

Lernmodul Internettechnologie

Was ist der Inhalt?

In diesem Lernmodul lernen Sie die Internet-Protokollarchitektur und wesentliche Bestandteile des Internetprotokolls kennen. Das begleitende Werkzeug InternetExplorativ ist ein Programm zur Darstellung von Kommunikationsvorgängen mittels der TCP/IP-Architektur zwischen zwei Hosts. Der erläuternde Text innerhalb des Lernmoduls bezieht sich vielfach auf Sachverhalte, die mit dem Werkzeug InternetExplorativ optisch veranschaulicht werden. Abgeschlossen wird das Modul mit einigen Fragen zur Selbstüberprüfung, mit dem Sie Ihren individuellen Lernerfolg selbständig überprüfen können.

Was ist dieses Lernmodul nicht und was wird vom Lerner erwartet?

Dieses Lernmodul stellt keinen Ersatz für die Präsenzlehre dar, sondern ist zur Begleitung von Präsenzveranstaltungen, insbesondere der Vor- und Nachbereitung des Stoffs konzipiert. Vom Lerner wird für ein umfassendes Verständnis der Thematik erwartet, daß er die entsprechende Literatur liest und die thematisch relevanten Lehreinrichtungen besucht. Den Schwerpunkt bildet die TCP/IP-Protokollfamilie. Tangierende Themen, die Kommunikation betreffend, werden nur für ein besseres Gesamtverständnis kurz angeschnitten.

Lernziele

Das Ziel dieses Lernmoduls ist es, die Funktionsweise von Kommunikationssystemen insbesondere am Beispiel der Kommunikation im Internet über TCP/IP grundlegend zu erläutern. Der Lerner soll nach dem Durcharbeiten dieses Moduls in der Lage sein, den strukturellen Ablauf einer Kommunikation im Internet anhand der Protokolle TCP und IP zu erklären. Da dabei auf die wichtigsten Beiträge der Protokolle eingegangen wird, um den Nutzer nicht mit zu vielen Informationen zu belasten und ein schnelles Verstehen zu behindern, wurde auch das Werkzeug InternetExplorativ um die entsprechenden Details abstrahiert. Das Erlernen der weiteren Funktionen und Leistungen der Protokolle sollte nach dem Durcharbeiten und Verstehen dieses Moduls kein größeres Problem mehr darstellen.

Zur Protokollhierarchie des Internet

Wollen in einem Kommunikationssystem die Teilnehmer miteinander kommunizieren und Daten übertragen, müssen sie sich auf Regeln einigen, die beim Austausch von Nachrichten angewendet werden. Eine Menge solcher Regeln wird als Protokoll bezeichnet. Anstelle eines einzigen übergroßen und entsprechend komplexen und nur schwierig zu wartenden Protokolls für alle Einzelheiten aller möglichen Kommunikationsbeziehungen wird das Kommunikationsproblem in Teile zerlegt, für die jeweils einzelne spezifische Protokolle entwickelt werden.

Um zu gewährleisten, daß Protokolle sich in ihrer Funktionalität möglichst gut ergänzen, werden zusammengehörende Reihen oder Familien (Suites) entwickelt. Jedes Protokoll einer solchen Protokollsuite löst bestimmte Teile der gesamten Kommunikationsaufgabe und erst zusammen lösen sie auch das gesamte Problem, wobei zusätzlich eine effiziente Interaktion anzustreben ist.

Eines der wichtigsten Hilfsmittel zur Entwicklung von Protokollsuiten sind Schichtenmodelle. Sie beschreiben jeweils eine Möglichkeit, das Kommunikationsproblem in Schichten aufzuteilen, wobei häufig ein Protokoll die einer Schicht zugeordneten Aufgaben erfüllt. Aus dieser Perspektive bildet eine

Protokollsuite einen sogenannten Protokollstapel oder eine Protokollhierarchie. Die Protokolle des Internet lassen sich in vier Schichten aufteilen und man spricht in diesem Zusammenhang vom TCP/IP-Schichtenmodell. Die im Namen genannten Protokolle TCP (Transmission Control Protocol) sowie IP (Internetprotokoll) sind Bestandteile der derzeitigen Internet-Protokollsuite.

Die Protokolle der untersten Schicht des vierschichtigen TCP/IP-Schichtenmodells sorgen für den Netzanschluß eines Hosts oder Endsystems. Sie wird deshalb auch als Netzzugangsschicht bezeichnet, wobei für verschiedene Hosts und verschiedenartige Netze jeweils unterschiedliche Protokolle eingesetzt werden. Darauf baut dann das Internetprotokoll in der sogenannten Internetschicht (IP-Schicht) auf. Seine Aufgabe ist es, den Hosts zu ermöglichen, Pakete auf jedes beliebige Netz zu geben, und unabhängig an das (potentiell in einem anderen Teilnetz befindliche) Ziel zu befördern. Die Schicht oberhalb der Internetschicht wird als Transportschicht (TCP-Schicht) bezeichnet. Sie dient zur Kommunikation mit den über ihr in der Anwendungsschicht liegenden Anwendungen in den Quell- bzw. Zielhosts.

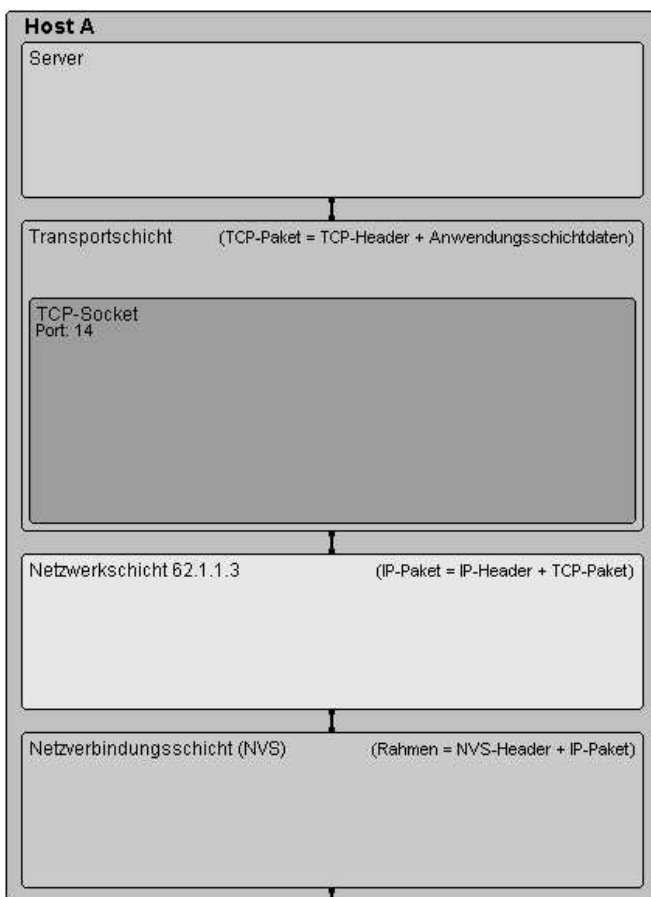


Abbildung: Darstellung der Internetprotokollhierarchie im Programm InternetExplorativ

Weg einer Nachricht durch die Internet-Protokollhierarchie

Für Pakete, die von dem Protokoll der Anwendungsschicht (bspw. FTP oder HTTP) an die Transportschicht übergeben werden, erstellt die Transportschicht im Falle von TCP ein Socket (Steckdose), der die eindeutige Kommunikationsadresse des Quellrechners (inklusive Anwendung) darstellt und immer auf die Zeitdauer der Verbindung beschränkt ist. Der Socket besteht im übertragenen Sinne wie eine Steckdose aus zwei Anschlüssen, der 32 bit langen IP-Adresse und einer 16 bit langen Port- Adresse.

Eine Portnummer identifiziert den Anwendungsprozeß eines Rechners eindeutig und ein Port stellt einen Kommunikationspuffer des Anwendungsprozesses dar. Dort werden die zu übertragenden und empfangenen Daten abgelegt. Die Portnummer wird dabei durch einen Doppelpunkt getrennt hinter die IP-Adresse geschrieben (bspw. 196.100.13.12:80). Die ersten 1024 Ports werden dabei die "Well Known Ports" (allgemein bekannte Ports) genannt, sie sind reserviert und sollten nicht für eigene Anwendungen verwendet werden. Während der Zielport vor der ersten Kontaktaufnahme bekannt sein muß, wird der Quellport von der TCP-Instanz des Senders dynamisch erzeugt und dem Empfänger mitgeteilt.

Die IP-Adresse verweist auf ein IP-fähiges Endgerät (z.B. Ihren Rechner) und die Portnummer auf eine Anwendung (z.B. auf Prozesse Ihres E-Mail-Programms). Die IP-Adresse wird von der Vermittlungsschicht (hier IP) vergeben. Sie ermöglicht durch ihren Aufbau mit Netzwerk- und Hostanteil einen relativ effizienten Weg, den Kommunikationspartner innerhalb des Internets zu finden.

Jedes Protokoll einer Schicht stellt seine Informationen (sogenannte Kontroll- und Steuerinformationen) den empfangenen Daten aus der darüberliegenden Schicht als Kopf (Header) voran. So bilden sich im Laufe der vertikalen Kommunikation von der obersten zur untersten Schicht im Sender und andersherum beim Empfänger verschiedene immer größere schichtenspezifische Datenpakete heraus (PDU, PCI, SDU, ICI, IDU).

Mithilfe von Protokollen werden Dienste ausgeführt. Ein Dienst ist dabei eine Gruppe von Operationen, die eine Schicht einer höheren Schicht ohne Rücksicht auf die Implementation am Dienstzugangspunkt (SAP Service Access Point) zur Verfügung stellt. Ein Protokoll bezieht sich dann auf die Implementation des Dienstes und ist für den Dienstanutzer nicht sichtbar.

Maßnahmen für den geordneten Datentransfer

Das IP-Protokoll bietet dem darüberliegenden Transportprotokoll (im Internet TCP oder UDP) einen verbindungslosen und unzuverlässigen Dienst an. Die einzelnen Pakete werden bei IP "Datagramme" genannt und unabhängig voneinander über das Netz zur Ziel-IP-Adresse geschickt.

Damit die Datagramme im Zielnetz den Zielrechner erreichen können, muß für die IP-Adresse noch die korrespondierende hardwarebasierte MAC-Adresse ermittelt werden, was vom ARP-Protokoll übernommen wird. Machen Sie sich die Unzuverlässigkeit von IP mit InternetExplorativ bewußt, indem Sie einen Rahmen vernichten und sich anschauen, wie IP auf den Verlust des Pakets reagiert.

Das Internettransportprotokoll TCP nutzt eine Reihe von Steuerinformationen, um der Anwendung einen zuverlässigen Transportdienst bieten zu können. Dazu gehören die Sequenz- (Sequence Number) und Quittungsnummer (Acknowledgement Number) zwecks eindeutiger Identifizierung der gesendeten Datensegmente. Die in Senderichtung verschickte Sequenznummer dient der Nummerierung von Datensegmenten und wird vom Sender beim Aufbau einer neuen Verbindung mit einem Wert initialisiert (Initial Sequence Number). Diese wird dann im Zuge des Verbindungsaufbaus vom Empfänger bestätigt. Die Sequenznummer wird jeweils vom Sender immer um die Anzahl der gesendeten Pakete erhöht. Die Quittungsnummer wird vom Empfänger generiert und bestätigt die bereits erhaltenen Datensegmente. Durch die Länge von 32 bit können pro Verbindung bis zu 8 Gigabyte ($2^{32}-1$ Datenpakete) versendet werden.

Zu den weiteren Steuerinformationen des TCP-Headers gehören die Kontroll-Flags (Steuerbits), für die 6 bit im Header vorgesehen sind. Dabei steht das gesetzte ACK-Flag für eine gültige Quittungsnummer, das RST-Flag für einen Wunsch nach Zurücksetzen der Verbindung, das SYN-Flag für einen zu quittierenden Verbindungsaufbauwunsch und das FIN-Flag für einen zu quittierenden einseitigen Verbindungsabbau und das Ende des Datenstroms aus dieser Richtung.

Dafür, daß der Puffer des Empfängers durch das kontinuierliche Senden von Daten durch den Sender nicht überläuft, sorgt die sogenannte Flußsteuerung. Das TCP-Protokoll sieht dafür einen sogenannten Fenstermechanismus vor, der dem Sender

mitteilt, wie viele Bytes noch im Empfangspuffer des Empfängers aufgenommen werden können.

Gehen Daten bei der Übertragung verloren, wird nach Ablauf eines Timeouts erneut die Sendung der fehlerhaften Pakete initiiert.

Die Daten sollen übertragen werden

Bevor Daten mit dem TCP-Protokoll im Internet übertragen werden können, muß erst eine Verbindung aufgebaut werden. Eine Übertragung gliedert sich hierbei in die Phasen Verbindungsaufbau, Datenübertragung und Verbindungsabbau.

Der Verbindungsaufbau findet mittels des 3-Wege-Handschlags (3-Way-Handshake) statt.

Nachdem beim Quellrechner der TCP-Quellport dynamisch erstellt worden ist, wird zum Zielrechner ein Paket mit gesetztem Synchronisationsflag (SYN-Flag), dem Quell- und Zielport und dem Anfangswert für die senderseitige Sequenznummer ISN geschickt. Der Zielrechner beantwortet das Paket mit gesetztem Synchronisations- und Bestätigungsflag (SYN- und ACK-Flag), den beiden Ports und dem Anfangswert der empfängerseitigen ISN. Dabei ist der Wert der Quittungsnummer immer eine Einheit größer als die empfängerseitige ISN des Kommunikationspartners, um anzuzeigen, welches Byte als nächstes vom Teilnehmer erwartet wird. Der letzte Schritt beim 3-Wege-Handshake ist das Verschicken eines Paketes vom die Verbindung initiiierenden Clientrechner mit gesetztem ACK-Flag. Die beiden ISNs sind nunmehr bestätigt und die Teilnehmer synchronisiert, die Übertragung von Daten kann beginnen.

Verfolgen Sie mittels InternetExplorativ genau den Verbindungsaufbau. Schauen Sie sich insbesondere an, wie sich die Sequenz- und Quittungsnummern mit den gesendeten Paketen verändern.

Die Datenübertragung bei TCP findet mit Hilfe des Fenstermechanismus statt. Da IP keine gesicherte Verbindung zur Verfügung stellt, muß TCP selbst für eine entsprechende Fehlerbehandlung sorgen. Dabei wird einfach nach fehlender Bestätigung bei abgelaufenem Timeout das Paket erneut versendet. Der Empfänger kann keine wiederholte Übertragung anfordern. Der Empfänger muß also warten, bis das vorher festgelegte Zeitlimit Maximum Segment Lifetime (MSL) beim Sender abgelaufen ist und dadurch eine erneute Übertragung vorgenommen wird.

Der Verbindungsabbau kann von beiden Seiten initiiert werden.

Da TCP-Verbindungen vollduplex ablaufen, aber als zwei unidirektionale unabhängige Verbindungen realisiert sind, müssen auch beide einzeln nacheinander beendet werden. Allerdings kann die Verbindung auch halboffen gehalten werden, so daß Verkehr weiterhin in eine Datenübertragungsrichtung fließen kann. Die erste gerichtete Verbindung wird mit einem gesetztem FIN-Flag und einem empfängerseitigen ACK-Flag beendet. Die zweite Verbindung wird dann von dem Empfänger der ersten abzubrechenden Verbindung mit einem gesetztem ACK- und FIN-Flag eingeleitet und mit einem ACK-Flag von der Gegenseite bestätigt. Die Verbindung ist nun beendet.

Beobachtung und Analyse der Kommunikation mit dem Ethereal-Monitor

Nachdem in den letzten Abschnitten die wesentlichen Kommunikationsvorgänge bei der Internet-Protokollhierarchie beschrieben worden sind, sei nun die Verwendung eines üblichen Netzwerkmonitors wie dem Programm Ethereal empfohlen. Es gilt die erworbenen Kenntnisse und die Visualisierung mittels InternetExplorativ an einer realen Übertragung zu vertiefen.

Nutzen Sie beispielsweise das Programm Ethereal (www.ethereal.com), um eine Verbindung mit dem Internet oder dem lokalen Netz beobachten und analysieren zu können und versuchen Sie insbesondere die Phasen Verbindungsaufbau, Datenübertragung und Verbindungsabbau zu lokalisieren.

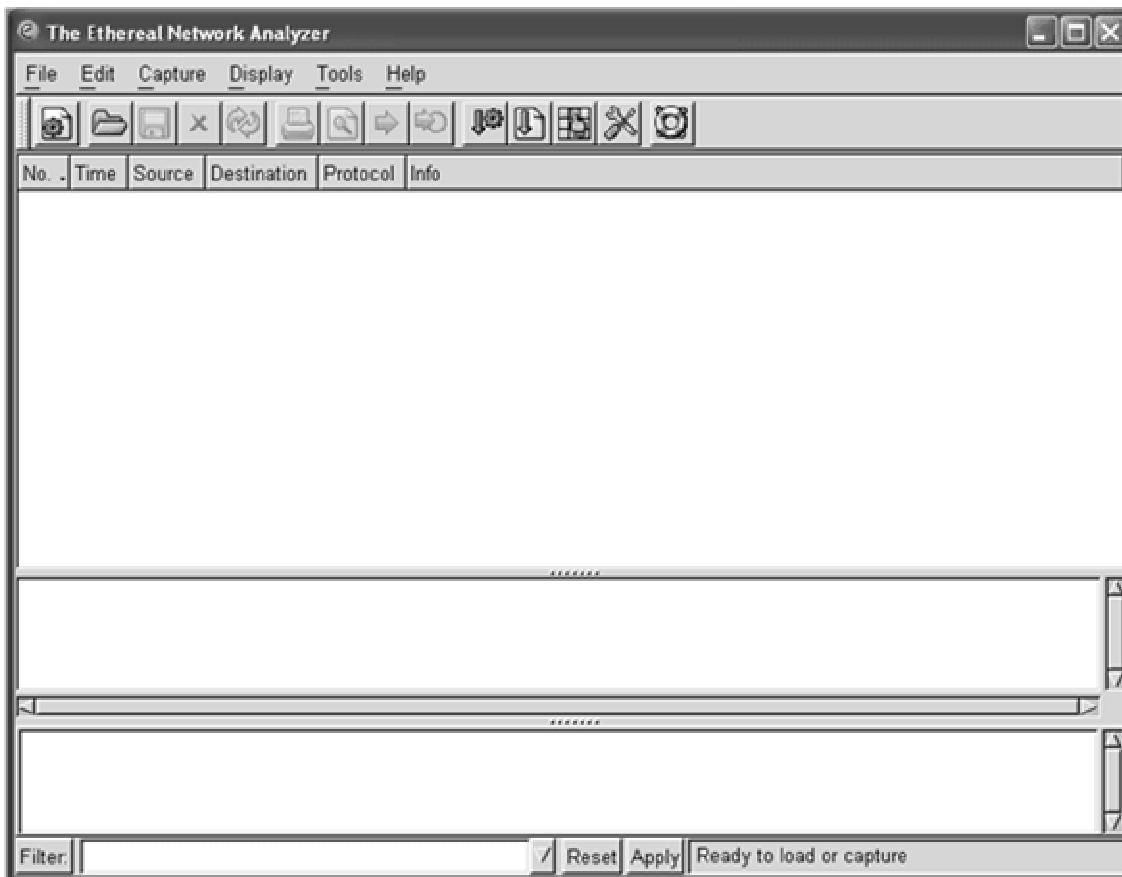


Abbildung: Screenshot des Netzwerkanalyseprogramms Ethereal

Literatur

- * A. Bateman: Digital Communications Addison-Wesley, 1999, 221 S.
- * F. Bergmann, H. J. Gerhardt (Hrsg.): Taschenbuch der Telekommunikation, C. Hanser-Verlag, 1999
- * A. Badach, E. Hoffmann: Technik der IP-Netze, C. Hanser-Verlag, 2001
- * W. Böhmer: VPN - Virtual Private Networks, Hanser, 2002, 367 S.
- * E. Chimi: High-Speed Networking: Konzepte, Technologien, Standards, C. Hanser-Verlag, 1998, 596 S.
- * D. Comer, Computernetzwerke und Internets, 3. Aufl., Prentice-Hall, 2002, 664 S.
- * R. G. Cole, R. Ramaswamy: Wide-Area Data Network Performance Engineering, Artech House Telecommunications Lib., 2000, 417 S.
- * M. Duck, P. Bishop, R. Read: Data Communications for Engineers, Addison-Wesley, 1997
- * De Prycker: Asynchronous Transfer Mode, Prentice-Hall, 1996, 430 S.
- * B. A. Forouzan: TCP/IP Protocol Suite, Mc. Graw-Hill, 2000, 864 S.
- * J. Göbel: Kommunikationstechnik, Grundlagen und Anwendungen, Hüthig-Verlag, 1999, 969 S.
- * R. Greenlaw: Introduction to the Internet for Engineers, Mc. Graw-Hill, 1999
- * F. Halsall: Data Communications, Computer Networks and Open Systems, 4. Aufl., Addison-Wesley, 1996, 907 S.
- * F. Halsall: Multimedia Communications, Addison-Wesley, 2001
- * H.-G. Hegering, S. Abeck, B. Neumair: Integriertes Management vernetzter Systeme: Konzepte, Architekturen und deren betrieblicher Einsatz, dpunkt-Verlag, 1999, 607 S.
- * P. G. Harrison, N. M. Patel: Performance Modeling of Communication Networks and Computer Architectures, Addison-Wesley, 1993
- * E. Herter, W. Lörcher: Nachrichtentechnik, 8. Aufl., C. Hanser-Verlag, 2000
- * W. Heise, P. Quattrocchi: Informations- und Codierungstheorie, 3. Aufl., Springer-Verlag, 1995
- * H. Häckelmann, H. J. Petzold, S. Strahinger: Kommunikationssysteme - Technik und Anwendungen, Springer-Verlag, 2000
- * V. Jung, H.-J. Warnecke: Handbuch für die Telekommunikation, Springer-Verlag, 1998
- * Kerner : Rechnernetze nach OSI (3. Auflage). Oldenbourg-Verlag 1995, 480 S.
- * S. Keshav: An Engineering Approach to Computer Networking, ATM Networks, the Internet, and the Telephone Network, Addison-Wesley, 1997
- * N. Klussmann: Lexikon der Kommunikations- und Informationstechnik, 2. Aufl., Hüthig-Verlag, 2000
- * G. Krüger, D. Reschke (Hrsg.): Lehr- und Übungsbuch Telematik, 2. Aufl., Fachbuchverlag Leipzig C. Hanser, 2002
- * L. Mackenzie: Communications and Networks, Mc. Graw-Hill, 1998, 544 S.
- * Oberschelp/Vossen: Rechneraufbau und Rechnerstrukturen (9. Auflage). Oldenbourg-Verlag 2003, 542 S.

- * C. Partridge: Gigabit Networking, Addison-Wesley Publ. Comp., 1993
- * Petersen: Data & Telecommunications Dictionary. CRC Press 1999, 820 S.
- * L. L. Peterson, B. S. Davie: Computer Networks - A Systems Approach, 2nd ed., Morgan Kaufmann Publ., 2000
- * E. Pehl: Digitale und analoge Nachrichtenübertragung, Hüthig-Verlag, 1998
- * C. Perkins: Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001
- * W. Proebster: Rechnernetze - Technik, Protokolle, Systeme, Anwendungen, 2. Aufl., Oldenbourg-Verlag, 2002
- * R. Ramaswami, K. N. Sivarajan: Optical Networks - A Practical Perspective, Morgan Kaufmann, 2001
- * B. Schürmann: Rechnerverbindungsstrukturen - Bussysteme und Netzwerke, Vieweg-Verlag, 1997, 414 S.
- * J. Schiller: Mobilkommunikation, 2. Aufl., Addison-Wesley, 2003
- * G. Siegmund (Hrsg.): Intelligente Netze, 2. Aufl., Hüthig-Verlag, 2001
- * G. Siegmund: Technik der Netze, 5. Aufl., Hüthig-Verlag, 2002
- * T. Sheldon: Encyclopedia of Networking & Telecommunications, Mc. Graw-Hill, 2001 (incl. CD)
- * W. Stallings: Local and Metropolitan Area Networks, 6th ed., Prentice-Hall, 2000
- * W. Stallings: Wireless Communications and Networks, Prentice-Hall, 2002
- * W. Stallings: High-Speed Networks and Internets - Performance and Quality of Service, 2nd ed., Prentice-Hall, 2002
- * W. Stallings: Data & Computer Communications, 7th ed., Prentice-Hall, 2004
- * R. Steinmetz, K. Nahrstedt: Multimedia - Computing, Communications & Applications, Prentice-Hall, 1995, 854 S.
- * Stevens: TCP/IP illustrated. Vol.1, The Protocols. Addison-Wesley 1994
- * A. S. Tanenbaum: Computer Networks, 4th ed., Prentice-Hall, 2003
- * B. Walke: Mobilfunknetze und ihre Protokolle 1 - Grundlagen, GSM, UMTS und andere zellulare Mobilfunknetze, 3. Aufl., Prentice-Hall, 2002
- * J. Walrand, P. Varaiya: High-Performance Communication Networks, 2nd ed., Morgan Kaufmann, 2002, 693 S.
- * B. Wolfinger: Kommunikationsinfrastrukturen für Intranets: Anforderungen, systemtechnische Voraussetzungen und Probleme ihrer Bereitstellung in unternehmensweiten Netzen, ONLINE'98, Düsseldorf, 1998
- * B. Wolfinger: Characterization of Mixed Traffic Load in Service-Integrated Networks, Systems Science Journal, Vol. 25, No. 2, 1999, S. 65 - 86
- * B. Wolfinger, T. Uhl, W. Halang (Hrsg.): Proc. 2, WAKI/G-IIA-Symposium "Verteilte multimediale Anwendungen und dienstintegrierende Kommunikationsnetze", Flensburg, 1999
- * A. Zenk: Lokale Netze - Die Technik fürs 21. Jahrhundert, 2. Aufl., Addison-Wesley, 2001