

Rechnernetze

Prof. Dr.-Ing. Martin Hübner

<https://users.informatik.haw-hamburg.de/~huebner>





Gliederung der Vorlesung

Top-Down-Ansatz:

- Wir starten bei Anwendungen und hören vor der Bitübertragungsschicht auf

Inhalt:

1. Die Struktur des Internets
2. Anwendungsschicht
3. Analyse grundlegender Netzwerk-Eigenschaften
4. Transportschicht
5. Netzwerkschicht & Routing
6. Sicherungsschicht & LAN



Literaturempfehlungen

- **James F. Kurose, Keith W. Ross:** Computernetze – Der Top-Down-Ansatz, Pearson Studium, 6. Auflage, 2014 [JK/KR]
Grundlage der Vorlesung (auch Quelle vieler Folien), didaktisch hervorragend, liest sich super!

Online-Version HAW-Bibliothek:

<https://katalog.haw-hamburg.de/vufind/Record/1694018881>

[Zugriff nur im Netz der HAW Hamburg → VPN-Zugang]

- **Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall:** Computernetzwerke, Pearson Studium, 5. Auflage, 2012 [ATN]
Umfangreiches, sehr gut geschriebenes Standardwerk

Online-Version HAW-Bibliothek:

<https://katalog.haw-hamburg.de/vufind/Record/773063056>

[Zugriff nur im Netz der HAW Hamburg → VPN-Zugang]

- ... viele Bücher zum Themen Rechnernetze.
Schwerpunkt: Internet und TCP/IP!

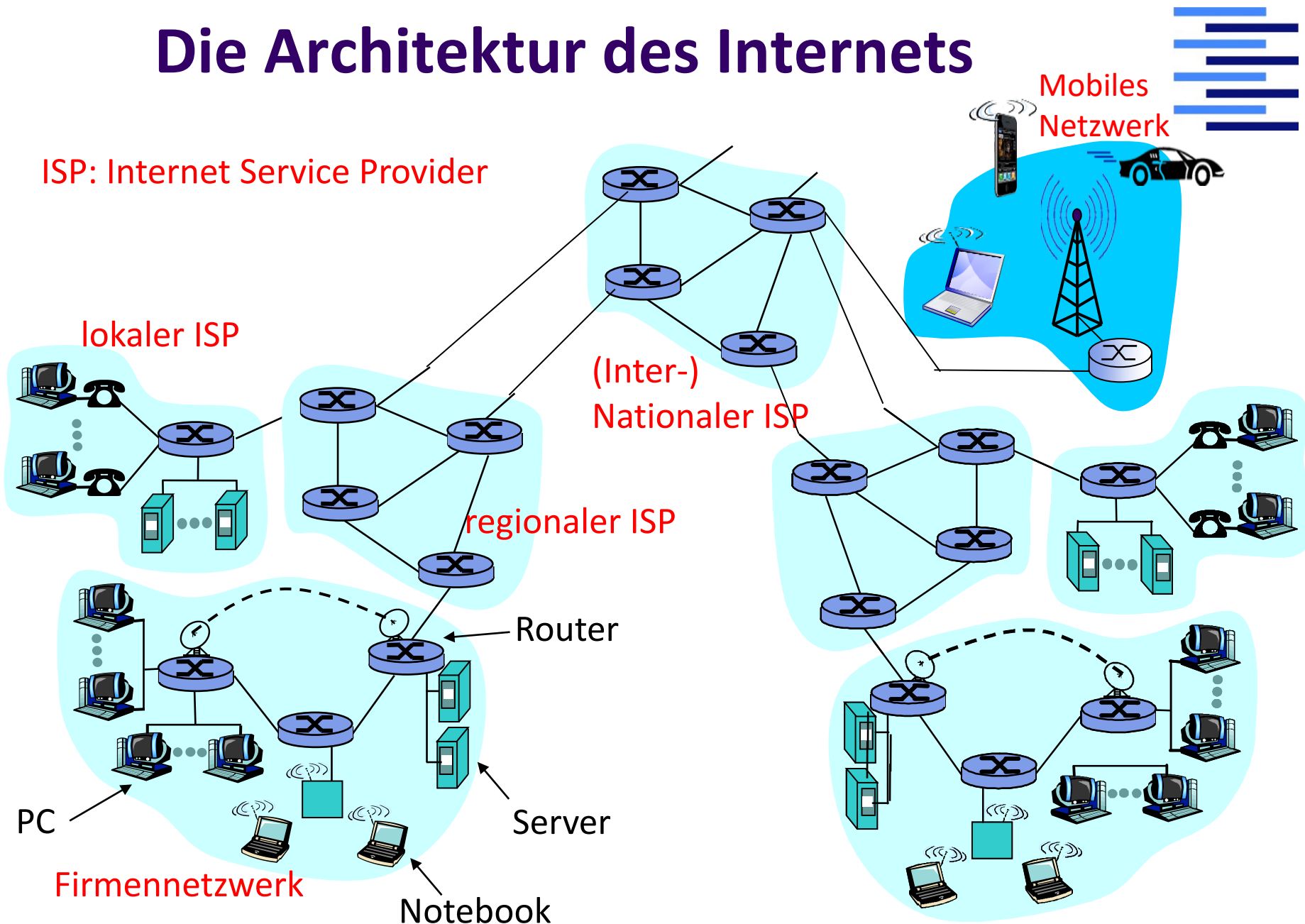


Kapitel 1

Die Struktur des Internets

1. Die Architektur des Internets
2. Protokollschichten

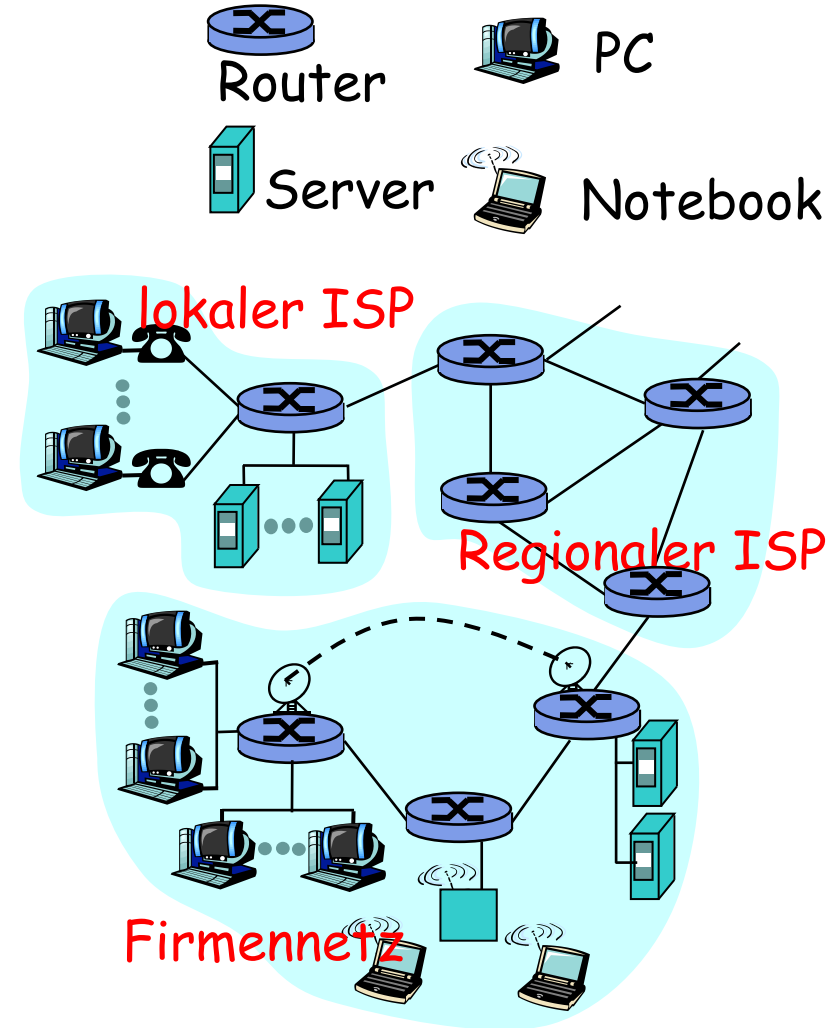
Die Architektur des Internets



Grundlegende Bestandteile des Internets

- Millionen von verbundenen Computern und Geräten: *Hosts* ("Endgeräte")
 - PCs, Notebooks, Tablets, Server
 - Smartphones, IP-Telefone, Fernseher, Armbanduhren, ...führen *Netzwerk-Applikationen* aus
- *Kommunikationsverbindungen*:
 - Kupferkabel (Twisted Pair, Koaxial)
 - Glasfaserkabel
 - Terrestrischer Funk (WLAN, Mobilfunk, Richtfunk)
 - Geostationäre Satelliten
- *Router / Switches*: Weitergabe von *Daten-Paketen* durch das Netzwerk

ISP: Internet Service Provider



„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>



"Hello Barbie"-
Puppe mit Internet-
Anbindung

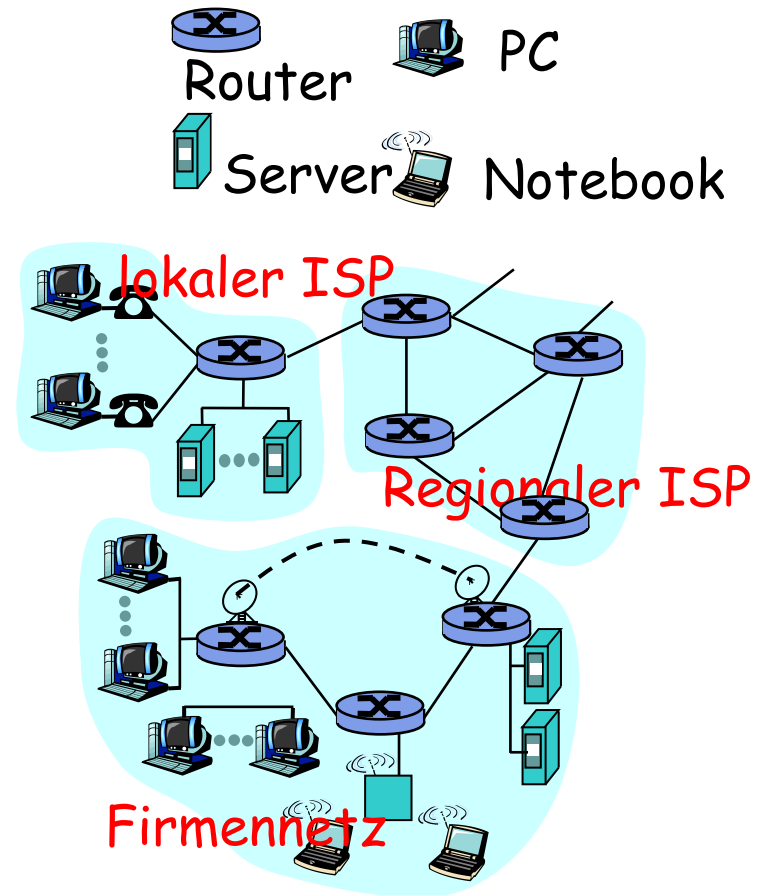


Internet-Zugriff für
Navigation,
Unterhaltung,
Support

Grundlegende Bestandteile des Internets



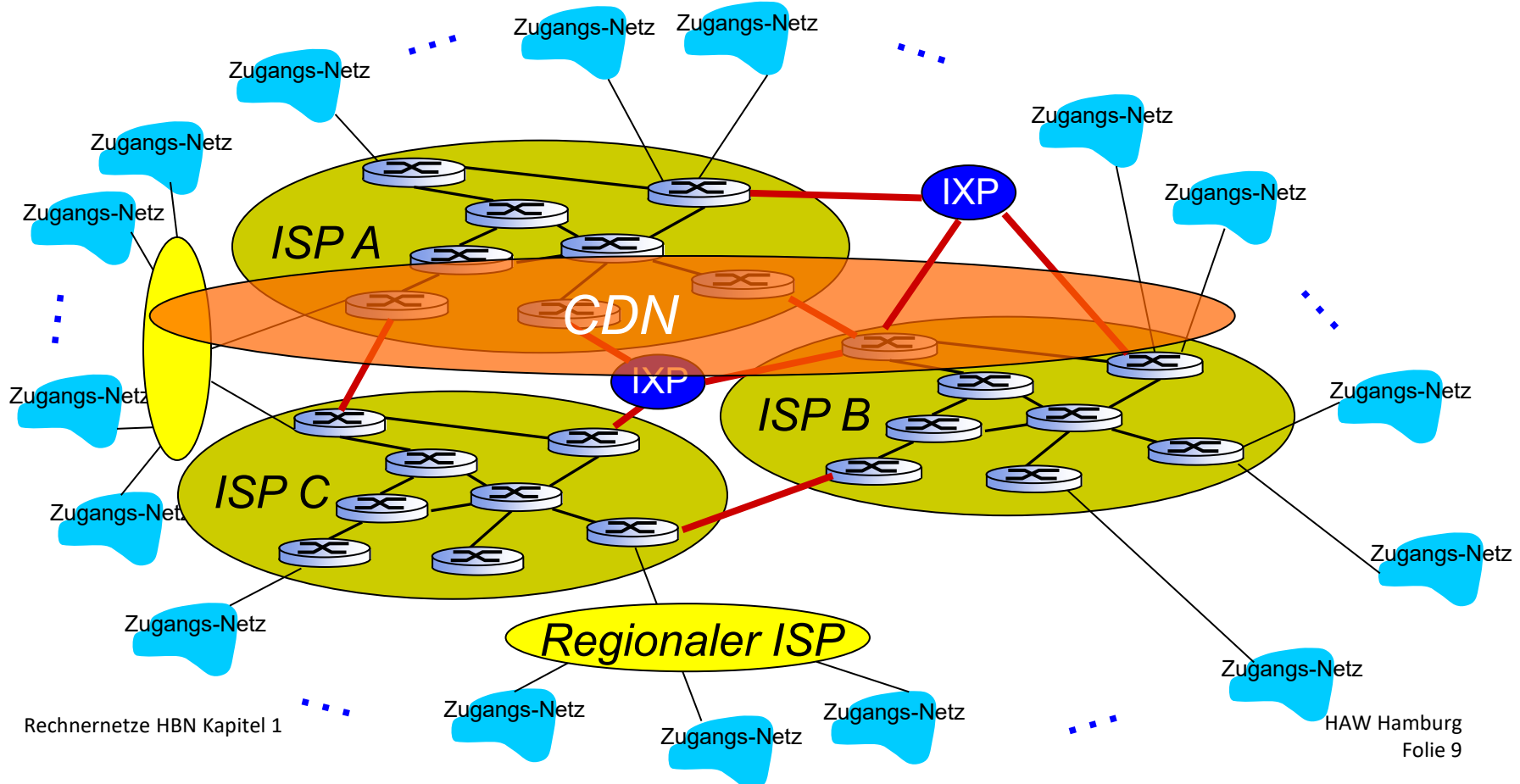
- *Internet: “Netzwerk von Netzwerken”*
 - Lose Hierarchisch
 - Öffentliches Internet / privates Intranet
- *ISP: Internet Service Provider*
 - Über ISP greifen Hosts auf das Internet zu
 - Ein ISP betreibt ein Netzwerk mit Routern
 - ISPs sind wiederum untereinander verbunden
 - Kleine lokale ISPs werden durch nationale und internationale übergeordnete ISPs (AT&T, Sprint, NTT, ...) verbunden



Anbindung von Firmennetzwerken / ISPs



- **Zugangs-Netz:** Firmennetzwerk oder lokaler ISP
- **IXP:** *Internet Exchange Point* für den Datenaustausch zwischen mehreren ISPs
- **CDN:** *Content Distribution Network* (z.B. Google, Microsoft, Netflix, Amazon, Akamai, ...) für die schnelle Auslieferung von Videos, Suchanfragen etc. mit vielen zusätzlichen Servern in IXPs und Zugangs-Netzen

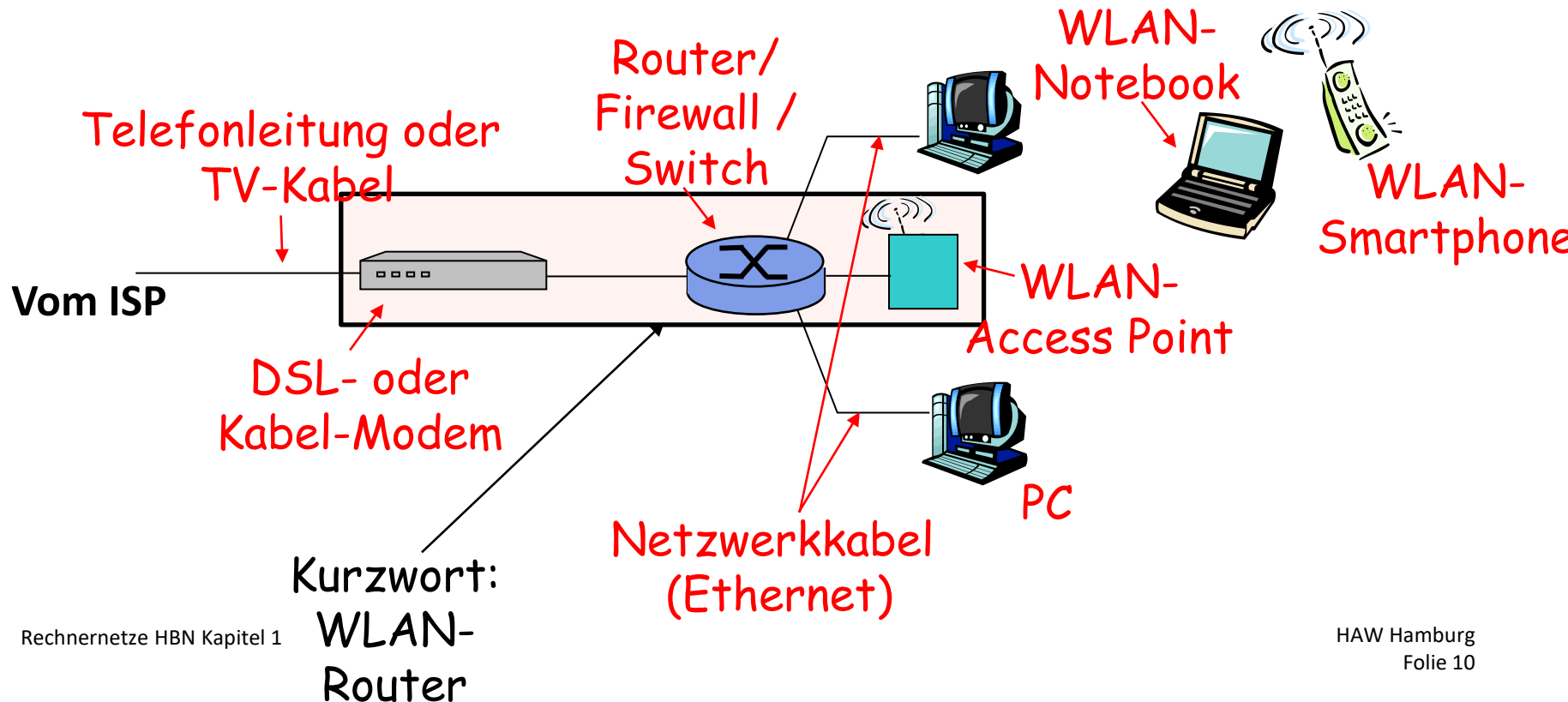


Anbindung privater Heim-Netzwerke



Typische Komponenten:

- DSL “Digital Subscriber Line” – Modem (Telefonleitung) *oder* Kabel-Modem (TV-Kabel) *oder* Glasfaser-Modem
- Router (mit integrierter Firewall) → Kap. 4
- Privates LAN über Ethernet-Switch → Kap. 5
- Zusätzlich WLAN-Zugang → Kap. 5





Grundlegende Bestandteile des Internets

- *Protokolle*
 - Steuerung, Senden, Empfangen von Nachrichten
 - z.B.: TCP, IP, HTTP, FTP, PPP, ...
 - Protokolle legen das Format der Pakete und die Regeln zum Austausch der Pakete fest
 - Protokolle müssen standardisiert/normiert sein, damit jede Netzwerkkomponente 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
 - World Wide Web Consortium /W3C (<http://www.w3.org>)



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), BITnet (Unis), Minitel (BTX-Frankreich), ...
 - 100.000 Rechner im weltweiten Netzverbund

Grundlage der
heutigen Internet-
Architektur!



Internet - Geschichte

- 1990: ARPAnet abgeschaltet
- Ab 1992: World Wide Web
 - Hypertext
 - HTML, HTTP
 - 1994: Mosaic, später Netscape-Browser
 - 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
- Ab 2010:
 - Konzentrationsprozess (Google, Amazon, Facebook, Netflix, ...) mit eigenen weltweiten privaten Netzen (→ CDN)
 - Cloud-Computing
 - Schnelle Zugänge (DSL, Kabel, LTE)
 - Smartphones als Endgerät
→ "Überall-Internet"
 - Sicherheitsproblematik bleibt



Kapitel 1

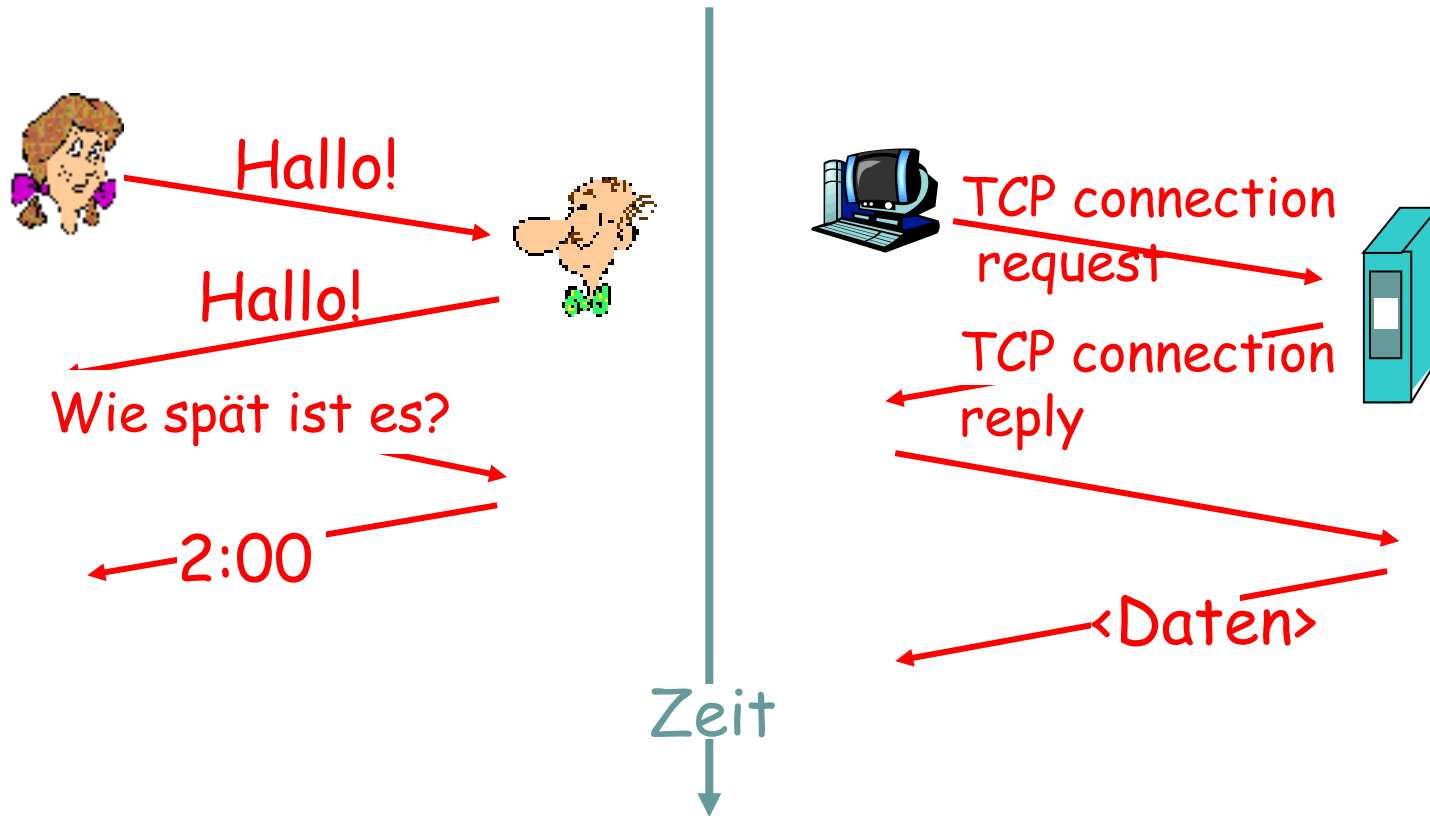
Die Struktur des Internets

1. Die Architektur des Internets
2. **Protokollschichten**

Protokoll-Beispiele



Menschliches Protokoll --- Netzwerk-Protokoll





Was ist ein Protokoll?

Menschliche Protokolle:

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

... Senden bestimmter
Nachrichten

... verursachen bestimmte
Reaktionen beim Empfang

Netzwerkprotokolle:

- Ausführung durch
Maschinen
- Gesamte Kommunikation im
Internet wird durch die
Protokolle gesteuert
- Protokolle sind
standardisiert



Definition: Protokoll

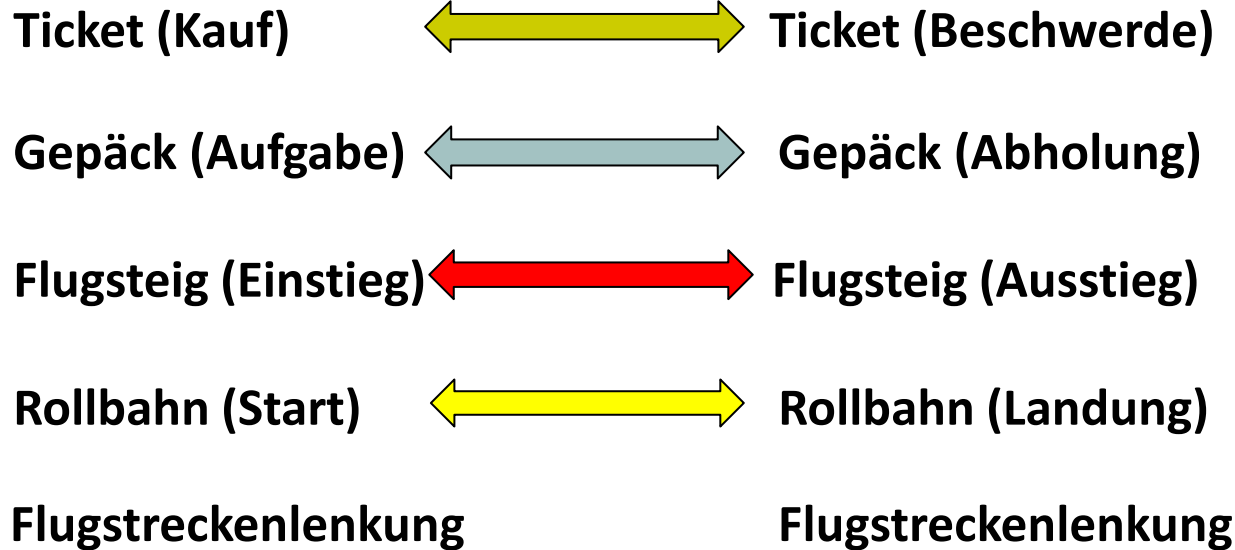
- Ein **Protokoll** definiert das **Format** und die **Reihenfolge** von **Nachrichten**, die zwischen zwei oder mehr **kommunizierenden Einheiten** ausgetauscht werden, sowie die **Aktionen**, die beim **Senden** und/oder beim **Empfang** einer Nachricht oder eines anderen Ereignisses unternommen werden.
- Ein Protokoll ist die **Spezifikation einer Schnittstelle**, keine Implementierungsbeschreibung!



Protokoll-Architektur: Schichtenmodell

Beispiel: Organisation einer Flugreise

Flughafen A

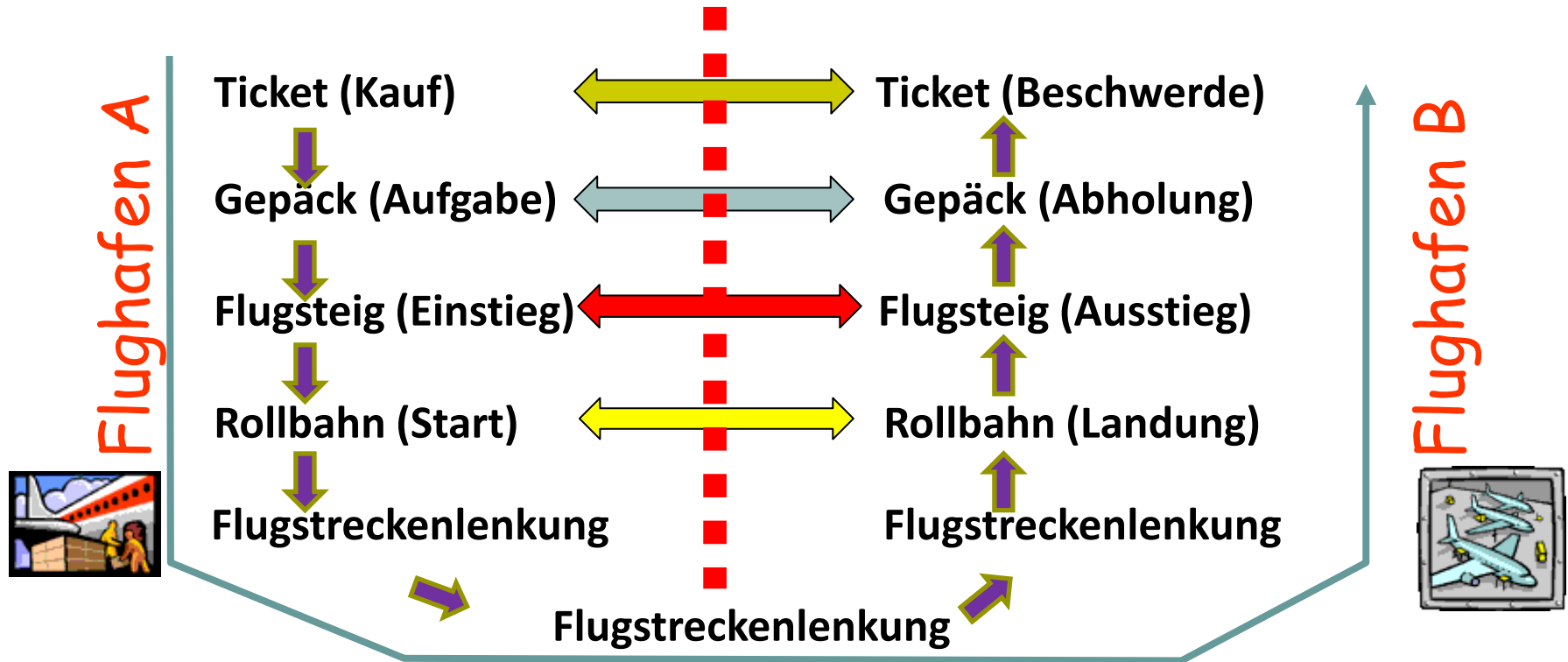


Flughafen B



- Schichten: **jede Schicht implementiert einen Dienst** (Service)
 - mittels ihrer eigenen Schicht-internen Aktionen
 - nimmt Dienste der unteren Schichten in Anspruch

Verteilte Implementierung der Dienste einer Schicht („peer-to-peer“)



Ein Reisender nimmt die Dienste von oben nach unten (Abflug A)
bzw. unten nach oben (Ankunft B) in Anspruch

Internet-Schichtenmodell



- **Anwendungsschicht** (“**application layer**”):
Realisierung von verteilten Applikationen
(Kommunikation zwischen Prozessen auf verschiedenen Hosts)
 - HTTP, SMTP, FTP, (DNS), ...
- **Transportschicht** (“**transport layer**”):
Organisation des Host-zu-Host Datentransfers
 - TCP, UDP, ...
- **Netzwerkschicht** (“**network layer**”):
Adressierung, Pfadermittlung und Weiterleitung von Paketen durch das Netzwerk von einem Quell- zu einem Zielhost
 - IPv4, IPv6, Routing-Protokolle (OSPF, BGP)
- **Sicherungsschicht** (“**data link layer**”):
Zuverlässiger Datentransfer zwischen physikalisch verbundenen Netzwerkelementen / in lokalen Netzen
 - PPP, Ethernet, WLAN (IEEE 802.x)
- **Bitübertragungsschicht** (“**physical layer**”):
Darstellung von Bits, abhängig vom physik. Medium
 - Codierungs- und Modulationsverfahren

Anwendungsschicht

Transportschicht

Netzwerkschicht

Sicherungsschicht

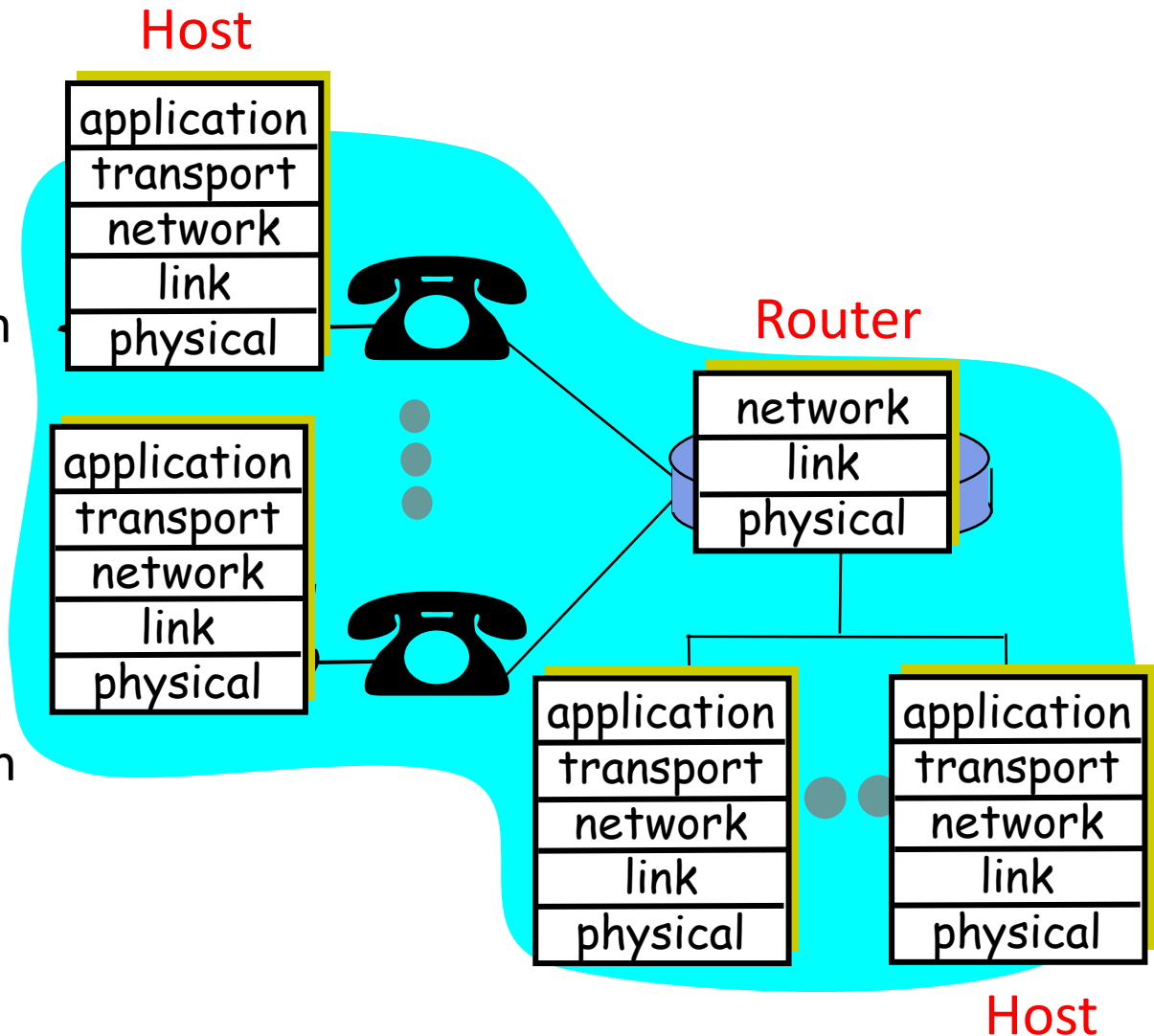
Bitübertragungssch.



Logische Kommunikation zwischen Schichten

Jede Schicht:

- ist verteilt
- (Teil-)Funktion der Schicht läuft in jedem Netzwerk-Knoten (*Host/ggf. Router*)
- (Teil-)Funktion führt Aktionen durch und tauscht mit anderen (Teil-)Funktionen derselben Schicht Nachrichten aus (*Partner-zu-Partner*)

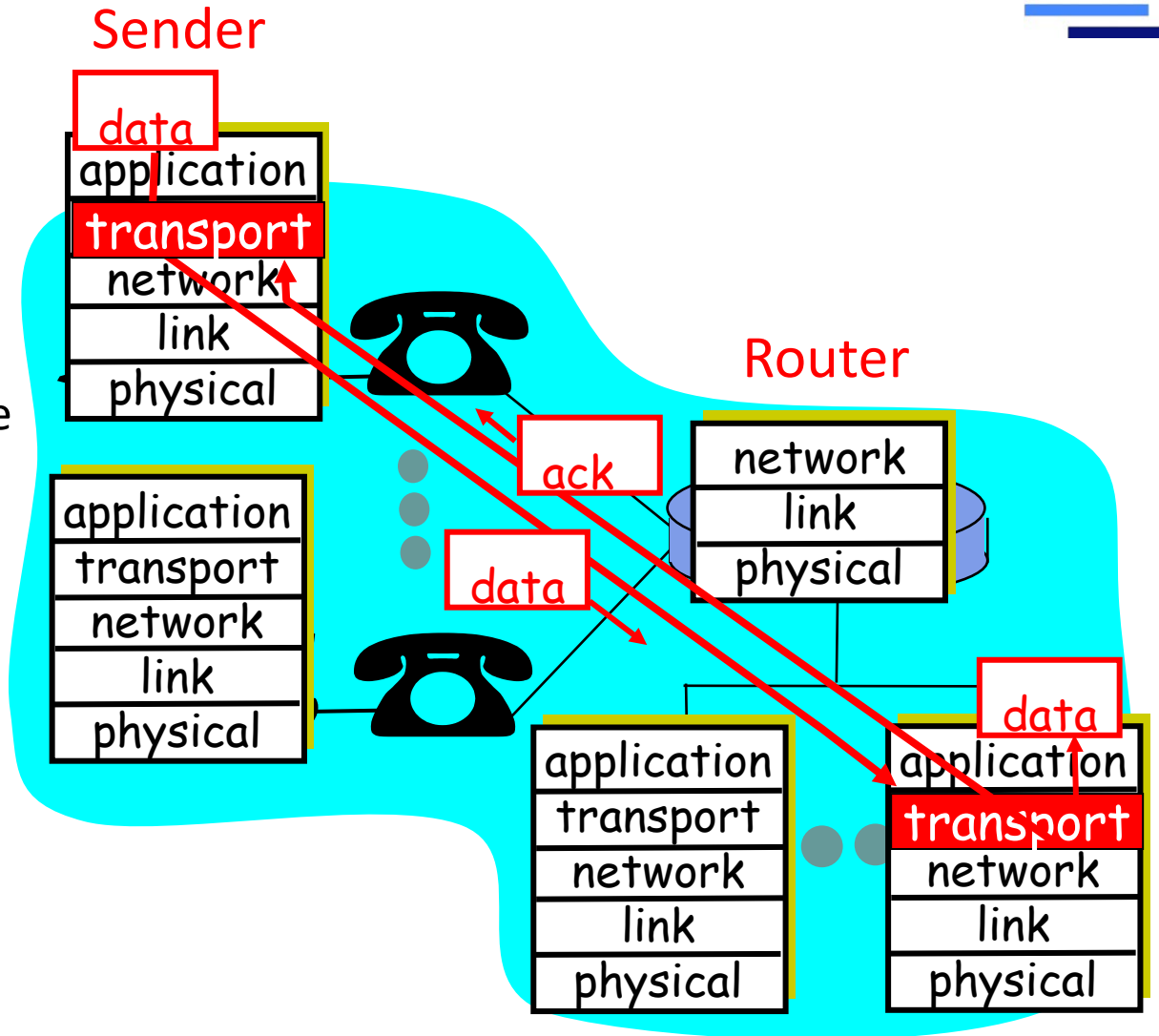


Logische Kommunikation zwischen Schichten



Bsp.: Transportschicht

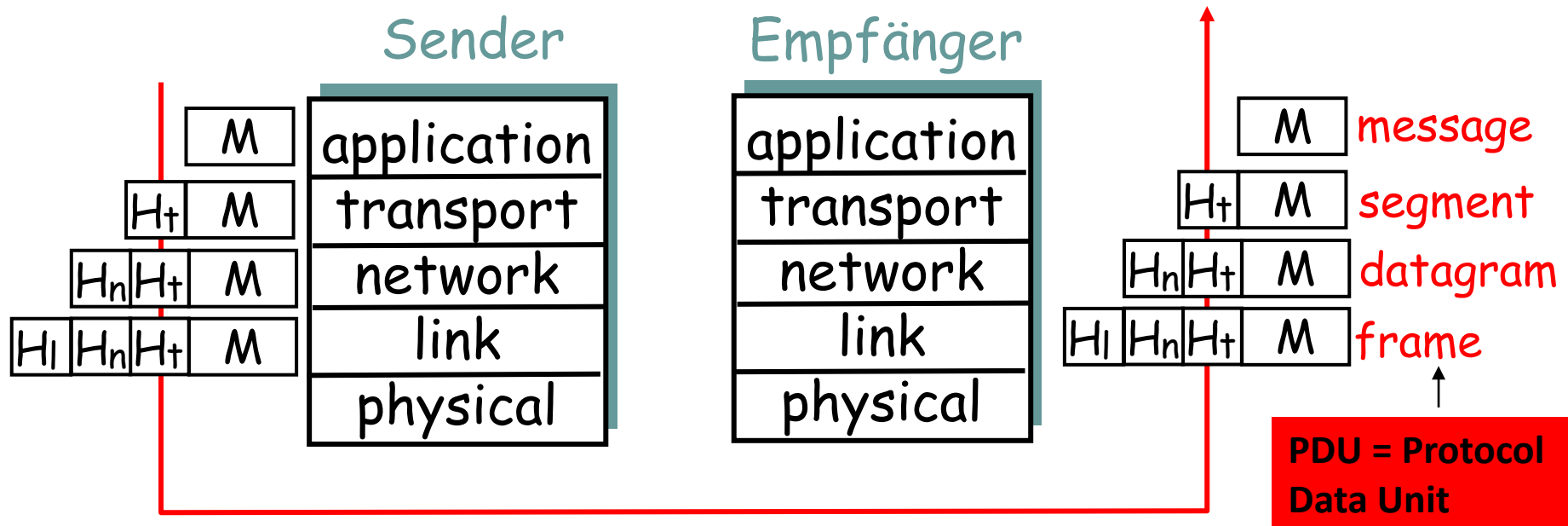
- übernimmt Daten von einer Anwendung
- fügt u.a. Adressinformationen und eine Prüfsumme hinzu
- sendet Paket zum Partner ("Peer") auf Zielhost
- wartet auf Quittung ("Acknowledgement")



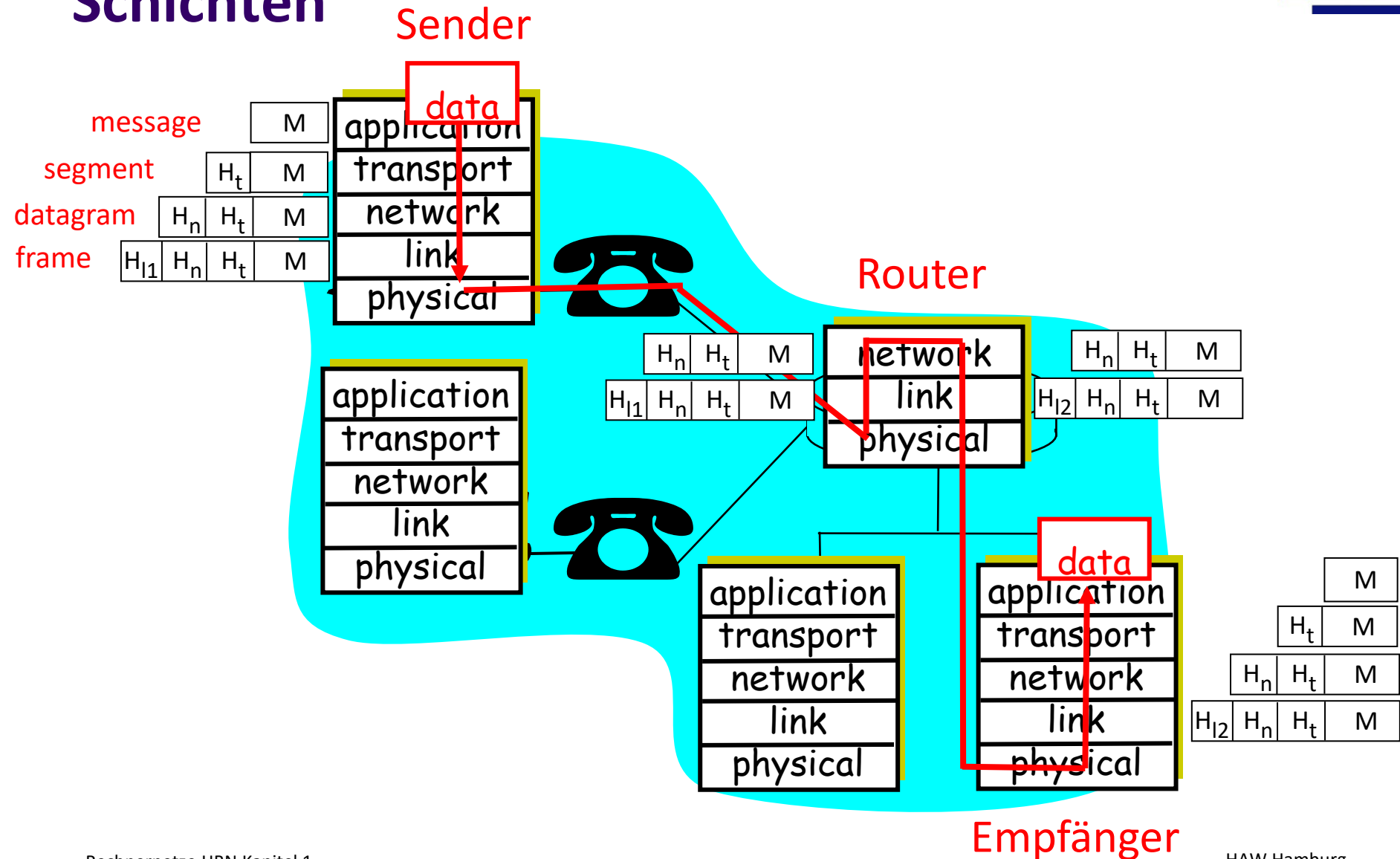
Protokoll-Schichten und Datenübergabe



- Implementierung der logischen Kommunikation durch zusätzliche **Header**-Bits
- Jede Schicht
 - übernimmt Datenpakete von der nächst höheren (*niedrigeren*) Schicht
 - fügt Header-Informationen für den Partner hinzu (*entfernt Header-Informationen des Partners*) und erzeugt ein neues Paket
 - übergibt das neue Paket an die nächst untere (*obere*) Schicht



Physikalische Kommunikation zwischen Schichten

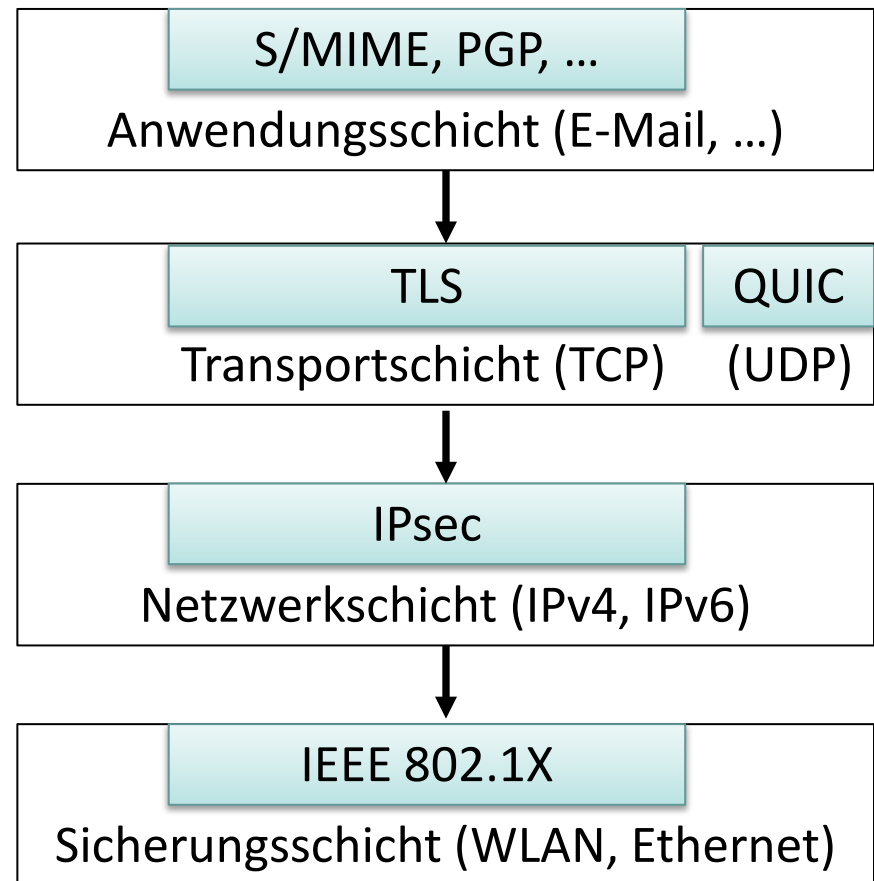




Ergänzung um Sicherheitsprotokolle

Jede Netzwerkschicht kann für die höheren Schichten eigene **Sicherheitsdienste** (z.B. *Verschlüsselung, Datenintegritätssicherung, Authentifikation*) zur Verfügung stellen

- ... können je nach Bedarf verwendet oder ausgelassen werden
- ... verwenden eigene Header-Informationen
- ... sind also optionale "Zusatzschichten"!





Das ISO/OSI-Schichtenmodell (*historisch*)

- Zwei zusätzliche Schichten:
 - **Darstellungsschicht** (**“presentation layer”**):
Konventionen zur einheitlichen Darstellung von Zeichen und Datentypen (→ Netzwerkmanagement!)
 - ASN.1
 - **Sitzungsschicht** (**“session layer”**):
Dienste zur Verwaltung von Sessions (Wiederaufnahme etc.)
 - z.B. TLS (SSL)
- wurden im Internet nicht wirklich benötigt (Theorie)
- oft in Anwendung integriert

Anwendungsschicht

Darstellungsschicht

Sitzungsschicht

Transportschicht

Netzwerkschicht

Sicherungsschicht

Bitübertragungssch.



Zusammenfassung: Protokollschichten

- **Jede Schicht implementiert einen Dienst (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



Grundlegende Protokollfunktionen

- **Fehlerkontrolle**
 - Fehlererkennung und -behebung
- **Flusskontrolle**
 - Vermeiden der Überlastung eines Knotens
- **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 Protokolle

- **Verbindungsorientiert**

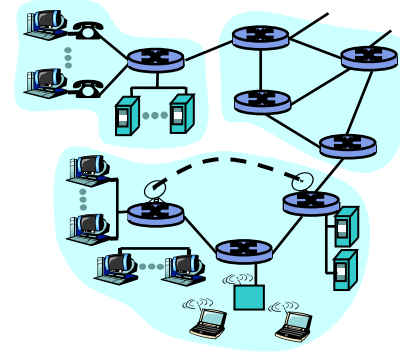
- Aufbau einer expliziten Verbindung zwischen den Partnern (Handshake)
- Speichern von Zustandsinformationen im Endsystem

- **Verbindungslos**

- Kein Verbindungsaufbau
- Übertragung von einzelnen Nachrichten

Ende des 1. Kapitels: Was haben wir geschafft?

1. Die Architektur des Internets



2. Protokollschichten

