

7. Foliensatz

Betriebssysteme und Rechnernetze

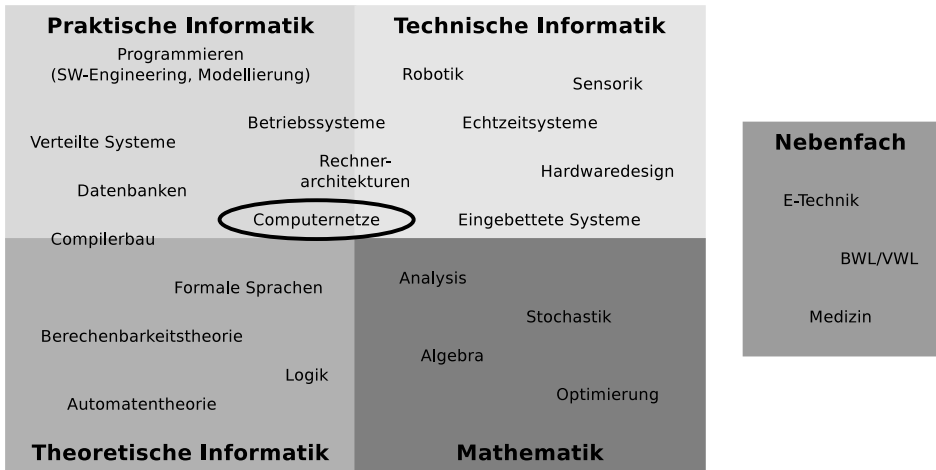
Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences
(1971–2014: Fachhochschule Frankfurt am Main)
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften
christianbaun@fb2.fra-uas.de

Lernziele dieses Foliensatzes

- Grundlagen der Computervernetzung
 - Parallele/serielle Datenübertragung
 - Richtungsabhängigkeit der Datenübertragung
 - Bitrate, Baudrate
 - Bandbreite, Latenz
- Protokolle
 - TCP/IP-Referenzmodell
 - Hybrides Referenzmodell
 - OSI-Referenzmodell

Einordnung der Computernetze in die Informatik



Computernetze gehören zur praktischen Informatik und technischen Informatik

Zwingend nötige Elemente für Computernetzwerke

- Für den Aufbau und Betrieb eines Computernetzwerks sind nötig:
 - ① ≥ 2 **Endgeräte mit Netzwerkdiensten**
 - Die Rechner in einem Computernetz sollen miteinander kommunizieren oder gemeinsam Ressourcen nutzen
 - Ein Netzwerkdienst stellt einen Dienst (Service) zur Kommunikation oder gemeinsamen Ressourcennutzung bereit
 - ② **Übertragungsmedium** zum Datenaustausch (siehe Foliensatz 8)
 - Gängige Übertragungsmedien für leitungsgebundene Netze sind elektrische Leiter (Twisted-Pair-Kabel oder Koaxialkabel) und Lichtwellenleiter
 - Auch nicht-leitungsgebundene (drahtlose) Übertragung ist möglich
 - ③ **Netzwerkprotokolle** (siehe Folie 12)
 - Regeln, die festlegen, wie Rechner miteinander kommunizieren können

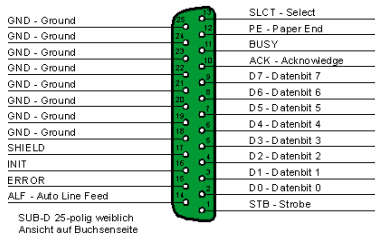
Regeln (Netzwerkprotokolle) sind zwingend nötig. Ansonsten können sich die Kommunikationspartner *nicht verstehen*. Man stelle sich einen Telefonanruf ins Ausland vor. Die Verbindung kommt zustande, aber kein Teilnehmer versteht die Sprache des anderen. Nur wenn beide Kommunikationspartner die gleiche Sprache sprechen, ist Kommunikation möglich

Parallele Datenübertragung

Bildquelle: <http://www.elektron-bbs.de> und Google

- Kommunikation zwischen Rechnern ist mit **paralleler** und **serieller** Datenübertragung möglich
- Bei **paralleler Datenübertragung** gibt es neben den Steuerleitungen mehrere Datenleitungen
- Beispiel: Parallele Schnittstelle zum klassischen Anschluss von Druckern
 - Darüber kann pro Zeiteinheit ein komplettes Byte an Daten übertragen werden
- Vorteil: Hohe Geschwindigkeit
- Nachteil: Es sind viele Leitungen nötig
 - Das ist bei großen Distanzen kostenintensiv und aufwändig
- Anwendung: Lokale Bus-Systeme

Das Bild zeigt die parallele Schnittstelle (25-polig)

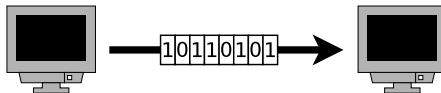


(z.B. ATA, SCSI, ISA, PCI, Front Side Bus, IEEE-1284 „Drucker-Port“)

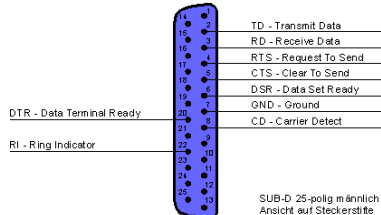
Serielle Datenübertragung

Bildquelle: <http://www.elektron-bbs.de>

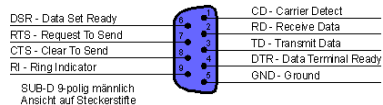
- Bei **serieller Datenübertragung** werden die Bits auf einer Datenleitung nacheinander übertragen
 - Ein Byte übertragen dauert 8x so lange wie bei paralleler Datenübertragung (mit 8 Datenleitungen)
- Vorteil: Auch für große Distanzen geeignet, da nur wenige Leitungen nötig
- Nachteil: Geringerer Datendurchsatz
- Anwendung: Lokale Bus-Systeme und **Verbindungen in Computernetzen**



Das Bild zeigt die serielle Schnittstelle (25-polig)



Das Bild zeigt die serielle Schnittstelle (9-polig)



Einige Vernetzungstechnologien, die seriell arbeiten

Ethernet, USB, CAN, FireWire, Fibre Channel (für SAN), InfiniBand

Richtungsabhängigkeit der Datenübertragung

• Simplex

- Der Informationstransfer funktioniert nur in einer Richtung
- Nach dem Ende der Übertragung kann der Kommunikationskanal von einem anderen Sender verwendet werden
- Beispiele: Radio, Fernsehen und Funkmeldeempfänger (Pager)

• Duplex (Vollduplex)

- Der Informationstransfer funktioniert in beide Richtungen gleichzeitig
- Beispiele: Telefon, Netzwerke mit Twisted-Pair-Kabeln, denn diese bieten separate Leitungen zum Senden und Empfangen

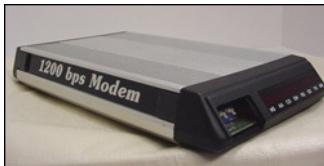
• Wechselbetrieb (Halbduplex)

- Der Informationstransfer funktioniert in beide Richtungen, aber nicht gleichzeitig
- Beispiele:
 - Netzwerke auf Basis von Glasfaser- oder Koaxialkabeln, denn hier gibt es nur eine Leitung für Senden und Empfangen
 - Funknetze mit nur einem Kanal

Bitrate und Baudrate

Bildquelle: <http://maggiesfarm.anotherdotcom.com>

- **Bitrate:** Anzahl der übertragenen Nutzdaten in Bits pro Zeiteinheit
 - Typischerweise wird in Bit pro Sekunde (Bit/s) gemessen
- **Baudrate:** Anzahl der übertragenen Symbole pro Sekunde
 - Baud nennt man auch Schrittgeschwindigkeit oder Symbolrate
 - 1 Baud ist die Geschwindigkeit, wenn 1 Symbol pro Sekunde übertragen wird
 - Ursprünglich gab die Baudrate die Signalisierungsgeschwindigkeit beim Telegrafen an, also die Anzahl der Morsezeichen pro Sekunde
- Das Verhältnis zwischen Bitrate und Baudrate hängt vom verwendeten **Leitungscode** ab



Leitungscode...

- Der Leitungscode legt in Computernetzen fest, wie Signale auf dem verwendeten Übertragungsmedium übertragen werden
- Den Leitungscode einer Netzwerktechnologie legt das verwendete Protokoll der Bitübertragungsschicht fest
- Aus Zeitgründen können wir dieses Thema in BSRN nicht behandeln

Bandbreite und Latenz (1/2)

- Entscheidend für die Leistungsfähigkeit eines Computernetzes:
 - **Bandbreite (Durchsatz)**
 - **Latenz (Verzögerung)**
- Die **Bandbreite** gibt an, wie viele Bits innerhalb eines Zeitraums über das Netzwerk übertragen werden können
 - Bei einem Netzwerk mit einer Bandbreite bzw. Durchsatzrate von 1 Mbit/s können eine Millionen Bits pro Sekunde übertragen werden
 - Ein Bit ist somit eine millionstel Sekunde, also 1 μ s *breit*
 - Verdoppelt sich die Bandbreite, verdoppelt sich die Bits, die pro Sekunde übertragen werden können

Bandbreite und Latenz (2/2)

- Die **Latenz** eines Netzwerks ist die Zeit, die nötig ist, bis eine Nachricht von einem Ende des Netzwerks zum anderen Ende gelangt ist

$$\text{Latenz} = \text{Ausbreitungsverzögerung} + \text{Übertragungsverzögerung} + \text{Wartezeit}$$

$$\text{Ausbreitungsverzögerung} = \frac{\text{Entfernung}}{\text{Lichtgeschwindigkeit} * \text{Ausbreitungsfaktor}}$$

- Entfernung: Länge der Netzwerkverbindung
- Lichtgeschwindigkeit: 299.792.458 m/s
- Ausbreitungsfaktor (Verkürzungsfaktor): Vakuum = 1, TP-Kabel = 0,6, Glasfaser = 0,67, Koaxialkabel = 0,77

$$\text{Übertragungsverzögerung} = \frac{\text{Nachrichtengröße}}{\text{Bandbreite}}$$

Übertragungsverzögerung = 0, wenn die Nachricht nur aus einem einzigen Bit besteht

- Wartezeiten geben sich durch Netzwerkgeräte (z.B. Switches)
 - Diese müssen empfangene Daten vor dem Weiterleiten zwischenspeichern

Wartezeit = 0, wenn es sich bei der Netzwerkverbindung zwischen Sender und Empfänger um eine Direktverbindung handelt

Quelle: Larry L. Peterson, Bruce S. Davie. Computernetzwerke. dpunkt (2008)

Bandbreite-Verzögerung-Produkt

- Berechnet das **Volumen einer Netzwerkverbindung**
 - Signale bewegen sich auf Übertragungsmedien nicht unendlich schnell
 - Die Ausbreitungsgeschwindigkeit wird in jedem Fall von der Lichtgeschwindigkeit begrenzt und hängt vom Ausbreitungsfaktor (Verkürzungsfaktor) des Übertragungsmediums ab
 - Das Produkt aus Bandbreite und Verzögerung (Latenz) entspricht der maximalen Anzahl Bits, die sich zwischen Sender und Empfänger in der Leitung befinden können
- Beispiel: Ein Netzwerk mit 100 Mbit/s Bandbreite und 10 ms Latenz

$$100.000.000 \text{ Bits/s} \times 0,01 \text{ s} = 1.000.000 \text{ Bits}$$

- Es befinden sich maximal 1.000.000 Bits auf der Netzwerkverbindung
 - Das entspricht 125.000 Bytes (ca. 123 kB)

Protokolle

- Ein **Protokoll** ist die Menge aller vorab getroffenen **Vereinbarungen** zwischen Kommunikationspartnern
 - Zu den Vereinbarungen gehören:
 - Regeln zum Aufbau und Abbau von Verbindungen
 - Art und Weise der Synchronisation von Sender und Empfänger
 - Maßnahmen zur Erkennung und Behandlung von Übertragungsfehlern
 - Definition gültiger Nachrichten (Vokabular)
 - Format und Kodierung von Nachrichten
- Protokolle definieren...
 - die **Syntax** (= Format gültiger Nachrichten)
 - die **Semantik** (= Vokabular und Bedeutung gültiger Nachrichten)

Schichtenmodelle

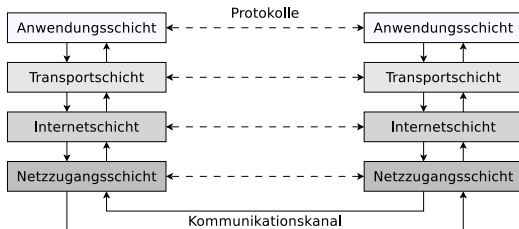
- Kommunikation in Computernetzen ist in **Schichtenmodelle** unterteilt
- Jede **Schicht (Layer)** behandelt einen bestimmten Aspekt der Kommunikation und bietet **Schnittstellen** zur darüberliegenden und darunterliegenden Schicht
- Jede Schnittstelle besteht aus einer Menge von **Operationen**, die zusammen einen **Dienst** definieren
- In den Schichten werden die Daten gekapselt (\implies **Datenkapselung**)
- Weil jede Schicht in sich abgeschlossen ist, können einzelne Protokolle verändert oder ersetzt werden, ohne alle Aspekte der Kommunikation zu beeinflussen
- Die bekanntesten Schichtenmodelle sind...
 - das **TCP/IP-Referenzmodell**,
 - das **OSI-Referenzmodell**
 - und das **hybride Referenzmodell**

TCP/IP-Referenzmodell bzw. DoD-Schichtenmodell

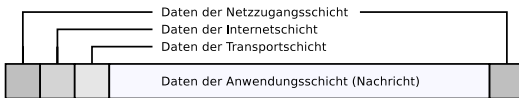
- Wurde ab 1970 vom Department of Defense (DoD) im Rahmen des Arpanet entwickelt
- Die Aufgaben der Kommunikation wurden in 4 aufeinander aufbauende Schichten unterteilt
- Für jede Schicht ist festgelegt, was sie zu leisten hat
- Diese Anforderungen müssen Kommunikationsprotokolle realisieren
 - Konkrete Umsetzung wird nicht vorgegeben und kann unterschiedlich sein
 - Daher existieren für jede der 4 Schichten zahlreiche Protokolle

Nummer	Schicht	Protokolle (Beispiele)
4	Anwendungsschicht	HTTP, FTP, SMTP, POP3, DNS, SSH, Telnet
3	Transportschicht	TCP, UDP
2	Internetschicht	IP (IPv4, IPv6), ICMP, IPsec, IPX
1	Netzzugangsschicht	Ethernet, WLAN, ATM, FDDI, PPP, Token Ring

TCP/IP-Referenzmodell – Nachrichtenaufbau

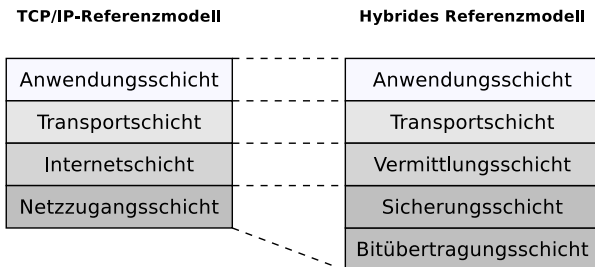


- Jede Schicht fügt einer Nachricht zusätzliche Informationen als **Header** hinzu
 - Einige Protokolle (z.B. Ethernet) fügen in der Netzzugangsschicht nicht nur einen Header, sondern auch einen **Trailer** am Ende der Nachricht an
 - Header (und Trailer) wertet der Empfänger auf gleicher Schicht aus



Hybrides Referenzmodell

- Das TCP/IP-Referenzmodell wird in der Literatur häufig (u.a. bei Andrew S. Tanenbaum) als fünfschichtiges Modell dargestellt
 - Grund: Es ist sinnvoll, die **Netzzugangsschicht** in 2 Schichten aufzuteilen, weil diese völlig unterschiedliche Aufgabenbereiche haben
- Dieses Modell ist eine Erweiterung des TCP/IP-Modells und heißt **hybrides Referenzmodell**



Die Aufgaben der einzelnen Schichten werden anhand des hybriden Referenzmodells diskutiert

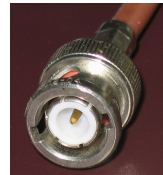
Bitübertragungsschicht – Physical Layer

(siehe Foliensatz 8)

- Überträgt die Einsen und Nullen
 - **Physischer Anschluss** an das Netz
 - **Umsetzung (Kodierung) der Daten in Signale**
- Protokoll und Übertragungsmedium bestimmen u.a.:
 - Wie viele Bits können pro Sekunde gesendet werden?
 - Kann die Übertragung in beide Richtungen gleichzeitig stattfinden?
- Geräte: **Repeater, Hub** (Multiport Repeater)

Hybrides Referenzmodell

Anwendungsschicht
Transportschicht
Vermittlungsschicht
Sicherungsschicht
Bitübertragungsschicht



Sicherungsschicht – Data Link Layer

(siehe Foliensatz 9)

- Ermöglicht fehlerfreien Austausch von **Rahmen** zwischen Netzwerkgeräten in physischen Netzen
 - Erkennt Übertragungsfehler mit **Prüfsummen**
 - Regelt den Zugriff auf das Übertragungsmedium (z.B. via CSMA/CD oder CSMA/CA)
- Definiert **physische Adressen (MAC-Adressen)**

Hybrides Referenzmodell

Anwendungsschicht
Transportschicht
Vermittlungsschicht
Sicherungsschicht
Bitübertragungsschicht

- Beim Sender: Verpackt die Pakete der Vermittlungsschicht in Rahmen (*Frames*) und überträgt sie mit der gewünschten Zuverlässigkeit innerhalb eines physischen Netzes von einem Gerät zum anderen
- Beim Empfänger: Erkennt die Rahmen im Bitstrom der Bitübertragungsschicht
- Geräte: **Bridges, Layer-2-Switches** (Multiport-Bridges) und **Modems** verbinden physische Netze



Vermittlungsschicht – Network Layer

(siehe Foliensatz 10)

- Vermittelt (*route*t) **Pakete** zwischen logischen Netzen (über physische Netze)
 - Für dieses *Internetworking* definiert die Vermittlungsschicht **logische Adressen (IPs)**
 - Jedes Paket wird unabhängig ans Ziel vermittelt (*geroutet*) und der Pfad nicht aufgezeichnet
- Beim Sender: Verpackt die Segmente der Transportschicht in Pakete
- Beim Empfänger: Entpackt die Pakete aus den Rahmen der Sicherungsschicht
- **Router** und **Layer-3-Switches** verbinden logische Netze
- Meist wird das verbindungslose Internet Protocol (IP) verwendet
 - Andere Protokolle (z.B. IPX) wurden von IP verdrängt

Hybrides Referenzmodell

Anwendungsschicht
Transportschicht
Vermittlungsschicht
Sicherungsschicht
Bitübertragungsschicht



Transportschicht – Transport Layer

(siehe Foliensatz 11)

- Transportiert **Segmente** zwischen Prozessen auf unterschiedlichen Geräten über sog. Ende-zu-Ende-Protokolle
- Beim Sender: Verpackt die Daten der Anwendungsschicht in Segmente
- Beim Empfänger: Entpackt die Segmente in den Paketen der Vermittlungsschicht
- Adressiert Prozesse mit **Portnummern**
 - Sicherungsschicht und Vermittlungsschicht adressieren Netzwerkgeräte physisch und logisch
- Verschiedene Protokolle bieten verschiedene Kommunikationsformen
 - UDP (User Datagram Protocol): Verbindungslose Kommunikation
 - TCP (Transport Control Protocol): Verbindungsorientierte Komm.
 - Kombination TCP/IP = de-facto Standard für Computernetze

Hybrides Referenzmodell

Anwendungsschicht
Transportschicht
Vermittlungsschicht
Sicherungsschicht
Bitübertragungsschicht

Anwendungsschicht – Application Layer

(siehe Foliensatz 12)

- Enthält alle Protokolle, die mit Anwendungsprogrammen (z.B. Browser oder Email-Programm) zusammenarbeiten
- Hier befinden sich die eigentlichen Nachrichten (z.B. HTML-Seiten oder Emails), formatiert entsprechend dem jeweiligen Anwendungsprotokoll
- Beispiele für Anwendungsprotokolle: HTTP, FTP, SMTP, POP3, DNS, SSH, Telnet

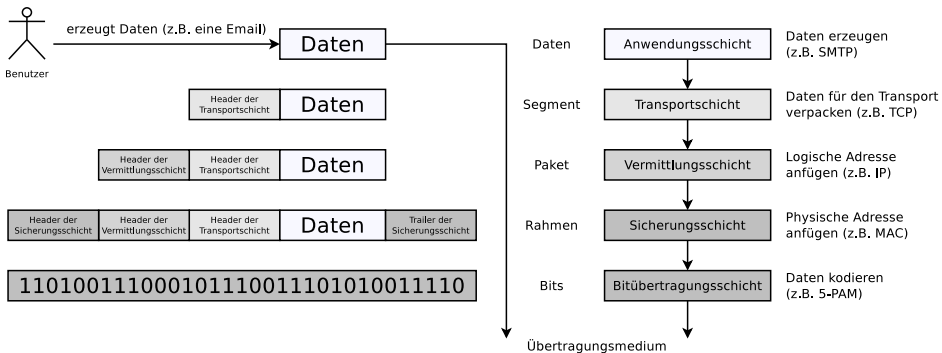
Hybrides Referenzmodell



Ablauf der Kommunikation (1/2)

• Vertikale Kommunikation

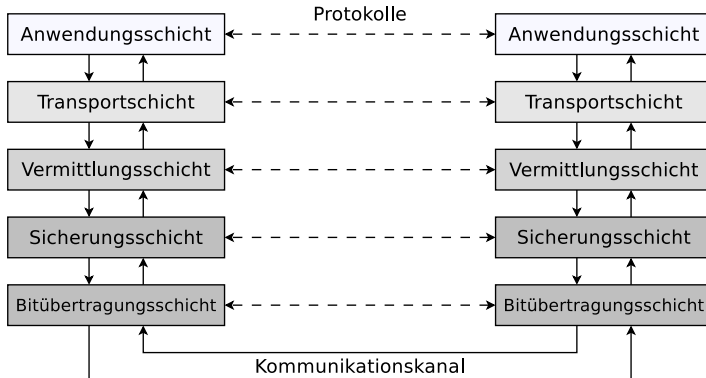
- Nachrichten werden von oben nach unten Schicht für Schicht verpackt und beim Empfänger in umgekehrter Schichtreihenfolge wieder entpackt
- **Data Encapsulation** (Datenkapselung) und **De-encapsulation**



Ablauf der Kommunikation (2/2)

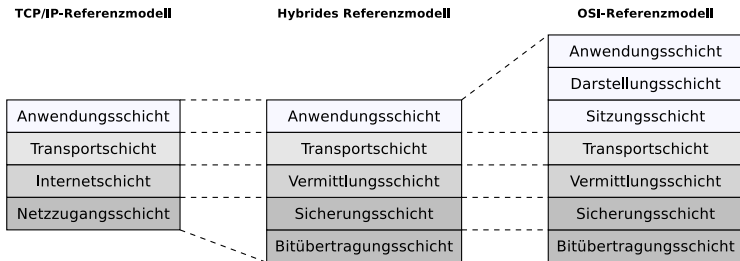
• Horizontale Kommunikation

- Auf den gleichen Schichten von Sender und Empfänger werden jeweils die gleichen Protokollfunktionen verwendet



OSI-Referenzmodell

- Einige Jahre nach dem TCP/IP-Referenzmodell (1970er Jahre) wurde das OSI-Referenzmodell ab 1979 entwickelt
 - 1983: Standardisiert von der Intern. Organisation für Normung (ISO)
 - OSI = Open Systems Interconnection
- Der Aufbau ist dem TCP/IP-Referenzmodell ähnlich
 - Das OSI-Modell verwendet aber 7 Schichten
- Im Gegensatz zum hybridem Referenzmodell sind die Aufgaben der Anwendungsschicht beim OSI-Referenzmodell auf 3 Schichten aufgeteilt



Sitzungsschicht – Session Layer

- **Kontrolliert die Dialoge** (Verbindungen) zwischen Prozessen
 - Legt fest, welcher Teilnehmer als nächstes senden darf
- Ermöglicht Kontrollpunkte, die in längeren Datenübertragungen zur **Synchronisierung** eingebaut werden können
 - Beim Verbindungsabbruch kann zum letzten Kontrollpunkt zurückgekehrt werden und die Übertragung muss nicht von vorne beginnen
- Beispiele für Protokolle mit den geforderten Fähigkeiten: **Telnet** zur Fernsteuerung von Rechnern und **FTP** zur Übertragung von Dateien
 - Diese können aber auch der Anwendungsschicht zugeordnet werden
 - Die Anwendungsschicht enthält die Protokolle, die die Anwendungsprogramme verwenden
 - FTP und Telnet werden direkt von den Anwendungsprogrammen verwendet und nicht von abstrakteren Protokollen in höheren Ebenen
 - Darum ist es sinnvoller die Protokolle der Sitzungsschicht der Anwendungsschicht zuzuordnen

Die Sitzungsschicht wird in der Praxis kaum benutzt, da alle dieser Schicht zugedachten Aufgaben heute Anwendungsprotokolle erfüllen

Darstellungsschicht – Presentation Layer

- Enthält Regeln zur **Formatierung (Präsentation) der Nachrichten**
 - Der Sender kann den Empfänger informieren, dass eine Nachricht in einem bestimmten **Format** (z.B. ASCII) vorliegt, um die eventuell nötige Konvertierung beim Empfänger zu ermöglichen
 - Datensätze können hier mit Feldern (z.B. Name, Matrikelnummer. . .) definiert werden
 - **Art und Länge der Datentypen** können definiert werden
 - Auch **Kompression und Verschlüsselung** sind der Darstellungsschicht zugedachte Aufgabenbereiche

Die Darstellungsschicht wird in der Praxis kaum benutzt, da alle dieser Schicht zugedachten Aufgaben heute Anwendungsprotokolle erfüllen

Fazit zu den Referenzmodellen

- Fazit: Das hybride Referenzmodell bildet die Funktionsweise von Computernetzen realistisch ab
 - Es unterscheidet die Bitübertragungsschicht und Sicherungsschicht
 - Das ist sinnvoll, weil die Aufgabenbereiche so unterschiedlich sind
 - Es unterteilt die Anwendungsschicht nicht
 - Das wäre auch nicht sinnvoll, weil es in der Praxis nicht stattfindet
 - Funktionalitäten, die für Sitzungs- und Darstellungsschicht vorgesehen sind, erbringen heute die Protokolle und Dienste der Anwendungsschicht
 - Es kombiniert die Vorteile des TCP/IP-Referenzmodells und des OSI-Referenzmodells, ohne deren jeweilige Nachteile zu übernehmen

