

1. All about

„Der Anfang ist der wichtigste Teil der Arbeit.“

– Platon, (427–348 v. Chr.)

Das dritte Jahrtausend ist angebrochen und das Internet ist mittlerweile zu einem festen Bestandteil des täglichen Lebens geworden. Das World Wide Web, im Alltag heute oft fälschlicherweise mit dem Internet selbst identifiziert, versorgt uns mit Informationen aller Art. Die neusten Nachrichten, der aktuellste Börsenbericht, wichtige Reiseinformationen, Wissen aus allen nur denkbaren Bereichen, angefangen von aktuellen Forschungsergebnissen bis hin zur Bekanntmachung der Veranstaltung eines Kleintierzüchtervereins aus der Nachbarschaft. Interessengruppen schließen sich zu Mailing-Listen und Usenet-Gruppen zusammen, um Informationen über ihre gemeinsamen Themen auszutauschen, Wissenschaftler aller Fachgebiete treiben die Forschung mit Hilfe der elektronischen Kommunikation voran, und wir versenden Geburtstagsglückwünsche an unsere Liebsten.

Dieses Kapitel führt den Leser ein in die Basistechnologien des WWW, bietet geschichtliche Hintergrundinformation und beschreibt im Überblick, welche Mechanismen und Institutionen den reibungslosen Betrieb des offenen Kommunikationssystems Internet garantieren.

1.1 Das Internet – Basistechnologie des WWW

1.1.1 Das Netz der Netze

Das Internet, das ist ein ungeheurer Zusammenschluß der verschiedenartigsten Computer-Netzwerke, die die ganze Welt umspannen. Firmennetze, Wissenschaftsnetze, militärische Netze, Netze kommunaler oder überregionaler Betreiber, basierend auf den unterschiedlichsten Trägermedien, wie Kupferkabel, Glasfasern oder Funkwellen: sie alle zusammen sind Bestandteil dessen, was wir heute als „das Internet“, die virtuelle neue Welt bezeichnen. Drei Jahrzehnte mußten vergehen, bis aus einem gerade einmal vier Rechner umfassenden Versuchsnetz im Jahre der Mondlandung 1969 ein über 150 Millionen Rechner starkes Geflecht aus Netzwerken entstehen konnte, das uns Dank der dahinter verborgenen Technologien wie ein einziges, einheitliches Ganzes erscheint. Diese als **Internetworking** bezeichnete Technologie ist in der Lage, eine Vielzahl unterschiedlicher Hardware-Technologien über

ein festes Regelwerk von **Kommunikationsprotokollen**, den Konventionen über das „How-To“ jeglicher Kommunikation in Datennetzen, zusammenzuschließen. Internet-Technologie ist in der Lage, Details der verwendeten Netz-Hardware vollständig zu verbergen, so daß die angeschlossenen Rechner unabhängig von ihrer physikalischen Verbindung zum Internet miteinander kommunizieren können.

Einer der Gründe, die zu dieser immensen Verbreitung des Internets führen konnten, liegt in dessen **offener Systemarchitektur**. Offen, da alle notwendigen Spezifikationen der Netze im Gegensatz zu proprietären Netzen bestimmter Anbieter öffentlich verfügbar, also für jeden zugänglich sind. Das gesamte Design der Internet-Kommunikationsprotokolle ist daraufhin ausgelegt, die unterschiedlichsten Computer miteinander zu vernetzen, unabhängig von den darauf laufenden Anwendungen und den unterschiedlichen Betriebssystemen.

Den meisten Benutzern des Internet ist überhaupt nicht klar, welche technologische Herausforderung z.B. hinter einer simplen Email steht, die sie per Mausklick ans andere Ende der Welt befördern, und welche Anwendungsprogramme dazu nötig sind – hier der sogenannte Email-Client, der dem Benutzer als „das Email-Programm“ auf seinem eigenen Rechner erscheint, und der Email-Server, der durchaus bereits auf einem entfernten Rechner installiert sein kann und der verantwortlich ist für die korrekte Zustellung und Verteilung der ein- und ausgehenden Email-Nachrichten. Damit sich die verschiedenen Email-Server verstehen, benutzen sie ein ihnen gemeinsames **Kommunikationsprotokoll**, also einen Standard für syntaktische und semantische Regeln der wechselseitigen Kommunikation, nach dem sich beide zu richten haben. Protokolle beschreiben detailliert Nachrichtenformate und definieren, wie sich ein Rechner bei Eingang einer Nachricht oder im Falle eines aufgetretenen Fehlers zu verhalten hat.

1.1.2 Basiswissen Netzwerktechnik

Grundsätzlich basiert eine Netzwerkstruktur auf drei unterschiedlichen Komponenten:

- die eigentlichen **Rechner** als Basiskomponente, die miteinander vernetzt werden sollen,
- sämtliche **Infrastrukturkomponenten**, die notwendig sind, um den Anschluß und die Kopplung der Rechner zu leisten und
- die **Verkabelung**, die die physische Verbindung der Einzelkomponenten sicherstellt.

Bei den Rechnern unterscheiden wir grundsätzlich zwischen sogenannten „Servern“ und „Clients“. **Server** sind dabei gewöhnliche Rechner, die allerdings ihre Ressourcen auch für andere Rechner bereitstellen, während als **Clients** diejenigen Rechner bezeichnet werden, die nur als Leistungsnehmer im Netzwerk auftreten. Diese Polarisierung bildet das heute vorherrschende

Verarbeitungsprinzip und wird auch als **Client/Server-Paradigma** oder Client/Server-Architektur bezeichnet. Die Kooperation zwischen den miteinander vernetzten Rechnern folgt dabei immer einem bestimmten Grundschema: Der Client übernimmt stets die Initiative und fordert vom Server, der entsprechende Ressourcen zur Verfügung stellt, bestimmte Dienstleistungen an. Ein Client kann dabei im Laufe der Verarbeitung auf verschiedene Server zugreifen und ist nicht immer nur an einen bestimmten gebunden, wobei auch ein Server von vielen verschiedenen Clients kontaktiert werden kann. Diese Art der wechselseitigen Beziehung wird auch als „n:m-Beziehung“ bezeichnet. Da der Server nur eine begrenzte Zahl von Diensten zur Verfügung stellt, kann er auch nur jeweils bestimmte Anfragen des Clients bedienen. Er nimmt eine Anforderung auch nur dann entgegen, wenn er gerade nicht durch eine andere belegt ist. Ist der Server gerade belegt, muß der Client die geforderte Dienstleistung erneut anfragen.

Bevor eine Anforderung vom Server erfüllt wird, muß er zwei Fragen klären:

- Ist der Client tatsächlich derjenige, der er behauptet zu sein (Authentifikation)?
- Wurde die Authentizität des Clients erfolgreich geklärt, dann stellt sich die Frage: Ist der Client überhaupt berechtigt, die gewünschte Anforderung zu stellen?

Beide Fragen müssen positiv beantwortet werden, bevor eine Verarbeitung auf dem Server starten kann. Da Client und Server für gewöhnlich räumlich voneinander getrennt sind, müssen entsprechende Sicherheitsmechanismen vorgesehen werden, die eine zufriedenstellende Aufklärung dieser Fragen erlauben.

Um an einem Netzwerkverbund teilnehmen zu können, müssen die angeschlossenen Rechner über spezielle Komponenten verfügen, die ihnen physikalisch die Möglichkeit verschaffen, Anschluß an das Netzwerk zu finden. Dazu zählen spezielle **Netzwerkadapter**, die der zentralen Recheneinheit des angeschlossenen Rechners anfallenden Verarbeitungsaufwand abnehmen und die zu übertragenden Nachrichten in ein netzwerk-konformes Format übersetzen. Darüber hinaus müssen die Daten auch physikalisch umgesetzt werden, um auf einem Leitungsmedium über eine längere Distanz übertragen werden zu können. Zusätzlich müssen in einem Netzwerk bestimmte **Zwischensysteme** vorhanden sein, die an Knotenstellen installiert sind und eine Relaisfunktion ausüben. Sie entscheiden, in welche Richtung ein Datenstrom gelenkt werden soll und übernehmen zusätzlich oft auch noch eine Verstärkerfunktion, um die physikalische Ausdehnung des Netzes zu vergrößern.

Der dritte wichtige Baustein des Netzwerks ist die zu Grunde liegende **Verkabelung**. Die angeschlossenen Rechner und Zwischensysteme müssen physikalisch über ein Trägermedium miteinander verbunden sein. Dies kann sowohl über ein physikalisch festes Medium wie Kupfer- oder Glasfaserkabel geschehen, als auch drahtlos über Funk oder Infrarot. Kein Übertragungsmedium ist gegenüber Übertragungsfehlern gefeit, so daß Mittel und Wege

gefunden werden müssen, ein grundsätzlich als unsicher anzusehendes Netzwerk in die Lage zu versetzen, eine sichere und fehlerfreie Kommunikation durchzuführen.

1.1.3 Internet-Kommunikationsprotokolle

Nachdem nun die Basiskomponenten benannt worden sind, stellt sich die Frage, wie funktioniert eigentlich die Kommunikation in einem Datennetzwerk? Um diese Frage näher zu beleuchten, betrachten wir ein einfaches Szenario: Wir stellen uns vor, Anwenderin Alice möchte ihrem Freund Bob eine Nachricht via Email senden (siehe Abb. 1.1). Wie wird sichergestellt, daß diese Nachricht so schnell wie möglich, vollständig, fehlerfrei und dem richtigen Adressaten zugestellt wird?

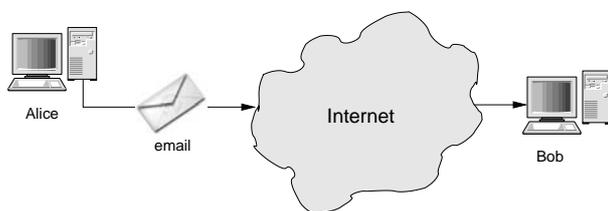


Abb. 1.1. Alice will Bob eine Email senden

Damit die Nachricht von Alice's Rechner zu Bob gelangen kann, sind die folgenden Fragen zu klären und Aufgaben zu erfüllen:

An wen soll die Nachricht gesendet werden? Es muß eindeutig festgelegt werden, wer der Adressat der Nachricht ist. Dazu werden im Internet sogenannte Adressen vergeben. Verschiedene Hierarchie-Ebenen verwenden unterschiedliche Arten der Adressierung. Es gibt ein weltweit eindeutiges Schema, damit auch wirklich Bob und nur Bob die Nachricht erhält.

Welchen Weg nimmt die Nachricht? Um an der Zieladresse anzukommen, muß die Nachricht im Netzwerk zwischen den einzelnen Relaisstellen weitergereicht werden, bis sie schließlich dem Adressaten zugestellt werden kann. Der genaue Weg aber wird nicht bereits in Alice Rechner vorherbestimmt, sondern die Zwischensysteme des Netzwerks entscheiden, welchen Weg die Nachricht nimmt.

Die Nachricht muß vollständig ankommen. Das Internet basiert auf einem paketvermittelnden Netzwerkdienst, d.h. die zu versendende Nachricht wird aus Effizienzgründen in kleine Datenpakete gleicher Größe zerlegt und die Pakete werden einzeln über das Netzwerk versendet. Daher muß sichergestellt werden, daß eine Nachricht beim Empfänger auch wieder vollständig und in der richtigen Reihenfolge zusammengesetzt werden kann.

Die Nachricht muß fehlerfrei ankommen. Bedingt durch Übertragungsfehler und Störungen kann es vorkommen, daß einzelne Datenpakete auf ihrem Weg durch das Netzwerk beschädigt werden oder sogar verloren gehen. Damit aber die Nachricht beim Empfänger wieder korrekt zusammengesetzt werden kann, muß ein Mechanismus bereitgestellt werden, aufgetretene Fehler zu erkennen und automatische zu korrigieren, bzw. als fehlerhaft erkannte Pakete erneut anzufordern.

Da das Internet keine homogene Struktur besitzt und verschiedenartige Netzwerkarchitekturen miteinander verschaltet werden können, muß das Datenpaket auf seinem Weg durch das Netzwerk an den Schnittstellen der einzelnen Netzwerkarchitekturen umgepackt und in seinem Format den jeweilig vorherrschenden Bedingungen und Technologien angepaßt werden. Es wäre jetzt natürlich viel zu aufwendig, müsste jede Anwendung auf Alice's Rechner sich selbst um all diese Aufgaben kümmern. Ein entsprechendes Netzwerkbetriebssystem nimmt der Anwendung, wie z.B. unserem Email-Programm, viele dieser Aufgaben ab.

Da diese Aufgaben hierarchisch aufgegliedert werden können, kann die Kommunikation der beiden Teilnehmer in **Schichten** (Layer), entsprechend ihrer jeweiligen Funktion unterteilt werden. Diese Unterteilung in ein sogenanntes **Schichtenmodell** bringt viele Vorteile mit sich. Jede Schicht für sich ist verantwortlich für die Lösung eines bestimmten Teilproblems im Rahmen des Nachrichtenaustauschs. Findet auf der untersten Ebene der Austausch von elektrischen Signalen statt, müssen diese in den darüberliegenden Schichten aus Binärdaten erst einmal erzeugt werden. Diese Binärdaten müssen mit entsprechenden Adressfeldern versehen und bzgl. ihrer Zusammengehörigkeit markiert werden. All diese Aufgaben werden von den einzelnen Schichten im Kommunikationsmodell erledigt (siehe Abb. 1.2).

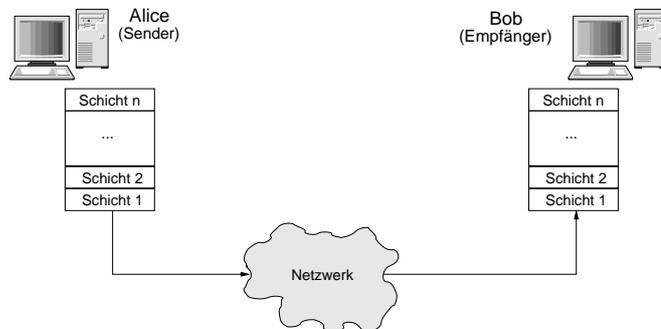


Abb. 1.2. Organisation der Kommunikationsprotokolle in einzelne Schichten

Nun liegt ein solches Kommunikationsschichtenmodell (Communication Stack) sowohl auf Sender- als auch auf Empfängerseite vor. Jede der einzelnen

Schichten kommuniziert quasi mit der entsprechenden Schicht auf der gegenüberliegenden Seite. Diese Kommunikation ist jedoch nur eine scheinbare. In der Realität kommuniziert jede Schicht immer nur direkt mit der im selben Stack unmittelbar darüber bzw. darunterliegenden Schicht. Von oben werden Instruktionen und Daten empfangen, nach unten werden Instruktionen und Daten weitergegeben. Während vertikal eine Schicht von der darunterliegenden Dienste anfordert und einer höhergelegenen Funktionen bereitstellt, erfolgt die horizontale Kommunikation korrespondierender Schichten über bestimmte Kommunikationsprotokolle. In der Softwareentwicklung eines Netzwerkbetriebssystems birgt dieser Aufbau den großen Vorteil, daß das Modell immer nur die Schnittstellen zwischen den einzelnen Schichten vorschreibt. Dadurch läßt sich die Implementation sehr modular gestalten, d.h. ändern sich durch Fortschreiten der technischen Entwicklung bestimmte Rahmenbedingungen, so muß in der Regel nicht die gesamte Kommunikationssoftware neu geschrieben werden, sondern es reicht aus, einzelne Module, die mit einer bestimmten Schicht im Modell korrespondieren, auszutauschen. Die einzelnen Schichten eines Kommunikationsschichtenmodells bauen jeweils aufeinander auf. Grundlage für das Design der jeweiligen Schicht sind allgemein gehaltene Vereinbarungen und Inhalte. Diese Spezifikationen enthalten in der Regel jedoch keinerlei Implementierungsvorgaben, so daß eine Umsetzung in kommerzielle Produkte nicht unmittelbar möglich ist. Dennoch schaffen derartige Modelle eine allgemein akzeptierte Vorstellung darüber, wie der Kommunikationsvorgang abzulaufen hat. Die Beschreibung der Funktionalität der einzelnen Schichten dient als Grundlage für eine exakte Spezifikation von Protokollen und schafft dadurch eine weitestgehend herstellerunabhängige Begriffswelt.

Schichten der gleichen Ebene bei Sender und Empfänger kommunizieren über **Kommunikationsprotokolle** (einfach oft auch Protokolle) miteinander. Ebenso, wie z.B. das ehemals fest vorgeschriebene Protokoll bei Hofe oder bei einem Staatsempfang bestimmte Ablaufregeln vorgibt, regeln die Protokollvorschriften den Kommunikationsverlauf im Netzwerk. Die unteren Schichten der Netzwerk-Kommunikationsprotokoll-Modelle präsentieren netzorientierte Funktionen, während die oberen Schichten eher als anwendungsbezogen eingestuft werden können (siehe Abb. 1.3).

Das heute allgemein akzeptierte Kommunikationsschichtenmodell ist der sogenannte **TCP/IP-Protokoll-Stapel** (TCP/IP-Stack). Obwohl die Begriffe der TCP-Welt vor gut 10 Jahren nur einer Handvoll Spezialisten geläufig waren, besteht heute kein Zweifel mehr: TCP/IP regiert das Internet. Und gerade weil die Protokolle der TCP/IP-Familie die Grundlage der Architektur des Internet bilden, gelang es ihnen – anders als kommerziellen Produkten (z.B. DECnet) oder theoretisch begründeten Standardvorschriften (z.B. ISO/OSI-Protokoll-Stapel) – sich als *de facto*-Standard weltweit durchzusetzen.

Das zweite Kommunikationsschichtenmodell, das jedoch gegenüber dem etablierten TCP/IP-Protokoll-Stapel zunehmend an Bedeutung verliert, ist das

von der ISO (International Standards Organisation) spezifizierte **ISO/OSI-Kommunikationsschichtenmodell** (auch als **ISO/OSI-Referenzmodell** bezeichnet). Die im Telekommunikationsbereich genutzte X.25-Protokollfamilie ist die bekannteste Implementierung des sieben Protokollschichten umfassenden ISO/OSI-Referenzmodells. In Abb. 1.3 ist ein konzeptioneller Vergleich des TCP/IP-Stacks und des ISO/OSI-Referenzmodells dargestellt.

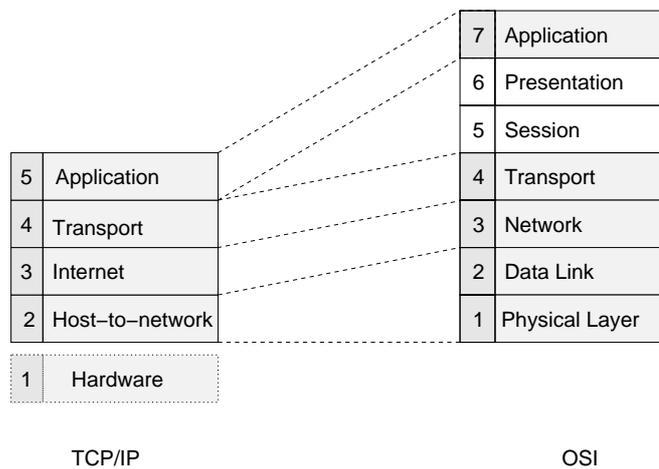


Abb. 1.3. TCP/IP- und ISO/OSI-Referenzmodell im Vergleich

Bevor auf das TCP/IP-Kommunikationsmodell in Abschnitt 4.6 detailliert eingegangen wird, soll hier eine kurze Zusammenfassung der Aufgabenverteilung der einzelnen Protokollschichten angeführt werden. Zum weiterführenden Verständnis der nachfolgenden Kapitel und zur Einordnung der Einzelthemen in den Gesamtkomplex des Schichtenmodells der Kommunikation werden wir kurz die einzelnen Schichten in aufsteigender Reihe, startend mit der untersten Schicht, Revue passieren lassen.

- **Hardware-Layer**

Als unterste Schicht des TCP/IP-Referenzmodells steht die Hardware-schicht, in der der eigentliche Datentransport über ein physikalisches Übertragungsmedium stattfindet. Doch bereits die Festlegung der zur Übertragung notwendigen elektrischen, mechanischen und funktionalen Parameter findet auf der nächsthöheren Ebene statt.

- **Host-to-Network-Layer**

(Auch **Network Interface** oder **Physical Layer**) Grundsätzlich besteht hier die Forderung nach der Bereitstellung einer physikalischen Verbindung und deren kontinuierlicher Betriebsbereitschaft. Es sind also Fragen der Art zu klären, daß auf beiden Seiten, beim Sender als auch beim

Empfänger Übereinkunft darüber besteht, welcher elektrische Wert jetzt einer logischen Eins bzw. einer logischen Null entspricht, welcher Zeitdauer die Übertragung eines einzelnen Bits entspricht, bzw. wie eine Verbindung aufgebaut und wieder beendet wird. Diese Aufgaben entsprechen denen der Bitübertragungsschicht (Physical Layer) im ISO/OSI-Referenzmodell. Zusätzlich bewältigt diese Schicht im TCP/IP-Referenzmodell die Gruppierung des empfangenen Bitstroms in größere logische Einheiten (Datenpakete). Die übertragenen Datenpakete können Mechanismen zur Fehlererkennung bzw. Fehlerkorrektur enthalten und somit auf dieser Ebene einen gesicherten bzw. auch einen ungesicherten Dienst spezifizieren. Darüberhinaus findet eine funktionale Trennung in zwei Aufgabenbereiche statt:

– **Media Access Control (MAC):**

Hier findet die Steuerung des Zugriffs auf das Übertragungsmedium statt. Zu den bekanntesten Implementationen dieser MAC-Protokolle zählen Ethernet, Token Ring oder FDDI.

– **Logical Link Control (LLC):**

Hier findet die Verwaltung der logischen Verbindung einschließlich Fehleranalyse und Flußkontrolle statt.

Dieser Bereich entspricht in seinen Aufgaben der Sicherungsschicht (Data Link Layer) des ISO/OSI-Modells.

• **Internet-Layer**

Ausgehend von einer logischen Adressierung wird in dieser Schicht ein Weg durch das Netzwerk vom Quellrechner zum Zielrechner festgelegt. Unterschiedlichen Kriterien folgend, wie maximaler Durchsatz, geringe Kosten, gleichmäßige Lastenverteilung oder bestmögliche Sicherheit wählt dieser als **Routing** bezeichnete Prozeß einen möglichst günstigen Pfad durch das Netzwerk.

• **Transport-Layer**

In dieser Schicht wird ein universeller Transportservice bereitgestellt, d.h. eine explizit geschaltete Verbindung mit Auf- und Abbaumodalitäten, sowie gesicherten Qualitätskriterien. Dazu zählen Fehlerkorrekturmethode oder die korrekte Anordnung der übertragenen Datenpakete. Datenflußkontrollalgorithmen sorgen für eine gleichmäßige Auslastung der Netzinfrastruktur. Bei Überlastung wird das Übertragungsvolumen entsprechend gedrosselt bzw. bei einem freien Medium wird dieses bis zur Grenze seiner Leistungskapazität ausgeschöpft. Das ISO/OSI-Referenzmodell enthält oberhalb dieser Schicht noch zwei zusätzliche Schichten mit den folgenden Aufgaben:

– **Session-Layer** (Sicherungsschicht):

Hier findet eine Regelung des Dialogablaufs einschließlich einer Synchronisation der Kommunikationsteilnehmer statt.

– **Presentation-Layer** (Darstellungsschicht):

Um Fehlinterpretationen der gesendeten Daten zu vermeiden, findet hier die Umsetzung auf ein einheitliches vordefiniertes Datenformat statt.

Dies ist notwendig, da die an der Kommunikation beteiligten Rechner oft Hardware-bedingt mit unterschiedlichen Datendarstellungsformaten arbeiten. Zusätzlich enthält diese Schicht noch Mechanismen zur Komprimierung und Verschlüsselung von Daten.

- **Application-Layer**

In dieser Schicht werden Funktionen für Anwendungsprogramme als Erweiterung des Netzwerkbetriebssystems zur Verfügung gestellt. Hierunter fallen viele Protokolle, die zur Datenübertragung im Internet große Popularität erlangt haben, wie z.B. FTP (File Transfer Protocol), HTTP (Hypertext Transfer Protocol) oder SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). Die Anwendungen selbst, also z.B. der Email-Client oder der HTML-Browser sind dieser Schicht nicht selbst zuzurechnen. Sie stehen außerhalb der Modellvorstellung und bedienen sich nur der in der Anwendungsschicht zur Verfügung gestellten Funktionalitäten.

Zum Zwecke eines reibungslosen Funktionierens der Netzwerk-Kommunikation fügt jede der beteiligten Schichten den eigentlichen Nutzdaten entsprechende Fluß- und Kontrollinformation mit hinzu. Dadurch wird mit steigender Anzahl der beteiligten Schichten das Verhältnis zwischen Nutz- und Kontrollinformation immer ungünstiger. Die ursprünglich kurze Nachricht kann durch den Overhead an Kontroll- und Verwaltungsinformation derart aufgebläht werden, daß ein hoher Anteil der zur Verfügung gestellten Bandbreite nur für den Transfer dieser Steuerdaten verbraucht wird.

1.1.4 Internet-Dienste und -Anwendungen

Der eigentliche Sinn und Daseinszweck des Internet besteht in den zur Verfügung gestellten **Netzanwendungen**, die auf den Dienstleistungen, die das Internet bereitstellt basieren. Diese Netzanwendungen sind es, die unsere Vorstellung vom Internet prägen und uns die vielen technologischen Kniffe und Details vergessen lassen, die notwendig waren, dieses Netz der Netze ans Laufen zu bringen. Durch sie wird der eigentlichen „Nutzen“ des Internet begründet, da sie dem Nutzer eine Kommunikationsplattform für die verschiedenartigsten Aufgaben zur Verfügung stellen. In den vergangenen drei Jahrzehnten entstand eine Vielzahl von zum Teil wundervollen und heute unverzichtbaren Netzanwendungen, angefangen von einfachen Text-basierten Anwendungen, die bereits zu Beginn der 80er Jahre große Popularität gewannen, über Elektronische Postdienste, Datentransportdienste, den Fernzugriff auf geografisch entlegene Computer bis hin zu privaten Nachrichtenbörsen und Gesprächsrunden.

Die Internetanwendungen basieren alle gemeinsam auf Diensten, die in der obersten Schicht des TCP/IP-Referenzmodells bereitgestellt werden, wobei die Anwendungen selbst nicht Teil dieser Kommunikationsschicht sind, sondern sich lediglich der in ihr angebotenen Dienste bedienen. Die verschiedenen Anwendungen definieren jeweils ihre eigene Protokollsoftware, nach der