



**Fachhochschule
Bonn-Rhein-Sieg
University of Applied Sciences**

**Fachbereich Informatik
Department of Computer Science**

Seminararbeit

Verkehrstheorie, Modellierung und diskrete Simulation

Einfluss von Protokollen auf die Performance von Kommunikationsnetzen

(CSMA/CD, ALOHA, Token Passing, Slotted Protocols)

von
Jens Mahnke
3. Oktober 2006



1 Abstract

Die vorliegende Seminararbeit wurde im Rahmen der Veranstaltung „Verkehrstheorie, Modellierung und diskrete Simulation“ im Master-Studiengang Computer Science erstellt. Sie behandelt den Einfluss von Mehrfachzugriffsprotokollen auf den Durchsatz von Kommunikationsnetzen. Dazu werden zum einen das Problem der Kanalzuordnung in Netzen mit gemeinsam genutztem Medium betrachtet und zum anderen Protokolle, welche diesen Mehrfachzugriff auf ein gemeinsames Medium ermöglichen, untersucht.

Zuerst werden die grundlegenden Kanalzuordnungen bei Netzen mit einem gemeinsam genutzten Medium dargestellt. Im Anschluss werden die zu untersuchenden Protokolle beschrieben und anhand der Kanalzuordnung klassifiziert. Zum Abschluss wird der Performanceeinfluss auf den Durchsatz bzw. der Kanalauslastung des Netzes anhand der Protokolle ALOHA, CSMA/CD, Token-Passing und Slotted Protokolls näher betrachtet.

2 Verfahren zur Kanalzuordnung

Netze können in zwei Kategorien eingeteilt werden: Punkt-zu-Punkt-Verbindungen und Netze mit Broadcast-Kanälen. Diese Arbeit behandelt nur Netze mit Broadcast-Kanälen, da bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen immer ein Kanal zur Kommunikation von zwei Stationen exklusiv geschaltet wird. Die Kommunikationspartner in Broadcast-Netzen müssen um den Zugriff auf das gemeinsam genutzte Medium konkurrieren. Es werden zwei Kanalzuordnungen unterschieden: Statische und dynamische Kanalzuordnung. [Tanenbaum 1996]

2.1 Statische Kanalzuordnung

Die statische Kanalzuordnung bezeichnet die Aufteilung eines physikalischen Kanals auf N verschiedene logische Kanäle. Diese N logischen Kanäle können dann von N Benutzern unabhängig zur Kommunikation verwendet werden. Dazu wird z. B. das verfügbare Frequenzband in N Frequenzen aufgeteilt und jedem Benutzer genau eines zugewiesen. Daraus lässt sich direkt erkennen, dass die verfügbare Bandbreite auf alle Benutzer aufgeteilt wird und so jeder nur noch $1/N$ der verfügbaren Bandbreite nutzen kann. Der Vorteil ist, dass bei dieser Kanalzuordnung keine Kollisionen auftreten können. Der Nachteil hingegen ist, dass jedem Benutzer ein fester Anteil der Bandbreite zur Verfügung steht, auch wenn er zu einer bestimmten Zeit der einzige im Netz ist der kommunizieren will. Diese Art der Kanalzuordnung wird in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet und wurde nur wegen der Vollständigkeit erwähnt. [Tanenbaum 1996]

2.2 Dynamische Kanalzuordnung

Die dynamische Kanalzuordnung bezeichnet die Zuordnung eines Kanals zur Sendezeit zu einer Station im Netz. Das bedeutet, dass das Medium für die Zeit der Sendung einer Station exklusiv zur Verfügung gestellt wird. Diese Zuordnung des Kanals kann deterministisch oder stochastisch erfolgen. Bei der deterministischen Zuordnung, weiß eine Station, dass nach einer bestimmten Wartezeit wieder gesendet werden kann. Im Gegensatz dazu kann bei der stochastischen Zuordnung nur die Wahrscheinlichkeit für den nächsten Mediumszugriff bestimmt werden. Die Kanalzuordnung kann weiterhin durch die Behandlung von Kollisionen unterschieden werden. Bei der Kollisionsentdeckung werden auftretende Kollisionen erkannt und ein Algorithmus zur Kollisionsbe-



ung aufgerufen. Bei der Kollisionsvermeidung, wird der Zugriff auf das Medium z.B. mit Hilfe eines Sende-Tokens gesteuert und so Kollisionen verhindert. [Tanenbaum 1996]

3 Mehrfachzugriffsprotokolle

In diesem Kapitel werden die untersuchten Mehrfachzugriffsprotokolle ALOHA, CSMA/CD und Token-Passing kurz vorgestellt.

3.1 ALOHA

Das ALOHA-Protokoll wurde im Jahr 1970 von Norman Abramson an der Universität von Hawaii entwickelt. Beim ALOHA handelt es sich um eine dynamische, stochastische Kanalzuordnung. Es existiert in zwei Versionen: Reines ALOHA (von 1970) und slotted ALOHA (von 1972). Prinzipiell senden die Stationen zu einem zentralen Konten im Netz, welcher die Nachrichten an alle Stationen Broadcastet.

Beim reinem ALOHA sendet jede Station sobald Daten vorliegen (kontinuierlich), vgl. Abb. 1. Beim slotted ALOHA darf eine Station nicht direkt senden, sondern nur zu bestimmten Zeitpunkten (diskret). Die Sendestartzeiten sind für alle Stationen im ALOHA-Netz gleich, vgl. Abb. 1, weshalb alle Stationen synchronisiert werden, um die Zeitschlitze zu realisieren. [Tanenbaum 1996], [Peterson 2000].

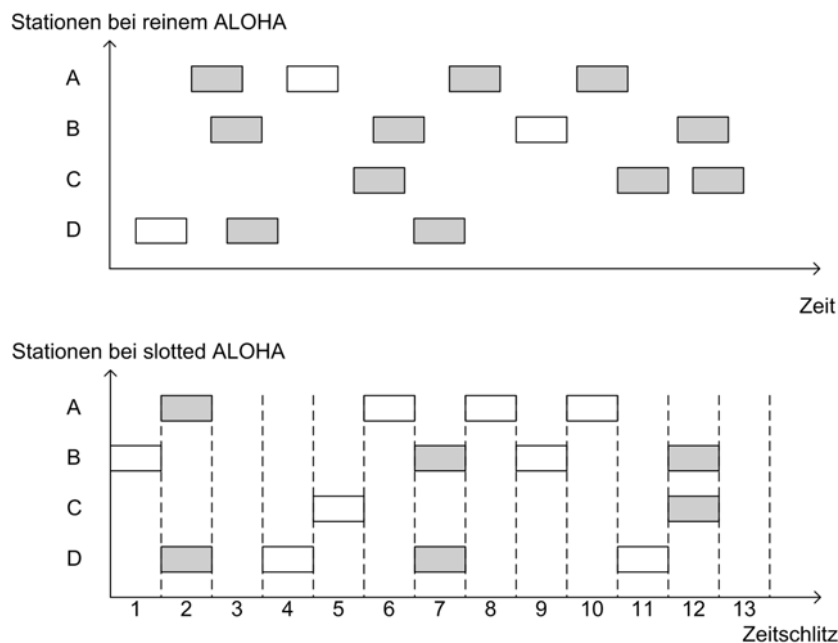


Abb. 1 Reines und slotted ALOHA im Vergleich (grau = Kollision), nach [Tanenbaum 1996], [Peterson 2000]

Wie aus Abb. 1 ersichtlich ist, kommt es bei beiden Varianten des ALOHA-Protokolls zu Kollisionen, die die gesendeten Rahmen zerstören. Daher prüft der Sender einer Nachricht den Broadcast Kanal, ob seine Nachricht kollisionsfrei übertragen wurde und wiederholt die Sendung nach einer zufälligen Wartezeit, wenn eine Kollision aufgetreten ist.

Beim pure ALOHA treten komplette und partielle Kollisionen auf, weshalb eine sendewillige Station zwei freie Rahmenzeiten benötigt um kollisionsfrei zu senden. Dagegen wird beim slotted ALOHA nur eine freie Rahmenzeit zur kollisionsfreien Übertragung

benötigt, nämlich der Zeitschlitz, in dem gesendet wird, vgl. Abb. 1. [Tanenbaum 1996]

3.2 CSMA/CD

Das CSMA (Carrier Sense Multiple Access) beschreibt eine erweitertes ALOHA Protokoll. Dazu wurde das ALOHA um das Carrier Sense (CS) erweitert. CS verpflichtet die Stationen im Netz das Medium vor jeder Sendung zu überprüfen und darf nur bei einem freien Medium sofort mit der Sendung beginnen. Wenn das Medium belegt ist, hört die Station solange am Medium bis es frei wird und sendet dann sofort. Dies wird auch als 1-Persistentes CSMA/CD bezeichnet und meint, dass mit einer Wahrscheinlichkeit $p=1$ bei der nächsten Möglichkeit gesendet wird. Im Gegensatz dazu existiert noch das non-persistent CSMA, wobei nach der Detektierung eines belegten Mediums erst eine zufällige Zeit gewartet wird, bis das Medium erneut überprüft wird. Wenn nun aber mehrere Stationen zur gleichen Zeit das Medium abhören und somit zeitgleich mit einer Sendung beginnen, kommt es zu einer Kollision.

CSMA/CD ist eine dynamische, stochastische Kanalzuordnung.

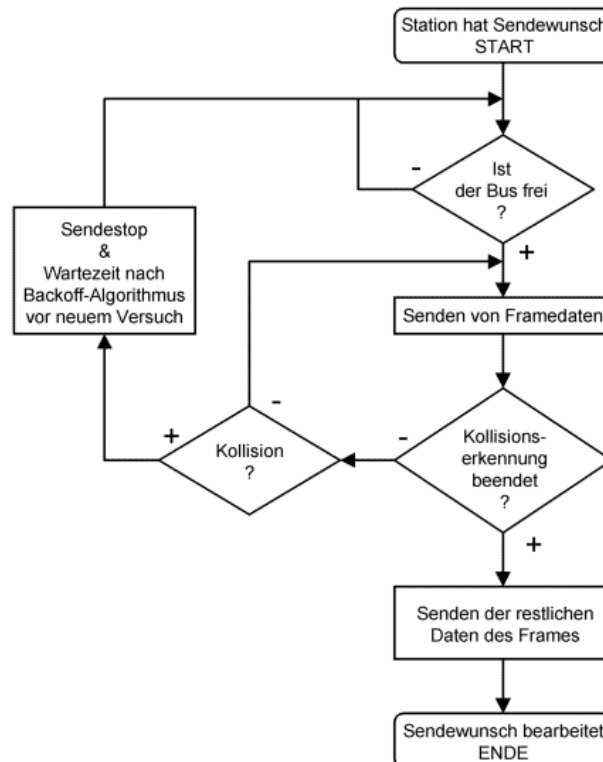


Abb. 2 CSMA/CD-Verfahren im Ethernet als Ablaufdiagramm, nach [Tanenbaum 1996]

Eine zusätzliche Erweiterung des CSMA-Verfahrens zur Senkung der Kollisionen ist das p -persistente CSMA. Wenn die sendewillige Station einen freien Kanal detektiert, sendet sie mit einer Wahrscheinlichkeit p . Mit einer Wahrscheinlichkeit von $q = 1 - p$ wartet die Station mit der Sendung bis zum nächsten Zeitschlitz. Die p -Persistente Version des CSMA kann als guter Kompromiss zwischen dem non-persistenten und dem 1-Persistenten CSMA bezeichnet werden. Problematisch bleibt bei allen Versionen die auf Wahrscheinlichkeit basierende Kanalzuordnung, da eine sendewillige Station im Worst-Case sehr lange warten muss bis die Sendung abgeschickt werden kann, vgl. [Tanenbaum 1996].



Keine Version des CSMA schützt das Netz vollständig vor Kollisionen, weshalb das CSMA um die Collision Detection (CD), zum CSMA/CD erweitert wurde. Dies verpflichtet die Stationen das Medium während ihrer eigenen Sendung abzuhören. Beim Erkennen einer Kollision wird die Sendung sofort abgebrochen und ein Jam-Signal ausgesendet um die anderen Stationen über die Kollision zu informieren. Um Kollisionen auf dem Medium zu erkennen muss eine Sendung im Netz mindestens zwei mal die Verzögerung des Netzes lang senden, da erst dann sichergestellt ist, dass jede Kollision erkannt wird. Der prinzipielle Ablauf des CSMA/CD ist in Abb. 2 als Ablaufdiagramm dargestellt. [Tanenbaum 1996], [Peterson 2000].

3.3 Token-Passing

Das Token-Passing ist eine dynamische, deterministische Kanalzuordnung. Eine sendewillige Station muss mit der Sendung so lange warten bis sie das Sende-Token erhält und kann dann den gesamten physischen Kanal für die Sendung benutzen. Daher sind alle anderen Stationen für die Sendezeit blockiert. Über die Token-Haltezeit kann eingestellt werden, wie lange eine Station ununterbrochen senden darf, bevor sie das Sende-Token an die nächste Station weitergeben muss. Das Token-Passing wird z.B. im Token-Ring bzw. -bus und FDDI (Fiber Distributed-Data-Interface) eingesetzt. Beim Token-Ring wird das Frei-Token erzeugt, wenn der Paketkopf wieder beim Sender angekommen ist, dagegen wird es beim FDDI direkt an ein gesendetes Paket angehängt.

Eine Station muss nach einer Sendung maximal $(N-1) * \text{Token-Haltezeit}$ warten, bis eine neue Sendung gestartet werden kann (mit $N = \text{Anzahl der Stationen}$). Da immer nur eine Station sendeberechtigt ist kann es zu keinen Kollisionen kommen. Wenn jedoch der Sende-Token verloren geht kann keine Station mehr senden. Um das Netz bei einem Tokenverlust in Betrieb zu halten, kann eine Masterstation konfiguriert werden, die nach einer gewissen Zeit ohne Token ein neues Sende-Token generiert. [Tanenbaum 1996], [Peterson 2000].

4 Performanceeinfluss von Mehrfachzugriffsprotokollen

In diesem Kapitel wird der Einfluss der vorgestellten Protokolle auf den Durchsatz im Netzwerk bestimmt.

4.1 ALOHA

Die Annahmen für das ALOHA-Modell sind, dass immer Rahmen gleicher Länge (1 Zeiteinheit) gesendet werden und unendlich viele Benutzer Rahmen erzeugen. Weiterhin wird definiert, dass der Durchsatz mit S (erfolgreiche Übertragungen) und der Gesamtverkehr mit G bezeichnet werden. Der Gesamtverkehr setzt sich aus neuen und wiederholten Übertragungen aus Kollisionen zusammen. Das ALOHA Modell wird auf Basis von [Spaniol 2001] modelliert und entspricht einem Poissonprozess mit der Rate G , also:

$$P(k \text{ Übertragungen in } t \text{ Rahmen-Zeiten}) = \frac{(Gt)^k}{k!} * e^{-Gt}$$

Somit ergibt sich für den Durchsatz von pure ALOHA, mit $S=G * P(\text{keine Übertragung in } 2 \text{ Rahmenzeiten})$, vgl. Kapitel 3.1:



$$S_{pure} = G * \frac{(2 * G)^0}{0!} * e^{-2G} = G * e^{-2G}$$

Und für den Durchsatz von slotted ALOHA, mit $S=G \cdot P$ (keine Übertragung in 1 Rahmenzeit), vgl. Kapitel 3.1:

$$S_{slotted} = G * \frac{(1 * G)^0}{0!} * e^{-G} = G * e^{-G}$$

Aus Abb. 3 ergibt sich die maximale Übertragungsleistung für das pure ALOHA für $G=0,5$, mit einem maximalen Durchsatz $S = \frac{1}{2e} = 0,184$. Dies entspricht einer Kanalbelegung von maximal 18% beim reinem ALOHA, vgl. dazu Abb. 3.

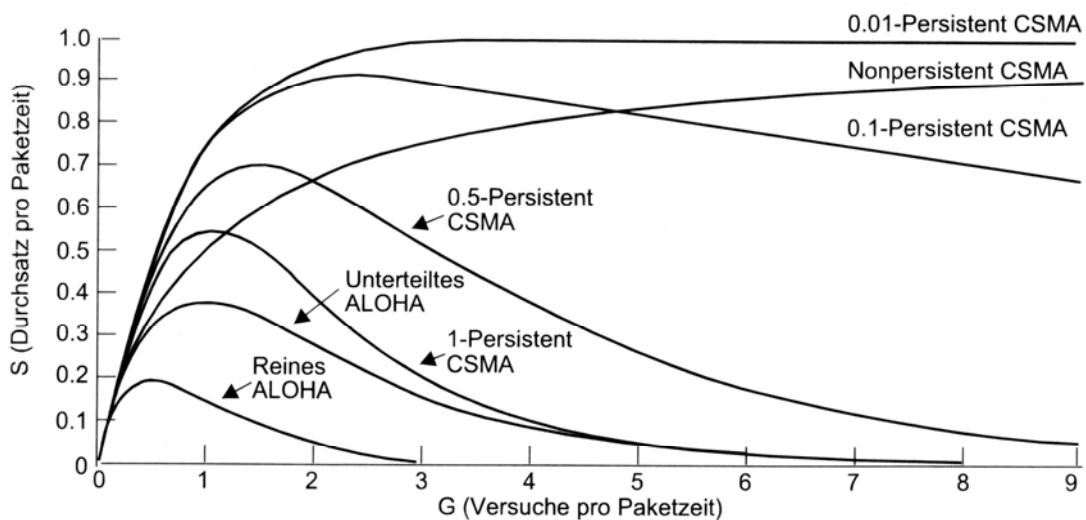


Abb. 3 Vergleich der Kanalauslastung mit der Verkehrslast bei verschiedenen zufallsgesteuerten Protokollen, aus [Tanenbaum 1996]

Da sich die Anzahl der Kollisionen durch die Nutzung von slotted ALOHA halbiert, hat dies auch einen Einfluss auf die maximale Übertragungsleistung. Wie in Abb. 3 leicht ersichtlich ist, hat das slotted ALOHA sein Maximum bei $G=1$ und dabei einem Durchsatz von $S = \frac{1}{e} = 0,37$. Dies entspricht einer Kanalbelegung von maximal 37%. [Spaniol 2001], [Tanenbaum 1996], [Friderikos 2001].

4.2 CSMA/CD

Für die Betrachtung des einfachen CSMA/CD Protokolls wird nach [Stallings 1994] modelliert. Das Netz bzw. der Bus besteht aus N Rechnern, wobei jeder Rechner mit einer gleichen Wahrscheinlichkeit P ein Datagramm der Länge I sendet. Für dieses Modell wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit P und die Datagrammlänge I für alle Rechner im Netz gleich ist. Für die Stationen im Netz stellt sich eine Übertragung als erfolgreich oder als Kollision bzw. nichts gesendet dar. Die Zeit in der Kollisionen bzw. nichts gesendet wird ist die „Contention Zeit“. Daraus folgt direkt der Durchsatz:



$$S = \frac{1}{1 + \text{Durchschnittliche_Contention_Zeit}}$$

Innerhalb der Slotzeit ($d = 2 \cdot a$) werden Kollisionen erkannt. Daher dauert eine Übertragung nach [Stallings 1994] $T = \frac{1}{2a}$. Nun kann die Wahrscheinlichkeit A_p bestimmt werden, mit der ein Rechner eine kollisionsfreien Rahmen versenden kann. Die Wahrscheinlichkeit A_p ergibt sich dann aus der Binomialverteilung:

$$A_p = \binom{N}{1} * P^1 * (1 - P)^{N-1} = N * P * (1 - P)^{N-1}$$

Die Funktion A_p hat ihr Maximum an der Stelle $P=1/N$, was für die Vereinfachung der Formel genutzt wird:

$$A = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1}$$

Sei \bar{P}_i nun die Wahrscheinlichkeit, dass i Slots nacheinander folgen, in denen keine Kollisionen stattfinden, bzw. kein Rechner sendet. Daraus ergibt sich:

$$\bar{P}_i(A) = \binom{i}{i} * (1 - A)^i * (1 - (1 - A))^{i-i} = (1 - A)^i$$

Um nun die Wahrscheinlichkeit $P_i(A)$ des Kollisionszyklus abschätzen zu können, wird der Zyklus betrachtet, in dem i aufeinander folgende Slots mit Kollisionen auftreten, bzw. keine Übertragung stattfindet und dann eine Übertragung folgt. Die Wahrscheinlichkeit für eine Übertragung ist A , da diese Ereignisse unabhängig sind ergibt sich:

$$P_i(A) = \bar{P}_i(A) * A = (1 - A)^i * A$$

Nun wird die mittlere Länge E , in denen Kollisionen auftreten, abgeschätzt. Es wird dabei über alle auftretenden Kollisionszyklen gemittelt:

$$E = \sum_{i=1}^{\infty} i * P_i(A) = \sum_{i=1}^{\infty} i * (1 - A)^i * A$$

Die so erhaltene Summe konvergiert nach [Stallings 1994] gegen: $E = \frac{1 - A}{A}$

Daraus ergibt sich der normierte Durchsatz S , indem die Übertragungszeit in Relation zum Zyklus aus Übertragungs- (T) und Kollisionszeit (E) gesetzt wird:

$$S = \frac{\frac{1}{2a}}{\frac{1}{2a} + \frac{1 - A}{A}} = \frac{1}{1 + 2a \frac{1 - A}{A}}$$

[Stallings 1994]

Beim Einsatz des p-Persistenten CSMA/CD (siehe Kapitel 3.2) stellt sich die Frage nach der Wahl eines geeigneten p . Wenn N Stationen senden möchten, aber das Medi-



um belegt ist, folgt, dass $N \cdot p$ Stationen es im nächsten Zeitschlitz erneut versuchen. Es muss also garantiert werden, dass $N \cdot p < 1$ ist, da sonst eine Kollision im nächsten Zeitschlitz stattfindet, vgl. [Friderikos 2001]. Ein Vergleich der „x“-persistenten CSMA/CD Protokollversionen kann der Abb. 3 entnommen werden. Dort kann auch der maximal erreichbare Durchsatz abgelesen werden. [Tanenbaum 1996], [Peterson 2000].

4.3 Token-Passing

Die Performance des Token-Passing hängt nach [Stallings 1994] von drei Größen ab: Die gemittelte Zeit, die das Frei-Token von einer Station zur nächsten benötigt (T_1) und die mittlere Übertragungszeit eines Datenpakets (T_2), dabei wird davon ausgegangen, dass alle zu sendende Datenpakete die gleiche Länge (d) haben. Weiterhin ist die Länge des Rings in Bit (L) von Bedeutung, dies entspricht dann der Verzögerung im Ring. Aufgrund dieser Parameter ergibt sich die Zeit in der Daten gesendet werden durch:

$$U = \frac{T_2}{T_2 + T_1}$$

Nun wird die normierte Paketlänge (a) über die Ringgröße in Bit (L) und der Datenpaketlänge (d) bestimmt:

$$a = \frac{d}{L}$$

Da das Frei-Token erst nach Eintreffen des Paketkopfes beim Sender erzeugt wird, führt dies zu einer Fallunterscheidung. Der erste Fall bezieht sich auf Datenpakete, die kürzer als die Ringgröße L sind ($a < 1$), der zweite Fall auf Pakete die länger als die Ringgröße L sind ($a > 1$). Damit ergibt sich für N Stationen im Ring die normierte Übertragungsleistung U durch (für T_2 normiert auf 1):

$$U = \begin{cases} \frac{1}{1 + a/N} & a < 1 \\ \frac{1}{a \cdot (1 + 1/N)} & a > 1 \end{cases}$$

5 Zusammenfassung

Generell lässt sich festhalten, dass die Effizienz der Zugriffsverfahren, die auf Token-Passing basieren, hoch ist, wenn alle Stationen gleichverteilt Daten zu senden haben. Für den Fall, dass einige wenige Stationen einen Großteil der Bandbreite benötigen, sinkt die Effizienz, da sehr viel Übertragungszeit für das Token-Passing an die Stationen verbraucht wird, obwohl diese keine Daten zu übertragen haben. In diesem Fall sind Verfahren mit zufälliger Kanalzuordnung effizienter.



Literaturverzeichnis

[Friderikos 2001] Friderikos, Vasilis: Multi-access Protocols, Course Lecture. Centre of Telecommunications Research, King's College London. University of London, 2001.

<http://www.ctr.kcl.ac.uk/lectures/vasilis/Course/Multi-access%20Protocols.pdf>

[Peterson 2000] Peterson, Larry L.; Davie, Bruce: Computernetze, Ein modernes Lehrbuch. 1. Auflage, Dpunkt.verlag GmbH, 2000.

[Siegmond 2002] Siegmond, Gerd: Technik der Netze. 5. Auflage, Hüthig Verlag Heidelberg, 2002.

[Spaniol 2001] Spaniol, O.; Günes, M.: Modellierung und Bewertung von Kommunikationssystemen, Skript zur Vorlesung. 1. Auflage, Wissenschaftsverlag Mainz in Aachen, 2001.

[Stallings 1994] Stallings, W.: Data and Computer Communications. McMillan Publishing Company, 4. Auflage, 1994.

[Tanenbaum 1996] Tanenbaum, Andrew S.: Computernetzwerke, 3. revidierte Auflage. Prentice Hall, 1996.