

## 2 Datenübertragung in Netzwerken

Bei der Datenübertragung in einem Netzwerk laufen viele Vorgänge ab, von denen der Anwender nichts merkt. So werden meistens nicht ganze Dateien übertragen, sondern in vielen Fällen sogenannte **Pakete**.

Damit ein Paket auch beim Empfänger ankommt, müssen eine Reihe von Informationen mit diesem Paket mitgeschickt werden.

Da die Datenübertragung in jedem Netzwerk sehr komplex ist, teilt man das Problem in Teilprobleme auf. Man unterscheidet sogenannte „Schichten“, die bestimmte Aufgaben erfüllen; im Internet könnte man folgende Schichten unterscheiden:

- Application (Anwendung): Benutzerebene (Surfen über WWW, FTP, ...)
- Transportschicht: Transport der Meldungen (verlässlich, ...)
- Netzwerkschicht: Adressierung, Verwaltung
- Network Interface: Daten auf das Medium (Kabel) bringen bzw. vom Medium (abholen)
- Hardware: Lichtwellenleiter, Kupferkabel

Jede Schicht (Teilfunktion) wird durch ein sogenanntes **Protokoll** realisiert; in der Praxis gibt es spezielle Treiber, die die Aufgaben von Protokollen übernehmen (in Windows gibt es etwa die TCP/IP-Treiber).

### 2.1 Das OSI-Referenzmodell

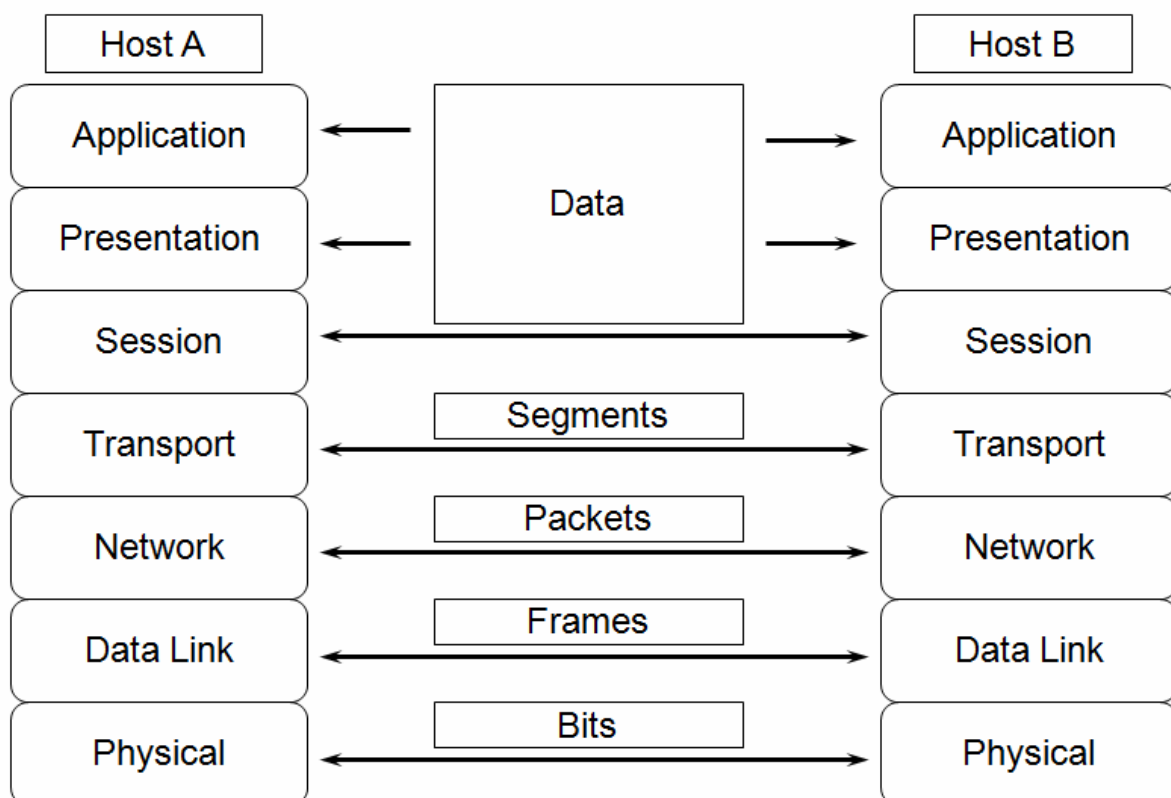
Wie schon mehrfach erwähnt, dominierten zu Beginn der Netzwerkgeschichte die proprietären (herstellerspezifischen) Netzwerke. Es gab mehrere Versuche zur Standardisierung der Netzwerkkonzeption; der vielleicht wichtigste Ansatz ist das OSI-Referenzmodell (Open Systems Interconnection), das ab 1977 von der ISO (International Standard Organization) entwickelt wurde.

Dieses Modell ist allgemein akzeptiert und bildet die Referenz für viele Hersteller; allerdings müssen heute vielfach Übergangslösungen und Ergänzungen entwickelt werden, da das Modell in verschiedenen Fällen noch nicht ganz fertig, mangelhaft oder gar lückenhaft (Datenschutz, Netzwerkmanagement) ist. Zudem ist zu bemerken, dass das OSI-Modell für PC-Netze im Allgemeinen zu umfassend ist; nichtsdestoweniger realisieren alle heute eingesetzten Produkte bestimmte Untermengen der durch das OSI-Referenzmodell festgelegten Funktionen. Der Sinn eines generellen Modells zur Beschreibung der Netzwerkarchitektur ist die Beschreibung des Weges von Daten zwischen zwei Anwendungen (letztlich tauschen nämlich Anwendungen immer Daten aus), um die Kommunikation in heterogenen Umgebungen zu vereinfachen. Damit dieses Modell möglichst breit verwendet werden kann, muss es einen gewissen Abstraktionsgrad besitzen. Es geht schließlich auch darum, durch einen modularen Aufbau das Netz genügend detailliert und produktübergreifend zu beschreiben. Das OSI-Modell bedient sich dazu einer Struktur, welche die Kommunikation im Netz in sieben aufgabenbezogene Schichten aufteilt. Jede Schicht übernimmt eine gewisse Anzahl von Funktionen und kann Dienstleistungen für die übergeordnete Schicht erbringen:

	OSI-Referenzmodell	Synonyme	Beschreibung	Beispiel LAN
7	<b>Application Layer</b> (Anwendungsschicht)	Anwendungsschicht	Anwendungsunterstützende Dienste, Netzwerkverwaltung	Betriebssystem (Windows, Linux, etc.) und dessen Netzwerk-Dienste.
6	<b>Presentation Layer</b> (Datendarstellungsschicht)	Präsentationsschicht	Umsetzung von Daten in Standardformate, Interpretation dieser gemeinsamen Formate	
5	<b>Session Layer</b> (Kommunikationssteuerungsschicht)	Sitzungsschicht	Prozess-zu-Prozess-Verbindung	Netzwerk-Protokolle und Zusatz-Software

4	<b>Transport Layer</b> (Transportschicht)	Transportschicht	Logische Ende-zu-Ende-Verbindungen	(NetBEUI, IPX/SPX, TCP/IP etc.)
3	<b>Network Layer</b> (Vermittlungsschicht)	Netzwerkschicht	Wegbestimmung im Netz (Datenflusskontrolle)	
2	<b>Data Link Layer</b> (Sicherungsschicht)	Verbindungsschicht	Logische Verbindungen mit Datenpaketen, Elementare Fehlerkorrektur	Netzwerk-karten-Treiber, Netz-werkkarte und Verkabelung
1	<b>Physical Layer</b> (Bitübertragungsschicht)	Physikalische Schicht	Nachrichtentechnische Hilfsmittel zur Bitübertragung	

Bei der Kommunikation zweier Computer über ein Netzwerk werden die Informationen grundsätzlich ebeneweise ausgetauscht. So kommuniziert zum Beispiel die Transportebene eines Computers mit der Transportebene des anderen Computers. Für die Transportschicht des ersten Computers ist es ohne Bedeutung, wie die eigentliche Kommunikation in den unteren Ebenen des ersten Computers, dann über die physikalischen Medien und schließlich durch die unteren Ebenen des zweiten Computers abläuft:



Quelle: Basierend auf einer Grafik von Cisco Systems, Inc.

Die untersten vier Schichten werden auch als "datenflussorientierte Schichten" bezeichnet, die oberen drei Schichten stellen die "Anwendungsschichten" dar.

Die Vorteile des OSI-Referenzmodelles sind die leichte Analyse, der (relativ) systematische Entwurf und die Vermeidung von Doppelfunktionalität, die unabhängige Bearbeitung der Komponenten (Modularisierung), die leichtere Austauschbarkeit (Connectivity!) sowie die vereinfachte Fehlerbestimmung. So gesehen widerspiegelt das OSI-Referenzmodell die Modularisierungsphilosophie, wie man sie in vielen Bereichen der Ingenieurwissenschaften findet. Das OSI-Referenzmodell ist allerdings die Idealvorstellung eines Netzwerkbetriebs, und es gibt nur wenige

Systeme, die sich genau an das Modell halten. Das Modell wird jedoch häufig für Diskussionen und den Vergleich von Netzwerken herangezogen und ist – wie schon gesagt – bei der Fehlerlokalisierung von großem Nutzen.

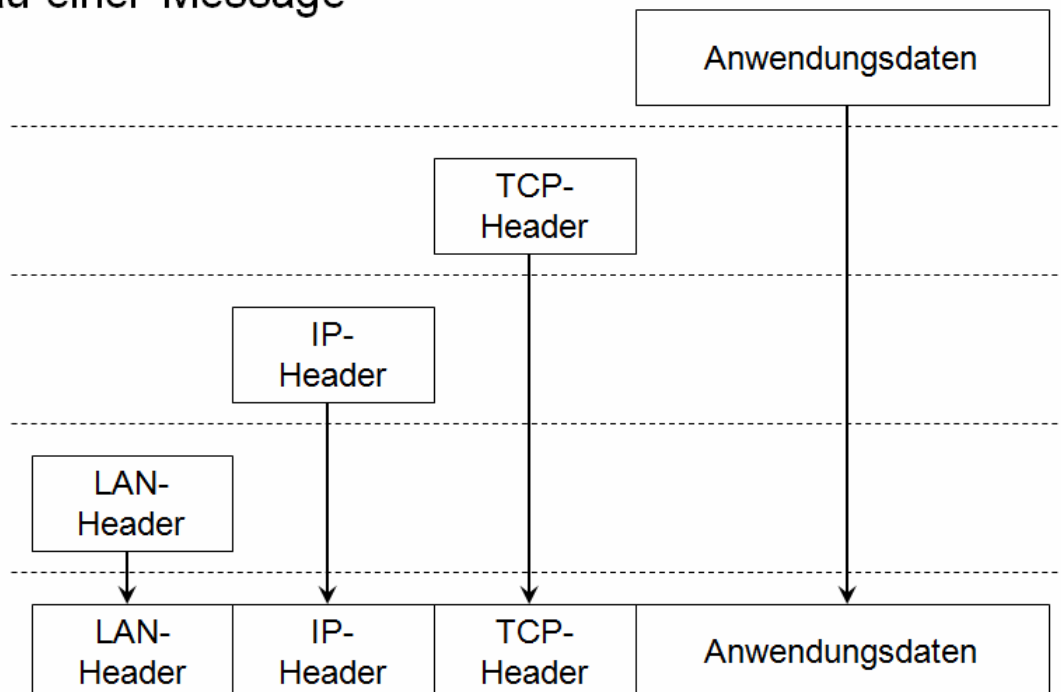
Die englischen Namen der einzelnen Schichten lassen sich durch zwei „Eselsbrücken“ leichter merken:

„Please Do Not Throw Salami Pizza Away“ und in umgekehrter Reihenfolge

„All People Seem To Need Data Protocols“

Jede Schicht fügt spezielle Adress- und Protokollinformationen (sogenannte „Header“) zu den eigentlichen Daten hinzu. Dadurch wird das Datenpaket immer größer. Beim Empfänger durchläuft das Datenpaket die Protokolle in umgekehrter Reihenfolge, wobei die Daten dabei sozusagen „ausgepackt“ werden.

## Aufbau einer Message



Im Folgenden sollen die einzelnen Schichten nun noch etwas genauer gesprochen werden:

### Physical layer (Physikalische Schicht, Bitübertragungsschicht):

Die Bitübertragungsschicht (engl. physical layer) ist die unterste Schicht. Diese Schicht stellt mechanische, elektrische und weitere funktionale Hilfsmittel zur Verfügung, um physikalische Verbindungen zu aktivieren bzw. deaktivieren, sie aufrechtzuerhalten und Bits darüber zu übertragen. Das können zum Beispiel elektrische Signale, optische Signale (Lichtleiter, Laser), elektromagnetische Wellen (drahtlose Netze) oder Schall sein. Die für sie verwendeten Verfahren bezeichnet man als Übertragungstechnische Verfahren. Geräte und Netzkomponenten, die der Bitübertragungsschicht zugeordnet werden, sind zum Beispiel die Antenne und der Verstärker, Stecker und Buchse für das Netzkabel, der Repeater, der Hub, der Transceiver, das T-Stück und der Endwiderstand (Terminator).

Auf der Bitübertragungsschicht wird die digitale Bitübertragung auf einer leitungsgebundenen oder leitungslosen Übertragungsstrecke bewerkstelligt. Die gemeinsame Nutzung eines Übertragungsmediums kann auf dieser Schicht durch statisches Multiplexen oder dynamisches Multiplexen erfolgen. Dies erfordert neben den Spezifikationen bestimmter Übertragungsmedien (zum Beispiel Kupferkabel, Lichtwellenleiter, Stromnetz) und der Definition von Steckverbindungen noch weitere Elemente. Darüber hinaus muss auf dieser Ebene gelöst werden, auf welche Art und Weise überhaupt ein einzelnes Bit übertragen werden soll.

Damit ist Folgendes gemeint: In Rechnernetzen wird heute Information zumeist in Form von Bitfolgen übertragen. Selbstverständlich sind der physikalischen Übertragungsart selbst, zum Beispiel

Spannungspulse in einem Kupferkabel im Falle elektrischer Übertragung, oder Frequenzen und Amplituden elektromagnetischer Wellen im Falle von Funkübertragung, die Werte 0 und 1 unbekannt. Für jedes Medium muss daher eine Codierung dieser Werte gefunden werden, beispielsweise ein Spannungsimpuls von bestimmter Höhe oder eine Funkwelle mit bestimmter Frequenz, jeweils bezogen auf eine bestimmte Dauer. Für ein spezifisches Netz müssen diese Aspekte präzise definiert werden. Dies geschieht mit Hilfe der Spezifikation der Bitübertragungsschicht eines Netzes.

Funktionen:

- Übertragungsmedium
- Übertragungsgeräte
- Netzwerk-Architektur
- Datensignale

Typische Festlegungen der Bitübertragungsschicht:

- Wie viel Volt entsprechen einer logischen 1 bzw. 0?
- Wie viele Millisekunden dauert ein Bit?
- Soll eine gleichzeitige Übertragung in beide Richtungen erfolgen oder nicht (Duplexbetrieb)?
- Wie kommt die erste Verbindung zu Stande und wie wird eine Verbindung getrennt?
- Wie ist der Stecker für den Netzwerkanschluss mechanisch aufgebaut?

Typische Normen und Protokolle:

- Steckernormen (RJ11, RJ45), Kabelnormen (RG58)
- Schnittstellennormen (RS232 für die serielle Schnittstelle)

### **Data Link layer (Sicherungsschicht):**

Die Sicherungsschicht erstellt auf der Basis der Rohdaten aus der physikalischen Ebene die verschiedenen zu übertragene Pakete. Die Sicherungsebene ist zuständig für die fehlerfreie Übertragung der Pakete: nach dem Senden eines Paketes wartet die Sicherungsebene auf eine Empfangsbestätigung der Zieladresse. Wird ein Paket nach einer bestimmten Zeit nicht bestätigt, wird es erneut gesendet.

Funktionen:

- Medienzugriff
- Physikalische Adressierung
- Paketbildung
- Flusskontrolle
- Fehlerprüfung

Die OSI-Schicht 2 legt also die zu verwendende Netzwerktechnologie fest; Beispiele dafür sind:

- IEEE 802.3 (Ethernet)
- IEEE 802.5 (Token Ring)
- IEEE 802.11 (WLAN)

In der Sicherungsschicht werden Daten in spezielle „Pakete“, sogenannte **Frames** (deutsch: Rahmen) verpackt. Darunter versteht man voneinander abgrenzbare Bitfolgen. Es werden besondere Bitfolgen als Rahmengrenzen verwendet, die innerhalb des Rahmens nicht auftreten dürfen.

Die OSI-Schicht 2 wird oft unterteilt in zwei Teilschichten:

**2a-Schicht, MAC (Media Access Control):** In dieser Teilschicht wird der Zugriff auf das Übertragungsmedium in sogenannten Broadcastnetzen geregelt, in denen alle Stationen denselben Übertragungskanal benutzen (Beispiele: Ethernet, Token Ring). Die MAC-Schicht grenzt an die physikalische Schicht.

Die hardwaremäßige Netzwerkkarten-Identifikation erfolgt in Form einer 48 bit-Adresse, der sogenannten **Media Access Control**-Nummer (MAC-Adresse). Diese Adressen werden in hexadezimaler Schreibweise angegeben.

Die ersten 24 Bits (Bits 47 bis 24) beschreiben eine von der IEEE vergebene Herstellerkennung (auch OUI – **Organizationally Unique Identifier** genannt), die weitgehend in einer Datenbank einsehbar sind. Die verbleibenden 24 Bit (Bits 23 bis 0) werden vom jeweiligen Hersteller für jede Schnittstelle individuell festgelegt.

Beispiel:

00-F0-23 –	AF-98-27
Herstellernummer	Kartenummer

Herstellercodes von MAC-Adressen (Auswahl):

00-50-8b-xx-xx-xx	Compaq
00-07-E9-xx-xx-xx	Intel
00-60-2F-xx-xx-xx	Cisco
00-15-F2-xx-xx-xx	ASUS

Die MAC-Adresse, bei der alle 48 Bits auf 1 gesetzt sind (ff-ff-ff-ff-ff-ff), wird als Broadcast-Adresse verwendet, die an alle Geräte in einem LAN gesendet wird. Broadcast-Frames werden ohne besondere Maßnahmen nicht in ein anderes LAN übertragen.

### 2b-Schicht, LLC (Logical Link Control)

Logical Link Control (LLC) ist die Bezeichnung für ein Netzwerkprotokoll der Telekommunikation, das als IEEE 802.2 standardisiert wurde. Es ist ein Protokoll, dessen Hauptzweck in der Datensicherung auf der Verbindungsebene liegt, und gehört daher zur Schicht 2 des OSI-Modells. LLC ist eine Protocol Data Unit (PDU) der OSI-Schicht 2 und grenzt an OSI-Schicht 3. Sie verteilt eingehende Daten, indem sie diese an die entsprechenden Instanz-Protokolle der OSI-Schicht 3 weiterleitet. Daten, welche die OSI-Schicht 3 zur Übermittlung sendet, werden von LLC an den MAC-Layer der OSI-Schicht 2 weitergegeben.

Das Protokoll LLC fügt einem gegebenen IP-Paket zwei jeweils 8 Bit große Kennzeichen namens DSAP (Destination Service Access Point: Einsprungadresse des Empfängers) und SSAP (Source Service Access Point: Einsprungadresse des Absenders) hinzu. Außerdem existiert ein 8 oder 16 Bit großes Feld (Control) mit Steuerinformationen für Hilfsfunktionen wie beispielsweise Datenflusssteuerung.

### Network layer (Vermittlungsschicht):

Die Vermittlungsebene bearbeitet die zirkulierenden Nachrichten und setzt logische Adressen und Namen in physikalische Adressen um. Sie legt auch den Weg vom sendenden Computer über das Netzwerk zum Zielcomputer fest. Zudem kümmert sie sich um die Optimierung des Nachrichtenverkehrs (zum Beispiel durch Umschalten oder Festlegen der Leistungswege und der Steuerung der Belastung durch Datenpakete in komplexeren Netzwerken).

Funktionen:

- Internetworking
- Routing
- Netzwerkkontrolle

Typische Protokolle auf der Vermittlungsschicht:

- Internet Protocol (IP)
- Internet Packet Exchange (IPX)

### Transport layer (Transportschicht):

Die Transportschicht stellt die zuverlässige Auslieferung der Nachrichten sicher und erkennt sowie behebt allfällige Fehler. Sie ordnet bei Bedarf auch die Nachrichten in Paketen neu, indem sie lange Nachrichten zur Datenübertragung in kleinere Pakete aufteilt. Am Ende des Weges stellt sie die

kleinen Pakete wieder zur ursprünglichen Nachricht zusammen. Die empfangene Transportebene sendet auch eine Empfangsbestätigung.

Funktionen:

- Adressierung
- Transportkontrolle
- Paketbildung

Typische Protokolle auf der Transportschicht:

- Transmission Control Protocol (TCP)
- User Datagram Protocol (UDP)
- Sequenced Packet Exchange (SPX)

### **Session layer (Sitzungsschicht):**

Diese Schicht ermöglicht zwei Anwendungen auf verschiedenen Computern, eine gemeinsame Sitzung aufzubauen, damit zu arbeiten und sie zu beenden. Sie übernimmt ebenfalls die Dialogsteuerung zwischen den beiden Computern einer Sitzung und regelt, welcher der beiden wann und wie lange Daten überträgt.

Funktionen:

- Erstellung einer Verbindung
- Datenübertragung
- Freigabe von Verbindungen
- Dialogsteuerung

Typische Protokolle der Sitzungsschicht:

- Authentifizierungsprotokolle wie Kerberos, NTLM, CHAP, EAP usw.

### **Presentation layer (Darstellungsschicht):**

Die Darstellungsschicht setzt die Daten der Anwendungsebene in ein Zwischenformat um. Diese Schicht ist auch für Sicherheitsfragen zuständig. Durch sie werden Dienste zur Verschlüsselung von Daten bereitgestellt und gegebenenfalls Daten komprimiert.

Funktionen:

- Übersetzung
- Verschlüsselung
- Kompression

Typische Protokolle der Darstellungsschicht:

- Verschlüsselungsprotokolle wie SSL

### **Application Layer (Anwendungsschicht):**

Dank der Anwendungsschicht können die Benutzeranwendungen auf die vom Netzwerk zur Verfügung gestellten Dienste zugreifen.

Funktion:

- Benutzerschnittstelle

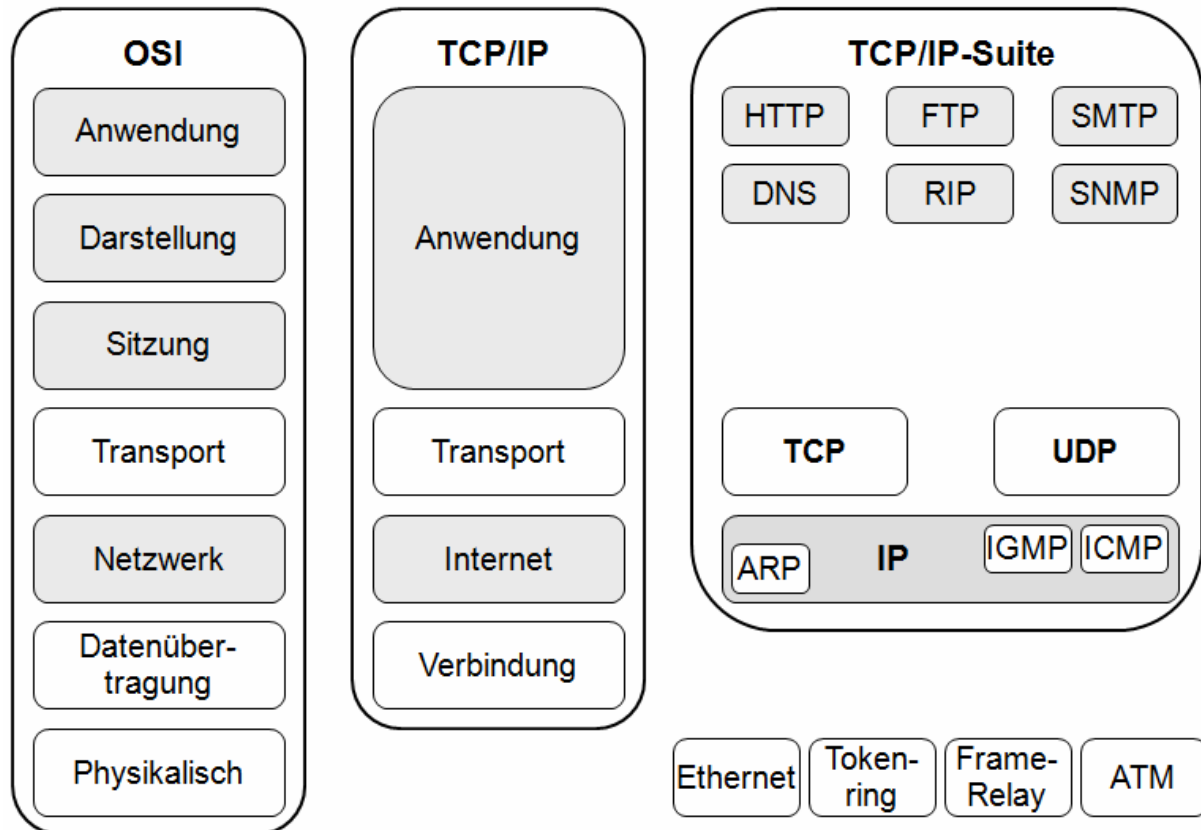
Typische Protokolle der Anwendungsschicht:

- Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)
- Domain Name System (DNS)
- Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

- File Transfer Protocol (FTP)
- Simple Network Management Protocol (SNMP)
- Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)
- Post Office Protocol (POP)

## 2.2 Das TCP/IP-4 Schichten-Modell (DoD-Modell)

Dieses Modell stellt eine Vereinfachung des OSI-Modells dar, da es bewusst auf die Netzwerkprotokollsuite TCP/IP zugeschnitten wurde. Das Modell wurde ursprünglich vom US-amerikanischen **Department of Defense** entwickelt.



Grafik: Gegenüberstellung des OSI 7 Schicht- und des TCP/IP-Netzwerkmodells

Die obersten drei Schichten sind zur **Anwendungsschicht** zusammengefasst; die hardwarenahen unteren beiden Schichten bilden die **Verbindungsschicht**.

Beispiele für Protokolle der Anwendungsschicht:

- **HTTP = Hypertext Transfer Protocol:** Surfen im WWW
- **FTP = File Transfer Protocol:** Upload und Download von Dateien
- **SMTP = Simple Mail Transfer Protocol:** Protokoll zum Senden von Mails (funktioniert nur, wenn Online!)
- **POP3 = Post Office Protocol, version 3:** Protokoll zum Abholen von Mails (mit User- und Passwortabfrage)
- **NNTP = Network News Transfer Protocol:** Protokoll zum Arbeiten mit Newsgroups
- **Telnet:** Sitzung auf einem Remote Server (Terminal-Modus)
- **DNS:** Auflösung von Namen in IP-Adressen und umgekehrt

## 2.3 Aktive Netzwerkkomponenten im Überblick

Komponente	OSI	Bedeutung
Repeater	1	<p>Repeater (dt. „Verstärker“) dienen innerhalb eines lokalen Netzes zur Signalverstärkung. so kann die Ausdehnung eines Netzes erhöht werden; allerdings müssen dabei die beiden Netze das gleiche Protokoll verwenden.</p> <p><b>Repeater-Regel (5-4-3-Regel):</b> Es dürfen nicht mehr als fünf (5) Kabelsegmente verbunden werden. Dafür werden vier (4) Repeater eingesetzt. An nur drei (3) Segmente, dürfen Endstationen angeschlossen werden.</p>
Hub	1	Sternverteiler, wirkt wie Multiport-Repeater
Bridge	2	Eine Bridge kann zwei gleichartige Netzwerke mit unterschiedlichen (oder gleichen) Topologien miteinander verbinden, unter der Voraussetzung, dass beide Netze das gleiche Protokoll und die gleiche logische Adressierung verwenden. So kann z.B. ein TCP/IP-Netzwerk mit einer Ethernet-Topologie mit einem TCP/IP-Netzwerk auf Token-Ring-Basis verbunden werden. Bridges können ebenfalls verwendet werden, wenn es darum geht, größere Distanzen zwischen LANs zu überbrücken; in diesem Fall spricht man von Remote Bridges.
Switch	2	Ein Switch (engl. Schalter; auch Weiche) ist eine Netzwerk-Komponente zur Verbindung mehrerer Computer bzw. Netz-Segmente in einem lokalen Netz (LAN).
Router	3	Ein Router verbindet normalerweise Netzwerke, welche eine unterschiedliche logische Adressierung, aber einheitliche Protokolle verwenden. Router werden häufig im WAN-Zusammenhang eingesetzt. Allerdings gibt es heute auch andere Einsatzmöglichkeiten für Router – z.B. für die Anbindung eines LANs ans Internet, wobei der (ISDN-/ADSL-)Router automatisch das Anwählen des Internet-Providers übernimmt.
Layer-3-Switch	3	Kombigeräte mit Switching- und Routing-Funktionalität
Gateway	7	Ein Gateway verbindet zwei unterschiedliche Netzwerke mit zwei separaten Protokollen miteinander (Achtung: in der Terminologie von TCP/IP bezeichnet das Gateway einen Router). Ein spezieller Kommunikationsserver übernimmt die Aufgabe, die ungleichen Protokolle und Datentransfermethoden miteinander zu verbinden. Gateways sind ebenfalls ein probates Mittel, LANs mit Hostsystemen zu verbinden.

## 2.4 Hub

Hubs (engl. = Nabe, Radnabe) agieren als Multiportrepeater. Sie wurden früher als Sternverteiler für Netzwerke verwendet.



*Sternverteiler (Hub), an den etwa 6-12 Clients, der Server und der Netzwerkdrucker angeschlossen werden können (Foto: C2000)*

Hubs arbeiten auf der Bitübertragungsschicht (Schicht 1) des OSI-Modells. Sie haben reine Verteilfunktion. Alle Stationen die an einem Hub angeschlossen sind, teilen sich die gesamte Bandbreite die durch den Hub zu Verfügung steht (z. B. 10 MBit/s oder 100 MBit/s). Die Verbindung von Computer zum Hub verfügt nur kurzzeitig über diese Bandbreite.

Ein Hub nimmt ein Datenpaket an und sendet es an alle anderen Ports. Dadurch sind alle Ports belegt. Diese Technik ist nicht besonders effektiv. Es hat aber den Vorteil, das solch ein Hub einfach und kostengünstig herzustellen ist.

Zwei Hubs werden über einen Uplink-Port eines Gerätes oder mit einem Crossover-Kabel (Sende- und Empfangsleitungen sind gekreuzt) verbunden. Es gibt auch spezielle stackable Hubs, die sich herstellerspezifisch mit Buskabeln kaskadieren lassen. Durch die Verbindung mehrerer Hubs läßt sich die Anzahl der möglichen Stationen erhöhen. Allerdings ist die Anzahl der anschließbaren Stationen begrenzt. Es gilt die Repeater-Regel.

Um den Nachteilen von Hubs aus dem Weg zu gehen, verwendet man eher Switches, die die Aufgabe der Verteilfunktion wesentlich besser erfüllen, da sie direkte Verbindungen zwischen den Ports schalten und die MAC-Adresse einem Port zuordnen können.