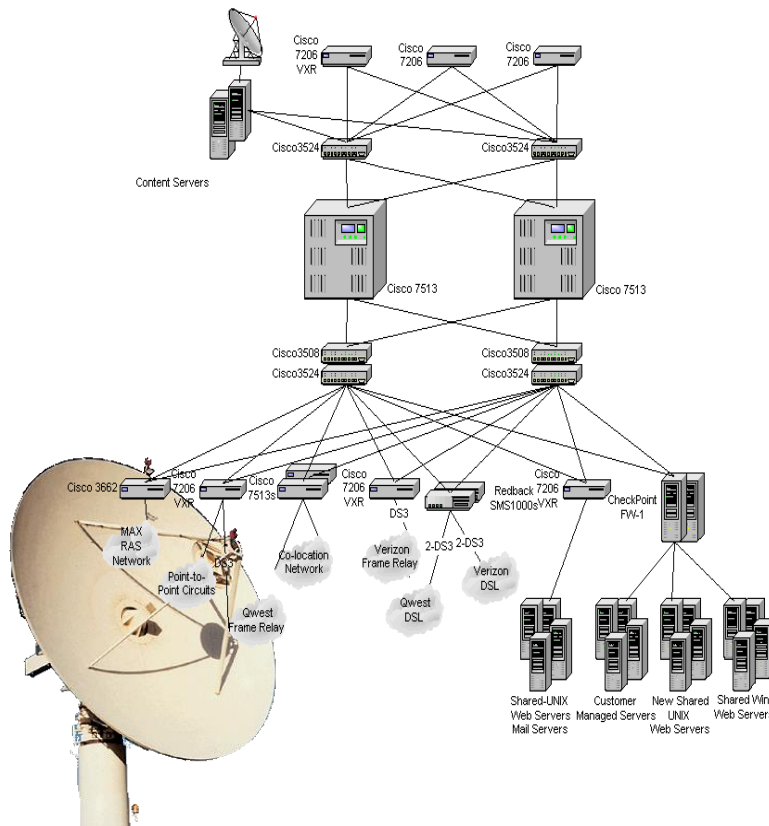


Rechnernetze und verteilte Systeme (BSRvS II)

WS 2010/2011

Prof. Dr. Heiko Krumm

FB Informatik, LS IV, AG RvS
Universität Dortmund



- **Computernetze und das Internet**
- **Anwendung**
- **Transport**
- **Vermittlung**
- **Verbindung**
- **Multimedia**
- **Sicherheit**
- **Netzmanagement**
- **Middleware**
- **Verteilte Algorithmen**

Zentrale Literatur

- ◆ J. F. Kurose, K. W. Ross: Computernetze; Pearson Studium 2002 bzw. die neuere englische Ausgabe:
**J. F. Kurose, K. W. Ross: Computer Networking,
3rd Ed., Pearson 2005**

Weitere Empfehlungen

- ◆ A. Tanenbaum: Computer Netwerke; Pearson Studium 2000
- ◆ D. E. Comer: Computernetzwerke und Internets; Pearson Studium 2000.
- ◆ L. L. Peterson, B. S. Davie: Computernetze; dpunkt Verlag 2000.

Zusammenstellung aus folgenden Quellen:

- ◆ Foliensatz zum Buch „*J. F. Kurose, K. W. Ross: Computernetze; Pearson Studium 2002*“
- ◆ Foliensatz der Vorlesung
„*Betriebssysteme, Rechnernetze und verteilte Systeme II*“,
WS 2003/2004, H. Wedde, LS III
- ◆ Foliensatz der Vorlesung
„*Betriebssysteme, Rechnernetze und verteilte Systeme II*“,
WS 2006/2007, H. Krumm, LS IV
- ◆ Foliensatz der Vorlesung
„*Betriebssysteme, Rechnernetze und verteilte Systeme II*“,
WS 2007/2008, P. Buchholz, LS IV
- ◆ Foliensatz des Kurses „*Computer Networks*“,
SS 2004, S. Lam, University of Texas at Austin
- ◆ Foliensatz der Vorlesung
„*Rechnernetze und verteilte Systeme*“,
WS2002/2003, H. Krumm, LS IV
- ◆ Zusätzliche „neue“ Folien

Rechnernetze und verteilte Systeme

- ◆ **Rechnernetz:**

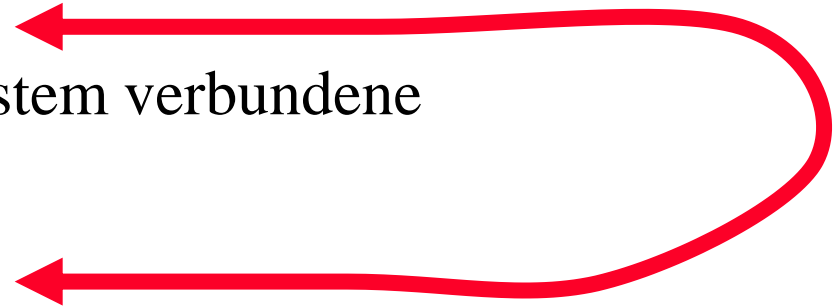
Durch Telekommunikationssystem verbundene
Rechnerknoten

- ◆ **Telekommunikationssystem:**

System, das Teilnehmern Kommunikationsdienste anbietet
(in der Regel selbst durch Rechnernetz implementiert)

- ◆ **Verteiltes System:**

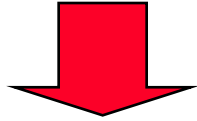
Anwendung, deren Komponenten sich an verschiedenen
Orten befinden,
Komponenten sind in Rechnernetz installiert, werden lokal
von den Rechnerknoten ausgeführt und kommunizieren
miteinander mit Hilfe eines Telekommunikationssystems.



Besonderheiten verteilter Systeme

◆ Kommunikation

- **unzuverlässig, teuer, langsam**



◆ Lose Kopplung

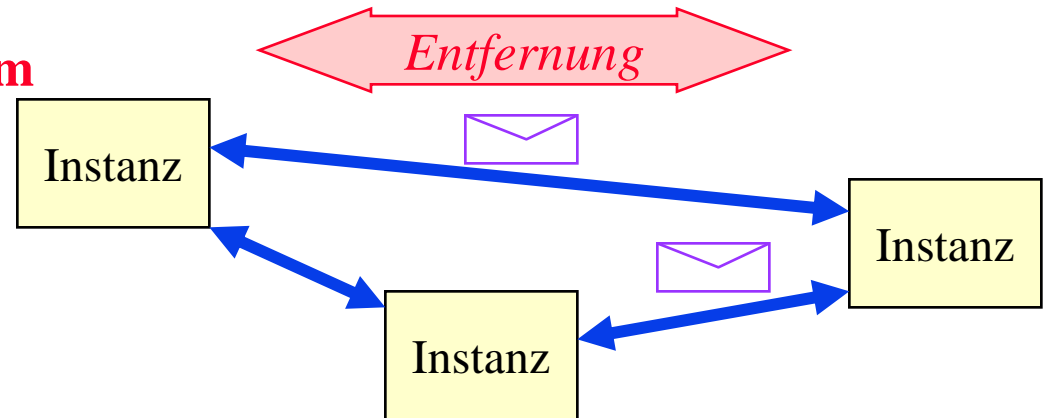
- Kommunikation selten
- Synchronisation schwach
- Fehlertoleranz

◆ Nebenläufigkeit (Concurrency)

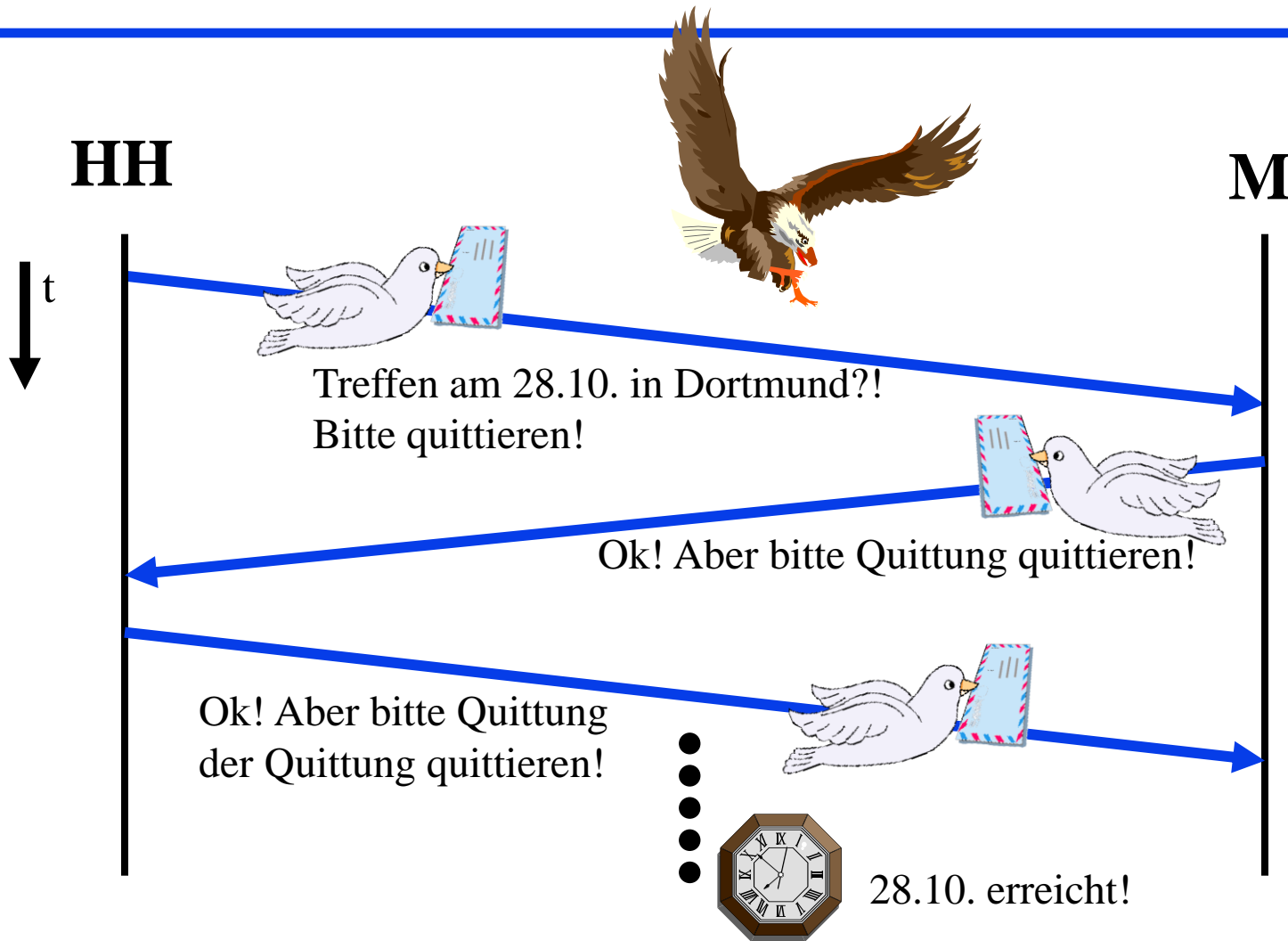
- weitgehend unabhängige Fortschritte

◆ Dezentrale Kontrolle

- weitgehende Autonomie
- lokale Kontrolle auf Basis partieller Sichten
- vollständige Sicht des globalen Systemzustands wird vermieden, da das zu teuer ist (Einfrieren)



Verteilung verdeckbar? Unzuverlässigkeit!



Gäbe es ein Protokoll, das dieses mit n Nachrichten leisten könnte, dann müsste es auch den Verlust der letzten Nachricht tolerieren, also dieses auch mit $(n-1)$ Nachrichten leisten können. Dann müsste es auch den Verlust der $(n-1)$ -ten Nachricht tolerieren, ...

Vollständig zuverlässige Übereinkunft unter Fristsetzung ist nicht möglich!

Anwendungen: Trends

- *Batch-Programm*



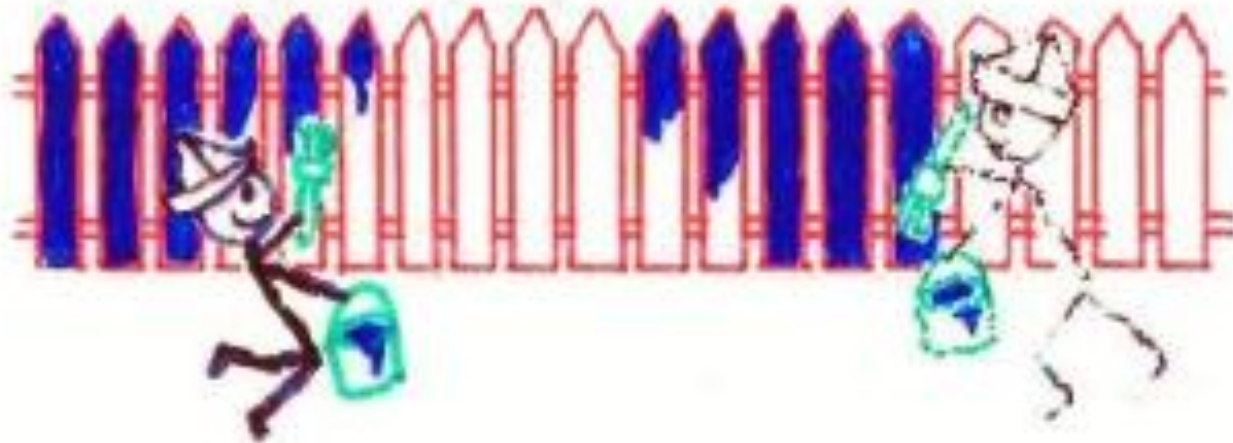
Anwendungen: Trends

- Dialog-Programm



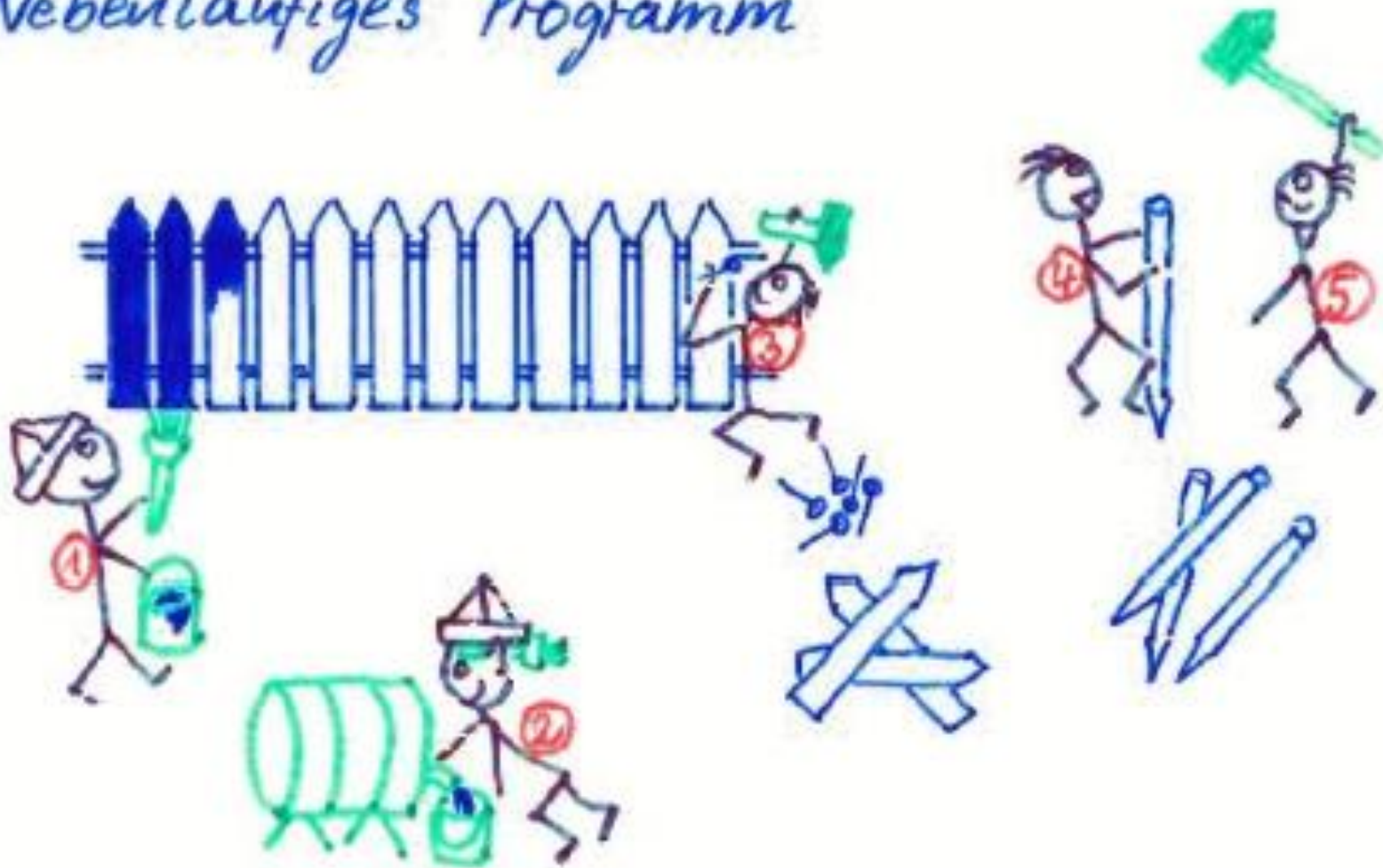
Anwendungen: Trends

- Programme mit geteilter Datenbasis



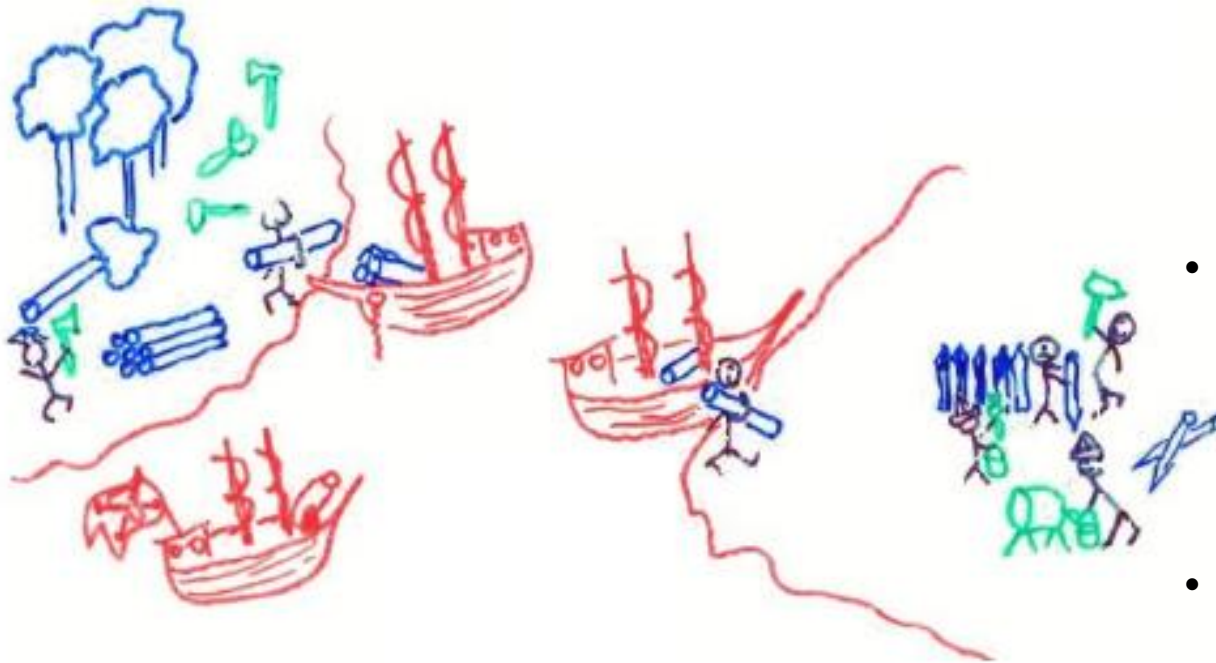
Anwendungen: Trends

- Nebenläufiges Programm



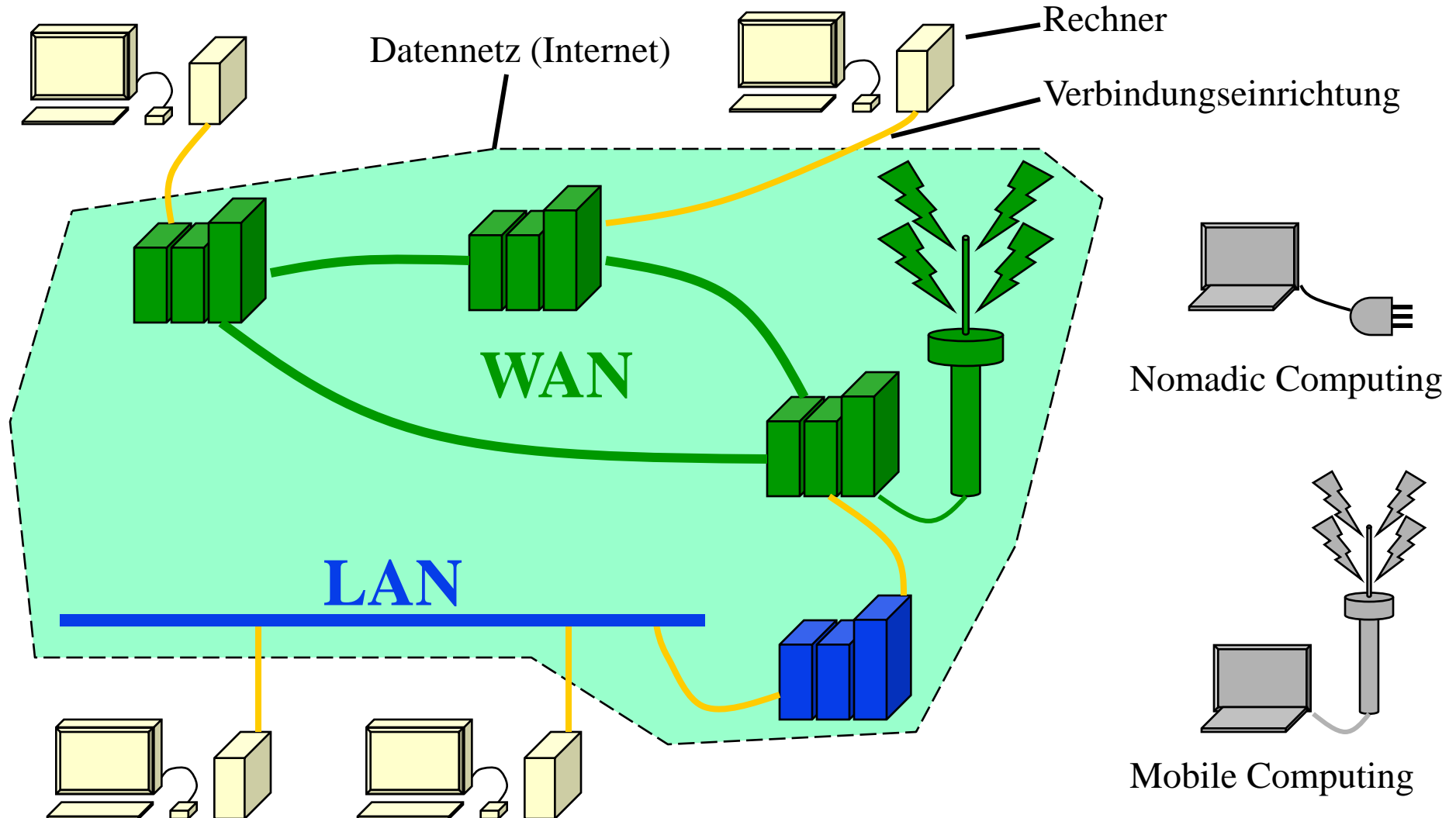
Anwendungen: Trends

- *Verteiltes Programm*

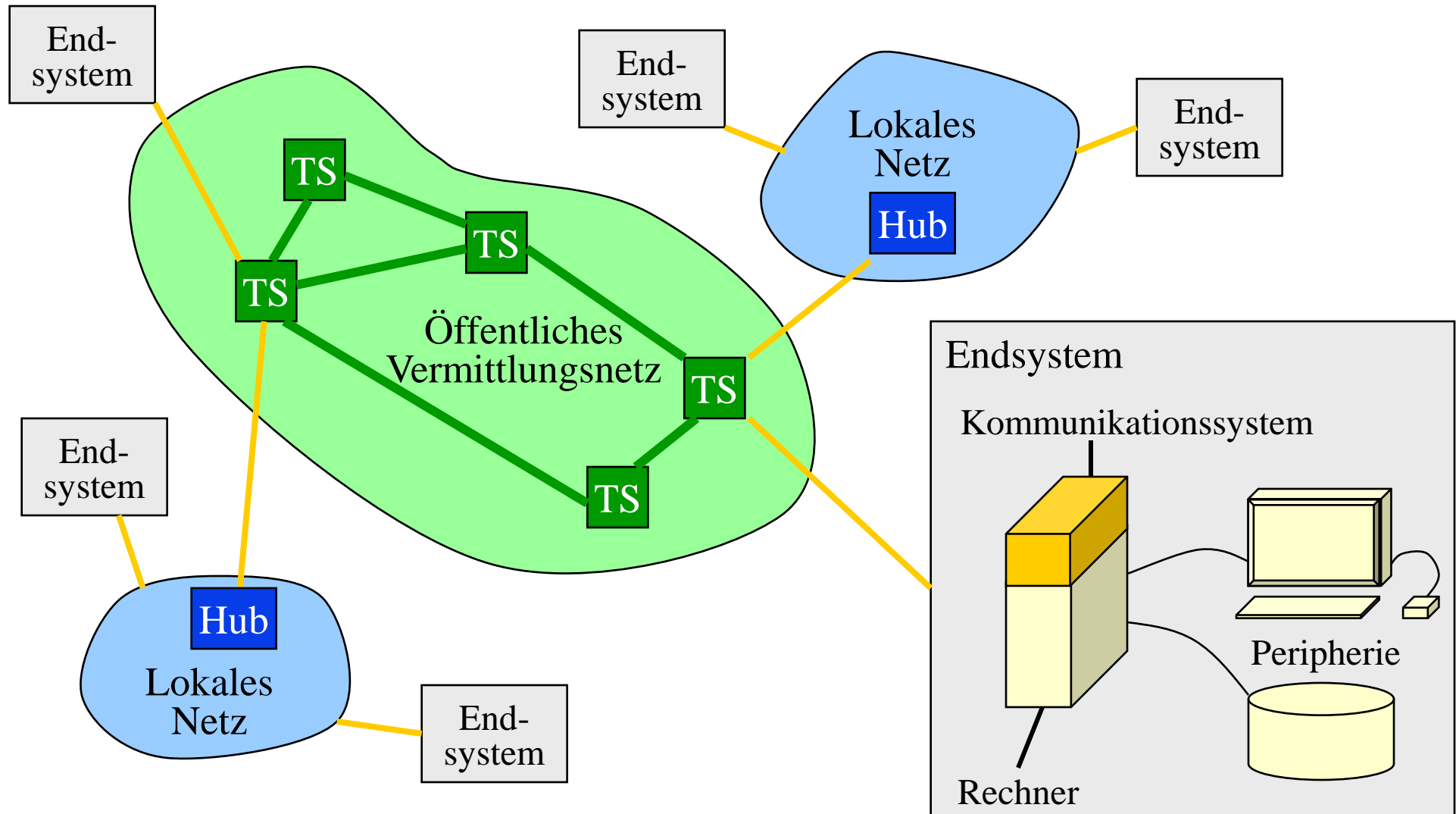


- Eigenschaften
 - Nebenläufigkeit
 - Systemgröße
 - Systemlebensdauer
 - Örtliche Verteilung
- Veränderungen (Umgebungen und Anforderungen)
 - Anpassungen
 - Erweiterungen
- Entwicklungslinien
 - Web-Orientierung
 - Dienste-Orientierung (SOA)
 - Ubiquität und Mobilität

Rechnernetze



Rechnernetz - Übersicht



Dienstleistende Systeme

◆ Instanzen

- Menge von Dienstnehmern
- Dienstbringer (offenes Subsystem)

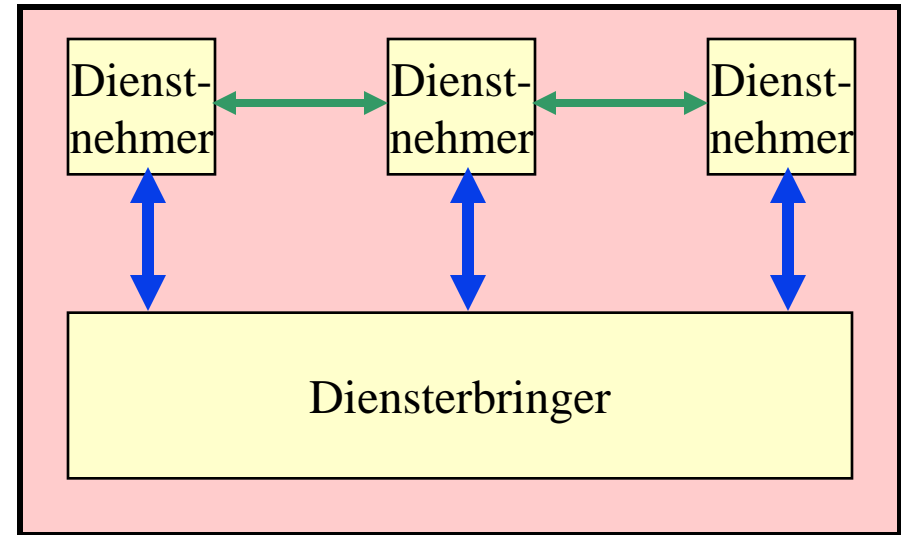
◆ Kommunikation

- vertikale Kommunikation
 - » Abwicklung von Dienstleistungen zwischen Dienstnehmer und Dienstleister
- horizontale Kommunikation
 - » zwischen Dienstnehmern

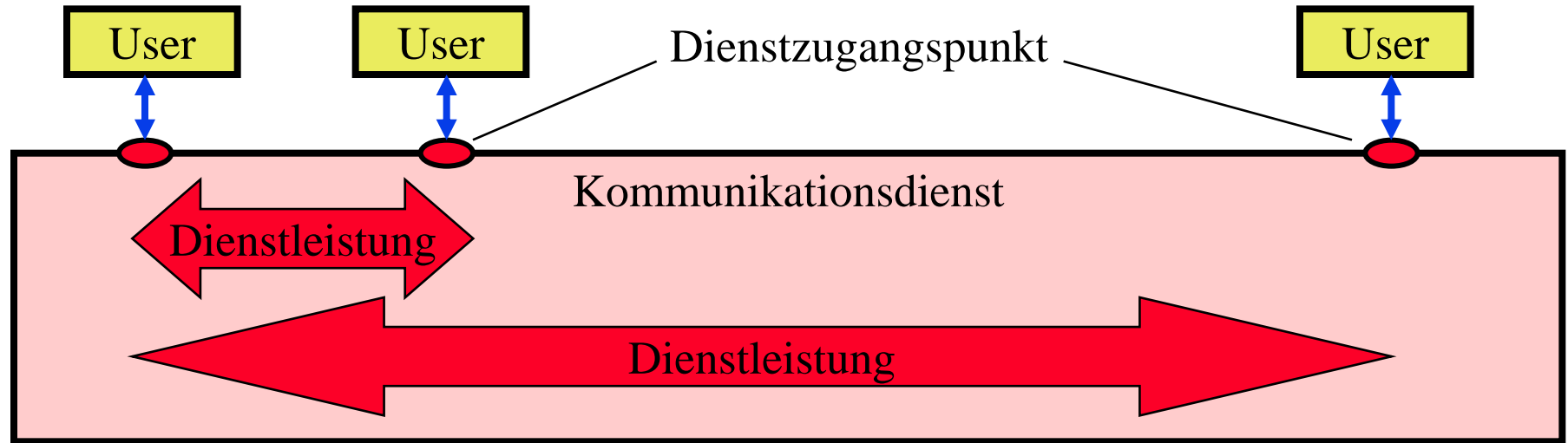


◆ Kommunikationssysteme

- in der Zeit Datenhaltungssystem
- im Raum Telekommunikationssystem
 - » Dienstleistungen dienen dem Nachrichtenaustausch zwischen Dienstnehmern
 - » Dienstbringer interpretiert Nachrichten nicht



Kommunikationsdienst



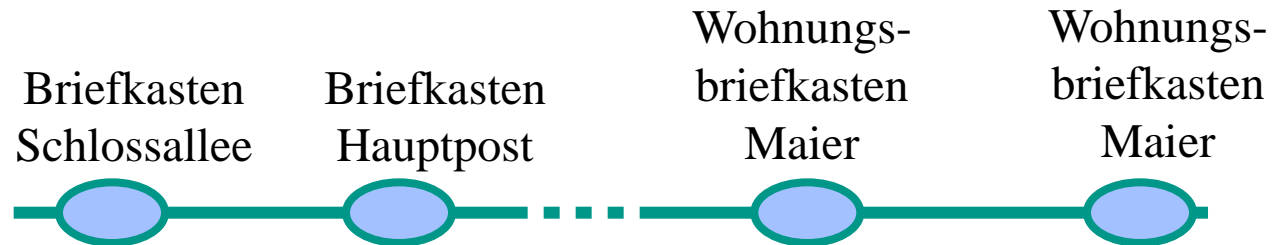
Ein Kommunikationsdienst bietet Teilnehmern Dienstleistungen zum Nachrichtenaustausch an. Wichtige Eigenschaften der Dienstleistungen betreffen:

- **Partneradressierung**
- **Datagramme (verbindungslose Kommunikation, z.B. UDP)**
- **Verbindungsorientierung: Verbindungen und virtuelle Verbindungen (z.B. TCP)**
- **Zwei- / Mehrpartner-Kommunikation (Uni- / Multi- / Broadcast)**
- **Richtung (Simplex, Duplex, Halbduplex)**

Kommunikationsdienst – Sichten

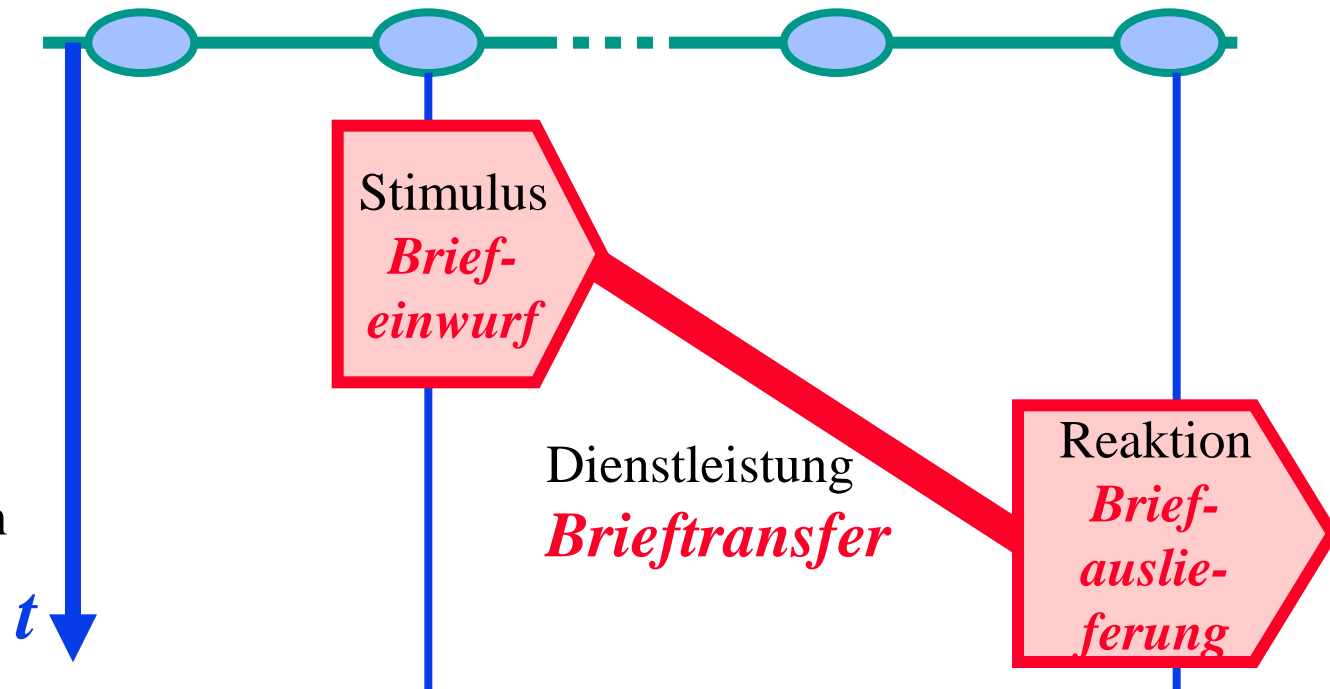
Statische Sicht

Die Dienstschnittstelle, ist gegliedert in Dienstzugangspunkte, welchen Dienstadressen zugeordnet sind.



Dynamische Sicht

An der Dienstschnittstelle treten im Verlauf der Zeit Ereignisse auf:
Die Anforderung und Ausführung einer Dienstleistung repräsentiert sich in zusammengehörigen Dienststimuli und Dienstreaktionen

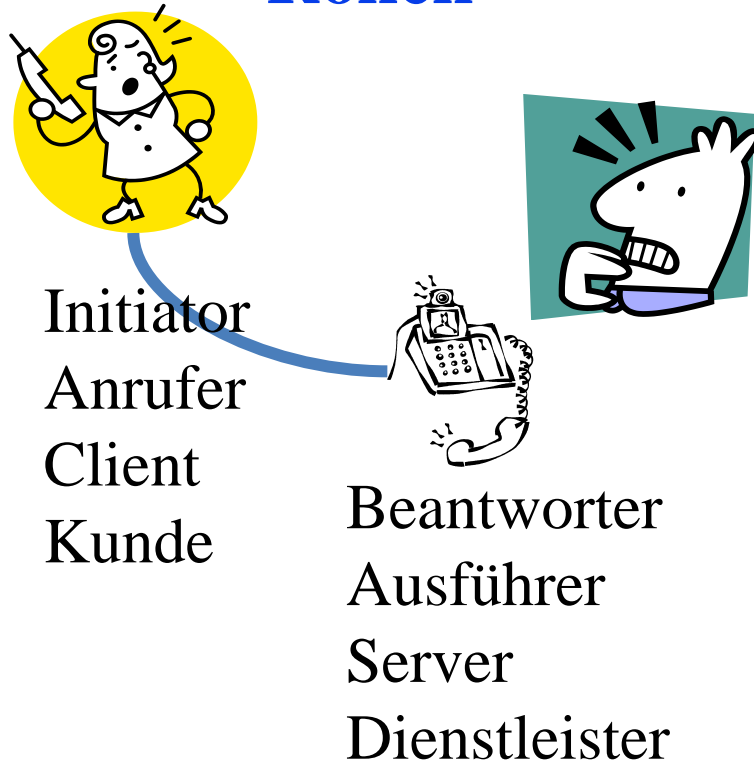


Dienstnehmer-Rollen und Dienstformen

Zentrale Idee zur Nutzung von Ressourcen in Rechnernetzen:

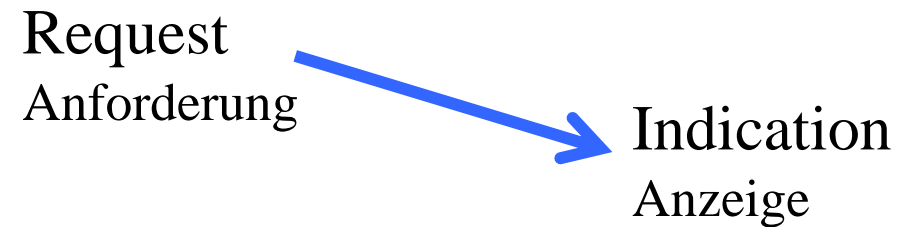
➤ *Anbieten und Aufrufen von Diensten*

Rollen

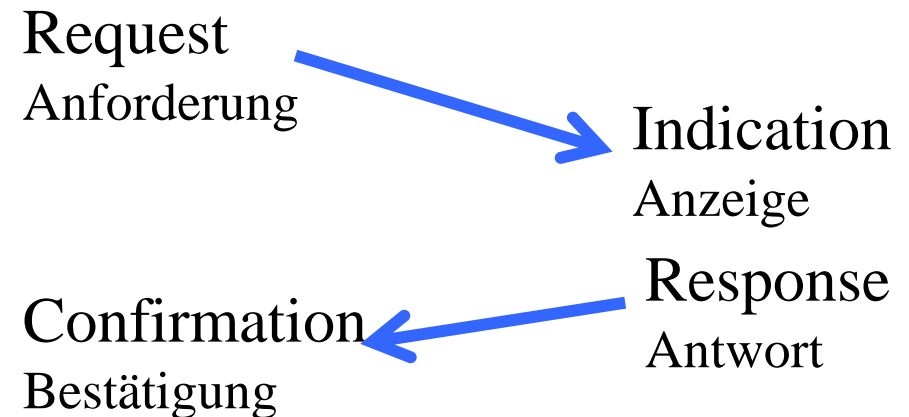


Grundformen

Unbestätigter Dienst

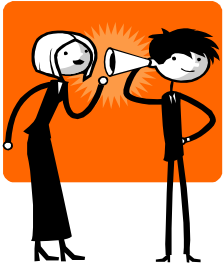


Bestätigter Dienst

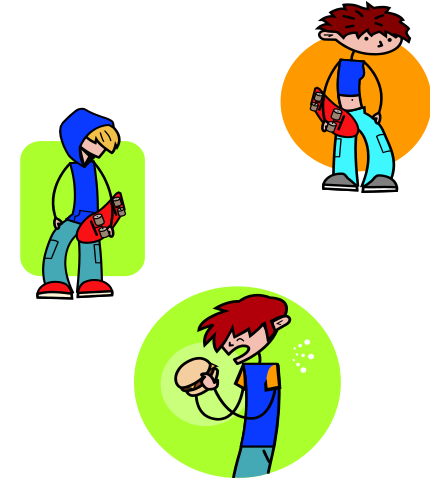


Kommunikationsformen – Partneranzahl

Unicast (2 Partner)



Broadcast (an alle)



Multicast (an eine Gruppe)



Kommunikation ohne Kontext – Datagram

Dienst enthält alle benötigten Informationen



z.B. Brief, Telegramm, UDP-Datagramm

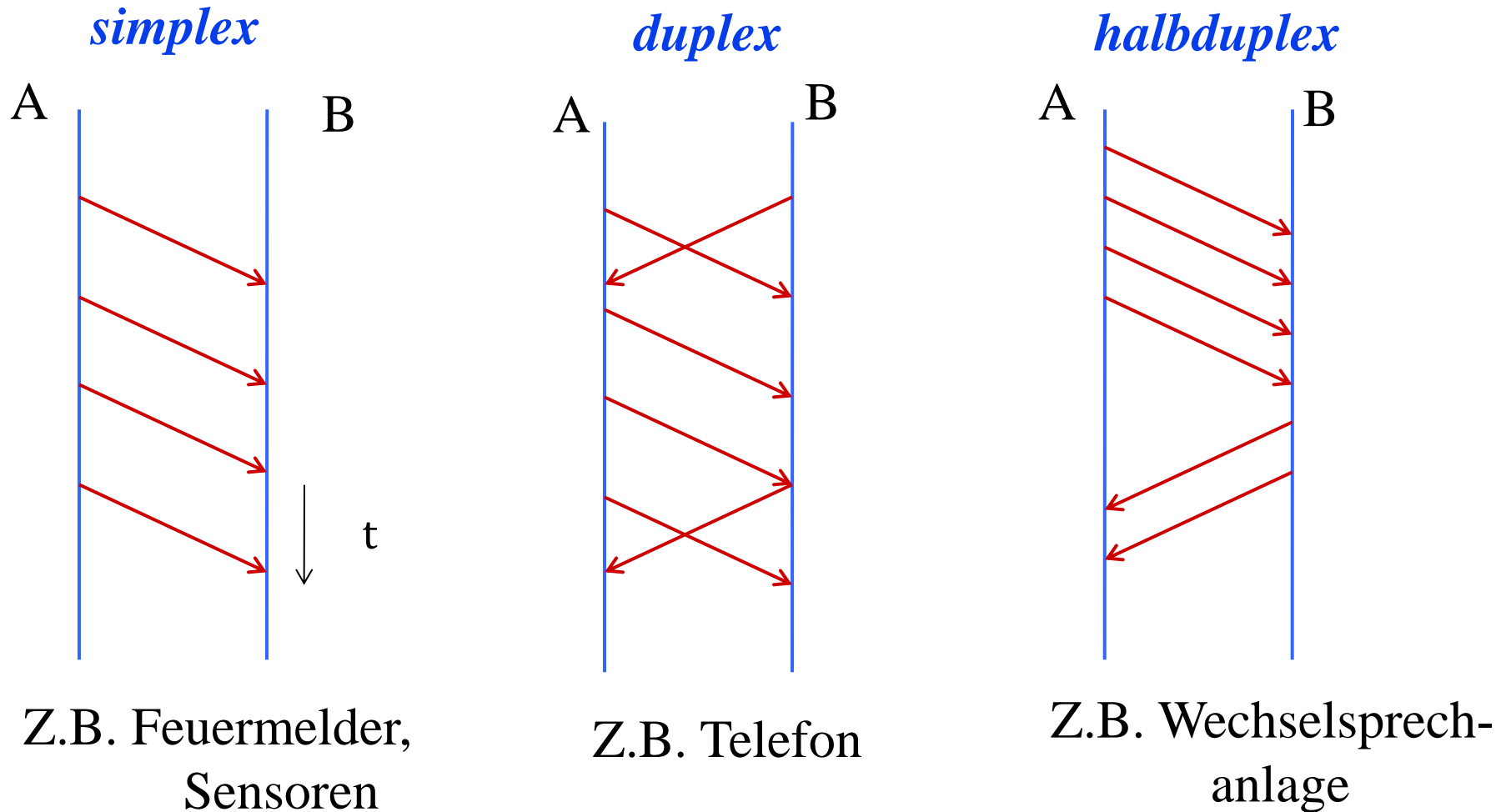
Kommunikation im Kontext – Verbindung

Verbindung wird aufgebaut,
Kommunikation entlang der Verbindung,
Verbindung wird abgebaut

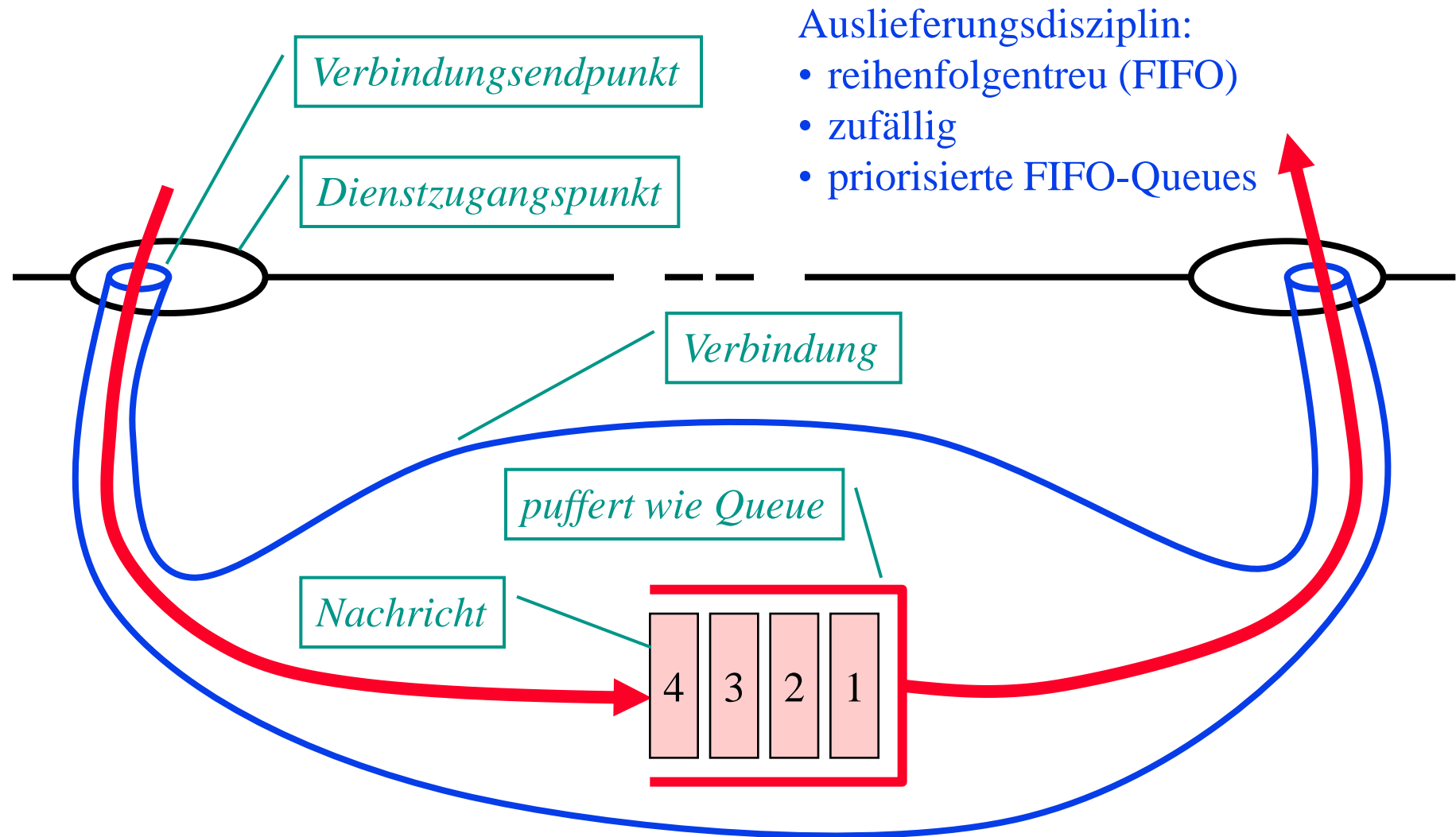


z.B. Telefon, TCP-Verbindung

Kommunikationsdienste – Richtungsbetrieb

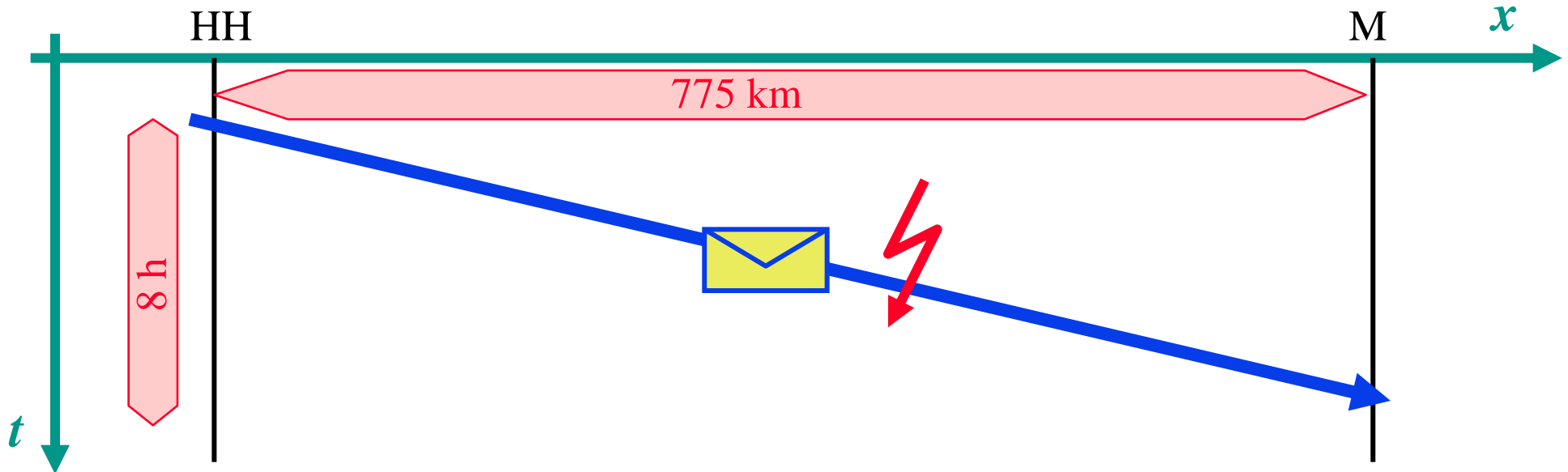


Kommunikationsdienst - Nachrichtenreihenfolge

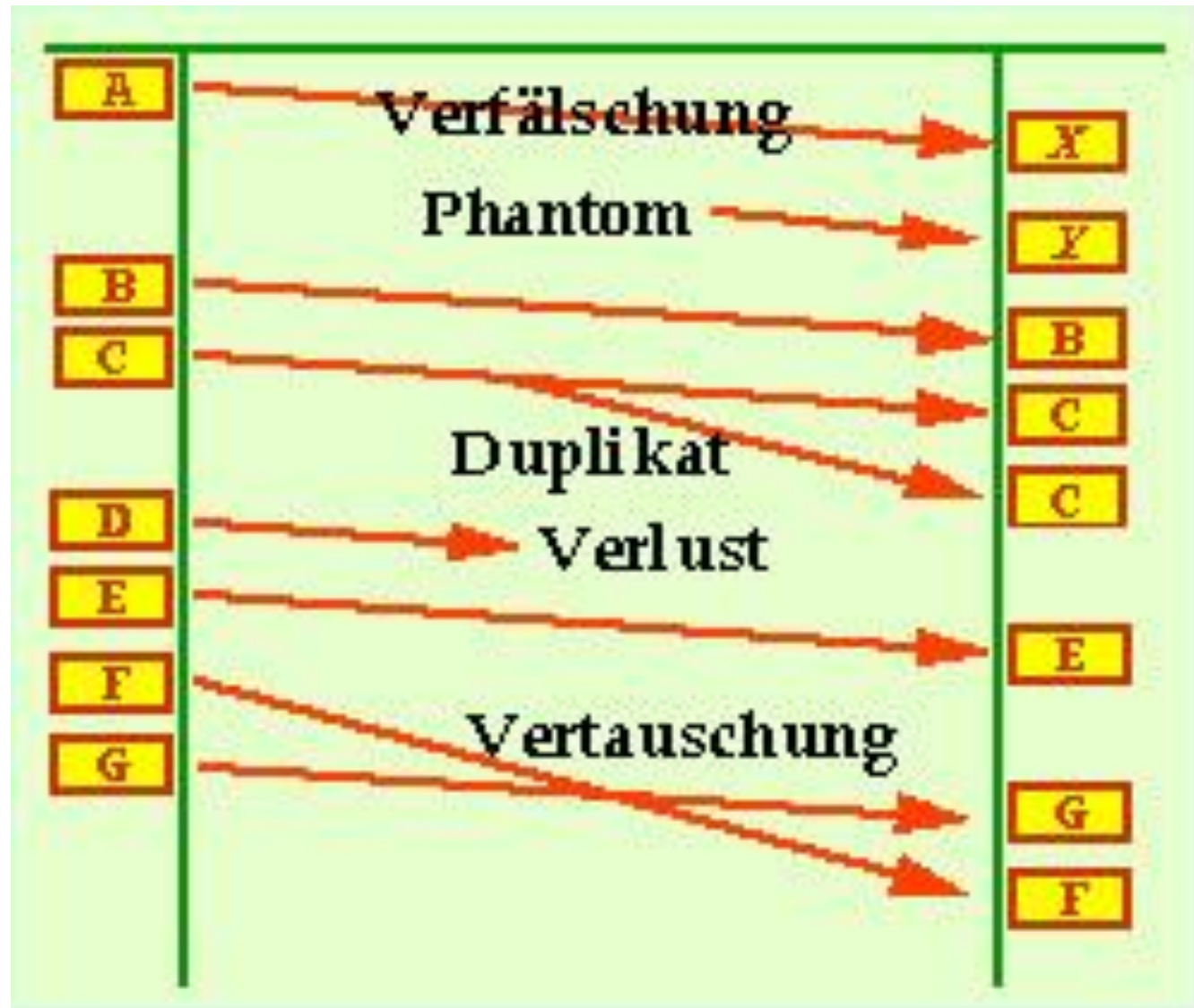


Kommunikationsdienst: Qualität

- Leistung
 - *Nachrichtenlaufzeit, Verzögerung*
 - *Durchsatz (Bandbreite, Bitrate)*
 - *Entfernung*
- Zuverlässigkeit
 - *Verfügbarkeit*
 - *Fehler*
 - Verlust, Verfälschung, Vertauschung,...
- Kosten
 - *Grundkosten*
 - *Dienstleistungskosten*
- Datensicherheit
 - *Verfälschung / Integrität*
 - *Vertraulichkeit*
 - *Zurechenbarkeit*
 - ...

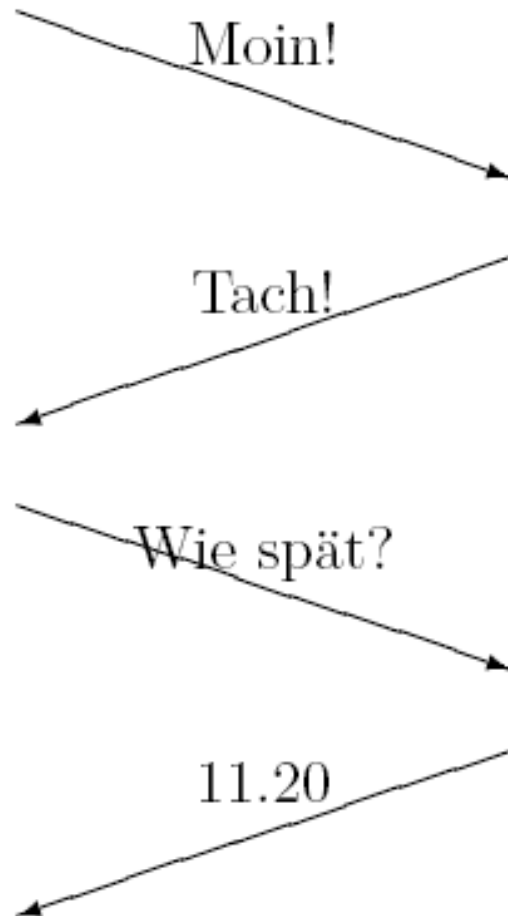


Kommunikationsdienst: Zuverlässigkeit / Fehler / Störungen

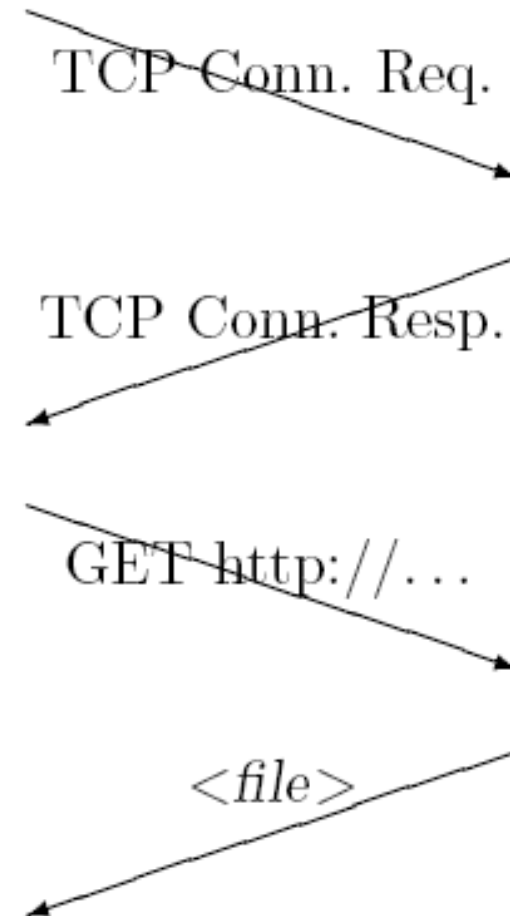


Protokolle: Ablauf in der Zeit

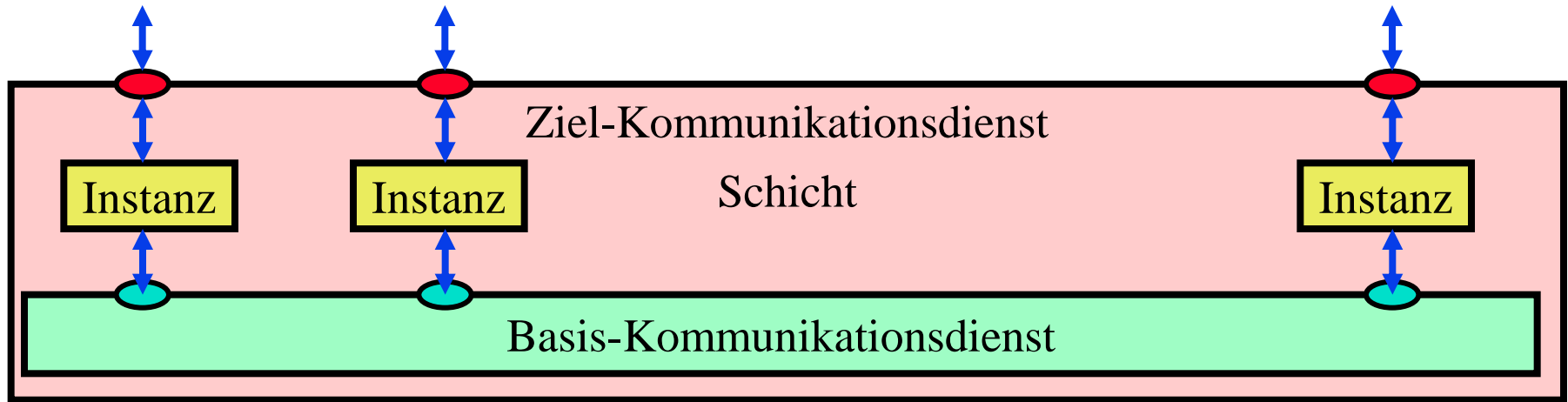
Menschliche Kommunikation



Netz Protokoll

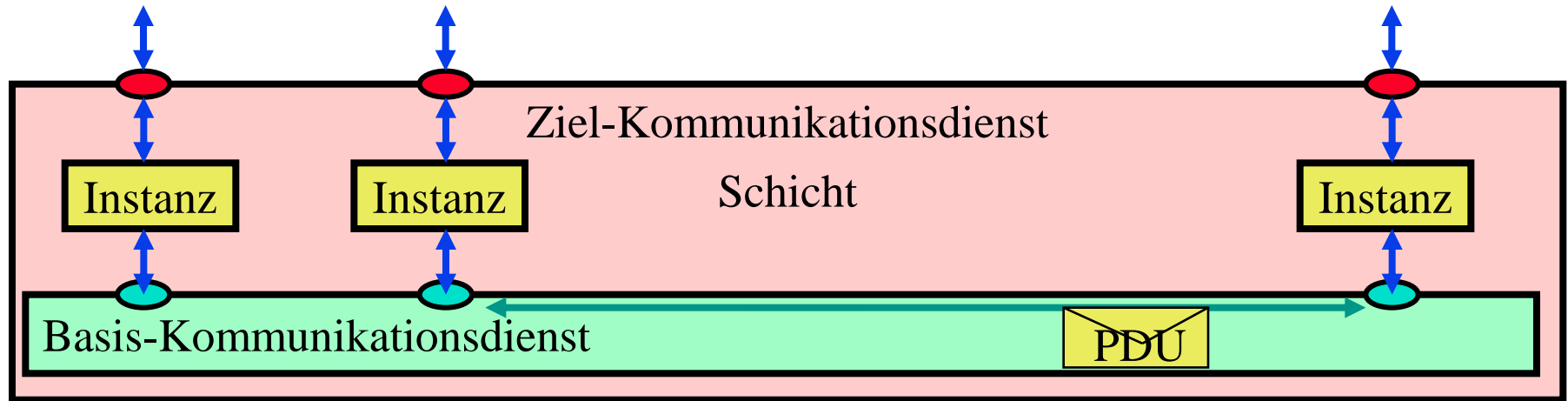


Protokolle: Definition



- Ein Protokoll ist eine Menge von Regeln und Formaten (semantisch und syntaktisch), die das Kommunikationsverhalten von Instanzen zur Ausführung von Funktionen regelt (ISO 7498).
- Alle Kommunikationsaktivitäten im Internet werden von Protokollen bestimmt.
- Protokollstandards ermöglichen die Offenheit des Internets für Komponenten unterschiedlichster Bauart.

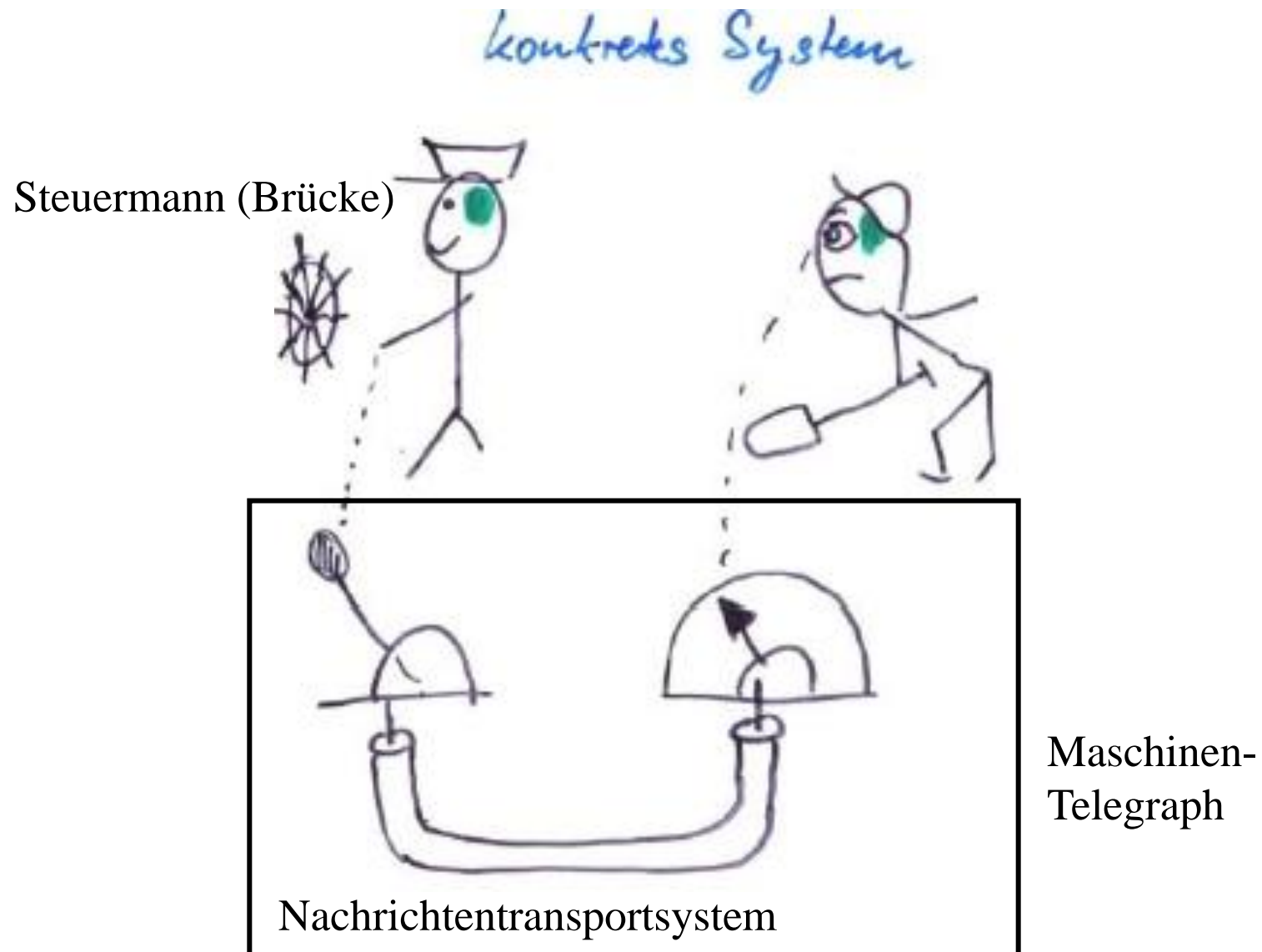
Protokolle: Definition



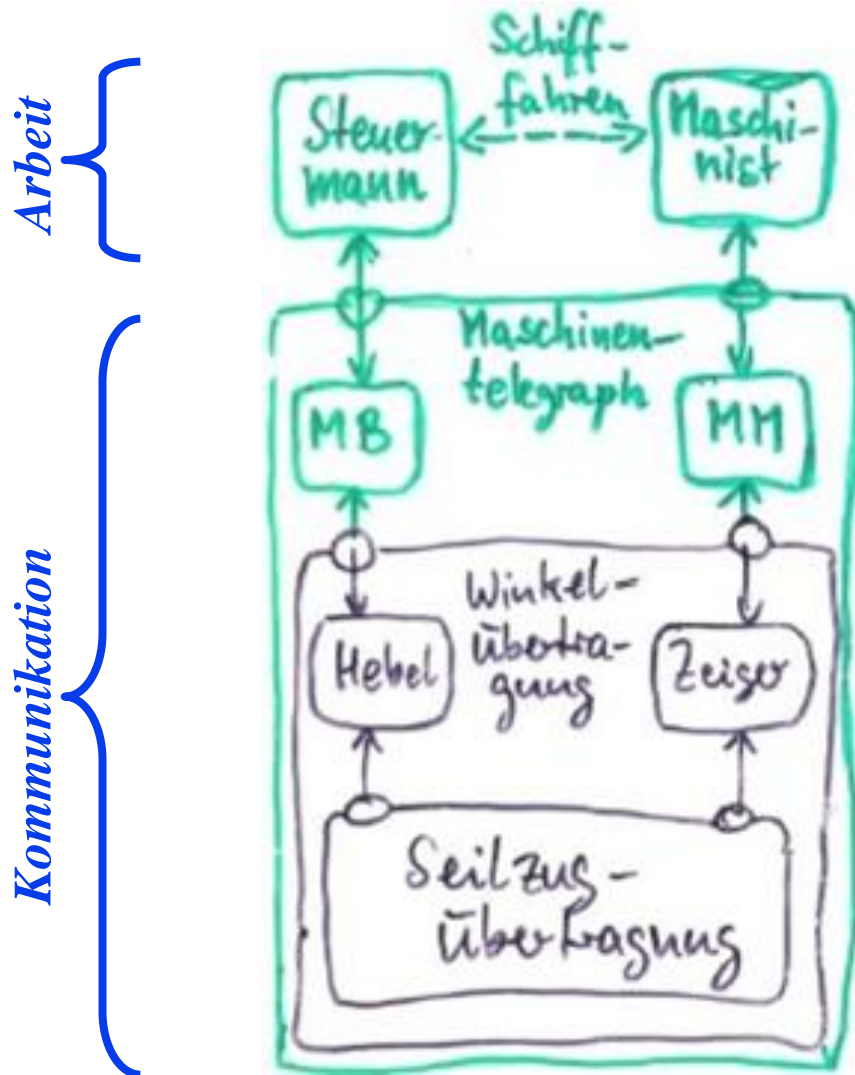
Ein Kommunikationsprotokoll definiert das Kommunikationsverhalten von Instanzen, welche einen Basis-Kommunikationsdienst nutzen, um einen (höherwertigen) Ziel-Kommunikationsdienst zu erbringen. Es wird definiert über:

- **Zieldienst**
- **Basisdienst**
- **Instanzenverhalten**
- **PDU-Formate**

Schichtung von Diensten und Protokollen



Schichtung von Diensten und Protokollen



User mit Kooperationsbeziehung
„Schiff fahren“

Direkt anwendungsbezogene
Kommunikationsdienstleistungen:
- Übertrage „Volle Kraft voraus“

Allgemeine Nachrichtenübermittlung
- Übertrage winkelcodierte Nachricht

Schichtung von Diensten und Protokollen

Schicht 3:

- erbrachter Dienst
- Instanzen und Protokoll der Schicht

Schicht 2:

- erbrachter Dienst
- Instanzen und Protokoll der Schicht

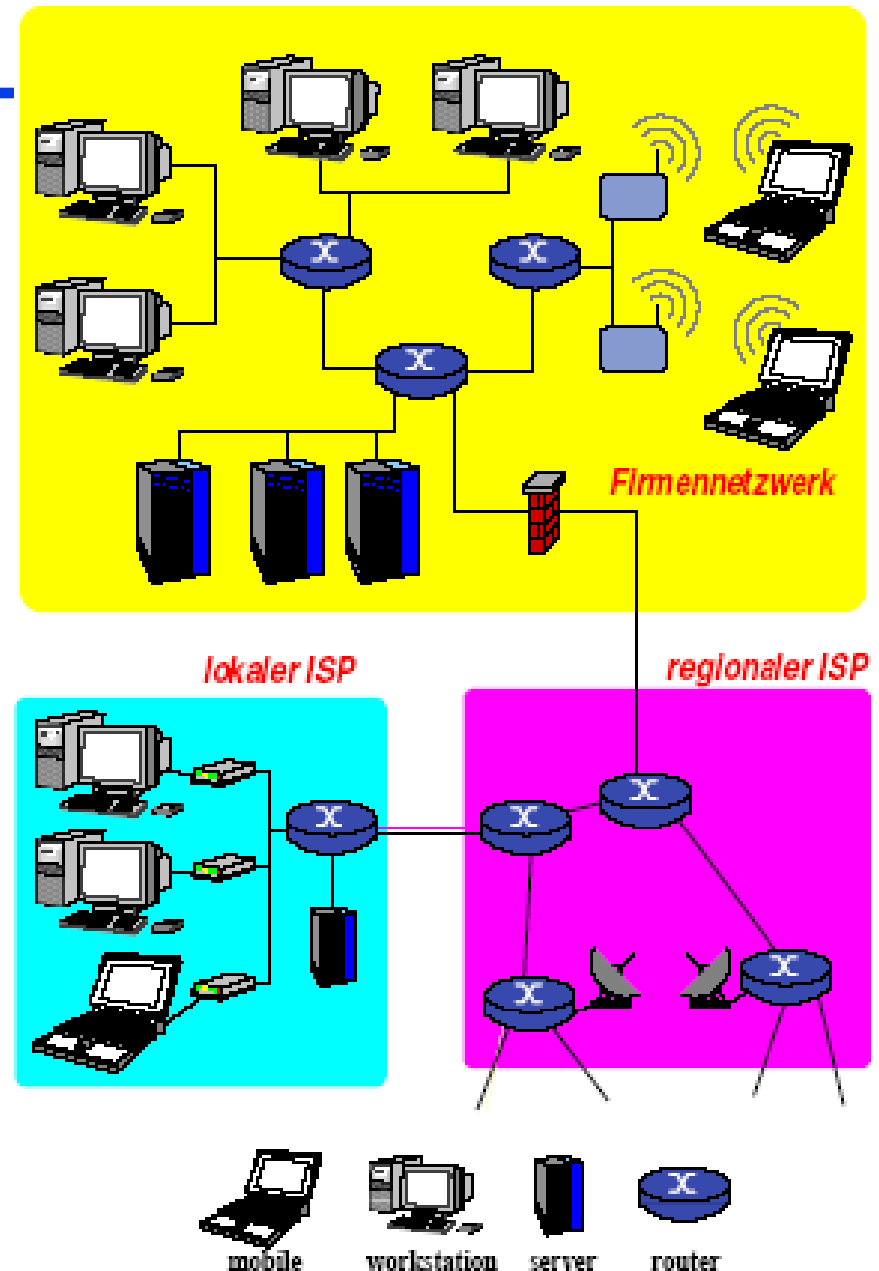
Schicht 1:

- erbrachter Dienst
- Instanzen und Protokoll der Schicht

Basisdienst – Medium (Schicht 0)

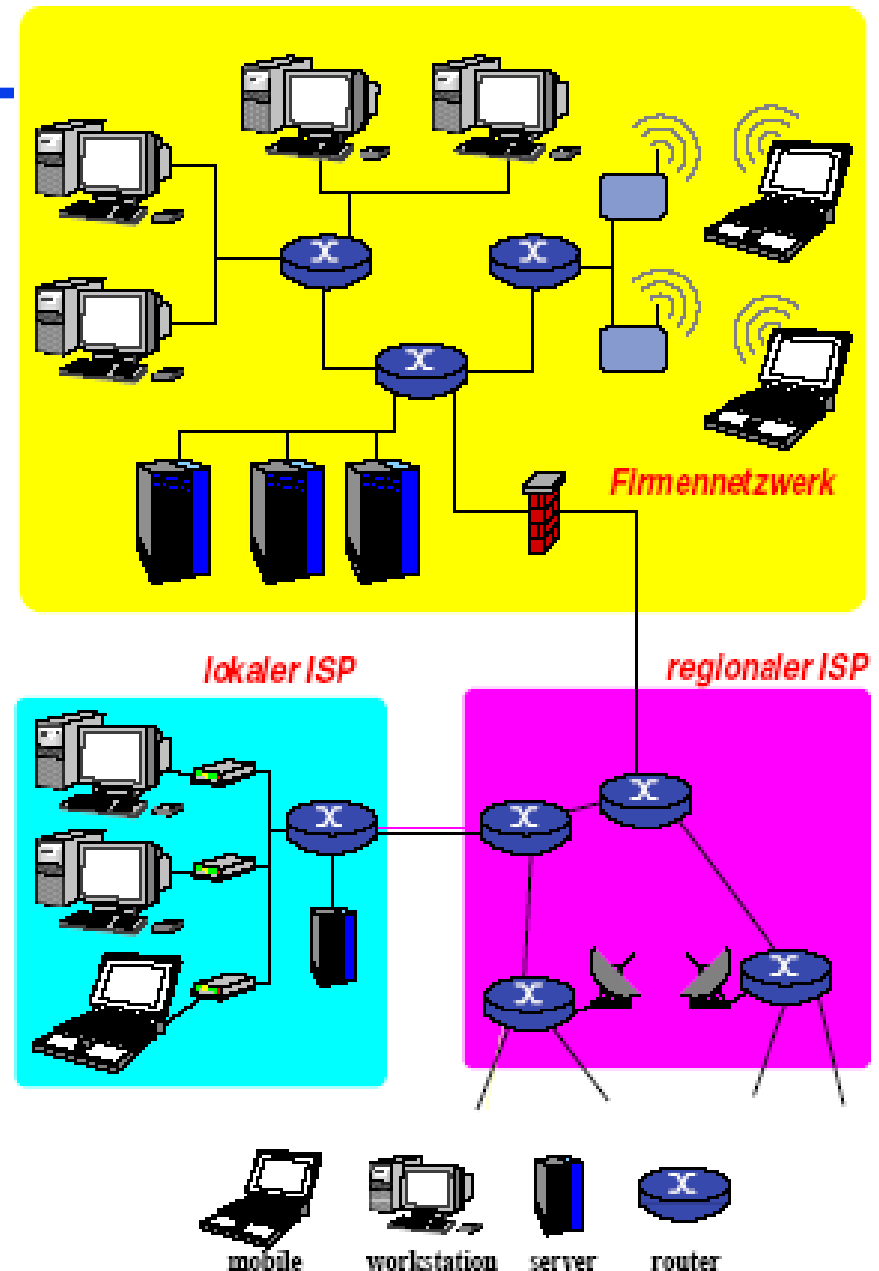
Internet

- Millionen vernetzter Computer
(**Endsysteme**, Hosts)
 - PCs, Server
 - Toaster, Cola-Automaten
- **Kommunikationsleitungen**
 - Kupfer-, Glasfaserleitungen,
 - Funk, Satellitenfunk
- **Transitsysteme** (Router)
leiten Daten weiter



Internet - Struktur

- Netz-Peripherie:
 - **End-Systeme**
(PCs, Workstations, Server)
- Netz-Kern:
 - **Transitsysteme**
(Router, ein Netz von Netzen)
 - **Subnetze**
 - **Teilnetze**
- Übertragungsmedien:
 - **Kommunikationsleitungen**



Internet - Peripherie

◆ End-Systeme (Hosts)

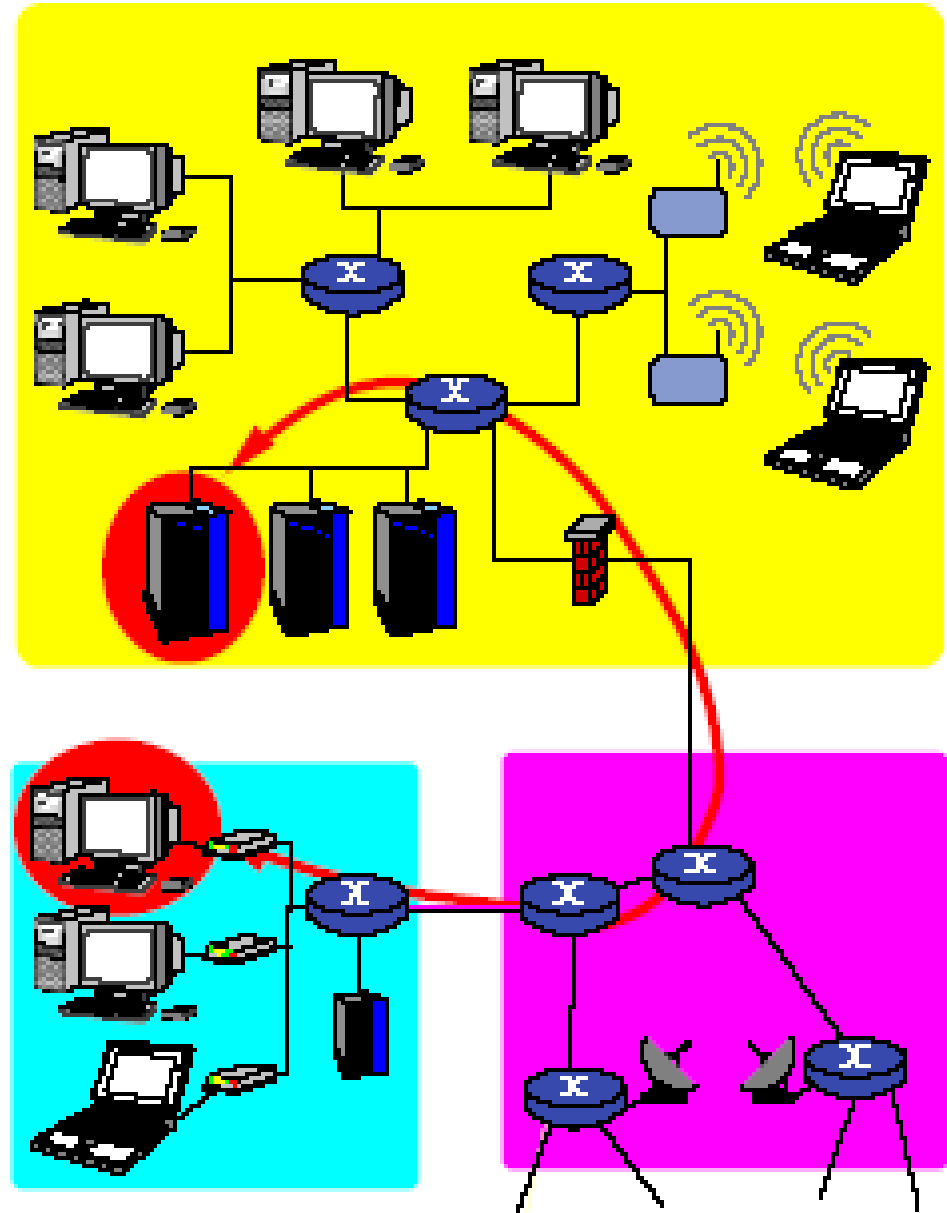
- beherbergen Applikationen und Server-Programme
- sind Endpunkte der Verbindung

◆ Client-Server-Modell

- Client stellt Anfragen und erhält Service
- Server ist "immer" verfügbar

◆ Peer-To-Peer-Modell

- keine dedizierten Server
z. B. KaZaA



Internet – Datentransportdienste

Ziel: Datentransfer zwischen End-Systemen

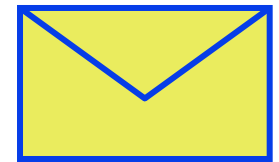
TCP – Transmission Control Protocol [RFC793]
verbindungsorientiert

- ◆ Zuverlässiger Datentransfer in richtiger Reihenfolge



UDP – User Datagram Protocol [RFC768]
verbindungslos / Datagramm

- ◆ Unzuverlässiger Datentransfer

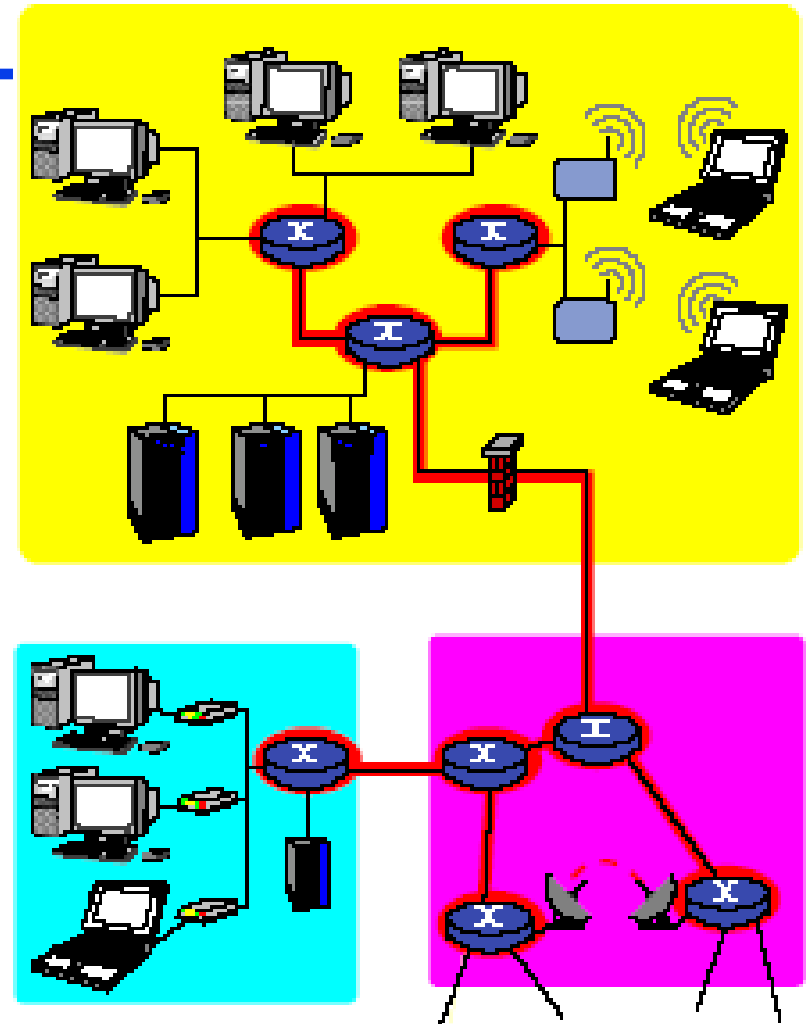


Internet – Kern

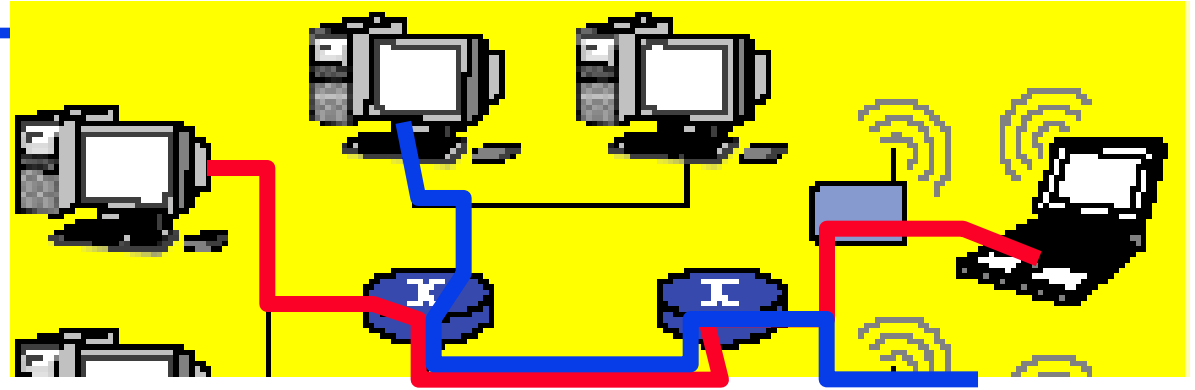
Geflecht von verbundenen Routern

Wie werden die Daten durch das Netz übertragen?

- ◆ Leitungsvermittlung (circuit switching)
 - pro Verbindung eine Leitung (Telefonnetz)
- ◆ Paketvermittlung (packet switching)
 - Daten werden in einzelnen Paketen durch das Netz geschickt (Briefpost)



Netz-Kerne (allgemein): Multiplexing



Benutzung einer Verbindungsleitung durch mehrere Verbindungen

- ◆ Die Netz-Resource (z. B. Bandbreite) wird aufgeteilt.
- ◆ Die "Teile" werden einzelnen Verbindungen zugeteilt.
- ◆ Keine Mitbenutzung unbenutzer "Teile" durch andere Verbindungen.

Die Aufteilung der Bandbreite erfolgt durch

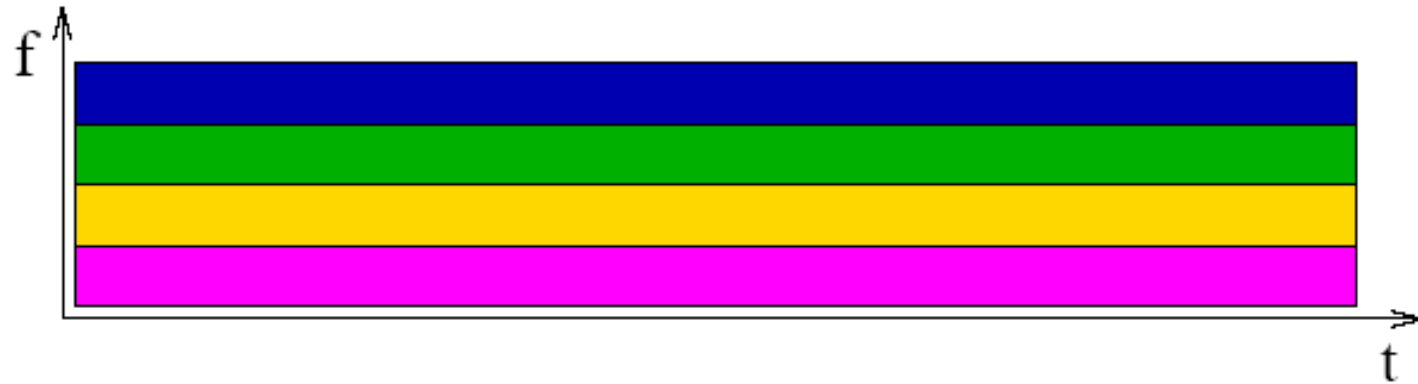
- ◆ Frequenzmultiplexing (frequency division)

oder

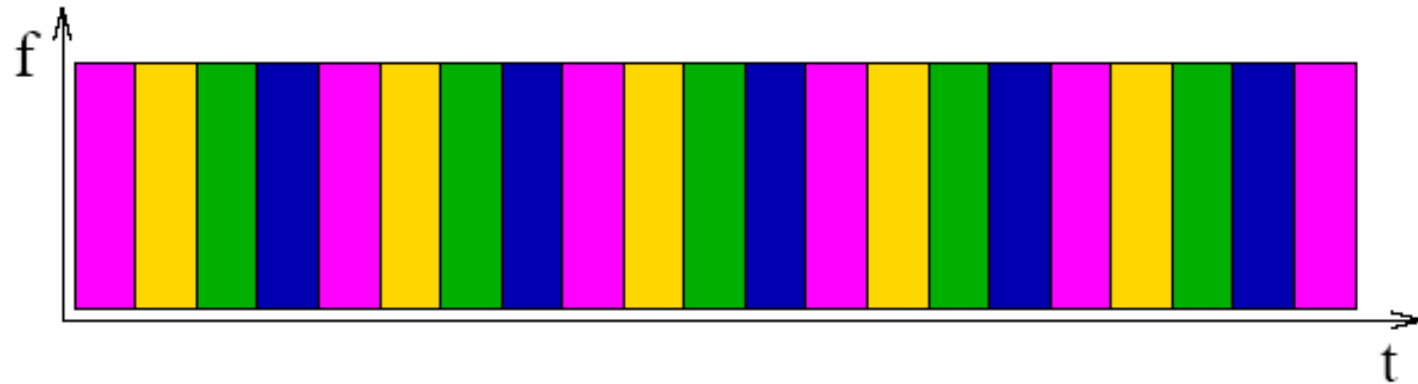
- ◆ Zeitmultiplexing (time division).

Netz-Kerne (allgemein): Multiplexing

Frequenzmultiplex



Zeitmultiplex



Netz-Kerne (allgemein): Paketvermittlung

Der Datenstrom wird in separat zu transportierende Pakete aufgeteilt.



- ◆ Mehrere Verbindungen teilen sich eine Leitung.
- ◆ Jedes Paket nutzt die volle Bandbreite.
- ◆ Die Ressourcen werden nach Bedarf genutzt.
- ◆ Keine garantierte Bandbreite für den Datenstrom.
 - Die Summe der benötigten Ressourcen kann die Summe der vorhandenen übersteigen.
- ◆ Pakete im Puffer warten auf freie Ressource (**Store and Forward - Prinzip**).

Netz-Kerne (allgemein): Routing

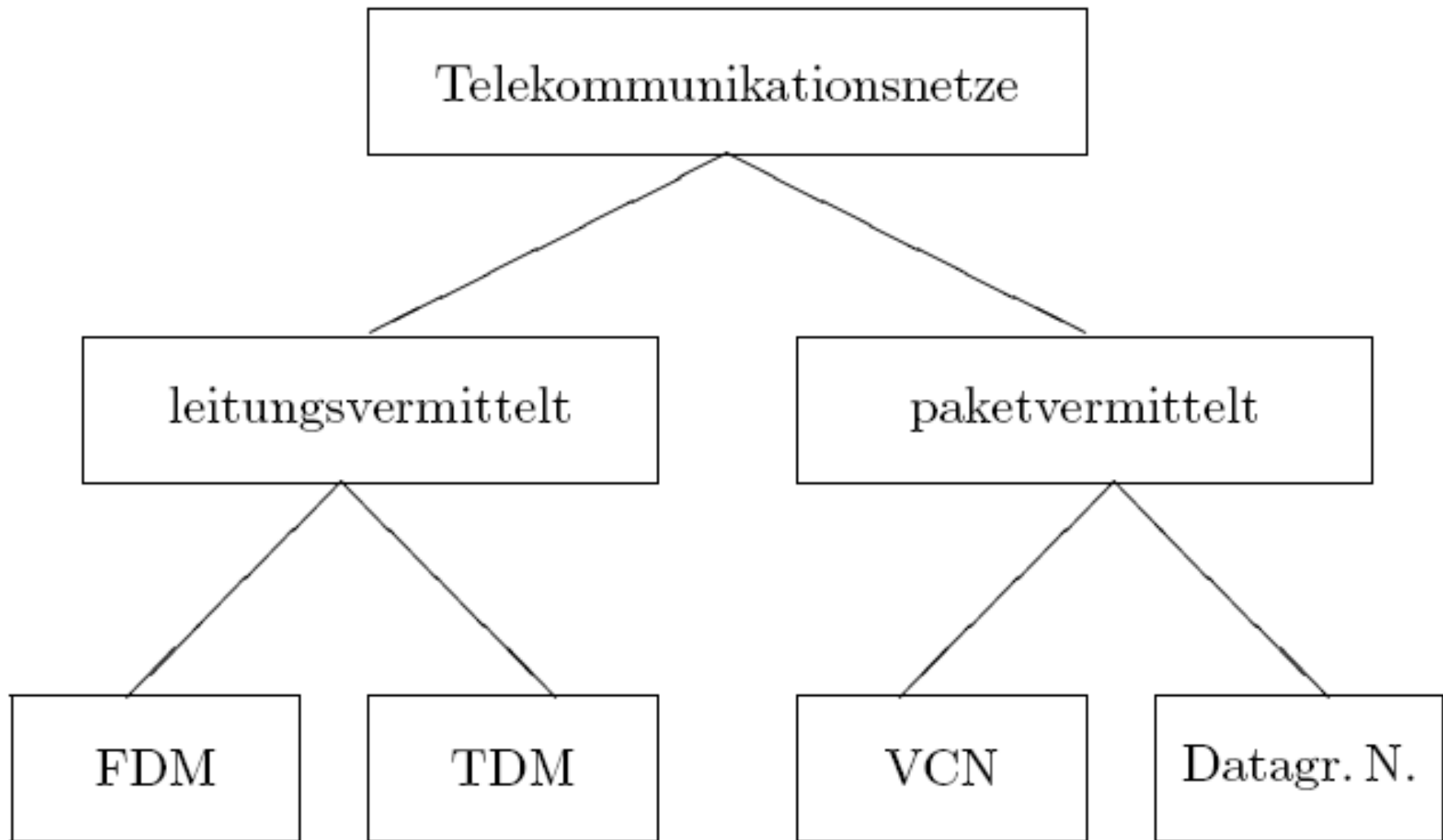
◆ Datagramm-Netz

- Die Zieladresse bestimmt den nächsten Hop.
- Verschiedene Pakete desselben Datenstroms können unterschiedliche Wege nehmen.

◆ Virtual-Circuit Netz (VC, virtuelles Leitungsnetz)

- Jedes Paket hat eine Marke (*Tag*), die den nächsten *Hop* bestimmt.
- Pfad wird beim Verbindungsaufbau festgelegt.
- Router speichern Verbindungsdaten.

Netz-Kerne (allgemein): Taxonomie

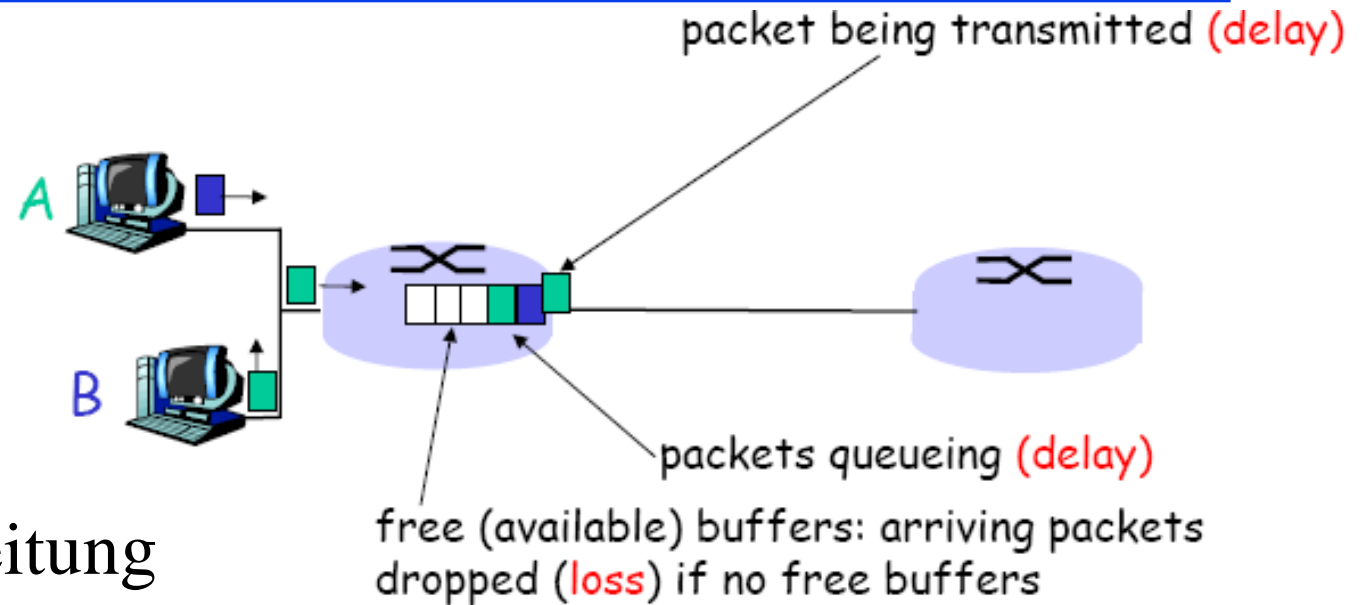


Physikalische Medien

- Verdrillte Adernpaare (geschirmt, ungeschirmt)
- Koaxialkabel
- Glasfaser
- Funkkanäle (erdgebunden, Satelliten)



Verzögerung in Paketnetzen



- Knoten-Verarbeitung
- Warteschlangen-Aufenthalt
- Übertragungsverzögerung
(Paketlänge und Übertragungsrate)
- Signalverzögerung
(Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale in Medium)

Verzögerung-Bandbreiten-Produkt

◆ Relative Bedeutung von Nachrichtenlaufzeit und Bandbreite

- für kurze Nachrichten (z.B. 1 Byte) ist die Laufzeit (z.B. 1 ms gegenüber 300 ms) wichtiger als die Bandbreite (z.B. 1 Mbps gegenüber 1 Gbps).
- für lange Nachrichten (z.B. 600 Mbyte) ist die Bandbreite wichtiger als die Laufzeit.



◆ Produkt aus Bandbreite x Laufzeit

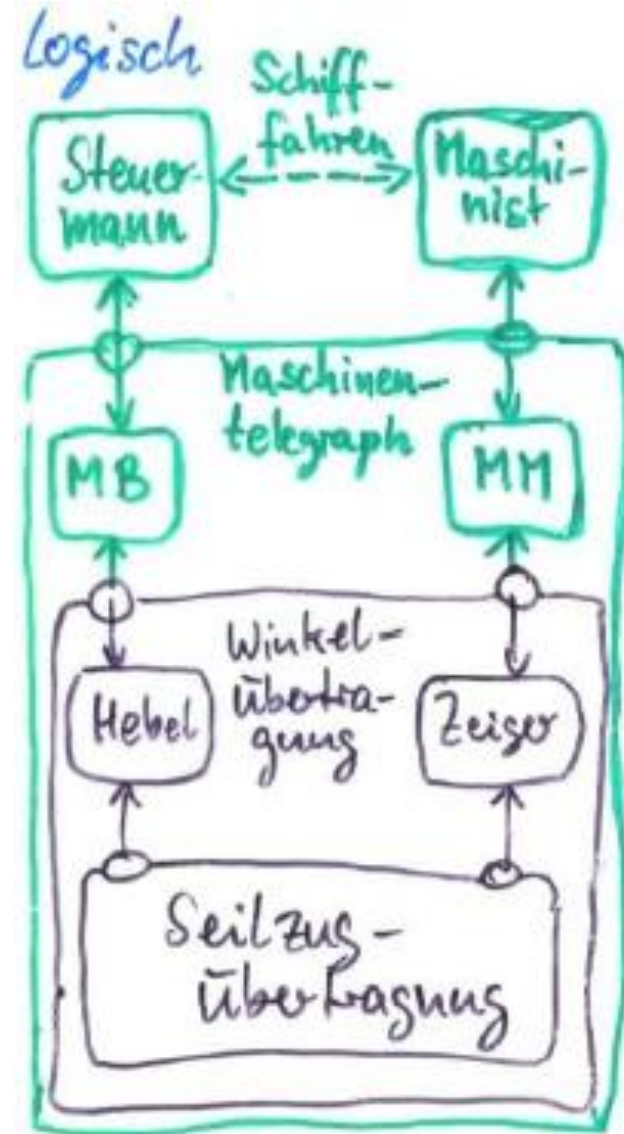
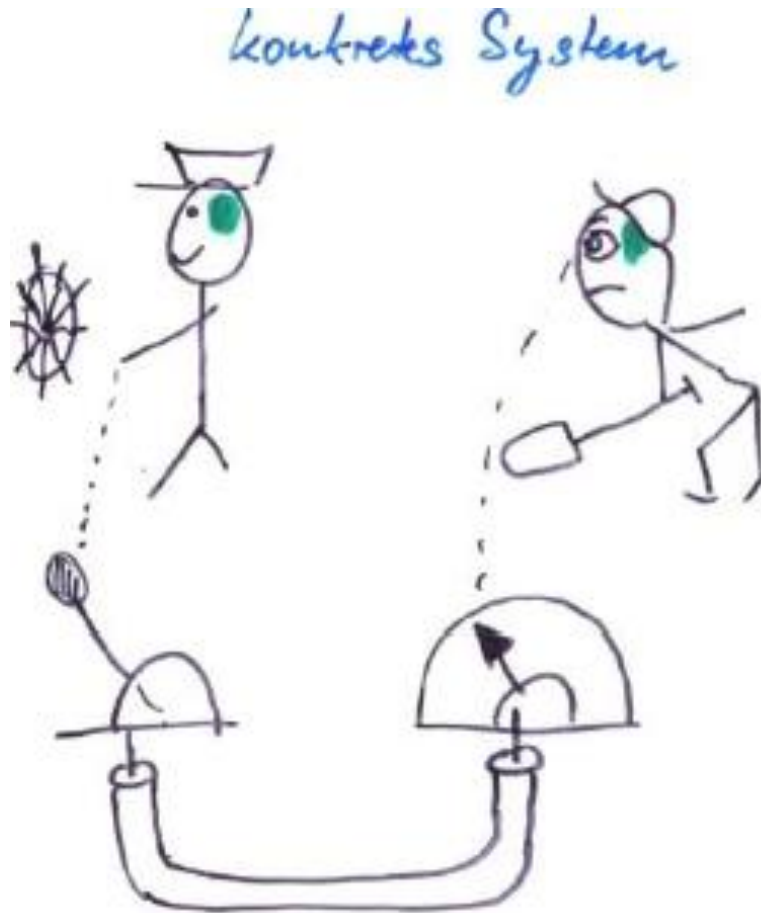
- Es entspricht der Datenmenge, die sich im Transit befinden kann.

◆ Beispiel

- Bei 100 ms Laufzeit und 45 Mbps Bandbreite können sich bis zu 560 Kbyte Daten im Transit befinden



Schichtung von Diensten und Protokollen



Schichtenmodelle

◆ ISO/OSI

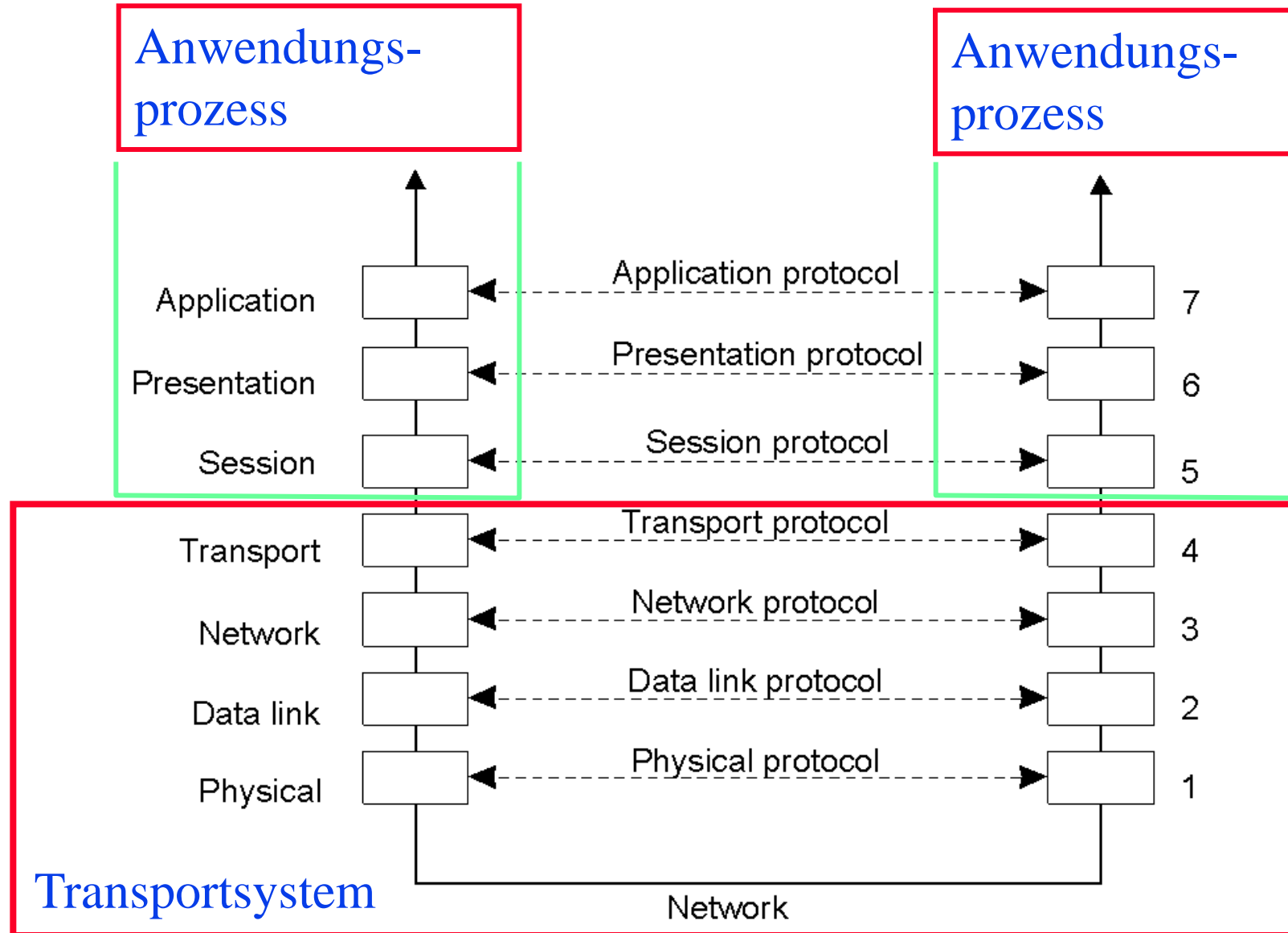
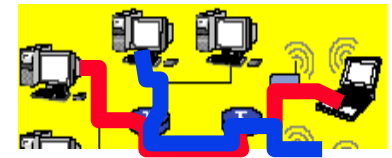
- Kommunikation Offener Systeme – Basis-Referenzmodell
- allgemeines Modell, das sich auf die logische Architektur konzentriert (Welche Funktionen können in welchem Zusammenhang in einer Kommunikation auftreten?)
- (ISO 7498)

◆ TCP/IP

- Internet-Protokollstack
- Für (beinahe) alle Systeme implementiert.
- (RFCs, IEEE-Normen)



ISO/OSI-Basisreferenzmodell



ISO/OSI-Basisreferenzmodell: Schichten

◆ Anwendungsschicht (Application Layer)

- höchste Ebene, stellt die Kommunikationsdienstleistungen bereit, die direkt von einer Anwendung benötigt werden
- Beispiel: „*Übertrage das Kommando eine Datei zu öffnen*“

◆ Darstellungsschicht (Presentation Layer)

- reicht die Dienstleistungen des Session-Dienstes weiter
- stellt Dienstleistungen bereit, mit denen sich Anwendungsprozesse über die Syntax der Nachrichten abstimmen können

◆ Kommunikationssteuerungsschicht (Session Layer)

- bietet Dienstleistungen an, die zur Eröffnung, Durchführung und Beendigung einer Kommunikationsbeziehung (Session) nötig sind
- Dienstleistungen zur Realisierung anwendungsnaher Fehlerbehandlungsmaßnahmen:
Synchronisation, Wiederaufsetzen, Stornieren, Unterbrechen, Wiederaufnehmen

ISO/OSI-Basisreferenzmodell: Schichten

◆ Transportschicht (Transport Layer)

- erweitert Endsystemverbindungen (Rechner–Rechner) zu Anwenderverbindungen (Anwender–Anwender)
- Anwender = Anwendungsprozesse
- behandelt Ende-zu-Ende-Qualitätsaspekte

} bildet
Trans-
port-
system

◆ Vermittlungsschicht (Network Layer)

- unterstützt beliebige Konnektivität im Netz

} bildet
Daten-
netz

◆ Sicherungsschicht (Data Link Layer)

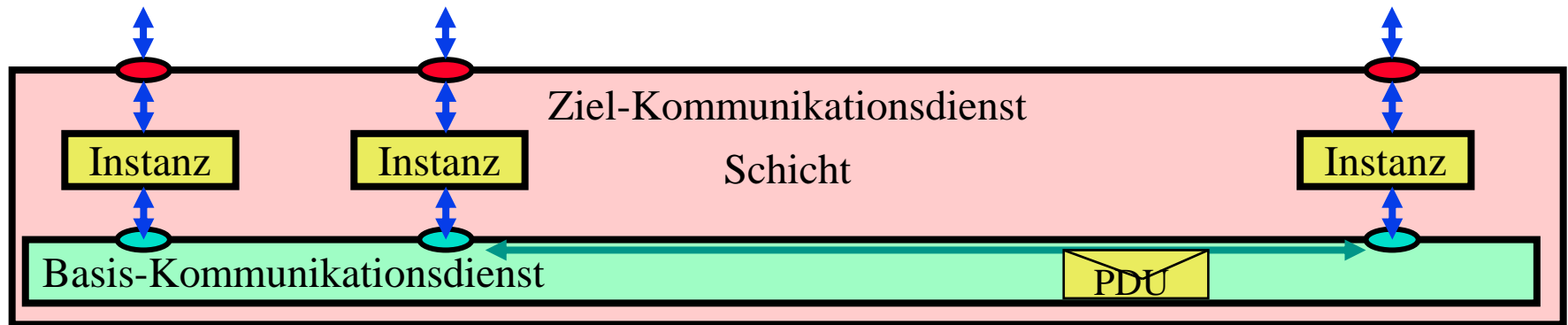
- stellt zuverlässige Links zur Verfügung
- Flußkontrolle, Fehlererkennung und -korrektur

◆ Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

- stellt ungesicherte Links für die Übertragung von Bitfolgen zur Verfügung.

} je Link

ISO/OSI-Basisreferenzmodell: Begriffe



(N)-Schicht *(N)-layer*

Alle Instanzen einer Hierarchie-Ebene (*peer-entities*). Diese kommunizieren über den Basiskommunikationsdienst (N-1)-Dienst und erbringen den Zielkommunikationsdienst (N)-Dienst.

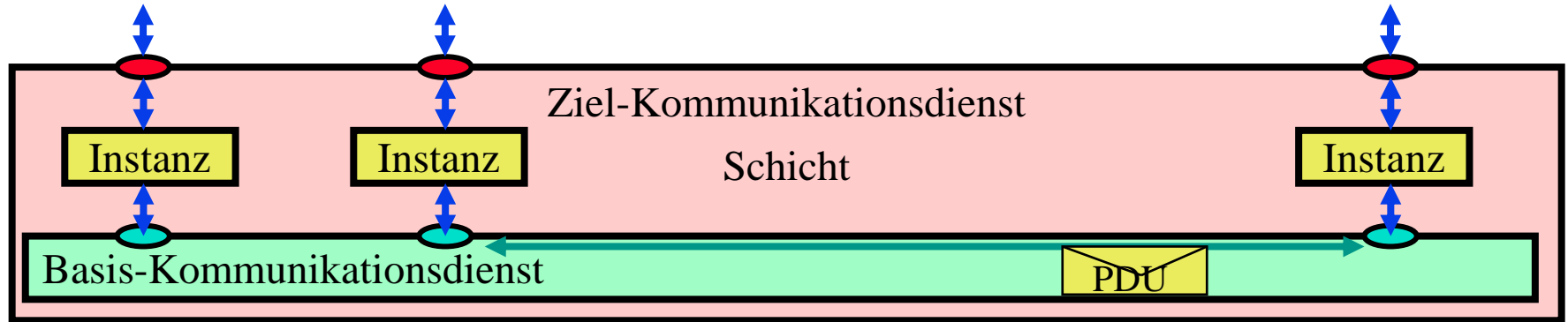
(N)-Dienst *(N)-service*

Fähigkeit der (N)-Schicht (und der Schichten darunter), die der (N+1)-Schicht an der Grenze zwischen (N)-Schicht und (N+1)-Schicht zur Verfügung gestellt wird.

(N)-Protokoll *(N)-protocol*

Verhaltens- und Formatfestlegungen (semantisch und syntaktisch) zum Kommunikationsverhalten der (N)-Instanzen.

ISO/OSI-Basisreferenzmodell: Begriffe



(N)-Dienstzugangspunkt *(N)-service-access-point*

Punkt, an dem der (N)-Dienst den (N+1)-Instanzen (oder Nutzern) zur Verfügung gestellt wird.

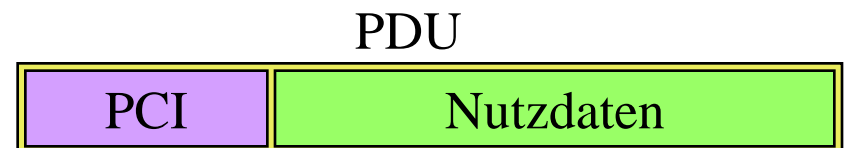
(N)-Adresse *(N)-address*

Kennung, zur Identifikation eines (N)-Dienstzugangspunkts.

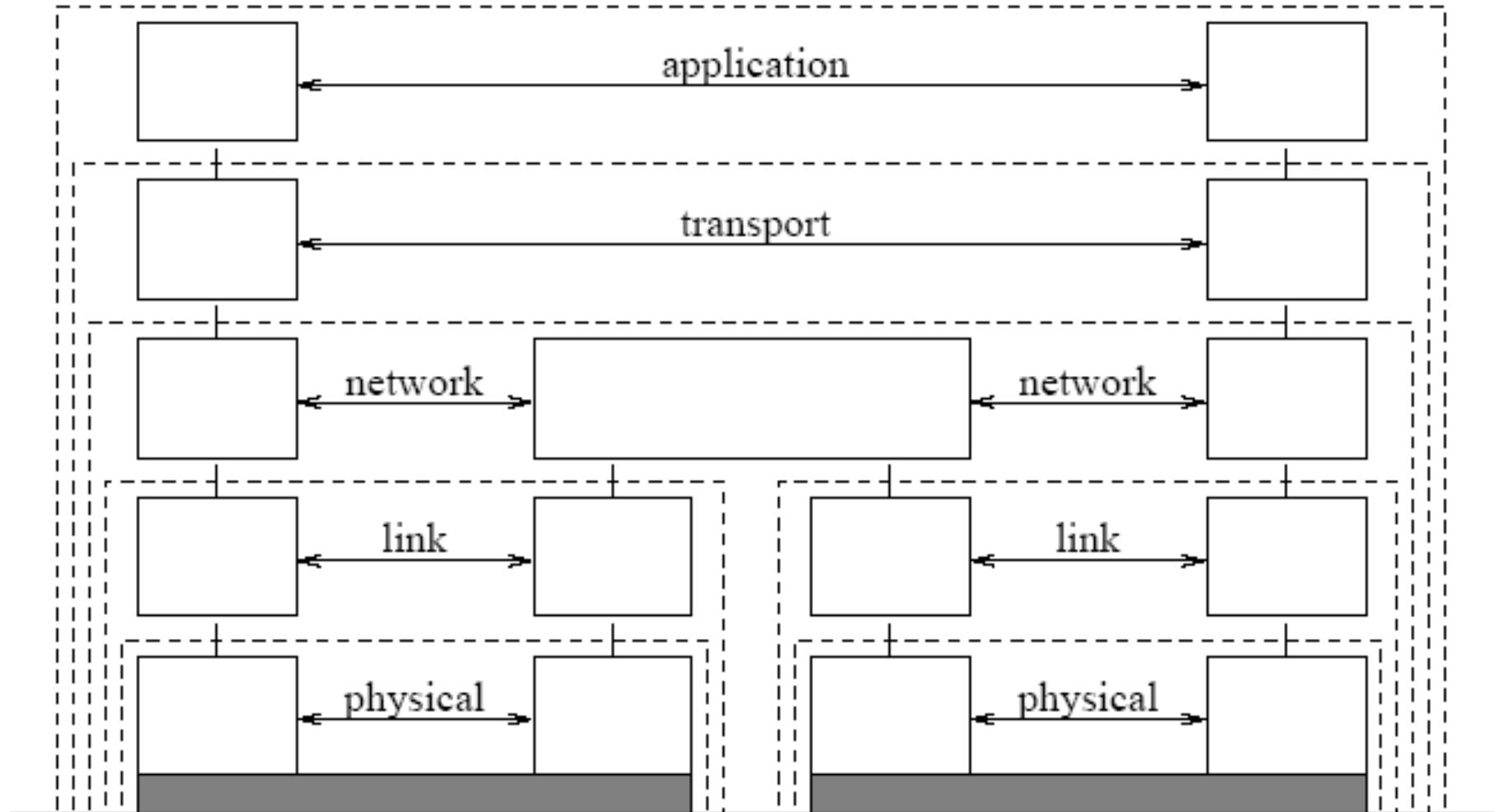
(N)-Protokolldateneinheit *(N)-PDU (N)-protocol data unit*

Nachricht, welche (N)-Instanz gemäß (N)-Protokoll einer anderen (N)-Instanz sendet, besteht aus

- (N)-Protokollkontrollinformation: (N)-PCI
- Nutzdaten der (N+1)-Instanzen



TCP/IP Protokollstapel (Protocol Stack)



TCP/IP Protokollstapel

application layer

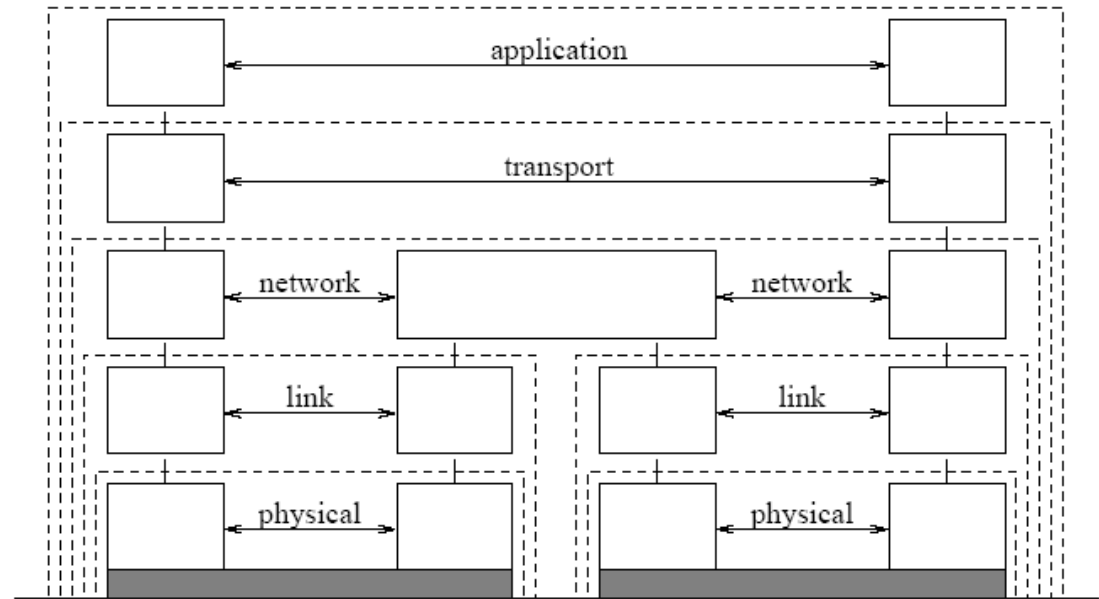
- unterstützt verteilte Applikationen (*umfasst die ISO/OSI-Schichten 5, 6 und 7*)
- Anwendungsprotokolle FTP, SMTP, HTTP, SNMP, DNS, ...

transport layer

- Datenübertragung von Anwendung zu Anwendung (Port zu Port)
- Transportprotokolle TCP, UDP

network layer

- transportiert (routet) Datagramme von Endsystem zu Endsystem
- Internet-Protokoll IP, Routing-Protokolle



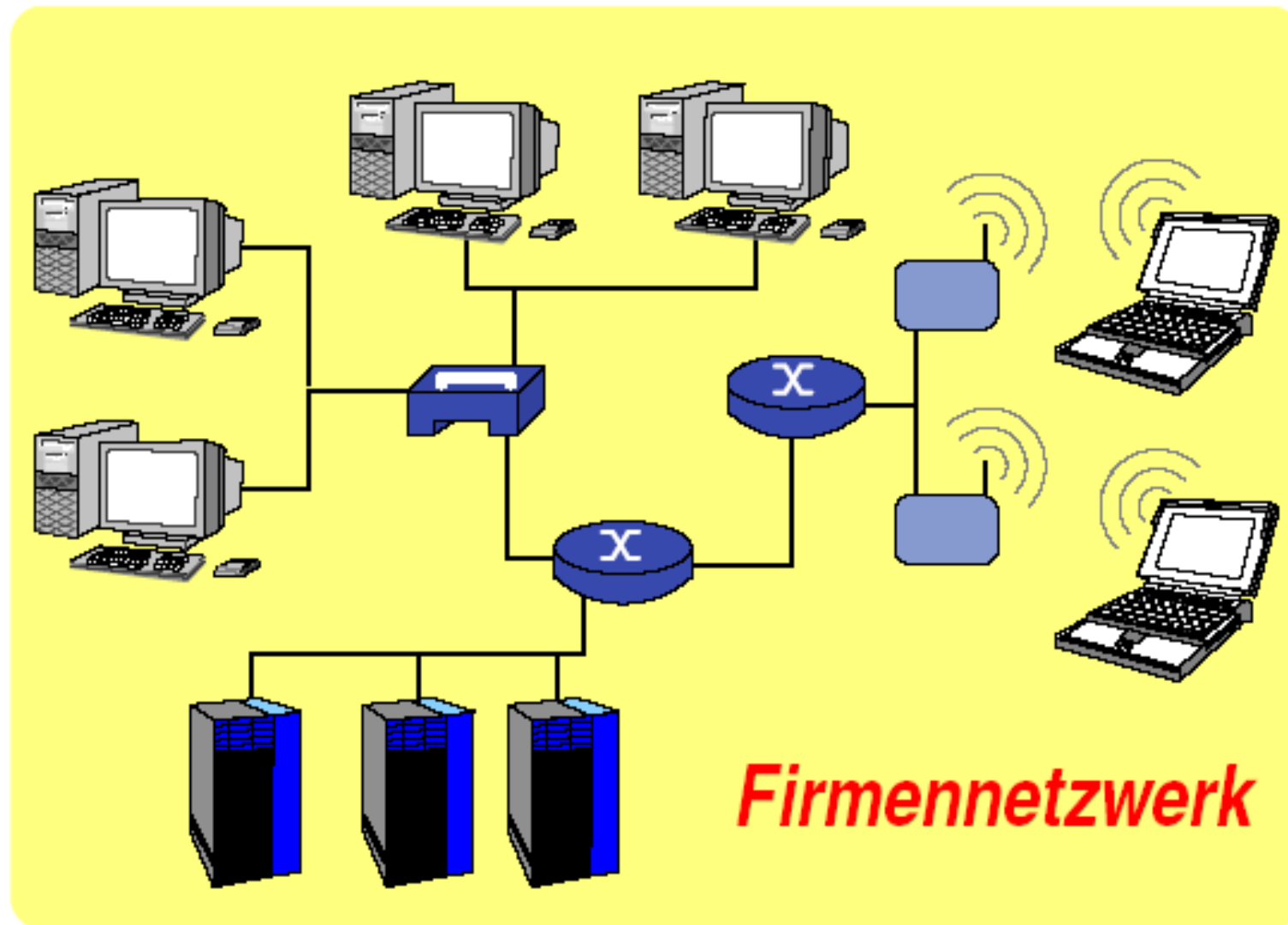
data link layer

- Datentransfer zwischen benachbarten Systemen
- PPP, Ethernet, ...

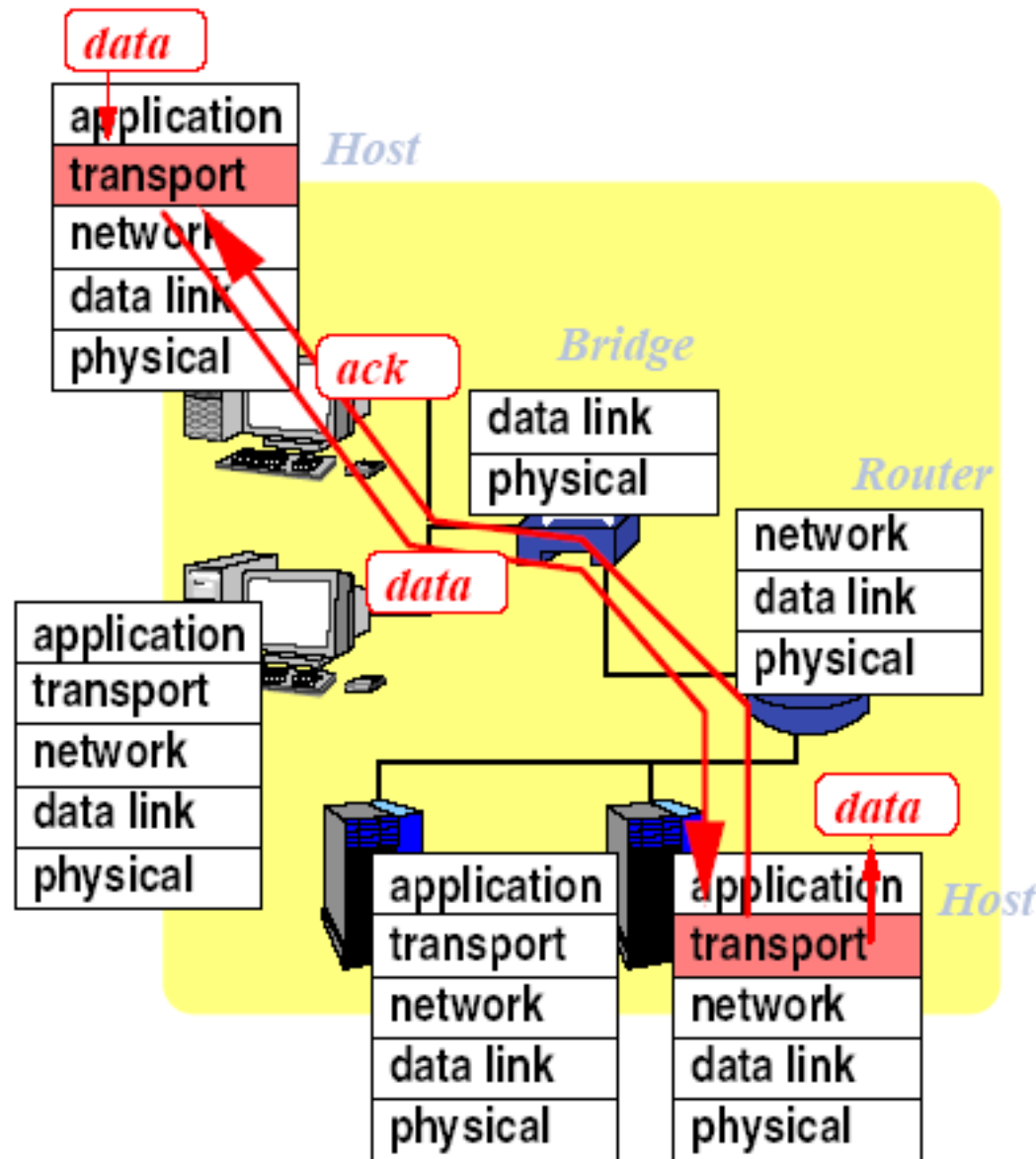
physical layer

- Bitübertragung auf der Leitung oder im Funkkanal
- RS-232, Ethernet, ...

Beispiel für lokales TCP/IP-Netz



Logische Kommunikation - Transportschicht



Physikalische Kommunikation

