

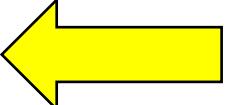
Folien zur Veranstaltung Rechnernetze in der AI Wintersemester 2018 (Teil 2)

Prof. Dr. Franz Korf
Franz.Korf@haw-hamburg.de

Basierend auf der RN Vorlesung von M. Hübner

Kapitel 2: Einführung

Gliederung

- Was ist das Internet? 
- Protokollsichten und ihre Dienstmodelle
- Grundlegende Protokollfunktionen und Dienste
- Performanceanalyse in paketvermittelnden Netzen
- Historische Entwicklung
- Zusammenfassung

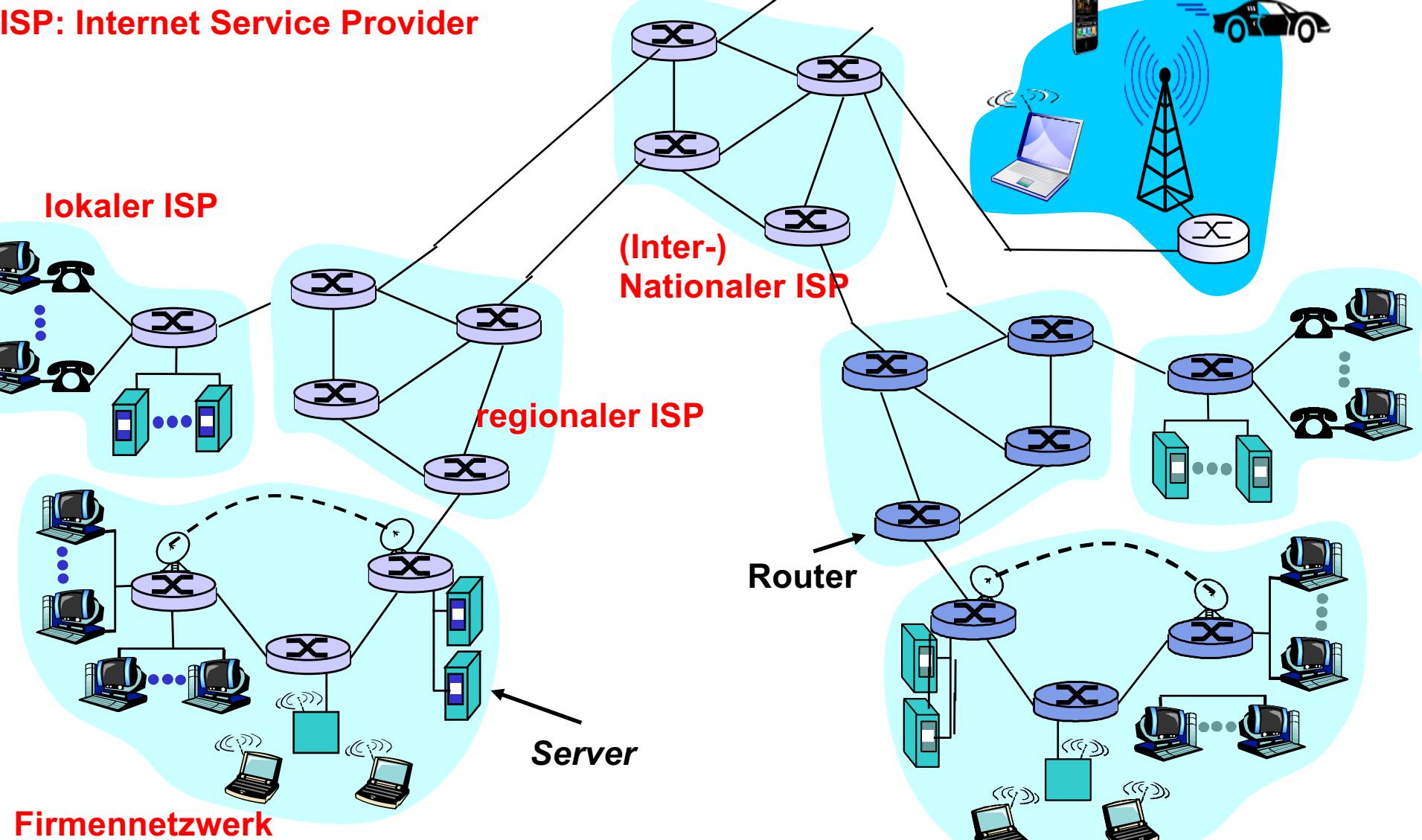
Textbuch zu diesem Kapitel: J. Kurose & K. Ross: Computernetzwerke – Der Top-Down-Ansatz, Kapitel 1

Folien und Abbildung teilweise aus:
J. Kurose & K. Ross: Computernetzwerke – Der Top-Down-Ansatz

ISP: Internet Service Provider

Die Architektur des Internets

Mobiles Netzwerk



Grundlegende Bestandteile des Internets

Hosts (Endgeräte)

- Millionen von verbundenen Computern und Geräten
 - PCs, Notebooks, Tablets, Server, Smartphones, IP-Telefone, Fernseher, Armbanduhren, ...
- Die Hosts führen Netzwerkapplikationen aus
- Endsysteme werden über Kommunikationsleitungen und (Paket) Switches verbunden.

Kommunikationsverbindungen (communication link):

- Unterschiedliche phy. Medien mit unterschiedlichen Eigenschaften: Kupferkabel (Twisted Pair, Koaxial), Glasfaserkabel, Terrestrischer Funk (WLAN, Mobilfunk, Richtfunk), Geostationäre Satelliten, ...
- Übertragungsgeschwindigkeit: bit/s

Pakete:

- Durch das Netz werden Pakete geschickt.
- Paket: Menge an Information (Payload) + Verwaltungsdaten (Header)

Grundlegende Bestandteile des Internets

Router und Switches:

- Router empfangen ein Paket über einen Link und schicken es aufgrund der Header Informationen über einen anderen Link weiter Richtung Ziel

Route/Pfad:

- Die Sequenz an Links und Router, die ein Paket auf dem Weg von seiner Quelle zu seinem Ziel durchläuft

„Coole“ Internet-Endgeräte



IP-Bilderrahmen

<http://www.ceiva.com>



Web-Toaster mit Wettervorhersage
(kommerziell nicht erfolgreich)



Armbanduhr mit Internetanschluss

<http://www.apple.com/de/watch/>



Home-Security-Rover HSR-1
mit HD-Video, weltweit
fernsteuerbar

<http://www.7links.me>



Barbie Puppe im IoT



Grundlegende Bestandteile des Internets

Internet: “Netzwerk von Netzwerken”

- Lose Hierarchisch
- Öffentliches Internet / privates Intranet

ISP: Internet Service Provider

- Über ISP greifen Hosts auf das Internet zu – ISP ermöglichen Hosts den Zugriff aufs Internet
- Telefongesellschaften, Uni ISPs, Firmen-ISPs,
- Ein ISP betreibt ein Netzwerk mit Links und Routern
- ISPs sind wiederum untereinander verbunden
- Kleine lokale ISPs werden durch nationale und internationale übergeordnete ISPs (AT&T, Sprint, NTT) verbunden. (Upper-Tier-ISPs)

Grundlegende Bestandteile des Internets

Protokolle

- In Null-ter Näherung wird alles im Netzwerk über Protokolle abgewickelt.
- Steuerung, Senden, Empfangen von Nachrichten
- z.B.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP, AVB, AFDX
- Protokolle legen das Format der Pakete und die Regeln zum Austausch der Pakete fest.
- Protokolle sollten standardisiert/normiert sein, damit jedes System die Spielregeln zum Übertragen von Informationen kennt.

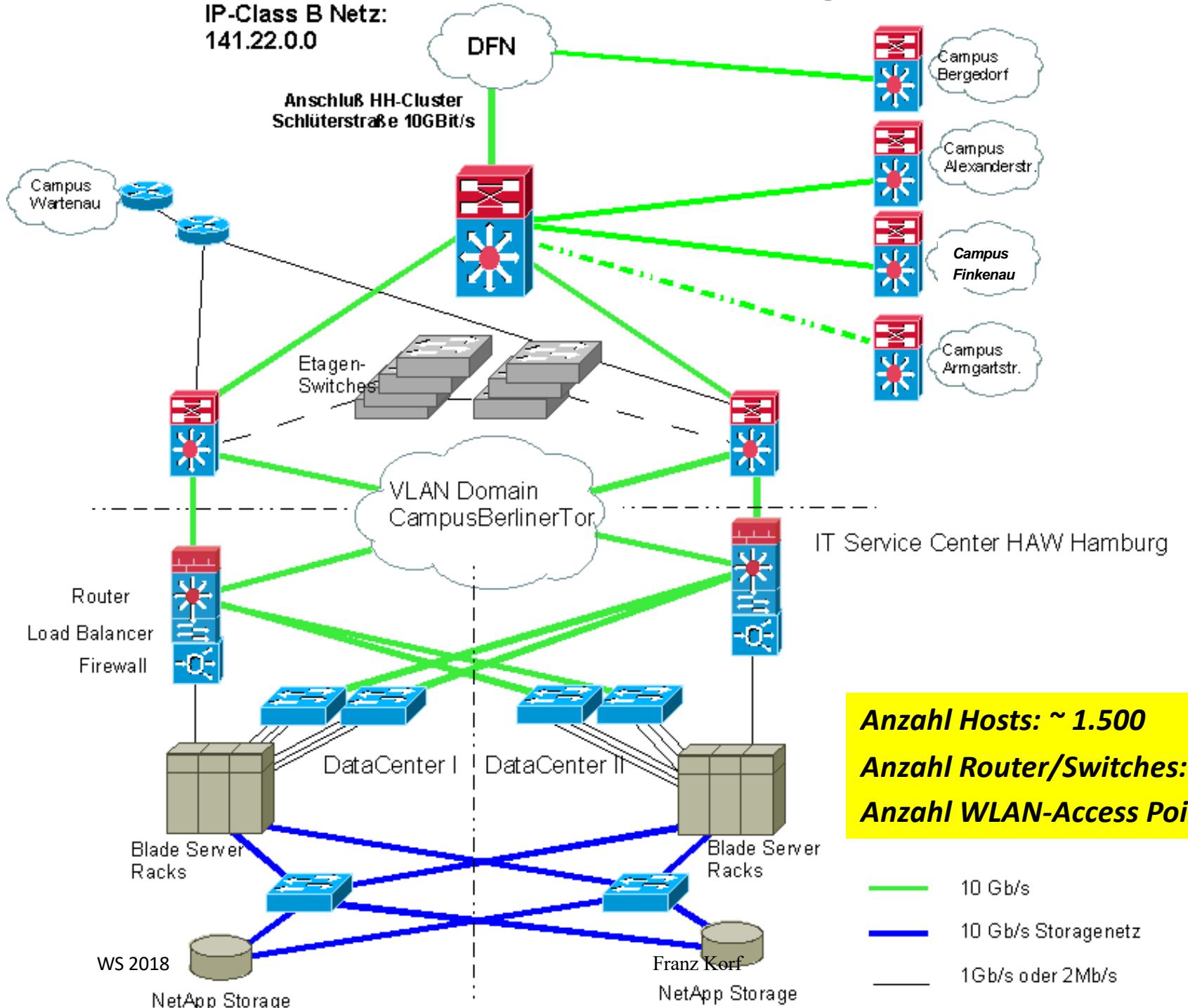
Internet Standards

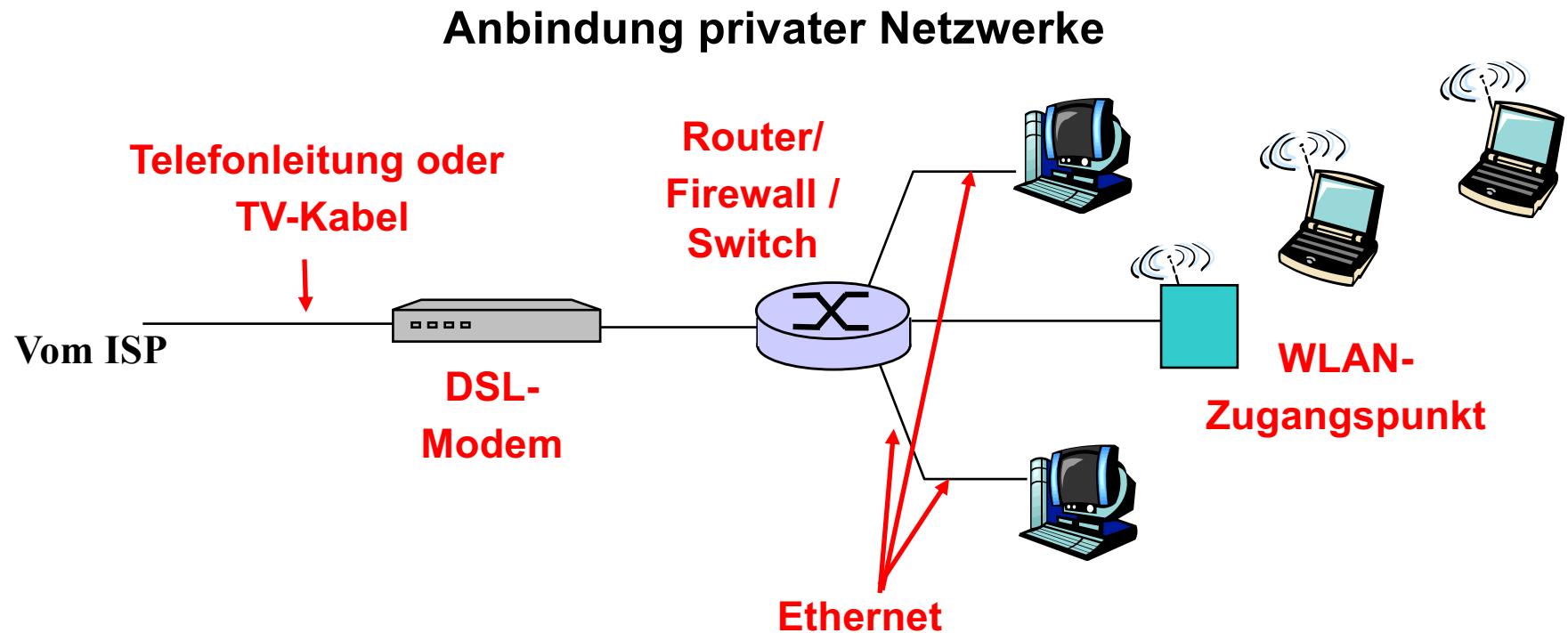
- RFC: Request for comments (<http://www.rfc-editor.org>)
Normierungsdokumente für die Internet Protokolle
- IETF: Internet Engineering Task Force (<http://www.ietf.org>)
Entwickelt / steuert die Entwicklung der RFC
- IEEE entwickelt auch Standards (z.B. Ethernet und drahtlose WLANs)
- World Wide Web Consortium /W3C (<http://www.w3.org>)

Übersicht: Netz der HAW Hamburg

AH4 RD

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg





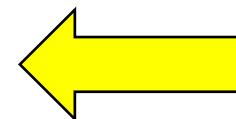
Typische Komponenten:

- (A)DSL “(Asymmetric) Digital Subscriber Line” – Modem
- Router (mit integrierter Firewall) → Kap. 4
- Privates LAN über Ethernet-Switch → Kap. 5
- ggf. zusätzlich WLAN-Zugang → Kap. 5

Kapitel 2: Einführung

Gliederung

- Was ist das Internet?
- Protokollsichten und ihre Dienstmodelle
- Grundlegende Protokollfunktionen und Dienste
- Performanceanalyse in paketvermittelnden Netzen
- Historische Entwicklung
- Zusammenfassung



Dienstbeschreibungen

- Internet als Infrastruktur, die **Dienste** für Anwendungen bereitstellt.
- Vielzahl von **verteilten Anwendungen**
 - z.B.: E-Mail, WWW, Soziale Netzwerke, Cloud Dienste, Online Spiele, Video Streaming, Voice over IP,
 - Anwendungen sind Programme
 - Anwendungen laufen nur auf den Endsystemen; Router und Links liefern nur den Datenaustausch zwischen den Anwendungen
- Über **APIs** (Application Programming Interfaces, Programmierschnittstellen) greifen Anwendungen auf die Dienste zu, die die Kommunikation über das Internet realisieren.
- In der Regel bietet ein API
 - eine Menge von Methoden an, die die Anwendung aufruft
 - Über ein Regelwerk (Protokoll) wird definiert, wann und in welcher Reihenfolge die Methoden aufgerufen werden müssen, damit die Kommunikation ausgeführt wird.

Protokolle

Menschliche Protokolle

Beispiele:

- „Wie spät ist es?“
- „Ich habe eine Frage“
- Vorstellung (einer Person)

... Senden bestimmter Nachrichten

... verursachen bestimmte Reaktionen
beim Empfang

Netzwerkprotokolle

Beispiele:

- TCP
- UDP
- Mail Protokolle

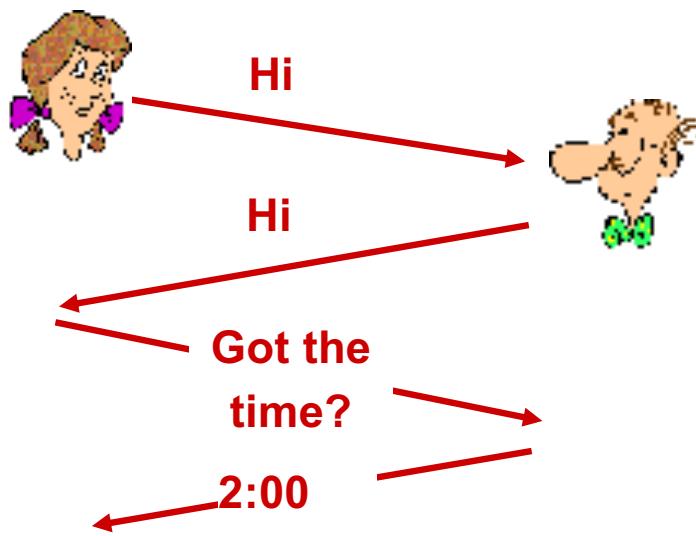
... Ausführung durch Maschinen

... Protokolle sind standardisiert

Protokolle

Menschen:

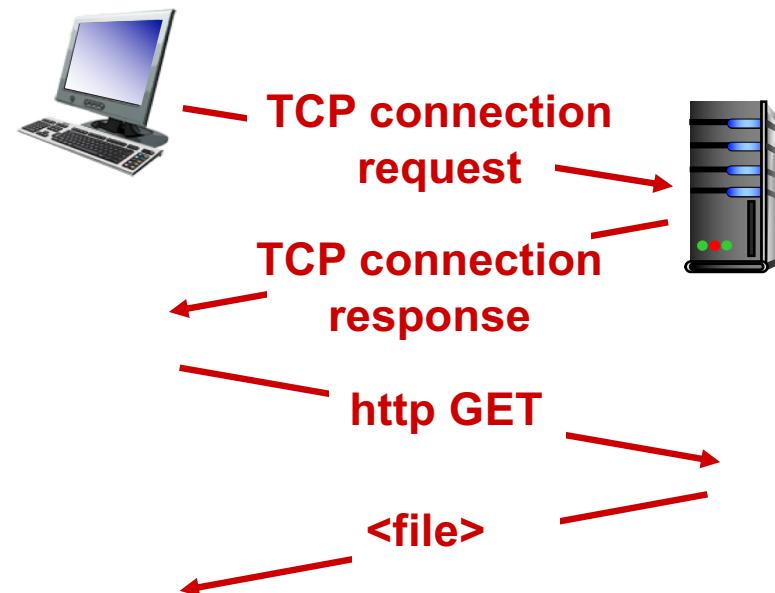
z.B. Abfrage der Uhrzeit



Unterschiede?

Computer:

z.B. Übertragen einer Datei



Protokolle

Zentrales Konzept für Rechnernetze

- Alle Kommunikationen im Internet basieren auf Protokollen

Protokolle

- definieren das Format der Botschaften
- legen die Reihenfolgen des Austauschs der Botschaften fest, die zwischen zwei oder mehr kommunizierenden Einheiten ausgetauscht werden
- legen Aktionen fest, die beim Empfangen oder Senden einer Nachricht (oder eines anderen Ereignisses¹) unternommen werden.

¹ zum Beispiel Ablauf eines Timers

Motivation Schichtenarchitekturen

Fragestellung: Wie kann man ein komplexes System strukturieren?

Beispiel Internet

- Das Internet besteht aus vielen Komponenten, die ineinander greifen: hosts, routers, links of various media, application protocols, hardware, software ...
- z.B. Das Verschicken einer Mail muss unabhängig davon sein, ob die Daten über Glasfaser oder Kupfer laufen.
- Eine **horizontale Strukturierung** ist notwendig, damit man sich nicht in den Details verfängt.
 - Für Glasfaser und Kupfer werden unterschiedliche Protokolle verwendet
 - Aber die Mail Anwendung darf dies nicht merken

Konzept

- Schichtenarchitektur

Beispiel

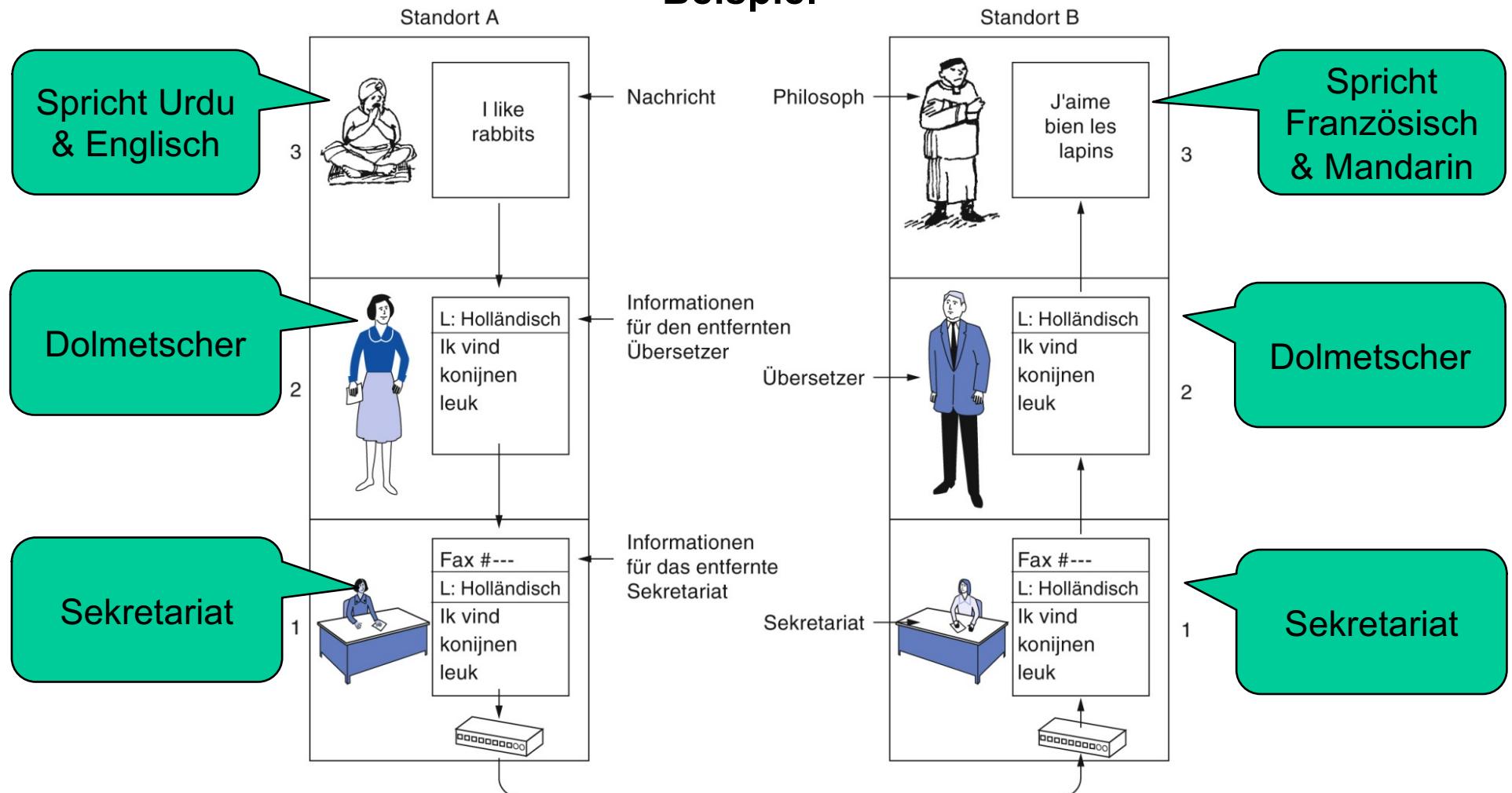
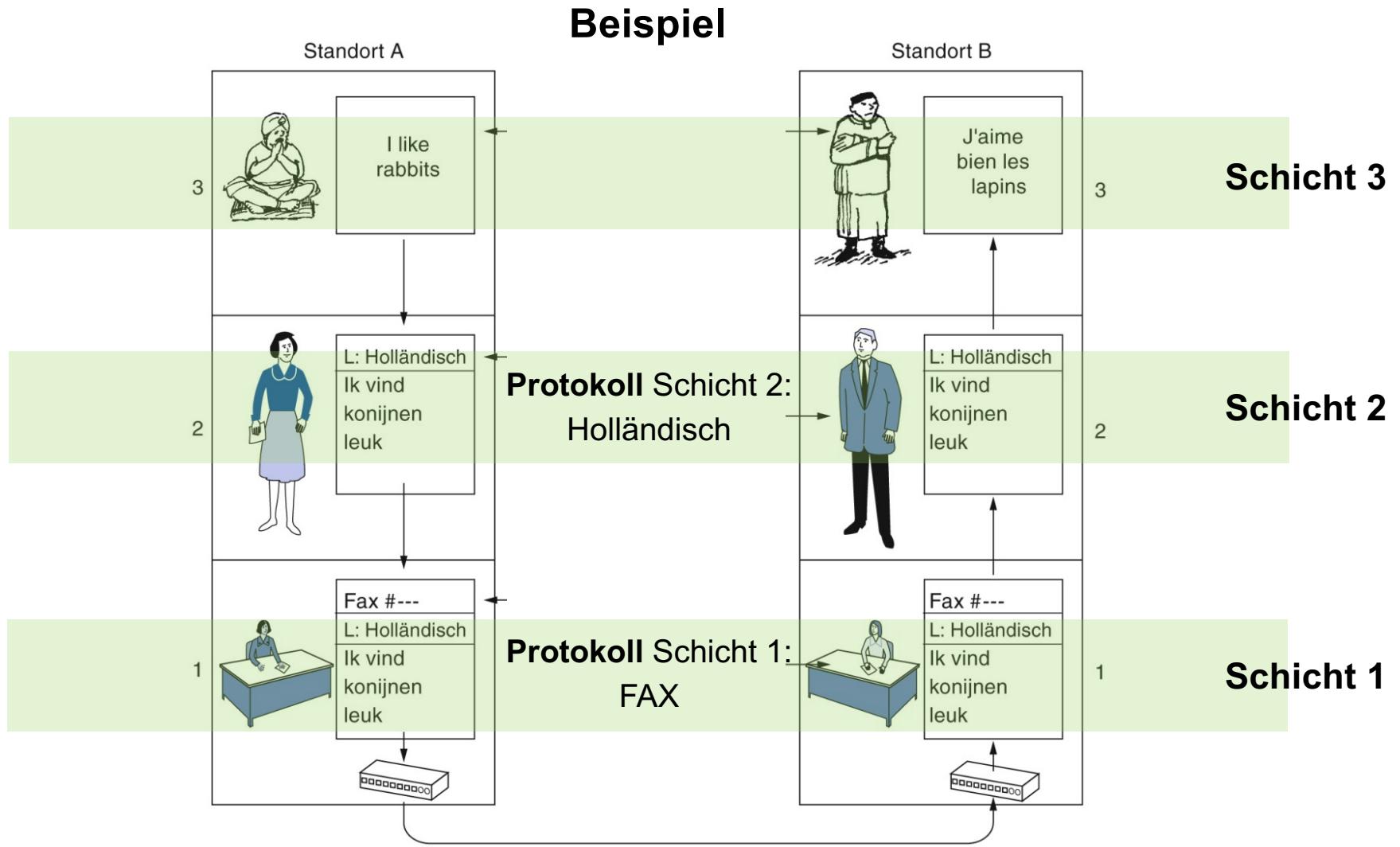


Abbildung 1.14: Die Architektur „Philosoph-Übersetzer-Sekretärin“.

Quelle: A. Tanenbaum, D. Wetherall: Computernetzwerke, 5. Auflage, Pearson



- Schicht i bietet der Schicht $i+1$ einen Dienst an
- Schicht i nützt die Dienste von Schicht $i-1$ zur Implementation seiner Dienste

Was muss man auf Schicht i kennen?

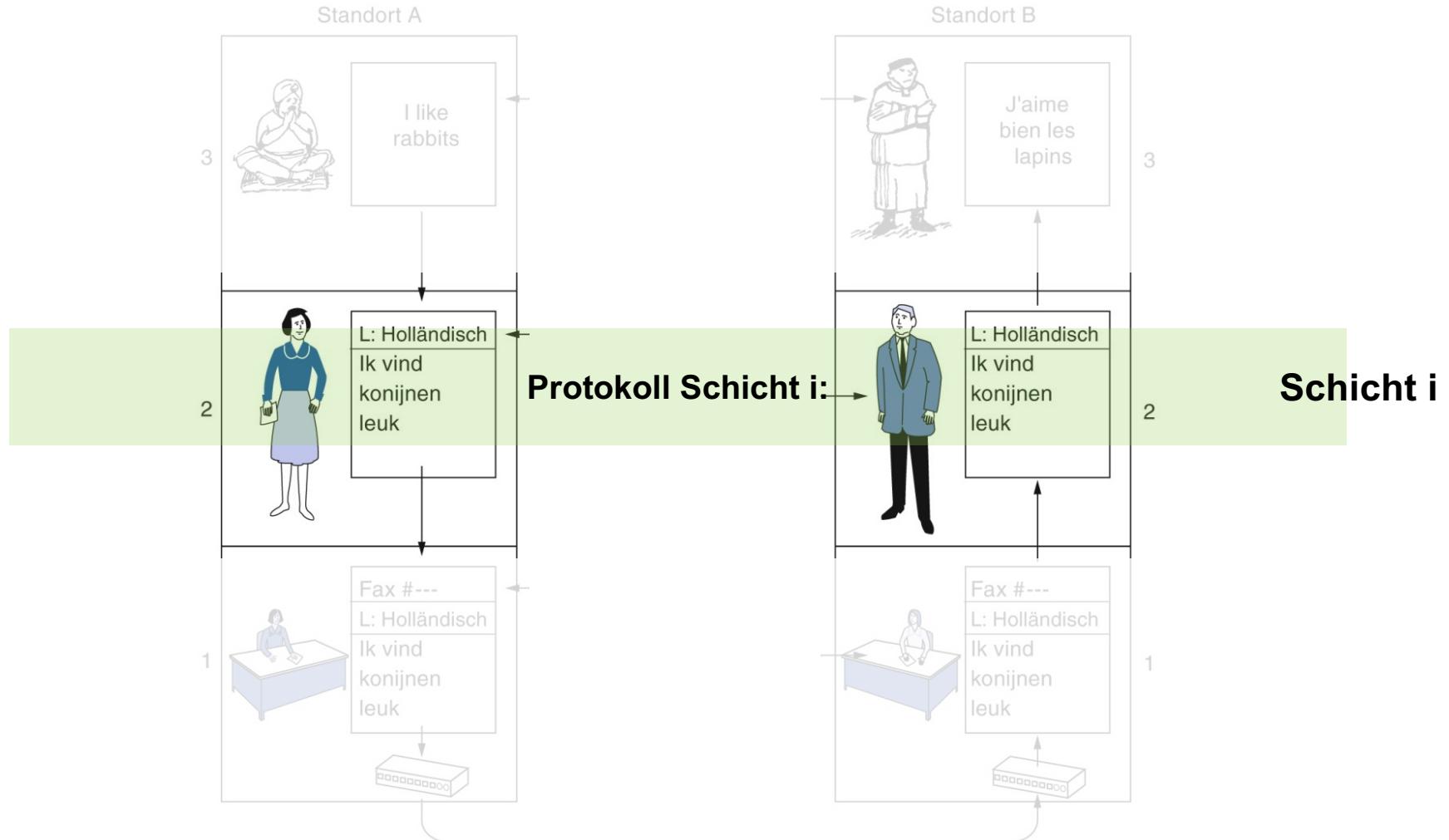


Abbildung 1.14: Die Architektur „Philosoph-Übersetzer-Sekretärin“.

- Protokoll der Schicht i
- Dienste, die Schicht i anbietet
- Dienste der Schicht i-1, die Schicht i nutzt

Wechsel der Protokolle

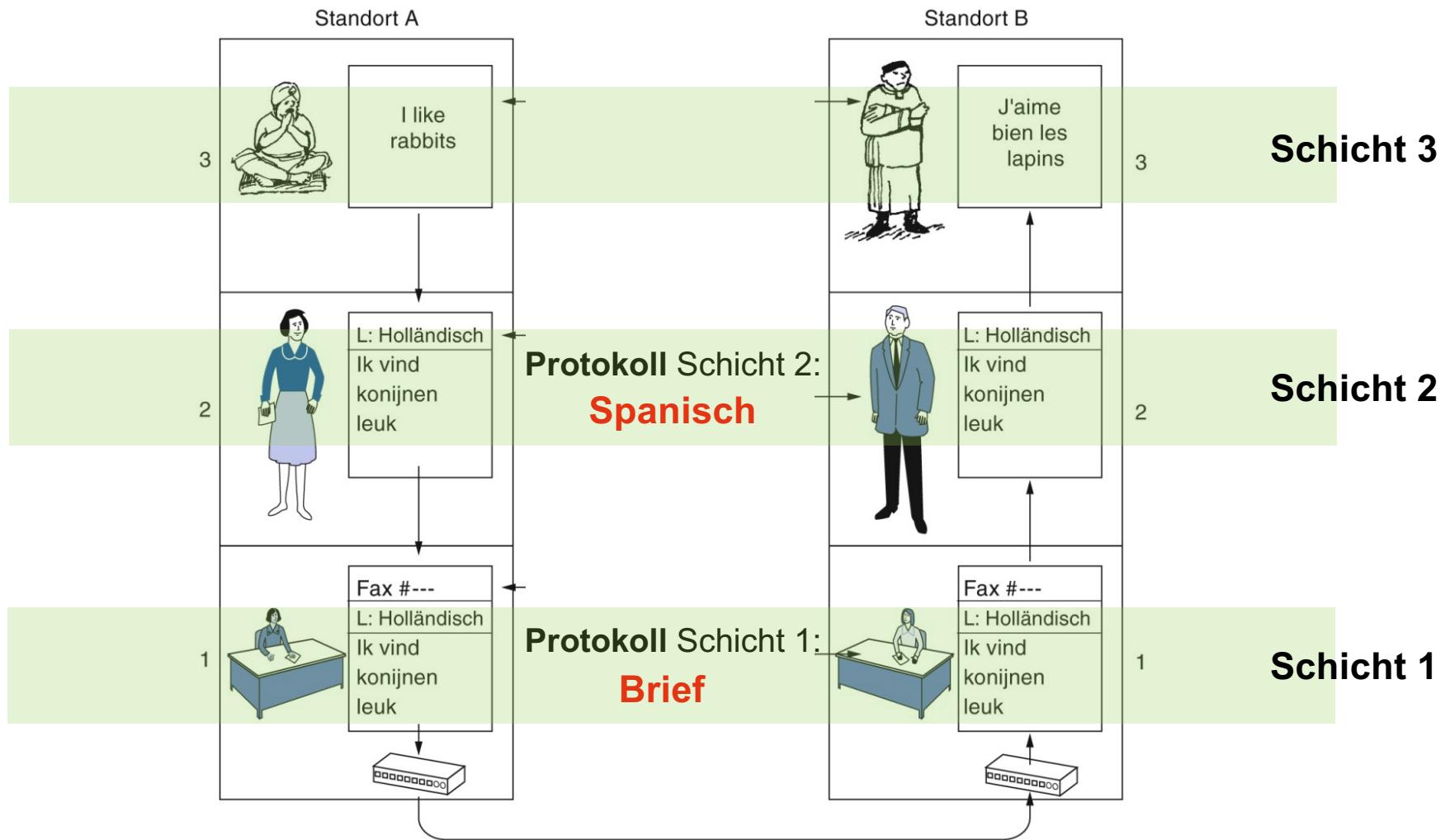


Abbildung 1.14: Die Architektur „Philosoph-Übersetzer-Sekretärin“.

- Solange der Dienst von Schicht i nicht verändert wird, ist ein Protokollwechsel auf Schicht i für Schicht $i+1$ transparent.

Schichtenarchitektur

- Schichten (Layer) sind übereinander gestapelt
- Jede Schicht bietet eine Menge von Diensten (Services) der nächst höheren Schicht an
- Eine Schicht implementiert ihre Dienste
 - mittels ihrer eigenen Schicht-internen Aktionen (Protokoll der Schicht)
 - unter Nutzung der Dienste der nächst tieferen Schicht
- Das Protokoll von Schicht i kann ausgetauscht werden, solange die Dienste von Schicht i sich nicht ändern.
- Verteilte Implementierung der Dienste einer Schicht, Peer 2 Peer

Gründe für eine Schichtenarchitektur (Layering)

- Unterstützt eine übersichtliche Darstellung komplexer Systeme
- Unterstützt die Identifikation und die Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen Teilsystemen eines komplexen Systems
 - Z.B.: Einordnung und Strukturierung auf Basis der Layer
- Modularisierung
 - Wartung und Austausch von Teilsystemen werden erleichtert (solange man die Dienst nicht verändert)

Internet-Schichtenmodell

- **Dienstmodell von Schicht i (service model of layer i):** Die Dienste, die Schicht i der Schicht i+1 zur Verfügung stellt.
- Schicht i implementiert seine Dienste mit Hilfe der Dienste von Schicht i-1.
Für Schicht i ist es nur relevant, dass Schicht i-1 seine Dienste gemäß der Spezifikation erfüllt. Wie dies in Schicht i-1 umgesetzt wird, ist für Schicht i nicht relevant.
- Verteilte Implementierung der Dienste einer Schicht.



**Protokollstapel
(protocol stack)**

Internet-Schichtenmodell

Anwendungsschicht (application layer):

- Realisierung von verteilten Applikationen (benötigt Kommunikation zwischen Prozessen auf entfernten Rechnern)
- HTTP, SMTP, FTP, (DNS), ...
- Bezeichnung der Datenpakete: **Nachricht (message)**

Transportschicht (transport layer):

- Organisation des Host-zu-Host Datentransfers (benötigt zur Kommunikation zwischen entfernten Rechnern)
- TCP, UDP, ...
- Bezeichnung der Datenpakete: **Segment**
-



Internet-Schichtenmodell

Netzwerkschicht (network layer):

- Pfadermittlung und Weiterleitung von Paketen durch das Netzwerk von einem Quell- zu einem Zielrechner
- IP, Routing-Protokolle (OSPF, BGP)
- Bezeichnung der Datenpakete: **Datagramm**



Sicherungsschicht (“data link layer”):

- Datentransfer zwischen benachbarten Netzwerkelementen / in lokalen Netzen
- PPP, Ethernet, WLAN (IEEE 802.x)
- Bezeichnung der Datenpakete: **Rahmen (Frame)**
- **MAC** (Media Access Control) and **LLC** (Logical Link Control)

Internet-Schichtenmodell

Bitübertragungsschicht (“physical layer”):

- Darstellung und Übermittlung eines Bits abhängig vom physikalischen Medium
- Codierungs- und Modulationsverfahren
- Ethernet
 - Unterschiedliche Protokolle für die Bitübertragungsschicht
 - Unterschiedliche physikalische Eigenschaften und Übertragungsraten
 - Austauschbar: Alle bieten der Sicherungsschicht den selben Dienst an



Quelle: A. Tanenbaum, D. Wetherall: Computernetzwerke, 5. Auflage, Pearson

Internet-Schichtenmodell

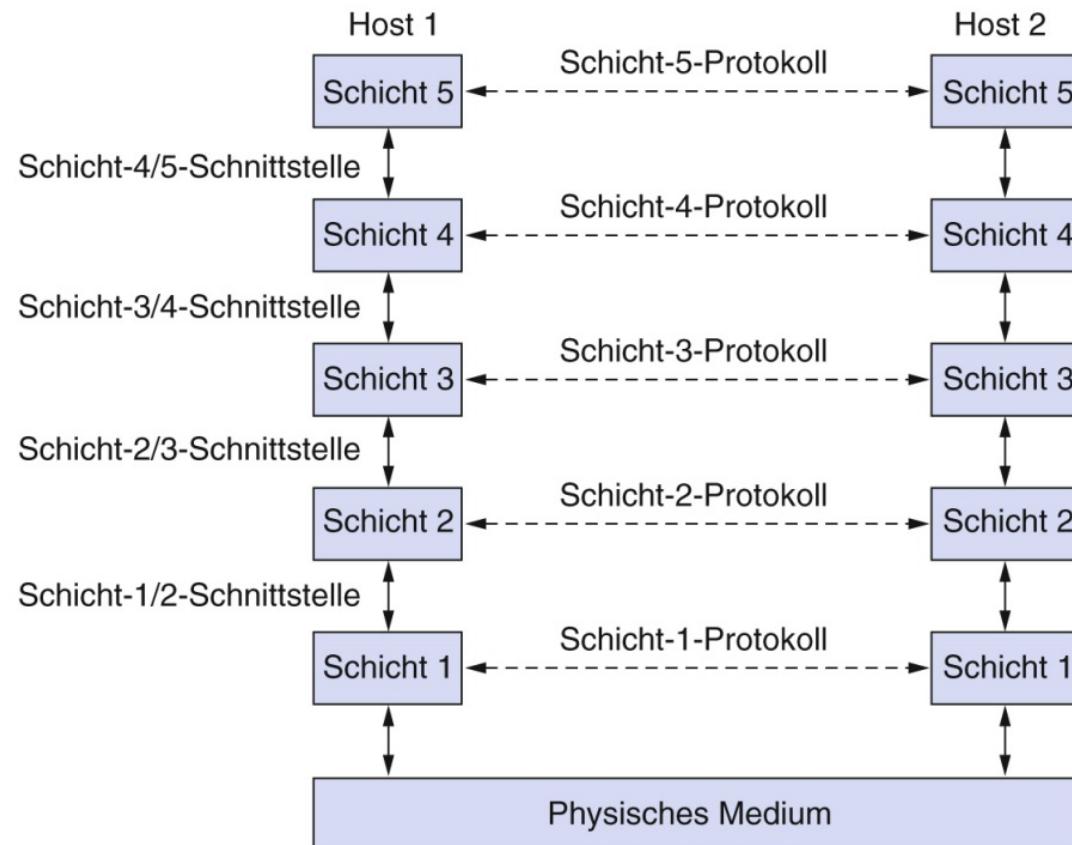


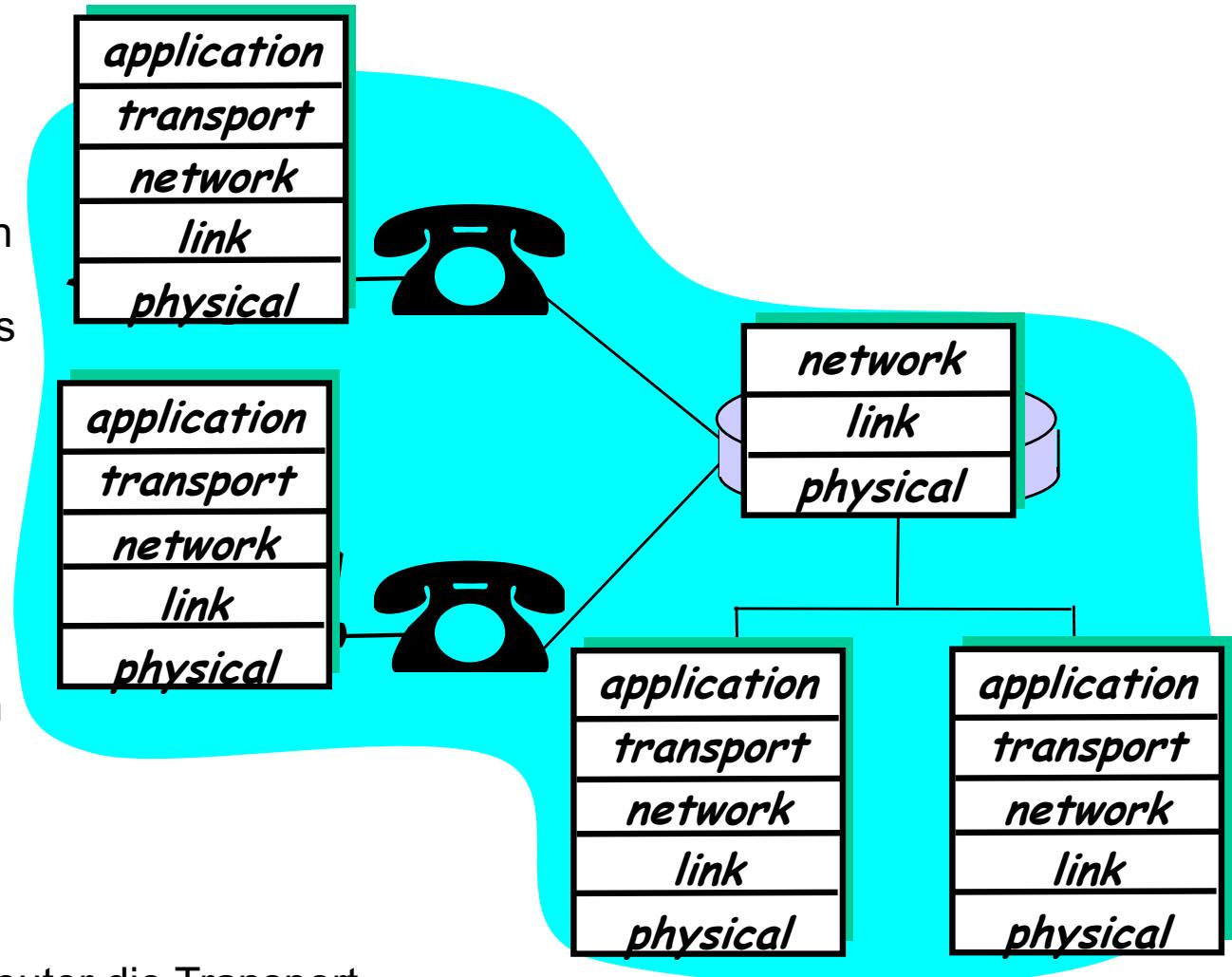
Abbildung 1.13: Schichten, Protokolle und Schnittstellen.



Logische Kommunikation in einer Schicht

Jede Schicht

- ist verteilt
- (Teil-) Funktionen einer Schicht laufen in jedem Netzwerkelement, das diese Schicht implementiert
- (Teil-) Funktionen führen Aktionen aus und tauschen mit anderen (Teil-) Funktionen derselben Schicht Nachrichten aus (Peer-2-Peer)

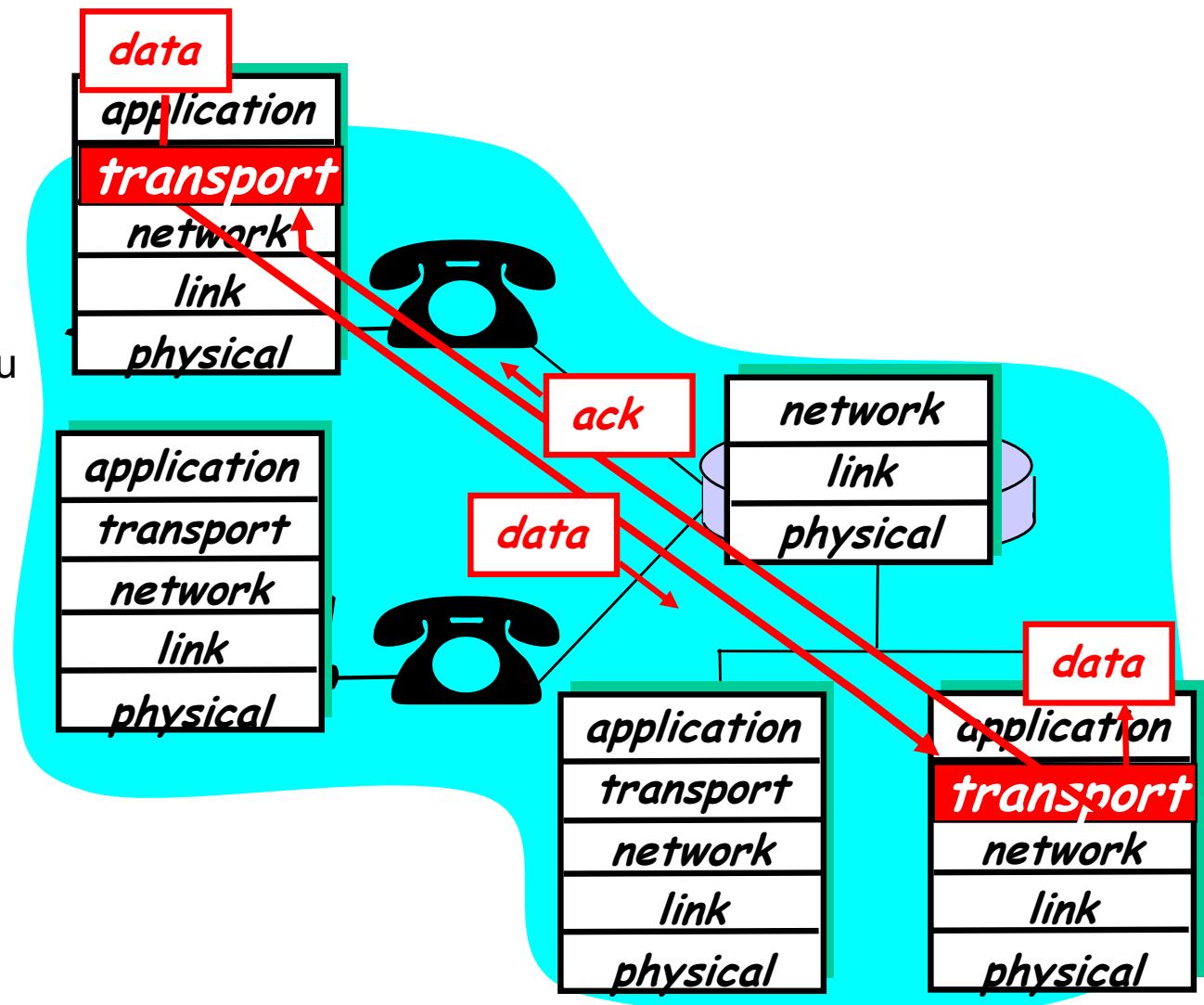


Warum implementiert der Router die Transport und Anwendungsschicht nicht?

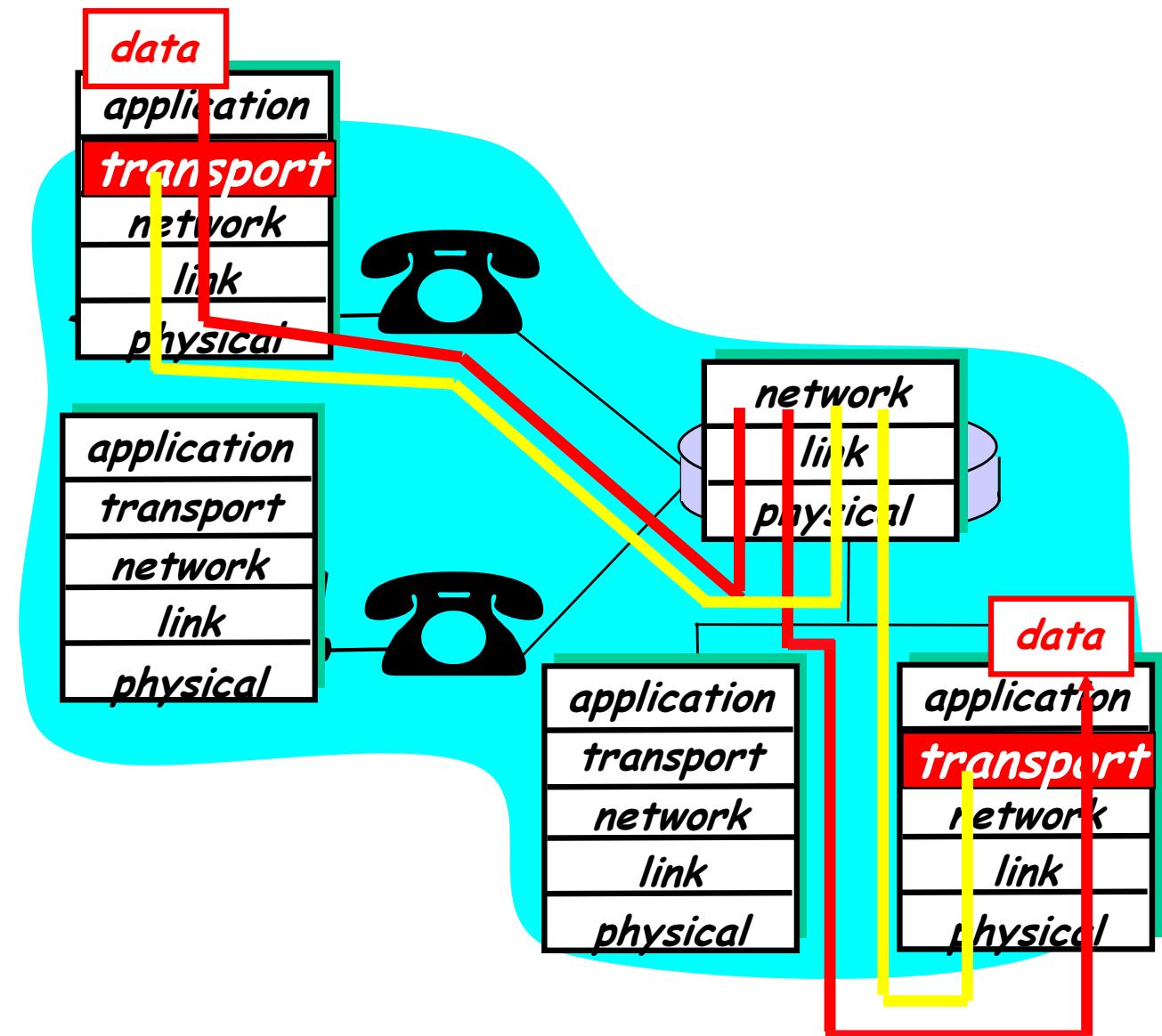
Logische Kommunikation in einer Schicht

Bsp.: Transportschicht

- übernimmt Daten von einer Anwendung
- fügt u.a. Adressinformationen und eine Prüfsumme hinzu
- sendet Paket zum Partner ("Peer") auf Zielrechner
- wartet auf Quittung



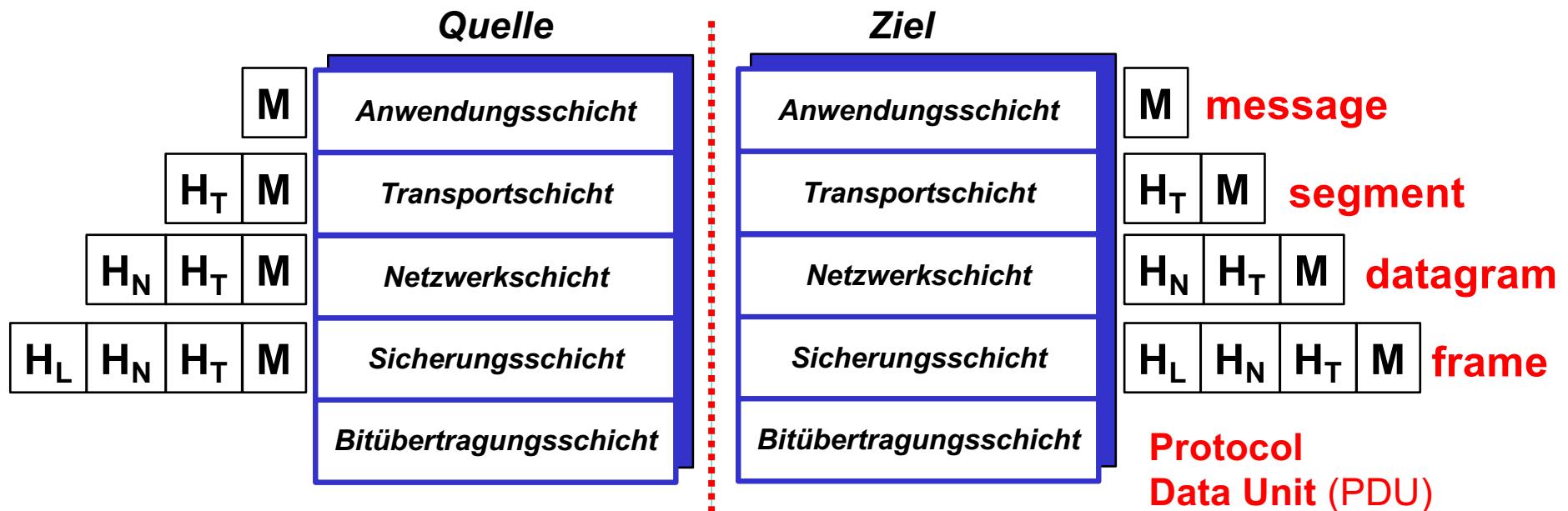
Übertragung durch Ab- und Aufsteigen im Protokoll Stapel



Kapselung (Encapsulation): Datenübergabe zwischen den Protokollsichten

Jede Schicht

- übernimmt Datenpakete von der nächst höheren Schicht
- fügt **Header**-Informationen (=Verwaltungsinformationen) für den Partner hinzu und erzeugt ein neues Paket



Router vs. Switch

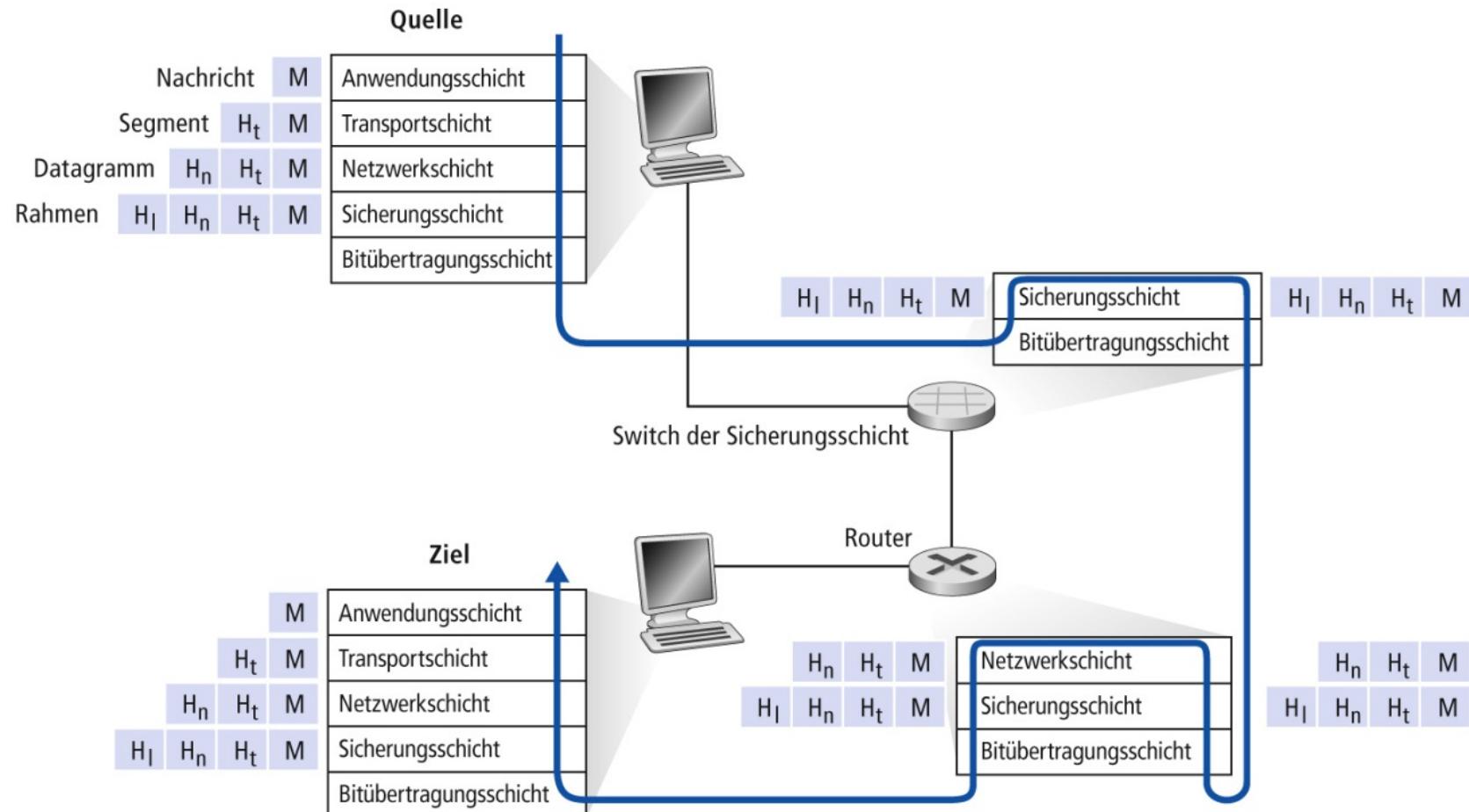
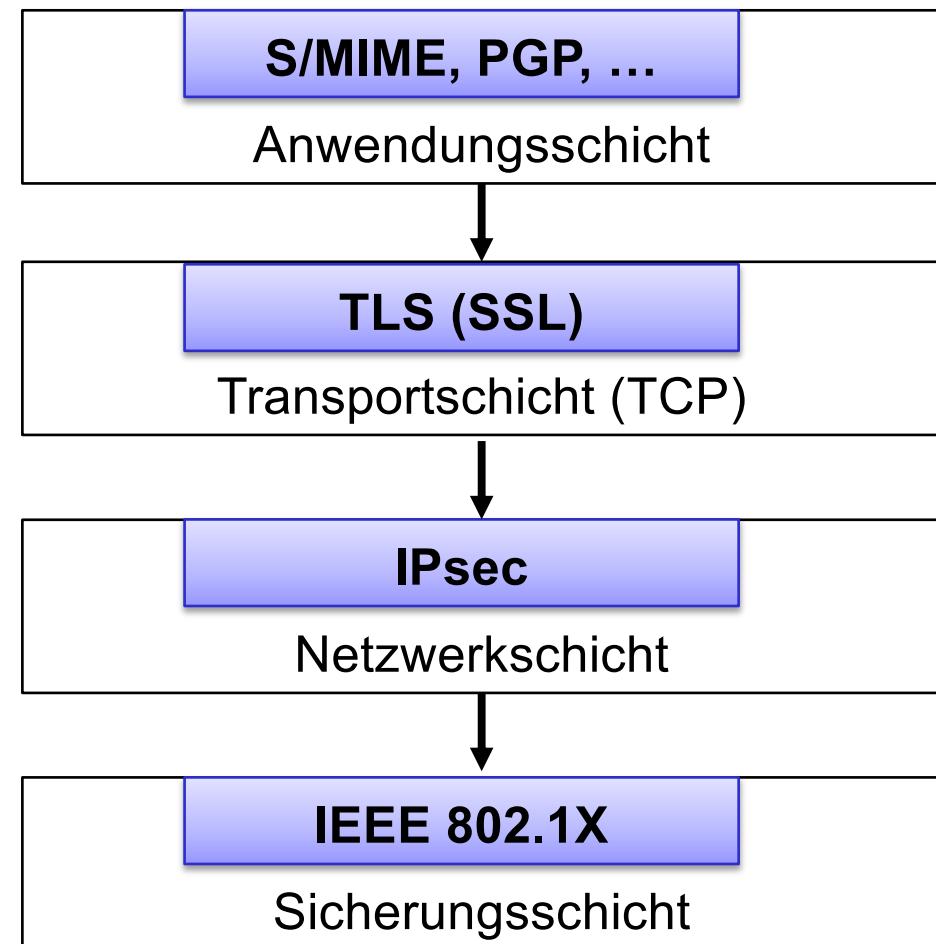


Abbildung 1.24: Hosts, Router und Sicherungsschicht-Switches implementieren jeweils andere Schichten entsprechend ihrer unterschiedlichen Funktionen.

Ergänzung um Sicherheitsprotokolle

- Eine Netzwerkschicht stellt der höheren Schichten eigene **Sicherheitsdienste** zur Verfügung
- z.B. Verschlüsselung, Datenintegritätssicherung, Authentifikation
- Verwendung ist optional
- Verwenden eigene Header Informationen



Das ISO¹/OSI² -Schichtenmodell

Entwicklungsstart: 1977

Zwei weitere Layer:

Darstellungsschicht (presentation layer):

- Konventionen zur einheitlichen Darstellung von Zeichen und Datentypen

Sitzungsschicht (session layer):

- Dienste zur Verwaltung von Sessions (Wiederaufnahme etc.)

Sind oftmals in die Anwendung integriert

¹ ISO: International Organization for Standardization

² OSI: Open Systems Interconnection Model



**Protokollstapel
(protocol stack)**

Optimaler Zeitpunkt zur Entwicklung eines Standards

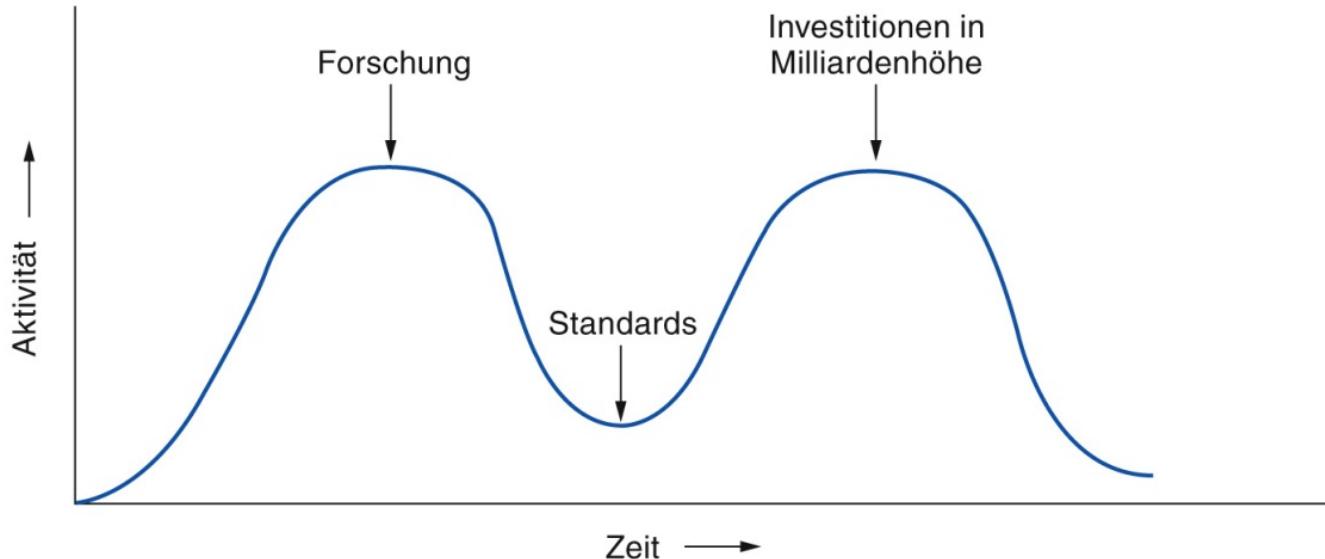


Abbildung 1.24: Die Apokalypse der zwei Elefanten.

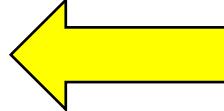
- **Zu früh:** Standard nicht genug durch die Forschung fundiert
- **Zu spät:** Industrie hat durch Investitionen schon De-Facto Standard etabliert.

Zusammenfassung Protokollschichten

- Jede Schicht implementiert einen oder mehrere Dienste (Service)
 - mittels ihrer eigenen Schicht-internen Aktionen
 - nimmt Dienste der unteren Schichten in Anspruch
- **Logische Kommunikation** mit Partner derselben Schicht (**horizontal**) auf anderem Netzwerk-Knoten
- **Physikalische Kommunikation** mit Schichten auf demselben Netzwerk-Knoten (**vertikal**):
 - Daten kommen von der höheren Schicht
 - Verarbeitung / Anfügen von Headerinformationen für den Partner
 - Weitergabe an untere Schicht

Kapitel 2: Einführung

Gliederung

- Was ist das Internet?
- Protokollsichten und ihre Dienstmodelle
- Grundlegende Protokollfunktionen und Dienste 
- Performanceanalyse in paketvermittelnden Netzen
- Historische Entwicklung
- Zusammenfassung

Grundlegende Protokollfunktionen

Fehlerkontrolle

- Fehlererkennung und -behebung

Flusskontrolle

- Vermeiden der Überlastung eines Knotens

Diese Dienste kann man auf unterschiedlichen Layern umsetzen

Überlastkontrolle

- Vermeidung der Überlast des Netzwerks

Segmentierung und Reassemblierung

- Aufteilung großer Datenblöcke durch den Sender und Zusammensetzen beim Empfänger

Multiplexen

- Gemeinsame Nutzung einer einzigen Verbindung durch mehrere gleiche Verbindungen einer höheren Schicht

Verbindungsaufbau / -abbau

- Handshake mit einem Partner derselben Schicht

Grundlegende Dienstarten für die Ende-zu-Ende-Kommunikation

Verbindungsorientiert (Beispiel TCP)

- Aufbau einer expliziten Verbindung zwischen den Partnern (Handshake)
- Speichern von Zustandsinformationen im Endsystem
- Nach dem Verbindungsaufbau werden Daten geschickt.

Verbindungslos (Beispiel UDP)

- Kein Verbindungsaufbau
- Übertragung von einzelnen Nachrichten sofort

Grundlegende Netzwerkeigenschaft: Leitungs- vs. Paketvermittlung

Leitungsvermittlung (Circuit Switching)

- Schaltung einer durchgehenden physikalischen Verbindung
- Reservierung von „Leitungen“
- Beispiel: Telefonnetz

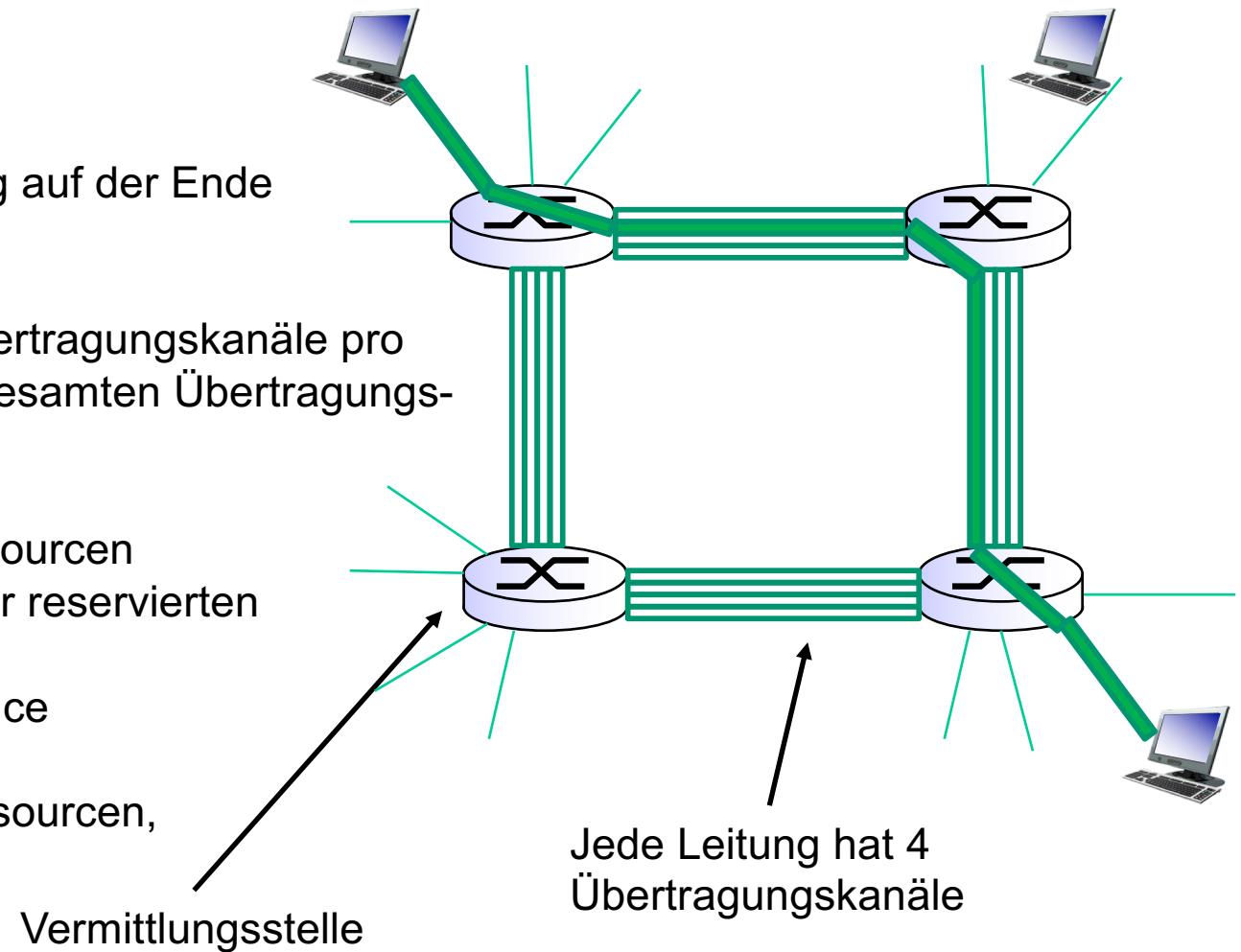
Paketvermittlung (Packet Switching)

- Die Daten werden in einzelnen Paketen übermittelt
- keine Reservierung von Leitungen
- Beispiel Internet

Leitungsvermittlung

Reservierung von Ressourcen für eine Verbindung

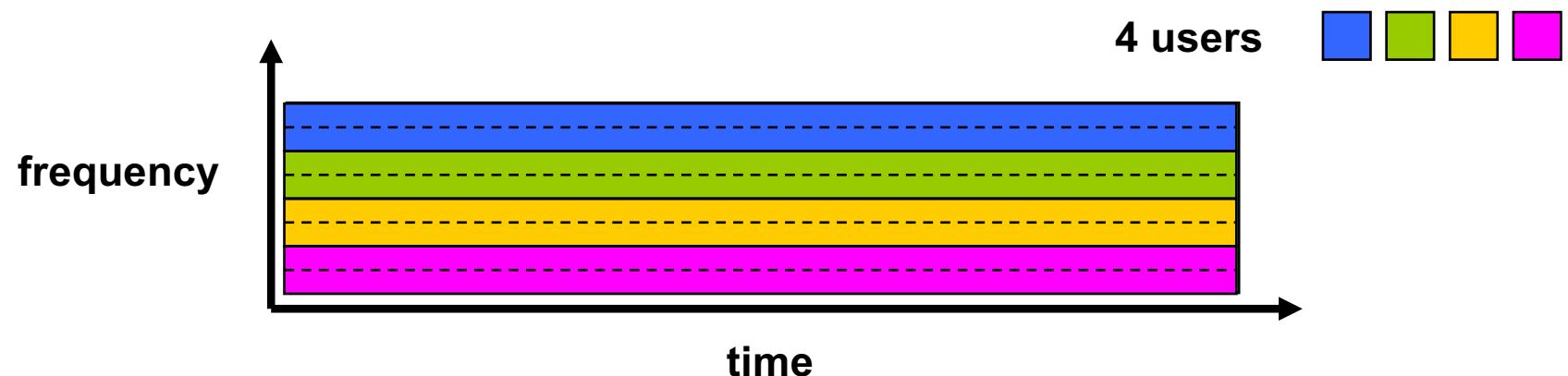
- Verbindungsaubau nötig
- Ressourcen Reservierung auf der Ende zu Ende Strecke
- Multiplexing: Mehrere Übertragungskanäle pro Leitung - Aufteilung der gesamten Übertragungskapazität in "Stücke"
- Fest Zuordnung der Ressourcen
=> **exklusive** Nutzung der reservierten Kapazität
=> Garantierte Performance
- Verschwendungen von Ressourcen, wenn die Verbindung die zugeordneten Ressourcen nicht voll ausschöpft.



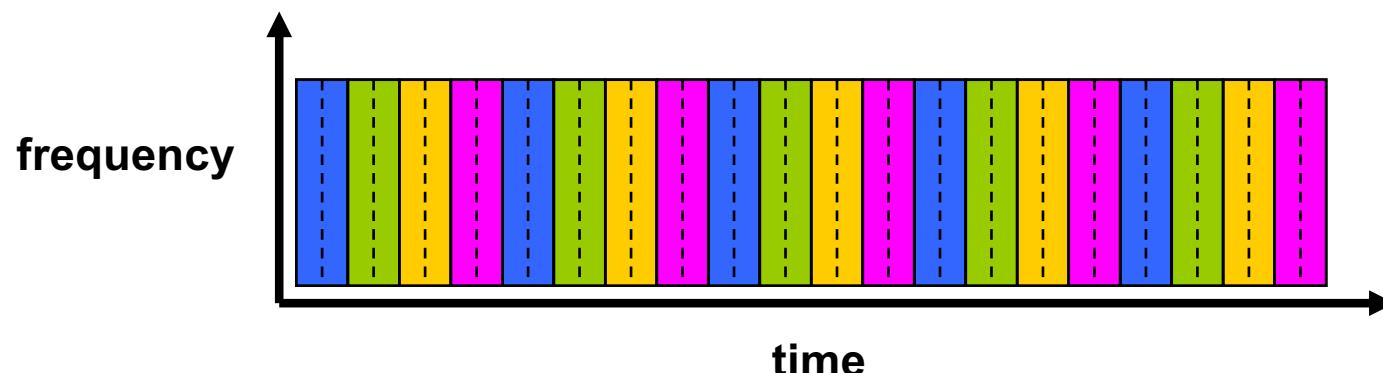
Multiplexing in leitungsvermittelten Netzwerken

Zwei grundlegende Verfahren:

- Frequenzmultiplexverfahren (FDM frequency-division-multiplexing)

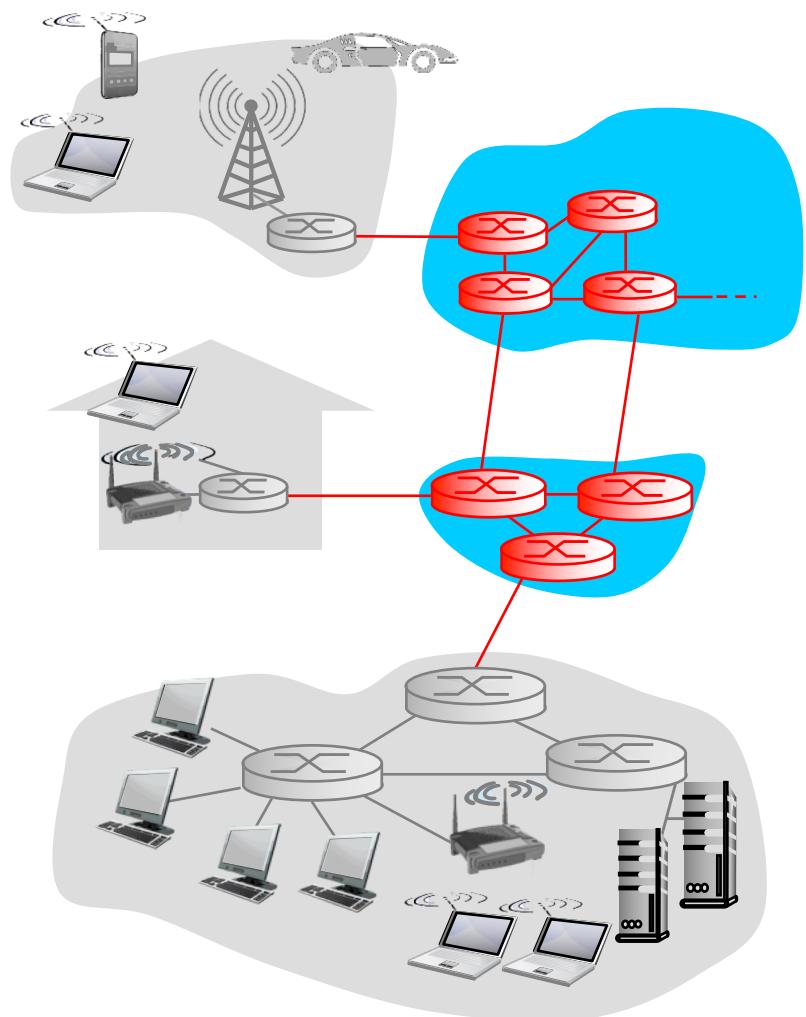


- Zeitmultiplexverfahren (TDM time-division-multiplexing)

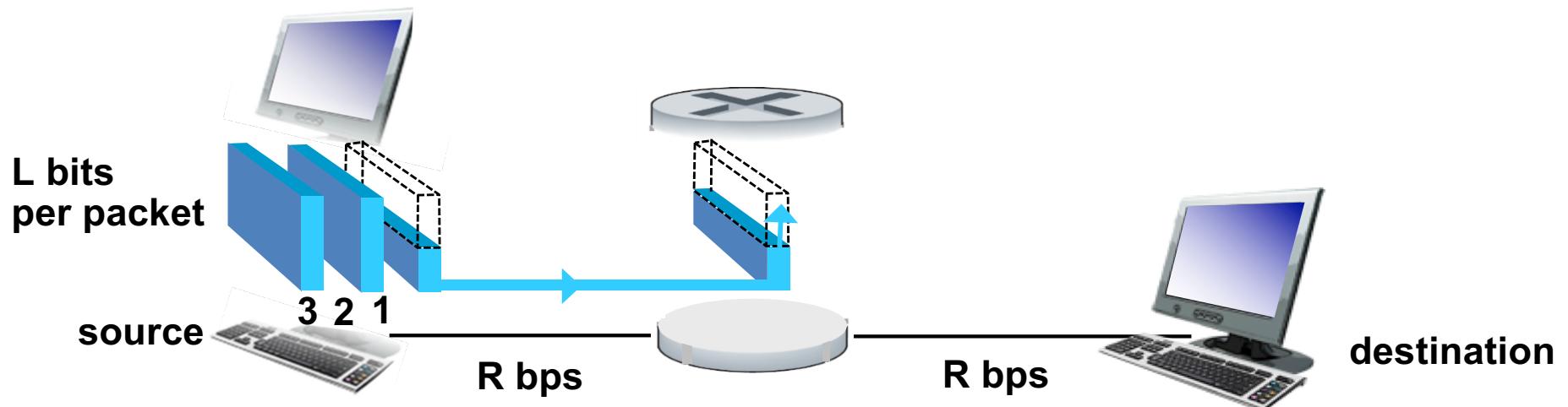


Paketvermittlung

- Netz untereinander verbundener Router
- Der Datenstrom des senden Hosts wird in Pakete aufgeteilt
- Auf dem Weg zum Ziel werden die Pakete von einem Router zum nächsten Router weitergereicht.
- Während der Übertragung über einen Link nutzt ein Paket die volle Übertragungskapazität des Links.
- **Keine feste Zuordnung von Kapazitäten**



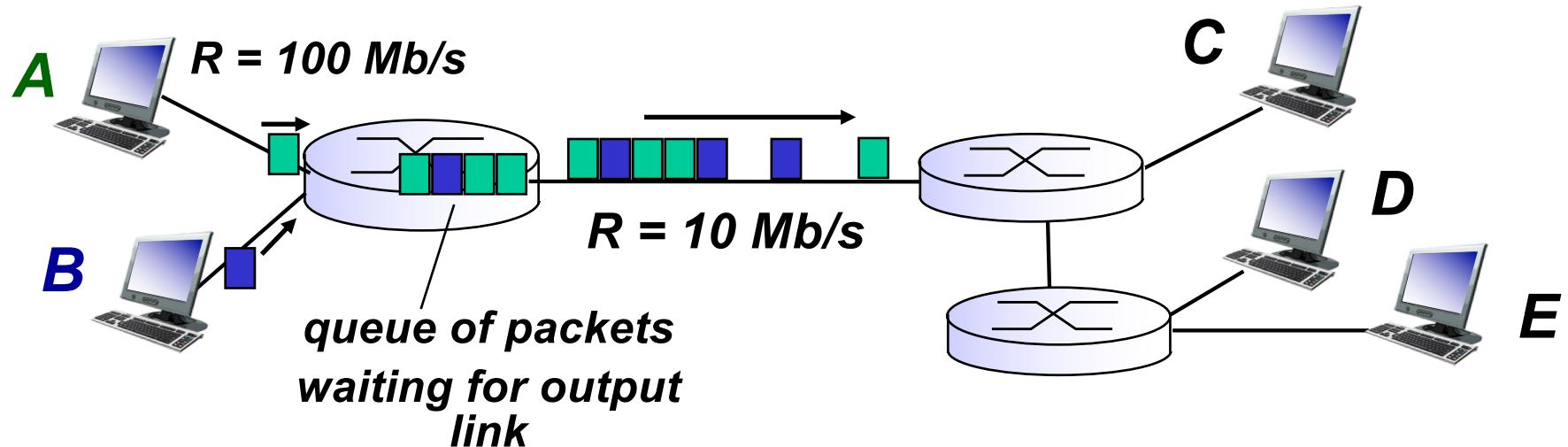
Paketvermittlung: Store-and-Forward



- **Store and forward-Technik:** Pakete werden vollständig an den nächsten Knoten übertragen ("Hop") und warten dort auf den nächsten Hop
- **Beispielrechnung**
 - In 0-ter Näherung dauert die Übertragung eines Pakets pro link L/R s
 - In 0-ter Näherung: Ende-zu-Ende Delay: $2 * L/R$ s

Cut Through Switches: Alternative Technik bei Switchen

Paketvermittlung: Warteschlangenverzögerung & Paketverlust



- Die aggregierten Ressourcenanforderungen in einem Vermittlungsknoten können die verfügbare Kapazität übersteigen
- **Stau** - Pakete müssen in Ausgangspuffern vor Links warten
- **Warteschlangenverzögerung (queuing delay)**
- **Paketverlust**

Anmerkung: Maßeinheiten für die Übertragungsrate

Angaben für Netzwerk-Übertragungsrate:

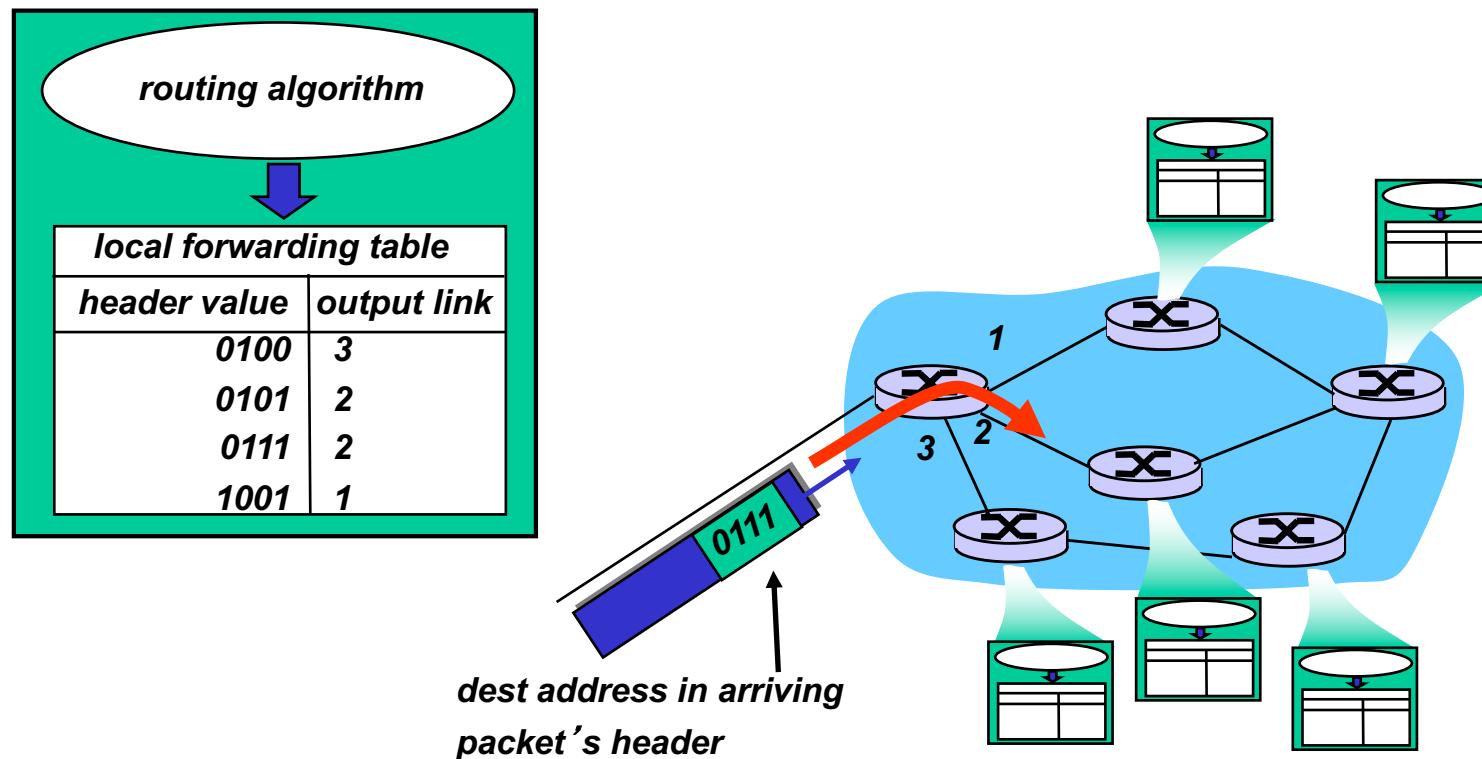
- 1 kbit/s = 1 kb/s = 1 kbps = 1000 bit/s **Potenzen zur Basis 10**
- 1 kB/s = 8 kb/s = 8000 bit/s
- 1 Mbit/s = 1 Mbps = 1 000 000 bit/s
- 1 Gbit/s = 1 Gbps = 1 000 000 000 bit/s

Gegensatz: Angaben für Speicher

- 1 KB oder KiB = 2^{10} Byte = 1024 Byte **Potenzen zur Basis 2**
- 1 MB oder MiB = 2^{20} Byte = 1 048 576 Byte
- 1 GB oder GiB = 2^{30} Byte = 1 073 741 824 Byte

Zwei Grundlegende Techniken: Routing & Forwarding

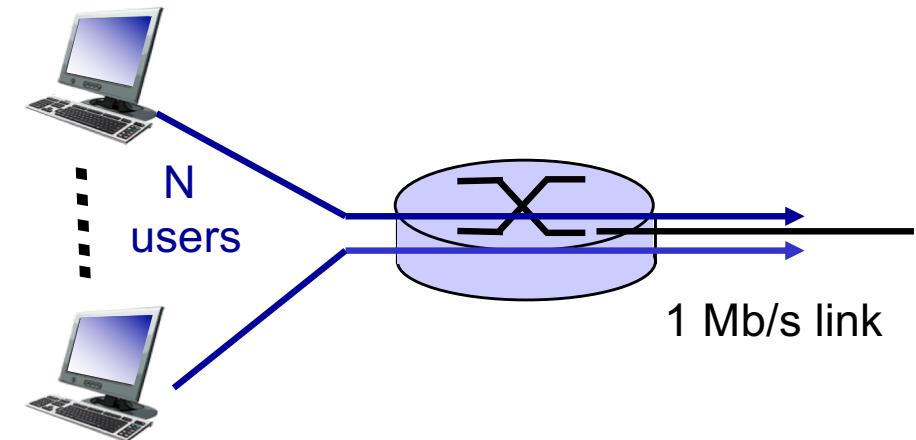
- **Forwarding Table:** Bildet Zieladressen auf output Links ab
- **Routing Algorithmus:** Berechnet den Pfad vom Sender zum Empfänger.
Ergebnisse des Routing Algorithmus bilden den Input der Forwarding Tabellen



Paket- vs. Leitungsvermittlung

Beispiel:

- Gemeinsamer Link 1Mb/s
- Pro User:
 - 100 kb/s wenn er aktiv ist
 - 10% der Zeit aktiv



Leitungsvermittlung:

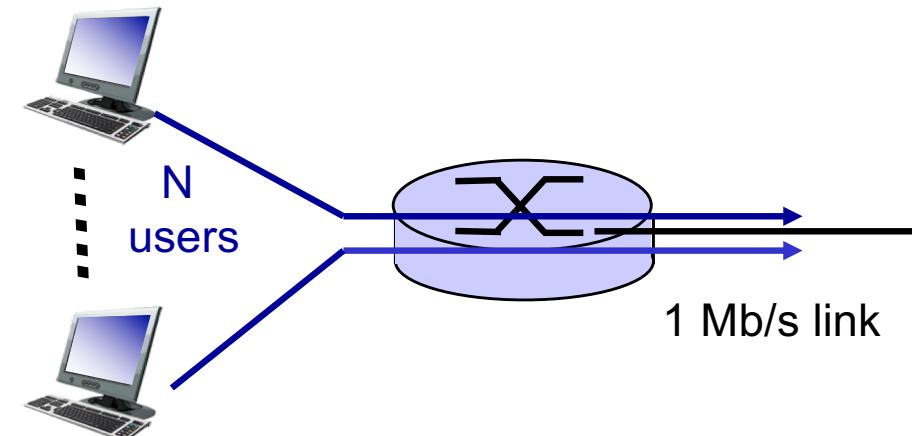
- Max. Anzahl User = $1 \text{ Mb/s} / 100 \text{ kb/s} = 1000/100 = 10$

Paket- vs. Leitungsvermittlung (Fortsetzung)

Beispiel:

Paketvermittlung:

- 35 User
- Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit (p_w), dass mehr als 10 User zeitgleich aktiv sind?



Wahrscheinlichkeit, dass ein User etwas sendet: $p = 0.1$

Wahrscheinlichkeit das genau k (mit $0 \leq k \leq 35$) User zeitgleich aktiv sind: p_k

$$p_{10} = \binom{35}{10} p^{10} (1 - p)^{35-10} = \frac{35!}{10! * (35 - 10)!} 0.1^{10} (0.9)^{25} = 0,0054$$

$$p_w = 1 - \sum_{k=0}^{10} p_k = 1 - \sum_{k=0}^{10} \binom{35}{k} p^k (1 - p)^{35-k} = 0,0004$$

Paketvermittlung im Vergleich zur Leitungsvermittlung (Fortsetzung)

- Paketvermittlung erlaubt eine bessere Auslastung des Netzes
 - keine “Stillephasen”
 - dynamische Aufteilung der Netzwerkressourcen
 - kein Overhead für Leitungsreservierung
- Bei einer Paketvermittlung können
 - Paketverzögerung und -verlust auftreten (Stau und Überlastung)
 - Zuverlässiger Datentransfer und Überlastkontrolle müssen ggf. von höheren Protokollschichten geleistet werden
 - Keine garantierten Paketzustellzeiten möglich

Techniken zur Behandlung von Paketverzögerungen

Wie kann trotzdem ein leitungsvermittlungs-ähnliches Verhalten bzgl. garantierter Paketverzögerungen erreicht werden?

- "Virtuelle Kanäle": Verhalten der Leitungsvermittlung wird durch Protokolle in einem Paketvermittlungs-Netz simuliert (→ Kap. 4 / 5)
- Ziele u.a.
 - Dienstgütegarantien durch Ressourcenreservierung (z.B. für Audio/Video – Streaming): Erfüllung von "Quality of Service" – Anforderungen
 - Vereinfachung der Wegewahl (schnelleres "Routing")
 - Bereitstellung virtueller privater Netze ("Standleitungen")
- Dies ist aber ISP-übergreifend ein im Internet noch nicht gelöstes Problem

Zusammenfassung

Dienstarten (für Endsysteme):

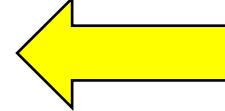
- verbindungsorientiert
- verbindungslos

Netzwerke

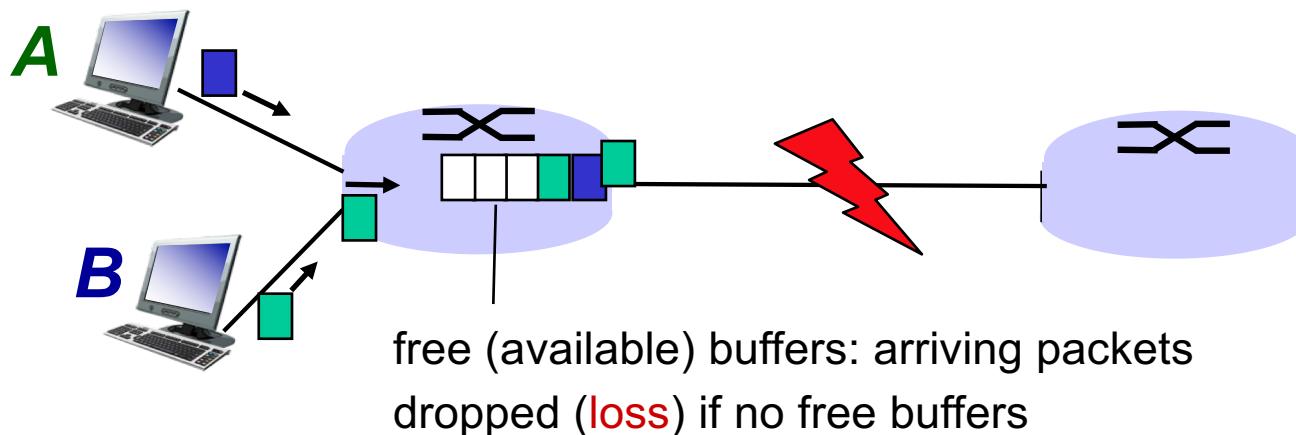
- Leitungsvermittlung
- Paketvermittlung

Kapitel 2: Einführung

Gliederung

- Was ist das Internet?
- Protokollsichten und ihre Dienstmodelle
- Grundlegende Protokollfunktionen und Dienste
- Performanceanalyse in paketvermittelnden Netzen 
- Historische Entwicklung
- Zusammenfassung

Gründe für Paketverlust



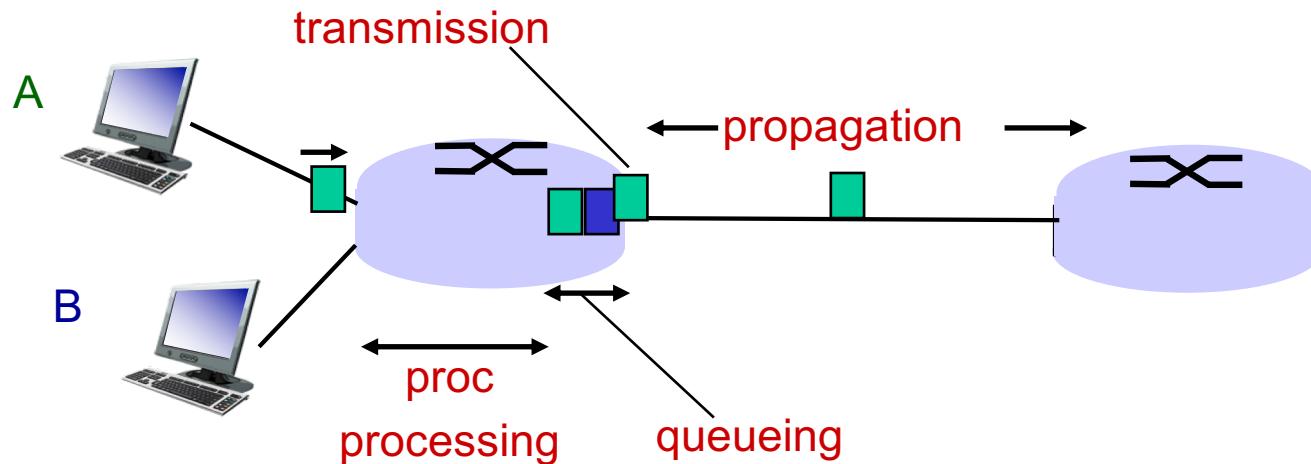
1. Einzelne Bits werden verfälscht empfangen

- z.B. bei geringer Signalstärke im WLAN
- der Empfänger muss dies (für eine definierte Menge an Fehlern) erkennen (→ *Protokoldienst*) und das verfälschte Paket verwerfen
- Teilweise werden die Fehler auch korrigiert.

2. Puffer-Überlauf

- Warteschlange vor einer Leitung (link) hat endlich viele Pufferplätze
- Wenn alle Pufferplätze belegt sind, werden neu ankommende Pakete verworfen

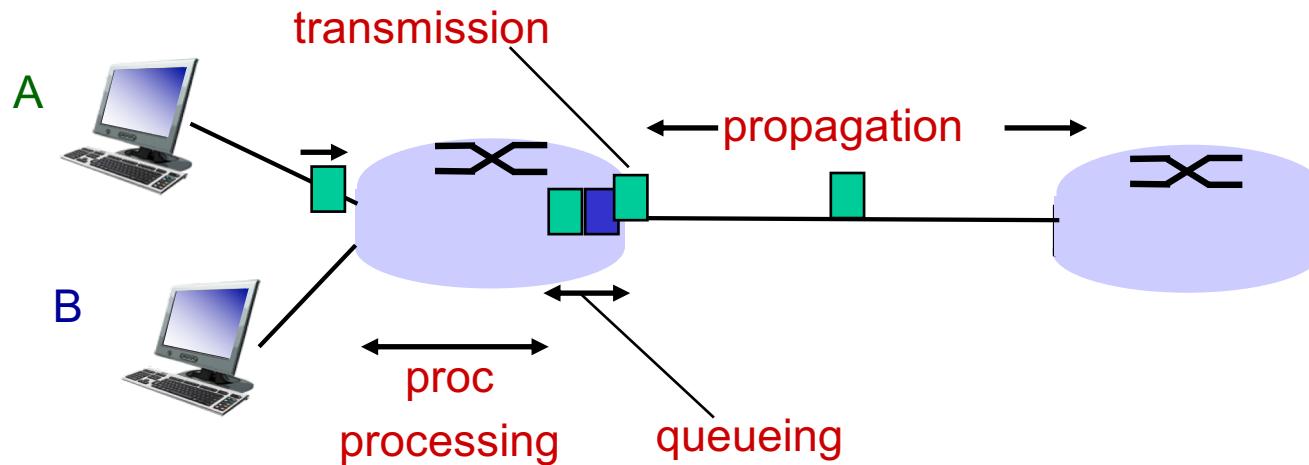
Vier Arten der Verzögerung



$$d_{\text{node}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- Betrachten Teilpfad
 - Eintreffen im Switch => nächsten Netzwerkelement
- Ende zu Ende Latenz : Summe über die entsprechenden Teilstücke
- Diskussion: Entstehung des Jitters

Vier Arten der Verzögerung

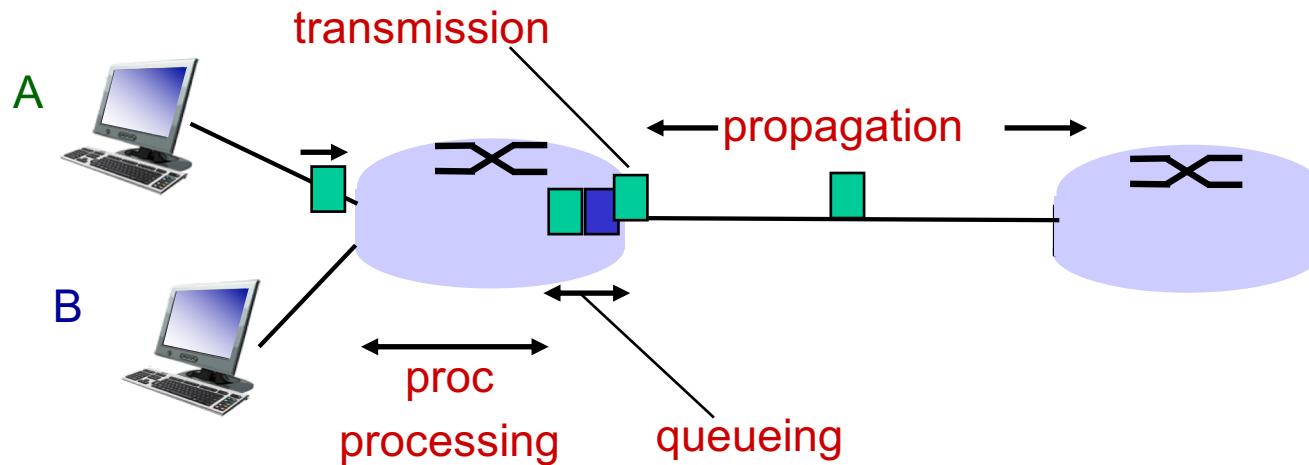


$$d_{\text{node}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Verarbeitungsverzögerung (processing delay) im Knoten

- Prüfung auf Bitfehler
- Routing-Entscheidung über Ausgangsleitung
- ...
- Typische Zeit: wenige Mikrosekunden

Vier Arten der Verzögerung

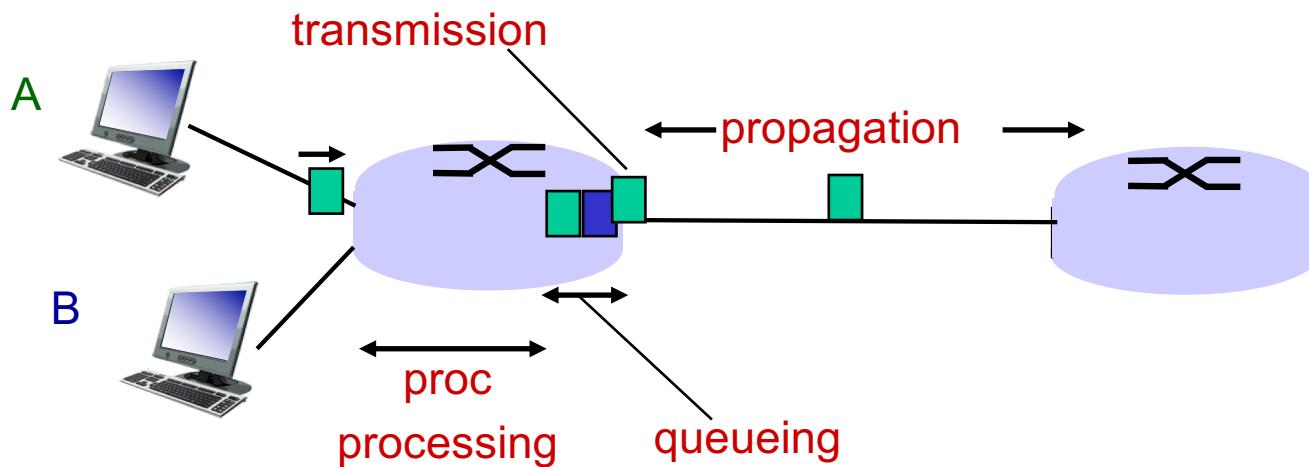


$$d_{\text{node}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Warteschlangenverzögerung (queueing delay)

- Wartezeit im Puffer vor der Ausgangsleitung
- Hängt stark von Verkehrslast im Router ab

Vier Arten der Verzögerung

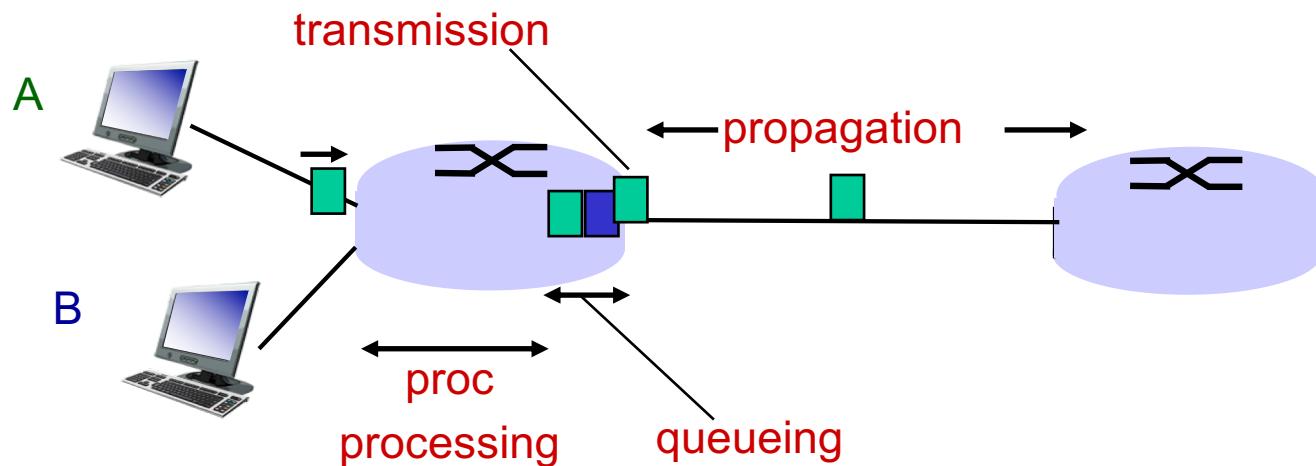


$$d_{\text{node}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Übertragungsverzögerung (“transmission delay”)

- Zeit, die für das Senden der Bits benötigt wird
- R = Übertragungskapazität (*Bandbreite*) der Leitung [bit/s]
- L = Paketgröße [bit]
- Übertragungsverzögerung eines Paktes = L/R [s]

Vier Arten der Verzögerung



$$d_{\text{node}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Ausbreitungsverzögerung (propagation delay):

- Laufzeit eines Bits
- d = Länge der physikalischen Leitung bzw. Entfernung [m]
- v = Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium $2 \cdot 10^8$ [m/s] - $3 \cdot 10^8$ [m/s]
- Ausbreitungsverzögerung eines Bits = d/v [s]

d kann groß sein (Satelliten!)

Diskussion: Ausbreitungs – und Übertragungsverzögerung

Ausbreitungsverzögerung (propagation delay)

- Die Zeit, die ein Bit von einem Router zum nächsten benötigt.
- Hängt z.B. von der Länge des Kabels zwischen Sender und Empfänger ab.

Übertragungsverzögerung (transmission delay)

- Die Zeitdauer, die ein Router benötigt, um eine Paket zur verschicken.
- Daraus ergibt sich die Übertragungskapazität des links (z.B. 100 Mb/s).

Analog

- Kolonnenfahrt zwischen Maut Stationen
Ein Auto entspricht einem Bit

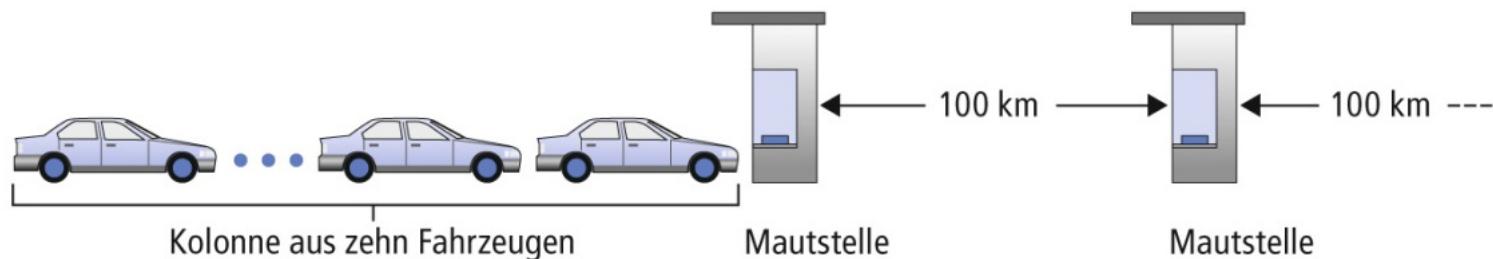


Abbildung 1.17: Analogie einer Fahrzeugkolonne.

Diskussion: Ausbreitungs – und Übertragungsverzögerung

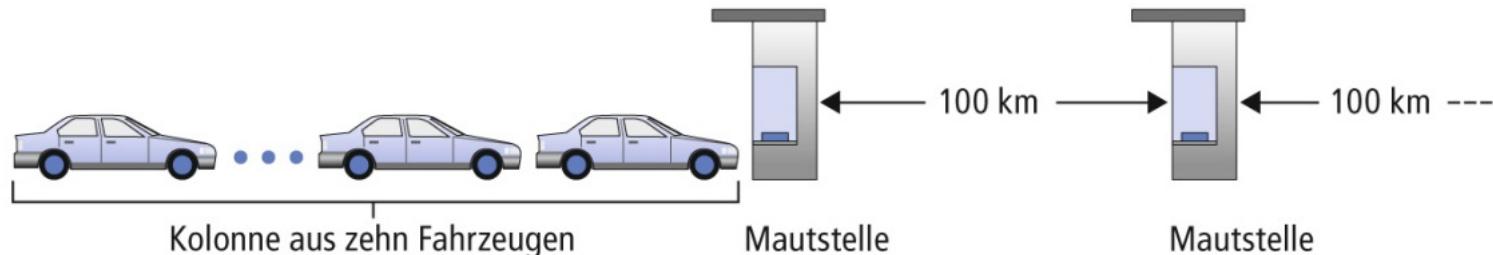


Abbildung 1.17: Analogie einer Fahrzeugkolonne.

**Store & Forward Switch
vs. Cut-Through Switch**

Situation:

- 10 Autos fahren in der Kolonne zwischen zwei Maut Stationen.
- Konstante Geschwindigkeit 150 km/h
- Abfertigungsgeschwindigkeit an der Mautstation: 5 Autos / Minute

Fragen:

- Wie lange braucht die Kolonne von der Einfahrt in die erste Mautstation bis zu dem Moment, wenn alle Autos vor der 2 Mautstation stehen?
- Welche Größe des Beispiels entspricht der Ausbreitungsverzögerung?
- Welche Größe des Beispiels entspricht der Übertragungsverzögerung?
- Welche Größe im Beispiel entspricht der Paketgröße?

Diskussion: Ausbreitungs– und Übertragungsverzögerung

Graphische Veranschaulichung

(s. Online Materialen des Buchs: J. Kurose & K. Ross: Computernetzwerke – Der Top-Down-Ansatz)

https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_comppnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/transmission-vs-propogation-delay/transmission-propagation-delay-ch1/index.html

Hier link kopieren ☺

https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_comppnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/transmission-vs-propogation-delay/transmission-propagation-delay-ch1/index.html

Beispiel:

- Paketgröße 1KB
- Übertragungskapazität (Bandbreite) 10 Mb/s
- Kabellänge 100 km
- Erhöhe Bandbreite auf 100 Mb/s:
 - Die Zeit, bis das erste Bit beim Ziel eintrifft, bleibt gleich.
 - Die Latenz wird kürzer

Grundlagen Warteschlangenverzögerung

- In erster Näherung hängt nur die Warteschlangenverzögerung vom Verkehrsaufkommen auf.
- Typische Kenngröße: **Verkehrswert (traffic intensity)** = $L * a / R$ mit
 - L = Paketlänge¹ [bit]
 - a = mittlere Eintreffrate der Pakete [Pakete/s]
 - R = Übertragungsgeschwindigkeit [bit/s]

- **Fall 1:** $L * a / R \sim 0$:
 - Durchschnittliche Warteschlangenverzögerung ist klein
- **Fall 2:** $L * a / R > 1$:
 - Durchschnittliche Rate der eintreffenden Bits ist größer als die der ausgehenden Bits
 - Stau, Paketverlust
- Designregel: Verkehrswert muss kleiner als 1 sein.



¹ Hier Annahme: Alle Pakete haben die selben Länge

Grundlagen Warteschlangenverzögerung (Fortsetzung)

Situation: $L * a / R \leq 1$ **Verkehrswert liefert intuitives Verständnis**

Fall 1 (nicht realistisch): Die Pakete treffen periodisch ein

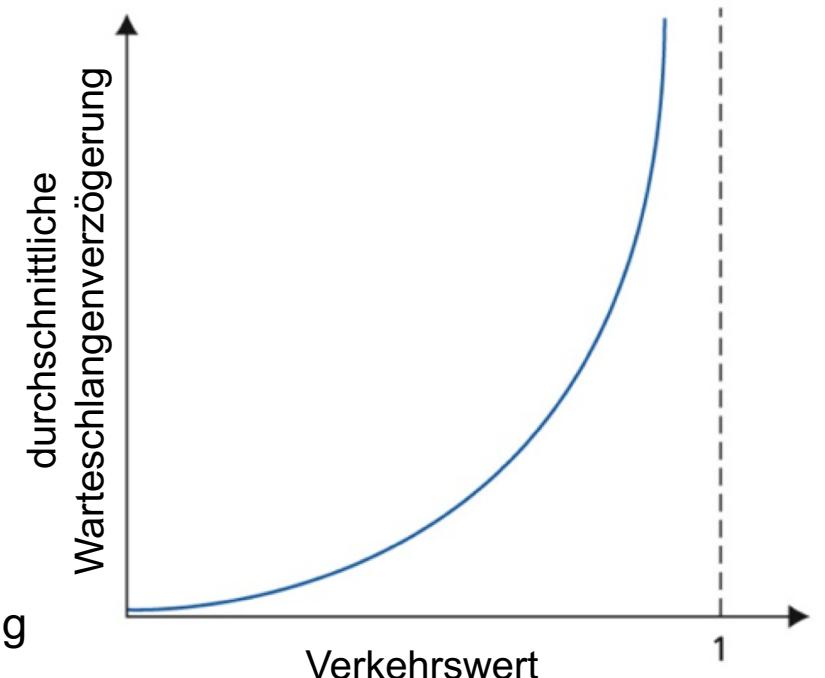
- Jedes Paket findet eine leere Warteschlange vor und wird sofort übertragen.

Fall 2 (nicht realistisch): Periodische Bursts von n Paketen

- Paket 1: Warteschlangenverzögerung = 0
- Paket 2: Warteschlangenverzögerung = L/R
- Paket n : Warteschlangenverzögerung = $(n-1)L/R$

Fall 3 (realistisch): Pakete treffen zufällig ein

- Kleiner Verkehrswert: durchschnittliche Warteschlangenverzögerung klein
- Die durchschnittliche Warteschlangenverzögerung nimmt rapide zu, wenn der Verkehrswert gegen 1 geht.



Ende zu Ende Latenz

- Die Zeit, die vergeht, bis ein Paket der Länge L vollständig von einem Sender zu einem Empfänger übertragen wurde.
- Summe der Verarbeitungszeiten aller beteiligten Stationen
- Summe der Warteschlangenverzögerungen in allen Puffern
 - Hängt stark von der Netzwerklast ab
- Summe der Übertragungszeiten auf allen Links
 - Signifikant, wenn die Bandbreite klein in Verhältnis zur Paketgröße ist
 - Unterschiedliche Bandbreiten für unterschiedliche Links möglich
- Summe aller Ausbreitungsverzögerung
 - abhängig vom Medium und der Entfernung
 - Für jede „Leitung“ ggf. unterschiedlich

***Store & Forward Switch
vs. Cut-Through Switch***

Reale Verzögerungszeiten im Internet

Traceroute

- Berechnet auf round-trip-delay zu allen Knoten von der Quelle zum Ziel
- Basiert auf ICMP (Internet Control Message Protocol) Echo Request zum Zielhosts mit Time To Live Werten von 1 bis N (bei N – 1 Routern auf dem Weg von der Quelle zum Ziel)
- Router i antwortet auf Paket nur i

#	IP Address	Name	RTT (ms)	Network
1	169.254.201.218	huebnerpc1	0	-----
2	213.191.76.19	-----	42	HANSENET
3	213.191.84.34	g02cr1002.hh-38.hansenet.net	47	RIPE-213
4	213.191.76.110	-----	99	HANSENET
5	213.191.84.131	g900pr0401.hh-48.hansenet.net	46	HANSENET
6	62.67.38.221	-----	44	DE-MIKNET-20001108
7	195.122.140.194	unknown.level3.net	45	HAMBURG-INFRA1
8	212.187.128.49	so-1-0-0.mp1.london2.level3.net	67	EUROPE-MPLS-CORE
9	212.187.128.138	so-1-0-0.mp1.washington1.level3.net	164	EU-US-CABLE
10	64.159.1.157	so-0-0-0.mp1.losangeles1.level3.net	191	LC-ORG-ARIN
11	209.247.10.198	pos8-0.core2.losangeles1.level3.net	215	LEVEL3-CIDR
12	64.152.193.66	wil-core01.losangeles.net.reach.com	199	LC-ORG-ARIN
13	202.84.251.146	i-5-0.wil-core02.net.reach.com	192	FIJI-HK
14	202.84.249.138	i-2-0.syd-core02.net.reach.com	365	FIJI-HK
15	203.50.13.253	gigabitethernet1-2.pad-core5.sydney.telstra.net	355	TELSTRAINTERNET3-AU
16	203.50.12.17	pos7-0.chw-core2.sydney.telstra.net	363	TELSTRAINTERNET3-AU
17	203.50.19.19	fastethernet1-0.ken9.sydney.telstra.net	371	TELSTRAINTERNET3-AU
18	139.130.32.54	austra4.lnk.telstra.net	377	TELSTRA-AU
19	203.35.183.197	-----	373	TELSTRAINTERNET9-AU
20	203.35.183.199	www.anmm.gov.au	376	TELSTRAINTERNET9-AU

Durchsatz (Throughput)

Momentaner Durchsatz (instantaneous throughput)

- Ist die aktuelle Geschwindigkeit (in Bit/s), mit der die Daten von der Quelle zum Ziel geschickt werden.

Durchschnittlicher Durchsatz (average throughput)

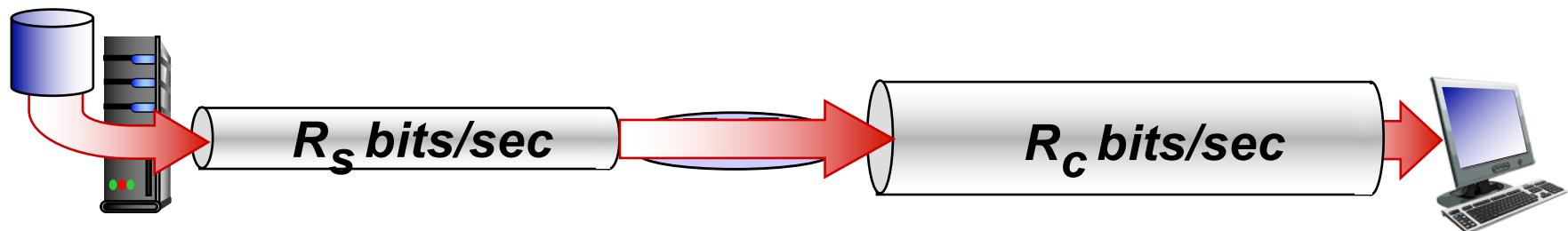
- Ist die durchschnittliche Geschwindigkeit (in Bit/s), mit der die Daten von der Quelle zum Ziel geschickt werden.

Typische Anforderungen

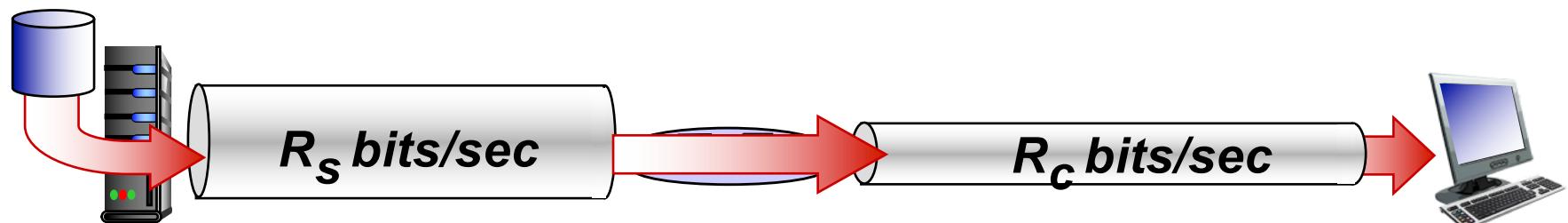
- Internet Telefonie: niedrige Latenz und einem momentanen Durchsatz, der stets größer als 24kbit/s ist.
- File Transfer: hoher durchschnittlicher Durchsatz gewünscht

Durchsatz

- **Beispiel:** Übertragung einer großen Datei
- **Analogie:** Flüssigkeit (Pakete) fließt durch Rohre (Durchmesser entspricht der Bandbreite)



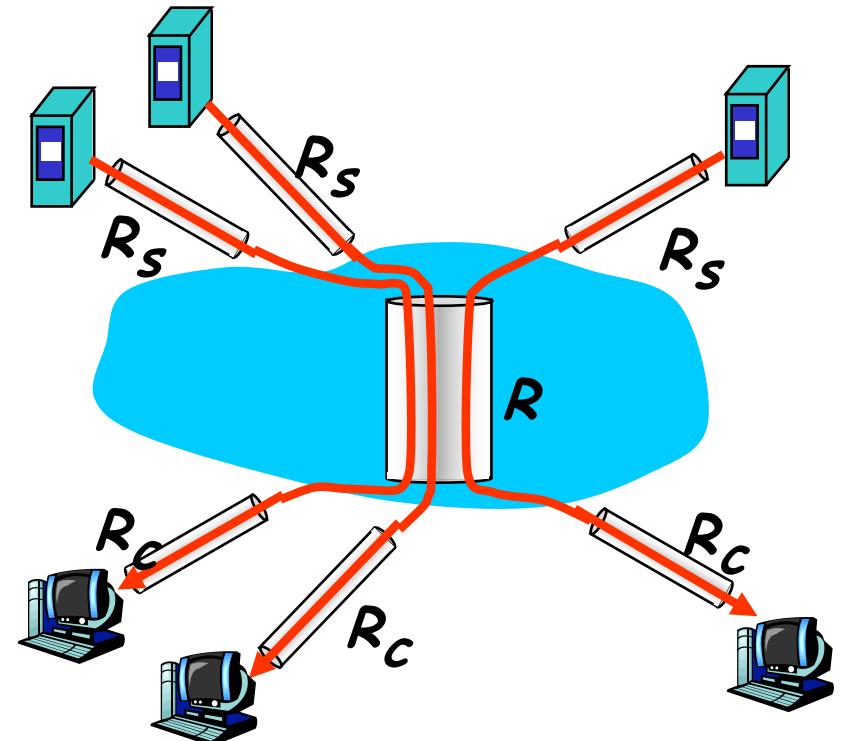
- $R_s < R_c$: Durchsatz = R_s



- $R_c < R_s$: Durchsatz = R_c

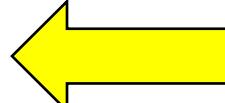
Durchsatz

- Durchsatz für Ende-zu-Ende-Verbindungen
 $R_c \rightarrow R \rightarrow R_s: \leq \min(R_c, R_s, R/3)$
- In der Realität: Häufig sind R_c oder R_s die Engpässe
- Aufgrund von Verzögerungen, Bestätigungsmechanismen oder Paketverlusten ist der Durchsatz in der Regel geringer als die theoretisch mögliche Übertragungskapazität (Bandbreite) der „Leitung“



Kapitel 2: Einführung

Gliederung

- Was ist das Internet?
- Protokollsichten und ihre Dienstmodelle
- Grundlegende Protokollfunktionen und Dienste
- Performanceanalyse in paketvermittelnden Netzen
- Historische Entwicklung 
- Zusammenfassung

Internet Geschichte

1961: Warteschlangentheorie zeigt die Effizienz der Paketvermittlung (Kleinrock)

1969: Der erste ARPAnet Knoten geht in Betrieb

1970: ALOHAnet Satelliten- Netzwerk in Hawaii

1974: Cerf und Kahn: Internetworking-Prinzipien:

- Autonomie aller Teilnetze
- “Best effort”-Dienstmodell – keine Zusicherungen über Zustelldauern etc.
- Zustandslose Router
- Dezentrale Steuerung

1980 – 1990: Neue Netzwerke: CSnet (USA, Wissenschaftsnetz), ...

100.000 Rechner im weltweiten Netzverbund

Internet Geschichte

1990: ARPAnet abgeschaltet

1990: WWW

- Hypertext, HTML, http
- 1994: Mosaic, später Netscape
- ab 1995: Kommerzialisierung des WWW (E-Commerce)
- ab 1998: Internet-”Hype”

Ab 2000: Abflauen der Internet-Euphorie

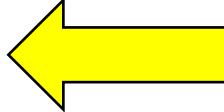
- Herauskristallisierung längerfristiger Anwendungen
- verstärkte Sicherheitsprobleme

Ab 2005: "Web 2.0"

- Soziale Netzwerke
- Internettelefonie
- Internetvideo und -fernsehen

Kapitel 2: Einführung

Gliederung

- Was ist das Internet?
- Protokollsichten und ihre Dienstmodelle
- Grundlegende Protokollfunktionen und Dienste
- Performanceanalyse in paketvermittelnden Netzen
- Historische Entwicklung
- Zusammenfassung 

Zusammenfassung

-
-
-
-
-
-
-