

Vorlesung Einführung in Rechnernetze

6. Netzarchitektur

Prof. Dr. Martina Zitterbart

Sebastian Friebe (M.Sc.), Markus Jung (M.Sc.), Matthias Flittner (M.Sc.), Tim Gerhard (M.Sc.)
[zitterbart | friebe | m.jung | flittner | t.gerhard]@kit.edu

Institut für Telematik, Prof. Zitterbart



© Peter Baumung

Kapitel der Vorlesung

- 1 • Einführung
- 2 • Anwendungsschicht
- 3 • Transportschicht
- 4 • Vermittlungsschicht
- 5 • Sicherungsschicht
- 6 • Netzarchitektur**
- 7 • Netzsicherheit

6. Netz- architektur

- 6.1 Geschichtete Architekturen
- 6.2 Protokolle und Dienste
- 6.3 Zusammenspiel der Schichten

Kapitel 6.1

GESCHICHTETE ARCHITEKTUREN

- Netze bestehen aus vielen „Bausteinen“

- Endsysteme
- Router, Switches
- Links
- Protokolle
- Hardware / Software

→ *Kann/soll eine einheitliche Struktur zur Organisation der Netze gefunden werden?*



- Modell für Kommunikationssysteme / Rechnernetze?

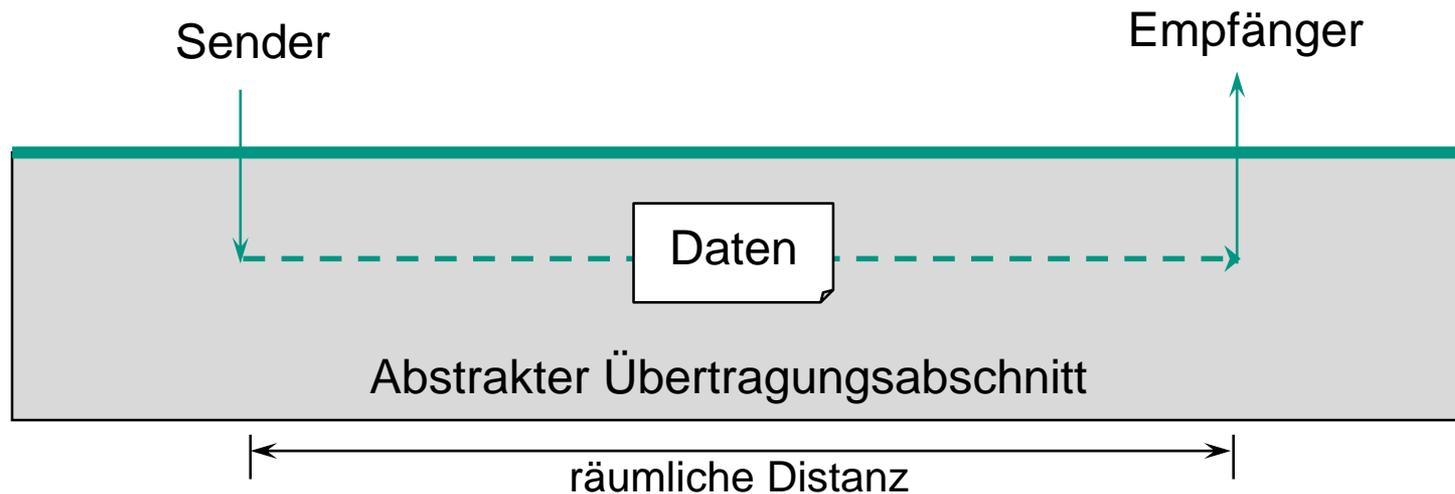
- Grundlegende Funktionen?

- Strukturierung?

- Wie kann die nötige Funktionalität in verschiedene Blöcke unterteilt werden? Wo erfolgen die „Schnitte“?
- Angemessene Abstraktionen („Black-Box“) und Schnittstellendefinition?
- Möglichst allgemeine / wiederverwendbare Module?

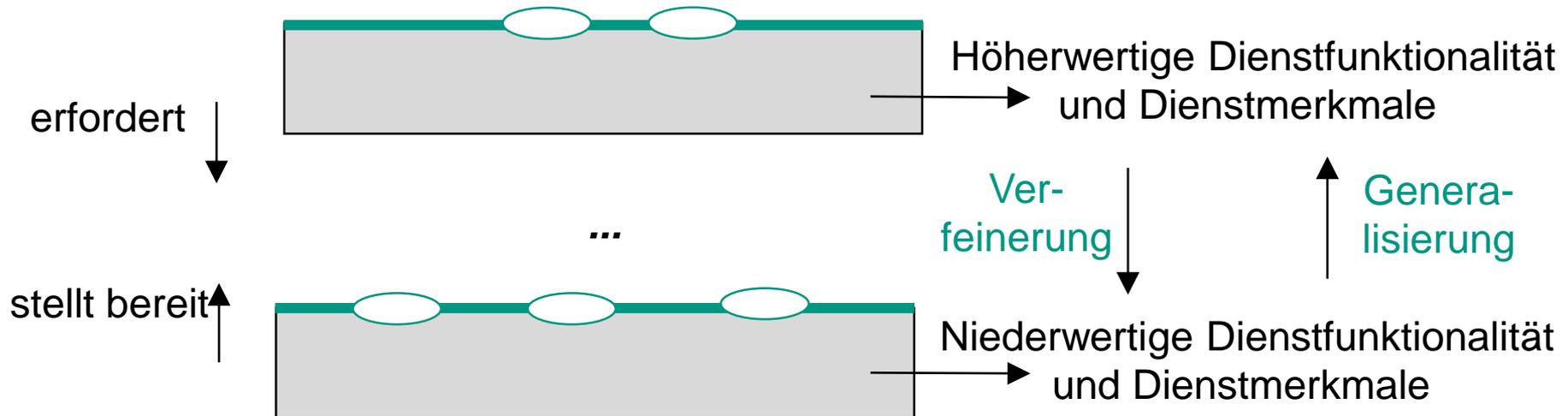
Grundmodell der Kommunikation

- Grundvorgang
 - Daten **überbrücken räumliche Distanz** zwischen Sender und Empfänger
- Grundkomponenten
 - **Sender** und **Empfänger** (je einer oder mehrere)
 - **Abstrakter Übertragungsabschnitt**
 - Überbrückung der räumlichen Distanz

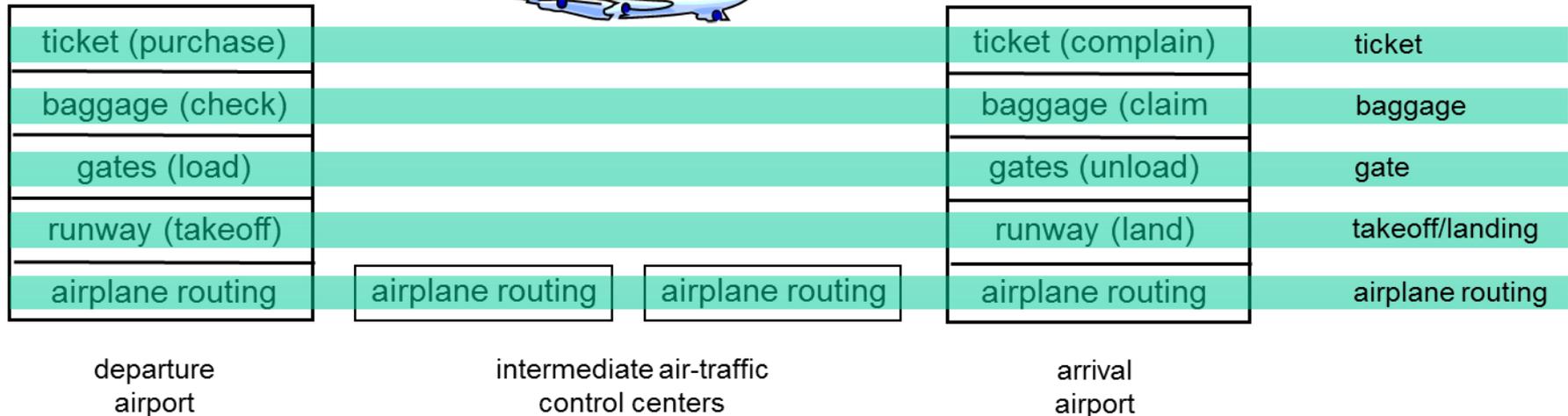
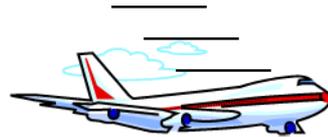


■ Prinzip

- Einführung einer Abstraktion auf der Basis von Schichten
 - Bereitstellen von Diensten an der Schnittstelle nach oben
 - Nutzung von Diensten an der Schnittstelle nach unten



Schichtung der Funktionalitäten



■ Schichten

- Implementieren jeweils einen **Dienst**
 - Durch ihre eigenen Aktionen innerhalb der Schicht
 - Bauen auf Diensten die von Schichten unterhalb angeboten werden auf

„Layering is a structuring technique which permits the network of Open Systems to be viewed as logically composed of a succession of layers, each wrapping the lower layers and isolating them from the higher layers as exemplified in Fig. 1”



[Zimm80]

- Kernaspekte von „Layering“
 - Strukturierungstechnik
 - Logische Trennung
 - Isolation der Schichten
- ... vgl. auch Betriebssysteme

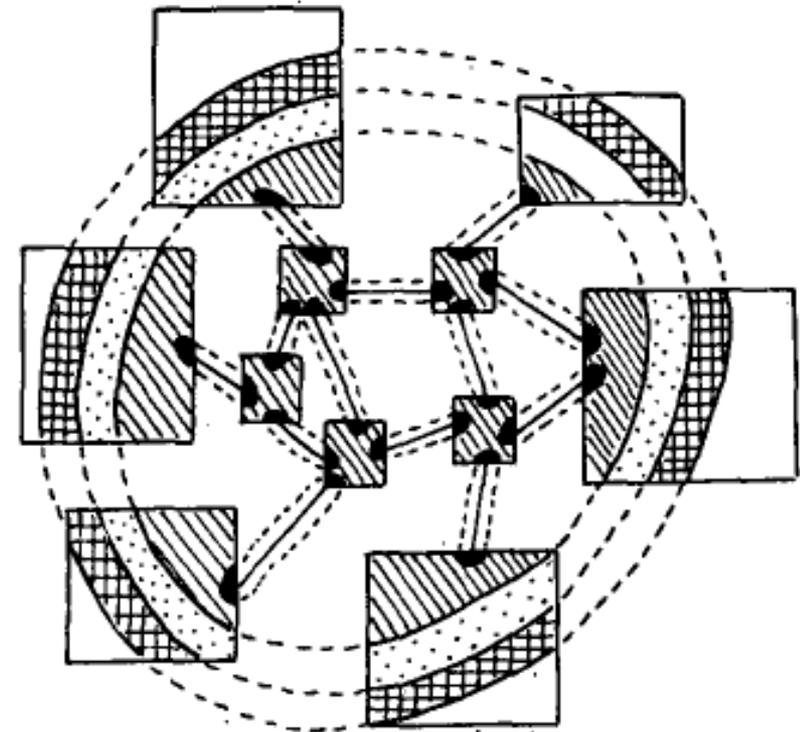


Fig. 1. Network layering.

Zur Zielsetzung von (Netzwerk-) Architekturen

■ Komplexitätsreduktion

- Vereinheitlichung
- Modularisierung
- Abstraktion

■ Hersteller- / Systemunabhängigkeit

- Interoperabilität
- Flexibilität und Erweiterbarkeit



“ ... architecture is about how the parts fit and work together. In computer terms, this means that architecture is about modularity and decomposition, interfaces and dependencies, and exploiting reusable parts, as well as fundamental design principles and approaches.”



[Clark05]

Historie Standardisierung

- Beobachtung Ende der 70er Jahre
 - Etablierung Herstellerspezifischer Netze
 - Z.B. IBM, DEC
 - 70/80er: Zeit der „Open Systems“
- Zielsetzung
 - **Standardisierung**
- Standardisierung durch ISO
 - **International Organization for Standardization (ISO)**
 - Gegründet 1946 durch die Vereinten Nationen
 - Besteht aus nationalen Standardisierungsorganisationen wie ANSI, DIN, ...
- Standardisierung durch ITU-T
 - **International Telecommunication Union (ITU)**
 - Agentur der Vereinten Nationen seit 1947
 - Unter anderen Namen seit 1865
 - Besteht im Wesentlichen aus TK-Unternehmen
 - ITU-T: Telecommunication Standardization Sector (früher CCITT)

 [Russ06]

Historie Standardisierung

- 1977: Komitee „**Open Systems Interconnection (OSI)**“ durch ISO gegründet
 - Herausforderung
 - Offene, herstellerunabhängige Standards für geschichtete Architekturen, Protokolle und Dienste erforderlich
 - „Kommunikationspartner müssen gleiche Sprache sprechen“
 - Ziel
 - Definition einer **Architektur**, die als **Rahmenwerk** zur Standardisierung von Protokollen dient

- 1979: Fertigstellung des „Reference Model of Open System Interconnection“ durch ISO
 - Kurz „**OSI Reference Model**“ (OSI-Referenzmodell)
 - Arbeit in nur 18 Monaten beendet
 - Heute noch grundlegendes Modell der Kommunikation

Historie Standardisierung

- Bis 1983: Parallele Arbeiten der ITU-T
- 1983: Zusammenlegung der ITU-T und ISO Aktivitäten
 - Im Wesentlichen wird der ISO-Vorschlag übernommen
- 1984: erstmals veröffentlicht durch die gleichlautenden Standards **ISO 7498:1984** und **ITU.T Standard X.200**
- 1988: Revision wurde begonnen
- 1994: Revision in ISO 7498-1:1994 und ITU.T X.200 veröffentlicht
 - “ ... Consequently, the **Revised OSI Reference Model offers nothing of significance** that it didn't offer 10 years ago.”  [Day95]

- Logisches Modell
 - Dient der gedanklichen Strukturierung von Kommunikationssystemen

- Nicht notwendigerweise Strukturierung für eine Implementierung
 - Bspw. Effizienz: Daten werden beim Austausch zwischen Schichten möglichst nicht im Speicher kopiert

- Im Referenzmodell sind keine Protokolle definiert
 - Es wird vielmehr das prinzipielle Problem in beherrschbare Unterprobleme gegliedert

- „Open“ : offener, internationaler Standard
 - ... also nicht herstellerepezifisch

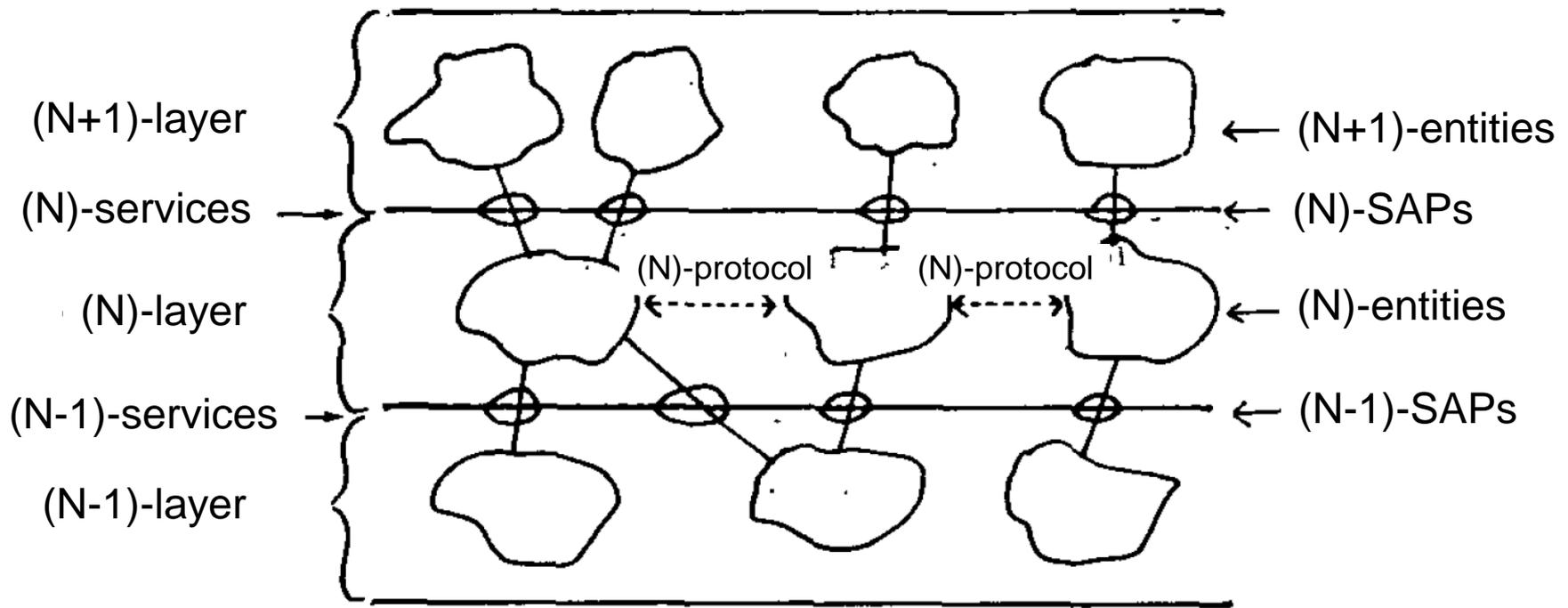
Wie viele Schichten?

Grundlegende Prinzipien



[Zimm80]

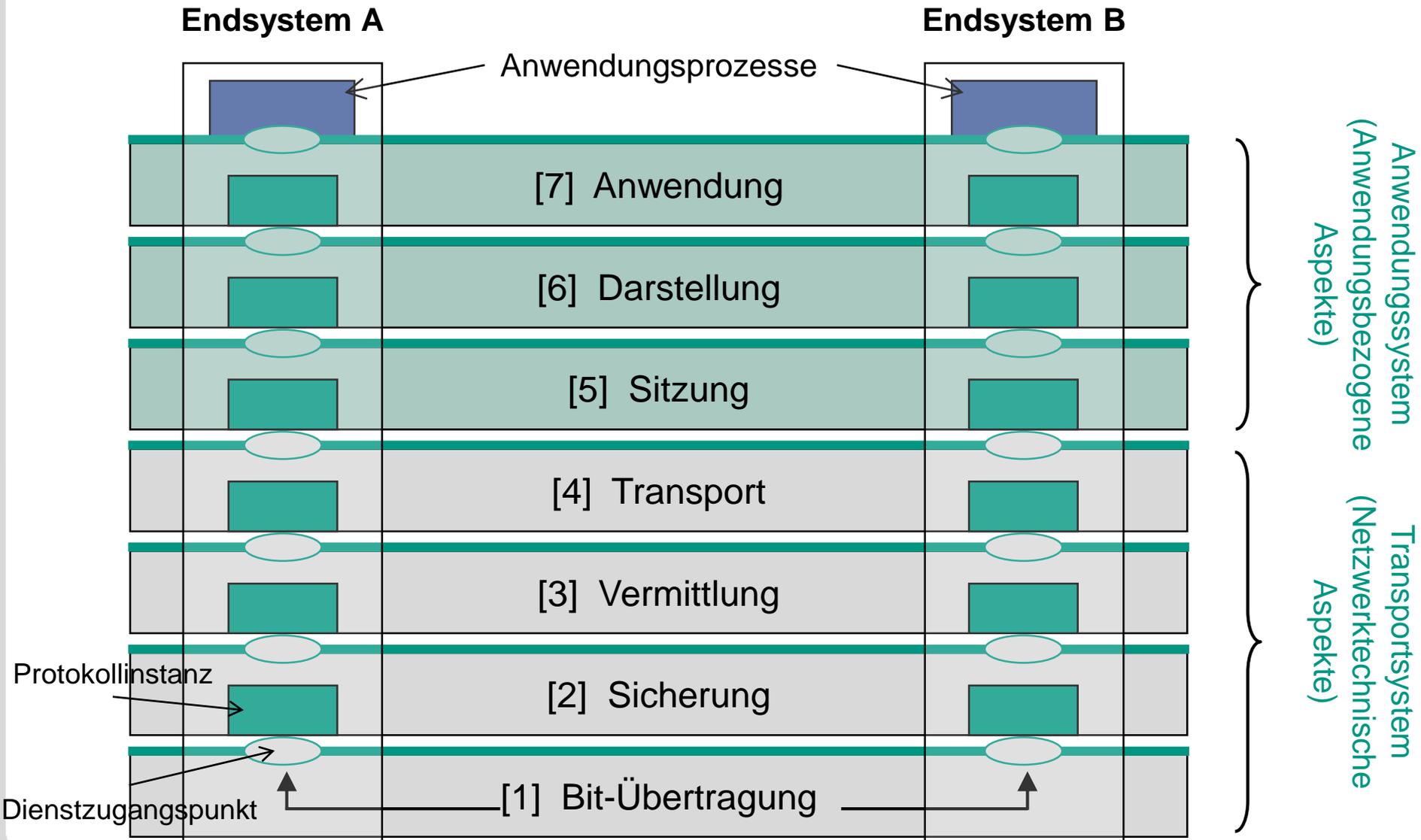
- Nicht zu viele Schichten
- Dienstbeschreibung soll klein sein und Anzahl der Interaktionen zwischen Schichten gering
- Unterschiedliche Schichten für verschiedene Aufgaben
 - Ähnliche Funktionen in der selben Schicht sammeln
 - Schicht muss technologischen Fortschritten entsprechend anpassbar sein, ohne Re-Design von benachbarten Schichten zu erfordern
 - Funktionen oder Protokolle einer Schicht müssen änderbar sein, ohne Änderungen in anderen Schichten zu erfordern
- Unterschiedliche Abstraktion bei der Behandlung von Daten
- Schicht hat nur Schnittstellen zu ihren benachbarten Schichten
 - Unterschichten innerhalb einer Schicht sind möglich
 - Unterschichten können übergangen werden, Schichten nicht



- Zur Erläuterung aus  [Zimm80]
 - „... the (N) entities add value to the (N-1) services they get from the (N-1) layer and offer this value-added service, i.e., the (N) service to the (N+1) entities.“

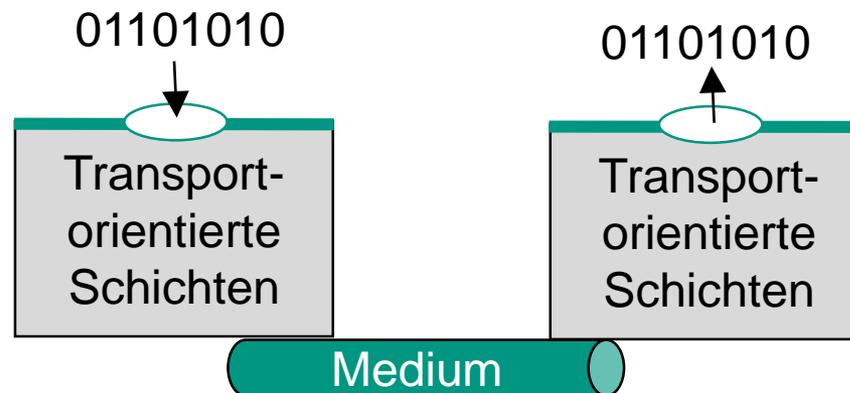
SAP: Service Access Point

Die Schichten des OSI-Referenzmodells



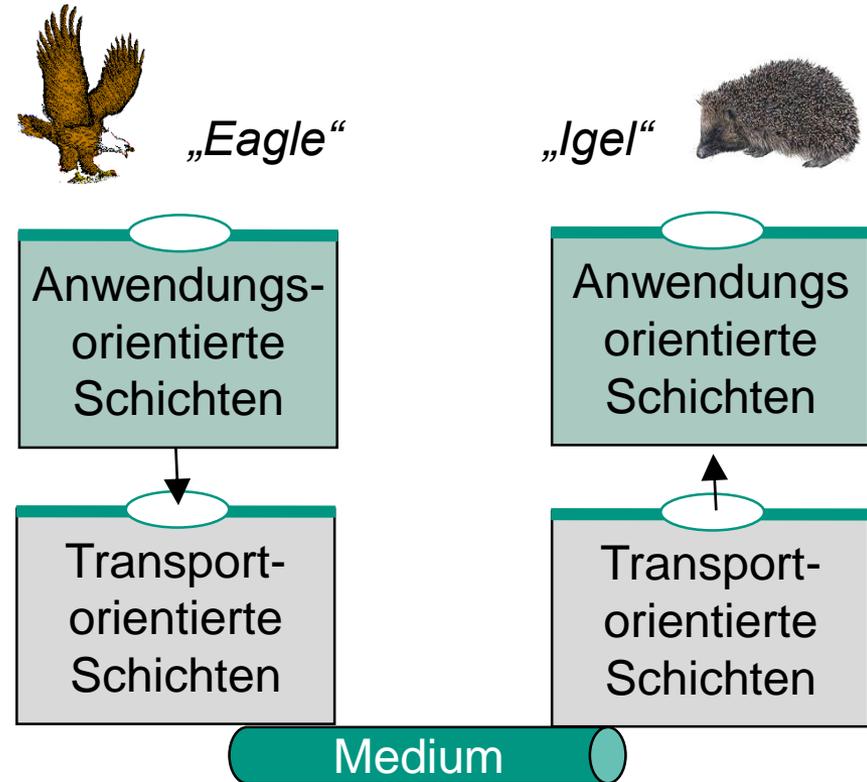
Aufgabenbereiche: Transportsystem

- Transportorientierte Schichten (1-4)
- Transparente Übertragung von Daten zwischen Anwendungssystemen (bzw. Anwendungen)
 - Inhalt (Semantik) der Daten transparent
 - Nur den Bedürfnissen des Datenaustauschs und des bereitzustellenden Dienstes unterstellt



Aufgabenbereiche: Anwendungssystem

- Anwendungsorientierte Schichten (5-7)
- Anwendungsbezogene Aspekte
 - Semantik der Daten ist wichtig
 - Informationsdarstellung und -austausch
 - Kooperation der Teilnehmer unter formalen Gesichtspunkten berücksichtigt, wie z.B.
 - Steuerung des Ablaufs
 - Kompensation von Fehlverhalten durch verteilte Transaktionen



■ Schicht 1: Bit-Übertragungsschicht (Physical Layer)

- Auch als „**Physikalische Schicht**“ bezeichnet
- Übertragung von Bits
- Verwendung von Leitungscodes etc.
- Keine Pufferung
- Bietet keinen zuverlässigen Dienst an
- Problem: mögliche Störungen der Übertragung
- Ziel: feste Übertragungsqualität

00101010

■ Schicht 2: **Sicherungsschicht** (Data Link Layer)

- Kommunikation zwischen physikalisch benachbarten Systemen
 - Erkennung und Behebung von Fehlern der Bitübertragungsschicht möglich
- Gliederung eines Bitstroms in Rahmen
- Pufferung sowohl beim Sender als auch beim Empfänger

■ Schicht 3: **Vermittlungsschicht** (Network Layer)

- Auch als „**Netzwerk-Schicht**“ bezeichnet
- Verknüpft Übertragungsabschnitte zu Ende-zu-Ende-Strecken
- Wegewahl im Kommunikationssystem
 - Finden geeigneter Wege für die Ende-zu-Ende-Datenübertragung
- Adressierung der Geräte
- Multiplexen

■ Schicht 4: **Transportschicht** (Transport Layer)

- Übertragung von Daten zwischen Anwendungen
- Abstrahiert von Diensten der Vermittlungsschicht
 - Dem Dienstnehmer bleiben sämtliche Aspekte der Datenübertragung verborgen
- Fehlererkennung und -behebung
- Pufferung
- Adressierung von Transportdienstnutzern
- Multiplexen

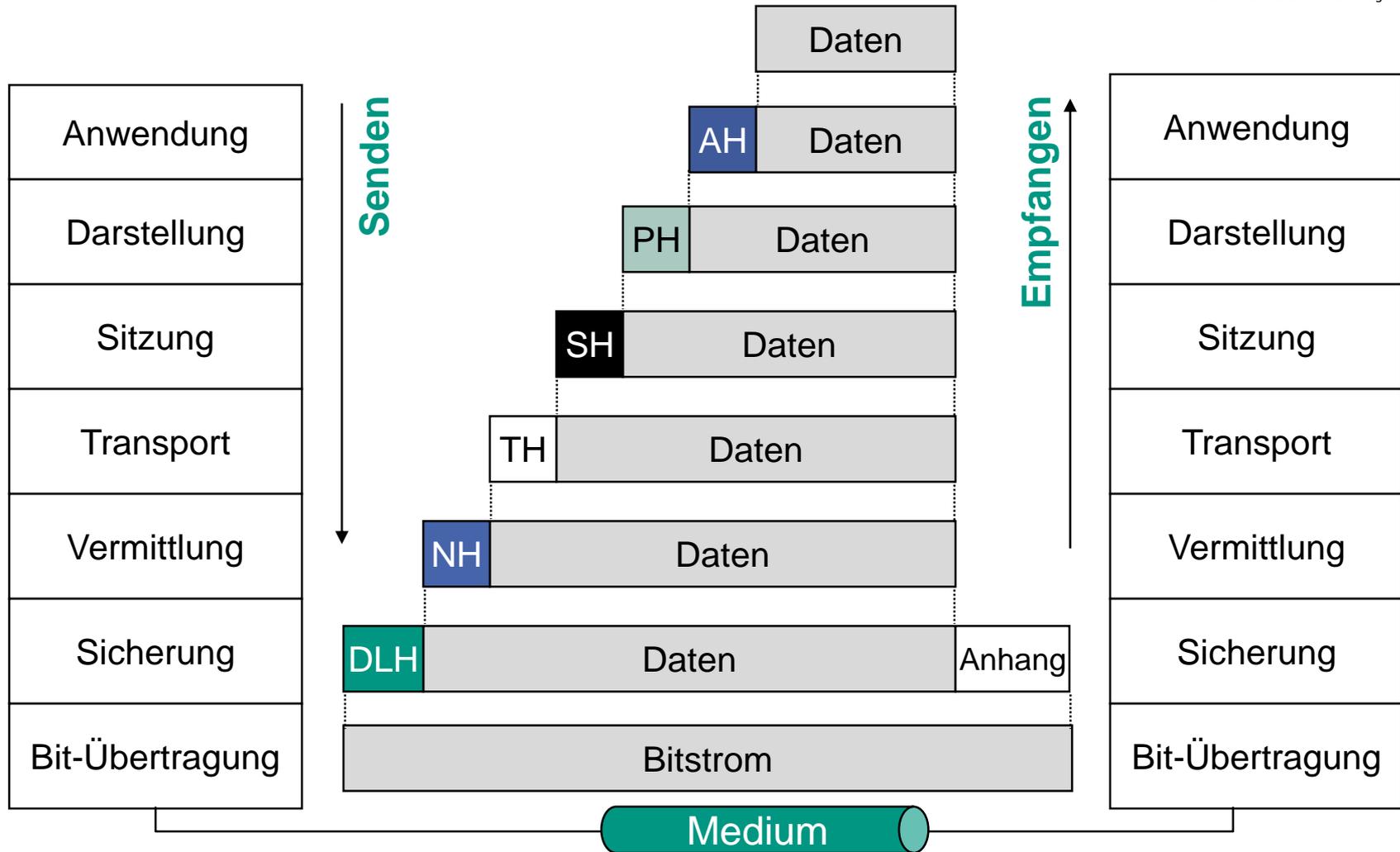
- Schicht 5: **Sitzungsschicht** (Session Layer)
 - Bietet Nichtunterbrechbarkeit von Kommunikationsbeziehungen
 - Gliederung des Datenaustauschs nach Gesichtspunkten der Anwendung
 - Ablaufsteuerung und -koordination
 - Bereitstellen sogenannter Sitzungen
 - Vereinbarung von Synchronisationspunkten zum Rücksetzen
- Schicht 6: **Darstellungsschicht** (Presentation Layer)
 - Einheitliche Darstellung der Daten (Syntax)
 - Integer → 16 oder 32 bit?
 - Kommunikation zwischen heterogenen Geräten
 - Überführung in bzw. aus der lokalen Syntax erforderlich
 - Beibehaltung der Semantik der Information
- Schicht 7: **Anwendungsschicht** (Application Layer)
 - Austausch von anwendungsabhängigen Daten
 - Aufbau und Zweck durch Anwendung bestimmt
 - Beispiele: SMTP, HTTP ...

Kapselung der Daten – „Datensicht“

- Ziel
 - Austausch von Information innerhalb einer verteilten Anwendung

- Geschichtete Architektur
 - Information wird durch alle Schichten durchgereicht, sowohl beim Empfangen als auch beim Senden
 - Daten werden beim Senden in jeder Schicht gekapselt
 - Kontrollinformation, die für den ordnungsgemäßen Ablauf des Protokolls der Schicht benötigt wird
 - **Kopf (engl. Header)**: Kontrollinformation vor den Daten
 - Z.B. Adressen in Paketen
 - **Anhang (engl. Trailer)**: Kontrollinformation hinter den Daten
 - Z.B. Prüfsummen in Paketen
 - Beim Empfangen muss Kontrollinformation vor der Weitergabe an die darüber liegende Schicht entfernt werden

Kapselung der Daten im OSI-Referenzmodell



AH: Application Header
PH: Presentation Header

SH: Session Header
TH: Transport Header

NH: Network Header
DLH: Data Link Header

<http://pingo.upb.de/>



<http://pingo.upb.de/>



<http://pingo.upb.de/>



- Einfacher, nur 4 Schichten
 - Teilweise auch 5 Schichten (getrennte Sicherungs- und Bit-Übertragungsschicht)

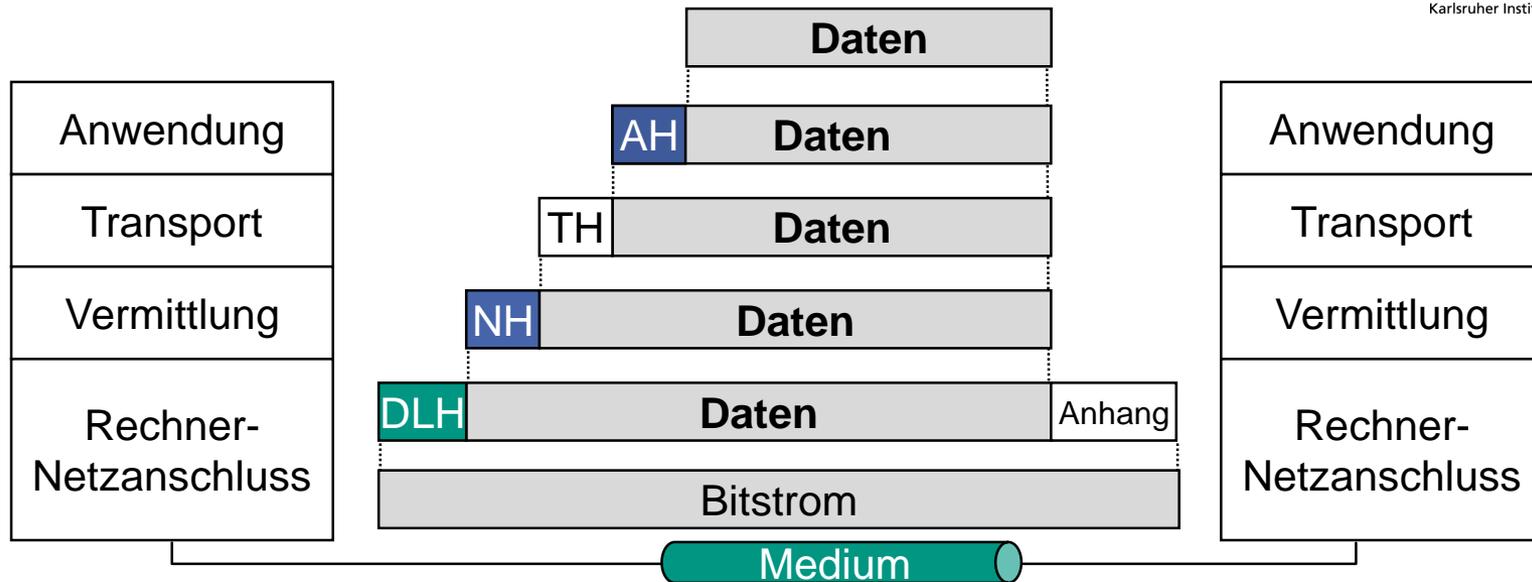


- Referenzmodell ist im Internet bzw. bei der IETF von untergeordneter Bedeutung. Fokus liegt auf Protokollen.

 [Clark88]

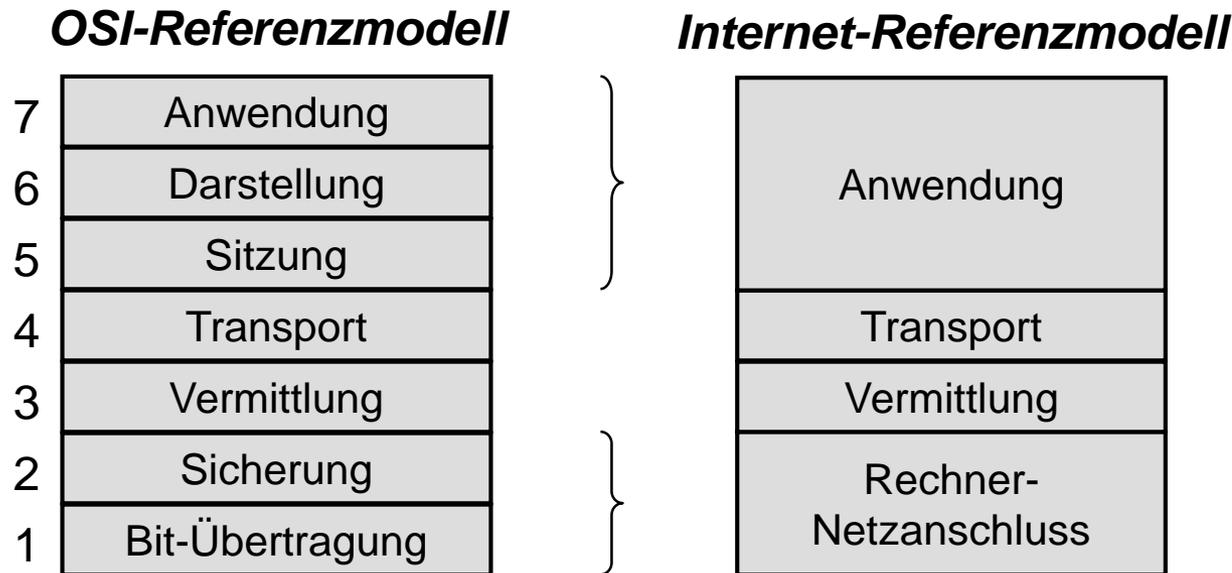
- Nicht formal spezifiziert
- Teilweise entsprechend der beiden prägenden Protokolle TCP/IP bezeichnet

Kapselung im Internet-Referenzmodell



- Pakete in den Schichten haben unterschiedliche Namen
 - Nachricht, Segment, Datagramm, Rahmen
- Teilweise enthalten die Köpfe der Pakete der Schicht N-1 Kennungen welches Protokoll in Schicht N verwendet wird, z.B.
 - Ethernet-Kopf hat ein Type-Feld, um auf z.B. IP zu verweisen
 - IP verweist z.B. auf TCP oder UDP

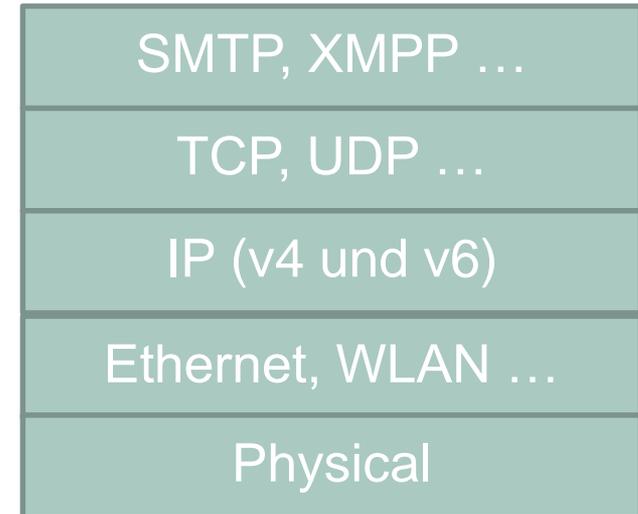
Die Referenzmodelle im Vergleich



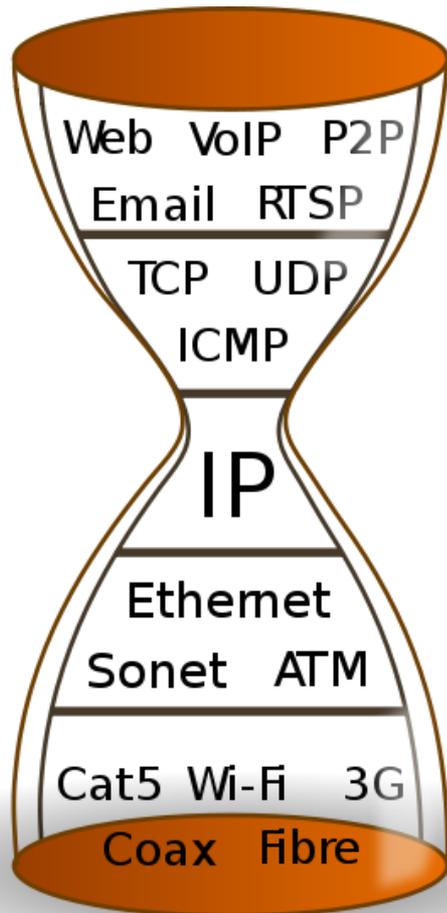
- Wesentliche Änderungen im Internet-Referenzmodell
 - Aufgaben der Schichten 5 und 6 in Anwendung verlagert
 - Im Internet nutzen Anwendungsprotokolle teilweise standardisierte Verfahren für Funktionen der Schicht 5/6
 - Bspw. ASN.1 oder MIME für die Darstellung

Internet-Protokollstack

- **Application**
 - SMTP, HTTP, XMPP ...
- **Transport**
 - Datentransfer zwischen Anwendungsprozessen
 - TCP, UDP
- **Network**
 - Weiterleitung von Datagrammen von der Quelle zum Ziel
 - IP
- **Data Link**
 - Datentransport zwischen **benachbarten** Geräten
 - Ethernet, 802.11 (WiFi)
- **Physical**
 - Bits auf dem Medium



IP-Sanduhr (IP Hourglass)



- IP (= Internet Protocol) ist der gemeinsame Kern des Internets
 - Einziges Protokoll (v4 und v6 existieren)
 - Globale Adressierung
 - Schlankes Protokoll

Kapitel 6.2

PROTOKOLLE UND DIENSTE

■ Protokoll

- Regeln und Formate für den Austausch von Daten
 - Innerhalb einer Schicht – horizontale Kommunikation
- Protokollinstanzen realisieren Protokolle in den Schichten
 - Ablauf innerhalb einer Schicht wird durch Protokoll geregelt
 - Je Gerät (ggf. Anwendung) existiert *eine* Protokollinstanz

■ Dienst

- Innerhalb einer Schicht erbracht
 - Durch Zusammenwirken der Protokollinstanzen gemäß standardisiertem Protokoll
- Schicht zieht sich über gesamtes Kommunikationssystem hinweg
 - Schicht ist nicht auf ein einzelnes Gerät limitiert

Horizontale und vertikale Kommunikation

■ Horizontale Kommunikation

- Zwischen Sender und Empfänger (zwischen Kommunikationspartnern)
- Protokollinstanzen einer Schicht tauschen Daten untereinander aus um den geforderten Dienst zu erbringen

■ Vertikale Kommunikation

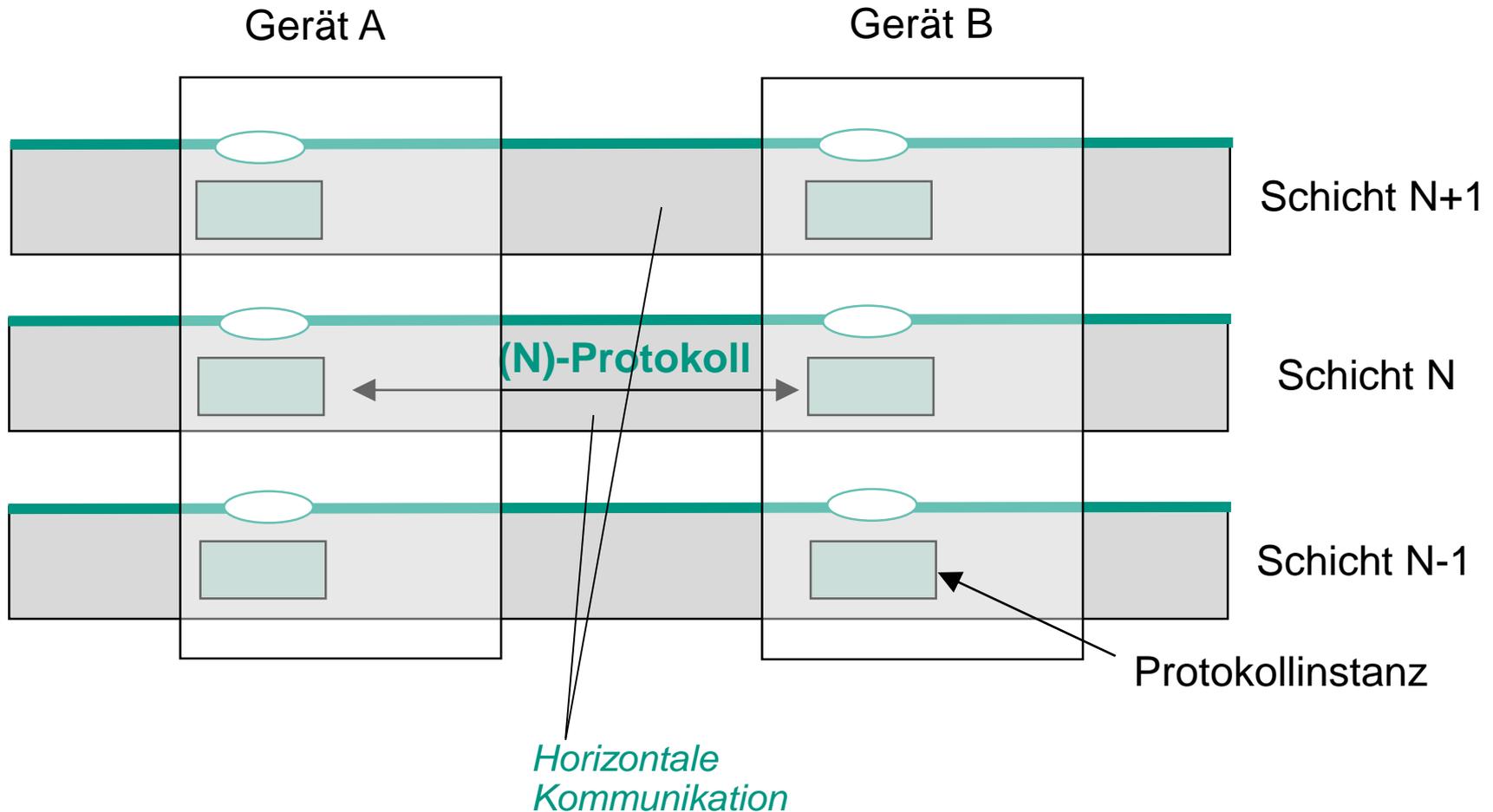
- Zwischen Schichten (innerhalb eines Systems)
- Protokollinstanz der Schicht N greift auf Dienste der Protokollinstanz in Schicht N-1 zu bzw. gibt Daten an Protokollinstanz der Schicht N+1 weiter



Horizontale und vertikale Kommunikation

Vertikale
Kommunikation

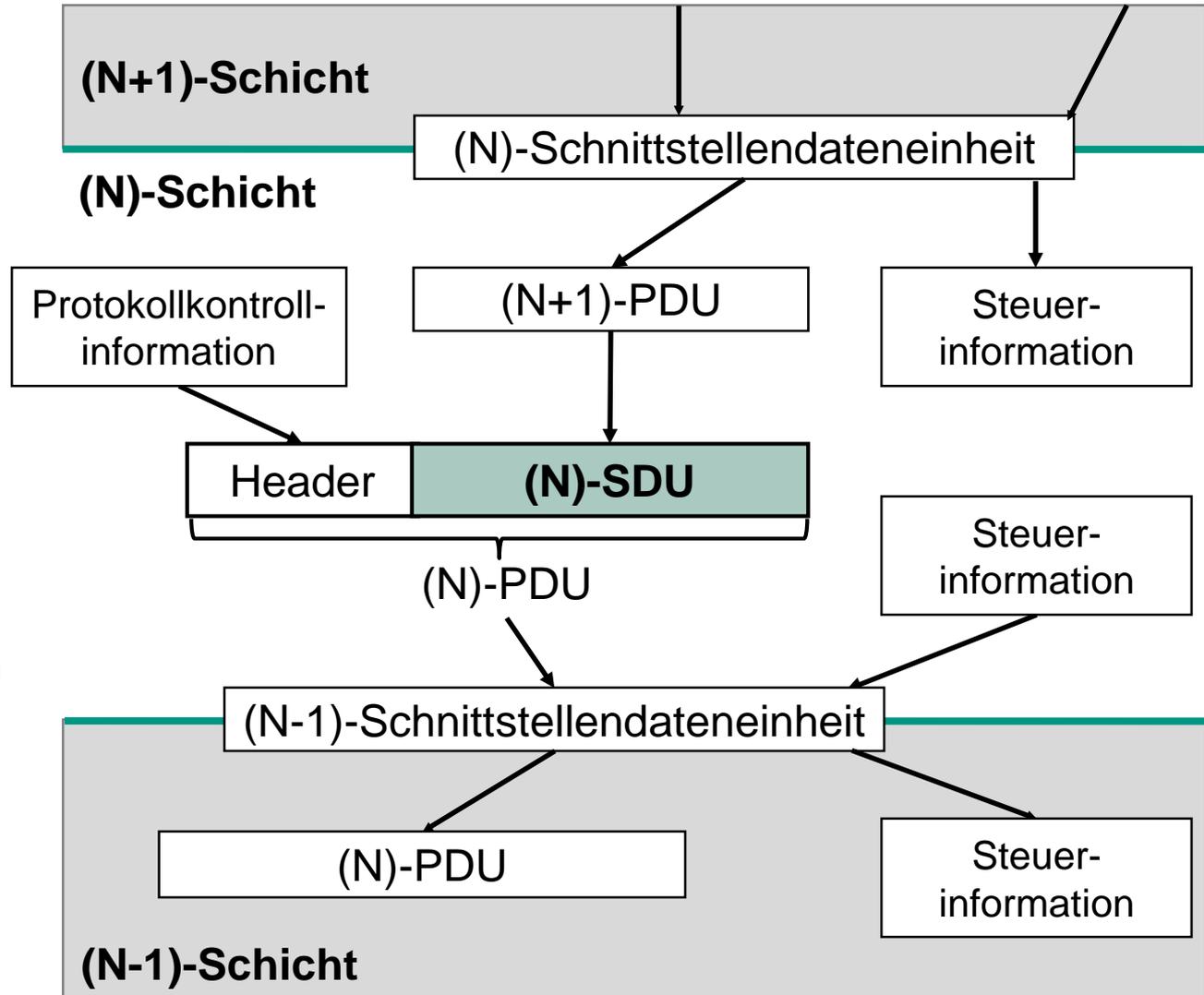
Vertikale
Kommunikation



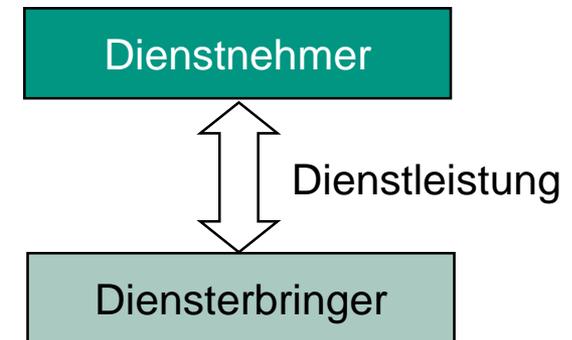
Zusammenspiel der Schichten

- Service Data Unit (SDU)
 - Datenteil
 - N-SDU wird beim Empfänger unverändert an (N+1)-Schicht übergeben

- Protocol Data Unit (PDU)
 - Beinhaltet Daten und Protokollkontrollinformation



- Bündelung zusammengehöriger Funktionen
- Dienstfunktion
 - Einzelne Teile eines Dienstes können unabhängig voneinander in Anspruch genommen werden
- Dienstprimitiv
 - Einzelschritte einer Dienstfunktion
- Diensthierarchie
 - Dienst baut auf anderen Diensten auf
 - Dienstleister
 - Bieten einen Dienst an
 - Dienstnehmer
 - Nehmen einen Dienst in Anspruch



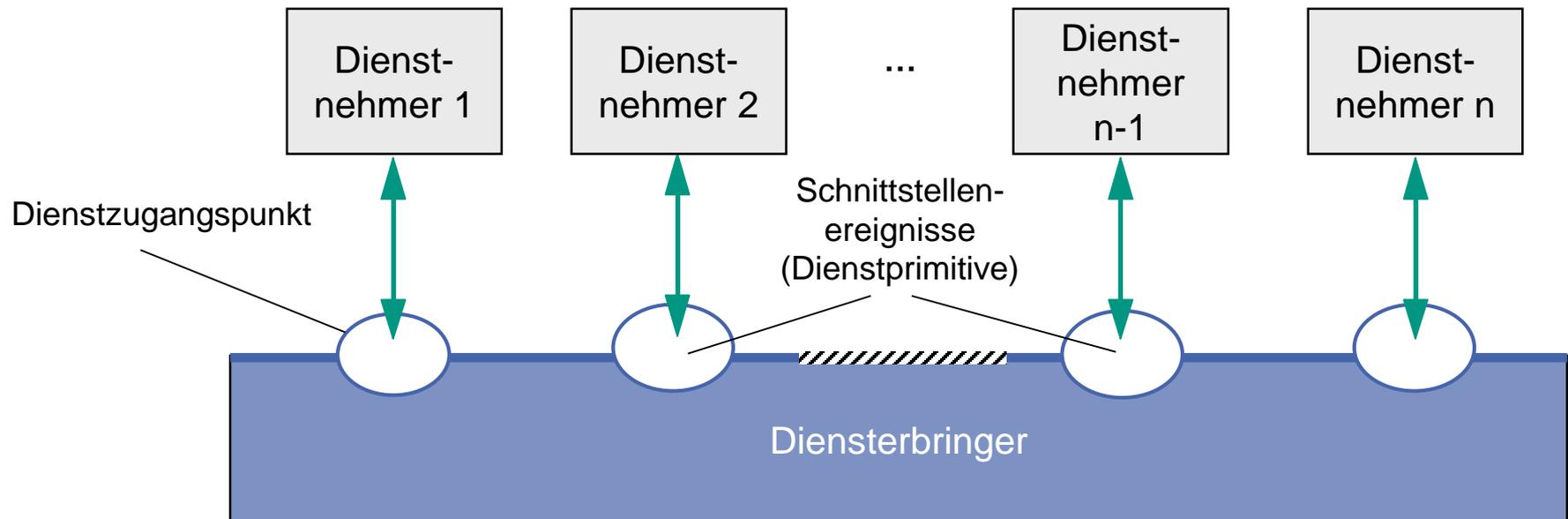
Abstrakte Sicht eines Dienstes

- Dienstzugangspunkte
 - Stellen eine Dienstschnittstelle dar
 - Schnittstellenergebnisse treten an Dienstzugangspunkten auf
 - Dargestellt über Dienstprimitive

- Abstrakte Sicht eines Dienstes
 - Entspricht Sicht auf seine Dienstzugangspunkte
 - Menge von **Dienstprimitive**
 - Zeitpunkt
 - Zugangspunktadresse (d.h. Ort)
 - Typ
 - Parameter
 - **Ablauffestlegungen** der Dienstprimitive
 - Zeitliche Reihenfolge

Dienstnehmer / Dienstgeber

- Diensthierarchie
 - **Dienstprimitive** zwischen Dienstnehmer und Dienstgeber
 - Entspricht vertikaler Kommunikation
 - Inanspruchnahme von Diensten über Dienstzugangspunkte
- Beschreibung eines Dienstes
 - Verhalten an den **Dienstzugangspunkten** (Service Access Points, SAP)
 - Abstrakter Übertragungsabschnitt abstrahiert von „unterliegenden“ Diensten



■ Grundtypen

- Request (Req)
 - Beauftragung (Dienstnehmer → Dienstgeber)
- Indication (Ind)
 - Benachrichtigung des Partners (Dienstgeber → Dienstnehmer)
- Response (Rsp)
 - Beantwortung durch Partner (Dienstnehmer → Dienstgeber)
- Confirmation (Cnf)
 - Benachrichtigung über Abschluss (Dienstgeber → Dienstnehmer)

■ Beschreibung von Dienstprimitive

■ Name

- Z.B. Bitübertragung, Sicherung, Vermittlung, Transport
 - Engl.: Physical, Data Link, Network, Transport
- Oft in abgekürzter Form (z.B. Ph, DL, N, T)
- Kann auch entfallen, wenn nur ein Dienst betrachtet wird

■ Name einer Dienstleistung

- Z.B. Connect, Data, Release, Reset, Abort, Disconnect

■ Parameter

Dienstprimitive

■ Beispiele

- TConReq(*Adressen*)
 - Verbindungsaufbauanforderung an der Schnittstelle zum Transportdienst
 - Adressen identifizieren Kommunikationspartner
- HTTPGet[Req](*URL*)
 - Anforderung der HTML-Seite (HTTP-Client), die durch *URL* identifiziert wird
- HTTPGet[Ind]
 - Benachrichtigung des HTTP-Servers

■ Überblick

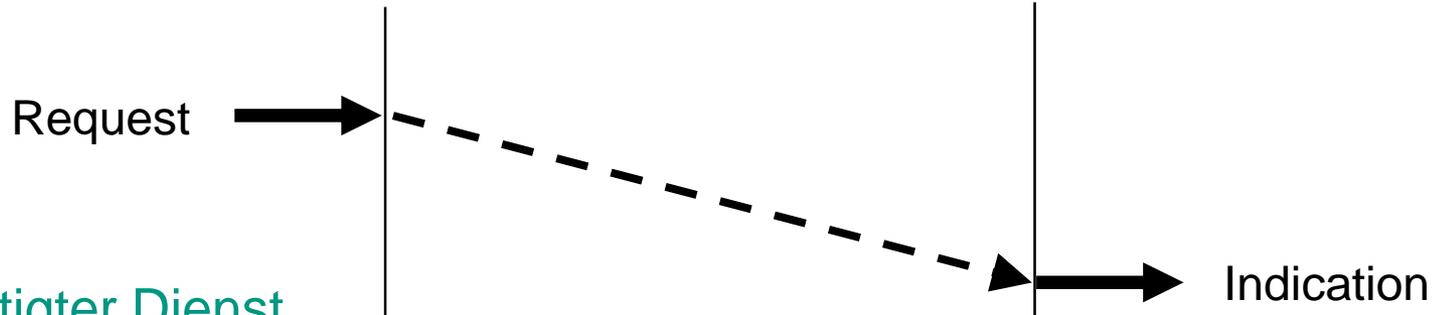
Name	Dienstleistung	Grundtypen	Parameter
Physical (Ph)	Connect (Con)	Request (Req)	<i>Abhängig vom Dienst</i>
Data Link (DL)	Data (Dat)	Indication (Ind)	
Network (N)	Release (Rel)	Response (Rsp)	
Transport (T)	Abort (Abo)	Confirmation (Cnf)	
HTTP	Provider Abort (PAbo)		
FTP	Disconnect (Dis)		
...	...		

Grundformen von Diensten

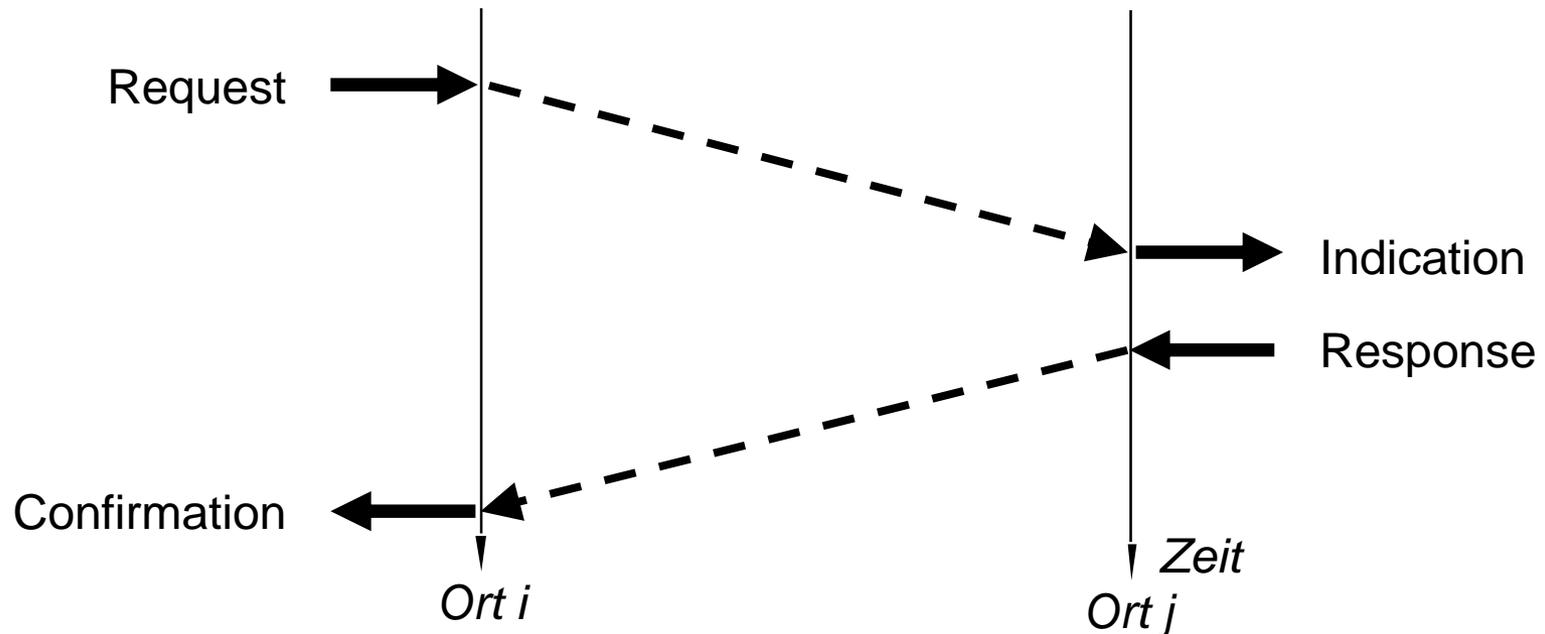
■ Unbestätigter Dienst

Initiator

Beantworter



■ Bestätigter Dienst



Kapitel 6.3

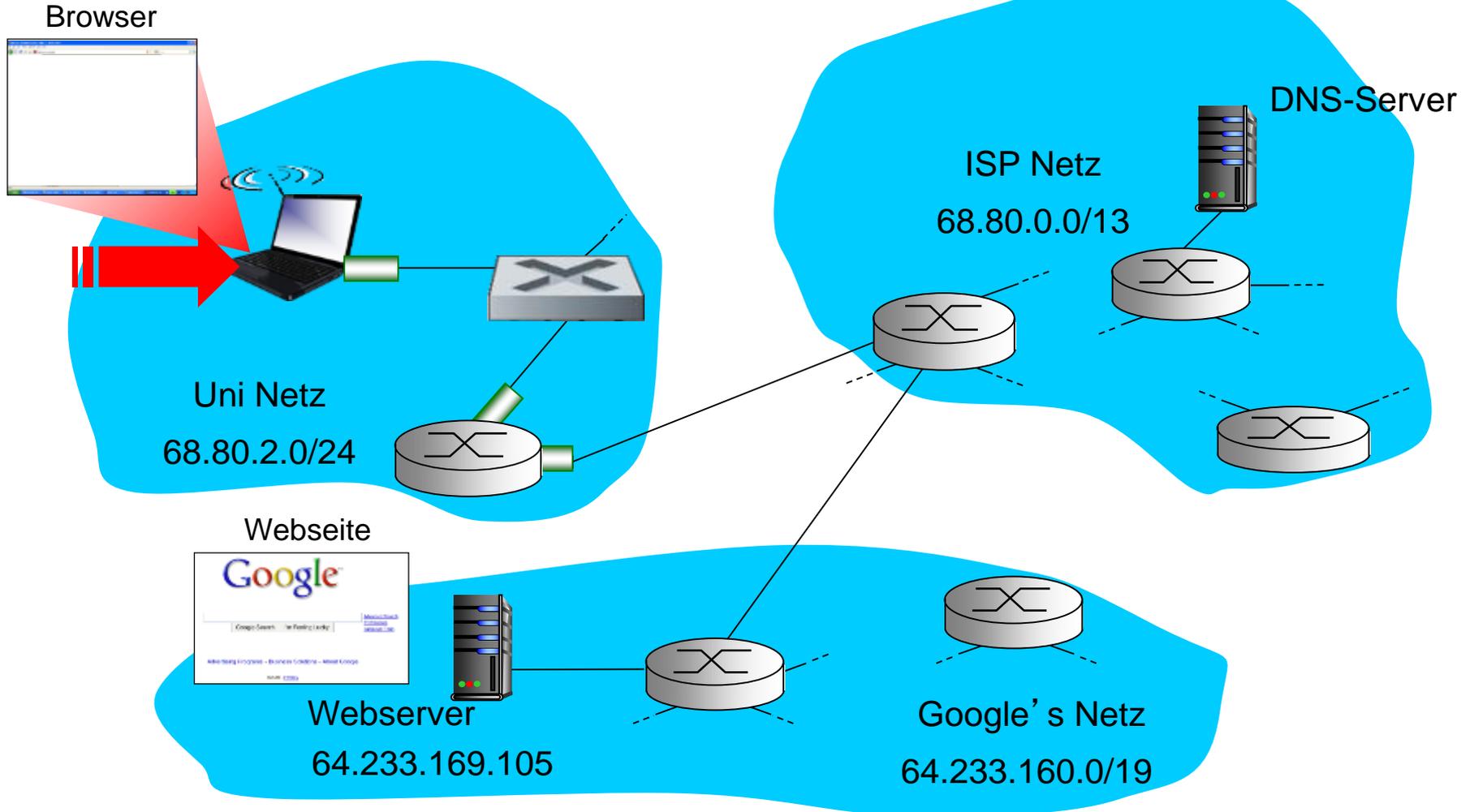
ZUSAMMENSPIEL DER SCHICHTEN

Ein Tag im Leben eines Webseitenabrufs

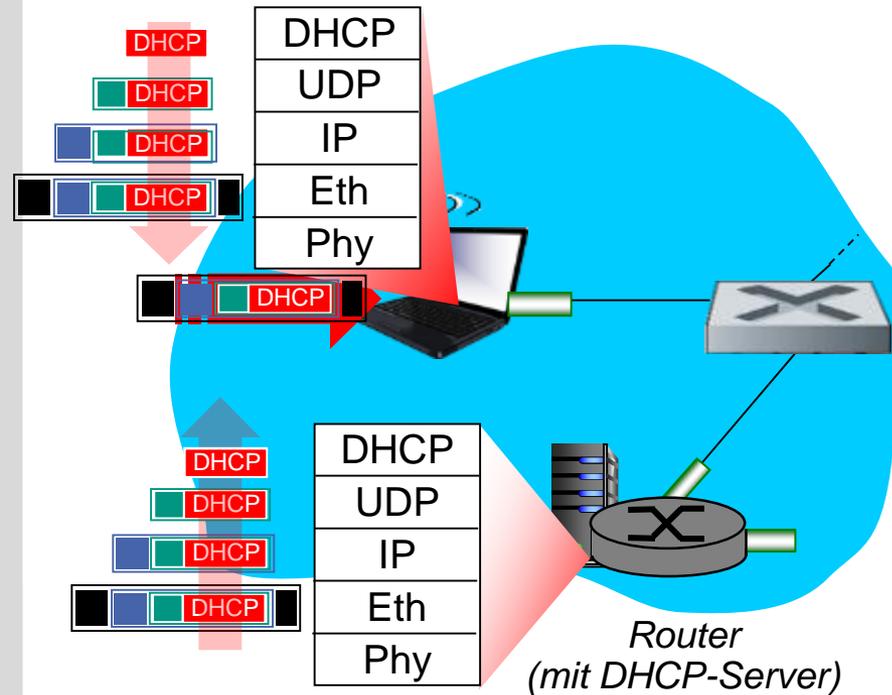
- Beispiel zum Zusammenspiel der Schichten: Der Abruf einer Webseite
 - Welche Schichten arbeiten wie zusammen?

- Betrachtet wird der Ablauf...
 - Vom Einstecken des Netzkabels an der Uni...
 - ...bis zum Empfang der Webseite

Webseitenabruf: Szenario

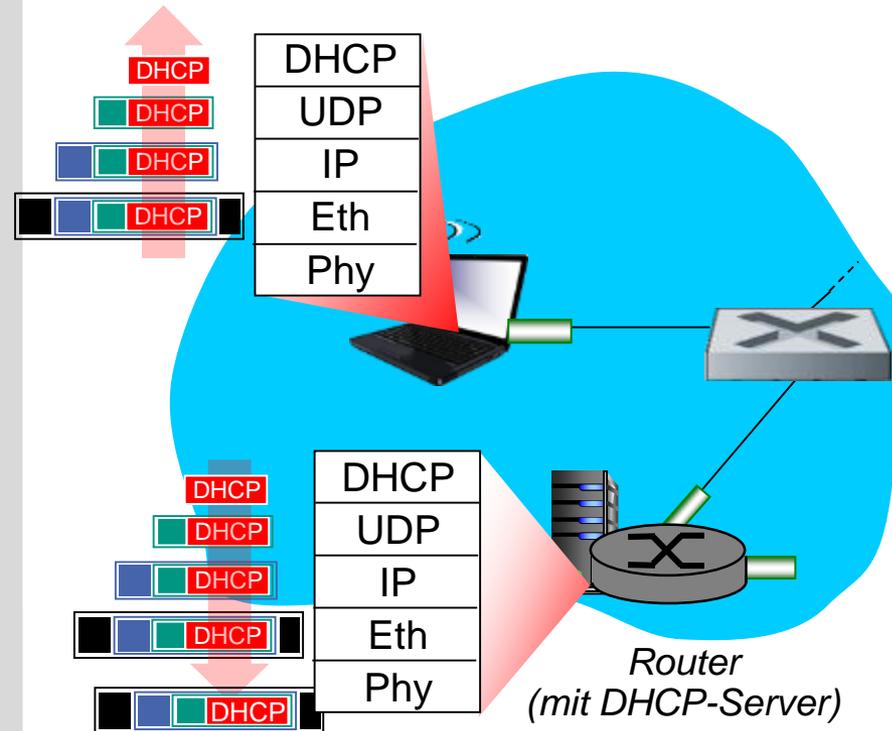


Webseitenabruf: Verbindung zum Netz



- Der angeschlossene Laptop benötigt eine eigene IP-Adresse, die Adresse des lokalen Routers und die Adresse des DNS-Servers
 - Verwende DHCP
- DHCP-Anfrage wird verpackt in UDP, IP und 802.3 Ethernet
- Ethernet-Paket wird im LAN als Broadcast gesendet
 - Zieladresse: `FF-FF-FF-FF-FF-FF`
- DHCP-Server im Router empfängt und entpackt Paket

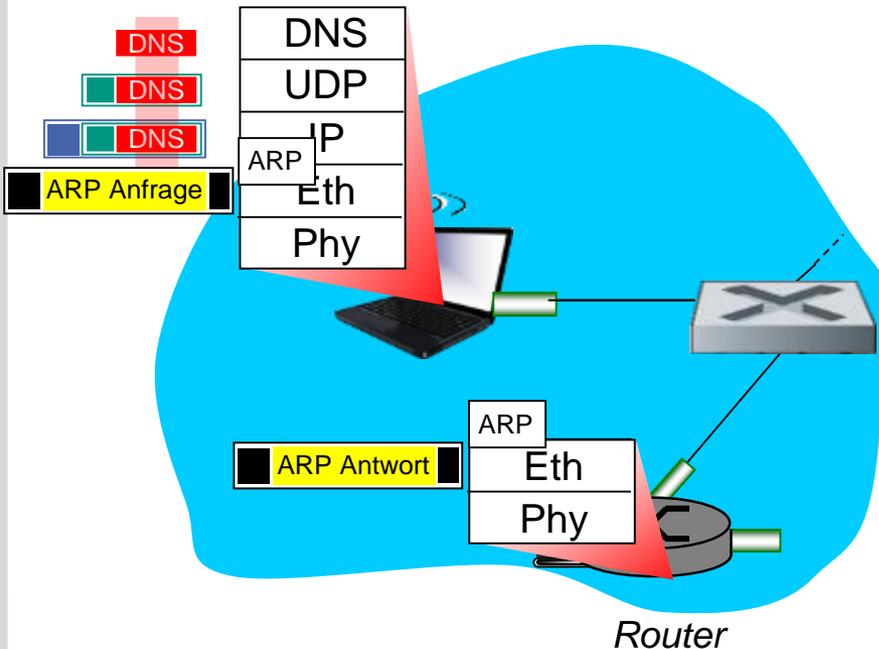
Webseitenabruf: Verbindung zum Netz



- Der DHCP-Server erstellt ein **DHCP ACK** Paket mit der Client IP-Adresse, der IP-Adresse des lokalen Routers und Name und IP-Adresse des DNS-Servers
- DHCP-Antwort wird verpackt und direkt an den Client gesendet
- DHCP-Client empfängt und entpackt Paket

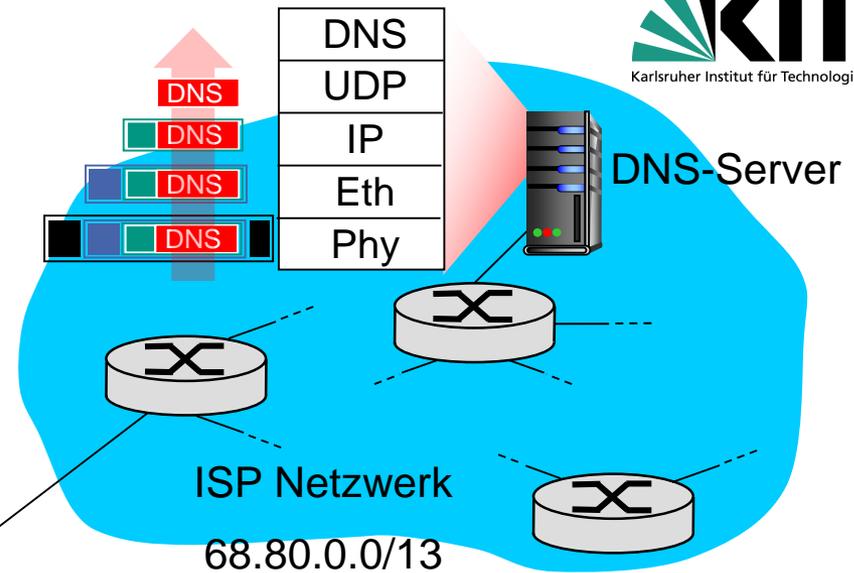
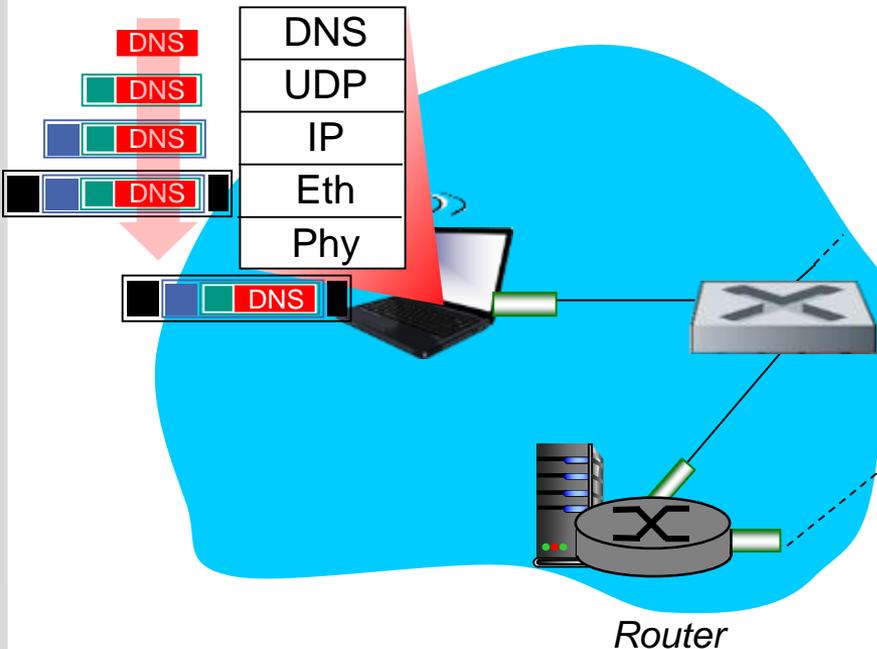
→ Der Client verfügt nun über eine IP-Adresse, kennt den lokalen Router und Name und Adresse des DNS-Servers

Webseitenabruf: ARP



- Bevor eine HTTP-Anfrage gesendet werden kann, muss die IP-Adresse des Endsystems bekannt sein: **DNS**
- Die DNS-Anfrage wird erstellt, verpackt in UDP, IP und Ethernet. Um das Paket zunächst an den Router zu senden, wird dessen MAC-Adresse benötigt: **ARP**
- Eine **ARP-Anfrage** wird an die Broadcastadresse gesendet, der Router sendet seine MAC-Adresse in einer **ARP-Antwort**
- Der Client kennt die MAC-Adresse des Routers und sendet seine DNS-Anfrage an diese

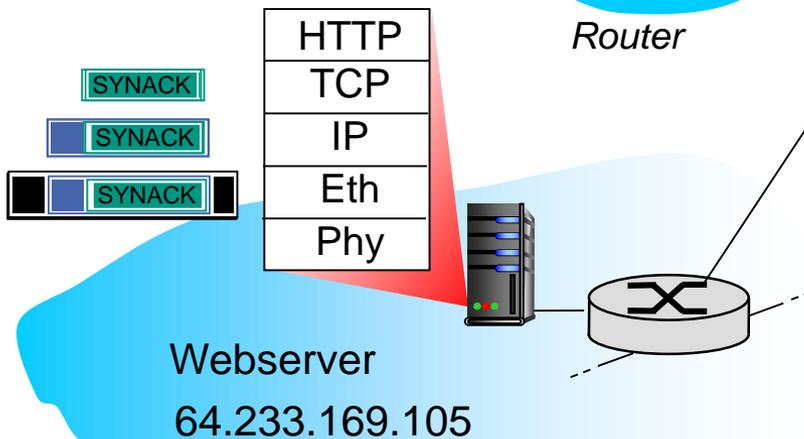
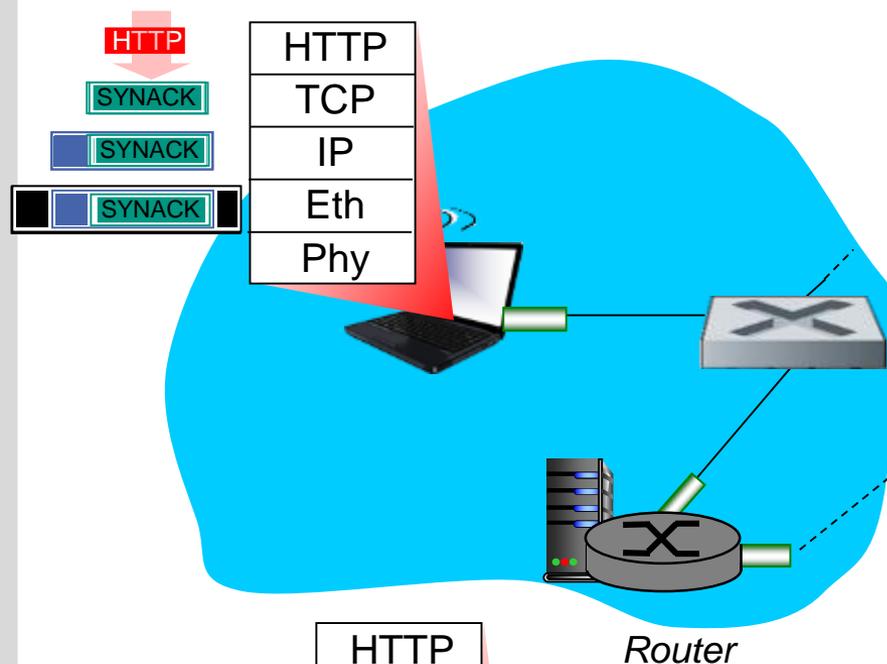
Webseitenabruf: DNS



- Das IP-Datagramm mit der DNS-Anfrage wird vom LAN Switch zum lokalen Router weitergeleitet

- Das IP-Datagramm vom Uni-Netzwerk wird im ISP-Netzwerk zum DNS-Server geroutet (z.B. mithilfe von **RIP** oder **OSPF**)
- Paket wird am DNS-Server entpackt
- Der DNS-Server antwortet dem Client mit der angeforderten IP-Adresse

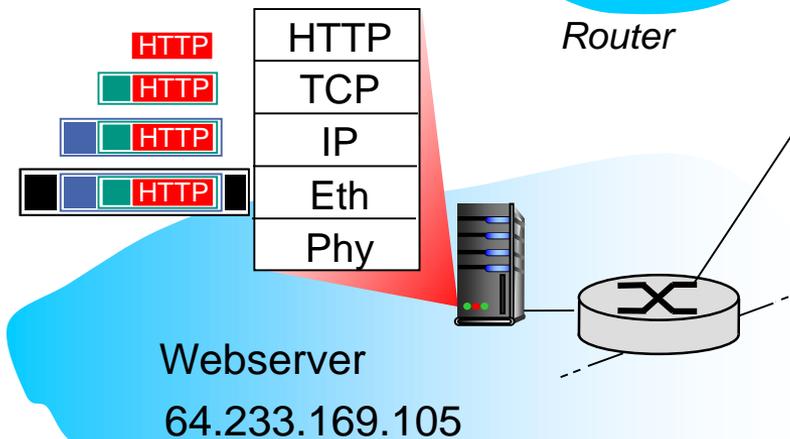
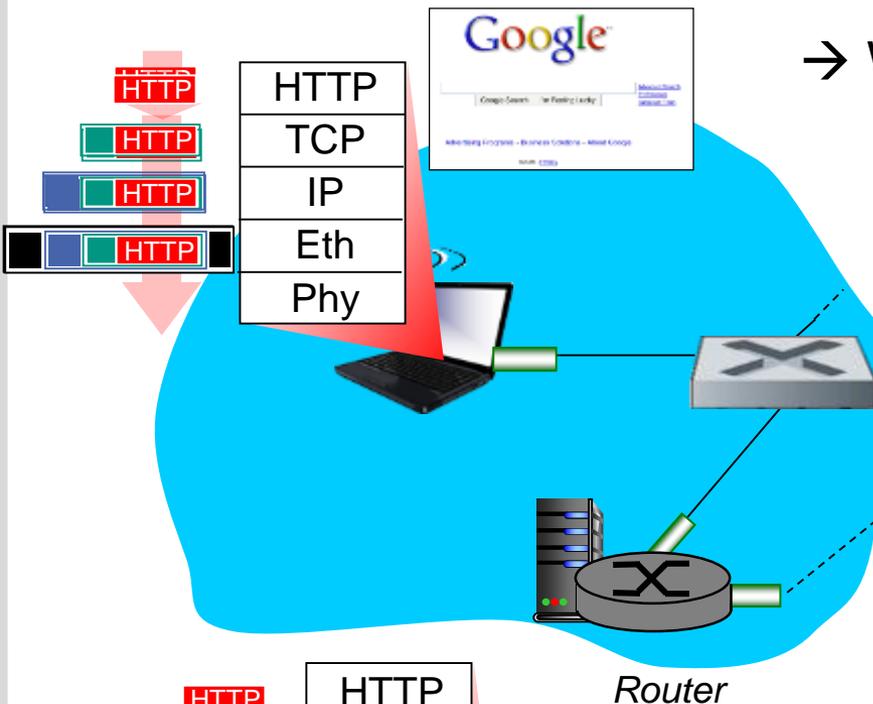
Webseitenabruf: Aufbau der TCP-Verbindung



- Für die HTTP-Anfrage muss zuerst ein **TCP-Socket** zum Webserver geöffnet werden
- Das **TCP-SYN-Segment** wird zum Server geroutet
- Webserver antwortet mit **SYNACK**
- TCP-Verbindung ist aufgebaut

Webseitenabruf: HTTP Anfrage

→ Webseite kann angezeigt werden!



- HTTP-Anfrage wird durch den Socket gesendet
- IP-Datagramm mit der HTTP-Anfrage wird zum Webserver geroutet
- Der Webserver antwortet mit einer HTTP-Antwort
- IP-Datagramm mit der HTTP-Antwort wird zurück zum Client geroutet

ZUSAMMENFASSUNG ...

- Schichtenarchitektur als Modell für Kommunikationssysteme
 - OSI-Referenzmodell
 - gutes theoretisches Modell, aber (heutzutage) geringe Relevanz in Systemen
 - Inhaltliche Einführung der 7 OSI-Schichten
 - Internet-Referenzmodell
 - Keine Berücksichtigung von Sitzungs- und Darstellungsschichten
 - ... Aufgaben müssen von Anwendungen übernommen werden
- Grundlegende Begriffe und Methoden
 - Dienst, Dienstzugangspunkt, Protokoll
 - Dienstformen, Dienstprimitive, Datenkapselung, etc.

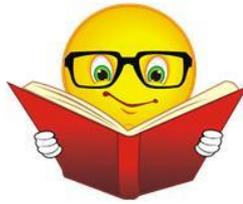
■ *... abstraktes Thema aber wichtig für das grundlegende Verständnis*

- Ordnen Sie immer wieder die Problemstellungen, Protokolle und Technologien in das OSI-Referenzmodell ein!
- Dient als Strukturierungsmerkmal (auch in der Vorlesung)





- 1) Erläutern sie das Grundmodell der Kommunikation
- 2) Welcher Nachteil kann sich aus einer „zu feinen“ Schichtung und den daraus resultierenden (zu) zahlreichen Schichten ergeben?
- 3) Erläutern sie das OSI-Referenzmodell und die Aufgaben der einzelnen Schichten
- 4) Vergleichen Sie das OSI-Referenzmodell mit dem des Internets
- 5) Welche Grundformen von Diensten kennen sie und worin unterscheiden sie sich?
- 6) Was sind „Protokollinstanzen“?
- 7) Was wird unter „vertikaler“ und „horizontaler Kommunikation“ verstanden?
- 8) Was sind (N)-PDUs, wer tauscht diese miteinander aus und wie setzen sie sich zusammen?
- 9) Wie kann es zu Paketverlusten im Netz kommen?



- [Clark88] David Clark, [The design philosophy of the DARPA internet protocols](#), SIGCOMM '88: Symposium proceedings on Communications architectures and protocols, 1988, Pages 106-114, ACM, DOI:10.1145/52324.52336
- Über Design-Grundsätze des Internets
- [Clark92] David Clark, [A cloudy crystal ball – Visions of the future](#), Juli 1992, <http://www.ietf.org/old/2009/proceedings/prior29/IETF24.pdf>
- [Clark05] David Clark, [What is “Architecture”?](#), V4.0 of 28 November 2005, [http://find.isi.edu/presentation_files/Dave Clark-What is architecture 4.pdf](http://find.isi.edu/presentation_files/Dave%20Clark-What%20is%20architecture%204.pdf)
- Überlegungen aus dem Kontext der FIND-Initiative über zukünftige Architekturen
- [Day95] John Day, [The \(un\)revised OSI reference model](#), SIGCOMM Comput. Commun. Rev., Vol. 25, No. 5, 1995, Pages 39-55, ACM, DOI:10.1145/216701.216704
- Über die Revision des OSI-Modells und das OSI-Modell allgemein
- [KuRo17] James Kurose, Keith Ross, [Computer Networking](#), 7/e, Pearson, 2017

- [Russ06] Andrew Russell, [Rough Consensus and Running Code and the Internet-OSI Standards War](#), IEEE Ann. Hist. Comput., Vol. 28, No. 3, 2006, Pages 48-61, DOI:10.1109/MAHC.2006.42
- Historische Betrachtung der OSI- und Internet-Modelle und Protokolle
- [Zimm80] H. Zimmermann; [OSI Reference Model – The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection](#); IEEE Transactions on Communications, Vol. 28, No. 4, April, 1980
- Klassiker zum Thema OSI-Referenzmodell