiel TCP/IP
 - » Enkapsulation
 - » Paketübermittlung / Zerteilung von Daten in andere Protocol Data Units
 - » IP-Adressierung sowie der Unterschied zwischen IPv4 und IPv6
 - » Netzklassen und der Zusammenhang mit dem Classless Internet Domain Routing (CIDR)
 - » Router und Routing
 - Funktionsmerkmale von Routern
 - Verfahren zur Ermittlung von Routing Tabellen
 - Route discovery: dynamische Algorithmen zur Wegewahl (distance vector vs. link state)
 - Aktualisierung und Fehlerbehandlung
 - » Folgen von single bit errors bei verschiedenen Frame-Größen
 - Ausgewählte Beispiele zu den o.g. Themen
- ✓ Studierende lernen grundlegende Aspekte im Themenbereich Netzwerke kennen, da verteilte Systeme per definitionem die Existenz eines Netzwerkes voraussetzen und sich je nach Protokollfolge Implikationen für den Entwurf und die Implementierung verteilter Systeme auf verschiedenen Schichten ergeben.

Quellen

Anthony, R. (2016) *Systems Programming - Designing and Developing Distributed Applications*; Amsterdam et al.: Morgan-Kaufman / Elsevier.

Coulouris, G.; Dollimore, J.; Kindberg, T. (2002) *Verteilte Systeme - Konzepte und Design*; 3., überarbeitete Auflage; München: Pearson Studium.

Schill, A.; Springer, T. (2012) *Verteilte Systeme*; 2. Auflage; Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

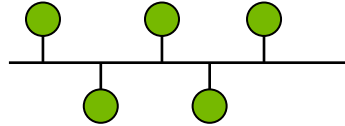
Stein, E. (2004) *Taschenbuch Rechnernetze und Internet*; München/Wien: Hanser.

Tanenbaum, A.; van Steen, M. (2008) *Verteilte Systeme – Prinzipien und Paradigmen*; 2., überarbeitete Auflage; München: Pearson Studium.

Appendix

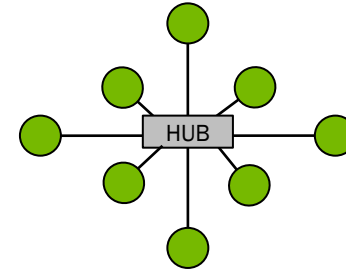
Ergänzende Informationen (nicht klausurrelevant)

Topologien [I]



Bus

- Synonyme: Linien-, Reihen-, Strangnetzwerk
- Alle Geräte sind mit einem Übertragungsmedium, dem „BUS“ (Kabel), verbunden („shared media“)
- Passive Technologie: angeschlossene Stationen bereiten Signale nicht auf
- Länge des Busses ist beschränkt (mögliche Erweiterung durch Signalverstärker/Repeater)
- Einsatzgebiet: kleinere LANs
- Beispiele (physikalisch): erste Ethernet-Implementierungen wie 10BASE5, 10BASE2
- Verdrängung durch Stern-Topologie



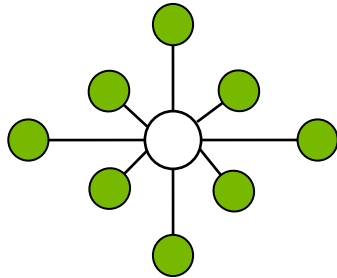
Stern

- Jede einzelne Station wird über je ein einzelnes Kabel mit einem Verteiler (Hub) verbunden
- Punkt-zu-Punkt: Verteiler – Station
- Physikalische Stern-Topologien sind logisch meist BUS-Topologien
 - » jedes Datensignal läuft über jedes Kabel
 - » Flexibilität durch Konfiguration des Hubs
- Einsatzgebiet: LAN (Gebäude, Stockwerke)
- Beispiele (physisch): Ethernet-Implementierungen wie 10BASE-T

Vorteil_e	Nachteil_e
<ul style="list-style-type: none"> - Niedrige Kosten (Kabelmenge) - Ausfall einer Station führt nicht zu Netzausfall 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung eines Leiters (Störanfälligkeit) - Blockierung des gesamten Stranges bei Störung an einer Stelle - Hoher Aufwand bei Fehlersuche - Hoher Datenverkehr

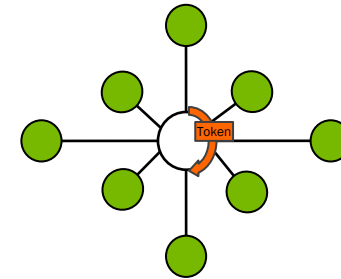
Vorteil_e	Nachteil_e
<ul style="list-style-type: none"> - Hubs können als Signalverstärker eingesetzt werden - Ausfall einer Station/Kabeldefekt führt nicht zu Netzausfall - Skalierbarkeit: Kaskadierung von Hubs 	<ul style="list-style-type: none"> - Große Kabelmengen - Kein Netzverkehr bei Ausfall des Hubs

Topologien [II]



Ring

- Teilstreckennetz“:
 - » Punkt-zu-Punkt zwischen nebeneinander liegenden Stationen
 - » Eindeutiger Vorgänger/Nachfolger
 - » Kabel bilden geschlossene Form
 - » Datenverkehr nur in eine Richtung
- Stationen:
 - » Verarbeiten Signale
 - » Verstärken Signale
- Aktive Technologie: Stationen reichen Nachrichten/Tokens aktiv weiter
- Auftreten:
 - » Physikalisches: niedrig
 - » Logisch: realisiert durch Ringleitungsverteiler (Beispiel: Token Ring)



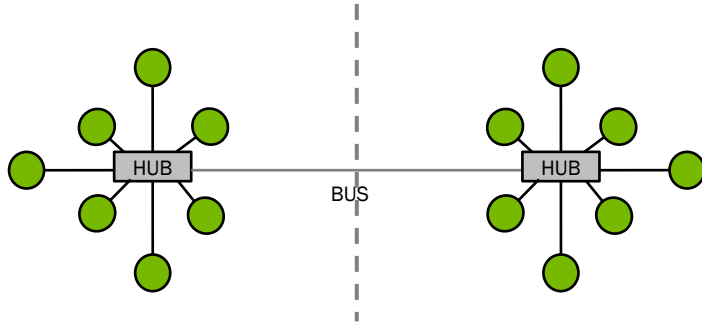
Token Ring

- Token kreist in eine Richtung
- Zustände
 - » Frei
 - » Besetzt
- Senden:
 - » Station muss auf das kreisende Token warten
 - » Wenn „frei“
 - Umwandlung Bit-Muster in „besetzt“
 - Anhängen: Quelle, Ziel, Daten
 - „Frame“ wird aktiv an Nachfolger weitergereicht
 - » Empfangen: Kopieren, Quittieren und Weiterreichen des Frames durch Empfänger

Vorteil_e	Nachteil_e
<ul style="list-style-type: none"> – Stationen können als Signalverstärker eingesetzt werden – Verminderung von Durchsatz-/Kollisionsproblemen durch unidirektionale Weiterreichung von Frames (Token, Daten) 	<ul style="list-style-type: none"> – Ausfall einer Station/Kante führt zu Ausfall des Gesamtsystems – Physisches Auftreten: hoher Aufwand für Verkabelung

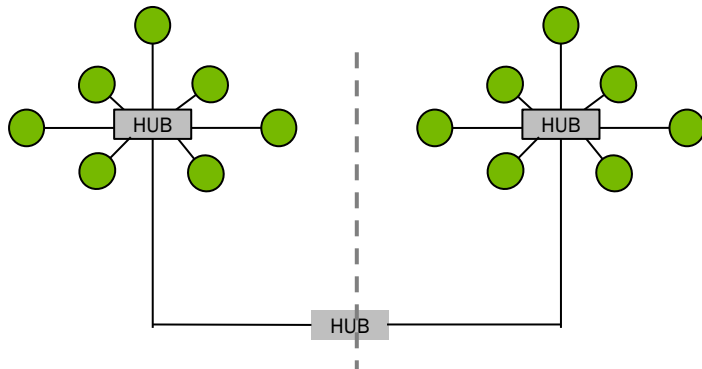
Topologien [III]

Mischformen



Stern-Bus-Netz

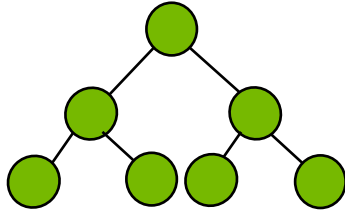
- Hubs bilden Zentren von einzelnen Sternen
- Hubs sind über BUS verbunden
- Beispiel: Sternnetze sind auf verschiedenen Stockwerken eines Gebäudes und über BUS verbunden
- Ausfall Bus: Subnetze funktionieren



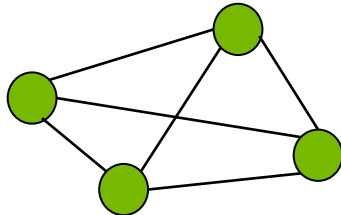
Stern-Stern-Netz

- Hubs bilden Zentren von einzelnen Sternen
- Hubs sind an Hauptverteiler angeschlossen

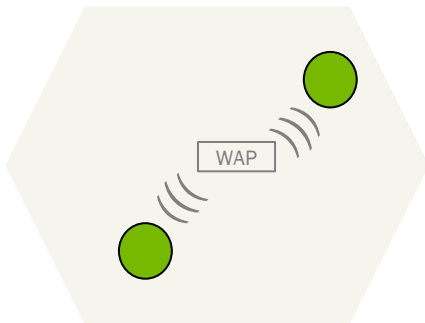
Topologien [IV]



Baum: ausgehend von der Wurzel existieren n Verzweigungen zu weiteren Knoten/Verteilungsstellen (meist hierarchische Sterntopologien)



Maschennetz: zwischen allen Netzknoten existieren Verbindungen



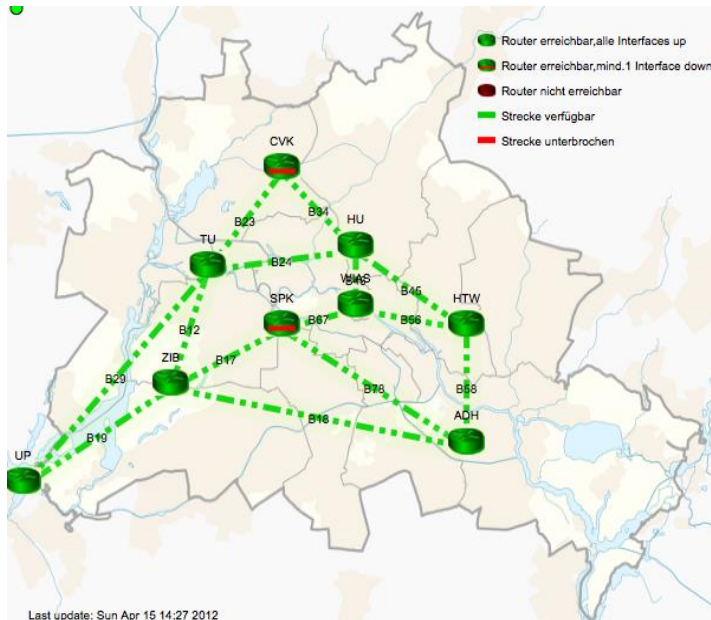
Zell-Topologie

- BUS (physikalische Topologie) über Funk
- Verteilung über Bereich um Basisstation, z.B. WAP (Wireless Access Point)
- Begrenzte Reichweite

Netzwerktypen: LAN

- Local Area Network: Kommunikationsteilsystem mit territorial begrenzter Ausdehnung von wenigen Metern/Kilometern
- (Privater) Betreiber ist verantwortlich (rechtlicher Entscheidungsbereich)
- Normalfall:
 - » keine Nutzung von Infrastruktur eines öffentlichen Anbieters
 - » Begrenzt auf privates Gelände des Betreibers
- Datenübertragungsgeschwindigkeit zwischen 10 Mbit/s bis 10 Gbit/s
- Technologien: Ethernet, Token Ring
- Niedrige Latenzzeiten

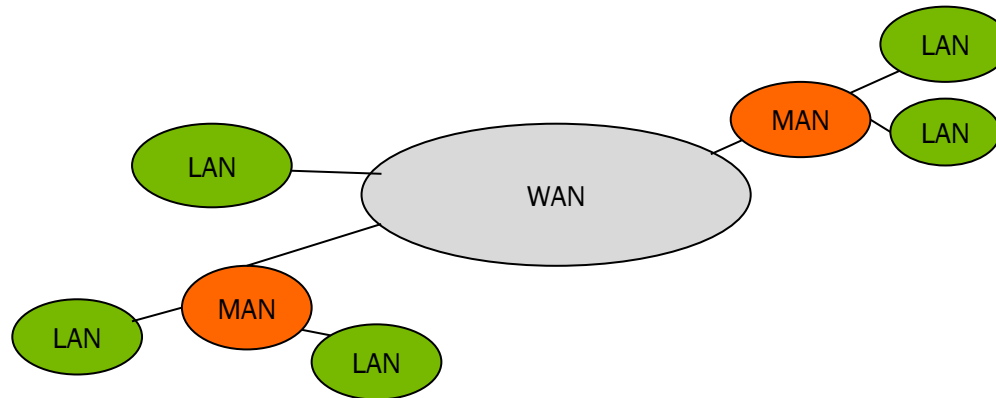
Netzwerktypen: MAN (Beispiel: Berlin)



Quelle: ZIB Berlin/<https://www.brain.de/manage/> [last accessed: 15 IV 2012]

- Kommunikationssystem mit territorial begrenzter Ausdehnung von wenigen Kilometern (z.B. Städte, Ballungszentren)
 - » Verbindung von LANs über Backbones
 - » Provider ist verantwortlich
 - » Technologien: (Metro-)Ethernet, ATM
 - » Niedrige Latenzzeiten
 - » Beispiel: BRAIN
 - 2000 km Glasfasernetz
 - Datenübertragungsgeschwindigkeit bis 10 Gbit/s

Netzwerktypen: WAN

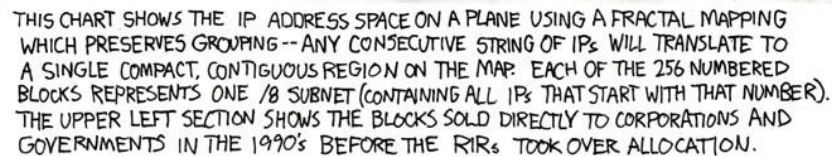


- Wide Area Network: Kommunikationssystem mit Ausdehnung von vielen Kilometern (z.B. Länder, Kontinente, globale Organisationen (LAN-Verbindungen von Firmen))
 - » starke Varianz bei Datenübertragungsgeschwindigkeiten
 - » hohe Latenzzeiten
 - » Leistungsgrenze: physikalisch mögliche Geschwindigkeit elektronischer Signale A->B (\leq Lichtgeschwindigkeit c (ca. 300.000 km/s))

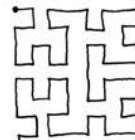
Netzwerktypen: Funknetzwerke

- Leitungs-/Drahtloses Kommunikationssystem
 - » WLAN: Wireless Local Area Network (Spezifikation IEEE 802.11)
 - Adressierung analog zu Ethernet
 - Physikalische Topologie: Zelle
 - Logische Topologie: BUS
 - » WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (Spezifikation IEEE 802.16)
 - » WPAN:
 - Wireless Personal Area Networks (Ad-Hoc-Netze)
 - Gleichberechtigte Stationen
 - Beispiele: Infrarot, Bluetooth
 - » Zellularnetzwerke/Mobiltelefonnetzwerke
 - 2G: GSM (Global System for Mobile Communication)
 - 3G: UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (Layer 3)



0	1	14	15	16	19 →
3	2	13	12	17	18
4	7	8	11		
5	6	9	10		



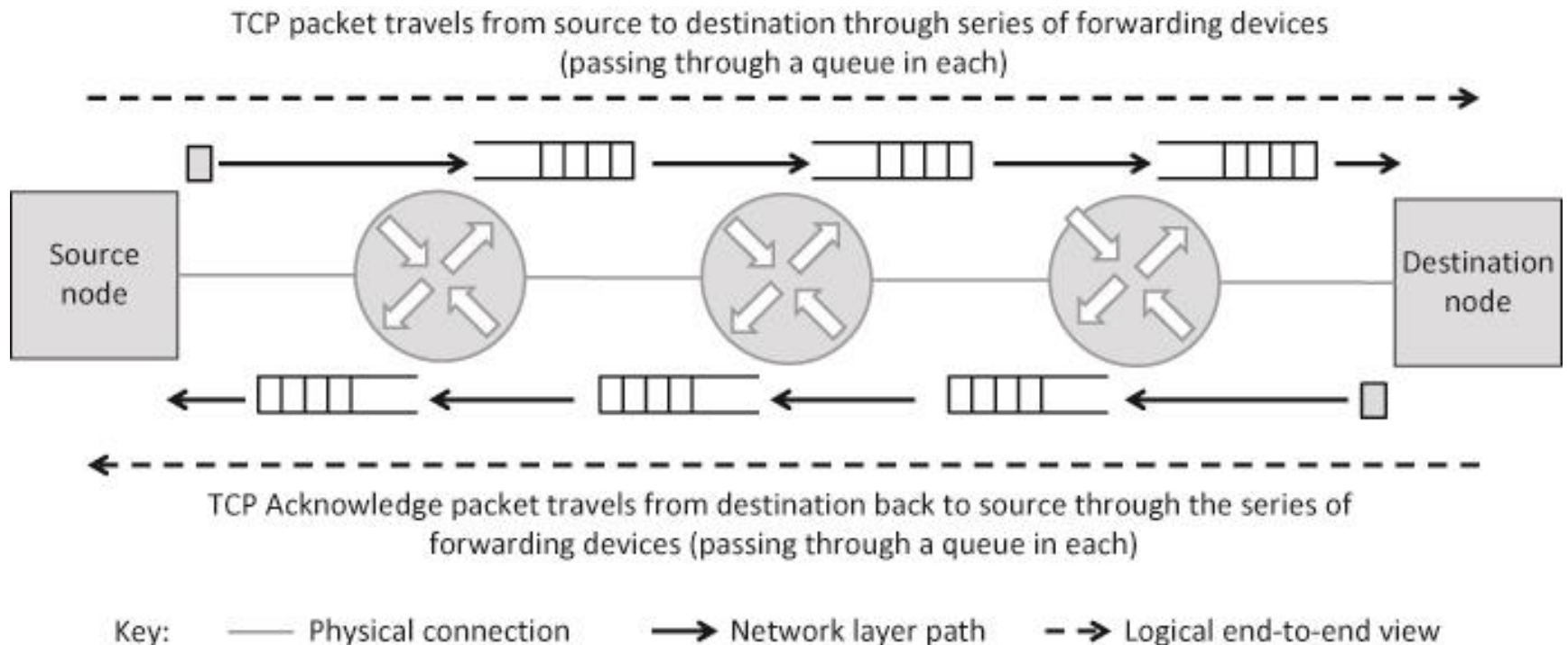
 = UNALLOCATED BLOCK

Quelle: http://imgs.xkcd.com/comics/map_of_the_internet.jpg [last accessed: 10 XI 2012]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Ende-zu-Ende-Bestätigung (Implementierung in TCP) [I]

vgl. Anthony [2016:254ff.]

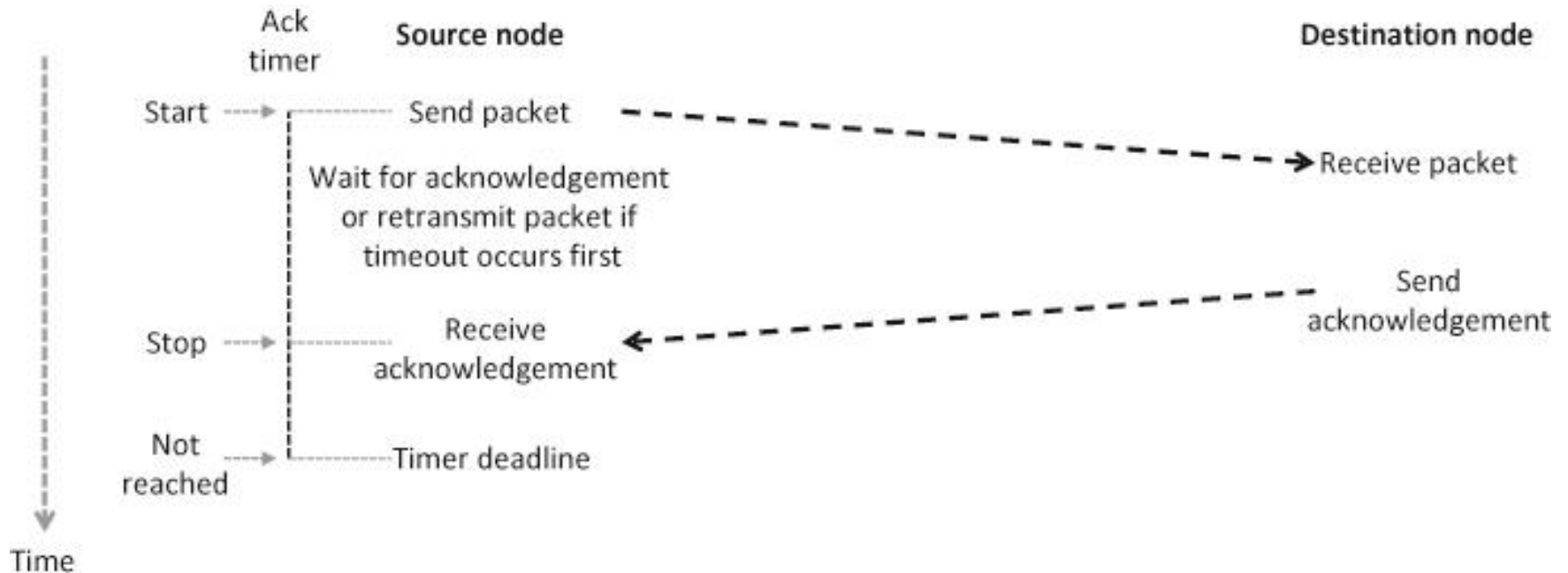


Quelle: Anthony [2016:259]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Ende-zu-Ende-Bestätigung (Implementierung in TCP) [II]

vgl. Anthony [2016:254ff.]

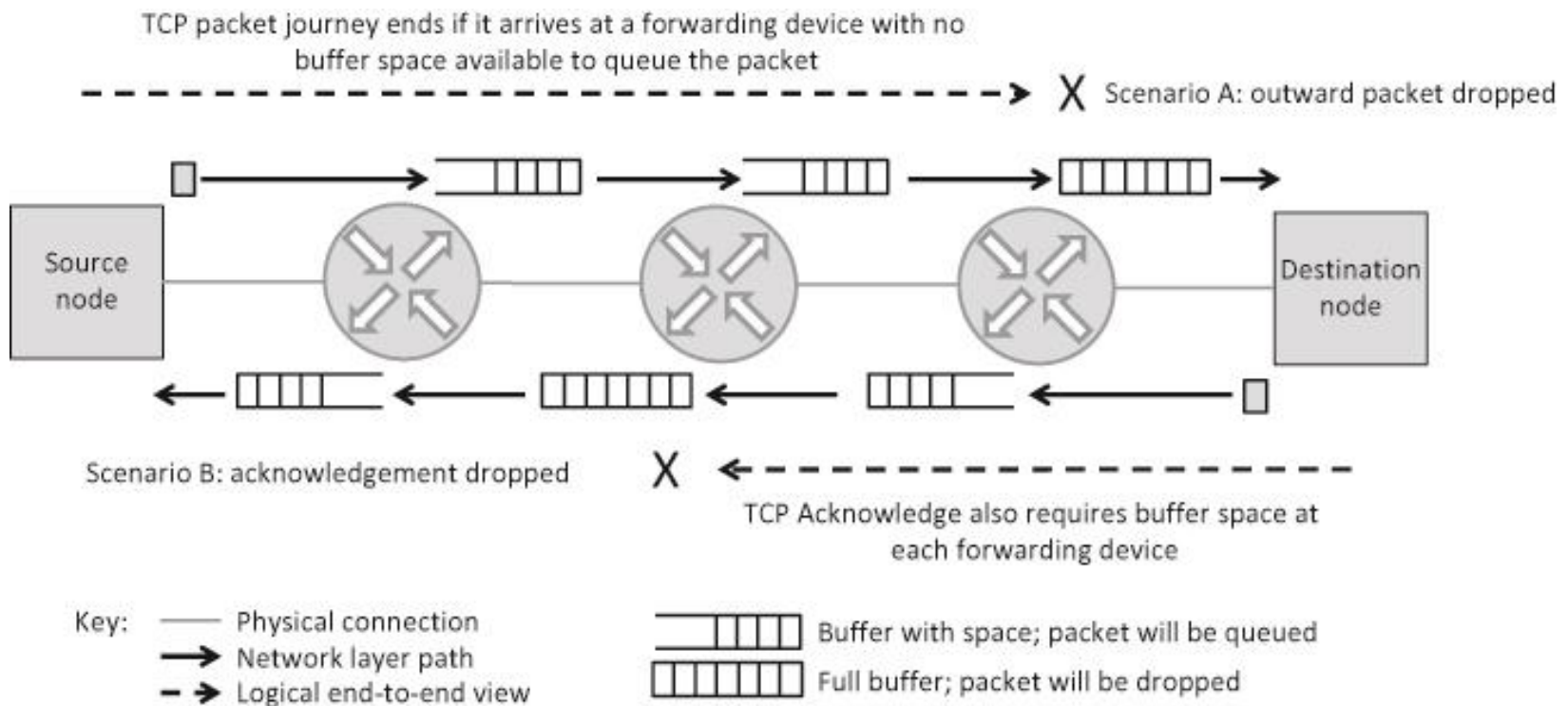


Quelle: Anthony [2016:260]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Ende-zu-Ende-Bestätigung (Implementierung in TCP; mit „congestion“) [I]

vgl. Anthony [2016:254ff.]



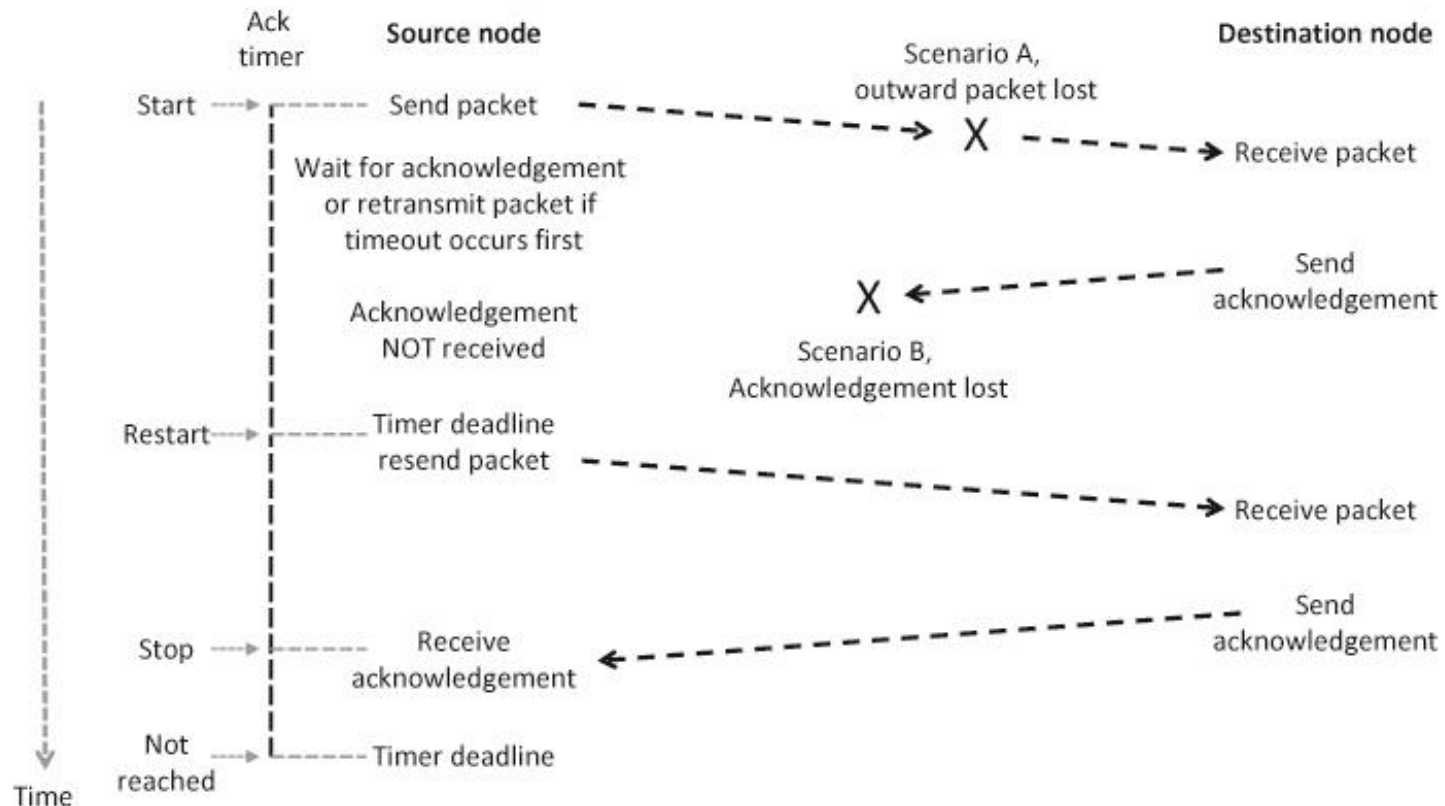
Bildquelle: Anthony [2016:260]

TCP/IP: Aspekte der Schicht „Internet“ (OSI-Layer 3)

Ende-zu-Ende-Bestätigung (Implementierung in TCP; mit „congestion“) [II]

vgl. Anthony [2016:254ff.]

End-to-end-acknowledgement as implemented in TCP (timing behavior view) – with congestion



Bildquelle: Anthony [2016:261]

TCP/IP: Aspekte (OSI-Layer 3 &2)

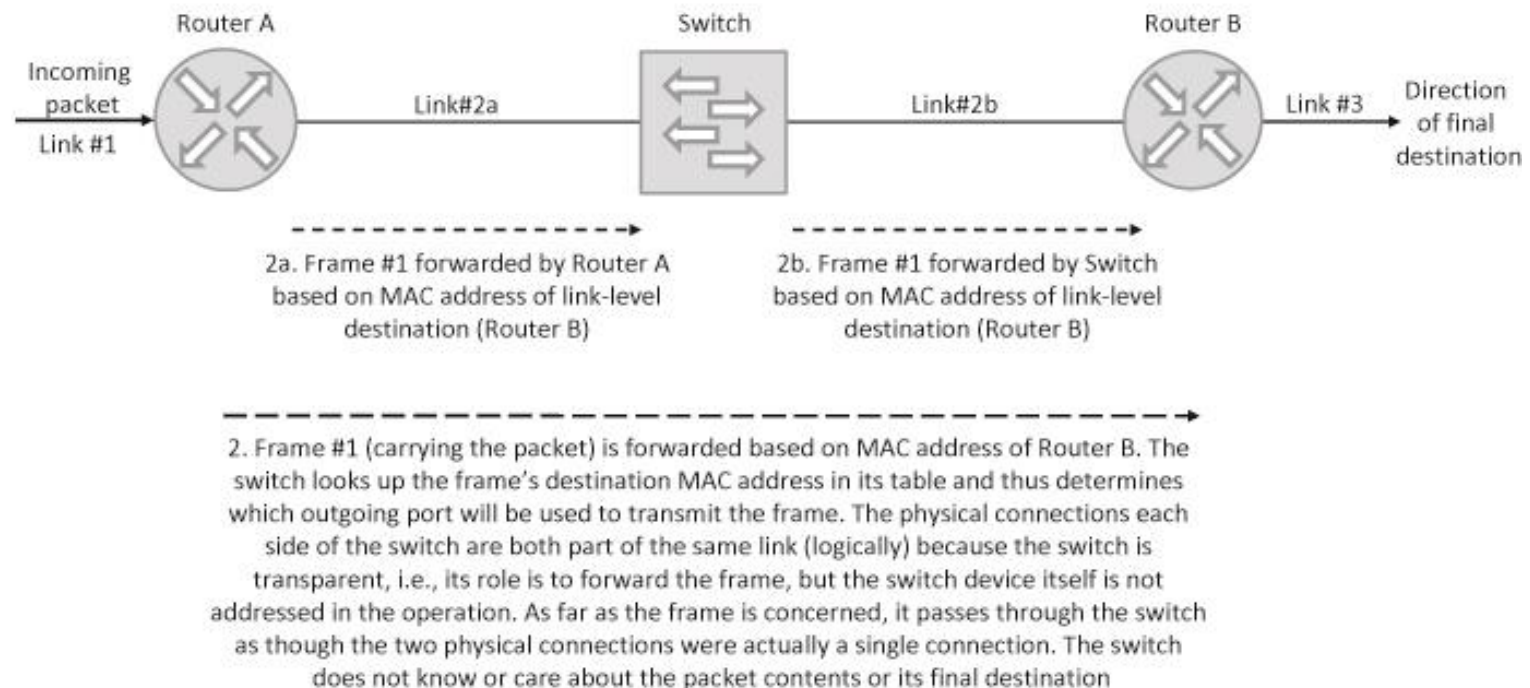
MAC & IP-Adressen

vgl. Anthony [2016:240ff.]

- ✓ Links zwischen den Routern erscheinen der Netzwerkschicht (3) wie ein Link
- ✓ Router kennen nicht die Anzahl der beteiligten Switches nicht

1. Router A receives a packet on link#1 which it forwards to Router B to get it a step closer to its final destination. The packet is encapsulated into frame #1 (containing Router B's MAC address) which is then sent on link #2 (via the switch)

3. Router B receives frame #1 and extracts the packet. The frame and packet are unchanged and thus the router cannot detect the presence of the switch. The router then encapsulates the packet in a new frame to forward it on the outgoing link #3—**chosen based on the packet's destination IP address**—towards its final destination



Bildquelle: Anthony [2016:253]