

lokale Netze.

Internet Standards entstehen im Rahmen der **Internet Society**, einem Fachverband vergleichbar mit IEEE oder ACM, der persönliche Berufungen ausspricht für den Internet Activities Board, IAB, ein Lenkungskomitee für Standardisierung. IAB steht seinerseits wieder vor für das Komitee Internet Research Task Force, IRTF, forschungsorientiert und das Komitee Internet Engineering Task Force, IETF, orientiert auf kurzfristige Entwicklungsaufgaben. Vorschläge für neue Standards und auch verabschiedete Standards werden weltweit veröffentlicht durch technische Berichte, genannt: Request For Comments, RFC. Es gibt heute über 2 000 solcher Berichte.

Das **DIN/NI** (Deutsches Institut für Normung / Normenausschuß Informationsverarbeitung) arbeitet in Deutschland sehr eng mit der ISO zusammen.

Das **ANSI** (American National Standards Institute) koordiniert Aktivitäten für freiwillige Standards in den USA. Die Arbeiten zum Thema Datenkommunikation werden in zwei technischen Komitees des Komitees X3 (Informationssysteme) behandelt. Ergebnisse erscheinen in den X3.-Serien.

Die **ECMA** (European Computer Manufacturer Association) ist das gemeinsame Gremium europäischer Computerhersteller, jedoch nicht-stimmberechtigtes Mitglied der ISO.

Die **EIA** (Electronic Industries Association) ist eine Handelsgesellschaft, die Hersteller der amerikanischen Elektronikindustrie vertritt. Das technische Komitee TR30 befaßt sich mit Datenkommunikation und veröffentlicht seine Ergebnisse in den RS-Serien (z.B.: RS-232 \pm V.24).

Literatur: IRME 94.

1.4 ISO/OSI-Referenzmodell

1.4.1 Motivation für das ISO/OSI-Referenzmodell

Das ISO/OSI-Schichtenmodell (International Standards Organization / Open Systems Interconnection: Kommunikation offener Systeme) basiert auf einem Vorschlag, der von der ISO entwickelt wurde und den ersten Schritt auf dem Weg zur internationalen Standardisierung der verschiedenen Protokolle darstellt [DAY 83].

Ziel des Modells ist es, eine Übersicht über die komplexe Interaktion zwischen Systemen zu schaffen und damit den Entwurf, die Implementierung und die Wartung offener Systeme zu erleichtern. Komplexe Systeme lassen sich nur durch Strukturierung in möglichst selbständige Teile übersichtlich gestalten. Dem Systementwurf zugrunde gelegt war das Prinzip, daß jeder Teil seine hauptsächliche Aufgabe selbst erfüllt und sich die Zusammenarbeit zwischen den Teilen auf einfache klare Schnittstellen beschränkt.

Das gesamte Modell basiert auf dem Schichtenprinzip, d.h. ein bestimmtes Einteilungsprinzip zerlegt jedes offene System weiter in Module mit eigenständigen Aufga-

ben, bei ISO Instanzen genannt. Jedes Modul verwendet das darunterliegende und unterstützt das darüberliegende Modul. Somit entsteht eine Struktur von horizontalen Schichten. Jede Schicht erfüllt eine genau umrissene, für beide Partnersysteme gemeinsame Aufgabe.

Wie kam es aber gerade zu den für das ISO/OSI-Referenzmodell charakteristischen sieben Schichten?

Ähnliche Aufgaben wurden in einer Schicht zusammengefaßt; dort wo Prozeßabläufe oder involvierte Techniken implementierungsunabhängig sind, wurde eine Trennlinie gezogen; außerdem erfolgte dort eine Trennung, wo Erfahrung dies nahelegte und wo der Austausch von Schichtfunktionen ohne große Auswirkungen war. Die Anzahl an Schichten sollte so groß sein, daß keine Notwendigkeit dafür bestand, verschiedene Funktionen auf dieselbe Schicht zu packen, und sollte so klein sein, daß die gesamte Architektur nicht zu unhandlich wurde.

Das OSI-Modell ist jedoch keine Netzarchitektur. Genaue Dienste und Protokolle werden nicht festgelegt, sondern es wird nur beschrieben, was jede Schicht können soll. Die ISO-Normen für jede Schicht gehören genau genommen nicht zum Modell; jede von ihnen ist als eigene internationale Norm veröffentlicht worden.

1.4.2 Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells

1. Bitübertragungsschicht (*physical layer*): Die Bitübertragungsschicht stellt eine ungesicherte Verbindung zwischen Systemen für die Übertragung von Bits zur Verfügung. Sie behandelt die Vielfalt von Übertragungsmedien, wie „twisted pair“, Koaxialkabel, Funkverbindungen über Radio, Satellit, Lichtwellenleiter, etc. und sorgt für den transparenten (verdeckten) Transport von Bits über eine Leitung (*data circuit*). Außerdem werden in der Schicht 1 Charakteristika der physischen Verbindung festgelegt: mechanische (Pin-Gestaltung und Konfiguration), physikalische (elektrische, elektromagnetische, optische, akustische Größen), funktionelle (Art der Elementarereignisse) und prozedurale (Ablauf der Elementarereignisse).
2. Sicherungsschicht (*data link layer*): Wichtigste Aufgabe der Sicherungsschicht ist es, Rohdaten in eine Datenreihe zu verwandeln und sie ohne Übertragungsfehler an die Vermittlungsschicht weiterzugeben. Der Sender teilt die Eingangsdaten in Datenübertragungsrahmen (*data frames*), überträgt sie sequentiell und verarbeitet die vom Empfänger erzeugten Quittungsrahmen. Die Schicht 2 muß sich um die Behandlung von beschädigten, verlorengegangenen und duplizierten Rahmen kümmern, ist also für Fehlererkennung und Fehlerbehandlung zuständig. Ein weiteres Problem, das in der Sicherungsschicht behandelt wird, ist die Datenüberschwemmung. Häufig werden Mechanismen zur Flußregelung in die Fehlerbehandlung integriert. Dateninterpretation ist nicht Teil dieser Schicht.
3. Vermittlungsschicht (*network layer*): Die Vermittlungsschicht verknüpft Teilstrecken eines Netzes vom Sendersystem zum Empfängersystem: Endsystem zu

Endsystem Verbindung. Die Schicht 3 nimmt der Schicht 4 die Pfadschaltung über Transitnetze ab, kümmert sich damit um Vermittlung und Wegewahl vom Ursprung zum Bestimmungsort. Außerdem muß sie Probleme bewältigen, die heterogene Netze mit sich bringen, wenn z.B. Sender und Empfänger in verschiedenen Netzen liegen. Die Betreiber von Subnets fügen häufig eine Abrechnungsfunktion in Schicht 3 ein, um übertragenen Pakete, Zahlen oder Bits in Rechnung stellen zu lassen. .

4. Transportschicht (*transport layer*): Die Transportschicht ist endsystemorientiert, d.h. Benutzer werden unabhängig vom geographischen Ort bedient. Sie nimmt die Anforderungen der Anwenderprozesse hinsichtlich der Übertragungsqualität entgegen, erstellt entsprechende Aufträge an die darunterliegenden Schichten und gleicht gegebenenfalls ungenügende Leistungen dieser Schichten aus. Die Transportschicht kann sowohl auf OSI-Netzen als auch auf jedem beliebigen Netz aufsetzen.
5. Sitzungs-/Kommunikationssteuerungsschicht (*session layer*): Die Sitzungsschicht regelt den Gesprächswechsel zwischen kommunizierenden Partnern. Sie liefert Vorkehrungen zum Wiederanlaufen einer unterbrochenen Übertragung ab einem Punkt im Datenstrom (Synchronisationspunkt), den die Partner zuvor vereinbart haben. Das Setzen eines Wiederaufsetzpunktes entspricht einer Synchronisation, das Zurücksetzen auf einen Wiederaufsetzpunkt einer Resynchronisation. Beim Verbindungsaufbau wird festgelegt, ob die Datenübertragung im Duplex-(bei Echtzeitanwendungen) oder Halbduplexbetrieb (meist bei kommerziellen Anwendungen) erfolgt.
6. Darstellungsschicht (*presentation layer*): Im Gegensatz zu den bisherigen Schichten hat die Darstellungsschicht Interesse an Syntax und Semantik der übertragenen Information. Sie stellt Ausdrucksmittel zur Verfügung, die es den Anwendungsinstanzen ermöglichen, Begriffe eindeutig zu benennen. Durch das „presentation protocol“ wird eine konkrete Transfersyntax vereinbart und die lokale Syntax in diese konkrete Transfersyntax transformiert. Zur Beschreibung einer solchen abstrakten Syntax wird dem Benutzer eine spezielle Sprache zur Verfügung gestellt (z.B. ASN1, *abstract notation no.1*). Die Schicht 6 hat also die Aufgabe, Daten von der Darstellungsart eines Systems in jene des Partnersystems zu übersetzen. Außerdem werden in der Darstellungsschicht andere Aspekte der Informationsdarstellung, wie z.B. Datenkompression und Kryptographie, behandelt.
7. Anwendungsschicht (*application layer*): Die Anwendungsschicht enthält die „eigentlichen“, für den Benutzer interessanten Anwendungen. Es gibt nicht ein Schicht-7-Protokoll, sondern eine Reihe von anwendungsspezifischen Protokollen. Dazu zählen z.B. der Nachrichtenaustausch (*electronic mail*), Terminal-to-Host-Connection (virtuelles Terminal), Dateienaustausch in heterogener Umgebung (FTP), Informationsbanken-Abfragen, Platzbuchung, Bestellwesen (z.B.

EDIFACT), Banktransaktionen, Fax (Abkürzung von lat. „*fac simile*“, übersetzt: „mach ähnlich“), Directory-/Name-Server.

Die unteren vier Schichten sind mit der Beförderung der Informationen betraut, während die oberen drei Schichten Ende-zu-Ende-Verbindungen darstellen. Einige der Aufgaben in Netze, wie z.B. Multiplexing und Flußsteuerung, können (oder müssen) in jeder einzelnen Schichten erbracht werden. Aus diesem Grund wird in diesem Skriptum im Kapitel 7 auf diejenigen Dienste eingegangen, die nicht eindeutig einer Schicht zuzuordnen sind.

1.4.3 OSI-Terminologie

Die eigentliche Funktion jeder Schicht des OSI-Modells ist es, der nächsthöheren und niedrigeren Schicht Dienste zu liefern. Die aktiven Elemente einer Schicht bezeichnet

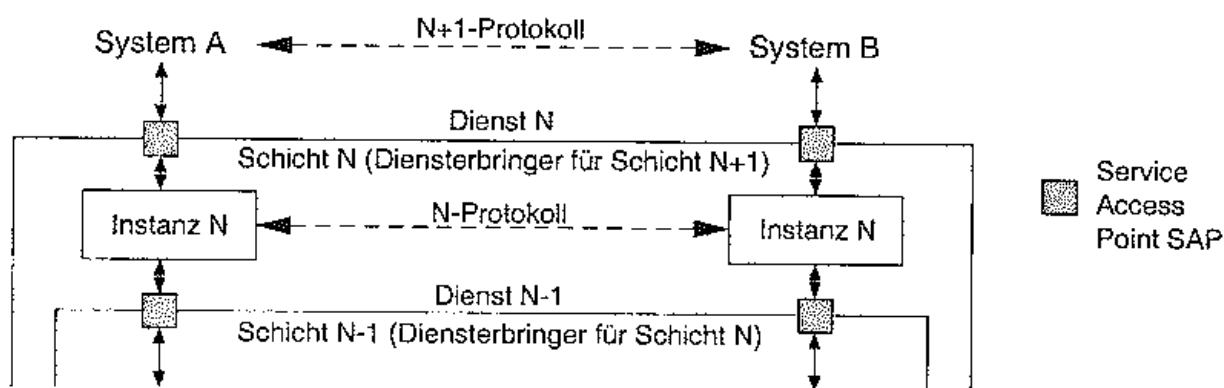


Abbildung 9: Modell einer Schicht und ihrer Interaktionen

man als **Instanzen** (*entities*). Eine Instanz ist dabei die Abstraktion von den in den einzelnen Systemen lokalisierbaren konkreten Prozessen oder Prozeßteilen. Sie ist der abstrakte, funktionelle Träger der in einer Schicht in diesem System erbrachten Dienste. Instanzen derselben Schicht in verschiedenen Systemen heißen Partnerinstanzen (*peer entities*).

Über Instanzen der Schicht N wird ein Dienst für die Schicht $N+1$ implementiert. In diesem Fall ist Schicht N Diensterbringer (*service provider*) und Schicht $N+1$ Dienstbenutzer (*service user*).

Der Dienst für eine höhere Schicht wird von den Partnerinstanzen der untergelagerten Schicht an Dienstzugangspunkten (*service access points, SAPs*) in den jeweils zugehörigen Systemen erbracht. SAPs sind die abstrakte Modellierung der Schnittstellen von Programmen oder Prozessen zwischen den Funktionsschichten. Sie sind die Interaktionspunkte zwischen dem Diensterbringer und Dienstbenutzer. SAPs von Schicht N sind Stellen, an denen Schicht $N+1$ die angebotenen Dienste in Anspruch nehmen kann. Jeder SAP hat eine unverwechselbare Adresse.

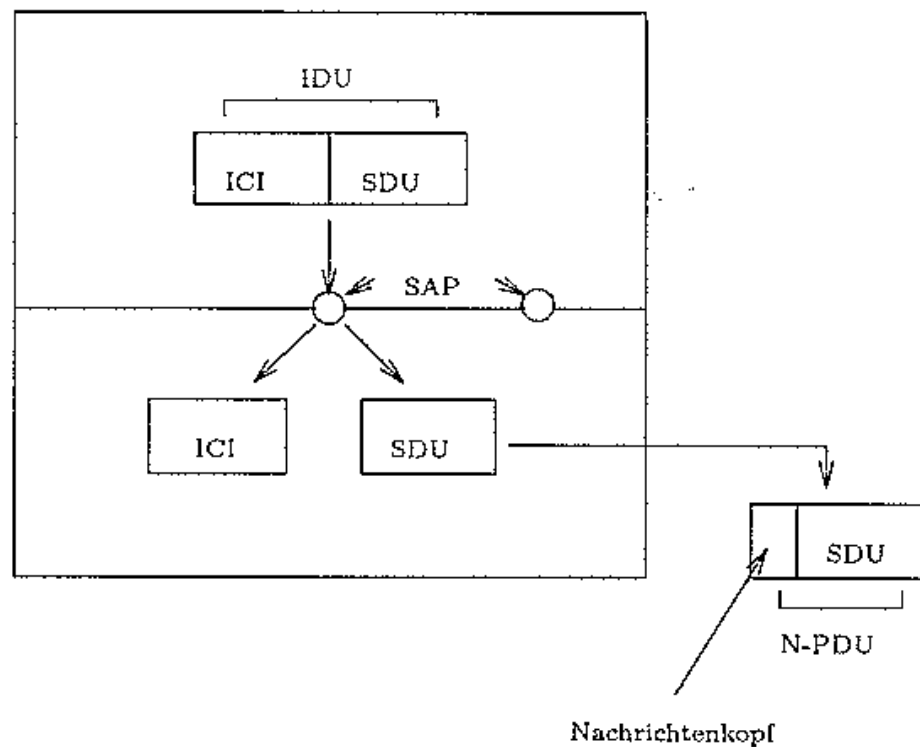


Abbildung 10: Schichtenbeziehung an einer Schnittstelle

Information K-Partner	Steuerninformation	Nutzdaten	kombiniert
Instanzen auf gleicher Schicht (N)-(N)	Protocol-Control- Information PCI	User Data UD	Protocol-Data-Units PDU
Benachbarte Instanzen (N+1)-(N)	N-Interface-Control- Information ICI	N-Interface-Data ID	(N-)Interface- Data-Unit IDU

Abbildung 11: Nomenklatur nach ISO-OSI

Damit zwei Schichten Informationen austauschen können, muß ein genau vereinbarter Satz an Regeln die Schnittstelle beschreiben. Bei einer typischen Schnittstelle gibt die Instanz von $N+1$ eine Schnittstellendateneinheit (*interface data unit, IDU*) über den SAP an die Instanz der Schicht N weiter. Die IDU besteht aus einer Dienstdateneinheit (*service data unit, SDU*) und Schnittstelleninformationen (*interface control information, ICI*), die wiederum z.B. die Anzahl an Bytes der SDU enthält. Für die Übertragung wird die SDU von der Instanz der Schicht N in Teile zerstückelt, von denen jede einen Nachrichtenkopf bekommt und als separate Protokolldateneinheit (*protocol data unit, PDU*) in einem Paket übertragen wird. Die PDUs von Transport-, Sitzungs- und Anwendungsschicht werden als TPDU, SPDU oder APDU bezeichnet.

net. Abb. 11 faßt diese wichtigen Bezeichnungen zusammen.

1.4.4 System-, Dienst- und Protokollschnitt

Im OSI-Kommunikationsmodell unterscheidet man zwischen Systemschnitt, Dienstschnitt und Protokollschnitt.

Systemschnitt: Durch den Systemschnitt wird festgelegt, welche Systeme Endsysteme und welche Transitsysteme sind.

Endsysteme sind die eigentlichen Quellen und Senken der Kommunikation. Sie können z.B. durch einzelne Benutzerstationen, eine Gruppe von solchen Stationen, einen einzelnen Rechner oder ein ganzes Rechnernetz repräsentiert werden. Ein System ist also nur eine Abstraktion, das bezüglich seiner Kommunikationseigenschaften beschrieben wird.

Transitsysteme sind im Modell alle Übertragungs- und Vermittlungshilfsmittel, die allen Endsystemen gemeinsam sind. Es ist nicht festgelegt, welcher Teil der realen Welt System genannt wird. Deshalb können alle Übertragungs- und Vermittlungseinrichtungen als ein einziges Transitsystem angesehen werden. Sofern die Verbindung über eine Reihe von realen Netzen führt, können diese aber auch einzeln als Transitsysteme sichtbar gemacht werden. Diese Aufteilung kann verfeinert werden, bis zu den einzelnen Vermittlungsknoten eines Netzes.

Dienstschnitt: Der Dienstschnitt zerlegt die Kommunikation in funktionelle Zusammenhänge und trennt in inhaltliche und formale Aspekte. Ein **Dienst** ist ein Satz von Dienstelementen (Operationen), die von einer Schicht der über ihr liegenden Schicht zur Verfügung gestellt werden. Der Dienst gibt an, welche Operationen diese Schicht für ihre Anwender ausführen will, aber er sagt nicht das Geringste über die Implementierung der Operation aus (vergleichbar mit einem .h-file in der Programmiersprache C). Ein Dienst läuft über die Schnittstelle zwischen zwei Schichten, wobei die (untere) Schicht N Dienstbringer und die (obere) Schicht N+1 Dienstbenutzer ist. Die entstehende Schichtung ist systemübergreifend bezüglich des Systemschnitts.

Dienste werden formal durch eine Reihe von Dienstelementen (*primitives*) oder Operationen gekennzeichnet, die logisch als unteilbare Ereignisse angesehen werden. Dienstelemente sorgen dafür, daß der Dienst eine bestimmte Handlung durchführt oder daß auf eine Handlung in bestimmter Weise reagiert wird. Innerhalb des OSI-Modells gibt es vier Typen von Dienstelementen, die durch die an den Namen angehängte Bezeichnung gekennzeichnet werden:

- .request (Anforderung): Instanz möchte einen Dienst
veranlassen, etwas Bestimmtes zu tun.
- .indication (Anzeige): Instanz soll über Ereignis informiert werden
- .response (Antwort): Instanz möchte auf Ereignis reagieren
- .confirm (Bestätigung): Instanz soll über Anforderung informiert
werden

Die Dienstbezeichnung besteht aus Kennbuchstaben für die Schicht

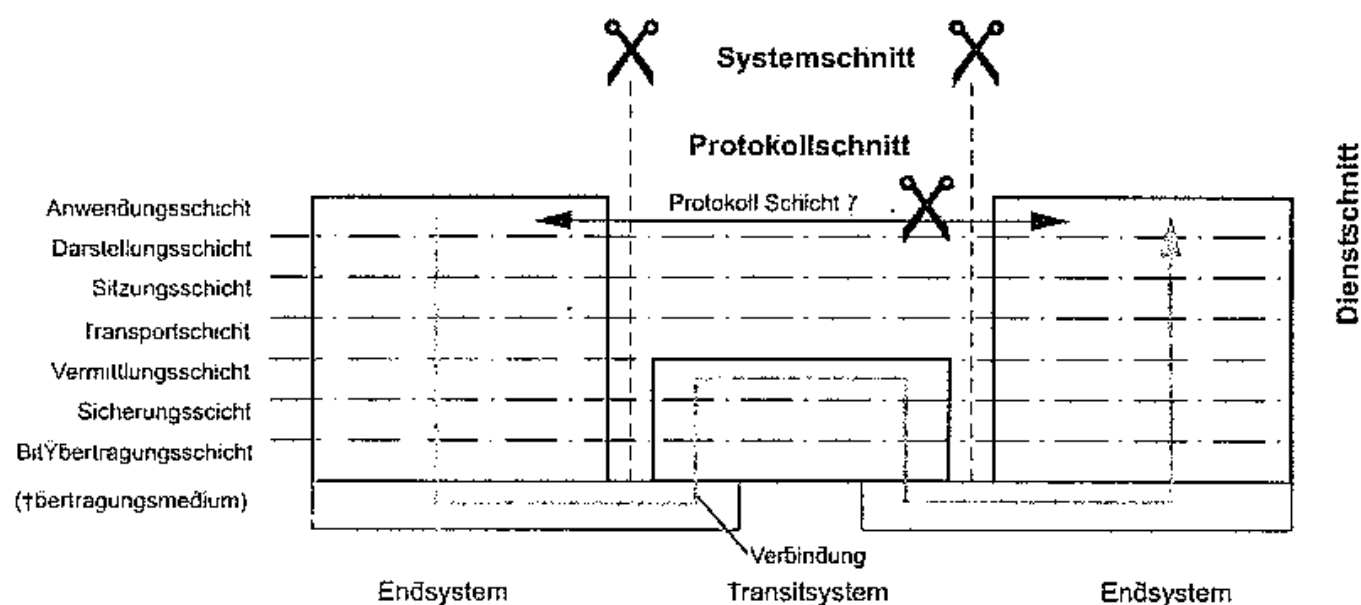


Abbildung 12: Basiselemente des Modells

P: presentation
 S: session
 T: transport
 N: network
 DL: data link

und einem Namen für die Dienstgruppe, z.B.:

CONNECT: für Verbindungsaufbau
 DISCONNECT: für Verbindungsabbau
 DATA: für Datentransport

Demnach sieht das Dienstelement zur Beschreibung der Transportverbindung zweier Teilnehmer wie folgt aus:

T-CONNECT.request, T-CONNECT.indication,
 T-CONNECT.response, T-CONNECT.confirm.

Die Typen von Dienstelementen sind i.a. voneinander abhängig. Abb. 13 zeigt vier verschiedene Diensttypen:

Protokollschnitt: Durch die Dienstnorm wird zwar die Funktionalität eines Dienstes festgelegt, aber nicht seine Realisierung. Der Protokollschnitt legt auf jeder durch den Dienstschnitt gegebenen Schicht in jedem durch den Systemschnitt gegebenen System Protokollinstanzen fest, die systemübergreifend den Dienst realisieren. Ein **Protokoll** ist das Regelgefüge, welches das Format und die Bedeutung der von den Partnerinstanzen innerhalb einer Schicht ausgetauschten Rahmen, Pakete oder Nachrichten festlegt. Mit Protokollen führen die Instanzen ihre definierten Dienste aus. Sie können ihre Protokolle beliebig verändern, solange sie nicht ihre für den Dienstbenutzer sichtbaren Dienste verändern. Das Protokoll bezieht sich auf die Ausführung

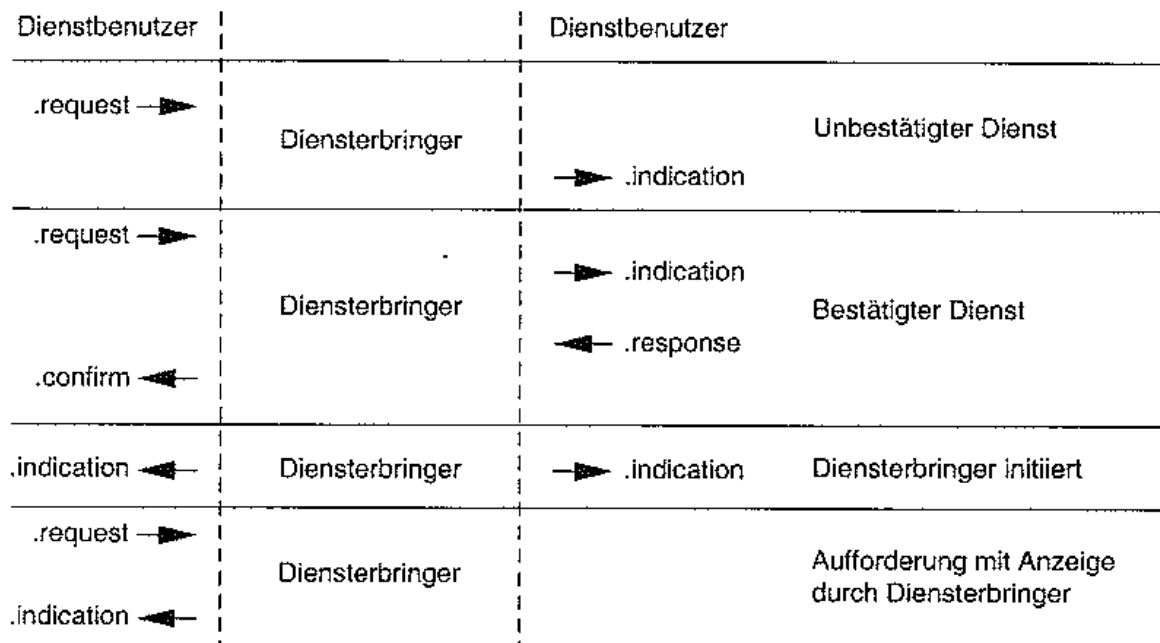


Abbildung 13: Die verschiedenen Möglichkeiten der Dienstsinalisierung

des Dienstes und ist als solches für den Dienstbenutzer nicht sichtbar. Während der Kommunikation zwischen zwei Benutzern wird der Austausch zwischen zwei entsprechenden Schichten durch ihre eigenen Protokolle geregelt. Obwohl die Information physikalisch durch einen Kanal der niedrigeren Stufe übertragen wird, also vertikal, kann man sich das Ganze auch als horizontale, virtuelle Kommunikation vorstellen.

Probleme des OSI-Schichtenmodells:

- Die konkrete Schichtung ist konzeptuell auf Punkt-zu-Punkt-Kommunikation über unsichere, schmalbandige Netze ausgerichtet. Andere Randbedingungen (z.B. Broadcast im LAN) sind erfüllbar, aber die Lösungen sind weniger natürlich. Ähnliches gilt bei getrennten Steuerkanälen (z.B. ISDN)
- Gewisse Probleme sind in allen Schichten dieselben, müssen aber schichtenspezifisch gelöst werden, sind also nicht beliebig delegierbar auf niedrigere Module. Diese Probleme sind im **Kapitel 7** „Schichtübergreifende Protokollkonzepte“ zusammengefaßt:
 - Adressierung
 - Verbindungsmanagement
 - Flußregelung (Knoten, Verbindung)
 - Multiplexing
 - Fehlererkennung und -behebung

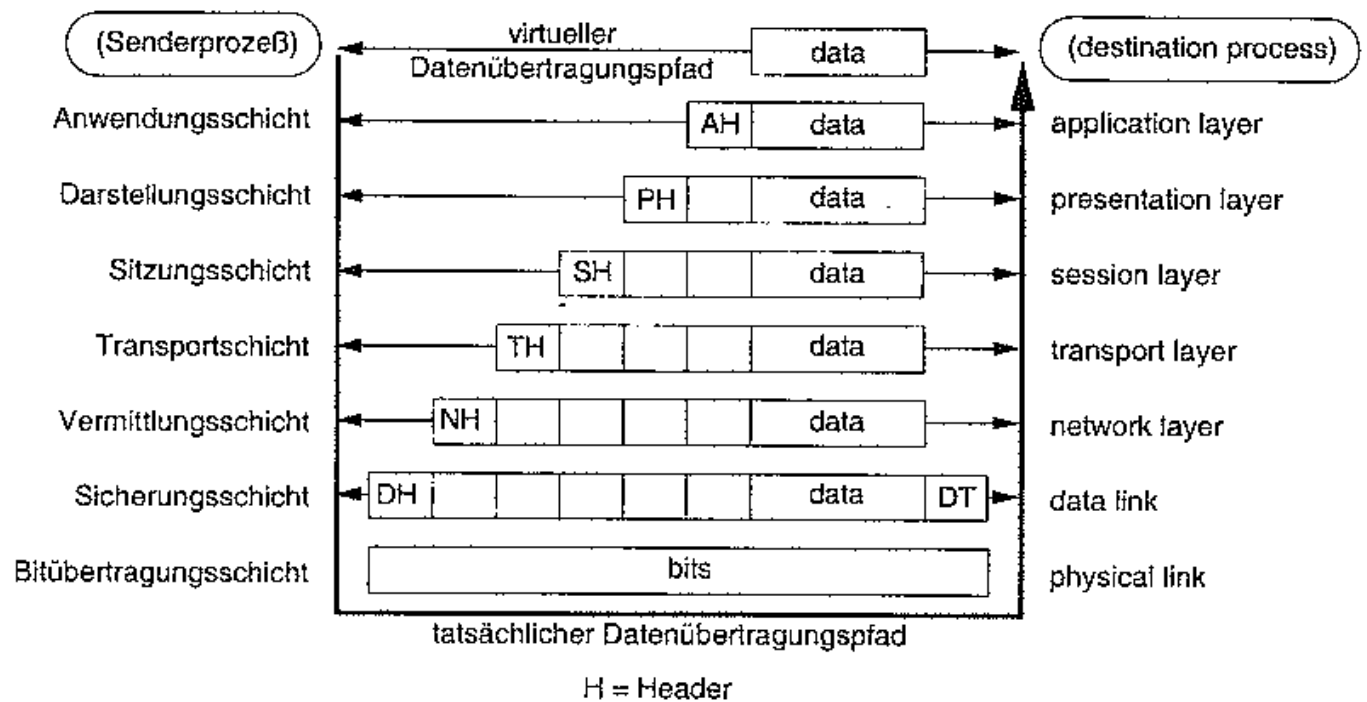


Abbildung 14: Virtuelle und tatsächliche Datenübertragung

- Neue Netztechniken verlagern Probleme: z.B. Routing auf Schicht 2 (Bridges bei LAN), Vermittlung auf Schicht 1 (ATM). Die Aufgaben mobiler Systeme und des Netzmanagements sind nur wenig angesprochen.

Anwenderorientiert	application	Anwendung	Transportdienst-anwender
	presentation	Darstellung	
Ende-Ende-Verbindung	session	Sitzung	Netzwerkdienste
	transport	Transport	
	network	Vermittlung	
Leitungstreiber	data link	Sicherung	
	physical	Bitübertragung	

Abbildung 15: Perspektiven existierender Systeme

Trotzdem ist OSI eine wichtige Referenzarchitektur, deren allgemein anerkanntes Konzept keineswegs rein akademischer Natur ist. Abb. 15 zeigt, wie sich das ISO 7-Schichtenmodell aus Sicht der existierenden Systeme darstellt.

1.5 TCP/IP-Referenzmodell

TCP/IP : Transmission Control Protocol / Internet Protocol ist die Protokollwelt im Internet, das aus dem ARPANET hervorgegangen ist. Das ARPANET war ein Forschungsnetz, gefördert von DoD: Department of Defense, Verteidigungsministerium, USA, das verbindungslos Datenpakete vom Absender zum Ziel beförderte, auch beim plötzlichen Ausfall von Netzstecken durch Kriegseinwirkungen (siehe auch 1.2.1). Es verband ursprünglich Universitäten und Regierungsstellen über Telefonleitungen, später auch über Funk- und Satellitenstrecken, was schließlich die Bildung eines Standards erforderte, der heute den Namen TCP/IP-Referenzmodell trägt. Die Schichten von TCP/IP im Vergleich zu OSI sind in Abb. 16 dargestellt:

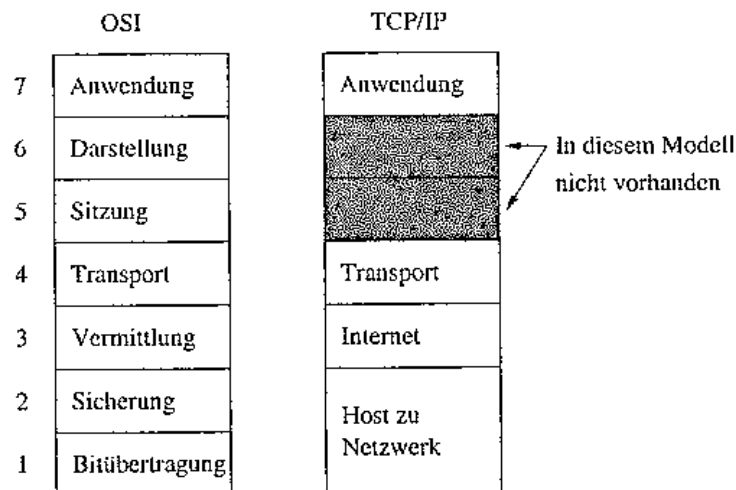


Abbildung 16: Schichten bei OSI und TCP/IP im Vergleich

Die **Vermittlungsschicht IP: Internet Protokoll** hat die Aufgabe, Datenpakete beliebigen Netzen zu übergeben, wo sie unabhängig voneinander, unter Umständen auf verschiedenen Wegen und in verschiedenen Reihenfolge zum Ziel gelangen, wo sie von der Vermittlungsschicht dort in Empfang genommen werden. Wegewahl und Stauvermeidung gehören mit zu den Aufgaben. Das Format der Pakete und die Protokolle, als Internet Protokoll IP bezeichnet, sind genau spezifiziert. Falls eine bestimmte Reihenfolge der Pakete am Zielort gewünscht wird, ist es die Aufgabe der darüberliegenden Schichten, diese Reihenfolge herzustellen. Somit ist die Internet Schicht der OSI Vermittlungsschicht sehr ähnlich.

Die Trantportschicht sieht zwei Protokolle vor:

- **TCP: Transmission Control Protocol** sorgt für eine zuverlässige, fehlerfreie, verbindungsorientierte Übertragung von einem Host zu einem anderen über ein möglicherweise unzuverlässiges Netz. Der vom Host eingehende Bytestrom wird zerlegt in diskrete Nachrichten und der Internetschicht übergeben.

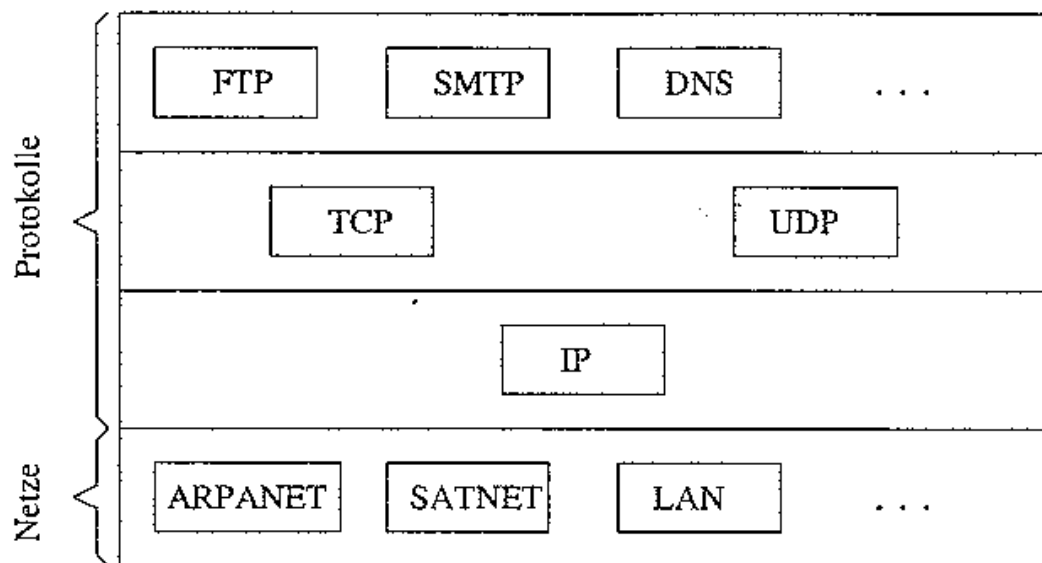


Abbildung 17: Protokolle und Netze des TCP/IP Modells

Am Empfangsort fügt der TCP Prozeß die von der Internetschicht übergebenen Nachrichten in einen Bytestrom zusammen. TCP regelt auch die Flußkontrolle und sorgt dafür, daß ein schneller Sender nicht einen langsamen Empfänger überflutet.

- **UDP: User Datagramm Protokoll** ist unzuverlässig, verbindungslos und gedacht für Benutzer, die auf Flußkontrolle und Ordnung der Pakete durch die Transportschicht keinen Wert legen. Typische Anwendungen sind hier solche, bei denen schneller Transport wichtiger ist als zuverlässige Übermittlung wie z.B. für Sprache und Video.

Die **Anwendungsschicht** enthält die oberen Protokolle wie Dateitransfer: File Transfer Protocol: FTP, Electronic Mail: Simple Mail Transfer Protocol, SMTP, Adressenverwaltung: Domain Name System: DNS, Protokolle für das World Wide Web, WWW: Hypertext Transfer Protocol HTTP, und vieles mehr (Abb. 17). Die Sitzungsschicht und die Darstellungsschicht fehlen gänzlich. Die Funktionen dieser Schichten sind auch im OSI-Modell sehr spärlich ausgebildet, im TCP/IP Modell weitgehend in der Anwendungsschicht zu finden, z.B. Kryptographie, Darstellungsaufgaben. Die Entsprechung der OSI Schichten 1 und 2, Bitübertragungsschicht und Sicherungsschicht, durch „Host zu Netz“ bei TCP/IP (Abb. 16), ist bezüglich eines Protokolls nicht definiert [STEV 94].

1.6 Die Referenzmodelle OSI und TCP/IP im Vergleich

OSI und TCP/IP haben viele Gemeinsamkeiten: Beide beruhen auf dem Konzept einer Schichtung von unabhängigen Protokollen. Auch die Funktionalität der Schichten ist

ähnlich: Die OSI Schichten 1 bis 4 und die TCP/IP Schichten Internet und Transport unterstützen einen Ende-zu-Ende netzunabhängigen Transportdienst für Prozesse, die miteinander in Verbindung treten wollen. Oberhalb der Transportebene befinden sich in beiden Modellen anwendungsbezogene Dienste.

Geschichtliche Entwicklung: Bei OSI war der erste Schritt die Entwicklung des Referenzmodells. Dies war getrieben von dem Bestreben der internationalen Postverwaltungen und der Industrie - außer IBM - dem herstellerspezifischen „geschlossenen“ Referenzmodell: Systems Network Architecture: SNA von IBM, das 7 Schichten enthält, ein offenes System entgegenzusetzen. Das so entstandene OSI Referenzmodell wurde dabei von Fachleuten entworfen, die wenig praktische Erfahrung mit Rechnernetzen hatten. So unterstützte der erste Entwurf nur Punkt-zu-Punkt Verbindungen und es wurde bald nötig für die Einbeziehung von Local Area Networks, LANs, die Mehrpunktverbindung verlangen, dem Modell die Medium Access Control Schicht, MAC, aufzufropfen. Erst später entstanden Protokolle, wobei große Probleme auftauchten, diese mit dem Referenzsystem in Einklang zu bringen. Die darauf aufbauenden Produkte waren überdies mit Fehlern behaftet.

Die Entwicklung bei TCP/IP verlief genau umgekehrt: Es entstanden zuerst Protokolle auf der Basis von ARPANET entworfen von Praktikern, vor allem an Universitäten, in dem Bestreben rasch praxisnahe Lösungen ohne Bevormundung durch Postverwaltungen und Industrie zu erhalten. Erst später wurden diese frühen Arbeiten im TCP/IP Referenzmodell formalisiert, wobei das Modell tatsächlich eine Beschreibung der existierenden Protokolle darstellte. Auf der Basis von TCP/IP entwickelten Universitäten und Industrie - kostenlos für die Anwender - und Industrie frühzeitig hochwertige Produkte. Aufgrund der hohen Investitionen bei Entwicklern und Anwendern war die Bereitschaft gering, später eine Anpassung der Produkte in Richtung auf OSI vorzunehmen.

Im folgenden sollen Vor- und Nachteile der beiden Referenzmodelle OSI und TCP/IP sowie ihre Protokollimplementierung kurz zusammengefaßt werden:

Vorteile von OSI: Klare Strukturierung der Schichten mit einigen Ausnahmen. Klare Trennung von Diensten, Schnittstellen und Protokollen: Jede Schicht leistet Dienste für die darüberliegende Schicht. Die Definition der Dienste legt fest, welche Funktionen die Schicht ausführt und welche Zugänge von der darüberliegenden Schicht bestehen. Die Schnittstelle vermittelt den darüberliegenden Prozessen Zugangsparameter und Resultate, die zu erwarten sind. Wie die Schicht von innen arbeitet, ist nicht offengelegt. Die ausführenden Protokolle einer Schicht können völlig unabhängig gestaltet und auch geändert werden, ohne Rücksicht auf die darüberliegenden Protokolle. diese Konzepte entsprechen gut den Konzepten der objektorientierten Programmierung: Ein Objekt, hier eine Schicht, besitzt einen Satz von Operationen (= Methoden), die von äußeren Prozessen initiiert werden können. Die Semantik dieser Operationen definieren den Satz von Diensten, die das Objekt anbietet. Die Parameter und Resultate der Operationen bilden die Schnittstelle des Objekts. Der interne Code des Objekts ist das Protokoll, nicht sichtbar und für die Außenwelt ohne Bedeutung. Dies alles führt zu leichter Änderbarkeit der Protokolle

bei Änderung der Technologie.

Nachteile von OSI: Die Standarisierung von OSI erfolgte zu spät, zu einem Zeitpunkt als TCP/IP bereits weitverbreitet war. Das Modell und die Protokolle sind komplex, die darauf aufbauenden Produkte von schlechter Qualität. Manche Protokolle wurden in ihrer Entstehung stark von Telekommunikationsfachleuten beeinflusst, was zu Unstimmigkeiten bei der Realisierung in Computern führte. Als letztes: das Netzmanagement fehlt völlig.

Vorteile von TCP/IP: Die IP und TCP Protokolle sind gut durchdacht und implementiert. Diese Implementierungen begannen zu einem früheren Zeitpunkt als die für OSI und eroberten damit den weltweiten Markt.

Nachteile von TCP/IP: Zusätzlich zu den oben aufgeführten Vorteilen von OSI, die hier fehlen, ist aufzuführen: Das TCP/IP Modell ist sehr speziell und wenig geeignet, andere Protokollhierarchien zu beschreiben. Die unterste Schicht, Host zu Netz ist weniger als Protokollschicht zu bezeichnen, sie ist vielmehr eine Schnittstelle zwischen der Vermittlungsschicht und dem Netz. Als letztes: Sicherungsschicht und Bitübertragungsschicht werden nicht erwähnt.

Zusammenfassung: Das OSI Modell ist nützlich, Computernetze in ihren Konzepten zu erläutern und zu diskutieren. Implementierungen von OSI haben sich nicht durchgesetzt. Das Umgekehrte ist der Fall für TCP/IP [PISC 93]. Die folgenden Kapitel dieses Buches stützen sich deshalb auf das OSI Modell, wobei auch die TCP/IP Protokolle behandelt werden.

Literatur: BELL 96, BLAC 95, CONR 93, FRAN 86, HODG 95, JABB 95, KWOK 95, KAUF 98, KERN 92, HODG 95, LAUD 95, TANE 98, SPAR 91, STAL 94, STEI 95.