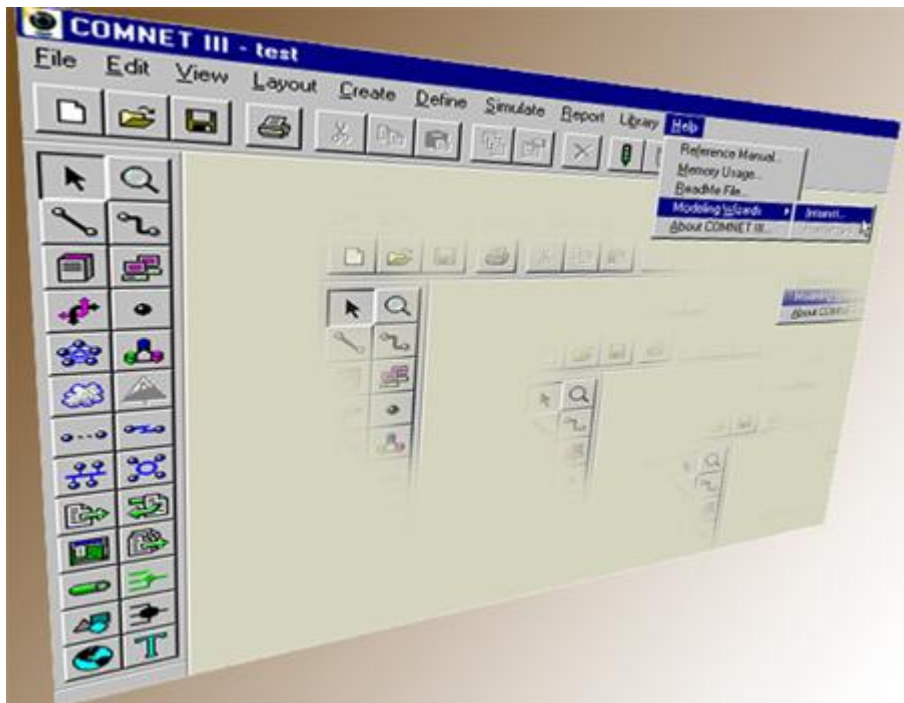


Leistungsbewertung von Kommunikationsnetzen

Andreas Neumahr, 804565
Fachhochschule Kaiserslautern
Fachbereich Elektrotechnik



Betreuer: Prof. Dr. Norbert Diehl
Kaiserslautern, 15. Oktober 2000

Abstract

Diese Ausarbeitung behandelt das Thema „Leistungsbewertung von Kommunikationsnetzen“. In Kapitel 2 werden die stochastischen Grundlagen vorgestellt, Kapitel 3 zeigt einen Überblick über gängige Warteschlangen und Kapitel 4 verknüpft diese zu Queueing Networks. Die Basis dieser Diplomarbeit bildet das Netzwerk-Simulationstool COMNET III. Dieses wird in Kapitel 5 vorgestellt und in Kapitel 6 zum ersten mal angewendet. Kapitel 7 befasst sich mit dem ISO-OSI Basis Referenz Modell und im folgenden Kapitel wird TCP/IP erläutert Kapitel 9 und 10 befasst sich mit der Kollisionsdomäne Ethernet und Kapitel 11 stellt den Einsatz eines Proxy-Servers zur Verbesserung der Web Performance vor.

Inhaltsverzeichnis

1	NETZWERKPLANUNG – NOTWENDIG ODER NICHT?	9
2	GRUNDLAGEN AUS DER STATISTIK	11
2.1	GRUNDELEMENTE DER WAHRSCHEINLICHSRECHNUNG	11
2.2	WICHTIGE VERTEILUNGEN	12
2.2.1	<i>Diskrete Verteilungen</i>	12
2.2.1.1	Bernoulli-Verteilung	12
2.2.1.2	Geometrische Verteilung	13
2.2.1.3	Poisson-Verteilung	14
2.2.2	<i>Stetige Verteilungen</i>	15
2.2.2.1	Exponential-Verteilung	15
3	WARTESCHLANGEN	16
3.1	CHARAKTERISTIKUM EINER WARTESCHLANGE	16
3.2	KENDALL-NOTATION	18
3.3	LITTLE’S LAW	20
3.4	ELEMENTARE WARTESCHLANGENSYSTEME	22
3.4.1	<i>M/M/1 – System</i>	22
3.4.2	<i>M/M/m – System</i>	27
3.4.3	<i>M/M/1/K – System</i>	30
3.4.4	<i>M/G/1 – System</i>	35
4	WARTESCHLANGENNETZE – QUEUEING NETWORKS	40
4.1	OFFENE WARTESCHLANGENNETZE – OPEN QUEUEING NETWORKS	40
4.2	GESCHLOSSENE WARTESCHLANGENNETZE – CLOSED QUEUEING NETWORKS	44
4.2.1	<i>Mittelwertanalyse – Mean Value Analysis, MVA</i>	48
5	COMNET III	53
5.1	COMNET III TOOLPALETTE	55
6	VERGLEICH DER DREI SYSTEME M/M/1, M/D/1 UND D/D/1	56
6.1	DAS MATHCAD-FILE	58
6.2	DIE SIMULATION	59
6.2.1	<i>Auswertung der Simulation</i>	65
7	ISO-OSI BASIS REFERENZ MODELL	72
7.1	OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION, OSI	72
7.2	DAS OSI-ENVIRONMENT	73
7.3	DAS SCHICHTENMODELL	74
7.4	DATENÜBERMITTLUNG IM OSI-BRM	75
7.5	DIENSTE	77
7.5.1	<i>Diensttypen</i>	77
7.5.2	<i>Dienstgruppen</i>	78
7.6	DIE SCHICHTEN DES OSI-BRM	78

7.6.1	<i>Schicht 1: Bitübertragungsschicht (Physical layer)</i>	78
7.6.2	<i>Schicht 2: Sicherungsschicht (Data link layer)</i>	80
7.6.3	<i>Schicht 3: Vermittlungsschicht (Network layer)</i>	81
7.6.4	<i>Schicht 4: Transportschicht (Transport layer)</i>	81
7.6.5	<i>Schicht 5: Kommunikationssteuerungsschicht (Session layer)</i>	82
7.6.6	<i>Schicht 6: Darstellungsschicht (Presentation layer)</i>	82
7.6.7	<i>Schicht 7: Anwendungsschicht (Application layer)</i>	83
8	DAS TCP/IP REFERENZMODELL	84
8.1	DIE GESCHICHTE VON TCP/IP	84
8.2	TCP/IP ÜBERSICHT	85
9	ETHERNET	88
9.1	DIE GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG	88
9.2	DER HEUTIGE STAND.....	89
9.3	CSMA.....	90
9.3.1	<i>non-persistent CSMA</i>	90
9.3.2	<i>1-persistent CSMA</i>	90
9.3.3	<i>p-persistent CSMA</i>	90
9.4	CSMA/CD.....	91
9.4.1	<i>Leistungsbewertung von CSMA/CD</i>	94
10	SIMULATION CSMA/CD	99
11	LEISTUNGSBEWERTUNG EINES PROXY SERVERS	112
11.1	WORKLOAD CHARACTERISATION	113
11.2	SIMULATION EINES NETZWERKS OHNE PROXY-SERVER	115
11.3	SIMULATION MIT PROXY-SERVER	119
12	RESÜMEE	126
13	ANHANG	127
13.1	REPORT FILES ZU PUNKT 6: VERGLEICH DER DREI SYSTEME M/M/1, M/D/1 UND D/D/1	127
13.1.1	<i>Report files M/M/1</i>	127
13.1.2	<i>Report files M/D/1</i>	139
13.1.3	<i>Report files D/D/1</i>	148
13.2	REPORT FILES ZU PUNKT 10: SIMULATION CSMA/CD	157
13.3	REPORT FILES ZU PUNKT 11.2: SIMULATION EINES NETZWERKS OHNE PROXY-SERVER 190	190
13.4	REPORT FILES ZU PUNKT 11.3: SIMULATION MIT PROXY SERVER	202
14	GLOSSAR	227
15	LITERATURVERZEICHNIS	239
16	INDEX	244

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2-1: GEOMETRISCHE VERTEILUNG 13

ABBILDUNG 2-2: POISSON-VERTEILUNG 14

ABBILDUNG 2-3: EXPONENTIAL-VERTEILUNG ($\lambda=1$) 16

ABBILDUNG 3-1: MODELL EINER WARTESCHLANGE 16

ABBILDUNG 3-2: BLACKBOX EINES WS-MODELLS 20

ABBILDUNG 3-3: AUFBAU DER WS-BLACKBOX 21

ABBILDUNG 3-4: SCHEMA DES GEBURTS-TODESPROZESS 22

ABBILDUNG 3-5: ZUSTANDSÜBERGANGSGRAPH DES GEBURTS-TODESPROZESS 22

ABBILDUNG 3-6: ZUSTANDSÜBERGANGSGRAPH DES GEBURTS-TODESPROZESS MIT
 KONSTANTEN RATEN 24

ABBILDUNG 3-7: M/M/M – MODELL 27

ABBILDUNG 3-8: GEBURTS-TODESPROZESS DES M/M/M-SYSTEMS 27

ABBILDUNG 3-9: M/M/1/K – MODELL 30

ABBILDUNG 3-10: GEBURTS-TODESPROZESS DES M/M/1/K - SYSTEMS 30

ABBILDUNG 3-11: VERGLEICH M/M/1 UND M/G/1 MIT VARIATIONSKOEFFIZIENT $VC[S]>1$... 38

ABBILDUNG 3-12: VERGLEICH M/M/1 UND M/G/1 MIT VARIATIONSKOEFFIZIENT $VC[S]=1$... 39

ABBILDUNG 3-13: VERGLEICH M/M/1 UND M/G/1 MIT VARIATIONSKOEFFIZIENT $VC[S]<1$... 39

ABBILDUNG 4-1: FEED-FORWARD QUEUEING NETWORK 40

ABBILDUNG 4-2: OFFENES WARTESCHLANGENNETZ VOM JACKSON-TYP 42

ABBILDUNG 4-3: GESCHLOSSENES WARTESCHLANGENNETZ 45

ABBILDUNG 5-1: COMNET III TOOLBAR 55

ABBILDUNG 6-1: COMNET III – MODELL FÜR DAS M/M/1, DAS M/D/1 UND DAS D/D/1 -
 SYSTEM 56

ABBILDUNG 6-2: EINSTELLUNG DER ZWISCHENANKUNFTSZEIT FÜR DAS M/M/1-MODELL 59

ABBILDUNG 6-3: EINSTELLUNG DER MESSAGE SIZE FÜR DAS M/M/1-MODELL 60

ABBILDUNG 6-4: EXPONENTIALVERTEILUNG DER MESSAGE SIZE (125 BYTES) 60

ABBILDUNG 6-5: AUSWÄHLEN EINES POINT-TO-POINT LINK 61

ABBILDUNG 6-6: EINSTELLEN DER VERBINDUNGSKAPAZITÄT 61

ABBILDUNG 6-7: FESTLEGEN DER VERBINDUNGSART 62

ABBILDUNG 6-8: RANGFOLGE FESTLEGEN 62

ABBILDUNG 6-9: MENÜPUNKT SELECT REPORTS 63

ABBILDUNG 6-10: AUSWÄHLEN DER REPORTS 63

ABBILDUNG 6-11: STATISTIC REQUEST WINDOW 64

ABBILDUNG 6-12: RUN PARAMETERS 64

ABBILDUNG 6-13: MESSAGE DELAY BEI 30 % AUSLASTUNG DES M/M/1-SYSTEMS 66

ABBILDUNG 6-14: MESSAGE DELAY BEI 90 % AUSLASTUNG DES M/M/1-SYSTEMS 67

ABBILDUNG 6-15: AUFTRÄGE IN DER WARTESCHLANGE BEI 30 % AUSLASTUNG 68

ABBILDUNG 6-16: AUFTRÄGE IN DER WARTESCHLANGE BEI 90 % AUSLASTUNG 70

ABBILDUNG 6-17: MESSAGE DELAY BEI 110 % AUSLASTUNG DES M/M/1-SYSTEMS 70

ABBILDUNG 6-18: AUFTRÄGE IN DER WARTESCHLANGE BEI 110 % AUSLASTUNG 71

ABBILDUNG 7-1: OSI-ENVIRONMENT 73

ABBILDUNG 7-2: OSI-BASISREFERENZMODELL 74

ABBILDUNG 7-3: MODELL EINER SCHICHT IM OSI-BRM 76

ABBILDUNG 7-4: DATENPAKET MIT KOPF- UND SCHLUSSFELD 76

ABBILDUNG 7-5: DATENÜBERTRAGUNG IM OSI-BRM	77
ABBILDUNG 7-6: ZEITLICHER ABLAUF EINES DIENSTES	77
ABBILDUNG 7-7: DIE SCHICHT 2 IM OSI-BRM.....	80
ABBILDUNG 8-1: TCP/IP vs. OSI.....	85
ABBILDUNG 8-2: AUFBAU DES TCP/IP PROTOKOLLSTAPELS.....	86
ABBILDUNG 8-3: TCP/IP-GRUNDSTRUKTUR	87
ABBILDUNG 9-1: KOLLISION BEDINGT DURCH DIE SIGNALLAUFZEIT	92
ABBILDUNG 9-2: CSMA/CD ALS FLOW CHART	93
ABBILDUNG 9-3: BUSTOPOLOGIE MIT SIGNALLAUFZEIT	94
ABBILDUNG 9-4: VIRTUELLE ÜBERTRAGUNGSZEIT EINER NACHRICHT	95
ABBILDUNG 9-5: WORST-CASE-KOLLISIONSERKENNUNG	96
ABBILDUNG 10-1: CSMA/CD-LAN MIT EINEM AKTIVEN SENDER UND EMPFÄNGER.....	99
ABBILDUNG 10-2: CSMA/CD-LAN MIT DREI AKTIVEN SENDERN UND EMPFÄNGERN.....	101
ABBILDUNG 10-3: CSMA/CD-LAN MIT NEUN AKTIVEN SENDERN UND EMPFÄNGERN	103
ABBILDUNG 10-4: CSMA/CD-LAN MIT EINER AKTIVEN COMPUTERGRUPPE MIT NEUN MITGLIEDERN.....	105
ABBILDUNG 10-5: CSMA/CD-LAN MIT VIERZEHN AKTIVEN ARBEITSSTATIONEN	107
ABBILDUNG 11-1: CACHE HIT VS. CACHE MISS	112
ABBILDUNG 11-2: NETZWERK MIT INTERNETANSCHLUSS.....	115
ABBILDUNG 11-3: DER COMNET III INTERNET-WIZARD	116
ABBILDUNG 11-4: SIMULATION MIT PROXY-SERVER.....	119
ABBILDUNG 11-5: PROXY DESTINATIO TYPE.....	121
ABBILDUNG 11-6 WEIGHTED DESTINATION LIST PHIT = 0,2.....	122

Tabellenverzeichnis

TABELLE 4-1: BERECHNUNG VON G(M,K) NACH BUZEN.....	47
TABELLE 6-1: MESSAGE DELAY VS. UTILISATION USING COMNET III.....	65
TABELLE 10-1: CSMA/CD	109
TABELLE 11-1: PROXY WORKLOAD.....	114
TABELLE 11-2: WORKLOAD DES PROXY-SERVERS AN DER UNIVERSITY OF SASKATCHEWAN	114
TABELLE 11-2: MESSAGEDELAY NO-PROXY-CASE	117
TABELLE 11-3: PROZENTUALE VERTEILUNG VON CACHE HIT	121
TABELLE 11-4: LINK UTILISATION PROXY-CASE.....	122
TABELLE 11-5: MESSAGE DELAY DER FILES VOM PROXY FÜR ENIEN CACHE HIT	123
TABELLE 11-6: MESSAGE DELAY FÜR DATEIEN DIE VON INTERNET-SERVER.....	124
ANGEFORDERT WERDEN MÜSSEN (CACHE MISS)	124

Diagrammverzeichnis

DIAGRAMM 3-1: ZUSAMMENHANG DER AUSLASTUNG ρ UND DER POPULATION $E[N]$ FÜR DAS M/M/1-SYSTEM	26
DIAGRAMM 3-2: ZUSAMMENHANG DER AUSLASTUNG ρ UND DER POPULATION $E[N]$ FÜR DAS M/M/10-SYSTEM	29
DIAGRAMM 3-3: MITTLERE ANZAHL DER KUNDEN IN EINEM M/M/1/10-SYSTEM.....	32
DIAGRAMM 3-4: VERLUSTWAHRSCHEINLICHKEIT DES M/M/1/10-SYSTEMS	33
DIAGRAMM 3-5: DURCHSATZ DES M/M/1/10-SYSTEMS MIT $\lambda=0,5$ 1/s.....	34
DIAGRAMM 6-1: MESSAGE DELAY VS. UTILISATION FOR M/M/1, M/D/1 AND D/D/1.....	58
DIAGRAMM 6-2: MESSAGE DELAY VS. UTILISATION USING COMNET III.....	65
DIAGRAMM 6-3:NUMBER OF MESSAGES VS. UTILISATION FOR THE M/M/1-MODEL	69
DIAGRAMM 9-1: DURCHSATZ IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERKEHR	90
DIAGRAMM 10-1: NUMBER OF COLLISIONS VS. UTILISATION	110
DIAGRAMM 10-2: MESSAGE DELAY CSMA/CD VS. UTILISATION	110
DIAGRAMM 11-1: LINKAUSLASTUNG DES LANs OHNE PROXY-SERVER.....	117
DIAGRAMM 11-2: MESSAGE DELAY NO-PROXY-CASE.....	118
DIAGRAMM 11-3:LINK UTILISATION PROXY-CASE.....	123

ODE TO A QUEUE

by
Leonard Kleinrock

In the 20 years of funding
Many fields has DARPA led.
But the finest thing that they did bring
Was the analytic thread.

By that I mean they nurtured
Quantitative research tools.
And they always felt for all their gelt
They got principles and rules.

Indeed a wealth of knowledge
Was uncovered and was new.
And the common thread with which we led
Was the analytic queue!

Now a queue may have one server.
If there's more, they form a team.
Its dearest wish is just to fish
In a quiet Poisson stream.

If you want to model networks
Or a complex data flow
A queue's the key to help you see
All the things you need to know.

So the next time you feel lonely
And wonder what to do,
You'll soon feel fine if you join the line
Of an analytic queue!

1 Netzwerkplanung – Notwendig oder nicht?

Unternehmen weltweit sind heute mehr und mehr auf Netzwerkanwendungen angewiesen. In der Vergangenheit reichten Beobachtungen der steigenden Benutzerzahlen und der vorhandenen Netzwerkressourcen für eine angemessene Kapazitätsplanung der Netzwerke aus. Heutige Netzwerke müssen gleichzeitig bandbreitenintensive Browser, SQL, und multimediale Dienste unterstützen. Ohne eine definierte Kapazitätsplanung und begleitende Werkzeuge könnten Netzwerkmanager ihre Strukturen den geforderten Belastungen nur schwer anpassen. Strategische Netzwerkplanung verbessert die gesamte Performance eines Systems und hat daher auch große Auswirkungen auf den Kostenfaktor des Netzbetriebes.

In den vergangenen Jahren wurden Netzwerkprobleme fast ausschließlich durch Beschwerden der Nutzer erkannt und behoben. Netzwerkdaten wurden danach manuell gesammelt und ausgewertet. Als zweiter Schritt kamen Netzwerkanalyseprogramme ins Spiel. Solche RMON-Tools (Remote Network Monitoring) halfen Netzwerkdaten einfacher und schneller zu erfassen und auszuwerten. Die Kapazitätsplanung der Netzwerke musste allerdings immer noch manuell vorgenommen werden.

Die Netzwerksimulation als der vorläufig letzte Schritt, erlaubt nun ein Netzwerk zu analysieren und Schwachstellen in der Architektur zu erkennen. Eine mögliche Lösung und deren neue Auswirkungen auf das System können als what-if-Szenarien erprobt werden. Eine strategische Netzwerkplanung vermeidet daher die „throw hardware at it“-Taktik die heute immer noch von so manchen Systemern angewendet wird.

Heutzutage stellt sich nicht mehr die Frage, ob auf Client/Server-Systeme umgestellt wird, sondern wie dieser Umstieg geschehen soll und wie er durch Planungs- und Managementsysteme unterstützt werden kann.

Eine Umfrage des Meinungsforscherinstituts Deloitte & Touche bei 400 IT-Managern in den USA und Kanada belegt, dass 90% der Befragten in ein bis zwei Jahren mindestens eine unternehmenskritische Client/Server-Anwendung im Einsatz haben. Die gleiche Studie sagt aus, dass in den befragten Unternehmen bis zum Jahr 2000 Projekte mit mehr als 5000 Workstations weit verbreitet sein werden.

Grundlage jeglicher Kapazitätsplanung sind mathematische Modelle aus der Stochastik. Das gesamte Verhalten des Netzwerks wird also durch stochastische Prozesse beschrieben. Diese stochastischen Modelle können für kleinere Szenarien mehr oder weniger einfach ausgewertet werden.

Für komplexe Systeme ist es nicht mehr so einfach mit stochastischen Modellen das Systemverhalten genau zu beschreiben. Deshalb werden komplexe Netzwerke in kleinere Basisblöcke unterteilt. Die Umsetzung dieser Basisblöcke in mathematisch formbare stochastische Prozesse kann so leichter automatisiert werden. An diesem Punkt entstehen Modelle die mehr an die Realität des Netzwerkdesigners, als an die Theorie der Mathematiker angelegt sind.

Softwaretools sind eine große Hilfe zum modulieren von komplexen Systemen (ein enormer stochastischer Prozess). Es ergeben sich daher zwei Modeltypen:

- Zum einen eine analytische Darstellung der Modelle, passend für eine direkte numerische Auswertung.
- Zum anderen eine modellhafte Darstellung in symbolischer Form.

Wie man sich nur unschwer vorstellen kann, bevorzugen die meisten Systemdesigner die modellhafte Darstellung. Deshalb wurde ein *General Modelling Tool Framework (GMTF)* entworfen um eine quantitative Systemmodellierung zu ermöglichen. Es ist daher heute möglich eine high-level-Auswertung komplexer Systeme zu erbringen, ohne sich ausgiebig mit der zugrundeliegenden Mathematik zu beschäftigen. Allerdings kann zum Verständnis dieser high-level Konstruktionen die Mathematik nicht vernachlässigt werden.

2 Grundlagen aus der Statistik

2.1 Grundelemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung

Wichtige Begriffe:

- **Zufallsvariable** X
- **Verteilungsfunktion:** $F(X)$
- **Prob** $[X \leq x], P[X \leq x]$:

Wahrscheinlichkeit, dass für eine Realisierung der Zufallsvariablen X gilt: $[X \leq x]$

- **Wahrscheinlichkeitsdichte, Dichtefunktion:** $f(x)$, gilt wenn X eine stetige Zufallsvariable ist
- **Erwartungswert:** $E[X]$ einer Zufallsvariablen X , auch erstes Moment o. Mittelwert genannt
- **Varianz:** $s^2(X) = VAR[X] = E[(X - E[X])^2] = E[X^2] - E[X]^2$

Die Varianz ist die mittlere quadratische Abweichung der zufälligen Variablen X von ihrem Mittelwert $E[X]$.

- **Standardabweichung** $s(X) = \sqrt{s^2(X)}$
- **Variationskoeffizient:** $VC[X] = \frac{s(X)}{E[X]}$, ein normiertes Streuungsmaß
- Ereignis A bzw. B trete ein mit Wahrscheinlichkeit $Prob[A]$ bzw. $Prob[B]$
- Das Ereignis $A \cap B$ trete ein mit Wahrscheinlichkeit $Prob[A \cap B]$
- Das Ereignis $A \cup B$ trete ein mit Wahrscheinlichkeit $Prob[A \cup B]$
- Die Wahrscheinlichkeit, dass Ereignis A eintritt, unter der Bedingung, dass B eingetreten ist, heißt **bedingte Wahrscheinlichkeit** Notation: $Prob[A|B] = \frac{Prob[A \cap B]}{Prob[B]}$
- Die Wahrscheinlichkeit, dass Ereignis B eintritt, unter der Bedingung, dass A eingetreten ist: $Prob[B|A] = \frac{Prob[A \cap B]}{Prob[A]}$
- **Additionssatz:** $Prob[A \cup B] = Prob[A] + Prob[B] - Prob[A \cap B]$
- **Multiplikationssatz:** $Prob[A \cap B] = Prob[A] * Prob[B|A] = Prob[B] * Prob[A|B]$

2.2 Wichtige Verteilungen

2.2.1 Diskrete Verteilungen

2.2.1.1 Bernoulli-Verteilung

Ein Zufallsexperiment, bei dem nur zwei sich gegenseitig ausschließende Ereignisse eintreten können, heißt Bernoulli-Experiment. Man spricht von „Erfolg“ oder „Misserfolg“. Ein klassisches Beispiel für ein Bernoulli-Experiment ist der Münzwurf. Hier gibt es nur zwei Ereignisse: Kopf oder Zahl. Sei die Wahrscheinlichkeit, dass Kopf eintrifft gleich p , so ist die Wahrscheinlichkeit, dass Kopf nicht eintrifft gleich $q=1-p$.

Wird ein Bernoulli-Experiment nur einmal durchgeführt, spricht man von einer Zweipunkt-Verteilung, da die Zufallsvariable nur zwei Werte annehmen kann.

$$f(x) = \begin{cases} q = 1 - p & \text{für } x = 0 \\ p & \text{für } x = 1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Eine n -malige unabhängige Wiederholung des Bernoulli-Experiments führt zur **Binomial-Verteilung**. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion $f(x)$ gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass bei n -maliger Wiederholung des Versuchs, genau i -mal „Erfolg“ und $(n-i)$ -mal „Nicht-Erfolg“ eintritt.

Verteilungsfunktion:
$$F(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad x = 0, 1, 2, \dots, n$$

Erwartungswert:
$$E[X] = np$$

Varianz:
$$s^2(X) = np(1-p)$$

2.2.1.2 Geometrische Verteilung

Wird ein Bernoulli-Experiment solange durchgeführt, bis **ein** Erfolg eintritt, dann ist die Zufallsvariable X geometrisch Verteilt. Man spricht von einer **geometrischen Verteilung**

Verteilungsfunktion: $F(x) = p(1-p)^x \quad x = 0, 1, 2, \mathbf{K}$

Erwartungswert: $E[X] = \frac{1-p}{p}$

Varianz: $s^2(X) = \frac{1-p}{p^2}$

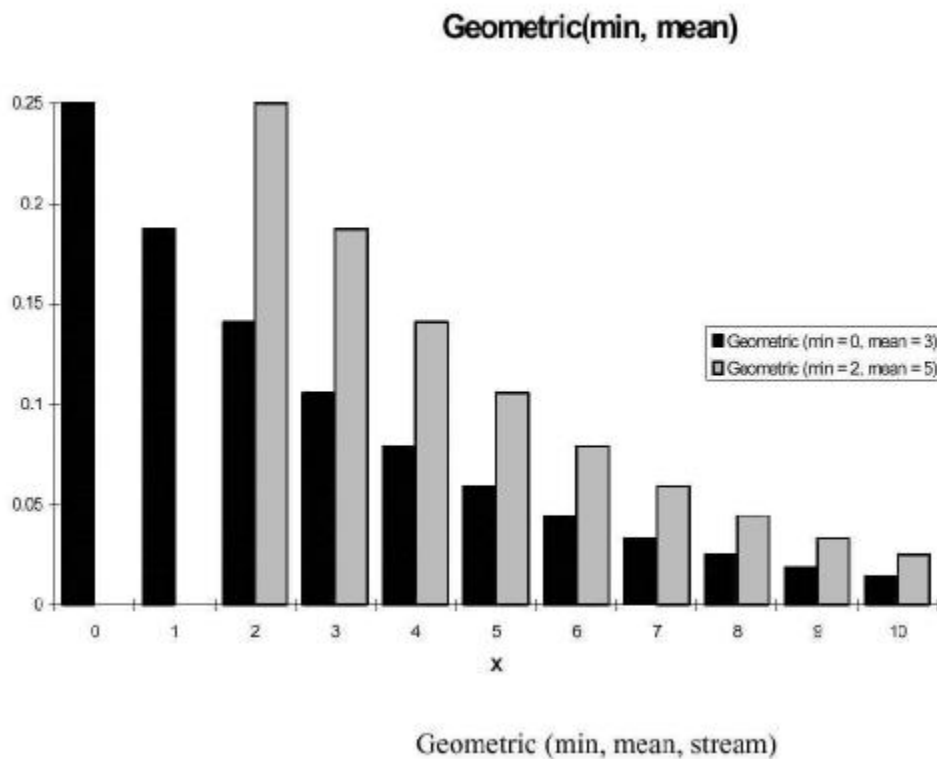


Abbildung 2-1: Geometrische Verteilung

2.2.1.3 Poisson-Verteilung

Bei vielen Anwendungen, die mit Bernoulli-Experimenten zusammenhängen, ist die Erfolgswahrscheinlichkeit p beim einzelnen Versuch klein, aber die Anzahl n der Versuche groß. Benutzt man die Binomial-Verteilung und lässt $n \rightarrow \infty$, $p \rightarrow 0$ streben, erhält man die Poisson-Verteilung. So ergibt sich aus der Binomial-Verteilung durch Umschreiben unter Verwendung

von $np = l$, d.h. $p = \frac{l}{n}$ und $q = 1 - \frac{l}{n}$:

Verteilungsfunktion: $F(x) = \frac{l^x}{x!} e^{-l}$

Erwartungswert: $E[X] = l$

Varianz: $s^2(X) = l$

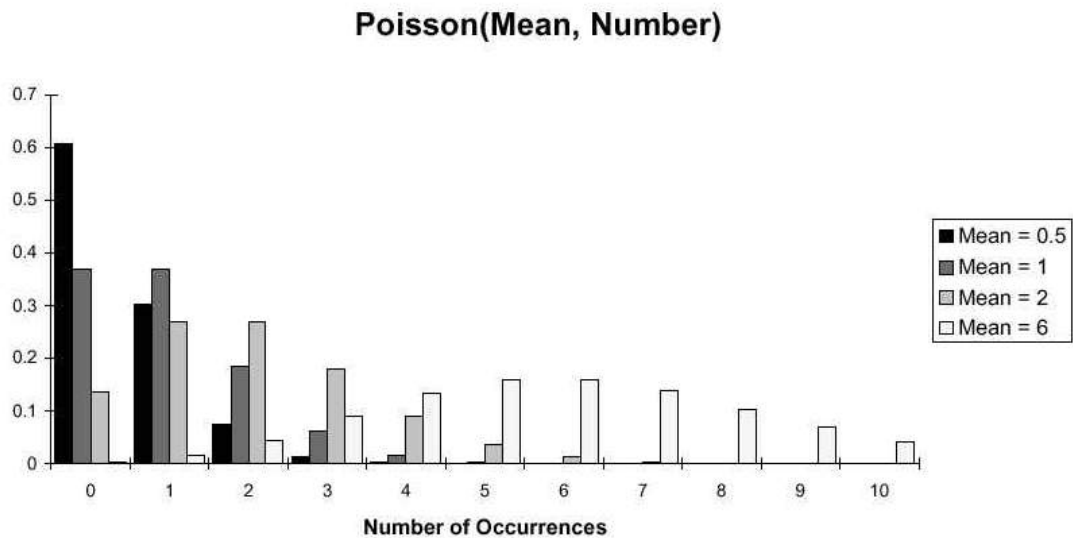


Abbildung 2-2: Poisson-Verteilung

2.2.2 Stetige Verteilungen

2.2.2.1 Exponential-Verteilung

In der Natur und Technik gibt es zahlreiche Erscheinungen hinsichtlich der zeitlichen Änderung, denen die Exponentialverteilung wegen der leichten Berechenbarkeit als grobes Modell zugrunde liegt. Sie ist die wichtigste aller Verteilungen. Die Exponentialverteilung ist die einzige stetige *gedächtnislose* Verteilung.

Eine nicht negative Zufallsvariable x unterliegt einer exponentiellen Verteilung mit Parameter λ wenn für λ und x gilt: $\lambda, x > 0$.

Daraus folgt die Dichtefunktion: $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$

Die Verteilungsfunktion ergibt sich durch Integration zu: $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = \left[-e^{-\lambda x} \right]_0^x = 1 - e^{-\lambda x}$$

Erwartungswert: $E[X] = \frac{1}{\lambda}$

Varianz: $s^2(X) = \frac{1}{\lambda^2}$

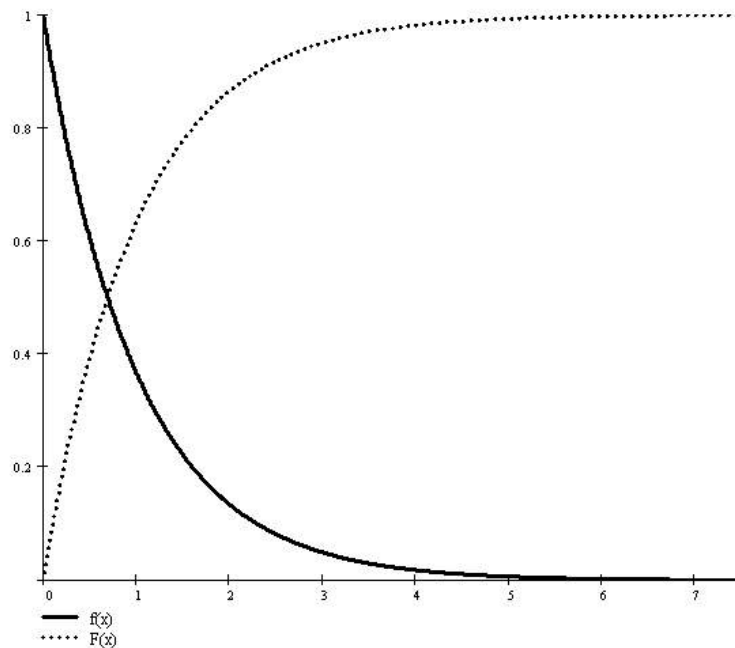


Abbildung 2-3: Exponential-Verteilung ($l=1$)

3 Warteschlangen

Warteschlangen beschreiben Modelle denen wir im täglichen Leben begegnen. Warteschlangen bilden sich an Kaffeeautomaten, beim Zahnarzt, an der Supermarktkasse, beim Metzger, u.s.w.. In all diesen Fällen entstehen sie durch zufällige Ankunftsschemata der Kunden oder weil deren Anforderungen an die Serviceleistungen variieren. Generell ist festzustellen, dass je mehr unterschiedliche Ansprüche an die Serviceleistungen gestellt werden, desto mehr und längere Warteschlangen entstehen. Mit Warteschlangen sind auch immer Wartezeiten verbunden. Je länger die Schlange, desto länger ist die Wartezeit.

Im Gebiet der Computerkommunikation ist zu beobachten, dass viele User ständigen Zugriff auf gemeinsame Ressourcen wie Drucker, Server und Schnittstellen nach außen benötigen. Da die Zugriffe von jedem Benutzer zufällig stattfinden, entstehen Situationen, wo mehr als ein Benutzer auf eine einzelne Ressource zugreifen. Es entstehen auch hier Warteschlangen.

Beispiel: Der Drucker im Rechenzentrum

Druckaufträge werden einer nach dem anderen abgearbeitet. (FCFS-Prinzip: First Come – First Served)

3.1 Charakteristikum einer Warteschlange

Eine Warteschlange besteht aus einem Warteraum und einer Bedieneinheit.

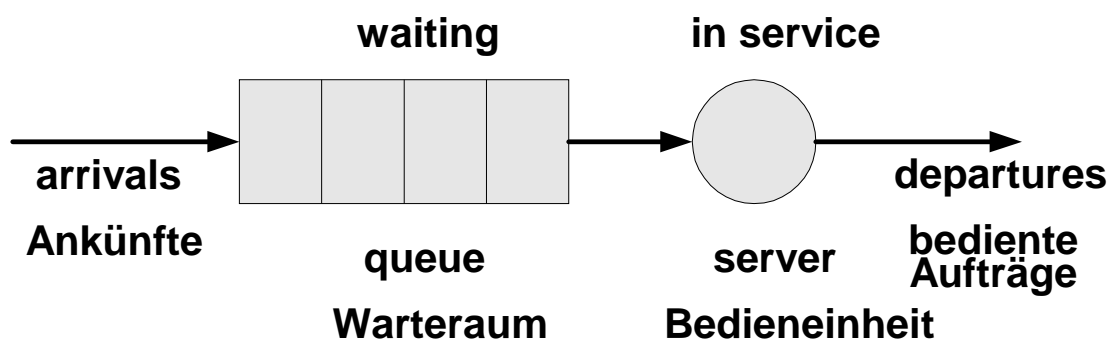


Abbildung 3-1: Modell einer Warteschlange

Die folgenden Aspekte sind von großer Wichtigkeit für die Qualität des angebotenen Dienstes der von einem Dienstbeansprucher wahrgenommen wird:

- Die Ankunftsrate der Kunden die einen Dienst erbitten. Diese Zeiten unterliegen einer stochastischen Verteilung.
- Die Anzahl der Kunden in der Warteschlange.
- Die Größe des verfügbaren Warteraumes.
- Der Umfang der beanspruchten Serviceleistung. Auch hier liegt eine stochastische Verteilung zugrunde.
- Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Serviceeinheiten. Handelt es sich um eine oder mehrere Bedieneinheiten? (single server or multi-server?)
- Die Bedienstrategie, d.h., in welcher Reihenfolge die Pakete vom Warte- in den Bedienbereich gelangen. Man unterscheidet hier zwischen:
 - **FCFS**: First Come – First Served
(auch FIFO [First In – First Out] genannt)
 - **PS**: Processor Sharing
Processor Sharing bedeutet, dass die Kapazität des Bedieners sich gleichmäßig auf alle anwesenden Aufträge verteilt.
 - **LCFS**: Last Come – First Served
(auch LIFO [Last In – First Out] genannt)
 - **IS**: Infinite Server
IS-Stationen besitzen pro anwesendem Kunden eine Bedieneinheit, so dass keine Wartezeiten entstehen.
 - **Random**
 - **SJF**: Shortest Job First
Das Paket mit der kürzesten Bearbeitungsdauer wird als erstes bedient.
 - **SRPT**: Shortest Remaining Processing Time
Bearbeitung des Paketes mit der kürzesten Restbearbeitungszeit, d.h., die Bearbeitung des aktuellen Pakets wird unterbrochen, wenn ein neues Packet mit kürzerer Bearbeitungszeit eintrifft.

3.2 Kendall-Notation

Zur Klassifizierung von einfachen Wartesystemen wird die sogenannte Kendall-Notation benutzt:

Arrivals | Services | Servers | Buffersize | Population | Scheduling

- Arrivals:** Verteilung der Zwischenankunftszeiten
Services: Verteilung der Bedienzeiten
Servers: Anzahl der Bedieneinheiten
Buffersize: Kapazität des Warteraumes
Population: Auftragsanzahl in der Quelle
Scheduling: Bedienstrategie, Warteschlangenstrategie

Für eine oft ausreichende Kurzform der Kendall-Notation wird der Warteraum und die Auftragsanzahl in der Quelle als unbegrenzt angenommen (Buffersize = ∞ , Population = ∞). Als Bedienstrategie wird FCFS vorausgesetzt (Scheduling = FCFS).

Arrivals | Services | Servers

Für die Zwischenankunftszeiten und die Bedienzeiten werden meist folgende Verteilungen verwendet:

- ***M (Markovian or Memory-less):*** Negativ Exponentielle Verteilung
- ***G (General):*** willkürliche (allgemeine) Verteilung
- ***D (Deterministic):*** konstante Verteilung
- ***E_k (Erlang):*** Erlang-k-Verteilung
- ***H_k (Hyper-Exponential):*** Hyper-Exponentielle Verteilung mit k Phasen
- ***COX-k:*** Cox-Verteilung mit k Phasen

Beispiel: M/G/2/8/1000/LCFS

- M Exponentiell verteilte Zwischenankunftszeiten
- G allgemein verteilte Bedienzeiten
- 2 Prozessoranzahl = 2
- 8 maximal 8 Aufträge im Warteraum
- 1000 die Quelle erzeugt 1000 Ankünfte
- LCFS die Bedienstrategie ist Last Come – First Served

Beispiel: Kaffeeautomat

Obwohl der Automat für die Zubereitung eines Heißgetränks eine konstante Zeit benötigt, entstehen doch immer wieder Warteschlangen kaffeedurstiger Kunden. Diese entstehen durch die stochastischen Ankunftszeiten der Konsumenten. Ein Kaffeeautomat kann daher als eine G/D/1-Modell beschrieben werden.

Beispiel: Friseur

Obwohl feste Termine vereinbart werden (Ankunftszeiten sind konstant) entstehen immer wieder Wartezeiten durch unterschiedliche Serviceleistungen gegenüber dem Kunden. Der Friseur entspricht daher dem D/G/1-Modell.

3.3 Little's law

Little's law ist wohl das allgemeinste Gesetz der Kapazitätsplanung, da es auf alle Warteschlangenmodelle angewandt werden kann. Betrachtet man eine Warteschlange als Blackbox, bei der die Pakete mit einer Ankunftsrate λ erscheinen und dort eine gewisse Zeit $E[R]$ (residence time, response time) verweilen, so kann man mit der mittleren Anzahl $E[N]$ der Pakete in der Blackbox einen Zusammenhang der Größen beschreiben.



Abbildung 3-2: Blackbox eines WS-Modells

Für einen Warteraum im stationären Zustand gilt nach Little:

$$E[N] = I E[R]. \quad (3.1)$$

Betrachtet man die Wartezeit $E[W]$ im Warteraum, so lässt sich mit Little die Anzahl der belegten Warteplätze $E[N_q]$ berechnen.

$$E[N_q] = I E[W] \quad (3.2)$$

Auch die Auslastung der Bedieneinheit $E[N_s]$ lässt sich mit Little bestimmen. Hierzu betrachtet man Servicezeit $E[S]$, die benötigt wird um Aufträge zu bearbeiten. Die Ankunftsrate der Aufträge ist auch hier gleich λ , da keine Pakete im Warteraum verloren gehen. Die Auslastung (*Utilisation*) $E[N_s]$ wird üblicherweise mit ρ gekennzeichnet.

$$E[N_s] = I E[S] \quad (3.3)$$

Die Anzahl der Pakete des Gesamtsystems setzt sich also zusammen aus der Anzahl der Teilaufträge $E[N_q]$ und $E[N_s]$.

$$E[N] = E[N_q] + E[N_s] \quad (3.4)$$

$$\Rightarrow E[N] = I (E[W] + E[S]) = I E[R] \quad q.e.d. \quad (3.5)$$

Der innere Aufbau der Blackbox wird durch Abbildung 3-3 illustriert.

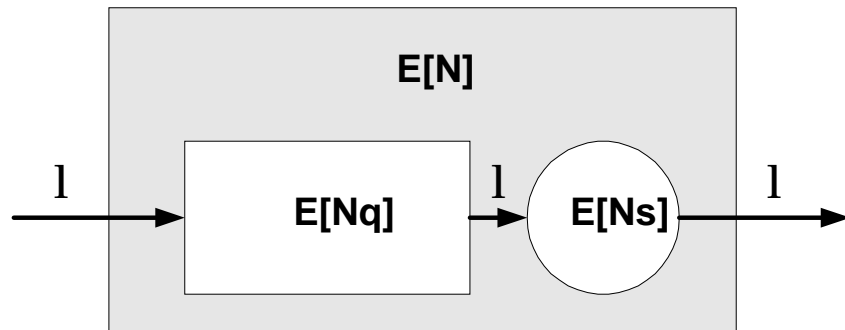


Abbildung 3-3: Aufbau der WS-Blackbox

Die Auslastung ρ des Warteschlangensystems ist das Verhältnis von der Servicezeit zum Ankunftsintervall der Kunden. Der Kehrwert der Servicezeit wird als Bedienrate μ [s^{-1}] bezeichnet.

$$r = \frac{l}{m} \quad (3.6)$$

Handelt es sich um ein Warteschlangensystem mit m Servern, ist die Bedienrate m mal Größer als bei einem Ein-Server-System. Aus Gleichung (3.6) wird daher

$$r = \frac{l}{mm} . \quad (3.7)$$

Auf den Beweis des Gesetzes von Little wird hier verzichtet. Er wird in nahezu jeder mit diesem Thema verbundenen Literatur erbracht.

3.4 Elementare Warteschlangensysteme

3.4.1 M/M/1 – System

Betrachtet man eine einfache Warteschlange, so kann die Ankunft eines Auftrages als „Geburt“ und der Abgang eines Auftrages als dessen „Tod“ bezeichnet werden. Wird weiterhin eine exponentielle Verteilung der Ankünfte mit der Rate λ_i für alle i Pakete in der Station und Bedienrate von μ_i für alle i Aufträge vorausgesetzt, erhält man einen *Geburts-Todesprozess (Birth-death-process)*.

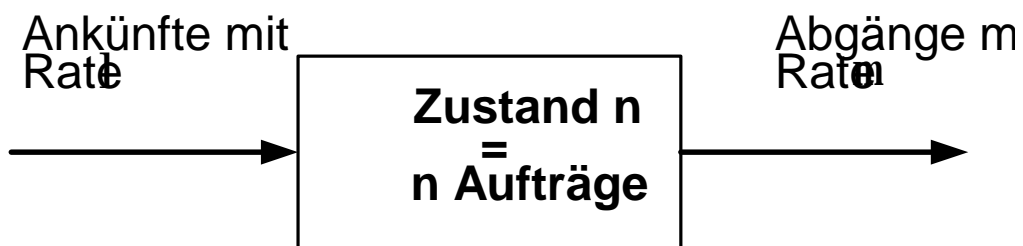


Abbildung 3-4: Schema des Geburts-Todesprozess

Dieses Schema kann nun mit Hilfe einer Markov-Kette analysiert werden.

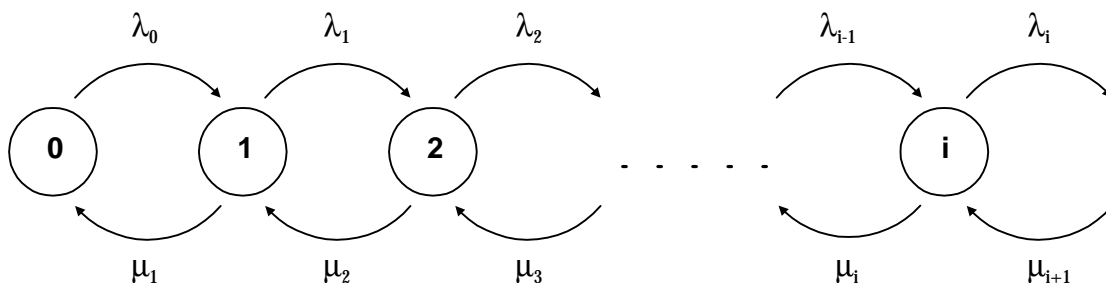


Abbildung 3-5: Zustandsüberganggraph des Geburts-Todesprozess

Betrachtet man den Zustand i , ergeben sich die globalen Flussgleichungen zu:

Fluss in Zustand i :

$$l_{i-1}p_{i-1} + m_{i+1}p_{i+1} \tag{3.8}$$

Fluss aus Zustand i :

$$(l_i + m_i) p_i \tag{3.9}$$

Für $i=0, 1, 2, \dots$ erhält man ein unendliches Gleichungssystem:

$$\text{Fluss in Zustand } i = \text{Fluss aus Zustand } i$$

für $i=0$:

$$I_0 p_0 = m_1 p_1 \quad (3.10)$$

für $i=1, 2, 3, \dots$

$$(I_i + m_i) p_i = I_{i-1} p_{i-1} + m_{i+1} p_{i+1} \quad (3.11)$$

Umformen von Gleichung (3.10) ergibt für den Zustand 1:

$$p_1 = \left(\frac{I_0}{m_1} \right) p_0 \quad (3.12)$$

und für die Zustände 2, 3, ..., i, ...:

$$p_2 = \left(\frac{I_0 I_1}{m_1 m_2} \right) p_0 \quad (3.13)$$

N

$$p_i = \left(\frac{I_0 I_1 \mathbf{L} I_{i-1}}{m_1 m_2 \mathbf{L} m_i} \right) p_0 \quad (3.14)$$

Die Lösung der stationären Zustandswahrscheinlichkeiten p_i des Geburts-Todesprozess vervollständigt sich in der Form:

$$p_i = p_0 \prod_{k=0}^{i-1} \frac{I_k}{m_{k+1}} \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (3.15)$$

Da die Wahrscheinlichkeit, dass sich das System immer in einem Zustand befindet gleich 1 ist, gilt die Normierungsbedingung:

$$\sum_{i=0}^{\infty} p_i = 1 \quad (3.16)$$

Mit Hilfe dieser Normierungsbedingung erhält man für p_0 :

$$\sum_{i=0}^{\infty} p_i = \sum_{i=0}^{\infty} p_0 \prod_{k=0}^{i-1} \frac{I_k}{m_{k+1}} = p_0 \left(1 + \sum_{i=0}^{\infty} \prod_{k=0}^{i-1} \frac{I_k}{m_{k+1}} \right) = 1$$

$$\Rightarrow p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=0}^{\infty} \prod_{k=0}^{i-1} \frac{I_k}{m_{k+1}}} \quad (3.17)$$

Da es sich hier um einen unendlichen Warteraum handelt, gehen keine Pakete verloren und der Durchsatz des Systems ist gleich der Ankunftsrate λ .

Das einfachste aller M/M/1-Modelle ist ein System mit konstanten Ankunftsrate ($\lambda_i = \lambda, i=0, 1, 2, \dots$) und konstanten Bedienraten ($\mu_i = \mu, i=1, 2, 3, \dots$). Die Verteilung der Ankünfte ist somit homogen.

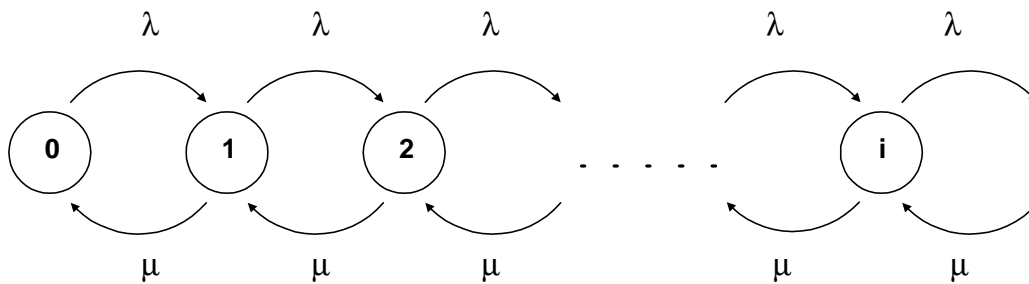


Abbildung 3-6: Zustandsübergangsgraph des Geburts-Todesprozess mit konstanten Raten

Durch Einsetzen in Gleichung (3.15) entsteht folgende Beziehung:

$$p_i = p_0 \prod_{k=0}^{i-1} \frac{I}{m} \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Rightarrow p_i = p_0 \left(\frac{I}{m} \right)^i = \left(1 - \frac{I}{m} \right) \left(\frac{I}{m} \right)^i = (1 - r) r^i, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (3.18)$$

Aufgrund der Konvergenz der geometrischen Reihe

$$\sum_{n=1}^{\infty} aq^{n-1} = a + aq + aq^2 + \mathbf{L} + aq^{n-1} + \mathbf{L} = \frac{a}{1-q}, \quad (3.19)$$

erhält man für

$$\sum_{i=0}^{\infty} p_i = p_0 \sum_{i=0}^{\infty} r^i = p_0 \frac{1}{1-r} = 1.$$

Unter der Voraussetzung $\rho < 1$ oder $\lambda < \mu$ ergibt sich p_0 zu:

$$p_0 = 1 - r. \quad (3.20)$$

Das System hat also immer dann eine Lösung, wenn die Ankunftsrate λ kleiner ist als die Bedienrate μ (stabiles System). Da nun die stationäre Grenzverteilung bestimmt ist, lassen sich auch alle anderen Größen bestimmen. Ausgehend von der Annahme, dass sich im Zustand i auch i Pakete im Warteraum aufhalten, kann für die mittlere Anzahl der Pakete im Warteraum $E[N]$ (mittlere Population) die Beziehung (3.21) hergeleitet werden.

$$E[N] = \sum_{i=0}^{\infty} ip_i = p_0 \sum_{i=0}^{\infty} ir^i = (1-r) \sum_{i=0}^{\infty} ir^i$$

Mit der Konvergenz

$$\begin{aligned} \sum_{n=0}^{\infty} nq^n &= q \sum_{n=0}^{\infty} nq^{n-1} = q \sum_{n=0}^{\infty} \frac{d}{dq} q^n = q \frac{d}{dq} \sum_{n=0}^{\infty} q^n = q \frac{d}{dq} \left(\frac{1}{1-q} \right) = q \frac{1}{(1-q)^2} \\ &\Rightarrow \sum_{n=0}^{\infty} nq^n = \frac{q}{(1-q)^2}, \end{aligned} \quad (3.21)$$

wird $E[N]$ bestimmt zu:

$$\begin{aligned} E[N] &= (1-r) \frac{r}{(1-r)^2} \\ &\Rightarrow E[N] = \frac{r}{1-r}. \end{aligned} \quad (3.22)$$

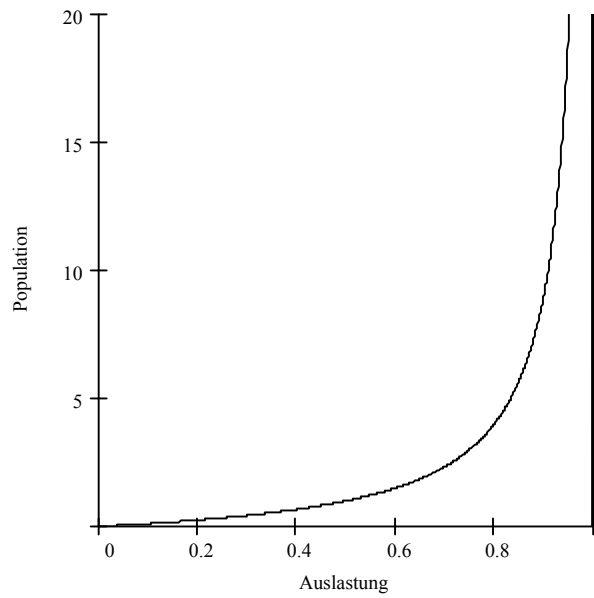


Diagramm 3-1: Zusammenhang der Auslastung r und der Population $E[N]$ für das M/M/1-System

Die mittlere Verweilzeit der Pakete im Warteraum $E[R]$ (response time), die sich nach Little ergab zu $E[N] = I E[R]$ [siehe Gleichung (3.1)], lässt sich nun ersetzen durch:

$$E[R] = \frac{E[N]}{I} = \frac{\frac{1}{m}}{1-r} = \frac{1}{m-1} \quad (3.23)$$

3.4.2 M/M/m – System

Das M/M/m – System unterscheidet sich gegenüber dem M/M/1 – System darin, dass hier m Bedieneinheiten zu Verfügung stehen.

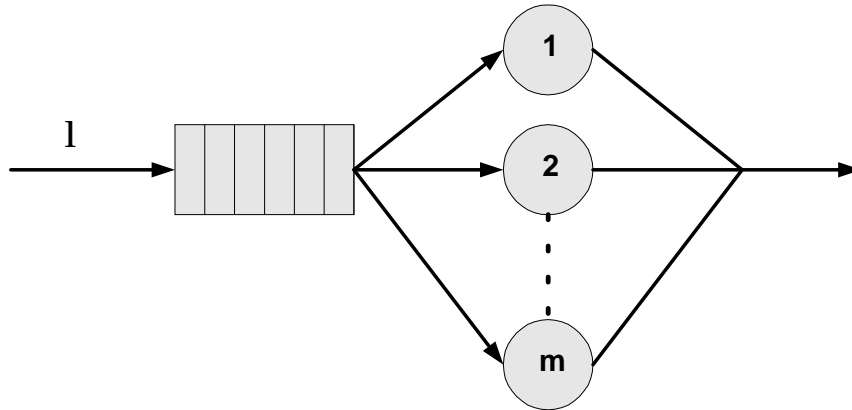


Abbildung 3-7: M/M/m – Modell

Auch hier kann der Geburts-Todesprozess angewandt werden:

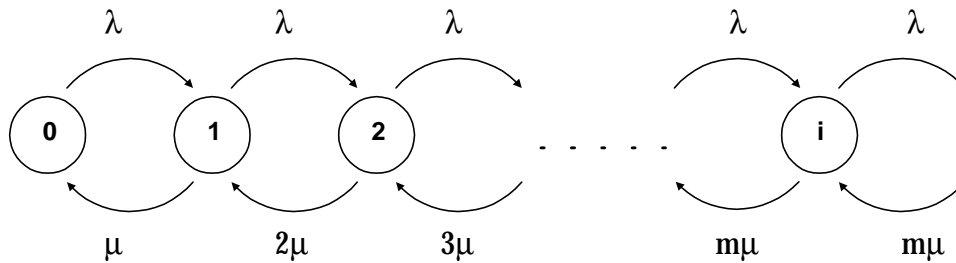


Abbildung 3-8: Geburts-Todesprozess des M/M/m-Systems

Daraus folgt:

$$m_i = \begin{cases} i\mu & i = 0, 1, 2, \dots, m \\ m\mu & i = m, m+1, \dots \end{cases}$$

und

$$p_1 = p_0 \left(\frac{1}{m} \right)$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{1}{2m} \right) = p_0 \frac{1}{2} \left(\frac{1}{m} \right)^2$$

$$p_3 = p_2 \left(\frac{1}{3m} \right) = p_0 \frac{1}{2 \cdot 3} \left(\frac{1}{m} \right)^3 = p_0 \frac{1}{3!} \left(\frac{1}{m} \right)^3$$

M

$$p_m = p_{m-1} \left(\frac{1}{mm} \right) = p_0 \frac{1}{m!} \left(\frac{1}{m} \right)^m$$

$$p_{m+1} = p_m \left(\frac{1}{mm} \right) = p_0 \frac{1}{m \cdot m!} \left(\frac{1}{m} \right)^{m+1}$$

weiter mit $r = \frac{1}{mm} < 1$

$$p_m = p_{m-1} \left(\frac{1}{mm} \right) = p_0 \frac{1}{m!} \left(\frac{1}{m} \right)^m = p_0 \frac{1}{m!} \left(\frac{1}{mm} \right)^m m^m = p_0 \frac{m^m}{m!} r^m$$

$$\Rightarrow p_i = \begin{cases} p_0 \frac{(mr)^i}{i!} & i = 0, 1, \mathbf{K}, m-1 \\ p_0 \frac{(mr)^i}{m! m^{i-m}} = p_0 \frac{m^m r^i}{m!} & i = m, m+1, \mathbf{K} \end{cases}$$

Mit der Normierungsbedingung $\sum_{i=0}^{\infty} p_i = 1$, ergibt sich für Zustand 0:

$$\sum_{i=0}^{\infty} p_i = 1 = p_0 \left(\sum_{i=0}^{m-1} \frac{(mr)^i}{i!} + \frac{m^m}{m!} \sum_{i=m}^{\infty} r^i \right)$$

mit

$$\frac{m^m}{m!} \sum_{i=m}^{\infty} r^i = \frac{m^m}{m!} r^m \sum_{k=0}^{\infty} r^k = \frac{(mr)^m}{m!} \frac{1}{1-r}$$

folgt für p_0

$$p_0 = \left[\sum_{i=0}^{m-1} \frac{(mr)^i}{i!} + \frac{(mr)^m}{m!} \frac{1}{1-r} \right]^{-1} \quad (3.24)$$

Die mittlere Anzahl von Kunden im System wird bestimmt durch:

$$E[N] = \sum_{i=0}^{\infty} i p_i = mr + r \frac{(mr)^m}{m!} \frac{p_0}{(1-r)^2} \quad (3.25)$$

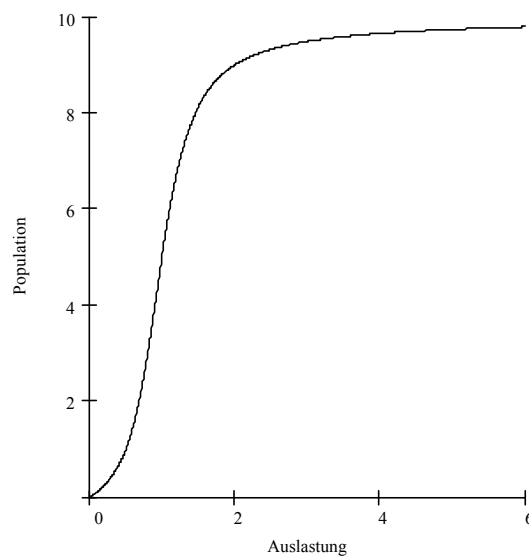


Diagramm 3-2: Zusammenhang der Auslastung r und der Population $E[N]$ für das M/M/10-System

Die mittlere Verweilzeit der Pakete $E[R]$ erhält man wieder durch einsetzen des Gesetzes von Little [Gleichung (3.1)].

$$E[R] = \frac{E[N]}{I} = \frac{m}{m} + \frac{(mr)^m}{m! \cdot m} \frac{p_0}{(1-r)^2} \quad (3.26)$$

3.4.3 M/M/1/K - System

Beim M/M/1/K – System handelt es sich um ein Modell mit begrenztem Warteraum. Dieses Modell beschreibt genauer das reale Systemverhalten, wo der Warteraum immer begrenzt ist (z.B. Router). Befinden sich bereits K Kunden im Warteraum, werden keine neuen Kunden mehr angenommen. Diese Aufträge gehen verloren. Man spricht hier auch von *blocking* Solange sich weniger als K Kunden im System aufhalten beträgt die Ankunftsrate λ , ansonsten ist die Ankunftsrate gleich null.

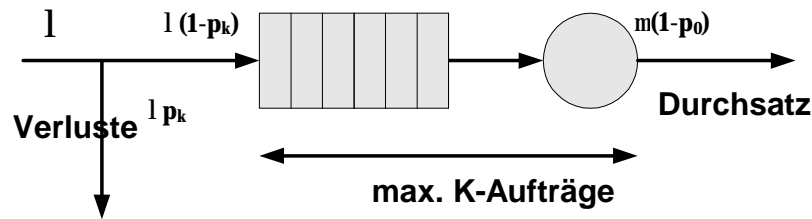


Abbildung 3-9: M/M/1/K – Modell

$$I_i = \begin{cases} I & i = 0, 1, \mathbf{K}, K-1 \\ 0 & i = K, K+1, \mathbf{K} \end{cases}$$

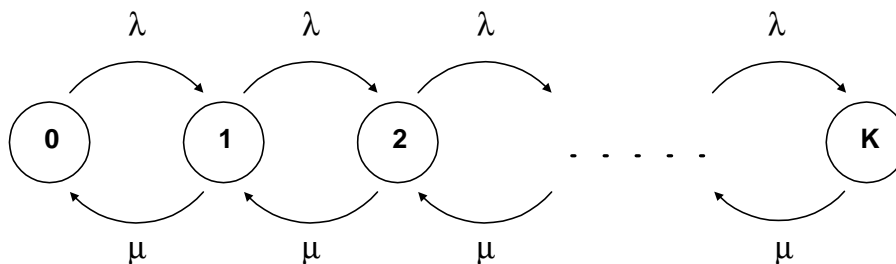


Abbildung 3-10: Geburts-Todesprozess des M/M/1/K - Systems

$$p_i = p_0 \prod_{k=0}^{i-1} \frac{I}{m} = p_0 r^i \quad i = 0, 1, \mathbf{K}, K \quad (3.30)$$

$$\sum_{i=0}^K p_i = p_0 \sum_{i=0}^K r^i = 1$$

$$\Rightarrow p_0 = \left(\sum_{i=0}^K r^i \right)^{-1}$$

Mit

$$\sum_{n=0}^m q^n = \frac{(1 - q^{m+1})}{1 - q} \quad (3.31)$$

erhält man für p_0 :

$$p_0 = \left(\frac{1 - r^{K+1}}{1 - r} \right)^{-1} = \frac{1 - r}{1 - r^{K+1}} \quad (3.32)$$

Durch einsetzen von Gleichung (3.32) in Gleichung (3.30) errechnet sich die Blockierungswahrscheinlichkeit $p_k = p_i$ zu

$$p_k = \frac{1 - r}{1 - r^{K+1}} r^k \quad (3.33)$$

Die mittlere Anzahl der Kunden im System kann somit bestimmt werden mit:

$$E[N] = \sum_{i=0}^K i p_i = p_0 \sum_{i=0}^K i r^i = p_0 r \sum_{i=0}^K i r^{i-1} = p_0 r \frac{d}{dr} \sum_{i=0}^K r^i$$

Mit der Konvergenz aus Gleichung (3.31) und Ableitung nach ρ

$$E[N] = p_0 r \frac{d}{dr} \left(\frac{1 - r^{K+1}}{1 - r} \right) = p_0 r \frac{-(K+1) r^K (1 - r) + (1 - r^{K+1})}{(1 - r)^2}$$

erhält man für $E[N]$:

$$E[N] = \frac{r}{1 - r} - \frac{(K+1) r^{K+1}}{1 - r^{K+1}} \quad (3.34)$$

$K := 10$

$x := 1$

$$E(\rho) := \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{(K+1)\rho^{K+1}}{1-\rho^{K+1}}$$

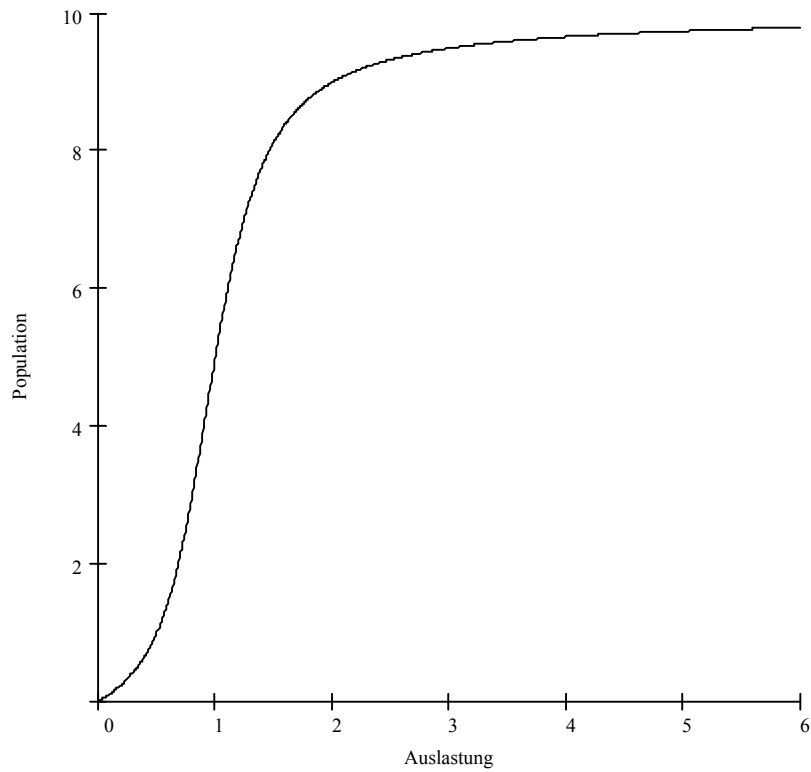
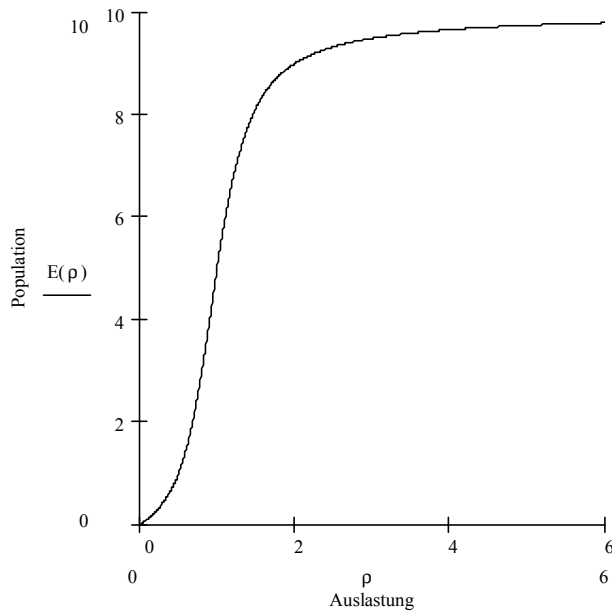


Diagramm 3-3: Mittlere Anzahl der Kunden in einem M/M/1/10-System

$K := 10$

$x := 1$

$$E(\rho) := \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{(K+1)\rho^{K+1}}{1-\rho^{K+1}}$$



$$\text{ploss}(\rho) := \frac{(1-\rho)\cdot\rho^K}{1-\rho^{K+1}}$$

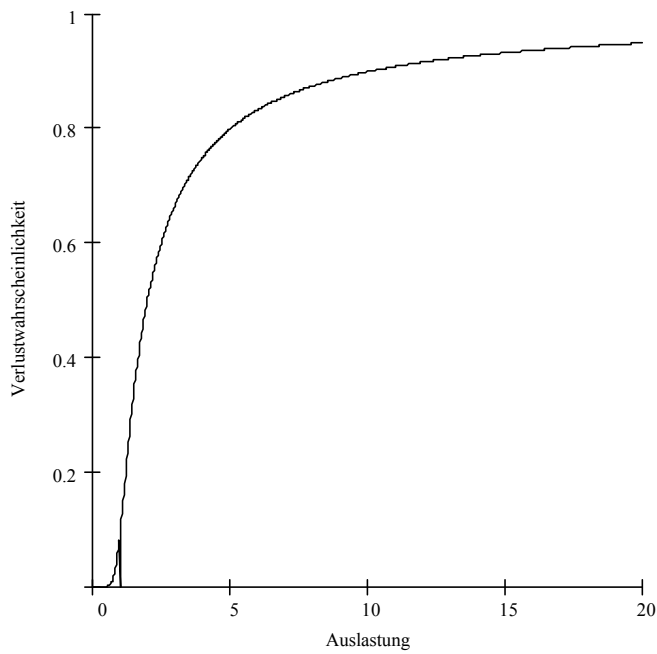


Diagramm 3-4: Verlustwahrscheinlichkeit des M/M/1/10-Systems

Der Durchsatz (Throughput) T ist nur dann gleich λ , wenn die Warteschlange nicht durch K Aufträge blockiert ist. Solange sich die Warteschlange nicht im Leerzustand befindet, dies ist mit der Wahrscheinlichkeit $1-p_0$ der Fall, fertigt die Bedieneinheit anstehende Aufträge mit der Bedienrate μ ab. Der Durchsatz berechnet sich daher zu:

$$T = m(1 - p_0) = I(1 - p_K) = I \left(1 - \frac{(1-r)r^K}{1-r^{K+1}} \right) = I \frac{1-r^K}{1-r^{K+1}} \quad (3.35)$$

$\lambda := 0.5$

$K := 10$

$$T(\rho) := \lambda \cdot \frac{(1-\rho^K)}{(1-\rho^{K+1})}$$

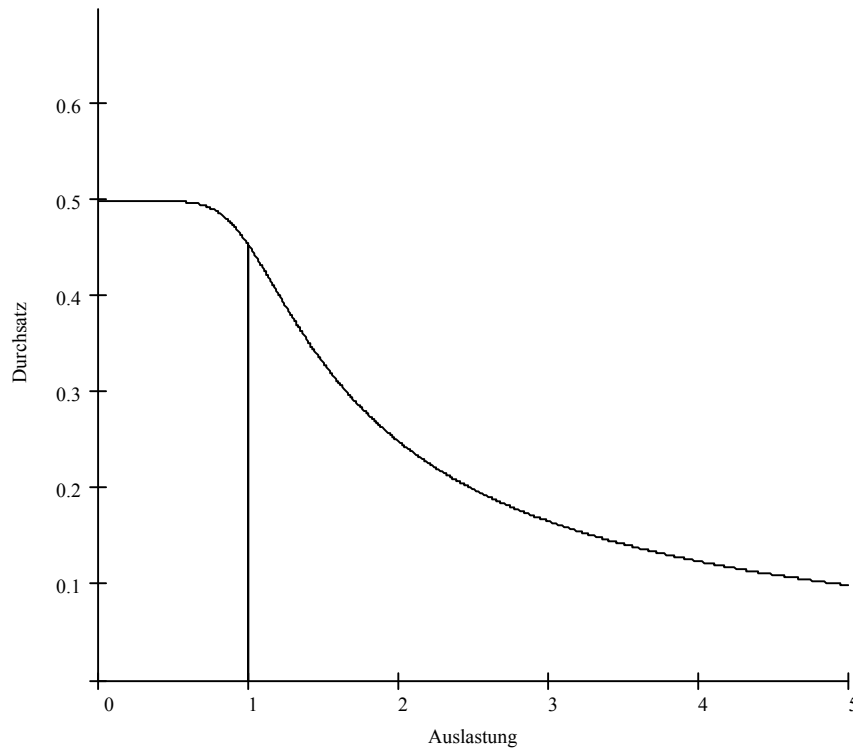


Diagramm 3-5: Durchsatz des M/M/1/10-Systems mit $\lambda = 0,5$ 1/s

3.4.4 M/G/1 – System

Da die Verwendung von exponentiell verteilten Bedienzeiten nicht gerade der Realität entspricht, betrachtet das M/G/1-Modell allgemein verteilte Bedienzeiten. Ausgehend von einem Single-Server-System mit unbegrenztem Warteraum und unendlicher Kundenanzahl, gilt auch hier für die Ankunftsrate λ eine Poisson-Verteilung, da diese durch Personen erzeugt werden. Eine Herleitung dieses Systems würde den Rahmen dieser Betrachtung sprengen, daher sind hier nur die wichtigsten Ergebnisse aufgeführt.

$$E[N_q] = \frac{I^2 E[S^2]}{2(1-r)} \quad (3.36)$$

$$E[W] = \frac{E[N_q]}{I} = \frac{I E[S^2]}{2(1-r)} \quad (3.37)$$

$$E[N] = I E[S] + \frac{I^2 E[S^2]}{2(1-r)} \quad (3.38)$$

Nutzt man den quadratischen Variationskoeffizienten $VC^2[X]$

$$VC^2[X] = C_x^2 = \frac{s^2(X)}{E^2[X]} = \frac{E[X^2] - E^2[X]}{E^2[X]} \quad (3.39)$$

kann das zweite Moment der Verteilung der Bedienzeiten $E[S^2]$ bestimmt werden zu:

$$E[S^2] = E^2[S](VC^2[S]+1) \quad (3.40)$$

Durch einsetzen in (3.38) erhält man für die mittlere Anzahl der Aufträge $E[N]$:

$$E[N] = I E[S] + \frac{I^2 E^2[S] \{VC^2[S] + 1\}}{2(1-r)}$$

$$E[N] = \frac{I}{m} + \frac{\frac{I^2}{m^2} \{VC^2[S] + 1\}}{2(1-r)}$$

$$E[N] = r + \frac{r^2}{2(1-r)} \{VC^2[S] + 1\} \quad (3.41)$$

Gleichung 3.41 wird als die **Pollaczek-Khintschin-Formel (PK-Formel)** bezeichnet. Aus der PK-Formel ergibt sich ein allgemeines Gesetz der Performance: **Je größer die Varianz, desto schlechter die Performance**. Mit schlechterer Performance sind hier längere Warteschlangen; längere Wartezeiten u.s.w. gemeint.

Mit Hilfe von Little lassen sich nun auch alle übrigen Größen bestimmen, z.B.

$$E[R] = \frac{E[N]}{I} = \frac{1}{m} \left\{ 1 + \frac{r}{2(1-r)} (VC^2[S] + 1) \right\} \quad (3.42)$$

Da das M/M/1-System ein Spezialfall des M/G/1-Systems ist, können mit der PK-Formel auch die Größen des M/M/1-Systems hergeleitet werden. Für exponentiell verteilte Bedienzeiten (M/M/1-System) gilt ein Variationskoeffizient von $VC^2[S] = 1$. Durch einsetzen in die PK-Formel ergibt sich:

$$E[N]_{M/M/1} = r + \frac{r^2}{2(1-r)} \{VC^2[S] + 1\} = r + \frac{r^2}{2(1-r)} \{1 + 1\}$$

$$E[N]_{M/M/1} = r + \frac{r^2}{(1-r)} = \frac{r(1-r) + r^2}{(1-r)} = \frac{r}{1-r}$$

$$E[R]_{M/M/1} = \frac{1}{m} \left\{ 1 + \frac{r}{2(1-r)} (VC^2[S] + 1) \right\} = \frac{1}{m} + \frac{r}{m(1-r)}$$

$$E[R]_{M/M/1} = \frac{1-r+r}{m(1-r)} = \frac{1}{m(1-r)} = \frac{1}{m-1}$$

Für konstante (deterministische) Bedienzeiten gilt $VC^2[S]=0$. Daraus folgt für das M/D/1-System:

$$E[N]_{M/D/1} = r + \frac{r^2}{2(1-r)} \{VC^2[S] + 1\} = r + \frac{r^2}{2(1-r)} \{0 + 1\}$$

$$E[N]_{M/D/1} = r + \frac{r^2}{2(1-r)} = \frac{2r(1-r) + r^2}{2(1-r)} = \frac{r - r^2}{2(1-r)}$$

$$E[R]_{M/D/1} = \frac{1}{m} \left\{ 1 + \frac{r}{2(1-r)} (VC^2[S] + 1) \right\} = \frac{1}{m} + \frac{r}{2m(1-r)}$$

$$E[R]_{M/D/1} = \frac{2-2r+r}{2m(1-r)} = \frac{2-r}{2m(1-r)}$$

Ein Java-Applet zur Gegenüberstellung der beiden Systeme M/M/1 und M/G/1 findet sich unter www.informatik.uni-essen.de/Lehre/Material/SN/. Hier kann der Variationskoeffizient, die Servicerate μ sowie die Verweilzeit (response time) per Schieberegler eingestellt werden.

Die drei folgenden Abbildungen sind Screenshots dieses Applets. Es wurde nur der Variationskoeffizient verändert. Beginnend mit $VC[S]=2,01$ zeigt das M/M/1-System noch die bessere Performance. Mit $VC[S]=1$ wird das M/G/1-System zum M/M/1-System, was an den überlagerten Kurven zu erkennen ist. Durch $VC[S]<1$ bietet das M/G/1-System nun die bessere Leistung.

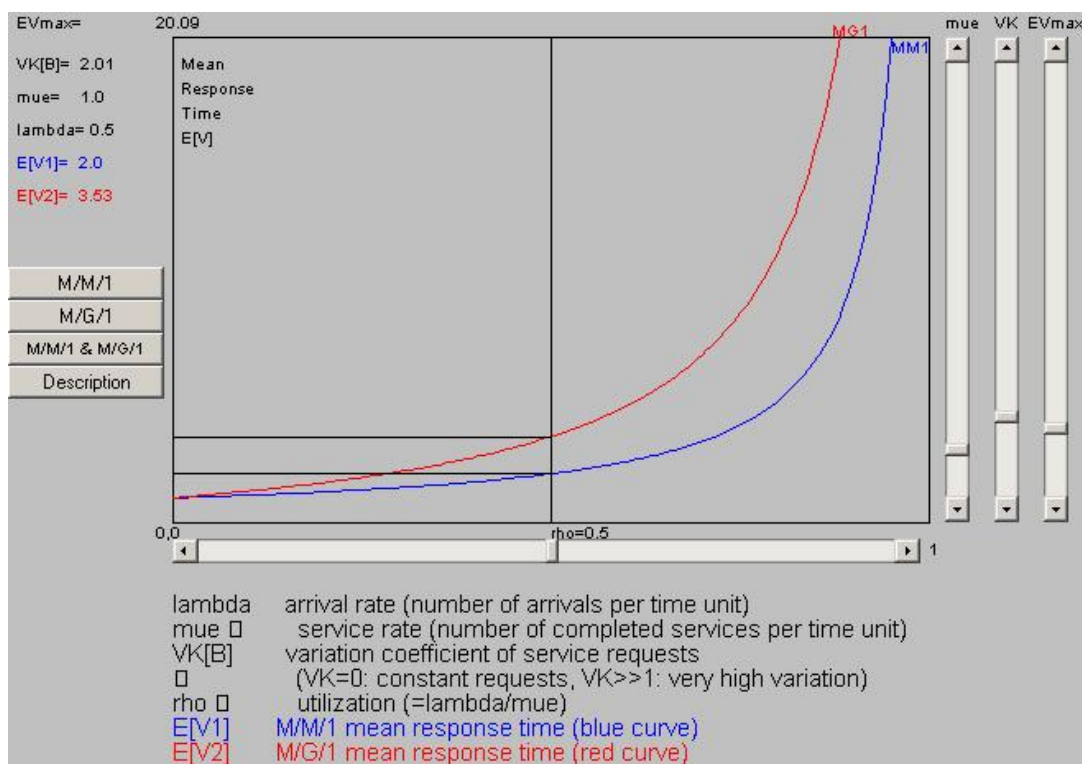


Abbildung 3-11: Vergleich M/M/1 und M/G/1 mit Variationskoeffizient $VC[S]>1$

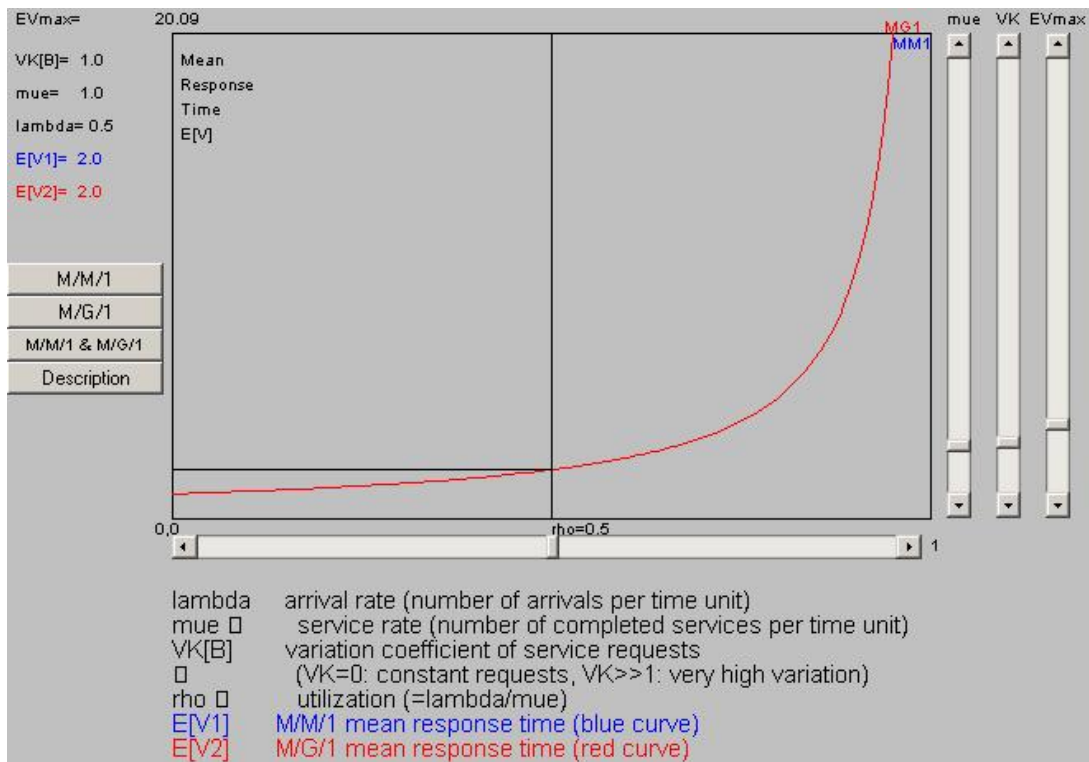


Abbildung 3-12: Vergleich M/M/1 und M/G/1 mit Variationskoeffizient $VC[S]=1$

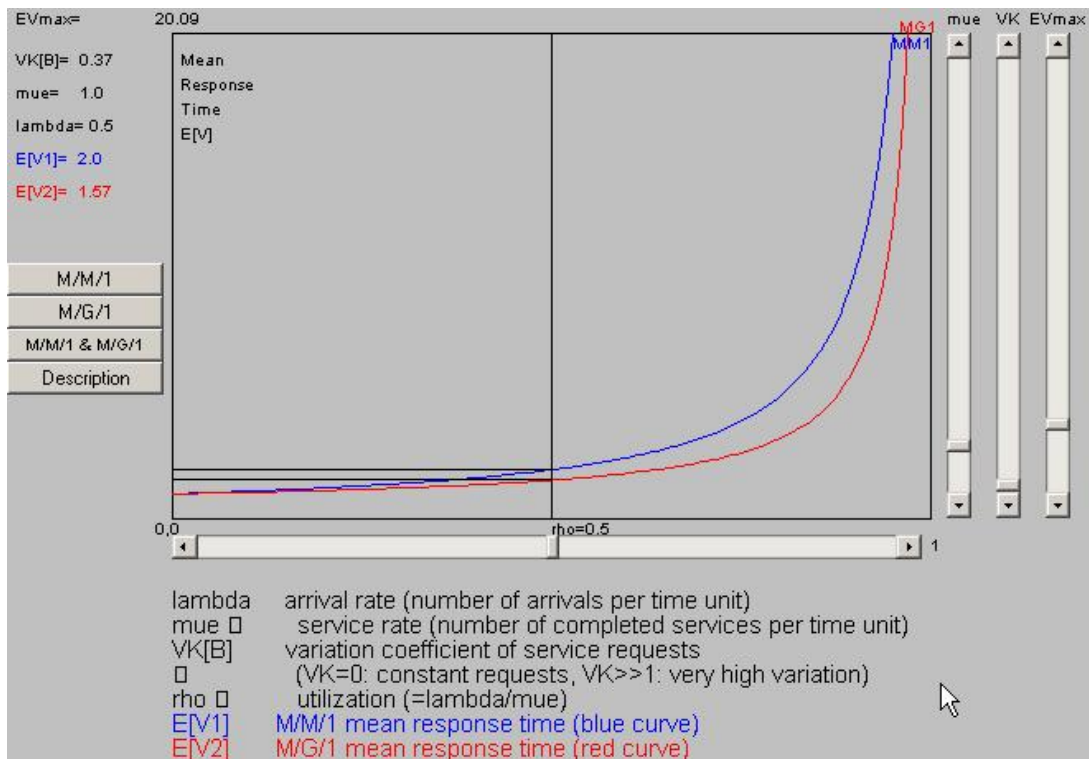


Abbildung 3-13: Vergleich M/M/1 und M/G/1 mit Variationskoeffizient $VC[S]<1$

4 Warteschlangennetze – Queueing Networks

Warteschlangennetze sind verschachtelte Warteschlangen. Man unterscheidet zwischen

- offenen Netzen und
- geschlossenen Netzen.

Unter offenen Netzen versteht man Netzwerke, bei denen die Kundenzahl unendlich ist. Neue Aufträge können das System von Außen betreten und nach ihrer Bearbeitung das System wieder verlassen. Beispiele für offene Warteschlangennetze sind das öffentliche Telefonnetz und das Internet. Beide verfügen über eine große Kundenanzahl und es kommen ständig neue Aufträge in das System. Andererseits wird das Netz durch Verlassen von Kunden wieder entlastet. Bei offenen Warteschlangennetzen ist der Durchsatz T bekannt. Er ist gleich der Ankunftsrate λ_0 der Kunden die das Netz von Außen betreten. Folglich ist hier die mittlere Kundenanzahl $E[N]$ von Interesse.

Geschlossene Netze verfügen über eine feste Kundenzahl. Keine Kunden betreten oder verlassen das System und Abgänge von einer Warteschlange werden zu Ankünften einer anderen. Da hier die Kundenanzahl bekannt ist, wird hauptsächlich nach dem Durchsatz dieser Netze geforscht. Als Beispiel wird hier oft der Zentrale Server (*central single server*) in der Literatur verwendet. Bei dieser Art von Netzwerk werden Anfragen an einen Server gestellt, diese durchlaufen das Netz und kehren wieder zu den Terminals zurück.

4.1 Offene Warteschlangennetze – Open Queueing Networks

Die einfachsten aller offenen Warteschlangennetze sind sogenannte *Feed-forward Queueing networks*. Es handelt sich hierbei um eine Serie von Warteschlangen des Typs M/M/1 und M/M/m.

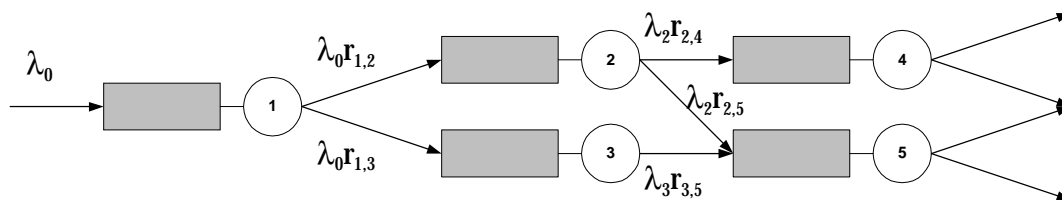


Abbildung 4-1: Feed-forward queueing network

Die Ankunftsraten an den einzelnen Schlangen ergeben sich dadurch wie folgt:

$$I_2 = I_0 r_{1,2}$$

$$I_3 = I_0 r_{1,3}$$

$$I_4 = I_2 r_{2,4}$$

$$I_5 = I_2 r_{2,5} + I_3 r_{3,5}$$

Wobei $r_{i,j}$ die Routingwahrscheinlichkeit, dass ein Kunde der die Schlange i verlässt und zur Schlange j wandert, beschreibt.

Betrachtet man ein beliebig verknüpftes Netz, so besteht keine reine Feed-forward-Konstruktion mehr. Aufträge die eine Warteschlange verlassen können zum Beispiel wieder einer bereits besuchten Warteschlange zugeführt werden. Solche Netze werden *Jackson Netze* genannt (nach Jackson 1957). Die Ankunftsrate λ_j der Warteschlange j wird dann beschrieben durch

$$I_j = I_0 r_{0,j} + \sum_{i=1}^M I_i r_{i,j} \quad j = 1, 2, \mathbf{K}, M. \quad (4.1)$$

Wobei die einzelnen Parameter folgendes bedeuten:

- I_0 Ankunftsrate der Aufträge von Außerhalb
- I_i Ankunftsrate der Kunden an Schlange i
- $r_{i,j}$ Routingwahrscheinlichkeit, dass ein Kunde der die Schlange i verlässt zur Schlange j wandert
- M Anzahl der Knoten

Station j wird also gespeist durch Ankünfte von Außen, mit Wahrscheinlichkeit $r_{0,j}$, sowie durch Ankünfte aller anderen Warteschlangen. Hierzu zählen auch eventuelle Ankünfte der eigenen Station (Feedback).

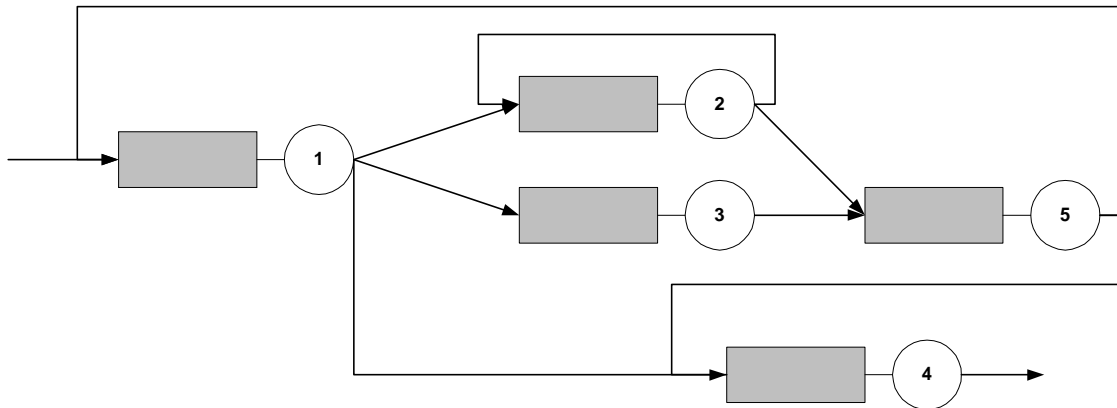


Abbildung 4-2: Offenes Warteschlangennetz vom Jackson-Typ

Als Beispiel hier die Gleichung für λ_1 :

$$I_1 = I_0 r_{0,1} + \sum_{i=1}^5 I_i r_{i,1} = I_0 r_{0,1} + I_1 r_{1,1} + I_2 r_{2,1} + I_3 r_{3,1} + I_4 r_{4,1} + I_5 r_{5,1}$$

$$\text{mit } r_{1,1} = r_{2,1} = r_{3,1} = r_{4,1} = 0$$

$$\Rightarrow I_1 = I_0 r_{0,1} + I_5 r_{5,1}$$

Da es sich hier um ein sehr einfaches offenes Netzwerk handelt, kann man die Richtigkeit des Ergebnisses auch schon direkt aus dem Bild erkennen. Da es sich um ein lineares Gleichungssystem handelt, können alle Ankunftsrate durch Kenntnis von λ_0 gewonnen werden. Die Auslastungen der einzelnen Stationen können somit bestimmt werden durch $r_i = I_i / m_i$ $i=1, 2, \mathbf{K}, M$. Auch hier muss die Stabilitätsbedingung $r_i < 1$ für alle Stationen gelten!

Betrachtet man ein Netz aus M/M/1-Systemen, so berechnen sich die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten der einzelnen Warteschlangen zu (vgl. Glg 3.18, Abschnitt 3.4.1)

$$p(n_i) = (1 - r_i) r_i^{n_i} \quad i = 1, 2, \mathbf{K}, M. \quad (4.2)$$

Die stationäre Grenzverteilung des Gesamtnetzes ergibt sich nun als Produkt der einzelnen Zustandswahrscheinlichkeiten $p(n_i)$, die angeben mit welcher Wahrscheinlichkeit sich genau n_i Kunden in der Schlange i befinden, man spricht von einer Produktformlösung. Daher werden solche Netze in der Literatur auch oft als Produktformnetze (*product form networks*) bezeichnet.

$$p(n_1, n_2, \mathbf{K}, n_M) = p(n_1) * p(n_2) * \mathbf{L} * p(n_M) \quad (4.3)$$

Daraus folgt:

$$p(n_1, n_2, \mathbf{K}, n_M) = \prod_{i=1}^M (1 - r_i) r_i^{n_i} \quad (4.4)$$

Die mittlere Anzahl der Kunden an Station i erhält man aus:

$$E[N_i] = \frac{r_i}{1 - r_i} \quad i = 1, 2, \mathbf{K}, M. \quad (4.5)$$

Die von Jackson untersuchten Netzwerke unterlagen folgenden Annahmen [Bol89]:

- Die Anzahl der Kunden im Netzwerk ist unbeschränkt.
- Jeder Knoten im Netz kann Poisson-Ankünfte von außerhalb erhalten.
- Die Kunden dürfen das Netz von jedem Knoten verlassen.
- Alle Bedienzeiten sind exponentiell verteilt.
- Die Warteschlangenstrategie ist bei allen Knoten FCFS.
- Der i -te Knoten besteht aus $m_i \geq 1$ identischen Bedieneinheiten mit den Bedienraten μ_i , $i = 1, \mathbf{K}, M$. Die Bedienraten μ_i und die Ankunftsraten $\lambda_{0,i}$ können von der Anzahl der Aufträge des jeweiligen Knotens abhängen. Man spricht von **lastabhängigen** Bedien- bzw. Ankunftsdaten.

4.2 Geschlossene Warteschlangennetze – Closed Queueing Networks

Der Basistyp geschlossener Netzwerke sind *Gordon-Newell-Netze*. Sie sind nach Ihren Entdeckern Gordon und Newell benannt und bilden die einfachsten geschlossenen Markov-Netze. Es handelt sich hierbei um M $M/M/1$ – Warteschlangen, die wieder unter Berücksichtigung der Routingwahrscheinlichkeiten $r_{i,j}$ miteinander verknüpft sind. Die Kundenanzahl K im System ist fest und es können keine Kunden das System betreten oder verlassen. Es gibt also keine Ankunftsrate von Außen und Gleichung 4.1 vereinfacht sich zu:

$$I_j = \sum_{i=1}^M I_i r_{i,j} \quad j = 1, 2, \mathbf{K}, M. \quad (4.6)$$

Diese Vereinfachung hat allerdings den Nachteil, dass das Gleichungssystem nur lösbar ist, wenn eine Ankunftsrate, zum Beispiel λ_1 , frei gewählt wird. Der Einfachheit halber wählt man $I_1 = 1$ als Referenz. Alle anderen Ankunftsrate I_2, \mathbf{K}, I_M sind also relativ zu λ_1 .

Um einer Verwechslung mit realen Ankunftszeiten vorzubeugen verwendet man Anstelle der Ankunftsrate λ meist sogenannte Besuchshäufigkeiten V_i (*visit counts*). Daraus folgt die Substitution:

$$V_i = I_i = 1.$$

Definiert man nun Dienstansprüche (*service demands*) D_i der einzelnen Stationen, so bildet die Station mit dem höchsten Dienstanspruch den Flaschenhals des Systems.

$$D_i = V_i * E[S] \quad (4.7)$$

Hier können die Werte für D_i durchaus größer als eins werden! Das bedeutet dann aber nicht dass es sich um ein instabiles System handelt. Geschlossene Netze bilden immer ein stabiles System, da die maximale Auftragsanzahl einer Warteschlange durch K begrenzt ist, sie sind also selbstregulierend.

Gordon und Newell sagen nun, dass die einzelnen Zustandswahrscheinlichkeiten $p(n_1, n_2, \mathbf{K}, n_M)$ durch folgende Produktformlösung bestimmt werden kann.

$$p(n_1, n_2, \mathbf{K}, n_M) = \frac{1}{G(M, K)} \prod_{i=1}^M D_i^{n_i} \quad (4.8)$$

$G(M, K)$ bezeichnet dabei die Normalisierungskonstante des Netzwerks. Sie erfüllt die Bedingung, dass die Summe aller Zustandswahrscheinlichkeiten eins ergibt.

Für offene Warteschlangennetze ist die Normalisierungskonstante immer gleich eins, für geschlossene Netze muss $G(M, K)$ so bestimmt werden, dass die Normierungsbedingung $\sum p(n_1, n_2, \mathbf{K}, n_M) = 1$ erhalten bleibt.

Daraus folgt:

$$G(M, K) = \sum_{\sum_{i=1}^M n_i = K} \prod_{i=1}^M D_i^{n_i} \quad (4.9)$$

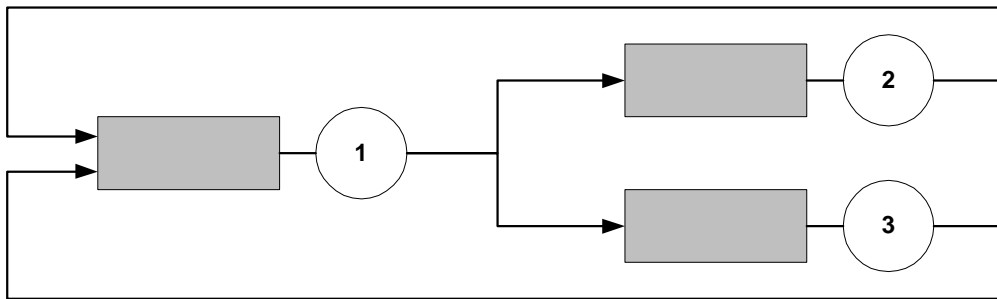


Abbildung 4-3: Geschlossenes Warteschlangennetz

Beispiel: Abbildung 4-3 zeigt ein geschlossenes Warteschlangennetz mit drei Stationen. Seien die einzelnen Bedienraten $E[S_1] = 1 \text{ sec}$, $E[S_2] = 2 \text{ sec}$, $E[S_3] = 3 \text{ sec}$ und die Routingwahrscheinlichkeiten $r_{1,2} = 0,3$, $r_{1,3} = 0,7$, $r_{2,1} = r_{3,1} = 1$. Setzt man zunächst die Besuchshäufigkeit der Warteschlange Nr. 1 zu $V_1 = 1$ Packet pro Sekunde, so berechnen sich die beiden anderen Besuchshäufigkeiten wie folgt:

$$V_2 = r_{1,2} V_1 = 0,3 \frac{\text{pck}}{\text{sec}}$$

$$V_3 = r_{1,3} V_1 = 0,7 \frac{\text{pck}}{\text{sec}}$$

Jetzt kann der Dienstanpruch aller drei Stationen bestimmt werden.

$$D_1 = V_1 E[S_1] = 1$$

$$D_2 = V_2 E[S_2] = 0,7 * 2 = 1,4$$

$$D_3 = V_3 E[S_3] = 0,3 * 3 = 0,9$$

Station Nr. 2 bildet also den Flaschenhals des Systems. Um die Normalisierungskonstante $G(3,4)$ bestimmen zu können, muss als erstes die Anzahl der maximal möglichen Zustände des Systems gefunden werden. Hierfür verwendet man den Binominalkoeffizienten

$$\binom{M + K - 1}{N - 1} = \binom{6}{2} = 15.$$

Es gibt folglich fünfzehn verschiedene Zustände des Systems. Dies wären im Einzelnen:

$$\begin{aligned} &(4, 0, 0) (3, 1, 0) (3, 0, 1) (2, 2, 0) (2, 0, 2) \\ &(2, 1, 1) (1, 3, 0) (1, 0, 3) (1, 2, 1) (1, 1, 2) \\ &(0, 4, 0) (0, 0, 4) (0, 2, 2) (0, 1, 3) (0, 3, 1) \end{aligned}$$

Zustand $(1, 2, 1)$ besagt, dass sich ein Kunde in Schlange 1, zwei Kunden in Schlange 2 und ein Kunde in Schlange 3 befindet. Die Normalisierungskonstante $G(3,4)$ ist nun die Summe aller Möglichkeiten.

$$G(3,4) = D_1^4 + D_1^3 D_2 + D_1^3 D_3 + D_1^2 D_2^2 + D_1^2 D_3^2 + \mathbf{L} + D_2^3 D_3$$

Da diese Methode besonders bei größeren Netzwerken nicht ohne enormen Rechenaufwand zu betreiben ist, kann die Normalisierungskonstante auch mit Hilfe des rekursiven Buzen Algorithmus bestimmt werden.

$$G(m, k) = G(m - 1, k) + D_m G(m, k - 1) \tag{4.10}$$

Der erste Term $G(m - 1, k)$ bedeutet, dass alle k Aufträge auf $m - 1$ Warteschlangen verteilt sind, d.h., Warteschlange m befindet sich im leeren Zustand. Der zweite Term $D_m G(m, k - 1)$ sagt aus, dass sich immer ein Auftrag in Schlange m befindet und sich daher nur noch $k - 1$ Aufträge auf die übrigen Warteschlangen verteilen. Da es nur eine Möglichkeit gibt um 0 Kunden im System zu verteilen, ist $G(m, 0)$ für alle m immer gleich 1. Und man erhält so die Startwerte der Buzen Tabelle.

Mit dem Buzen Algorithmus lässt sich nun eine Tabelle zur Berechnung der Normalisierungskonstanten erstellen.

k	$G(1,k)$	$G(2,k)$	$G(3,k)$	$G(4,k)$	L	$G(M,k)$
0	1	1	1	1	L	1
1	D_1^1	$D_1^1 + D_2^1$	$D_1 + D_2 + D_3$	M	L	$G(M-1,1) + D_M$
2	D_1^2	$D_1^2 + D_2^2(D_1 + D_2)$	M	M	L	M
3	D_1^3	M	M	M	L	M
M	M	M	M	M	L	M
K	D_1^K	$D_1^K + D_2^K G(2, K-1)$	L	L	L	$G(M, K)$

Tabelle 4-1: Berechnung von $G(M,K)$ nach Buzen

Für dieses Beispiel:

k	$G(1,k)$	$G(2,k)$	$G(3,k)$
0	1	1	1
1	1	2,4	3,3
2	1	4,36	7,33
3	1	7,104	13,701
4	1	10,946	23,276

$$\Rightarrow G(3,4) = 23,276$$

Mit Kenntnis der Normalisierungskonstante können nun alle relevanten Größen errechnet werden. Zum Beispiel die Wahrscheinlichkeit, dass Station 1 leer ist.

$$p(n_1 = 0) = \frac{1,4^4 + 0,9^4 + 1,4^2 * 0,9^2 + 1,4 * 0,9^3 + 1,4^3 * 0,9}{23,276}$$

$$p(n_1 = 0) = 0,411$$

$$\Rightarrow r_1 = 1 - 0,411 = 0,589 \quad \text{und} \quad I_1 = r_1 m_1 = 0,589$$

Oder einfacher mit den Quotienten in der letzten Spalte des Buzen Algorithmus:

$$I(K) = \frac{G(M, K-1)}{G(M, K)} \quad (4.11)$$

$$I(4) = \frac{13,701}{23,261} = 0,589$$

Mit $r_i(K) = I(K)D_i$ ergibt sich für Auslastungen

$$r_1(4) = D_1 I(4) = 0,589$$

$$r_2(4) = 1,4 * 0,589 = 0,824$$

$$r_3(4) = 0,9 * 0,589 = 0,53$$

Für die mittlere Anzahl der Kunden an Station 2 erhält man:

$$E[N_2(K)] = \sum_{k=1}^K D_2^k \frac{G(M, K-k)}{G(M, K)} \quad (4.12)$$

$$E[N_2(4)] = \frac{1,4 * 13,701 + 1,4^2 * 7,33 + 1,4^3 * 3,3 + 1,4^4}{23,276} = 1,995$$

4.2.1 Mittelwertanalyse – Mean Value Analysis, MVA

Die bisher vorgestellten analytischen Verfahren eignen sich besonders für detaillierte Auswertungen kleinerer Warteschlangennetze. Da der Rechenaufwand dieser Verfahren mit der Größe der Netzwerke zunimmt und oft eine durchschnittliche Leistungsbewertung ausreichend ist, wird in vielen Fällen die Mittelwertanalyse (*Mean Value Analysis, MVA*) angewandt. Die MVA wurde von Reiser und Laverberg Anfang der achtziger Jahre entwickelt und hat den Vorteil, dass die einzelnen Zustandswahrscheinlichkeiten für die Berechnung keine Rolle spielen. Auch die Normalisierungskonstante wird nicht benötigt. Sie kann aber aus den Ergebnissen der MVA bestimmt werden und ermöglicht das Beantworten von Detailfragen. Der MVA Algorithmus eignet sich besonders zur rechnergestützten Simulation. Hier soll nur der einfachste Algorithmus für Netzwerke mit einer Auftragsklasse vorgestellt werden.

Grundlage der MVA ist das Ankunftstheorem (*arrival theorem*):

In einem geschlossenen Warteschlangennetz ist die Zustandswahrscheinlichkeitsverteilung der Aufträge in dem Moment, wenn ein Kunde von einer Warteschlange zur nächsten wechselt gleich der Zustandswahrscheinlichkeitsverteilung der Aufträge ohne diesen Kunden.

Das bedeutet, wenn in einem geschlossenen Warteschlangennetz mit K Aufträgen ein Kunde von Station i zur Station j wechselt, so wird er im Durchschnitt $E(N_j(K-1))$ Kunden an Station j vorfinden. Auch hier wird als Warteschlangendisziplin FCFS vorausgesetzt. Mit diesen Annahmen kann nun eine rekursive Beziehung zwischen der durchschnittlichen Performance eines Netzes mit K Aufträgen und der eines Netzes mit $K-1$ Aufträgen aufgestellt werden. Beim Erreichen von $K=0$ bzw. $K=1$ kann die Gesamtperformance des Netzes bestimmt werden.

Die Wartezeit $E[W_i(K)]$ im Warteraum i bei einer Population von K Aufträgen ergibt sich dann zu

$$E[W_i(K)] = E[N_i(K-1)]E[S_i] \quad (4.13)$$

Die Verweilzeit $E[r_i(K)]$ pro Besuch der Warteschlange i ist dann die Summe der Wartezeit $E[W_i(K)]$ und der Bedienzeit $E[S_i]$.

$$E[r_i(K)] = E[W_i(K)] + E[S_i] = (E[N_i(K-1)] + 1)E[S_i] \quad (4.14)$$

Multipliziert mit der Besuchshäufigkeit V_i , kann jetzt die mittlere Verweilzeit im System $E[R_i(K)]$ berechnet werden.

$$E[R_i(K)] = (E[N_i(K-1)] + 1)E[S_i]V_i = (E[N_i(K-1)] + 1)D_i \quad (4.15)$$

Unter Verwendung von Little erhält man die mittlere Anzahl der Kunden in der Warteschlange i .

$$E[N_i(K)] = I(K)E[R_i(K)] \quad (4.16)$$

Bildet man die Summe über alle Stationen, muss als Ergebnis die Anzahl K der Aufträge im System erscheinen.

$$\sum_{i=1}^M E[N_i(K)] = I(K) \sum_{i=1}^M E[R_i(K)] = I(K)E[R(K)] = K \quad (4.17)$$

Daraus folgt für $\lambda(K)$:

$$I(K) = \frac{K}{E[R(K)]} \quad (4.18)$$

Eingesetzt in das Gesetz von Little für eine einzelne Warteschlange, erhält man für die mittlere Anzahl der Kunden $E[N_i(K)]$:

$$E[N_i(K)] = K \frac{E[R_i(K)]}{E[R(K)]} \quad (4.19)$$

Und die Auslastungen $r_i(K)$

$$r_i(K) = I(K) D_i \quad (4.20)$$

Bezogen auf das vorherige Beispiel ergeben sich die mittleren Verweilzeiten im System für $K = 1$ unter Verwendung von Gleichung 4.15 zu

$$E[R_1(1)] = (E[N_1(0)] + 1) D_1 = (0 + 1) D_1 = 1 \text{ sec}$$

$$E[R_2(1)] = (E[N_2(0)] + 1) D_2 = D_2 = 1,4 \text{ sec}$$

$$E[R_3(1)] = (E[N_3(0)] + 1) D_3 = D_3 = 0,9 \text{ sec}$$

Daraus folgt:

$$E[R(1)] = \sum_{i=1}^3 E[R_i(1)] = 3,3 \text{ sec}$$

$$I(1) = \frac{1}{E[R(1)]} = 0,303$$

$$E[N_1(1)] = I(1) E[R_1(1)] = 0,303$$

$$E[N_2(1)] = I(1) E[R_2(1)] = 0,424$$

$$E[N_3(1)] = I(1) E[R_3(1)] = 0,273$$

$$r_1(1) = D_1 I(1) = 0,303$$

$$r_2(1) = D_2 I(1) = 0,424$$

$$r_3(1) = D_3 I(1) = 0,273$$

Für $K=2$:

$$E[R_1(2)] = (E[N_1(1)] + 1)D_1 = (0,303 + 1)D_1 = 1,303 \text{ sec}$$

$$E[R_2(2)] = (E[N_2(1)] + 1)D_2 = 1,424D_2 = 1,994 \text{ sec}$$

$$E[R_3(2)] = (E[N_3(1)] + 1)D_3 = 1,273D_3 = 1,146 \text{ sec}$$

$$E[R(2)] = \sum_{i=1}^3 E[R_i(2)] = 4,443 \text{ sec}$$

$$I(2) = \frac{2}{E[R(2)]} = 0,45$$

$$E[N_1(2)] = I(2)E[R_1(2)] = 0,586$$

$$E[N_2(2)] = I(2)E[R_2(2)] = 0,897$$

$$E[N_3(2)] = I(2)E[R_3(2)] = 0,516$$

$$r_1(2) = D_1I(2) = 0,586$$

$$r_2(2) = D_2I(2) = 1,256$$

$$r_3(2) = D_3I(2) = 0,464$$

Für $K=3$:

$$E[R_1(3)] = (E[N_1(2)] + 1)D_1 = 1,586D_1 = 1,586 \text{ sec}$$

$$E[R_2(3)] = (E[N_2(2)] + 1)D_2 = 1,897D_2 = 2,656 \text{ sec}$$

$$E[R_3(3)] = (E[N_3(2)] + 1)D_3 = 1,516D_3 = 1,364 \text{ sec}$$

$$E[R(3)] = \sum_{i=1}^3 E[R_i(3)] = 5,606 \text{ sec}$$

$$I(3) = \frac{3}{E[R(3)]} = 0,535$$

$$E[N_1(3)] = I(3)E[R_1(3)] = 0,849$$

$$E[N_2(3)] = I(3)E[R_2(3)] = 1,384$$

$$E[N_3(3)] = I(3)E[R_3(3)] = 0,73$$

$$r_1(3) = D_1 I(3) = 0,535$$

$$r_2(3) = D_2 I(3) = 0,749$$

$$r_3(3) = D_3 I(3) = 0,482$$

Für K=4:

$$E[R_1(4)] = (E[N_1(3)] + 1)D_1 = 1,849D_1 = 1,849 \text{ sec}$$

$$E[R_2(4)] = (E[N_2(3)] + 1)D_2 = 2,384D_2 = 3,338 \text{ sec}$$

$$E[R_3(4)] = (E[N_3(3)] + 1)D_3 = 1,73D_3 = 1,557 \text{ sec}$$

$$E[R(4)] = \sum_{i=1}^3 E[R_i(4)] = 6,744 \text{ sec}$$

$$I(4) = \frac{4}{E[R(4)]} = 0,593$$

$$E[N_1(4)] = I(4)E[R_1(4)] = 1,096$$

$$E[N_2(4)] = I(4)E[R_2(4)] = 1,979$$

$$E[N_3(4)] = I(4)E[R_3(4)] = 0,923$$

$$r_1(4) = D_1 I(4) = 0,593$$

$$r_2(4) = D_2 I(4) = 0,83$$

$$r_3(4) = D_3 I(4) = 0,534$$

Die Berechnung der Normierungskonstante G(M,K) erfolgt ebenfalls rekursiv.

$$G(M,1) = \frac{1}{I(1)} = 3,3$$

$$G(M,2) = \frac{G(M,1)}{I(2)} = 7,33$$

$$G(M,3) = \frac{G(M,2)}{I(3)} = 13,707$$

$$G(M,4) = \frac{G(M,3)}{I(4)} = 23,115$$

5 COMNET III

COMNET ist mit weltweit über 1500 Kunden das führende Simulationstool für Netzwerke. Es wurde von der *CACI International Inc.*, die auf über dreißig Jahre Simulationserfahrung zurückgreifen können, entwickelt. Das CACI Tochterunternehmen CACI Products Company entwickelt und vertreibt Werkzeuge zur Kapazitätsplanung. Hierzu gehört auch die Comnet Produktfamilie. Sie beinhaltet *COMNET III*, den *Comnet Predictor*, der als Gegenstück zu COMNET III eine schnelle Netzwerkanalyse erlaubt und den *Comnet Application Profiler*, der Transaktions-Performance unter geänderten Vorbedingungen wie zum Beispiel geänderter Bandbreite erlaubt. CACI wurde 1962 gegründet und hat rund 4200 Mitarbeiter in ca. 90 Niederlassungen weltweit. Zu den Kunden gehören Großunternehmen aber auch staatliche Einrichtung wie das Pentagon.

Im Januar 2000 wurde die Comnet Produktlinie von der Compuware Corporation, führender Anbieter von Softwarelösungen und Dienstleistungen für Client/Server- und Mainframe-Umgebungen, übernommen. Mit der Übernahme gibt Compuware sein Debüt im Bereich der Kapazitätsplanung und Simulation und ergänzt seine Produktfamilie Ecosystems für das unternehmensweite Application Service Level Management. Compuware beschäftigt weltweit mehr als 15000 Mitarbeiter und kann über 2000 deutsche Unternehmen zu seinen Kunden zählen.

In den letzten Jahren stieg die Abhängigkeit der Unternehmen von ihren Kommunikationsmedien, wozu auch die Computernetzwerke zählen (sie bilden eigentlich den Hauptanteil), drastisch an. Steigende Netzwerkansprüche und Auslastungen schlagen sich nicht nur in den Hardwarekosten, sondern auch in hohen Ausfallkosten der Netzwerke nieder. Ein leistungsfähiges Kapazitätsplanungs-Tool, wie es die Comnet Produktlinie darstellt, ermöglicht Netzwerkplanern einen Überblick über die vorhandene Netzwerkstruktur.

COMNET III bietet dem Anwender die Möglichkeit zur detaillierten Netzwerkplanung und Simulation. Es können „What-if“-Szenarien durchgeführt werden, ohne dabei das bestehende Netz zu verändern. COMNET III unterstützt alle gängigen Netzwerkvarianten wie LAN, WAN, ATM, Ethernet, Point-to-Point, TCP/IP, ISDN und viele mehr.

Eine graphische Oberfläche und das Einfügen von Netzwerkelementen per Drag&Drop vereinfachen die Arbeit mit diesem Tool, da der Überblick über die Gesamtstruktur stets gegeben ist. Durch Animation des Datenflusses können Flaschenhälse (bottlenecks) schon während des Simulationsdurchlaufs erkannt werden.

Eine Bibliothek, mit vielen gängigen Netzwerkprodukten renommierter Hersteller, erleichtert den Aufbau der Netze und bietet eine realistische Untersuchung der Performance. Alternativ können alle Elemente den eigenen Bedürfnissen angepasst werden. Hierzu bedarf es der Eingabe der zu ändernden Parameter um das Modell mit dem realen System zu synchronisieren. COMNET III stellt unzählige Parameter zur Verfügung, was den Umgang mit dem Programm allerdings etwas erschwert.

Um COMNET III sinnvoll nutzen zu können bedarf es einiger Einarbeitungszeit. Danach können aber auch komplexe Netzwerke gut nachgebildet werden.

Ist ein Modell des zu testenden Netzwerks erstellt, kann die Simulation gestartet werden. Als Ergebnis erhält man die zuvor ausgewählten Aufzeichnungen wie Link Utilisation (Auslastung), Message Delay, Anzahl der gesendeten und empfangenen Nachrichten, Kollisionen (bei Ethernet), Prozessor- und Festplattenauslastung, Token Rotation Time (für Token Ring Netzwerke), verwendete Paketgröße u.s.w., als ein Reportfile.

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Wed Feb 02 11:33:46
2000 PAGE 1

sim1_A

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 200.0 TO 12200.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point-to-point						
FROM pc	12015	0	805.408	809.422	9246.400	80.61
FROM file server	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Wed Feb 02 11:33:46
2000 PAGE 2

sim1_A

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 200.0 TO 12200.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME:	MESSAGES	MESSAGE DELAY		
DESTINATION LIST	ASSEMBLED	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
pc / src sql:				
file server	12015	4188.863 MS	4088.868 MS	26718.437 MS

COMNET III sollte nur auf leistungsfähigen Rechnern betrieben werden, da die langen Simulationszeiten schnell zum Frust des Anwenders führen. Aus Anwendersicht lässt sich COMNET III gut mit den Worten von *Steve Dreak* beschreiben: **J**

Queueing Queueing Queueing

Roses are red

Violets are blue

I'm getting impatient.

I'm stuck in this queue.

5.1 COMNET III Toolpalette

Am linken Bildschirmrand liegt die COMNET III Toolpalette. Sie beinhaltet alle zum Erstellen eines Netzwerkmodells notwendigen Komponenten. Diese können per

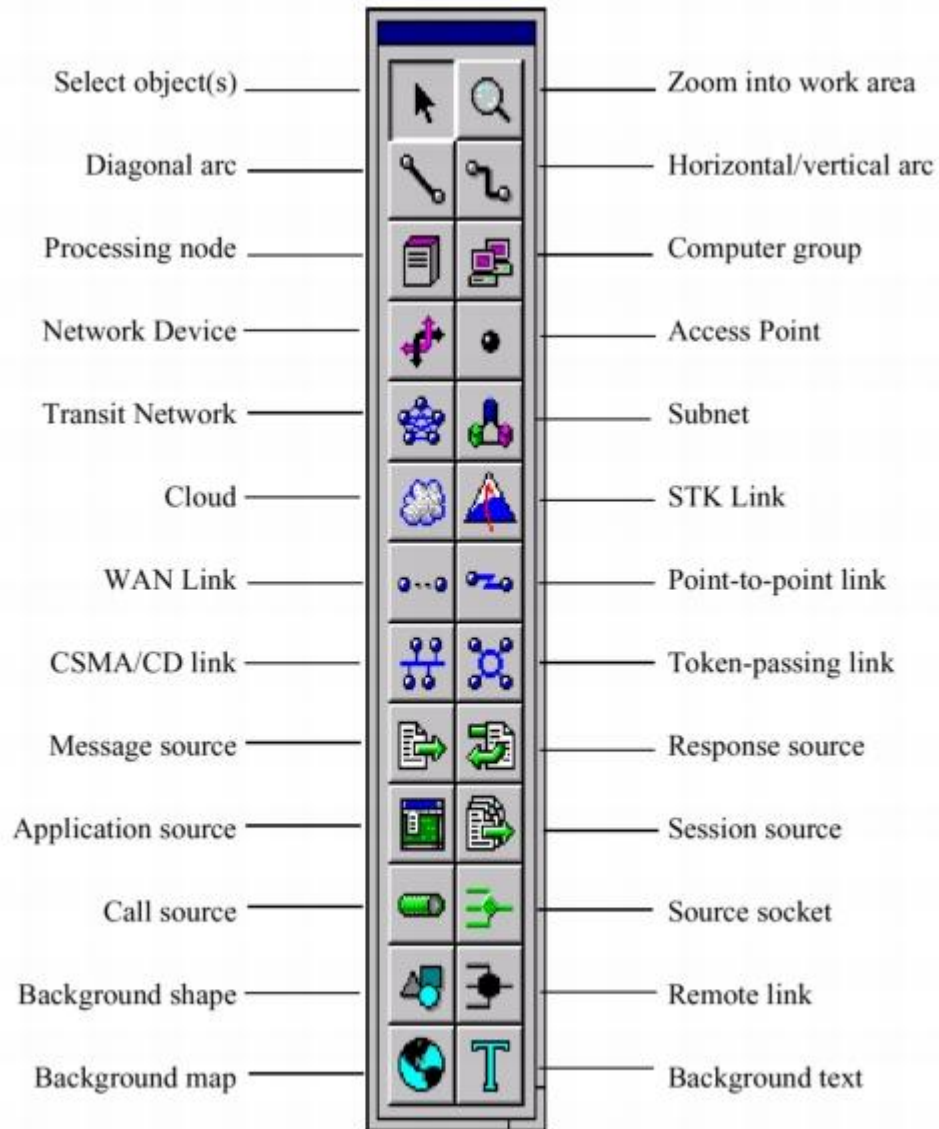


Abbildung 5-1: COMNET III Toolbar

6 Vergleich der drei Systeme M/M/1, M/D/1 und D/D/1

Dieser Versuch wurde [Gro99] entnommen. Es handelt sich hier um zwei PCs, die miteinander über einem Point-to-Point Link verbunden sind. Untersucht wurde die Auswirkung der unterschiedlichen Verteilungen der Systeme M/M/1, M/D/1 und D/D/1 auf die Verweilzeit im System (*Message Delay*). Mit MathCAD wurde eine theoretische Vorbetrachtung erstellt. Sie zeigt die Verweilzeit der Nachrichten im System in Abhängigkeit von der Auslastung ρ und dient der Simulationskontrolle. Zusätzlich wurde ein Vergleich der von COMNET III berechneten Durchschnittswerte mit den Momentanwerten der Simulation durchgeführt.

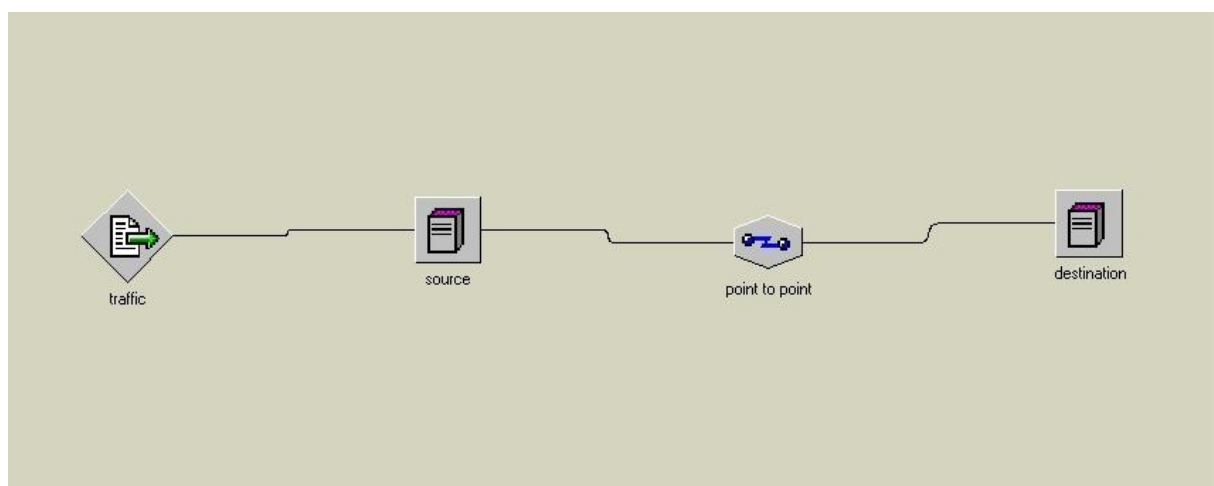


Abbildung 6-1: COMNET III – Modell für das M/M/1, das M/D/1 und das D/D/1 - System

Es handelt sich um eine Verbindung mit einer Kapazität von 1 Mbps. Für den Link und die beiden PCs (*Processing nodes*) wurden die COMNET III Idealwerte der Parameter verwendet (*default values*). Die Größe der Nachrichten beträgt 125 Bytes. Sie ist exponentiell verteilt für das M/M/1-System oder deterministisch (konstant) verteilt für das M/D/1 und das D/D/1-System. Eine hundertprozentige Auslastung der Verbindung wird also mit 1000 Nachrichten pro Sekunde erreicht. Die Auslastung des Systems wurde über die Ankunftsrate λ gesteuert.

Dabei gilt:

$$I \Big|_{r=10\%} = 100 \frac{\text{Paketete}(pck)}{\text{Sekunde(sec)}} \Rightarrow \text{Zwischenankunftszeit der Packete} = \frac{1}{100} \text{ sec} = 0,01 \text{ sec}$$

$$I \Big|_{r=20\%} = 200 \frac{pck}{\text{sec}} \Rightarrow \text{Zwischenankunftszeit der Packete} = 0,005 \text{ sec}$$

M

$$I \Big|_{r=90\%} = 900 \frac{pck}{\text{sec}} \Rightarrow \text{Zwischenankunftszeit der Packete} = 0,00111 \text{ sec}$$

Der Versuch besteht aus Insgesamt 29 Simulationen, drei Systeme mit einer Auslastung von 10 - 90% und zwei zusätzliche M/M/1-Simulationen mit den Auslastungen 100 und 110%.

6.1 Das MathCAD-file

$$ER_{MM1}(\rho, \mu) := \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{1 - \rho}$$

$$ER_{MD1}(\rho, \mu) := \frac{(2 - \rho)}{2 \cdot \mu \cdot (1 - \rho)} \quad \text{für das M/D/1 - Modell gilt VK=0}$$

$$ER_{DD1}(\rho, \mu) := \frac{1}{\mu}$$

$$i := 0..9$$

$$\rho_i := \frac{i}{10}$$

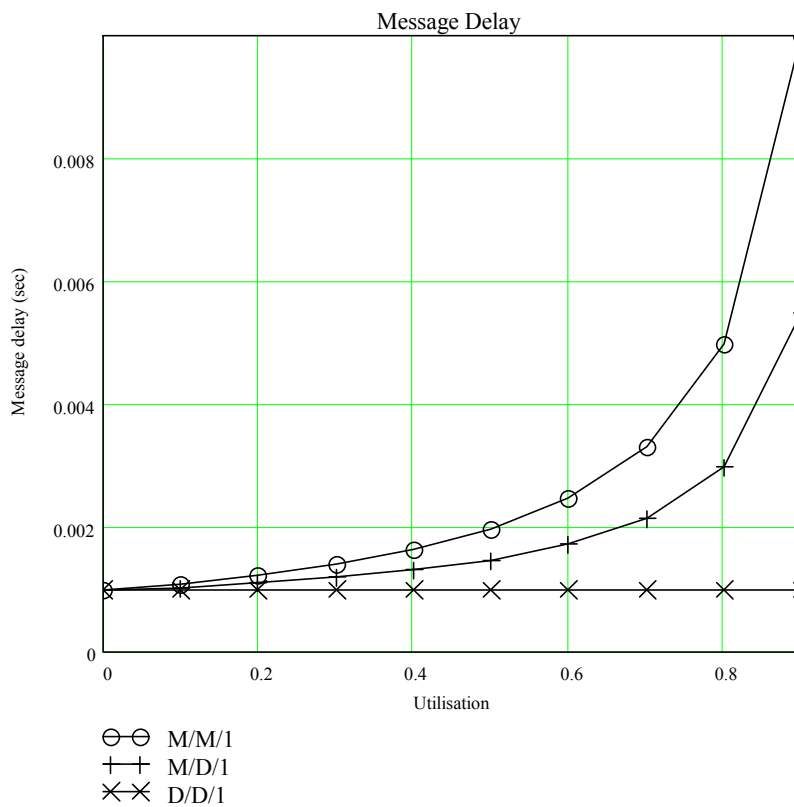


Diagramm 6-1: Message Delay vs. Utilisation for M/M/1, M/D/1 and D/D/1

Wie unschwer zu erkennen ist besitzt das D/D/1-System die beste Performance, gefolgt vom M/D/1-System. Das M/M/1-System zeigt die schlechteste Performance. Mit steigender Last steigt auch die Wartezeit im System, was unmittelbar mit längeren Warteschlangen in Verbindung steht.

6.2 Die Simulation

Nach dem Plazieren der beiden PCs (Processing Nodes), dem Point-to-Point Link und einer Message source per Drag&Drop auf dem Bildschirm, wurden diese miteinander verbunden. Mit einem Doppelklick auf das Nachrichtensymbol können alle notwendigen Parameter, wie die Verteilung der Zwischenankunftszeiten oder die Verteilung der Nachrichtengröße, eingestellt werden.

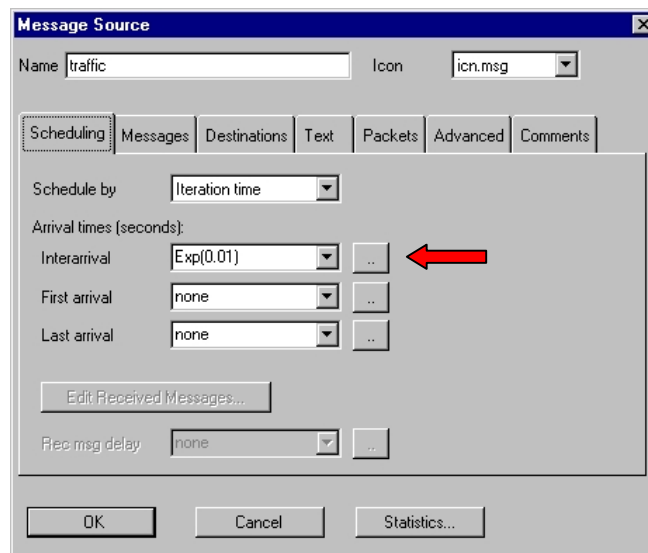


Abbildung 6-2: Einstellung der Zwischenankunftszeit für das M/M/1-Modell

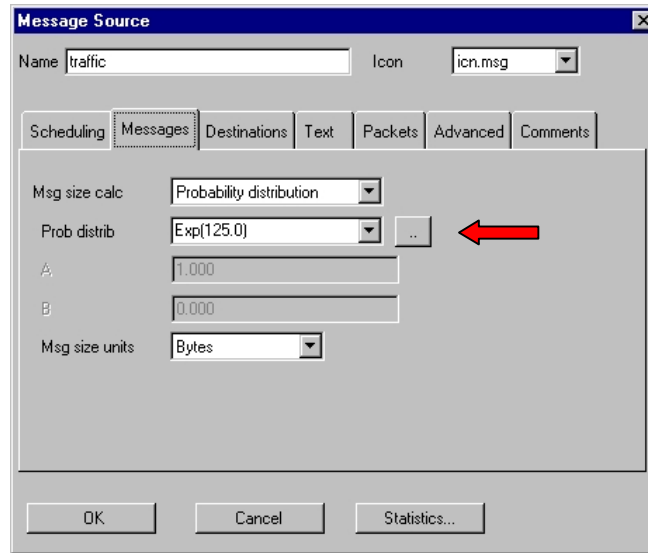


Abbildung 6-3: Einstellung der Message size für das M/M/1-Modell

Für eine exponentielle Verteilung der Nachrichtengröße mit den erforderlichen 125 Bytes illustriert Abbildung 6-4 die Verteilungsfunktion (*Cumulative Density Function, CDF*) und die Dichtefunktion (*Probability Density Function, PDF*).

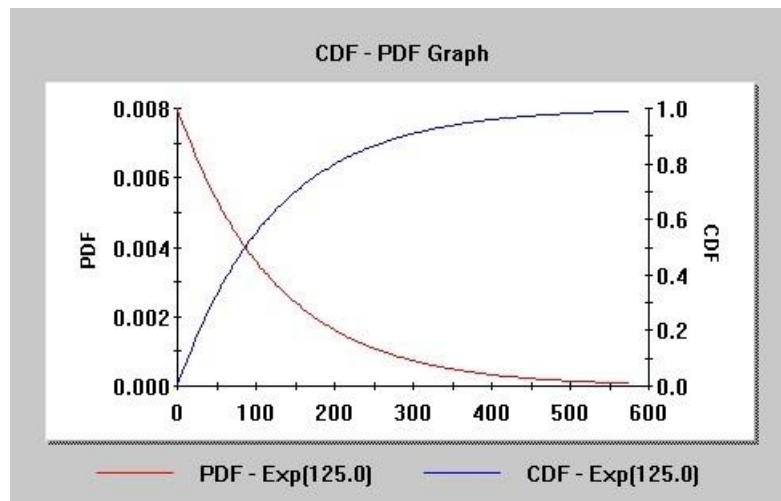


Abbildung 6-4: Exponentialverteilung der Message size (125 Bytes)

Eine Point-to-Point Verbindung wurde ausgewählt und deren Kapazität auf 1000 kbps = 1 Mbps gesetzt.

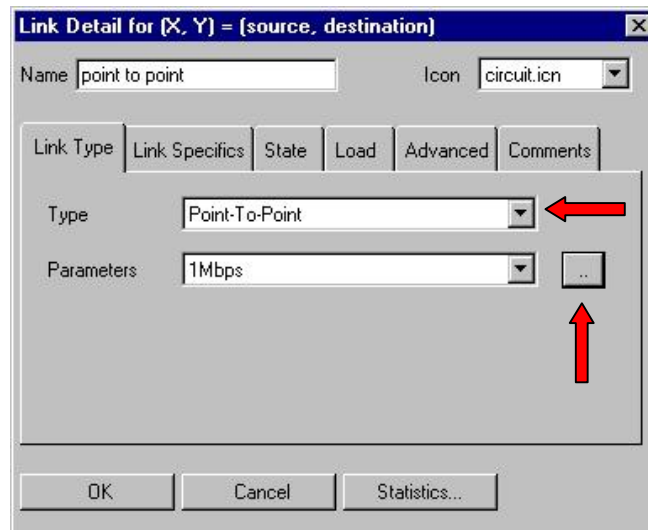


Abbildung 6-5: Auswählen eines Point-to-Point Link

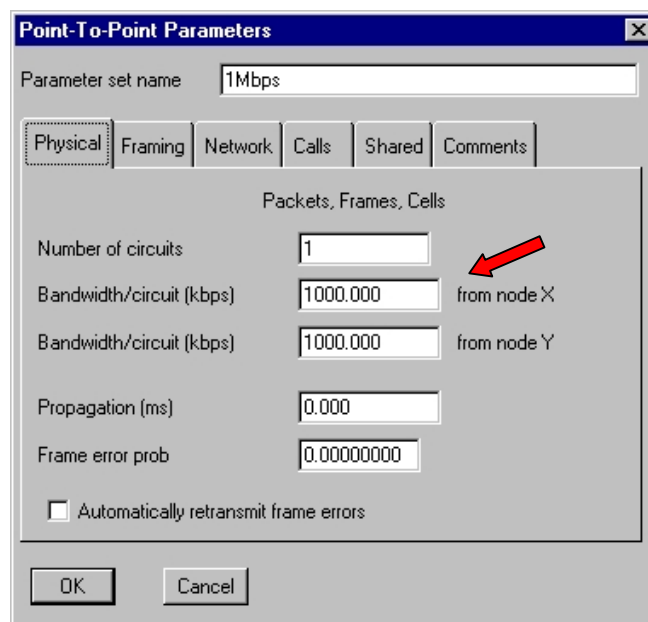


Abbildung 6-6: Einstellen der Verbindungskapazität

Der Empfänger der Nachricht, der PC mit der Bezeichnung *destination*, musste noch eingestellt werden. Hierfür kann zum Beispiel eine *Weighted list* gute Dienste leisten. Sie wird vor allem bei größeren Netzwerken genutzt, um der Nachricht eine Rangfolge der PCs zuzuordnen. D.h, welcher PC die meisten oder die wenigsten Nachrichten erhält. Da bei dieser Simulation nur ein Empfänger vorhanden ist, erhält dieser alle gesendeten Nachrichten.

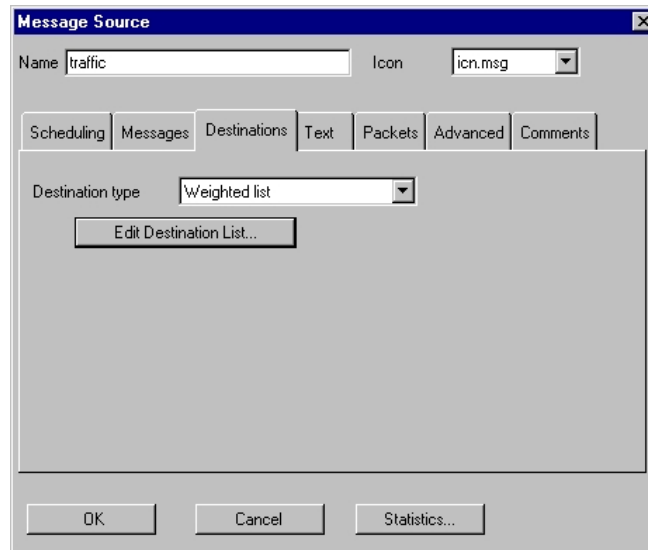


Abbildung 6-7: Festlegen der Verbindungsart

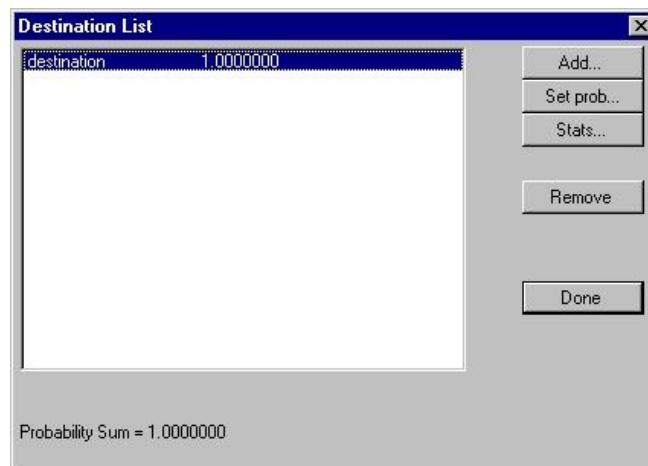


Abbildung 6-8: Rangfolge festlegen

Die benötigten Reports können unter dem Menüpunkt *Reports/Select Reports* ausgewählt werden.

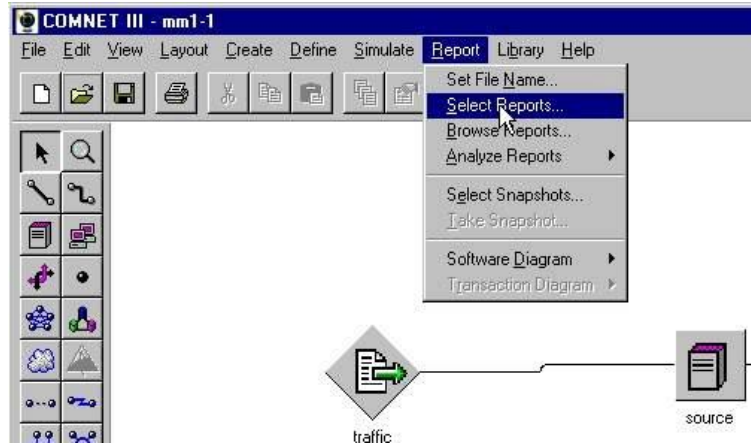


Abbildung 6-9: Menüpunkt *Select Reports*

Für die Simulation waren die drei Reports Channel Utilisation, Message Delay und Packet Delay erforderlich. Der Packet Delay Report dient zur Kontrolle der angekommenen Aufträge.

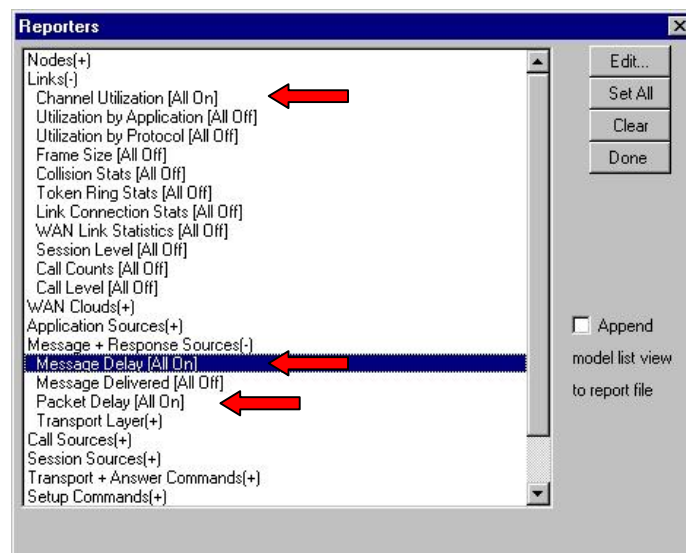


Abbildung 6-10: Auswählen der Reports

Zusätzlich wurden noch zwei Statistische Aufzeichnungen bestimmt. Sie dienen dem Vergleich der von COMNET III berechneten Durchschnittswerte mit den Momentanwerten der Simulation. Das *Statistic Request Window* kann durch Rechtsklick auf das Nachrichtensymbol aus dem Kontextmenü aufgerufen werden. Über den *Edit-Button* gelangt man in ein weiteres Fenster. Dort können die einzelnen Statistic-Files aktiviert werden.

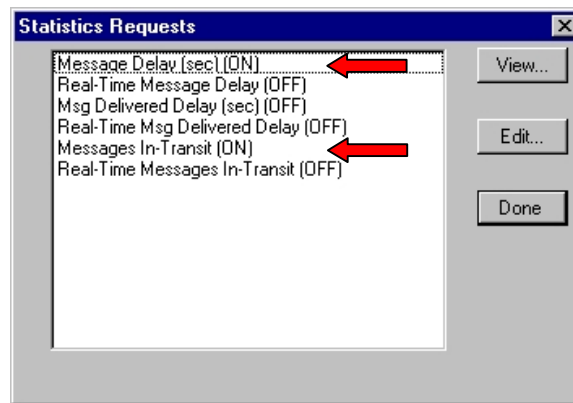


Abbildung 6-11: Statistic Request Window

Die Simulationsparameter unter dem Menüpunkt *Simulate/Run Parameters* legen die Simulationszeit fest:

- **Warmup length:** Hier wird die Zeit festgelegt, die COMNET III verstreichen lässt bevor mit der Aufzeichnung der Simulationswerte begonnen wird.
- **Number of replications:** Dieses Feld legt fest, wieviel unabhängige Simulationsläufe durchgeführt werden. Für jeden Durchlauf wird ein eigenes Report-File generiert.
- **Replication length:** Die eingetragenen Sekunden entsprechen der Simulationszeitraum.

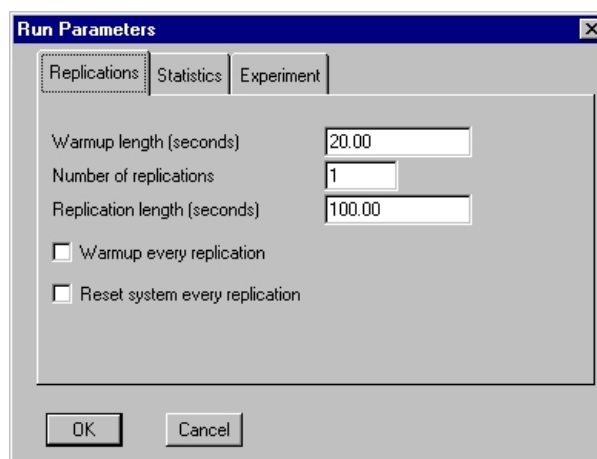


Abbildung 6-12: Run Parameters

6.2.1 Auswertung der Simulation

	Ankunftsrate	M/M/1		M/D/1		D/D/1	
		Message		Message		Message	
		Utilisation	Delay	Utilisation	Delay	Utilisation	Delay
Simulation 1	100	10,15	1,13	9,968	1,05	N/A	1
Simulation 2	200	20,23	1,32	19,98	1,13	20	1
Simulation 3	300	30,25	1,45	29,82	1,22	30	1
Simulation 4	400	40,36	1,68	39,77	1,33	40	1
Simulation 5	500	50,02	1,98	49,72	1,50	50	1
Simulation 6	600	60,26	2,51	59,63	1,76	60	1
Simulation 7	700	70,32	3,34	69,61	2,17	70	1
Simulation 8	800	80,43	5,06	79,41	2,93	80	1
Simulation 9	900	90,35	10,09	89,48	5,13	90	1
Simulation 10	1000	100	306,99	N/A	N/A	N/A	N/A
Simulation 11	1100	100	2469,43	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabelle 6-1: Message delay vs. Utilisation using COMNET III

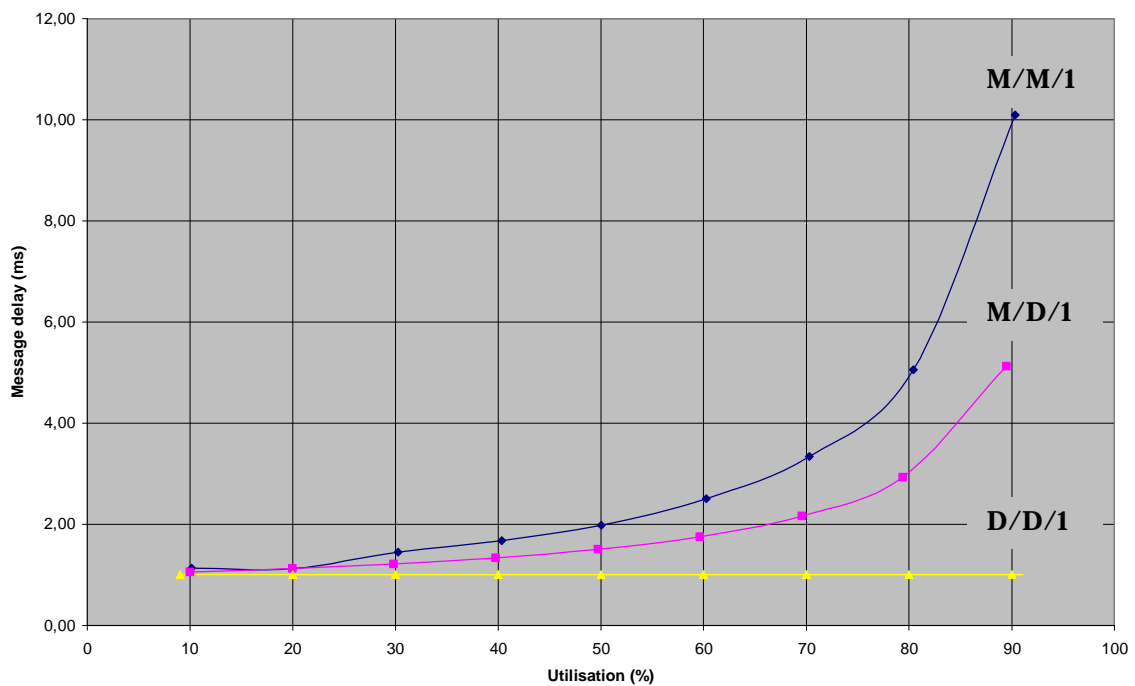


Diagramm 6-2: Message delay vs. Utilisation using COMNET III

Wie sich aus Diagramm 6-1 erkennen lässt, harmonisieren die theoretischen Werten mit denen der Simulation. Betrachtet man allerdings die von COMNET III erstellten Momentanwerte, so zeigt sich, dass die Abweichungen gegenüber den berechneten Werten doch erheblich sind.

Beim M/M/1-System mit 30 % Auslastung liegt die mittlere Verweilzeit im System bei 1,45 ms und es tritt ein Maximalwert von 13,77 ms auf. Betrachtet man Abbildung 6-13 zeigen sich auch viele Peaks im Bereich von 5 ms.

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic: destination	29879	1.452 MS	1.437 MS	13.774 MS

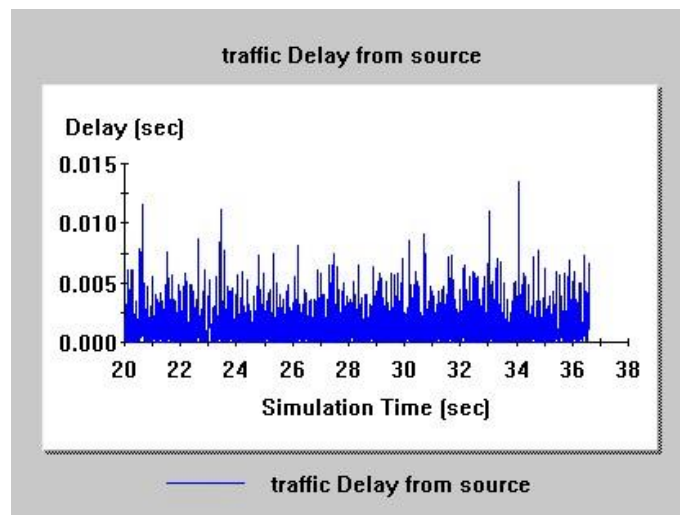


Abbildung 6-13: Message delay bei 30 % Auslastung des M/M/1-Systems

Gravierend wird der Unterschied bei neunzigprozentiger Auslastung. Hier wurde ein Maximalwert von 65,62 ms erreicht. Gegenüber einem Mittelwert von 10 ms bedeutet dies immerhin eine Zunahme von 55 ms.

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic: destination	71888	10.092 MS	9.520 MS	65.620 MS

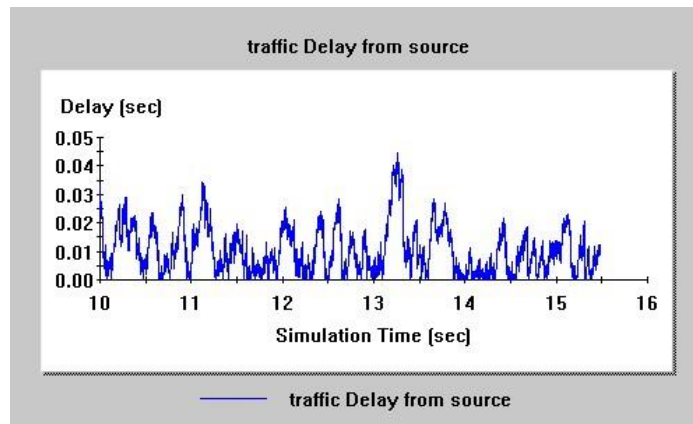


Abbildung 6-14: Message delay bei 90 % Auslastung des M/M/1-Systems

Die mittlere Anzahl der Aufträge in der Warteschlange berechnet sich bei einer Ankunftsrate von

$$I = 300 \frac{\text{Aufträge}}{\text{Sekunde}} \Rightarrow r = 30\% \text{ zu}$$

$$E[N] = \frac{r}{1-r} = \frac{0,3}{1-0,3} = 0,43 \text{ Aufträge}$$

Anhand der Momentanwerte zeigt sich jedoch eine maximale Länge von neun Aufträgen und eine Warteschlangenlänge von zwei Aufträgen ist keine Seltenheit bei dreißigprozentiger Auslastung. Um einen Gesamteindruck der mittleren Anzahl der Aufträge in der Warteschlange des M/M/1-Systems zu erhalten wurde ein weiteres MathCAD-File verwendet.

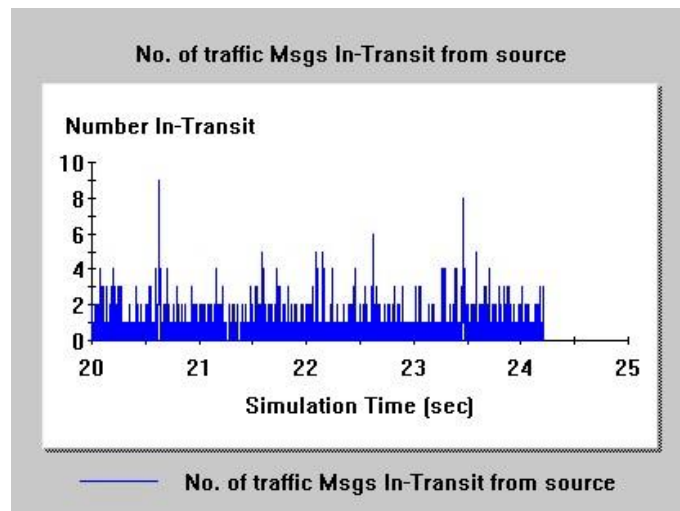


Abbildung 6-15: Aufträge in der Warteschlange bei 30 % Auslastung

$$EN_{MM1}(\rho) := \frac{\rho}{1 - \rho}$$

$$i := 0..9$$

$$\rho_i := \frac{i}{10}$$

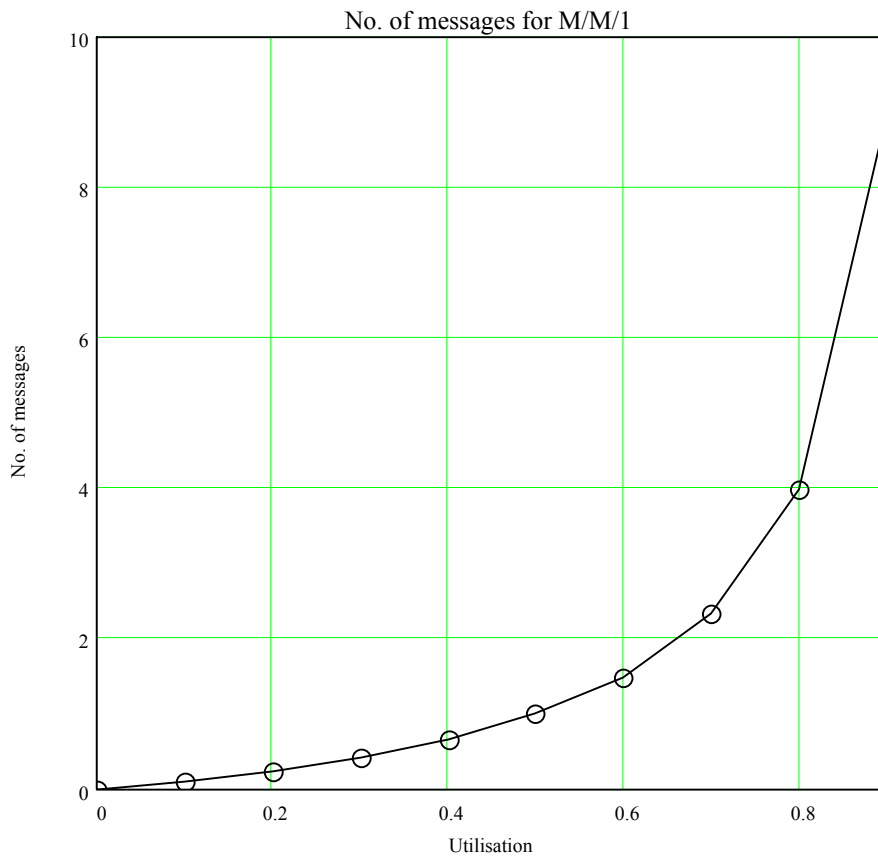


Diagramm 6-3: Number of messages vs. Utilisation for the M/M/1-Model

Betrachtet man eine Auslastung von 90 %, so lässt sich Diagramm 6-3 eine mittlere Anzahl von neun Aufträgen in der Warteschlange entnehmen. Abbildung 6-16 illustriert jedoch eine maximale Warteschlangenlänge von circa 37 Kunden.

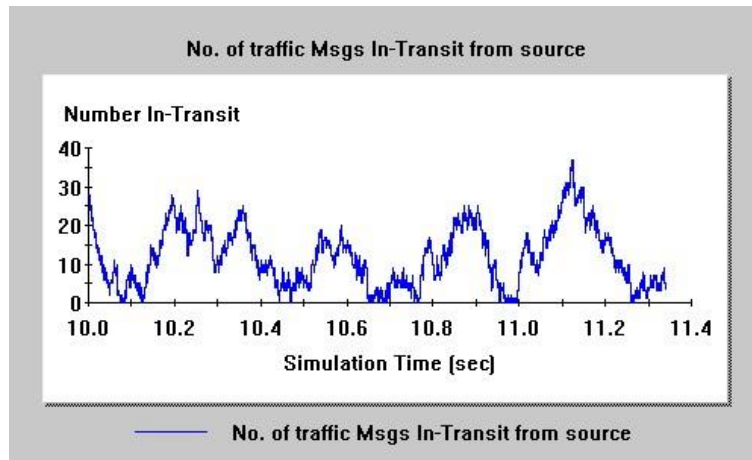


Abbildung 6-16: Aufträge in der Warteschlange bei 90 % Auslastung

Wird das System überlastet, d.h. $I > m \Rightarrow r > 1$, steigen die Verweilzeit im System und die Aufträge in der Warteschlange immer mehr an. Das System ist nicht mehr in der Lage die anstehenden Aufträge zu bearbeiten und bricht folglich zusammen.

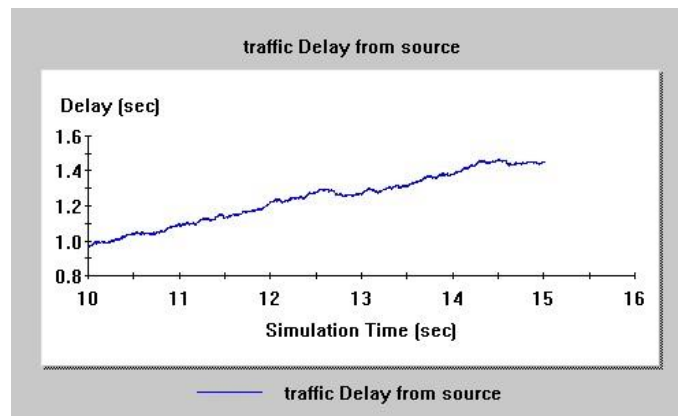


Abbildung 6-17: Message delay bei 110 % Auslastung des M/M/1-Systems

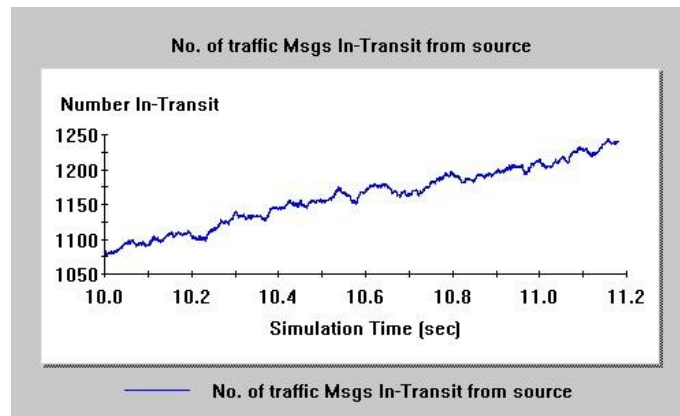


Abbildung 6-18: Aufträge in der Warteschlange bei 110 % Auslastung

Ein Vergleich der von Comnet gelieferten Momentan- und Durchschnittswerten zeigt, dass für eine detailliertere Betrachtung eines Problems, die Berücksichtigung der Momentanwerte durchaus sinnvoll sein kann (worst case). Für die meisten Lösungen dürften jedoch die Durchschnittswerte ausreichend sein.

7 ISO-OSI Basis Referenz Modell

7.1 Open Systems Interconnection, OSI

Deutsche, europäische und internationale Norm: EN ISO/IEC 7498: 1995.

Die Arbeit am OSI-Modell begann in den späten 70er Jahren und wurde bis Ende 1983 weitgehend unabhängig voneinander innerhalb von *ISO* (International Organization for Standardization) und *CCITT* (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) geleistet. Dies führte zu zwei Entwürfen („*The Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*“). Beide Entwürfe enthielten ein Sieben-Schichten-Modell, es gab aber trotz vieler Ähnlichkeiten wichtige Unterschiede in Einzelheiten. Das Sieben-Schichten-Modell geht im Wesentlichen auf die Arbeiten einer Gruppe bei *Honeywell Information Systems* zurück, welche bis 1977 ein Sieben-Schichten-Modell unter dem Namen *Distributed System Architecture (DSA)* entwickelten. Ende 1983 zog CCITT seinen Entwurf zurück, unter der Bedingung, dass am ISO-Entwurf einige Veränderungen im Sinne von CCITT vorgenommen wurden. Seit 1984 arbeiteten CCITT und ISO zusammen an einem einzigen Text von OSI. Allerdings haben sich ISO und CCITT noch nicht dazu durchringen können, ihre Texte dann auch gemeinsam zu veröffentlichen. Die verschiedenen Veröffentlichungsgewohnheiten von CCITT und ISO führen oft zu beträchtlichen Verwirrungen. Da CCITT vor allem die Sichtweise von PTTs (Postes, Telegrape et Telephone) und ähnlichen Unternehmen vertritt, hat das OSI-Modell ebenfalls eine starke Orientierung an Telefondiensten u.ä.

OSI bezieht sich auf die Verbindung und Zusammenarbeit von Systemen. Das OSI-Referenzmodell besteht aus sieben Schichten (layer). Diese Schichten sind keine Protokolle, sondern geben Funktionen wieder. OSI selbst definiert die Dienste und Funktionen, die auf den einzelnen Schichten erfüllt werden sollen, jedoch nicht die Standards, die diese Dienste und Funktionen verwirklichen. So können die Funktionen einer Schicht u.U. durch unterschiedliche Protokolle erfüllt werden.

7.2 Das OSI-Environment

Anwendungen in Offenen Systemen (Kommunikationssysteme) arbeiten zusammen und bilden eine Assoziation, eine verteilte Anwendung.

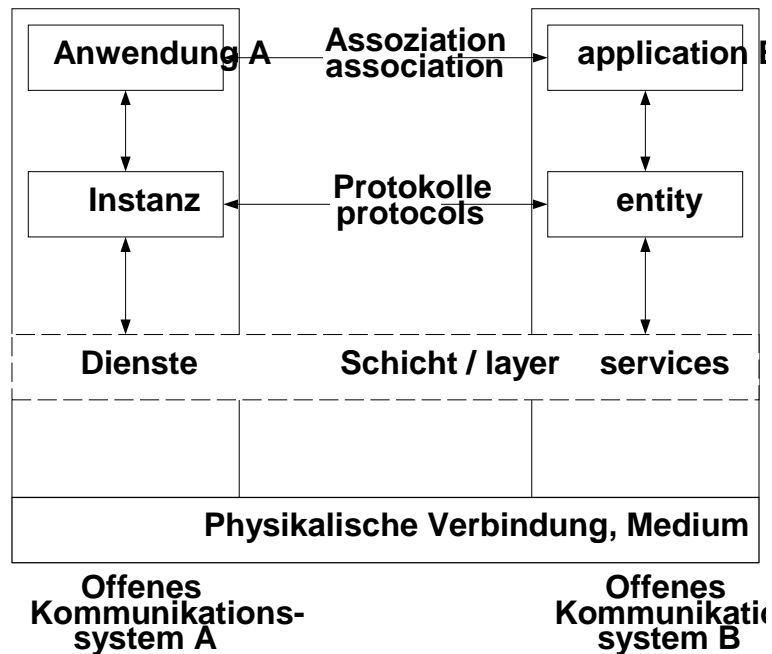


Abbildung 7-1: OSI-Environment

Einige Hauptaufgaben, die innerhalb des Schichtenmodells erfasst werden müssen:

- Herstellen und beenden einer **Verbindung**
- Regeln für die **Datenübertragung**:
 - Datenfluss (simplex usw.), Prioritätsregelungen
 - Fehlerkontrolle
 - Aufteilung der Daten in Pakete und Wiederherstellen der ursprünglichen Daten aus den Paketen
 - Verhindern, dass ein schneller Sender einen langsamen Empfänger mit Daten überschwemmt
 - Multiplexing
 - Verwendung einer Verbindung für mehrere Kommunikationsvorgänge—und Demultiplexing
 - Wählen einer Route, u.U. unter Einbeziehung der Priorität und Sensibilität von Daten (sensible Daten z.B. nicht über Länder mit geringem Datenschutz)

7.3 Das Schichtenmodell

Das OSI-Basisreferenzmodell (BRM) ist in sieben Schichten unterteilt. Die Instanzen (Partner) jeder Schicht bilden die aktiven Elemente. Diese folgen bei Ihrer Kommunikation bestimmten Regeln, den Protokollen. Die Kommunikation erfolgt mittels Diensten der darunterliegenden Schicht, daher bezeichnet man die oberen Schichten als Dienstbenutzer, die unteren als Dienstbringer. Die Schnittstelle zwischen zwei Schichten heißt Dienstzugangspunkt (Service Access Point, SAP).

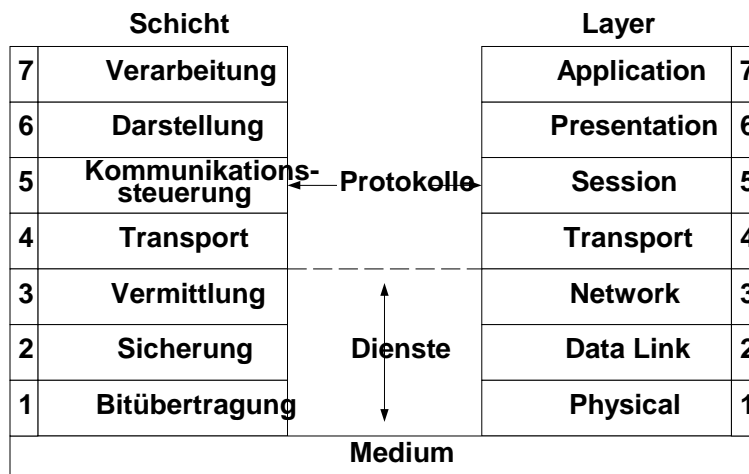


Abbildung 7-2: Osi-Basisreferenzmodell

Die Schichten 4 bis 7 betreffen Protokolle für die Kommunikation von Endpunkt zu Endpunkt (Sender zu Empfänger). Die Schichten 1 bis 3 betreffen Protokolle für die Kommunikation zwischen unmittelbar benachbarten Einrichtungen auf der Übermittlungsstrecke, also vom Sender zum ersten Vermittlungspunkt, von Vermittlungspunkt zu nächstem Vermittlungspunkt und wieder vom Endvermittlungspunkt zum Empfänger.

Application layer: untergliedert in ACSE (Association Control Service Entity), Dienste (FTAM: File Transfer, Access, and Management, VT: Virtual Terminal sowie E-Mail) und API (Application Program Interface)

Presentation layer: Standardisiert Datenstrukturen (u.a. Kodierung, Kompression, Kryptographie)

Session layer: Datenflusssteuerung und Zwischenspeicherung von Daten

Transport layer: Stellt höheren Schichten zuverlässige Ende-zu-Ende-Verbindungen zur Verfügung

Network layer:	Routing der Datenpakete
Data link layer:	Synchronisation, Fehlererkennung und -korrektur, Zugriffsverfahren (CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Token-Passing oder Token-Bus)
Physical layer:	Übertragung des Bitstromes über einen Kommunikationskanal

7.4 Datenübermittlung im OSI-BRM

Obwohl die einzelnen Schichten völlig unterschiedliche Aufgaben erfüllen, haben sie einige strukturell bedingte Gemeinsamkeiten. Jede Schicht erbringt in bezug auf Kommunikation zwischen Teilnehmern eine bestimmte Leistung. Eine Schicht enthält dafür die erforderlichen Funktionen, ein Schichtenprotokoll sowie die dienststanfordernde und die dienstbringende Seite eines Dienstprotokolls.

Zur Definition einer Schicht, gehören folglich die Leistungen der Schicht selbst, die Schnittstelle zur darunterliegenden Schicht, die Schnittstelle zur nächsthöheren Schicht sowie die Regeln, d.h. Protokolle für die Kommunikation innerhalb der Schicht zwischen den verteilten Systemen.

Kommunikation ist eine gerichtete Beziehung. Dem entspricht im OSI-Modell das Wandern der Aufträge durch die einzelnen Schichten von oben nach unten in der Sendestation und von unten nach oben in der Empfangsstation. Beim Wandern eines Kommunikationsauftrages durch die Schichten, stellt jeweils die Schicht (N-1) der darüberliegenden Schicht bestimmte Dienste zur Verfügung. Der Aufruf dieser Dienste erfolgt nach festgelegten Schnittstellenkonventionen. In der Empfangstation wandert der Auftrag durch alle Schichten nach oben, bis er dasjenige Applikationsprogramm erreicht hat, für das er bestimmt ist.

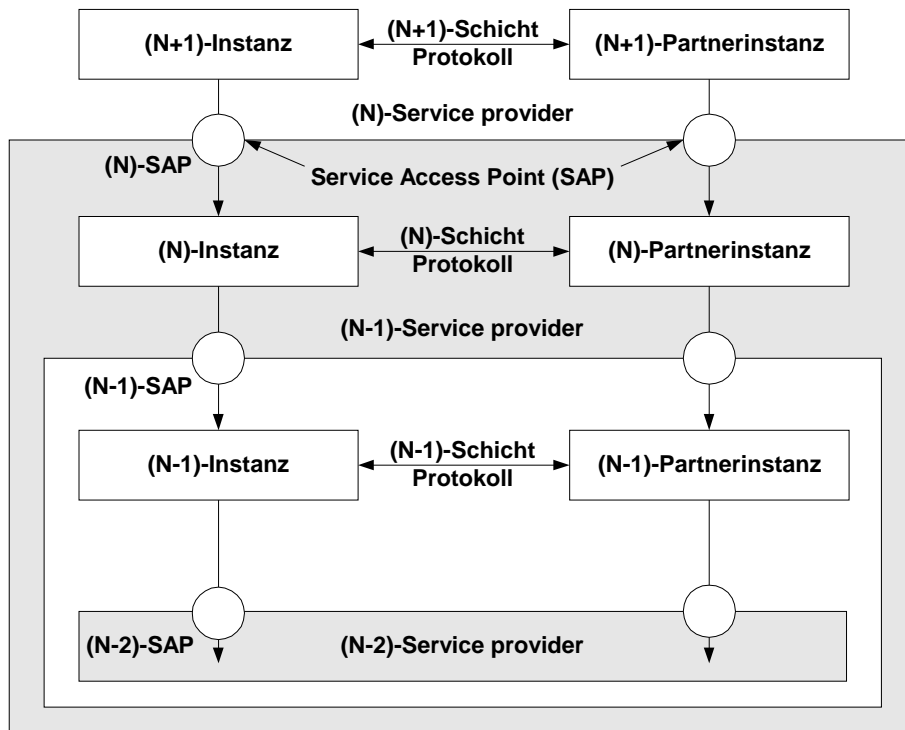


Abbildung 7-3: Modell einer Schicht im OSI-BRM

Damit eine Schicht die ihr zugewiesenen Aufgaben erfüllen kann, müssen für diese Schicht bestimmte Vereinbarungen getroffen worden sein (Schichtprotokoll). Ein Auftrag wird an eine benachbarte Schicht durch den Aufruf eines Dienstprimitives erteilt. Dabei werden jeweils Daten einer festgelegten Struktur übergeben, die als Protokolldateneinheiten (*protocol data units, PDU*) bezeichnet werden. Die Übergabe einer solchen Protokolldateneinheit von oben nach unten (Sender) wird als Anforderung (*request*) und die Übergabe von unten nach oben als Anzeige (*indication*) bezeichnet.

Zur Abwicklung der Protokolle übergibt jede Schicht bei einer Anforderung bestimmte Steuerinformationen in der Protokolldateneinheit. Diese Steuerinformation wird von der entsprechenden Schicht beim Empfänger ausgewertet und danach entfernt.

Jede im betreffenden Netzwerk verwirklichte Schicht des OSI-BRM (mit Ausnahme der Bitübertragungsschicht) fügt dem Datenpaket Information in einem Kopffeld (*header*) hinzu. Die Verbindungssicherungsschicht fügt zusätzlich noch Information ins Schlussfeld (*trail*).

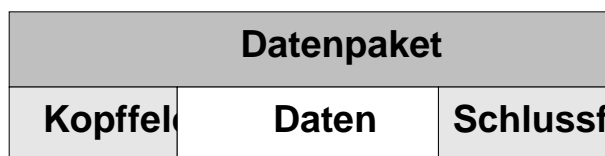


Abbildung 7-4: Datenpaket mit Kopf- und Schlussfeld

Das Hinzufügen von Steuerinformationen geschieht nicht dadurch, dass die in dem betreffenden Netzwerk zulässige Paketlänge vergrößert wird, sondern die Kopf- und Schlussfelder belegen Platz innerhalb dieser Paketlänge, so dass der Platz für das Datenfeld kleiner wird. Beim Sender fügt so jede Schicht sukzessive – angefangen bei der Anwendungsschicht – ein entsprechendes Kopffeld mit entsprechenden Informationen hinzu. Beim Empfänger verarbeitet in umgekehrter Richtung – beginnend mit der Sicherungs-Schicht – jede Schicht den ihr entsprechenden Kopfsatz, entfernt ihn und gibt das Datenpaket an die nächsthöhere Schicht weiter.

Fehler! Kein Thema angegeben.

Abbildung 7-5: Datenübertragung im OSI-BRM

Als Service Data Unit (*SDU*) bezeichnet man die Daten, die in der jeweiligen Schicht behandelt werden. Die Protocol Data Unit (*PDU*) setzt sich aus der SDU und dem Header (*protocol control information, PCI*) zusammen.

7.5 Dienste

7.5.1 Diensttypen

Jeder Dienst, den eine Schicht des OSI-Modells gegenüber der nächsthöheren Schicht zu erfüllen hat, ist formal durch eine Anzahl von Grundoperationen (*primitives*) definiert.

Im OSI-Modell sind die Grundoperationen in vier Klassen aufgeteilt:

.request – Anforderung eines Dienstes

.indicate – Anzeige

.response – Antwort

.confirm – Bestätigung

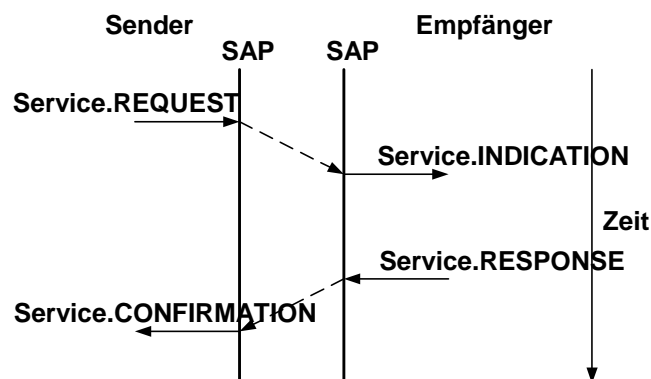


Abbildung 7-6: Zeitlicher Ablauf eines Dienstes

7.5.2 Dienstgruppen

Allgemeine Dienstgruppen, die in (fast) allen Schichten vorhanden sind:

- **CONNECT** zum Verbindungsaufbau (in der Regel ein bestätigter Dienst)
- **DISCONNECT** zum Verbindungsabbau (in der Regel ein bestätigter Dienst)
- **DATA** zur Datenübertragung (in der Regel ein unbestätigter Dienst)
- **ERROR** zur Fehlerbehandlung

Beispiel: Die Telefonverbindung:

(1)

- | | |
|---------------------|--|
| 1. CONNECT.request | wählen der Nummer (call) |
| 2. CONNECT.indicate | klingeln des Telefons der Gegenstelle (ring) |
| 3. CONNECT.response | abheben der Gegenstelle (off-hock) |
| 4. CONNECT.confirm | Ende des Rufzeichens und Sprechbereitschaft (connection indicator) |

(2)

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| 1. DATA.request | Einladung zum Abendessen |
| 2. DATA.indicate | Gegenstelle hört die Einladung |
| 3. DATA.response | Gegenstelle nimmt die Einladung an |
| 4. DATA.confirm | hören der Annahme |

(3)

- | | |
|------------------------|---|
| 1. DISCONNECT.request | Auflegen des Hörers |
| 2. DISCONNECT.indicate | Gegenstelle hört nichts mehr und legt den Hörer auf |

7.6 Die Schichten des OSI-BRM

7.6.1 Schicht 1: Bitübertragungsschicht (Physical layer)

Die unterste Ebene des OSI-Referenzmodells definiert das Übertragungsmedium und die physikalische Umsetzung der Datenübertragung. Hier findet die Umsetzung der bitseriellen Datenströme in eine Folge elektromagnetischer Signale statt. Neben der Topologie und den Kodierungs- und Modulationsverfahren sind auch die Zugriffsmechanismen in dieser Schicht angesiedelt.

Codiert werden die Bit-Daten nach dem *Manchester Code*. Die Länge einer Bitperiode beträgt dabei 100 ns. In der Mitte jeder Bitperiode ereignet sich ein Spannungspegelsprung. Das Bit 1 wird durch einen Spannungswechsel vom niedrigen zum hohen, das Bit 0 vom hohen zum niedrigen Spannungsniveau dargestellt. Auf diese Weise ergibt auch eine Folge mehrerer gleicher Bitwerte

kein gleichförmiges Signal. Die Spannungswechsel des Codes werden als Arbeitstakt genutzt; der Manchester-Code wird daher auch als *Self-Clocking-Code* bezeichnet.

Die Bitübertragungsschicht bietet folgende Dienste:

- reihenfolgegerechte Übertragung binärer Zeichen über physikalische Verbindungen mit bestimmten Eigenschaften wie Fehleranfälligkeit oder Übertragungskapazität
- Fehlermeldung an die Verbindungsschicht

Wichtigste Merkmale der Bitübertragungsschicht:

- die Daten werden als reiner Bitstrom betrachtet. Es wird dabei nicht unterschieden, ob es sich um Daten im engeren Sinne oder um Steuerinformationen (Kontrollzeichen usw.) handelt. Deshalb hat die Bitübertragungsschicht auch keinen Header
- die Normierung bezieht sich auf die konkreten Signale des Kommunikationsprozesses. Deshalb werden auch physikalische Größen wie Spannung und Stromstärke berücksichtigt
- nicht nur elektromagnetische und optische Größen werden genormt, sondern teilweise auch mechanische Größen, wie z.B. Steckerformen
- meist bezieht man sich nicht auf ganze Systeme (end-to-end), sondern nur auf das Verhalten an und zwischen bestimmten Punkten der Übertragungsstrecke

7.6.2 Schicht 2: Sicherungsschicht (Data link layer)

Die Aufgaben der 2. Schicht bestehen in der fehlerfreien Übertragung des physikalischen Bitstromes. Auf dieser Schicht werden die Bits in Datenpakete unterteilt. Neben Fehlererkennung kann hier auch eine Flusskontrolle vorgenommen werden. Bei allen LAN-Standards ist der Data link layer zweigeteilt.

Auf der Schicht 2a, dem sogenannten Medium Access Control Sublayer, sind die wesentlichen Funktionen der IEEE-Standards 802.3 (Ethernet), 802.4 (Token Bus), 802.5 (Token Ring) und FDDI angesiedelt. Die Schicht 2b, der sogenannte Logical Link Control (LLC), wird hauptsächlich durch die in der IEEE 802.2 Gruppe festgelegten Standards gefüllt.

Auf der Schicht 2 arbeiten Bridges und dienen zur logischen, protokolltransparenten Verbindung von Netzen. Bridges interpretieren die einzelnen empfangenen Datenpakete und treffen aus den darin enthaltenen Informationen eine gewisse Wegewahl.

Schicht 3	Network Layer - Vermittlungsschicht			
Schicht 2.2	Logical Link Control (LLC): allen standardisierten LANs gemeinsam			
Schicht 2.1	Media Access Control (MAC) - Mediumzugriffs-Steuerung: Protokoll-spezifisch			
	CSMA/CD-Netz	Token-Ring	Token-Bus-	u.s.w.
Schicht 1	Physical Layer - Bitübertragungsschicht			

Abbildung 7-7: Die Schicht 2 im OSI-BRM

Merkmale der Sicherungsschicht im Unterschied zur Bitübertragungsschicht:

- die Verbindungssicherungs-Schicht ist eher Software-orientiert
- die übertragenen Daten werden nicht als Bitstrom aufgefasst, sondern als strukturierte Nachricht
- es wird nicht nur die Übertragung eines Bit oder Zeichens betrachtet, sondern der gesamte Ablauf eines Kommunikationsvorganges, wozu mehrfacher Nachrichtenaustausch in beiden Richtungen gehören kann
- es findet Fehlererkennung und der Versuch der Fehlerkorrektur statt

Die wichtigsten Funktionen innerhalb der Sicherungsschicht sind das Bilden von Datenblöcken (*framing*), die Fehlerkontrolle (*error control*), die Datenflusssteuerung (*flow control*) und die Verwaltung der Verbindung (*link management*).

7.6.3 Schicht 3: Vermittlungsschicht (Network layer)

Die Netzwerk- oder Vermittlungsschicht stellt im wesentlichen die Funktionen der Wegefindung (*Routing*) zur Verfügung. Die wichtigsten Routing-Kriterien sind dabei: kürzester Weg, geringste Verzögerung, gute Ausnutzung der Netzwerkkomponenten, auch Kriterien der Verkehrsbeschränkung aufgrund von policy-based routing (PBR) können eine Rolle spielen.

Mehrere Netzwerke können so zu einem logischen Gesamtnetzwerk gekoppelt werden. Die Funktionen der Schicht 3 ermöglichen den Aufbau von logisch strukturierten, hierarchischen Netzwerken. Dabei bilden Rechner, die über eine gemeinsame Verbindungssicherungs-Schicht (Data Link Layer) erreicht werden, aus der Sicht der Vermittlungsschicht ein Unternetzwerk (Subnet).

Weitere Aufgaben der Vermittlungsschicht:

- Flusskontrolle (flow control)
- Lebensdauerkontrolle (lifetime control): die Pakete können innerhalb des Netzes zwischengespeichert werden. Deshalb ist die Verweilzeit eines Paketes im Netz nicht nur von den Übertragungszeiten abhängig. Durch eine Kontrolle des Alters der Pakete kann festgestellt werden, ob der Wegefindungsmechanismus für dieses Paket geändert werden muss
- Verstopfungskontrolle (congestion control): damit nicht Pakete deswegen verloren gehen, weil momentan weder eine Übertragungsleitung noch ein Zwischenspeicher zur Verfügung steht. Deshalb z.B. Möglichkeit der Verweigerung der Eingabe neuer Pakete
- Transport der Daten (messages forwarding)

7.6.4 Schicht 4: Transportschicht (Transport layer)

Die allgemeine Aufgabe der Transportschicht ist Aufbau, Verwaltung und Abbau logischer Verbindungen. Durch die logischen Verbindungen entstehen zwischen kooperierenden Programmen, die auf verschiedenen Computern laufen, virtuelle Verbindungen, d.h. die beiden Computer verhalten sich so, als ob sie durch eine Leitung miteinander verbunden wären, obwohl tatsächlich keine solche direkte Verbindung zwischen ihnen besteht.

Die Transportschicht sorgt für den Datentransport und entlastet die höheren Schichten davon, dafür zu sorgen, wie die Daten zuverlässig und kostengünstig übertragen werden können. Die Transportschicht soll die Nutzung der verfügbaren Netzwerkressourcen so optimieren, dass die Kommunikation am kostengünstigsten ist. Die Transportschicht kümmert sich aber nicht um den Datenübertragungsweg: dies ist Aufgabe der tieferen Schichten.

Die Schicht 4 sorgt dafür, dass die Sendestation nicht mehr Daten zu Verfügung stellt, als der Empfänger verarbeiten kann. Auch das Multiplexing ist Aufgabe der Transportschicht. Hier werden die Daten von mehreren Stationen gebündelt, übertragen und anschließend wieder entbündelt. Weitere Aufgaben der Transportschicht bestehen im wesentlichen in der Adressierung, dem Verbindungsaufbau und dem Auflösen der Verbindung.

7.6.5 Schicht 5: Kommunikationssteuerungsschicht (Session layer)

Zweck der Kommunikationssteuerungsschicht ist es, die notwendigen Mittel bereitzustellen, um die Kommunikation zu organisieren, zu synchronisieren und den Datenaustausch zu managen. Dafür ermöglicht die Kommunikationssteuerungsschicht eine Sitzungs-Verbindung (session connection) und unterstützt den Datenaustausch. Die Kommunikationssteuerungsschicht hat also Ordnungsfunktionen.

7.6.6 Schicht 6: Darstellungsschicht (Presentation layer)

Die Darstellungsschicht bietet eine Vielzahl von Kodierungs- und Konvertierungsfunktionen für die Schicht 7 an. Diese Funktionen stellen sicher, dass die gesendete Information vom Empfänger des anderen Systems gelesen und verarbeitet werden kann. Die Darstellungsschicht ist nur für die Syntax (die Darstellung der Daten) zuständig, nicht für die Semantik (d.h. die Bedeutung der Daten). Für die Semantik sind nur die Anwendungen zuständig.

Aufgaben der Darstellungsschicht:

- Datenkompression (data compression)
- Umcodierung (data format conversion)
- Datenverschlüsselung und -entschlüsselung (data encryption / decryption)
- Datenbank-Zugriff und -Verwaltung (data base management / access)

7.6.7 Schicht 7: Anwendungsschicht (Application layer)

Die Anwendungsschicht ist die Schicht, in der dem Anwender die Daten der Datenübertragung und Datenfernverarbeitung unmittelbar zur Verfügung stehen. Sie ist die OSI-Schicht, die dem Anwender am nächsten steht. Zur Anwendungsschicht gehören alle Funktionen, die bei der Kommunikation offener Systeme erfüllt werden müssen, und die noch nicht von tieferen Schichten erfüllt wurden. Hierher gehören Funktionen, die durch Programme durchgeführt werden als auch Funktionen, die von Menschen ausgeführt werden. Die Anwendungsschicht ermittelt die Identität und die Verfügbarkeit der Kommunikationspartner für eine Anwendung mit Datenübertragung.

8 Das TCP/IP Referenzmodell

8.1 Die Geschichte von TCP/IP

1969 wurde unter Federführung der ARPA (Advanced Research Projects Agency) ein Projekt zur Computervernetzung ins Leben gerufen. Die ARPA unterstand dem US Verteidigungsministerium und wurde 1972 in DARPA (Defense ARPA) umbenannt. Über gemietete Leitungen richtete ARPA ein erstes paketvermitteltes Netzwerk ein. Die Hostrechner kommunizierten miteinander über Knotenrechner, sogenannte Interface Messages Processors (IMP). Bei den IMP's handelte es sich um BBN C30 Computer, die im Auftrag von ARPA (nach einer Ausschreibung) von der Firma Bolt, Beranek und Newman (BBN) entwickelt worden waren. ARPA richtete vier solcher IMPs ein: an den kalifornischen Universitäten von Los Angeles (UCLA) und Santa Barbara (UCSB), der Universität von Utah und dem Stanford Research Institute (SRI). Gleichzeitig wurden die ersten Protokolle entwickelt um logische Verbindungen über Router, zu entfernten Rechnern zu ermöglichen. Damals entstand das Network Control Program (NCP), der Vorläufer der TCP/IP Protokolle. Die ersten zur Verfügung gestellten Dienstleistungen waren Terminalsitzungen (ähnlich Telnet) und Dateitransfer (ähnlich FTP), in den zu dieser Zeit noch die Elektronische Post (e-mail) integriert war. Die Eliteuniversitäten Harvard und MIT schlossen sich 1970 an das ARPANET an. Im Jahre 1972 bestand das ARPANET bereits aus 20 Vermittlungsknoten und 50 Hosts. Auf einer internationalen Konferenz über Computer- und Datenkommunikation wurde es im gleichen Jahr erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. 1972 nahm auch die Internet Working Group ihre Arbeit auf. Ihr Ziel war es Grundsätze zur Verbindung unabhängiger Netze zu erarbeiten.

Als nun 1983 das ARPANET weit über sein experimentelles Stadium hinausgewachsen war, mittlerweile gab es über 200 IMPs, übernahm die Defense Communications Agency (DCA) des US-Verteidigungsministeriums die Verwaltung des ARPANETs. Als erstes trennte DCA den militärischen Teil, welcher ca. 160 IMPs umfaßte, vom ARPANET und überführte ihn in das MILNET. Diese Teilnetz wurde durch streng kontrollierte Gateways (Router) vom restlichen Netz, das weiterhin den Namen ARPANET trug, abgeschirmt. TCP/IP setzte sich als de facto Standard durch. Mitte der achtziger Jahre wurden das NSFNET und das ARPANET zusammengeschlossen. Das NSFNET war ein Netzwerk der US National Science Foundation. Es bestand aus einem Backbone und mehreren angeschlossenen regionalen Teilnetzen und setzte ebenfalls TCP/IP ein.

An dieses Netz schlossen sich immer mehr Netze an (z.B. SPAN, ein Netz der NASA) und es bildete sich der Name Internet für diesen Netzverbund heraus. 1990 bestand das Internet aus 3000 Netzen und 200 000 Hosts. Der millionste Host wurde schließlich 1992 angeschlossen. Ende 1993 hatten weltweit ca. 15 Millionen Benutzer Zugang zum Internet. Die Grundlage der Kommunikation im Internet ist das TCP/IP Referenzmodell und die TCP/IP Protokollfamilie. [Har97]

8.2 TCP/IP Übersicht

Unter der allgemeinen Bezeichnung TCP/IP versteht man im allgemeinen alles und jedes was mit den spezifischen Protokollen TCP und IP zusammenhängt. TCP/IP kann demnach Anwendungen, weitere Protokolle und sogar des Netzwerk- oder Übertragungsmedium einschließen. Ein Beispiel für weitere Protokolle sind UDP, ARP und ICMP. Beispiele für Anwendungen sind TELNET, FTP und rcp. Treffender wäre der Ausdruck Internet-Technologie. Demnach ist ein Netzwerk, welches auf der Basis der Internet-Technologie arbeitet ein Internet.

Das US-Verteidigungsministerium (Department of Defense, DoD) entwickelte Anfang der siebziger Jahre ein eigenes Architekturmodell zur Rechnerkommunikation. Zum damaligen Zeitpunkt hatte die International Standards Organisation (ISO) ihr siebenschichtiges Open Systems Interconnection Architekturmodell (ISO/OSI-Modell) noch nicht entwickelt.

Das DoD- Referenzmodell ist hierarchisch in vier Schichten unterteilt:

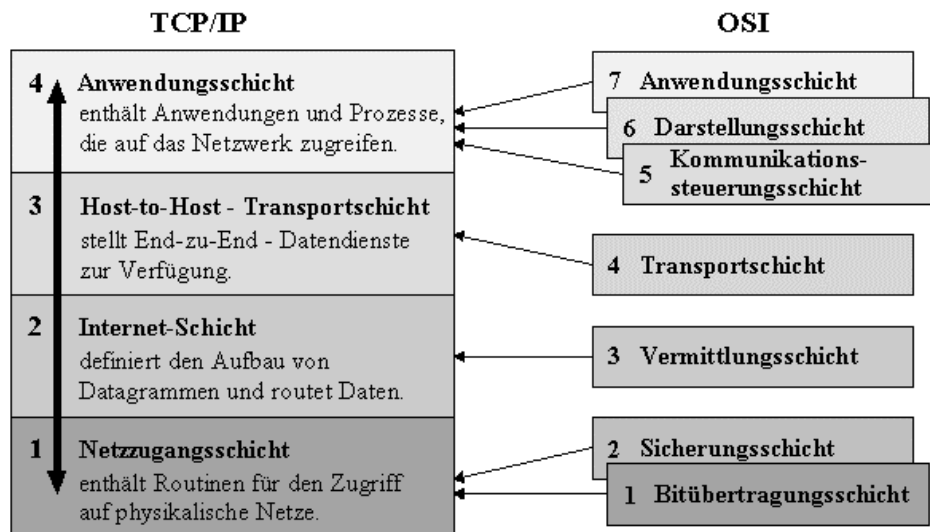


Abbildung 8-1: TCP/IP vs. OSI

Die unterste Ebene, die *Netz-Zugang-Schicht*, ist nicht genauer spezifiziert. Hier wird lediglich festgelegt, dass sich der Host unter Zuhilfenahme eines Protokoll mit dem Netzwerk verbinden muss, um IP- Pakete darüber zu versenden. Das hier eingesetzte Protokoll ist auf den verschiedenen Hosts und Netzwerken unterschiedlich. Mögliche Protokolle sind Ethernet, X.25., FDDI und ISDN, aber auch Satellitenübertragung.

Die *Internet Schicht* hat die Aufgabe, es den Hosts zu ermöglichen, Pakete (Datagramme) in ein beliebiges Netzwerk einzuspeisen und gegebenenfalls eine Wegewahl zu treffen. Die Vermittlung zwischen den einzelnen Netzwerken erfolgt über Router.

Die einzelnen Pakete können sich ihren Weg unabhängig voneinander zum Ziel-Host suchen. Dies hat zur Folge, dass die Pakete nicht in der Reihenfolge eintreffen in der sie verschickt wurden. In diesem Fall, ist es Aufgabe der höheren Schichten sie wieder zusammensetzen. Das DoD hat für diese Schicht das *Internet Protokoll (IP)* als Standard definiert. Die Internet-Schicht entspricht weitestgehend der Network Layer im ISO/OSI Modell.

Über der Internet Schicht liegt die *Host-to-Host Schicht*. Ihre Aufgabe ist es eine Transportverbindung zwischen zwei Prozessen auf verschiedenen Rechnern zu ermöglichen (Ende-zu-Ende). Auf dieser Schicht kann des weiteren die Flusskontrolle gesteuert und eine fehlerfreie, reihenfolgegetreue Übertragung gewährleistet werden.

Im Modell wurden für diese Schicht vom DoD zwei Protokolle als Standard definiert: das *Transmission Control Protokoll (TCP)* und das *User Datagram Protokoll (UDP)*.

Über der Transportschicht befindet sich die Anwendungsschicht. Sie bildet die Schnittstelle zum Benutzer und umfasst eine ganze Reihe von höheren Protokollen. Als Standards wurden Dateitransfer (FTP), virtueller Terminal Zugriff (TELNET) und elektronische Post (SMTP) definiert. Im Laufe der Jahre wurden zahlreiche andere Protokolle (z.B. HTTP) hinzugefügt.

Die beiden Illustrationen Abb. 8-2 und Abb. 8-3 veranschaulichen noch einmal den Zusammenhang der verschiedenen Protokolle innerhalb des TCP/IP-Modells. Abb. 8-3 soll dabei den logischen Ablauf näher erläutern.

Network File System (NFS)	Telnet	File Transfer Protocol (FTP)	Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)	HyperText Transfer Protocol (HTTP)	weitere
Transmission Control Protocol (TCP)			User Datagram Protocol (UDP)		
Internet Protocol (IP)					
IEEE 802.2 Logical Link Control (LLC)				High-level Data Link Control (HDLC)	
IEEE 802.3 Ethernet (CSMA/CD)	IEEE 802.4 Token Ring	IEEE 802.5 Token Bus	RS-232-C X.21		

Abbildung 8-2: Aufbau des TCP/IP Protokollstapels

Es wurde bereits angesprochen, dass die TCP/IP-Protokollfamilie dem OSI-BRM um mehr als ein Jahrzehnt vorausging und deshalb Unterschiede zwischen beiden bestehen. Wie bereits in Abb. 8-1 ersichtlich, ist das TCP/IP-Modell in nur vier Schichten unterteilt. In dieser Einteilung spiegelt sich die Zielsetzung wider, bei der ARPANET unterschiedliche lokale Netze miteinander verbinden soll.

Die Rechtecke in Abb. 8-3 stellen Prozesse dar, denen Daten auf dem Weg durch den Computer unterworfen werden, und die Linien welche die Rechtecke verbinden symbolisieren die Wege welche die Daten nehmen.

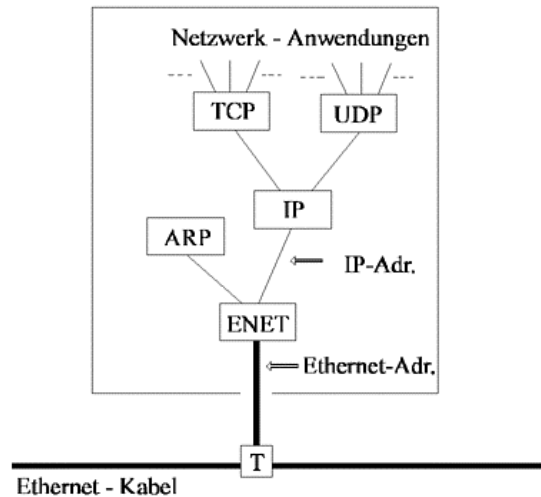


Abbildung 8-3: TCP/IP-Grundstruktur

Von Anwendungen, welche TCP verwenden, gelangen die Daten in das TCP-Modul. Bei Anwendungen, die UDP (User Datagram Protocol) verwenden, gelangen die Daten von der Anwendung zum UDP-Modul. Eine typische Anwendung, die TCP benutzt, ist FTP (File Transfer Protocol). Sein Protokollstapel lautet beispielsweise FTP/TCP/IP/ENET. Eine UDP-Anwendung ist SNMP (Simple Network Management Protocol). Ihr Protokollstapel lautet daher SNMP/UDP/IP/ENET.

Das TCP-Modul, UDP-Modul und der Ethernet-Treiber sind n-zu-1 Multiplexer. Sie sind in der Lage von mehreren Eingängen einen auf den (einigen) Ausgang zu schalten. Sie sind auch 1-zu-n Demultiplexer. Als Demultiplexer schalten Sie einen Eingang auf einen von mehrere Ausgängen entsprechend dem Typfeld im Protokollkopf der ankommenden Daten.

Erreicht nun ein Ethernet-Frame aus dem Netz kommend den Ethernet-Treiber, kann das Datenpaket entweder zum ARP-Modul (Address Resolution Protocol) oder zum IP-Modul weitergeleitet werden. Der Wert der im Typfeld des Ethernet-Frame steht entscheidet, ob die Weiterleitung zum ARP- oder IP-Modul erfolgt. Erreicht ein IP-Paket das IP-Modul, kann es zum TCP- oder zum UDP-Modul weitergeleitet werden. Dies wird bestimmt durch den Inhalt des Protokoll-Feldes im IP-Header. Wenn ein UDP-Datagramm das UDP-Modul erreicht, entscheidet dieses je nach Inhalt des Port-Feldes in der Application-Message zu welcher Anwendung das Datenpaket weiterzuleiten ist. Wenn eine TCP-Message den TCP-Modul erreicht, entscheidet dieser ebenfalls anhand des Inhalts des Portfeldes der TCP-Message zu welcher Anwendung das Datenpaket weiterzuleiten ist. Unabhängig ob es sich um UDP- oder TCP-Anwendungen handelt, die Datenströme laufen stets über das IP-Modul und von dort zum darunterliegenden Netzwerk-Interfacetreiber.

9 Ethernet

Die Konzeption von Ethernet geht auf ein Projekt an der *University of Hawaii* in den frühen 70er Jahren zurück. Anhand des bodengestützten Rundfunksystems *ALOHA*, bei dem sich mehrere Stationen über einen gemeinsamen Kanal verständigten, wurden neue Übertragungsprinzipien entwickelt, die später auch für Ethernet zentrale Bedeutung erlangten: Das Management von Kollisionen und die Übertragung von Datenpaketen (frames).

9.1 Die geschichtliche Entwicklung

- 1972** Xerox beginnt in Pala Alto mit dem Betrieb eines experimentellen Ethernet.
- 1976** Erste Ergebnisse werden veröffentlicht (METCALFE)
- 1979** DEC, Intel und XEROX - die DIX-Gruppe - beginnen mit der Entwicklung einer standardfähigen 10Mbit/s Ethernet- Konfiguration.
- 1980** Die DIX-Gruppe stellt ihre Ethernet-Architektur vor, das später sogenannte Ethernet V 1.0. Dessen Spezifikationen werden in die LAN-Projektgruppe des IEEE eingebracht
- 1982** Die IEEE veröffentlicht den 802.3-Standard für 10Base5 *Yellow Cable Ethernet*, der weitgehend auf den Spezifikationen von DIX-Ethernet V 1.0 beruht. DIX bringt die Ethernet V 2.0 Version heraus.
- 1985** Der Ethernet-Standard wird als ISO/DIS 8802/3-Standard weltweit anerkannt.
- 1986** Der 10Base2 (*Cheap-Ethernet*)- und der 10BroadT (*Breitband-Ethernet*)-Standard werden veröffentlicht.
- 1987** Ethernet Twisted-Pair-Produkte und Multiprotokoll-Router kommen in Deutschland auf den Markt
- 1988** Einführung von FDDI
- 1991** *Ethernet on Twisted-Pair* wird als 10BaseT standardisiert. Kalpana präsentiert auf der CEBIT den *Ethernet Switch*
- 1992** *Ethernet on Fibre Optics* wird 10BaseF-Standard
- 1995** Der 100-Mbit/s Ethernet Standard wird veröffentlicht
Mit der Arbeit an Standards für Gigabit-Ethernet verlässt die IEEE ihren ursprünglichen Zuständigkeitsbereich: langsame LANs bis 100 Mbit/s.

9.2 Der heutige Stand

Ethernet ist die populärste unter den Netztechnologien. Sie hat das beste Verhältnis zwischen Preis, Leistung und dem Schwierigkeitsgrad der Installation. Außerdem unterstützt sie alle gängigen Protokolle, was sie zu einer idealen Technologie für die meisten Computerbenutzer macht. Schätzungen zufolge basieren weltweit 70 Prozent aller LANs auf der 10Base-T Ethernet-Technologie. In Zahlen sind das fast 50 Millionen installierte Ethernet-Knoten. Ethernet wurde ursprünglich von der Firma *Xerox* entwickelt und dann zusammen mit Digital Equipment und Intel standardisiert.

Ein weiterer Schlüssel zum Erfolg ist die offene Systemarchitektur, die den Anschluss verschiedenster Stationen und Endgeräte erlaubt. Dabei sind alle Stationen gleichberechtigt, und die Paketvermittlung erlaubt eine Mehrfachausnutzung des Mediums ohne administrativen Aufwand.

Das Ethernet-Standard ist vom Institut für das elektrische und elektronische Ingenieurwesen (*IEEE*) als Standard IEEE 802.3 definiert. Aber heute werden auch noch die früheren Standards Ethernet 1.0, 2.0 und IEEE 802.2 (Netware-Standard) verwendet. Diese Standards definieren die Regeln für die Konfiguration und die Interaktion der einzelnen Elemente der Ethernet-Netze. Die ISO hat die IEEE - 802 Normen als ISO 8802 Normen übernommen.

Am Markt genießt Ethernet bis heute seinen Zeitvorteil: Es war bereits lange standardisiert, bevor etwa die ersten Token-Ring-Produkte verfügbar wurden. Die Verbreitung wurde zum Selbstläufer: Es standen Produkte von mehreren Anbietern zur Auswahl, die Kunden konnten zwischen relativ preisgünstigen Angeboten wählen. Die Nachfrage weitete sich aus, wodurch die Hersteller zu neuen Entwicklungen angeregt wurden und die Preise weiter sanken. Ethernet ist bei weitem die preisgünstigste LAN-Technik

Jede Station im Ethernet arbeitet unabhängig von den anderen, d.h. es gibt keinen zentralen Controller. Alle Stationen sind an ein Signalsystem angeschlossen, das Medium. Der Zugang zu diesem System wird von einem Mechanismus ermöglicht, der als Medium Access Control (MAC) bezeichnet wird. Dieser Mechanismus ist in jedem Ethernet-Interface (z.B. Steckkarte) integriert und basiert auf einem Buserkennungssystem, dem Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD).

CSMA/CD zeichnet sich dadurch aus, dass eine Station nur dann mit dem Übertragen von Daten beginnt, wenn der Bus nicht durch eine andere Station genutzt wird. D.h., alle Stationen im Netz warten, bis keine Daten mehr gesendet werden, bevor sie selbst mit der Übertragung beginnen. Dies wird erreicht indem eine sendewillige Station den Kanal „abhört“. Ein belegter Bus ist daran zu erkennen, dass jene Station, die gerade eine Datenübertragung durchführt, ein Trägersignal (Carrier) sendet. Es kann aber vorkommen, dass mehrere Stationen versuchen, gleichzeitig auf das Medium zuzugreifen. Es kommt zu Kollisionen. Hier greift die Collision Detection ein, die dieses Problem diagnostiziert und mit Hilfe eines *Binary Exponential Backoff Algorithmus* wieder eine Übertragung ermöglicht.

Das Herz des Ethernet-Systems ist das Ethernet-Datenpaket (Ethernet Frame). Seine Größe variiert zwischen 46 und 1500 Bytes. In diesem Paket sind auch die Sender- und Empfängeradressen enthalten.

9.3 CSMA

In Lokalen Netzwerken (LAN) finden Vielfachzugriffsprotokolle eine großes Anwendungsgebiet. Beim Carrier Sense Multiple Access Protokoll (CSMA), wird vor dem Senden einer Station, der Kanal untersucht. Ist dieser belegt, wartet die Station bis sie einen freien Kanal erkennen kann und sendet dann ein Paket (Frame). Man unterscheidet drei Arten des „Abhören und Sendens“:

9.3.1 non-persistent CSMA

Bei einem freiem Kanal wird übertragen. Ist das Medium belegt oder ist bereits ein Konflikt aufgetreten, wird erst nach einer zufälligen Zeit t wieder abgehört. Es wird also nicht permanent mitgehört, um ein sofortiges Übertragen zu ermöglichen.

9.3.2 1-persistent CSMA

Sollte eine Kollision auftreten, beginnt die Station nach einer zufälligen Zeit erneut zu senden. Da hier bei einem freien Kanal mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 gesendet wird, wird dieses Verfahren auch 1-persistent genannt. Das ist die Variante mit der größten praktischen Bedeutung!

9.3.3 p-persistent CSMA

Bei freiem Kanal wird mit Wahrscheinlichkeit p sofort gesendet. Mit der Wahrscheinlichkeit $(1-p)$ wird die Sendung (nach erneutem Abhören) um ein timeout verzögert (p ist fest).

Die folgende Abbildung stellt den Durchsatz als Funktion der Last dar. Sie wurde [Tan96] entnommen.

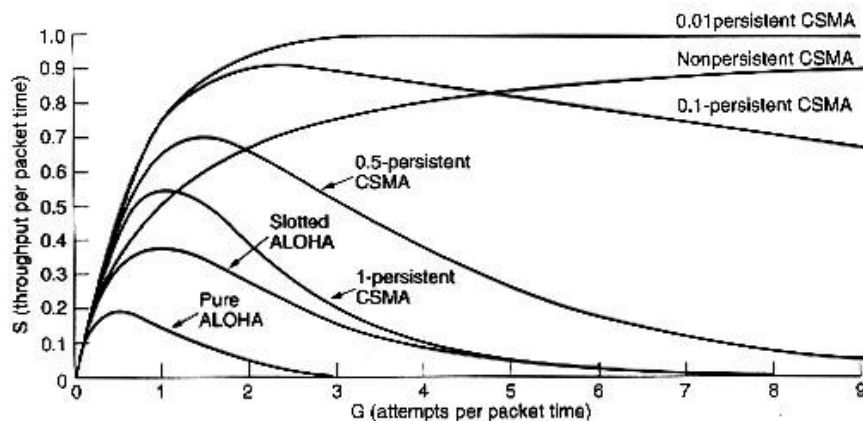


Diagramm 9-1: Durchsatz in Abhängigkeit vom Verkehr

9.4 CSMA/CD

Ethernet ist von seiner Standard-Spezifikation her eine *shared-media*- und *shared-bandwidth*-Architektur: Alle Stationen hängen am selben Kabelstrang (*Bus*) und nutzen gemeinsam die vorhandene Übertragungsbandbreite. Die Teilnehmer sind dabei gleichberechtigt, d.h. sie konkurrieren allesamt um die jeweils benötigte Übertragungskapazität.

Die Protokollschicht Medium Access Control (MAC) muss sicherstellen, dass keine zwei oder mehr Stationen versuchen, gleichzeitig Daten auf das Medium zu übertragen. Zu diesem Zweck wird von Ethernet das Zugriffsverfahren *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* eingesetzt.

Der Ablauf des Verfahrens kann wie folgt beschrieben werden:

- i. Eine sendewillige Station überwacht den Bus (*carrier sensing listen before talking*).
- ii. Wird der Kanal als frei registriert (*Idle State*), beginnt die Station nach $9,6 \mu\text{s}$ mit der Übertragung. Diese Verzögerung nennt man *Interframe Gap*. Sie bezeichnet den Mindestabstand, der zwischen zwei Datenpaketen auf dem Übertragungskanal Vorhanden sein muss.
- iii. Wird das Medium als belegt registriert, stellt die Station ihre Übertragung zurück (*Deferring*). Sie wartet nun bis der Bus frei wird, und beginnt dann mit der Übertragung. Natürlich wird auch hier die Interframe Gap berücksichtigt.
- iv. Während der Übertragung wird der Kanal auf Kollisionen überprüft (*Listen while Talking*). Bei kollisionsfreier Übertragung erkennt die Zielstation anhand der Empfängeradresse innerhalb des Datenpaketes, dass die Daten für sie bestimmt sind. Sie nimmt diese entgegen und die Übertragung ist abgeschlossen.
- v. Sollte eine Kollision auftreten, wird die Übertragung sofort abgebrochen, und ein Störsignal (*jam signal*) gesendet. Kollisionen entstehen durch Signallaufzeiten. D.h., eine sendewillige Station registriert einen freien Kanal obwohl bereits von einer anderen Station auf diesen zugegriffen wird, die Signale jedoch noch nicht die sendewillige Station erreicht haben. Sie wird daraufhin gleichzeitig mit der schon sendenden Station auf das Medium zugreifen und ihre Daten übermitteln. Die beiden bitseriellen Signalströme überlagern sich und es tritt ein undefinierter Zustand ein. Der Informationsgehalt der Sendungen geht dabei verloren. Kollisionen können erkannt werden, indem die Leistung oder Impulsbreite des empfangenen Signals mit dem übertragenen Signal verglichen wird. *Abbildung 9-1* illustriert diesen Vorgang.
- vi. Nach Aussenden des Störsignals wird eine bestimmte Zeit, abhängig vom *Binary Exponential Backoff Algorithmus*, gewartet und ein neuer Übertragungsversuch begonnen. Mit jedem vergeblichen Versuch verlängert sich das Backoff-Intervall $\{(2^n - 1) * 51,2 \mu\text{s}\}$. Nach zehn Fehlversuchen wird die Verzögerungszeit beibehalten $\{(2^{10} - 1) * 51,2 \mu\text{s} = 52,37 \text{ms}\}$. Es werden maximal 16 Sendeversuche gestartet (*backoff limit*). Gelingt es einer Station nicht zu senden, bricht sie den Sendeversuch ab und unterrichtet die übergeordnete Protokollsoftware. Es wird eine Fehlermeldung erzeugt. Nach einer erfolgreichen Übertragung wird die für den Binary Backoff Exponential Algorithmus verwendete Zählvariable der wieder auf 0 zurückgesetzt.

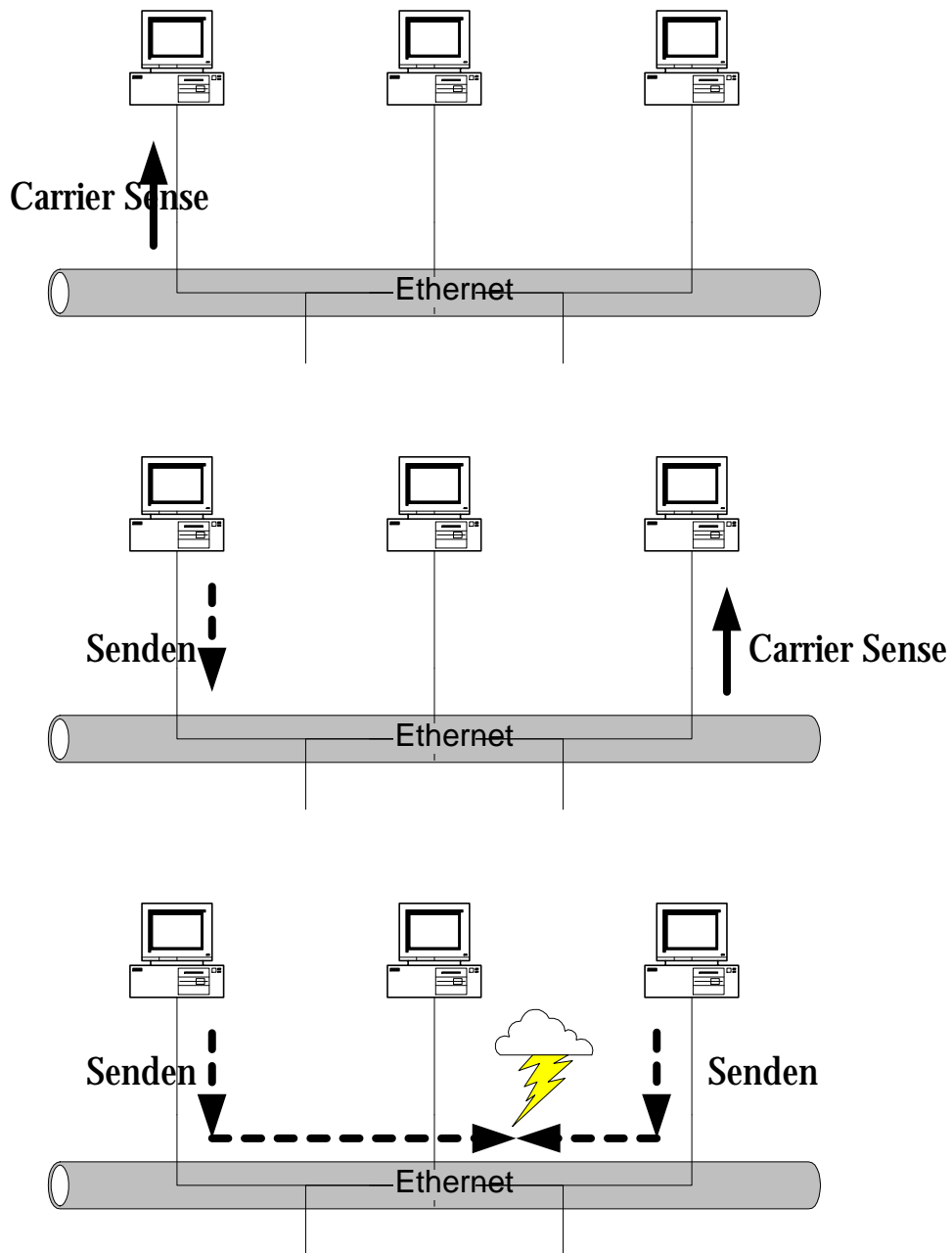


Abbildung 9-1: Kollision bedingt durch die Signallaufzeit

Die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen steigt mit der Anzahl der Netzteilnehmer und der Länge des betreffenden LAN-Segments. Mit zunehmender Länge steigt nämlich die Laufzeit zwischen den beiden am weitesten voneinander entfernten Stationen, was sich unmittelbar auf das Erkennen einer Kollision auswirkt. Beide Parameter, die Anzahl der Stationen und die Segmentlänge, bestimmen die Leistungsgrenze von CSMA/CD-Netzwerken.

Den Ablauf von CSMA/CD kann man gut durch ein Flussdiagramm veranschaulichen:

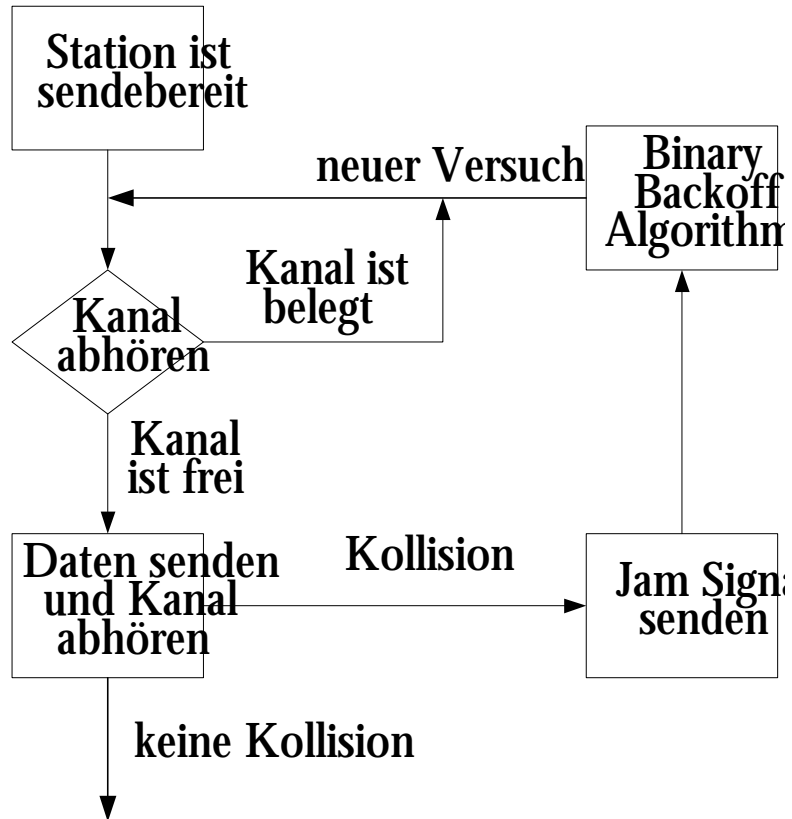


Abbildung 9-2: CSMA/CD als Flow Chart

9.4.1 Leistungsbewertung von CSMA/CD

Wie in Kapitel 2 bereits erwähnt, gibt es verschiedene CSMA Schemata:

- i. non-persistent
- ii. 1-persistent
- iii. p-persistent

Alle diese Verfahren sind darauf angewiesen, das Ende einer Übertragung möglichst schnell nach deren Abschluss zu erkennen. Die Signallaufzeit τ vom einen Ende des Kanals zum Anderen muss daher klein gegenüber der Nachrichtenlänge m sein (end-to-end propagation delay τ). Diese Bedingung wird durch den Parameter $a \equiv \tau / m \ll 1$ ausgedrückt. Wird die Signallaufzeit zu groß ($a \rightarrow 1$), passt sich CSMA wieder dem einfacheren ALOHA-Verfahren an.

CSMA/CD ist 1-persistent und, bedingt durch die Kollisionserkennung, eine weitere Verbesserung des CSMA-Standarts. Der maximale Durchsatz von CSMA/CD soll nun untersucht werden.

Ausgehend von einer Bustopologie mit mehreren angeschlossenen PCs, betrachten wir nur die beiden Äußerer (Station A und B) zur folgenden Analyse (siehe Abbildung 9-3). Berechnet man die durchschnittliche Übertragungsdauer einer Nachricht, dann ergibt sich als Kehrwert dieser Zeit der maximal erreichbare Durchsatz. Werden nur die Stationen A und B betrachtet, findet man den worst-case, also den maximal möglichen Durchsatz des Netzes.

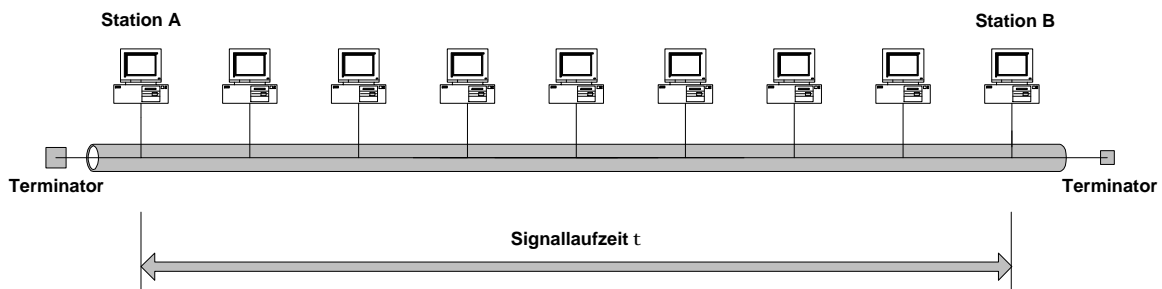


Abbildung 9-3: Bustopologie mit Signallaufzeit

Betrachtet man die virtuelle Übertragungszeit t_v einer Nachricht genauer, so zeigen sich drei Komponenten:

- i. die notwendige Zeit m zum senden einer Nachricht
(In dieser Analyse wird sie zur Vereinfachung als fester Wert angenommen.)
- ii. die Signallaufzeit τ , benötigt zum erkennen einer abgeschlossenen Übertragung
- iii. und Mehrfache von 2τ -Einheiten für den Binary Exponential Backoff zum Lösen erkannter Kollisionen.

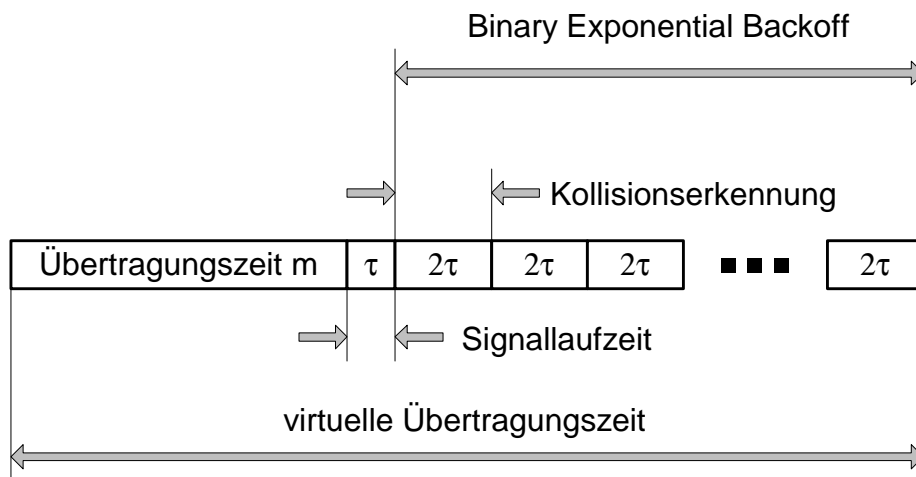


Abbildung 9-4: Virtuelle Übertragungszeit einer Nachricht

Die Signallaufzeit τ muss berücksichtigt werden, da sie einen unvermeidbaren Zeitverlust darstellt. Beendet Station A das Senden einer Nachricht, benötigt Station B noch τ Sekunden um den Kanal als frei zu erkennen. Erst nach dieser Verzögerung kann Station B mit dem Belegen des Kanals beginnen. Diese Verzögerung erhöht m um den Wert τ und reduziert somit direkt den Durchsatz.

Tritt nun zusätzlich eine Kollision auf, so dauert es schlimmstenfalls 2τ Sekunden um diese zu erkennen und das Senden zu unterbrechen. Zur Vereinfachung kann die Zeit für das Jam-Signal vernachlässigt werden. Abbildung 9-5 veranschaulicht diesen Vorgang:

- (1) A beginnt zu senden.
- (2) Kurz bevor die Signale von A Station B erreichen, beginnt diese ebenfalls mit einer Übertragung.
- (3) Es kommt zu einer Kollision, die von A aber erst nach der Zeit τ erkannt wird. Es ergibt sich daher eine Gesamtzeit von 2τ zur Kollisionserkennung.

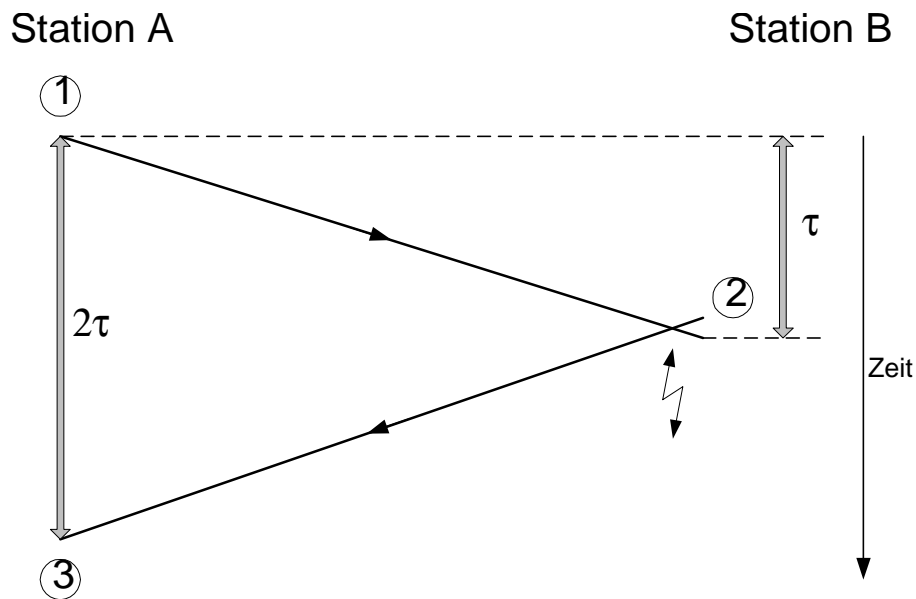


Abbildung 9-5: Worst-Case-Kollisionserkennung

Beim Auftreten einer Kollision dauert es also $2\tau n$ Einheiten um diese zu lösen. n repräsentiert dabei die Anzahl der erneuten Übertragungen.

Die virtuelle Übertragungsdauer ist daher gegeben durch:

$$\begin{aligned}
 t_v &= m + t + 2tn \\
 &= m[1 + a(1 + 2n)] \quad a \equiv t/m
 \end{aligned}
 \tag{9.1}$$

Um mit der Analyse fortzufahren, muss ein Wert für n gefunden werden. Für CSMA/CD bedeutet dies, es müsste der Binary Exponential Backoff ausgewertet werden. Wie in [Schw86] beschrieben, ist dies jedoch nicht notwendig, da das folgende einfachere Model akkurate Ergebnisse zur Verfügung stellt.

Angenommen die Länge des Kollisionsintervalls (Abb. 9-4) sei geometrisch in Einheiten von 2τ mit Parameter ν verteilt. So ist das Kollisionsintervall mit Wahrscheinlichkeit ν genau eine Einheit (2τ Sekunden) lang, zwei Einheiten mit Wahrscheinlichkeit $\nu(1 - \nu)$, drei Einheiten mit $\nu(1 - \nu)^2$, u.s.w.. Der Parameter ν ist somit die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges am Ende eines Intervalls, $(1 - \nu)$ die Wahrscheinlichkeit einer Kollision. Von diesem Model ausgehend ist die durchschnittliche Anzahl der Neuversuche einer Übertragung gegeben durch $n = \frac{1}{\nu}$, für

$$n = \sum_{k=1}^{\infty} kn (1-n)^{k-1} = \frac{1}{n} \quad (9.2)$$

Dieser Ausdruck entlastet von der Suche nach n , da nun die Wahrscheinlichkeit ν den ausschlaggebenden Parameter darstellt. Sind nun N Stationen ($N \geq 1$) an einer möglichen Übertragung beteiligt, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass irgendeine Station innerhalb eines 2τ Sekunden dauernden Intervalls senden möchte, gleich p . Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Station erfolgreich sendet, ist dann gegeben durch:

$$n = N * p(1-p)^{N-1} \quad (9.3)$$

Strebt nun p gegen $1/N$ so ergibt sich ν_{\max} zu:

$$n_{\max} = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} \quad (9.4)$$

Für $N \rightarrow \infty$ konvergiert $n_{\max} \rightarrow 1/e$

Setzt man jetzt für ν in Gleichung (9-2) den Wert $1/e$ ein, wird $n=e$ und aus Gleichung (9-1) wird

$$t_v = m [1 + a(1 + 2e)] \quad a \equiv t / m \quad (9.5)$$

Der maximale Durchsatz λ_{\max} in Nachrichten pro Zeiteinheit ist $1/t_v$. Damit ist die maximale Anzahl von verketteten Nachrichten gemeint, die von einer Station gesendet werden können. Sei λ die durchschnittliche Anzahl der Nachrichten pro Zeiteinheit die von allen Stationen über den Kanal geschickt werden und normalisiert man die Übertragungskapazität $1/m$ in Nachrichten/Zeit erhält man

$$r \equiv l m < \frac{1}{1+a(1+2e)} = \frac{1}{1+6,44a} \quad (9.6)$$

Ein Beispiel:

Ist die Größe einer Nachricht das Zehnfache der Signallaufzeit, so ist $a=0,1$ und daher

$$r < \frac{1}{1+6,44*0,1} < \frac{1}{1,644} < 0,61$$

Dies ist eine große Verbesserung gegenüber pure-ALOHA mit $\rho = 0,18$ und slotted-ALOHA $\rho = 0,368$.

10 Simulation CSMA/CD

Als Vorlage für diesen Versuch dient die Beschreibung in [Gro99] Seite 94. Dieser Versuch wurde allerdings etwas abgeändert und Markov-Prozesse verwendet.

Ein CSMA/CD-LAN mit achtundzwanzig Stationen und einer 10BaseT-Verbindung wurde auf seine Performance untersucht. Zu diesem Zweck wurde das Quantum der kommunizierenden Stationen beginnend mit einem Paar bis auf vierzehn Paare erhöht. D.h., zuerst darf nur eine Station senden, dann zwei Stationen u.s.w., bis 14 Stationen den Bus benutzen.

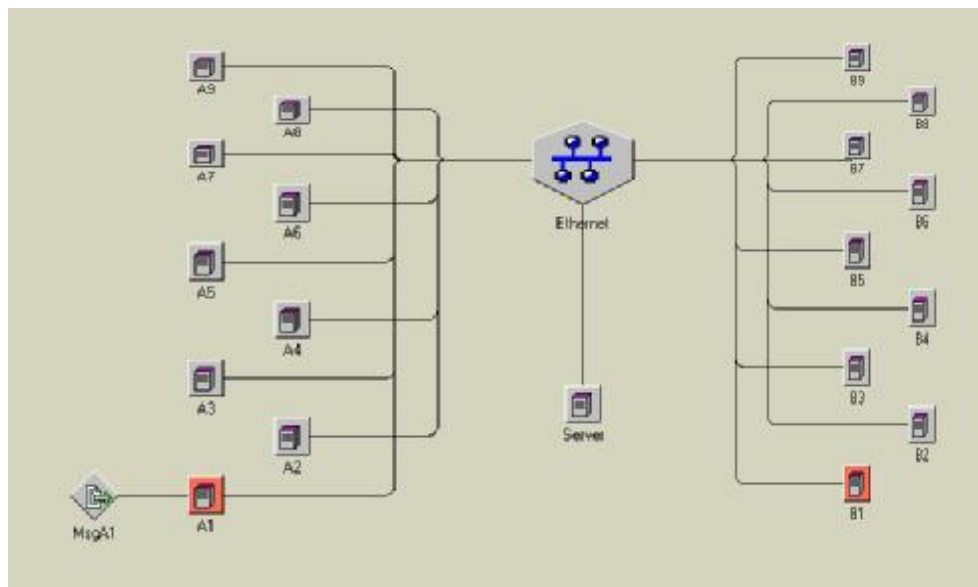


Abbildung 10-1: CSMA/CD-LAN mit einem aktiven Sender und Empfänger

Der Sender ist mit A bezeichnet, der Empfänger mit B. Es kommunizieren immer nur ein Sender mit einem Empfänger. Message A1 ist also für Empfänger B1 bestimmt. Da hier nur eine Station sendet, dürfen auch keine Kollisionen auf dem Bus auftreten, was auch dem Link-Report entnommen werden kann.

Als interarrival time wurden 0,1 Sekunden eingestellt, was in einer Ankunftsrate von $\lambda = 10 \frac{\text{Nachrichten}}{\text{Sekunde}}$ resultiert. Sie ist exponentiell verteilt. Die Größe der Nachrichten unterliegt ebenfalls einer Exponential-Verteilung mit einem Mittelwert von 10 kBytes.

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08 11:45:28
 2000 PAGE 1

sim-b-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet	10430	0	1.145	0.244	1.230	7.8995

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08 11:45:28
 2000 PAGE 2

sim-b-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	0
COLLIDED FRAMES	0
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0
NBR OF DEFERRALS	0
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0.00
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	0
AVG PER EPISODE	0.00
MAX PER EPISODE	0

Durch Addition weiterer Nachrichten wird das Netz immer stärker belastet und es treten immer mehr Kollisionen auf.

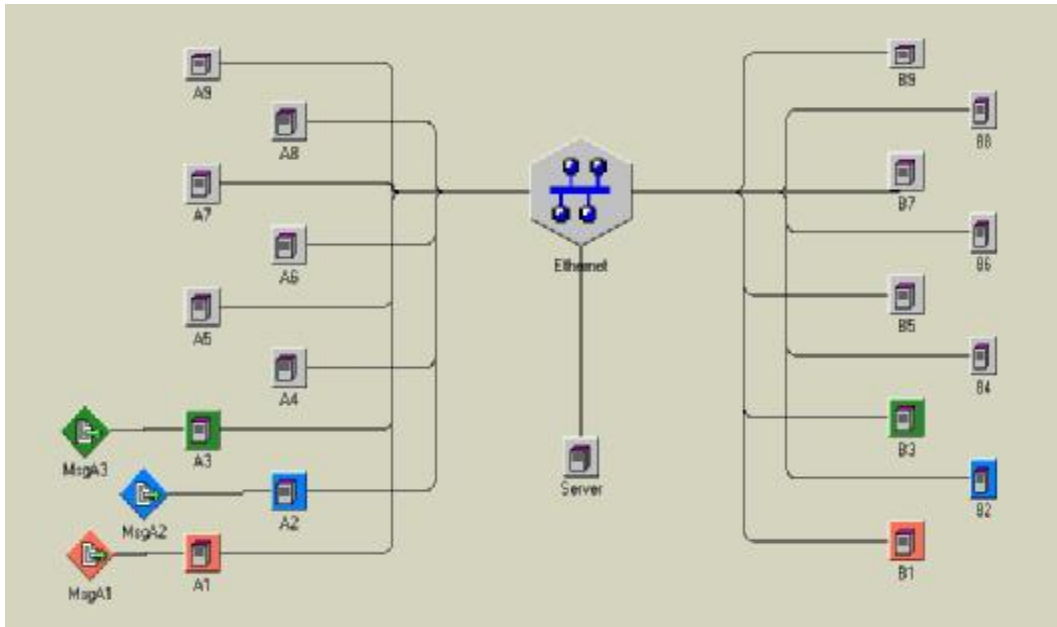


Abbildung 10-2: CSMA/CD-LAN mit drei aktiven Sendern und Empfängern

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08 11:51:30
2000 PAGE 1

sim-d-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet	31909	0	1.481	7.829	1269.275	24.18

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08 11:51:30
2000 PAGE 2

sim-d-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet	
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD	
COLLISION EPISODES	3565	
COLLIDED FRAMES	7252	
NBR OF TRIES TO RESOLVE		Entspricht der Zählvariable n für den
AVERAGE	1.95	Binary-Exponential-Backoff-Algorithmus
STANDARD DEVIATION	2.03	
MAXIMUM	15	
NBR OF DEFERRALS	3533	Anzahl der Verzögerungen wenn beim
		Sendeversuch der Link besetzt ist
DEFERRAL DELAY (MS)		Zeit, die vorm Senden gewartet werden
AVERAGE	0.82	musste, da der Bus bereits von einer
STANDARD DEVIATION	0.35	anderen Station genutzt wurde
MAXIMUM	1.22	
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)		
AVERAGE	0.02	
STANDARD DEVIATION	0.14	
MAXIMUM	2	
MULTIPLE COLLISION EPISODES		Anzahl der Kollisionen, die mehr als
NBR EPISODES	122	zwei sendende Stationen verursachten
AVG PER EPISODE	3.00	
MAX PER EPISODE	3	

Da die akademische Version von COMNET III auf 20 Knoten begrenzt ist, wurden die neun sendenden Stationen durch eine Computergruppe mit neun Mitgliedern ersetzt. Ein Vergleich der erzeugten Simulationsergebnisse zeigt, dass dieses Verfahren durchaus zulässig ist, da sich die Unterschiede im Rahmen halten.

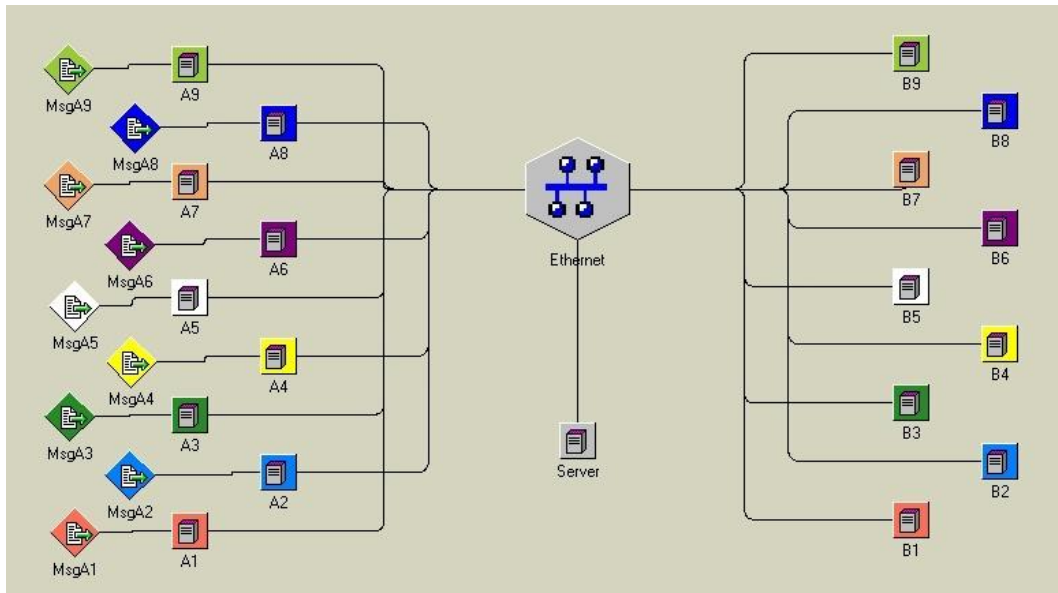


Abbildung 10-3: CSMA/CD-LAN mit neun aktiven Sendern und Empfängern

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08 12:10:38
2000 PAGE 1

sim-j-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet	97536	0	11.890	129.042	6249.670	73.92

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14 11:51:21
2000 PAGE 2

sim-j-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME Ethernet

ACCESS PROTOCOL CSMA/CD

COLLISION EPISODES 21751

COLLIDED FRAMES 46852

NBR OF TRIES TO RESOLVE
AVERAGE 1.57
STANDARD DEVIATION 2.02
MAXIMUM 16

NBR OF DEFERRALS 23794

DEFERRAL DELAY (MS)
AVERAGE 0.73
STANDARD DEVIATION 0.37
MAXIMUM 1.22

DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)
AVERAGE 0.12
STANDARD DEVIATION 0.36
MAXIMUM 5

MULTIPLE COLLISION EPISODES
NBR EPISODES 2990
AVG PER EPISODE 3.12
MAX PER EPISODE 6

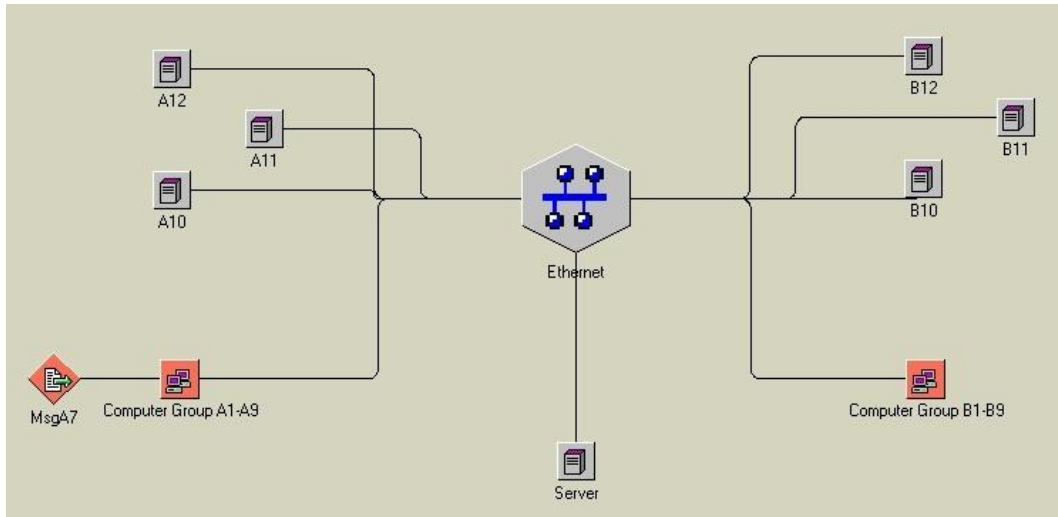


Abbildung 10-4: CSMA/CD-LAN mit einer aktiven Computergruppe mit neun Mitgliedern

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14 11:54:01
2000 PAGE 1

sim-j-exp-computer-group

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet	97382	0	11.775	131.139	6285.105	73.73

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14 11:54:01
2000 PAGE 2

sim-j-exp-computer-group

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME Ethernet

ACCESS PROTOCOL CSMA/CD

COLLISION EPISODES 22153

COLLIDED FRAMES 47885

NBR OF TRIES TO RESOLVE
AVERAGE 1.60
STANDARD DEVIATION 2.05
MAXIMUM 16

NBR OF DEFERRALS 24443

DEFERRAL DELAY (MS)
AVERAGE 0.74
STANDARD DEVIATION 0.37
MAXIMUM 1.22

DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)
AVERAGE 0.12
STANDARD DEVIATION 0.37
MAXIMUM 5

MULTIPLE COLLISION EPISODES
NBR EPISODES 3181
AVG PER EPISODE 3.13
MAX PER EPISODE 6

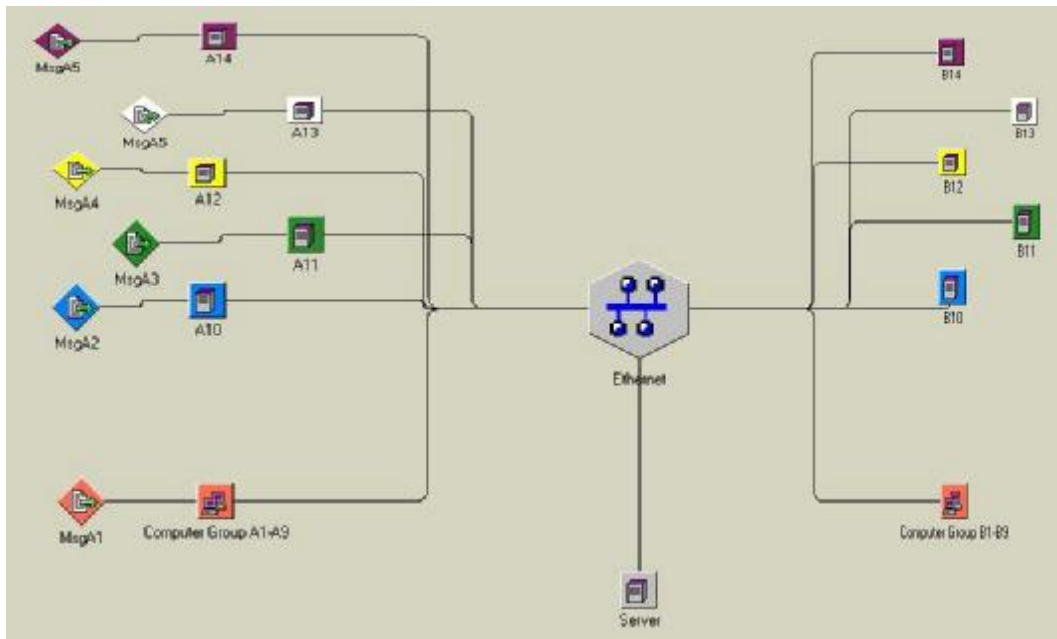


Abbildung 10-5: CSMA/CD-LAN mit vierzehn aktiven Arbeitsstationen

Zuletzt wurden insgesamt vierzehn Sender erzeugt, was einen Überlastbereich darstellt.

Wie in [Bol89] gezeigt, werden drei Bereiche definiert:

- i. Niederlastbereich
Die Übertragungskapazität reicht zur Bewältigung der ankommenden Last gut aus. ($\rho < 1$)
- ii. Hochlastbereich
Das LAN wird zum Engpass. In diesem Bereich wird relativ mehr Zeit für die Eroberung des Zugriffsrechts als für die eigentliche Datenübertragung verwendet.
- iii. Überlastbereich
Die ankommenden Nachrichten sind mit der Übertragungskapazität nicht mehr zu bearbeiten ($\rho > 1$).

Die Grenze zwischen i & ii ist jedoch nicht einfach festlegbar. Ignoriert man zunächst das Zugriffsverfahren und verwendet Grenzen für die Antwortzeit (Zeit zwischen Sendebeginn des Knoten A bis zum erfolgreichen Empfang auf Knoten B) und dem Durchsatz eines LANs ergeben sich vier Größen:

- i. T_{idle}
mittleres Zeitintervall zwischen zwei Sendeversuchen,
- ii. $E[S]$
Übertragungsdauer einer Nachricht, wenn das Zugriffsrecht bereits erobert wurde,

- iii. $E[R]$
mittlere Antwortzeit,
- iv. λ
mittlerer Gesamtdurchsatz des LAN (Nachrichten/sec).

Angenommen es bestehen N aktive Knoten mit der jeweils gleichen Sendeintensität. Um eine obere Grenze des Gesamtdurchsatzes zu ermitteln, wird der Idealfall betrachtet, dass keine Wartezeiten in den Knoten auftreten. D.h., bevor eine neue Nachricht gesendet wird, ist die aktuelle bereits vollständig bearbeitet. Der Durchsatz eines Knotens ist dann:

$$I = \frac{1}{T_{idle} + E[S]} \quad (10.1)$$

Der insgesamt mögliche Durchsatz ergibt sich aus der Summe dieser Durchsätze.

$$I \leq \frac{N}{T_{idle} + E[S]} \quad (10.2)$$

Diese obere Grenze wächst linear mit der Zahl der Knoten N , bis die Gesamtkapazität des Übertragungsmediums erreicht wird. Also:

$$I \leq \frac{1}{E[S]} \quad (10.3)$$

Kombiniert man die beiden Gleichungen (10.2) und (10.3) miteinander, erhält man die maximale Anzahl der Knoten im Netz.

$$N_{\max} = \frac{T_{idle} + E[S]}{E[S]} \quad (10.4)$$

Mit mehr als N_{\max} Knoten ist das LAN keinesfalls in der Lage, die ankommenden Nachrichten zu verarbeiten.

In unserem Beispiel mit einem 10 Mbps LAN, dessen Knoten alle 0,1 Sekunde eine Nachricht von 10000 Bytes sendet ist die Übertragungszeit

$$E[S] = \frac{80 \text{ kb}}{10 \text{ Mbps}} = 8 \text{ ms}$$

und somit

$$T_{idle} = 100 \text{ ms} - 8 \text{ ms} = 92 \text{ ms}$$

Die Anzahl der maximal anschließbaren Knoten beträgt daher:

$$N_{\max} = \frac{T_{idle} + E[S]}{E[S]} = \frac{100 \text{ ms}}{8 \text{ ms}} = 12,5$$

$$\Rightarrow N_{\max} = 12 \text{ Knoten}$$

	Anzahl der sendenden Stationen	mittlere Verweilzeit im System (sec)	Anzahl der Kollisionen	Utilisation (%)
Simulation B	1	0,009	0	7,90
Simulation C	2	0,013	2203	15,79
Simulation D	3	0,016	3565	24,18
Simulation E	4	0,017	7684	33,06
Simulation F	5	0,020	12274	40,85
Simulation G	6	0,042	18228	49,47
Simulation H	7	0,243	23253	58,10
Simulation I	8	1,270	21447	65,05
Simulation J	9	2,124	22153	73,73
Simulation K	10	3,809	22215	80,80
Simulation L	11	4,063	24979	88,98
Simulation M	12	6,926	25458	95,98
Simulation N	13 (Überlastbereich)	13,207	26903	96,43
Simulation O	14	22,646	28819	97,77

Tabelle 10-1: CSMA/CD

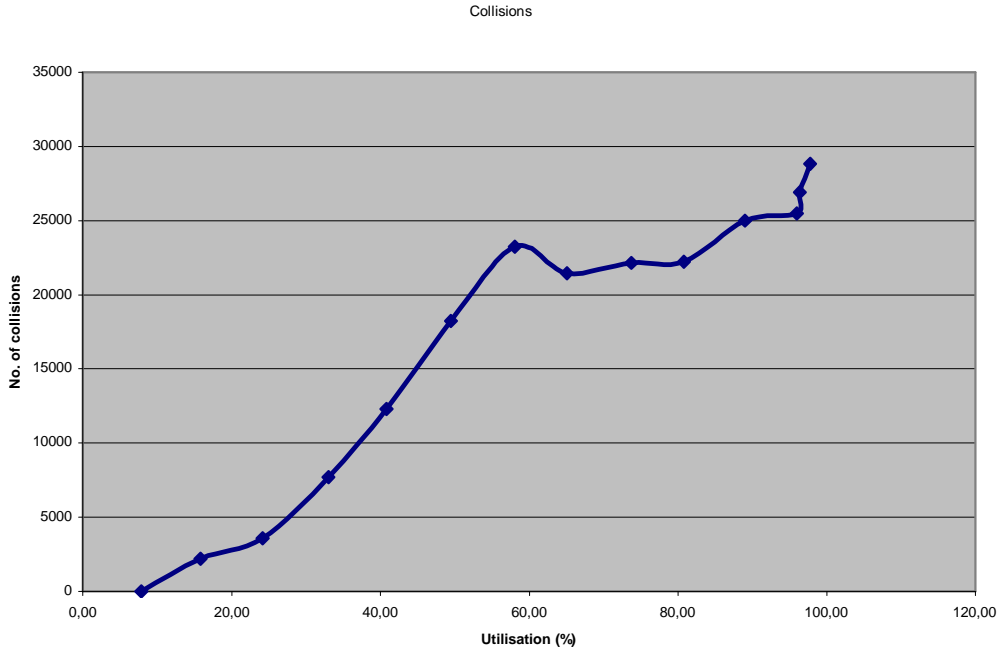


Diagramm 10-1: Number of collisions vs. Utilisation

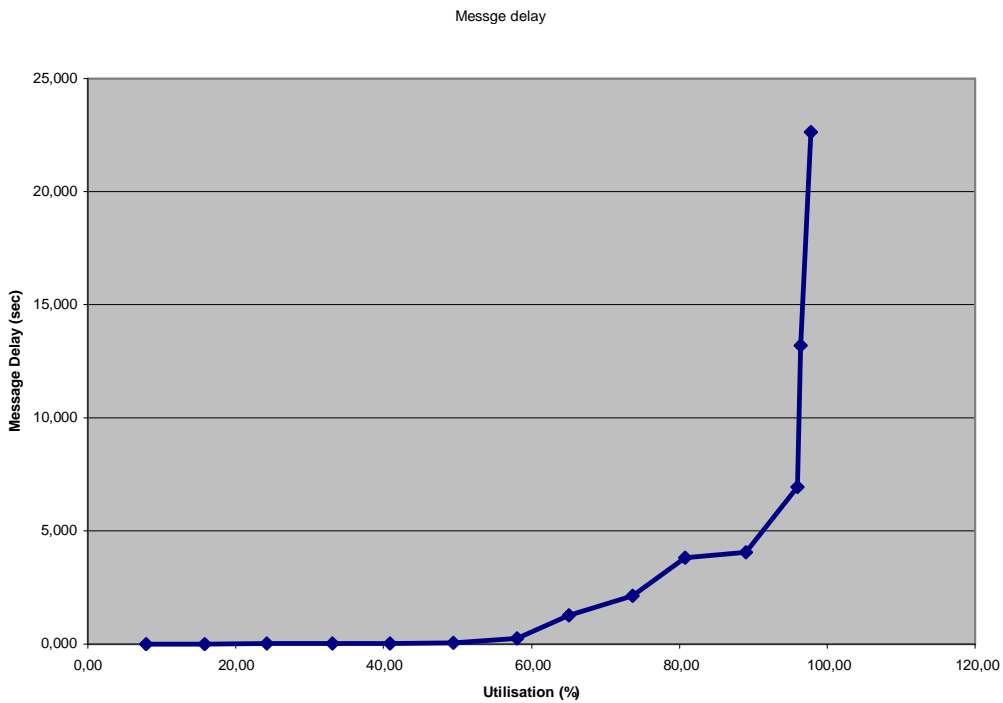


Diagramm 10-2: Message Delay CSMA/CD vs. Utilisation

Mit Simulation H naht der Hochlastbereich, was an der rapid steigenden Verweilzeit zu erkennen ist. Die Kollisionen erreichen eine vorläufiges Maximum und stagnieren in diesem Bereich bis der Überlastfall eintritt. Die maximale Durchsatzgrenze von CSMA/CD, die bei ca. 60 % liegt, schlägt sich also auch in der Simulation nieder.

Kommt es zur Überlast, steigt vor allem die Verweilzeit im System enorm. Dies ist auf die immer häufigeren Kollisionen zurück zu führen. Erstaunlicherweise liegt der Durchschnitt der Zählvariablen n des Binary Exponential Backoff immer noch bei 2, d.h., es wird im Schnitt nach zwei neuen Sendeversuchen ein Erfolg verzeichnet.

11 Leistungsbewertung eines Proxy Servers

Das schnelle Wachstum des Internets, hervorgerufen durch einfache Zugangsmöglichkeiten und enorme Beteiligung der Warenanbieter und Versandhäuser, führte in eine neue Ära des Computerzeitalters. Das Internet wurde zum Medium der Kommunikation und des Kommerz, erschwinglich für jedermann (frau) und leicht zu bedienen.

Dieses Wachstum birgt aber nicht nur Vorteile. Schnelle Zugänge via ISDN-Kanalbündelung, xDSL und Firmennetze mit E1-Anbindung, erhöhen die Erwartungen von kurzen Antwort- und Filetransferzeiten. Ein langsames WAN und überlastete Server auf der anderen Seite, bremsen jedoch diese Erwartungen und Lust wird mehr und mehr zu Frust. Obwohl die Internet Service Provider (ISP) mit immer größeren Servern und schnelleren WANs reagieren, ist es doch nur eine Frage der Zeit bis auch diese Ressourcen an ihre Leistungsgrenzen geraten. Die International Telecommunication Union (ITU) rechnet mit einer Steigerung von 60 Millionen Internet-Nutzern weltweit in 1996 auf 300 Millionen weltweit bis 2001 [Kauf00].

Neue Architekturen sind daher von Nöten. Diese sollten flexibel und günstig im Aufbau und der Wartung sein, keine ständigen Server- und Bandbreitenupgrades erfordern und vor allem eine leichte Administration bieten. Ganz gleich wie dieses Zukunftsmodell aussehen wird, ein entscheidender Punkt wird die Speicherung der Information nah am Nutzer sein. Genau diesen Ansatz verfolgt das Web Caching mittels Proxy-Server.

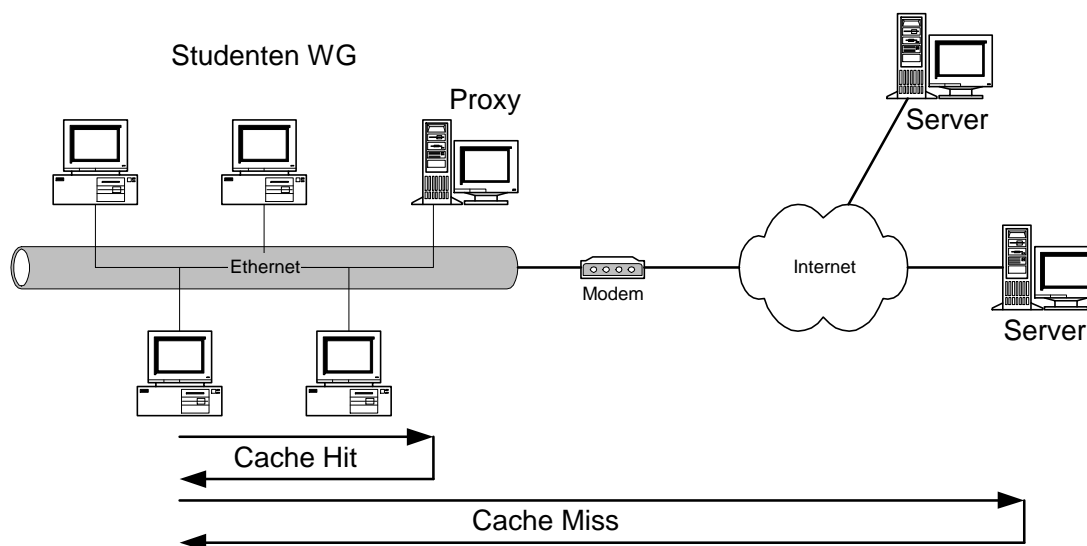


Abbildung 11-1: Cache Hit vs. Cache Miss

Abbildung 11-1 zeigt ein 10Mbps LAN das mittels ISDN mit einem ISP verbunden ist. Angenommen es handelt sich um eine Studenten-WG und alle Bewohner informieren sich über die neuesten kulturellen Ereignisse der Stadt Kaiserslautern unter www.kaiserslautern.de.

Ohne Proxy-Server, wird für jeden Student eine neue Kopie der Seite über die ISDN-Leitung mit 64 kbps übertragen. Mit Proxy-Server, erhält der erste Student die Seite mit 64 kbps, der Rest mit 10 Mbps vom Proxy übers Ethernet. J

Leider sieht die Realität ganz anders aus. Jede Anfrage an das Internet wird zuerst an den Proxy-Server gestellt. Hat dieser die gewünschte Information bereits gespeichert, wird der Nutzer sofort bedient (*Cache Hit*). Ist die Information nicht lokal gespeichert, leitet der Proxy die Anfrage an das Internet weiter (*Cache Miss*). Nach Erhalt der Daten werden diese auf dem Proxy hinterlegt und an den User weitergeleitet. Dass hier natürlich längere Antwortzeiten entstehen ist offensichtlich und eine hundertprozentige Trefferquote bei Anfragen an den Proxy wird es nie geben. Wir leben nun mal in einem Internetzeitalter, wo an einem Abend nach den neuesten Programmen gesucht, am anderen der Lieblingshit als MP3 heruntergeladen und am nächsten ein Buch bestellt wird.

Proxy-Server bilden in der Regel eine Hierarchie. Low-level-Proxys nutzen dabei High-level-Proxys als ihre *Parents* (Eltern). Bei allen Anfragen die der Low-level-Proxy nicht beantworten kann, stellt dieser zunächst eine Anfrage an den Parent-Proxy. Hat dieser die gewünschten Daten ebenfalls nicht vorrätig, wird der eigentliche Server angewählt.

11.1 Workload Characterisation

Die Arbeitslast-Charakterisierung erwies sich zunächst als Problem. Ein RMON-Tool, das direkt eine Analyse des Internetverkehrs zulässt (Wie groß (Bytes) ist die Anfrage? Wie groß die darauf bezogene Antwort? U.s.w.), konnte unter den Shareware-Tools nicht gefunden werden. Die in [Mena98] angegebenen Werte schienen zu oberflächlich und nicht ausreichend begründet. Ein Artikel in dem IEEE Network Magazin schuf Abhilfe [MWE00].

In diesem Artikel wurden wie in [AbFoAW] die Log-files verschiedener Proxy-Server analysiert. Das Log-file konnte zu diesem Zweck in verschiedenen Datengruppen unterteilt werden:

- *HTML:* *.html, *.htm, *.shtml, *.map
- *Image:* *.gif, *.jpg, *.jpeg, *.bmp, *.pic, *.pgm, *.xwd, *.rgb, *.xpm, *.tif, *.gif89, *.ief, *.jpe, *.ras, *.ppm, *.pcx,
- *Audio:* *.au, *.wav, *.aiff, *.aif, *.aifc, *.mid, *.snd, *.lha
- *Video:* *.mov, *.qt, *.avi, *.mpe, *.movie, *.mpeg, *.mpg, *.mp2, *.mp3
- *Compressed:* *.z, *.zip, *.gz, *.zoo
- *Formatted:* *.ps, *.pdf, *.dvi, *.ppt, *.tex, *.rtf, *.src, *.doc, *.wsrc
- *Dynamic:* *.cgi, *.pl, *.perl

Untersucht wurden drei Proxy-Server:

1. der Proxy-Server an der University of Saskatchewan (USak)
2. der CANAIRE Proxy in Toronto und
3. der National Laboratory for Applied Networking Research (NLANR) an der University of Illinois, Urbana-Champaign (UIUC).

Der USak Proxy ist ein Low-level-Proxy, der einige hundert Nutzer auf dem Campus der University of Saskatchewan bedient. Er ist so konfiguriert, dass er den CANAIRE Proxy als seinen Parent verwendet. Der CANAIRE Proxy wiederum fungiert als Parent-Proxy-Server für einige First-level-Proxies. Er besitzt zwei Links zu den Knoten der NLANR Hierarchie, erstens den Knoten in Pittsburgh und zweitens den Knoten an der UIUC. Der NLANR Proxy an der University of Illinois ist einer der Top-level-Proxies der NLANR Hierarchie.

Die Auswertung der Log-files ergab folgende Verteilung:

	<i>Usask</i>		<i>CANARIE</i>		<i>NLANR</i>	
	size (byte)	percent of requests	size (byte)	percent of requests	size (byte)	percent of requests
Dynamic	3.621	1,91	1.794	1,64	8.330	1,69
Images	5.665	77,52	7.890	76,38	8.234	68,31
HTML	10.060	19,47	10.668	20,58	11.845	21,51
Other	46.141	0,24	115.717	0,19	260.419	0,48
Audio	98.687	0,29	160.373	0,44	176.737	0,26
Formatted	109.657	0,45	173.987	0,56	330.509	0,62
Compressed	458.526	0,06	656.479	0,10	566.495	0,19
Video	1.322.156	0,06	1.294.966	0,12	1.071.632	0,08

Tabelle 11-1: Proxy workload

Für das Simulationsszenario wurden die Werte des Low-level-Proxys an der University of Saskatchewan gewählt, da dieser Proxy direkt den Anforderungen der User unterliegt. Er liefert daher ein über mehrere hundert Anwender gebildetes Mittel der Anfragen an das Internet.

	size (byte)	percent
Dynamic	3.621	1,91
Images	5.665	77,52
HTML	10.060	19,47
Other	46.141	0,24
Audio	98.687	0,29
Formatted	109.657	0,45
Compressed	458.526	0,06
Video	1.322.156	0,06

Tabelle 11-2: Workload des Proxy-Servers an der University of Saskatchewan

11.2 Simulation eines Netzwerks ohne Proxy-Server

Zunächst wurde ein Netzwerk, bestehend aus einer Computergruppe mit 15 Arbeitsstationen, einem Ethernet Hub und einem Router erstellt. Um Tabelle 11-2 zu realisieren, wurde ein Server mit den entsprechenden Dateitypen und -größen, addiert.

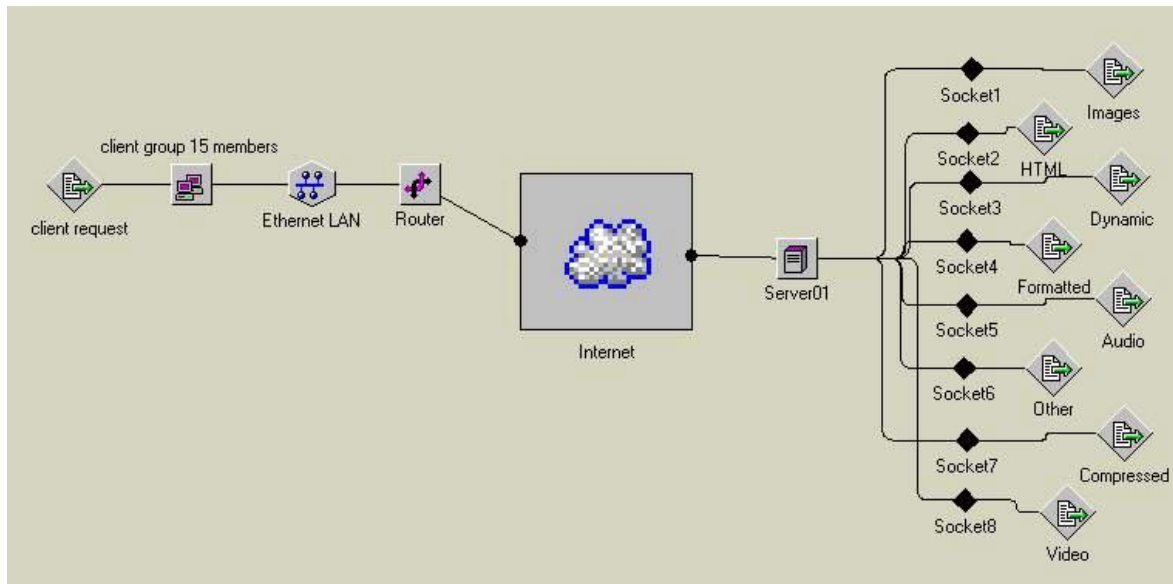


Abbildung 11-2: Netzwerk mit Internetanschluss

Die Internet-Wolke (cloud) kann mit dem, in COMNET III integrierten, Internet-Wizard erstellt werden. Dieser bietet zwei Möglichkeiten für die Definition der Internetparameter: erstens default Parameter oder zweitens eigene Parameter definieren. Da keine Referenzwerte vorhanden waren, dienten die vordefinierten Parameter beim erstellen der Internet-WAN-Cloud. Der Internet-Wizard wird über das Help-Menü aufgerufen. (Siehe Abbildung 11-3)

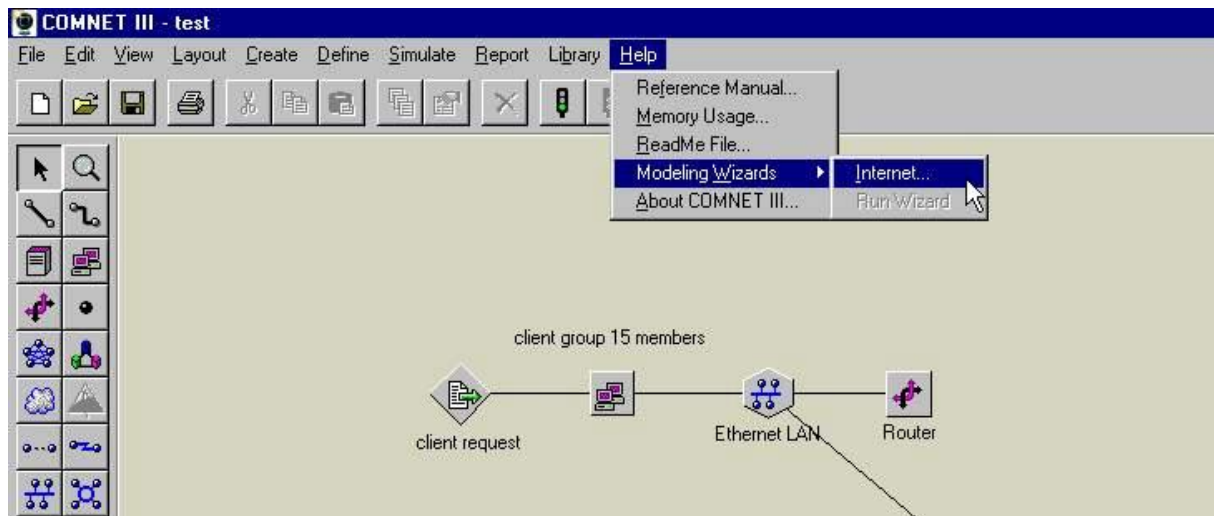


Abbildung 11-3: Der COMNET III Internet-Wizard

Als Link zwischen LAN und Internet dient ein Basic-Rate-ISDN-Anschluss (Basic Rate Interface = BRI) mit 128 kbps. Der Server wurde über einen in den USA üblichen T1-Anschluss mit 1.544 Mbps mit dem Internet verbunden.

Anmerkung: Für das ISDN existieren zwei Zugangsmethoden:

- BRI (Basic Rate Interface): Ein BRI-Anschluss besitzt zwei bidirektionale B-Kanäle mit 64 kbps und einen D-Kanal mit 16 kbps (2B+D). Jeder B-Kanal kann Sprache oder Daten übertragen. Der D-Kanal überträgt die Signalisierung oder Call-Control-Meldungen.
- PRI (Primary Rate Interface): PRI steht im Einklang mit zwei Primary-Raten: T1 mit 1.444 Mbps und E1 mit 2.048 Mbps. Die Schnittstellenstruktur für T1 ist 23B+D (Nordamerika und Japan). Die Schnittstellenstruktur für E1 ist 30B+D (Europa).

Die Dateigröße der Anfragen der Clients an den Internetserver wurde auf 100 Bytes festgelegt. Das triggern der Sockets am Server geschah mit Hilfe einer Weighted List (siehe Abbildung 6-7 und 6-8), die die prozentuale Verteilung der Arbeitslast realisiert.

Die Simulation über verschiedene Ankunftszeiten lieferte folgendes Ergebnis:

No-Proxy case	Link Utilisation (%)					
	0,083	0,100	0,111	0,125	0,143	0,200
Ankunftsrate	0,083	0,100	0,111	0,125	0,143	0,200
Ethernet LAN	0,93	1,21	1,31	1,37	1,45	1,48
outgoing Link (to Internet)	4,92	6,12	6,83	7,45	8,21	9,65
incomming Link (from Internet)	63,94	84,01	90,48	94,30	100,00	100,00

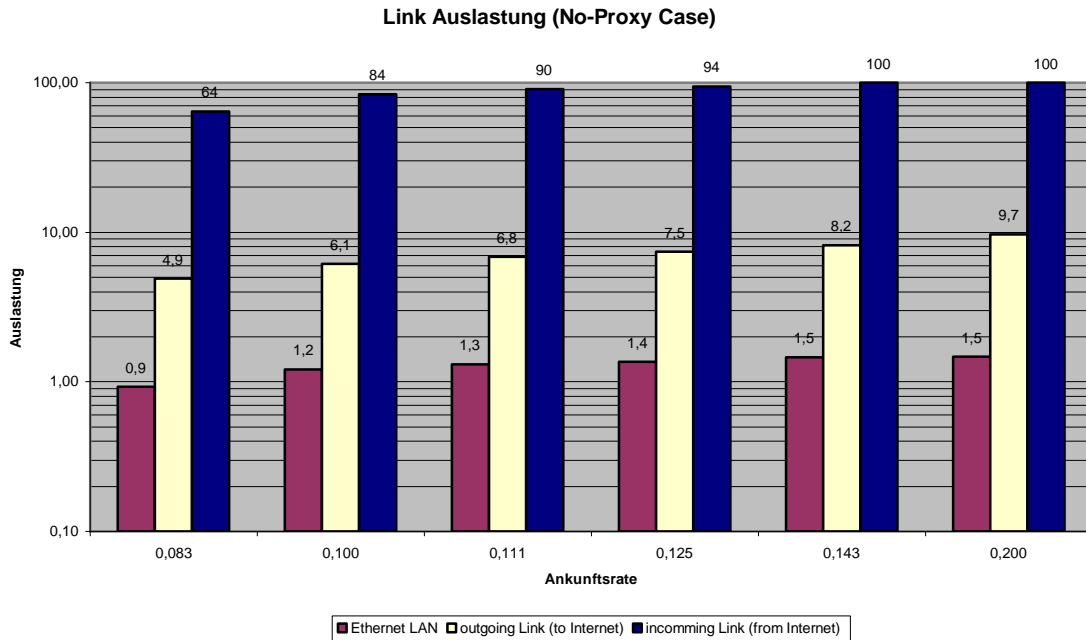


Diagramm 11-1: Linkauslastung des LANs ohne Proxy-Server

Bei einer Ankunftsrate von $I = 0,111 \frac{pck}{sec}$ tritt eine Auslastung des 128 kbps-Links von 90% auf. Die Collisionsdomäne des Ethernet ist nur mit max. 1,5% belastet, d.h, es treten keine Verzögerungen durch Kollisionen auf. Eine Analyse der Verzögerungszeiten der Daten vom Internet-Server zeigt Tabelle 11-2:

Ankunftsrate (1/sec)	Message delay (sec)				
	0,083	0,1	0,111	0,125	0,143
Dynamic	2,06	4,243	5,27	12,82	104,69
Images	2,58	4,83	6,91	13,90	126,24
HTML	3,38	6,21	9,00	17,21	149,87
Other	9,30	19,27	28,32	42,22	330,34
Audio	20,16	37,25	32,10	82,53	518,93
Formatted	19,74	41,72	39,78	95,08	485,46
Compressed	54,48	86,29	213,40	121,87	N/A
Video	283,98	307,77	285,83	244,35	N/A

Tabelle 11-2: Messagedelay No-Proxy-Case

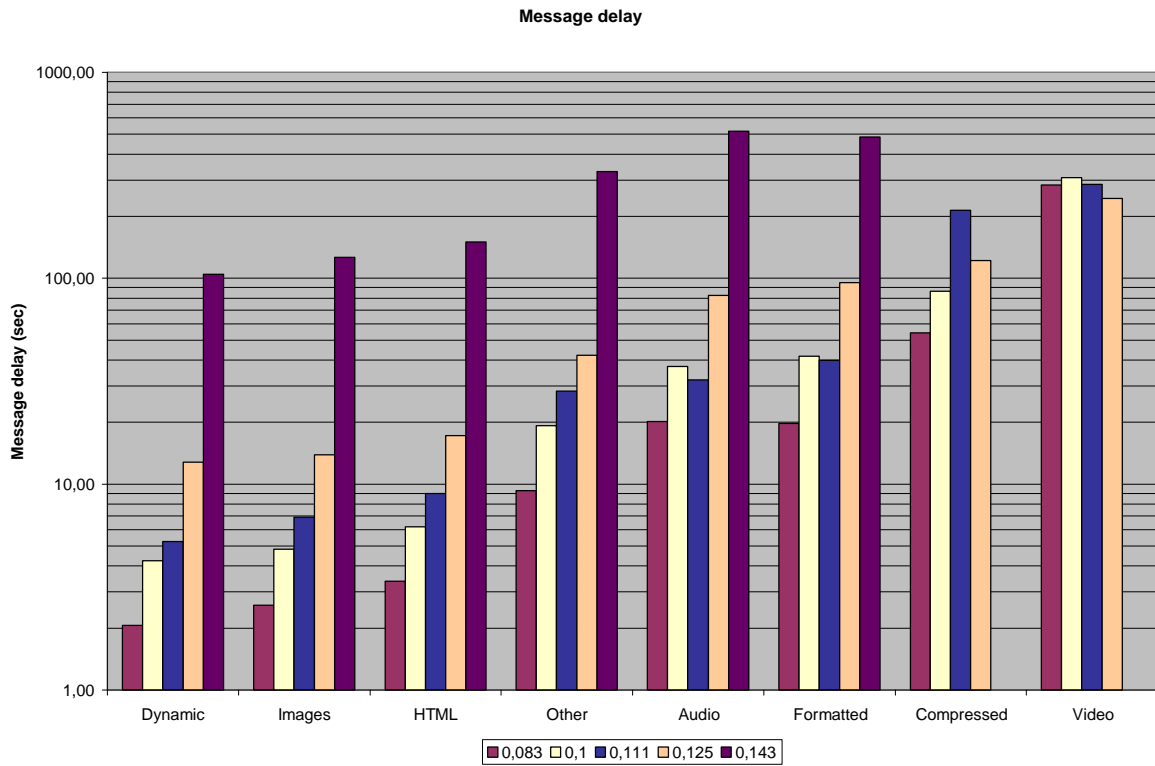
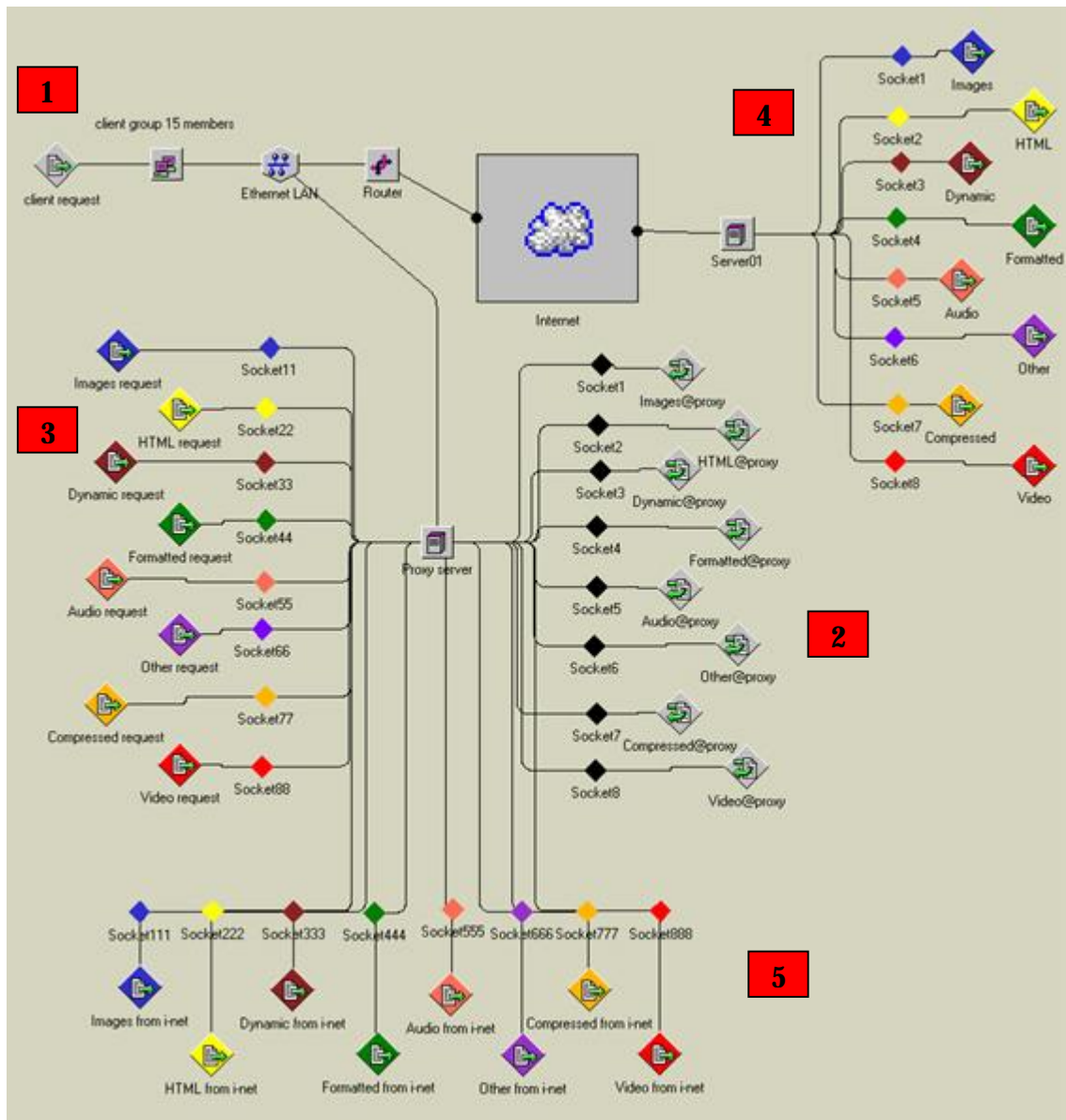


Diagramm 11-2: Message delay No-Proxy-Case

Bei den größeren Files zeigen sich Einbrüche in den Verzögerungszeiten. Diese Drops entstehen durch die geringen Anfragen an den Server und COMET kann so keine Mittelwerte bilden. Um für diese Filegrößen genaue Ergebnisse zu erreichen, müssten Simulationen über mehrere Stunden durchgeführt werden. Eine solch genaue Analyse einzelner Filegrößen ist aber für die hier gezeigte Betrachtung nicht notwendig.

11.3 Simulation mit Proxy-Server

In das Netzwerk von Abbildung 11-2 wurde nun ein Proxy-Server integriert. Die Clients richten nun alle ihre Anfragen an den Proxy (1). Bei einem Cache Hit, sendet er die geforderten Daten direkt an die Clients zurück (2). Hat er ein file nicht gespeichert, stellt er eine Anfrage an den Internet-Server (3). Dieser schickt seine Antworten wieder an den Proxy (4) und erst danach erhalten die Anwender ihre Files von ihm (5).



Um eine angemessene Auslastung des Links zum Internet zu garantieren, wurde eine Interarrival time von neun Sekunden gewählt, was in einer Ankunftsrate von $\lambda = 0,111$ Pakete pro Sekunde resultiert. Der Mittelwert aller Filegrößen liegt bei 8.378 Bytes und es folgt daher eine Auslastung des 128 kbps-Kanals von 87,2 %. Die folgenden beiden Mathcad-files zeigen die Berechnung für eine Ankunftsrate von $I = 0,111 \frac{pck}{sec}$ (interarrival time = 9 sec) und $I = 0,125 \frac{pck}{sec}$ (interarrival time = 8 sec) für 15 sendende Stationen.

$$I = 0,111 \frac{pck}{sec} :$$

$$I = 0,125 \frac{pck}{sec} :$$

$$message_size := 8 \cdot 8378.15$$

$$message_size := 8 \cdot 8378.15$$

$$message_size = 6.703 \cdot 10^4$$

$$message_size = 6.703 \cdot 10^4$$

$$channel_capacity := 128000$$

$$channel_capacity := 128000$$

$$E(S) := \frac{message_size}{channel_capacity}$$

$$E(S) := \frac{message_size}{channel_capacity}$$

$$E(S) = 0.524$$

$$E(S) = 0.524$$

$$\mu := \frac{1}{E(S)}$$

$$\mu := \frac{1}{E(S)}$$

$$\mu = 1.91$$

$$\mu = 1.91$$

$$\lambda := 0.111 \cdot 15$$

$$\lambda := 0.125 \cdot 15$$

$$\rho := \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho := \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho = 0.872$$

$$\rho = 0.982$$

Die Simulation erstreckt sich über eine Spanne von $phit = 0$ bis $phit = 0,7$, wobei $phit$ die Wahrscheinlichkeit für einen Cache Hit angibt. Bei einem $phit = 0$, werden alle Anfragen über den Proxy an den Internet-Server weitergeleitet. Bei $phit = 0,7$, werden nur dreißig Prozent der Anfragen an das Internet gerichtet. Tabelle 11-3 zeigt die prozentuale Verteilung der Anfragen.

phit	0,1	0,9	0,2	0,8	0,3	0,7	0,4	0,6	0,5
Dynamic	0,191	1,719	0,382	1,528	0,573	1,337	0,764	1,146	0,955
Images	7,752	69,768	15,504	62,016	23,256	54,264	31,008	46,512	38,76
HTML	1,947	17,523	3,894	15,576	5,841	13,629	7,788	11,682	9,735
Other	0,024	0,216	0,048	0,192	0,072	0,168	0,096	0,144	0,12
Audio	0,029	0,261	0,058	0,232	0,087	0,203	0,116	0,174	0,145
Formatted	0,045	0,405	0,09	0,36	0,135	0,315	0,18	0,27	0,225
Compressed	0,006	0,054	0,012	0,048	0,018	0,042	0,024	0,036	0,03
Video	0,006	0,054	0,012	0,048	0,018	0,042	0,024	0,036	0,03

Tabelle 11-3: Prozentuale Verteilung von Cache Hit

Die Aufteilung von Cache Hit und Cache Miss erfolgt über die weighted destination list in der Clientgroup (siehe Abbildung 11-5 & 11-6).

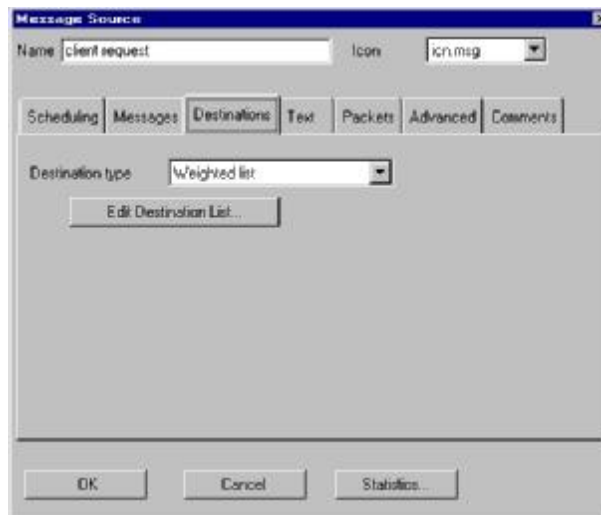


Abbildung 11-5: Proxy destination type

Destination	Probability
Proxy server:Socket1	0.1550400
Proxy server:Socket11	0.6201600
Proxy server:Socket2	0.0389400
Proxy server:Socket22	0.1557600
Proxy server:Socket3	0.0038200
Proxy server:Socket33	0.0152800
Proxy server:Socket4	0.0009000
Proxy server:Socket44	0.0036000
Proxy server:Socket5	0.0005800
Proxy server:Socket55	0.0023200
Proxy server:Socket6	0.0004800
Proxy server:Socket66	0.0019200
Proxy server:Socket7	0.0001200
Proxy server:Socket77	0.0004800
Proxy server:Socket8	0.0001200
Proxy server:Socket88	0.0004800

Probability Sum = 1.0000000

Abbildung 11-6 Weighted destination list $phit = 0,2$

Die Anfrage an Socket1, zum Beispiel, triggert die direkte Antwort des Proxy-Server (Cache Hit). Die Anfrage an Socket11 triggert die Anfrage an den Internet-Server (Cache Miss). Tabelle 11-4 listet die Ergebnisse der Simulation für eine Ankunftsrate von $l = 0,111 \frac{pck}{sec}$ auf:

Proxy case	Link utilisation								
	0,111								
Ankunftsrate									
phit	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
Ethernet LAN	2,54	2,64	3,05	3,15	3,12	3,39	3,39	3,98	
outgoing Link (Internet Entry)	6,76	6,64	6,75	6,20	6,02	5,66	4,87	4,59	
incomming Link (Internet Exit)	88,21	88,71	96,08	84,92	84,00	79,85	61,95	64,17	

Tabelle 11-4: Link Utilisation Proxy-Case

Wie aus Tabelle 11-4 ersichtlich, bleibt der eingehende Link trotz Proxy-Server stark ausgelastet. Ein Drop der Auslastung findet erst bei einem Cache Hit von 60% statt. Da aber eine fünfzigprozentige Trefferquote für Proxy-Server schon ein sehr großer Erfolg ist, muss man von schlechteren Bedingungen ausgehen. Es stellt sich also die Frage, ob der Proxy-Server hier noch einen Sinn macht? Wäre es nicht weitaus erfolgreicher die Linkkapazität zu erhöhen?

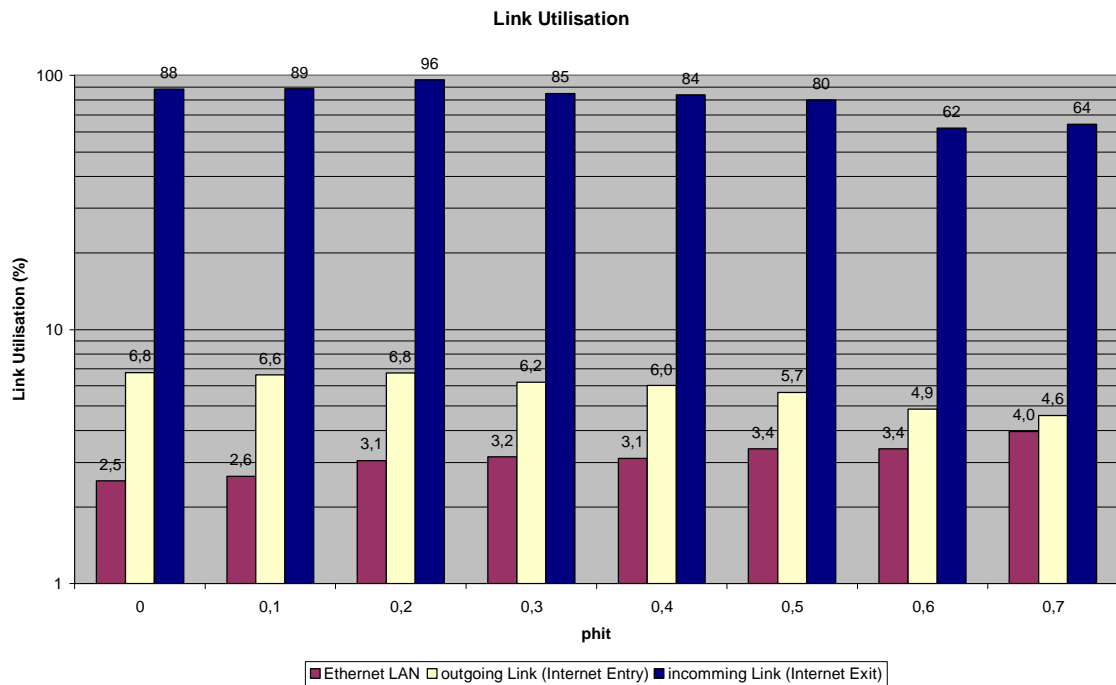


Diagramm 11-3: Link Utilisation Proxy-Case

Vergleicht man die Antwortzeiten des Proxy-Servers mit denen des Internet-Servers, so zeigen sich doch drastische Unterschiede. Wird ein 10 kByte großes HTML-File vom Proxy an die Clients gesendet, so entsteht eine mittlere Verweilzeit im System von 500 ms. Wird das gleiche File vom Internet-Server geliefert, dauert es immerhin 7,55 s. In Tabelle 11-5 und Tabelle 11-6 sind alle Verweilzeiten im System aufgelistet.

phit=0,3	Message Delay (sec)		
	Client	proxy	Summe
	request	response	
Dynamic	0,2	0,29	0,49
Images	0,2	0,30	0,50
HTML	0,2	0,30	0,50
Other	0,2	0,35	0,55
Audio	0,2	0,42	0,62
Formatted	0,2	0,37	0,57
Compressed	0,2	0,44	0,64
Video	0,2	N/A	N/A

Tabelle 11-5: Message Delay der Files vom Proxy für einen Cache Hit

	Client request	proxy request	Server response	proxy to Client	Summe
Dynamic	0,2	3,93	5,44	0,00	9,57
Images	0,2	3,63	5,79	0,29	9,91
HTML	0,2	3,74	7,55	0,31	11,80
Other	0,2	3,37	17,38	0,03	20,98
Audio	0,2	4,21	46,88	0,38	51,67
Formatted	0,2	3,43	52,29	0,35	56,27
Compressed	0,2	3,54	95,49	0,54	99,77
Video	0,2	5,29	435,02	3,09	443,60

Tabelle 11-6: Message delay für Dateien die von Internet-Server angefordert werden müssen (Cache Miss)

Geht man davon aus, dass in der Realität die Tagesspitzenlasten simuliert werden, ist ein Proxy-Server mit Sicherheit die günstigere alternative zum Linkupgrade. Er kann die Spitzenlast im Netzwerk durch schnelle Antwortzeiten ausgleichen. gleichzeitig erhöhter zwar die Last in der Kollisionsdomäne, aber diese stellt in der Regel die geringsten Probleme dar. Wird ein Linkupgrade auf einen E1-Zugang vollzogen, erhält man eine sechsprozentige Auslastung des eingehenden Links. Auf einen Proxy-Server kann hier getrost verzichtet werden, da die Antwortzeiten für ein 10 kByte großes HTML-File nur 1,6 Sekunden beträgt.

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07 14:54:18 2000
PAGE 4

no-proxy-ia9sec_e1

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD:	ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
			ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet								
	Access LAN	Entry	44702	0	N/A	N/A	N/A	0.41
		Exit	84300	0	1766	56	243	6.02
	Access ISP	Entry	84300	0	N/A	N/A	N/A	8.03
		Exit	44702	0	1067	0	9	0.55

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07 14:54:18
 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9sec_e1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	1008	822.700 MS	289.581 MS	3007.675 MS
Server01:Socket3	96	882.132 MS	392.154 MS	2938.374 MS
Server01:Socket4	32	805.598 MS	212.471 MS	1364.775 MS
Server01:Socket5	14	733.121 MS	161.629 MS	1288.370 MS
Server01:Socket6	14	874.934 MS	342.503 MS	1832.345 MS
Server01:Socket8	4	636.778 MS	19.626 MS	664.711 MS
Server01:Socket7	3	779.727 MS	152.968 MS	992.219 MS
Server01:Socket1	3761	832.533 MS	281.199 MS	3223.646 MS
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	3761	1325.276 MS	617.185 MS	7218.008 MS
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	1008	1602.283 MS	841.331 MS	7185.221 MS
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	96	1208.479 MS	543.971 MS	3799.534 MS
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	32	7514.664 MS	6998.625 MS	27487.474 MS
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	14	15165.459 MS	6708.614 MS	29900.740 MS
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	14	7103.608 MS	8032.996 MS	31008.558 MS
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	3	27584.677 MS	10231.715 MS	35654.094 MS
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	5	36711.543 MS	20961.173 MS	69028.124 MS

12 Resümee

COMNET III ist ein sehr leistungsstarkes Tool und hat sich deshalb verdient als Industriestandart durchgesetzt. COMNET III bietet eine detaillierte Netzwerkplanung und -simulationsgrundlage, die jedes Netzwerkmanagerherz höher schlagen lässt. Diese Diplomarbeit bietet nur einen kleinen Einblick in die umfangreichen Möglichkeiten dieses mächtigen Tools. Auf der anderen Seite bedeutet das aber, dass eine lange und ausdauernde Einarbeitung als ein absolutes Muss anzusehen ist.

Aus Anwendersicht hat COMNET III aber auch seine Tücken. Durch die vielen Parameter schleichen sich schnell Fehler ein, deren Suche oft sehr zeitaufwendig wird. Nichts desto trotz lohnt sich ein Blick auf diese Software, da die Möglichkeit von what-if-Szenarien einen guten Einblick in die Netzwerktechnologie mit sich bringen. Solche schnellen Wechsel an Parameterkombinationen sind in einer vorhandenen Netzwerkstruktur nun mal nicht möglich.

13 Anhang

13.1 Report files zu Punkt 6: Vergleich der drei Systeme M/M/1, M/D/1 und D/D/1

13.1.1 Report files M/M/1

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:55:36
2000 PAGE 1

mm1-1

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	10065	0	1.008	1.024	11.552	10.15
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:55:36
2000 PAGE 2

mm1-1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	10065	1.133 MS	1.182 MS	17.029 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:55:36
2000 PAGE 3

mm1-1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN:	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
DESTINATION LIST	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	10065	10065	0	0	1.133	17.029

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:09:59
 2000 PAGE 1

mm1-2

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	19998	0	1.012	1.017	11.552	20.23
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:09:59
 2000 PAGE 2

mm1-2

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	19998	1.277 MS	1.320 MS	22.514 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:09:59
 2000 PAGE 3

mm1-2

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS			PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	19998	19998	0	0	1.277	22.514

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:14:47
2000 PAGE 1

mm1-3

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	29879	0	1.012	1.016	9.920	30.25
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:14:47
2000 PAGE 2

mm1-3

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	29879	1.452 MS	1.437 MS	13.774 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:14:47
2000 PAGE 3

mm1-3

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	29878	29879	0	0	1.452	13.774	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:40:15
 2000 PAGE 1

mm1-4

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	40021	0	1.008	1.012	9.920	40.36
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:40:15
 2000 PAGE 2

mm1-4

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	40021	1.677 MS	1.645 MS	15.885 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:40:15
 2000 PAGE 3

mm1-4

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	40022	40021	0	0	1.677	15.885	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:45:26
 2000 PAGE 1

mm1-5

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	49981	0	1.001	1.001	11.728	50.02
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:45:26
 2000 PAGE 2

mm1-5

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	49981	1.983 MS	1.942 MS	16.390 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:45:26
 2000 PAGE 3

mm1-5

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	49980	49981	0	0	1.983	16.390	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:22:31
2000 PAGE 1

mm1-6

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	48013	0	1.004	1.007	9.920	60.26
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:22:31
2000 PAGE 2

mm1-6

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	48013	2.510 MS	2.436 MS	21.358 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:22:31
2000 PAGE 3

mm1-6

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS			PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	48010	48013	0	0	2.510	21.358

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:06:02
 2000 PAGE 1

mm1-7

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	56013	0	1.003	1.003	11.728	70.23
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:06:02
 2000 PAGE 2

mm1-7

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	56013	3.343 MS	3.219 MS	25.909 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:06:02
 2000 PAGE 3

mm1-7

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	56017	56013	0	0	3.343	25.909	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:11:20
2000 PAGE 1

mm1-8

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	63969	0	1.006	1.005	11.728	80.43
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:11:20
2000 PAGE 2

mm1-8

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	63969	5.060 MS	4.850 MS	37.495 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:11:20
2000 PAGE 3

mm1-8

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	63961	63969	0	0	5.060	37.495	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:52:49
 2000 PAGE 1

mm1-9

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	71888	0	1.005	1.004	11.728	90.35
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:52:49
 2000 PAGE 2

mm1-9

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	71888	10.092 MS	9.520 MS	65.620 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:52:49
 2000 PAGE 3

mm1-9

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS			PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	71884	71888	0	0	10.092	65.620

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 15:04:09
2000 PAGE 1

mm1-10

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 60.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	49929	0	1.001	1.002	11.728	100.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 15:04:09
2000 PAGE 2

mm1-10

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 60.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	49929	306.991 MS	64.931 MS	471.793 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 15:04:09
2000 PAGE 3

mm1-10

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 60.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	49980	49929	0	0	306.991	471.793	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 15:13:44
 2000 PAGE 1

mm1-11

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 40.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	29697	0	1.010	1.012	9.920	100.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 15:13:44
 2000 PAGE 2

mm1-11

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 40.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	29697	2469.431 MS	840.335 MS	3895.393 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 15:13:44
 2000 PAGE 3

mm1-11

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 40.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	32937	29697	0	0	2469.431	3895.393	

13.1.2 Report files M/D/1

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:58:25
2000 PAGE 1

mdl-1

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	9968	0	1.000	0.000	1.000	9.9680
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:58:25
2000 PAGE 2

mdl-1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	9968	1.054 MS	0.194 MS	3.387 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:58:25
2000 PAGE 3

mdl-1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	9968	9968	0	0	1.054	3.387

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:04:28
2000 PAGE 1

md1-2

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	19982	0	1.000	0.000	1.000	19.98
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:04:28
2000 PAGE 2

md1-2

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	19982	1.127 MS	0.314 MS	4.580 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:04:28
2000 PAGE 3

md1-2

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	19982	19982	0	0	1.127	4.580

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:20:21
 2000 PAGE 1

md1-3

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	29821	0	1.000	0.000	1.000	29.82
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:20:21
 2000 PAGE 2

md1-3

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	29821	1.216 MS	0.432 MS	5.720 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:20:21
 2000 PAGE 3

md1-3

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	29821	29821	0	0	1.216	5.720	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:35:06
 2000 PAGE 1

mdl-4

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	39769	0	1.000	0.000	1.000	39.77
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:35:06
 2000 PAGE 2

mdl-4

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	39769	1.334 MS	0.576 MS	6.416 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:35:06
 2000 PAGE 3

mdl-4

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	39771	39769	0	0	1.334	6.416	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:51:56
 2000 PAGE 1

mdl-5

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	49716	0	1.000	0.000	1.000	49.72
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:51:56
 2000 PAGE 2

mdl-5

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	49716	1.501 MS	0.769 MS	8.482 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:51:56
 2000 PAGE 3

mdl-5

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	49716	49716	0	0	1.501	8.482	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:27:23
 2000 PAGE 1

mdl-6

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	47703	0	1.000	0.000	1.000	59.63
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:27:23
 2000 PAGE 2

mdl-6

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	47703	1.758 MS	1.061 MS	12.036 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:27:23
 2000 PAGE 3

mdl-6

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	47704	47703	0	0	1.758	12.036	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:55:27
 2000 PAGE 1

mdl-7

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	55684	0	1.000	0.000	1.000	69.61
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:55:27
 2000 PAGE 2

mdl-7

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	55684	2.166 MS	1.501 MS	16.422 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:55:27
 2000 PAGE 3

mdl-7

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	55686	55684	0	0	2.166	16.422

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:21:57
 2000 PAGE 1

mdl-8

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	63528	0	1.000	0.000	1.000	79.41
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:21:57
 2000 PAGE 2

mdl-8

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	63528	2.929 MS	2.283 MS	23.141 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:21:57
 2000 PAGE 3

mdl-8

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS			PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	63530	63528	0	0	2.929	23.141

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:45:34
 2000 PAGE 1

mdl-9

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	71582	0	1.000	0.000	1.000	89.48
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:45:34
 2000 PAGE 2

mdl-9

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	71582	5.130 MS	4.321 MS	33.664 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:45:34
 2000 PAGE 3

mdl-9

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	71578	71582	0	0	5.130	33.664	

13.1.3 Report files D/D/1

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:59:57
2000 PAGE 1

dd1-1

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	10000	0	1.000	0.000	1.000	*****
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:59:57
2000 PAGE 2

dd1-1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	10000	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 16:59:57
2000 PAGE 3

dd1-1

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	10000	10000	0	0	1.000	1.000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:02:10
 2000 PAGE 1

dd1-2

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	20000	0	1.000	0.000	1.000	20.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:02:10
 2000 PAGE 2

dd1-2

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	20000	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:02:10
 2000 PAGE 3

dd1-2

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	20000	20000	0	0	1.000	1.000	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:27:05
 2000 PAGE 1

dd1-3

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	30003	0	1.000	0.000	1.000	30.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:27:05
 2000 PAGE 2

dd1-3

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	30003	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:27:05
 2000 PAGE 3

dd1-3

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	30003	30003	0	0	1.000	1.000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:31:38
 2000 PAGE 1

dd1-4

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	40000	0	1.000	0.000	1.000	40.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:31:38
 2000 PAGE 2

dd1-4

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	40000	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 17:31:38
 2000 PAGE 3

dd1-4

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
	CREATED	DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	40000	40000	0	0	1.000	1.000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 18:00:46
2000 PAGE 1

dd1-5

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	50000	0	1.000	0.000	1.000	50.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 18:00:46
2000 PAGE 2

dd1-5

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	50000	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Thu Aug 03 18:00:46
2000 PAGE 3

dd1-5

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 20.0 TO 120.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	50000	50000	0	0	1.000	1.000	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:34:49
2000 PAGE 1

ddl-6

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	48000	0	1.000	0.000	1.000	60.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:34:49
2000 PAGE 2

ddl-6

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	48000	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:34:49
2000 PAGE 3

ddl-6

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	47999	48000	0	0	1.000	1.000	

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:45:34
2000 PAGE 1

dd1-7

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	55999	0	1.000	0.000	1.000	70.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:45:34
2000 PAGE 2

dd1-7

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	55999	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 13:45:34
2000 PAGE 3

dd1-7

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS			PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	55999	55999	0	0	1.000	1.000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:33:27
2000 PAGE 1

dd1-8

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	64000	0	1.000	0.000	1.000	80.00
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:33:27
2000 PAGE 2

dd1-8

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	64000	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:33:27
2000 PAGE 3

dd1-8

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS			PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM
source / src traffic:						
destination	64000	64000	0	0	1.000	1.000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:39:52
2000 PAGE 1

dd1-9

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
point to point						
FROM source	72007	0	1.000	0.000	1.000	90.01
FROM destination	0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:39:52
2000 PAGE 2

dd1-9

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	MESSAGE DELAY		
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
source / src traffic:				
destination	72007	1.000 MS	0.000 MS	1.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 04 14:39:52
2000 PAGE 3

dd1-9

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: PACKET DELAY

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 90.0 SECONDS

ORIGIN: DESTINATION LIST	CREATED	NUMBER OF PACKETS				PACKET DELAY (MS)	
		DELIVERED	RESENT	DROPPED	AVERAGE	MAXIMUM	
source / src traffic:							
destination	72008	72007	0	0	1.000	1.000	

13.2 Report files zu Punkt 10: Simulation CSMA/CD

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:34:11 2000 PAGE 1

sim-a-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 40.0 SECONDS

%	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
LINK UTIL					
Link25 99.22	24517	0	1.224	0.046	1.230

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:34:11 2000 PAGE 2

sim-a-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 40.0 SECONDS

LINK NAME	Link25
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	0
COLLIDED FRAMES	0
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0
NBR OF DEFERRALS	0
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0.00
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	0
AVG PER EPISODE	0.00
MAX PER EPISODE	0

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:34:11 2000 PAGE 3

sim-a-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 10.0 TO 40.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	32	20329.724 MS	8693.438 MS	37042.231 MS

```
*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization. *
*****
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08
 11:45:28 2000 PAGE 1

sim-b-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 7.8995	10430	0	1.145	0.244	1.230

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08
11:45:28 2000 PAGE 2

sim-b-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	0
COLLIDED FRAMES	0
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0
NBR OF DEFERRALS	0
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0.00
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.00
STANDARD DEVIATION	0.00
MAXIMUM	0
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	0
AVG PER EPISODE	0.00
MAX PER EPISODE	0

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Tue Aug 08
11:45:28 2000 PAGE 3

sim-b-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1454	8.796 MS	8.275 MS	58.384 MS

* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 18
16:03:18 2000 PAGE 1

sim-c-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 16.07	20930	0	1.274	1.542	95.397

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 18
16:03:18 2000 PAGE 2

sim-c-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	1237
COLLIDED FRAMES	2474
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.91
STANDARD DEVIATION	1.88
MAXIMUM	13
NBR OF DEFERRALS	1203
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.84
STANDARD DEVIATION	0.34
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.01
STANDARD DEVIATION	0.08
MAXIMUM	1
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	0
AVG PER EPISODE	0.00
MAX PER EPISODE	0

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Fri Aug 18
 16:03:18 2000 PAGE 3

sim-c-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1454	9.469 MS	9.020 MS	67.146 MS
A2 / src MsgA2: B2	1500	9.261 MS	5.360 MS	102.392 MS

```
*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:41:28 2000 PAGE 1

sim-d-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 24.18	31909	0	1.481	7.829	1269.275

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:41:28 2000 PAGE 2

sim-d-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	3565
COLLIDED FRAMES	7252
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.95
STANDARD DEVIATION	2.03
MAXIMUM	15
NBR OF DEFERRALS	3533
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.82
STANDARD DEVIATION	0.35
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.02
STANDARD DEVIATION	0.14
MAXIMUM	2
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	122
AVG PER EPISODE	3.00
MAX PER EPISODE	3

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:41:28 2000 PAGE 3

sim-d-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1470	23.798 MS	109.187 MS	1343.111 MS
A3 / src MsgA3: B3	1455	13.052 MS	19.237 MS	171.111 MS
A2 / src MsgA2: B2	1512	11.840 MS	14.881 MS	133.121 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:42:29 2000 PAGE 1

sim-e-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 33.06	43599	0	1.737	7.796	1188.055

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:42:29 2000 PAGE 2

sim-e-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	7684
COLLIDED FRAMES	15948
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	2.00
STANDARD DEVIATION	2.15
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	7894
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.81
STANDARD DEVIATION	0.36
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.04
STANDARD DEVIATION	0.22
MAXIMUM	3
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	551
AVG PER EPISODE	3.05
MAX PER EPISODE	4

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:42:29 2000 PAGE 3

sim-e-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1516	15.195 MS	21.260 MS	170.307 MS
A3 / src MsgA3: B3	1490	23.078 MS	85.574 MS	1244.123 MS
A2 / src MsgA2: B2	1545	16.434 MS	26.605 MS	268.189 MS
A4 / src MsgA4: B4	1448	14.535 MS	21.005 MS	195.931 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing        *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for    *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for  *
* the benefit of any external organization.                       *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:43:41 2000 PAGE 1

sim-f-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 40.85	53928	0	1.981	8.785	1260.614

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:43:41 2000 PAGE 2

sim-f-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	12274
COLLIDED FRAMES	25780
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	2.03
STANDARD DEVIATION	2.22
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	12913
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.80
STANDARD DEVIATION	0.36
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.07
STANDARD DEVIATION	0.28
MAXIMUM	4
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	1168
AVG PER EPISODE	3.05
MAX PER EPISODE	5

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:43:41 2000 PAGE 3

sim-f-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1492	17.526 MS	24.722 MS	243.120 MS
A3 / src MsgA3: B3	1459	18.712 MS	28.325 MS	320.847 MS
A5 / src MsgA5: B5	1498	17.515 MS	28.881 MS	339.760 MS
A2 / src MsgA2: B2	1556	18.152 MS	25.260 MS	205.888 MS
A4 / src MsgA4: B4	1481	25.836 MS	90.245 MS	1291.609 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization. *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:45:04 2000 PAGE 1

sim-g-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 49.47	65292	0	2.623	21.461	1291.932

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:45:04 2000 PAGE 2

sim-g-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	18228
COLLIDED FRAMES	39063
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	2.06
STANDARD DEVIATION	2.34
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	19949
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.80
STANDARD DEVIATION	0.36
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.11
STANDARD DEVIATION	0.35
MAXIMUM	4
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	2420
AVG PER EPISODE	3.08
MAX PER EPISODE	5

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:45:04 2000 PAGE 3

sim-g-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1527	34.485 MS	103.565 MS	1258.637 MS
A3 / src MsgA3: B3	1539	55.882 MS	182.989 MS	1438.496 MS
A5 / src MsgA5: B5	1465	42.602 MS	135.400 MS	1283.869 MS
A2 / src MsgA2: B2	1481	47.489 MS	145.392 MS	1283.355 MS
A4 / src MsgA4: B4	1511	28.329 MS	67.123 MS	1147.569 MS
A6 / src MsgA6: B6	1526	45.913 MS	161.973 MS	1613.176 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:46:55 2000 PAGE 1

sim-h-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 58.10	76642	0	4.724	57.262	3770.849

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:46:55 2000 PAGE 2

sim-h-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	23253
COLLIDED FRAMES	50174
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	2.02
STANDARD DEVIATION	2.41
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	25570
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.79
STANDARD DEVIATION	0.36
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.13
STANDARD DEVIATION	0.39
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3337
AVG PER EPISODE	3.10
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:46:55 2000 PAGE 3

sim-h-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1577	228.082 MS	569.360 MS	4246.454 MS
A3 / src MsgA3: B3	1510	202.361 MS	442.825 MS	2797.068 MS
A5 / src MsgA5: B5	1474	146.192 MS	315.534 MS	1924.825 MS
A7 / src MsgA7: B7	1528	282.687 MS	581.915 MS	3554.733 MS
A2 / src MsgA2: B2	1530	177.542 MS	415.805 MS	2523.212 MS
A4 / src MsgA4: B4	1501	381.855 MS	909.734 MS	5491.840 MS
A6 / src MsgA6: B6	1459	279.352 MS	693.389 MS	4392.146 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:48:53 2000 PAGE 1

sim-i-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 65.05	85803	0	10.024	114.135	4999.238

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:48:53 2000 PAGE 2

sim-i-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	21447
COLLIDED FRAMES	46444
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.74
STANDARD DEVIATION	2.20
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	23798
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.75
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.12
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3216
AVG PER EPISODE	3.10
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:48:53 2000 PAGE 3

sim-i-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1501	1137.130 MS	1766.726 MS	10748.706 MS
A3 / src MsgA3: B3	1552	1449.910 MS	1638.194 MS	6957.454 MS
A5 / src MsgA5: B5	1471	1233.275 MS	1553.404 MS	7292.062 MS
A7 / src MsgA7: B7	1490	1372.970 MS	2250.971 MS	11995.560 MS
A2 / src MsgA2: B2	1479	1292.633 MS	1546.062 MS	7731.249 MS
A4 / src MsgA4: B4	1407	1100.136 MS	1400.526 MS	6564.743 MS
A6 / src MsgA6: B6	1459	1095.610 MS	1170.641 MS	5253.744 MS
A8 / src MsgA8: B8	1455	1475.645 MS	2001.223 MS	9648.108 MS

```
*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing        *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for    *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for  *
* the benefit of any external organization.                       *
*****
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:51:21 2000 PAGE 1

sim-j-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 73.92	97536	0	11.890	129.042	6249.670

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:51:21 2000 PAGE 2

sim-j-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	21751
COLLIDED FRAMES	46852
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.57
STANDARD DEVIATION	2.02
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	23794
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.73
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.12
STANDARD DEVIATION	0.36
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	2990
AVG PER EPISODE	3.12
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:51:21 2000 PAGE 3

sim-j-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A1 / src MsgA1: B1	1441	2437.605 MS	2697.976 MS	12107.794 MS
A3 / src MsgA3: B3	1519	2372.710 MS	2154.613 MS	8862.166 MS
A5 / src MsgA5: B5	1573	1364.715 MS	1393.472 MS	6721.081 MS
A7 / src MsgA7: B7	1498	2049.500 MS	2466.673 MS	11889.016 MS
A9 / src MsgA9: B9	1425	2563.526 MS	2669.632 MS	12309.281 MS
A2 / src MsgA2: B2	1525	1660.083 MS	1619.179 MS	7750.824 MS
A4 / src MsgA4: B4	1504	2158.771 MS	2372.607 MS	10480.523 MS
A6 / src MsgA6: B6	1564	2224.305 MS	2228.227 MS	10350.002 MS
A8 / src MsgA8: B8	1417	1918.821 MS	1959.599 MS	8891.430 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:54:01 2000 PAGE 1

sim-j-exp-computer-group

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

%	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
LINK UTIL					
Ethernet 73.73	97382	0	11.775	131.139	6285.105

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:54:01 2000 PAGE 2

sim-j-exp-computer-group

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	22153
COLLIDED FRAMES	47885
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.60
STANDARD DEVIATION	2.05
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	24443
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.74
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.12
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3181
AVG PER EPISODE	3.13
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:54:01 2000 PAGE 3

sim-j-exp-computer-group

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Computer Group A1-A9 / src MsgA7: Computer Group B1-B9	13440	2123.482 MS	2445.265 MS	13181.851 MS

```
*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing        *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for    *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for  *
* the benefit of any external organization.                       *
*****
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:56:51 2000 PAGE 1

sim-k-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 80.80	106767	0	12.963	140.571	4942.487

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:56:51 2000 PAGE 2

sim-k-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	22215
COLLIDED FRAMES	48237
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.47
STANDARD DEVIATION	1.80
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	24674
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.73
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.12
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3331
AVG PER EPISODE	3.14
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:56:51 2000 PAGE 3

sim-k-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A10 / src MsgA2: B10	1403	3870.809 MS	3226.039 MS	12277.564 MS
Computer Group A1-A9 / src MsgA1: Computer Group B1-B9	13489	3747.133 MS	3709.241 MS	21435.983 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing        *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for    *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for  *
* the benefit of any external organization.                      *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:59:38 2000 PAGE 1

sim-l-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 88.98	117517	0	13.387	146.531	6006.142

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
11:59:38 2000 PAGE 2

sim-1-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	24979
COLLIDED FRAMES	53293
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.42
STANDARD DEVIATION	1.70
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	26773
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.72
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.13
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3042
AVG PER EPISODE	3.10
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 11:59:38 2000 PAGE 3

sim-l-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A10 / src MsgA2: B10	1431	5452.009 MS	4264.492 MS	16358.964 MS
A11 / src MsgA3: B11	1420	2369.720 MS	1994.123 MS	9674.780 MS
Computer Group A1-A9 / src MsgA1: Computer Group B1-B9	13450	4367.161 MS	4486.114 MS	28107.210 MS

```
*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing       *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                      *
*****
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 12:03:10 2000 PAGE 1

sim-m-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 95.98	126676	0	14.033	159.562	7376.125

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
12:03:10 2000 PAGE 2

sim-m-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	25458
COLLIDED FRAMES	54533
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.34
STANDARD DEVIATION	1.51
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	27487
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.71
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.13
STANDARD DEVIATION	0.38
MAXIMUM	6
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3256
AVG PER EPISODE	3.11
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 12:03:10 2000 PAGE 3

sim-m-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A10 / src MsgA2: B10	1520	4237.654 MS	3765.308 MS	17311.666 MS
A12 / src MsgA4: B12	1522	7795.860 MS	5156.190 MS	20397.288 MS
A11 / src MsgA3: B11	1388	5857.641 MS	4286.668 MS	16807.927 MS
Computer Group A1-A9 / src MsgA1: Computer Group B1-B9	12966	9810.549 MS	8056.381 MS	43623.842 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                      *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
 12:06:08 2000 PAGE 1

sim-n-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 96.43	127441	0	15.106	167.783	9695.144

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
12:06:08 2000 PAGE 2

sim-n-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	26903
COLLIDED FRAMES	57588
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.31
STANDARD DEVIATION	1.41
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	28951
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.71
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.14
STANDARD DEVIATION	0.38
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3411
AVG PER EPISODE	3.11
MAX PER EPISODE	6

Leistungsbewertung von Kommunikationsnetzen

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
12:06:08 2000 PAGE 3

sim-n-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A10 / src MsgA2: B10	1161	26773.831 MS	6880.046 MS	42437.096 MS
A12 / src MsgA4: B12	1410	5579.381 MS	2928.731 MS	14335.841 MS
A11 / src MsgA3: B11	1409	8875.582 MS	5008.468 MS	18355.131 MS
Computer Group A1-A9 / src MsgA1: Computer Group B1-B9	12604	12261.191 MS	7782.786 MS	35750.054 MS
A13 / src MsgA5: B13	995	12547.776 MS	13414.160 MS	52585.948 MS

* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
12:12:08 2000 PAGE 1

sim-o-exp

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

% LINK UTIL	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)		
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Ethernet 97.77	129157	0	16.245	176.349	8323.877

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
12:12:08 2000 PAGE 2

sim-o-exp

LINKS: COLLISION STATS

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

LINK NAME	Ethernet
ACCESS PROTOCOL	CSMA/CD
COLLISION EPISODES	28819
COLLIDED FRAMES	61436
NBR OF TRIES TO RESOLVE	
AVERAGE	1.28
STANDARD DEVIATION	1.30
MAXIMUM	16
NBR OF DEFERRALS	30746
DEFERRAL DELAY (MS)	
AVERAGE	0.71
STANDARD DEVIATION	0.37
MAXIMUM	1.22
DEFERRAL QUEUE SIZE (FRAMES)	
AVERAGE	0.14
STANDARD DEVIATION	0.39
MAXIMUM	5
MULTIPLE COLLISION EPISODES	
NBR EPISODES	3447
AVG PER EPISODE	3.10
MAX PER EPISODE	6

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Mon Aug 14
12:12:08 2000 PAGE 3

sim-o-exp

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELIVERED

REPLICATION 1 FROM 30.0 TO 180.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
A10 / src MsgA2: B10	1194	11941.804 MS	3689.798 MS	33319.600 MS
A12 / src MsgA4: B12	1281	25488.485 MS	6080.144 MS	42650.077 MS
A11 / src MsgA3: B11	1236	15782.782 MS	6044.043 MS	31384.393 MS
Computer Group A1-A9 / src MsgA1: Computer Group B1-B9	12106	14539.261 MS	11121.273 MS	52587.883 MS
A13 / src MsgA5: B13	1101	29785.899 MS	13309.652 MS	45568.562 MS
A14 / src MsgA5: B14	1122	38339.641 MS	9057.460 MS	53480.571 MS

* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization. *

13.3 Report files zu Punkt 11.2: Simulation eines Netzwerks ohne Proxy-Server

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 17:03:01
2000 PAGE 2

no-proxy-ial2sec

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 8100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	240571	0	0.313	0.463	3.849	0.9250

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 17:03:01
2000 PAGE 4

no-proxy-ial2sec

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 8100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	88447	0	N/A	N/A	N/A	4.92
	Exit	155007	0	54452	3986	5560	63.94
Access ISP	Entry	155007	0	N/A	N/A	N/A	5.33
	Exit	88447	0	924	0	8	0.41

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 17:03:01
 2000 PAGE 5

no-proxy-ial2sec

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 8100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	1976	1472.174 MS	1011.387 MS	8042.271 MS
Server01:Socket3	170	1480.692 MS	1064.924 MS	6246.432 MS
Server01:Socket4	36	1471.473 MS	908.499 MS	4372.394 MS
Server01:Socket5	34	1845.096 MS	1410.795 MS	6099.286 MS
Server01:Socket6	27	1270.901 MS	1027.300 MS	5770.027 MS
Server01:Socket8	1	993.884 MS	0.000 MS	993.884 MS
Server01:Socket7	3	1386.614 MS	122.969 MS	1504.239 MS
Server01:Socket1	7672	1474.361 MS	1001.792 MS	8952.509 MS
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	7673	2583.581 MS	1882.462 MS	24373.097 MS
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	1977	3376.400 MS	2766.215 MS	30198.451 MS
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	36	19738.729 MS	18657.151 MS	82837.694 MS
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	34	20161.903 MS	19942.209 MS	99189.640 MS
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	27	9302.600 MS	8626.365 MS	33150.523 MS
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	3	54475.774 MS	41022.733 MS	109.93467 S
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	1	283.97697 S	0.000 MS	283.97697 S
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	170	2057.305 MS	1371.467 MS	7376.575 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:21:13
 2000 PAGE 2

no-proxy-ial0sec

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 8100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	305451	0	0.323	0.470	2.365	1.2100

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:21:13
 2000 PAGE 4

no-proxy-ial0sec

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 8100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	110796	0	N/A	N/A	N/A	6.12
	Exit	198298	0	87577	11745	13235	84.01
Access ISP	Entry	198298	0	N/A	N/A	N/A	7.00
	Exit	110796	0	1041	0	9	0.51

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:21:13
 2000 PAGE 5

no-proxy-ial0sec

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 8100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	2230	3065.053 MS	2662.584 MS	15248.541 MS
Server01:Socket3	220	3128.438 MS	2662.839 MS	15527.773 MS
Server01:Socket4	47	3028.162 MS	2652.210 MS	12360.590 MS
Server01:Socket5	26	2302.805 MS	1688.444 MS	7857.842 MS
Server01:Socket6	28	3505.551 MS	2074.707 MS	7592.577 MS
Server01:Socket8	8	1390.248 MS	340.046 MS	1994.630 MS
Server01:Socket7	8	1645.746 MS	795.729 MS	3120.330 MS
Server01:Socket1	9361	2943.207 MS	2487.199 MS	15468.936 MS
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	9359	4830.447 MS	4384.617 MS	44375.301 MS
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	2227	6205.982 MS	5788.843 MS	52772.095 MS
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	46	41715.530 MS	47154.144 MS	243.94239 S
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	26	37246.761 MS	44242.168 MS	221.11022 S
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	27	19272.942 MS	17166.609 MS	78595.018 MS
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	8	86293.345 MS	78451.313 MS	221.66807 S
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	6	307.77371 S	262.09108 S	824.75649 S
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	220	4243.486 MS	3594.281 MS	22481.206 MS

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07 11:48:04
 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9sec

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	125600	0	0.319	0.467	3.127	1.3070

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07 11:48:04
 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9sec

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	46005	0	N/A	N/A	N/A	6.83
	Exit	81124	0	87450	18700	18010	90.48
Access ISP	Entry	81124	0	N/A	N/A	N/A	7.54
	Exit	46005	0	902	0	10	0.57

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07 11:48:04
 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9sec

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	946	4408.547 MS	3456.454 MS	16276.526 MS
Server01:Socket3	101	3761.617 MS	3355.172 MS	15835.486 MS
Server01:Socket4	21	4505.334 MS	3837.928 MS	13591.990 MS
Server01:Socket5	13	4366.635 MS	3824.969 MS	12237.174 MS
Server01:Socket6	8	3535.633 MS	2899.826 MS	9924.437 MS
Server01:Socket8	5	3031.152 MS	1696.571 MS	5379.063 MS
Server01:Socket7	2	2647.877 MS	1790.219 MS	4438.096 MS
Server01:Socket1	3927	4295.285 MS	3422.295 MS	15872.939 MS
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	3924	6908.028 MS	6044.206 MS	70287.467 MS
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	943	8997.766 MS	8305.798 MS	76770.052 MS
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	100	5265.367 MS	4904.617 MS	25476.815 MS
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	21	39784.095 MS	46587.554 MS	203.23745 S
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	13	32104.321 MS	36515.563 MS	139.44917 S
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	8	28320.362 MS	26888.805 MS	77552.298 MS
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	1	213.40649 S	0.000 MS	213.40649 S
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	5	285.83539 S	200.71182 S	635.29552 S

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 18:09:44
 2000 PAGE 2

no-proxy-ia8sec

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	134922	0	0.311	0.461	2.119	1.3673

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 18:09:44
 2000 PAGE 4

no-proxy-ia8sec

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	50190	0	N/A	N/A	N/A	7.45
	Exit	86564	0	156860	42141	38082	94.30
Access ISP	Entry	86564	0	N/A	N/A	N/A	7.88
	Exit	50190	0	857	0	10	0.62

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 18:09:44
 2000 PAGE 5

no-proxy-ia8sec

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	1138	8677.189 MS	7137.412 MS	29466.729 MS
Server01:Socket3	121	9667.564 MS	7902.879 MS	29243.433 MS
Server01:Socket4	19	10389.973 MS	7493.972 MS	27358.819 MS
Server01:Socket5	17	9717.392 MS	7396.481 MS	27071.474 MS
Server01:Socket6	10	7369.100 MS	7796.999 MS	28013.004 MS
Server01:Socket8	2	15307.546 MS	11707.402 MS	27014.948 MS
Server01:Socket7	2	3436.863 MS	538.627 MS	3975.490 MS
Server01:Socket1	4309	9011.669 MS	7347.301 MS	29449.152 MS
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	4281	13904.098 MS	12252.536 MS	95841.311 MS
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	1127	17211.750 MS	16876.864 MS	113.47773 S
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	120	12822.098 MS	10891.719 MS	46503.077 MS
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	17	95040.543 MS	98738.284 MS	423.65142 S
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	18	82531.384 MS	75053.250 MS	253.41458 S
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	9	42223.839 MS	32539.267 MS	103.93098 S
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	2	121.86812 S	86966.539 MS	208.83466 S
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	1	244.35441 S	0.000 MS	244.35441 S

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for  *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:32:26
 2000 PAGE 2

no-proxy-ia7sec

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3277.8 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	154705	0	0.306	0.457	2.935	1.4547

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:32:26
 2000 PAGE 4

no-proxy-ia7sec

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3277.8 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	58202	0	N/A	N/A	N/A	8.21
	Exit	99518	0	639773	419602	164315	100.00
Access ISP	Entry	99518	0	N/A	N/A	N/A	8.43
	Exit	58202	0	1024	1	11	0.68

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:32:26
 2000 PAGE 5

no-proxy-ia7sec

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3277.8 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	1294	79296.971 MS	33603.993 MS	121.89587 S
Server01:Socket3	136	78559.649 MS	33938.416 MS	120.52008 S
Server01:Socket4	40	85814.349 MS	28828.964 MS	120.08676 S
Server01:Socket5	13	76071.782 MS	34188.042 MS	115.10370 S
Server01:Socket6	14	86372.159 MS	23969.028 MS	121.96002 S
Server01:Socket8	1	58594.796 MS	0.000 MS	58594.796 MS
Server01:Socket7	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01:Socket1	5066	81753.602 MS	32013.292 MS	122.41018 S
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	4924	126.24028 S	64472.344 MS	430.05377 S
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	1257	149.87493 S	89709.047 MS	629.33940 S
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	28	485.45898 S	355.23716 S	1441.09361 S
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	12	518.93396 S	303.09700 S	1035.93543 S
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	13	330.34012 S	314.11401 S	1337.77065 S
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	133	104.69535 S	54088.484 MS	298.81521 S

```

*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for   *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
    
```

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:09:19
 2000 PAGE 2

no-proxy-ia5sec

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 1749.6 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	87903	0	0.285	0.440	2.124	1.4772

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:09:19
 2000 PAGE 4

no-proxy-ia5sec

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 1749.6 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	34638	0	N/A	N/A	N/A	9.65
	Exit	58305	0	2111870	1023807	539581	100.00
Access ISP	Entry	58305	0	N/A	N/A	N/A	8.97
	Exit	34638	0	953	1	12	0.80

Leistungsbewertung von Kommunikationsnetzen

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sun Oct 01 16:09:19
 2000 PAGE 5

no-proxy-ia5sec

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 1749.6 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Server01:Socket2	812	174.38000 S	85365.679 MS	334.68328 S
Server01:Socket3	71	159.12980 S	84724.972 MS	333.18408 S
Server01:Socket4	20	173.81708 S	66032.037 MS	298.55989 S
Server01:Socket5	5	191.31109 S	91855.608 MS	323.59705 S
Server01:Socket6	6	196.12396 S	102.96410 S	317.94238 S
Server01:Socket8	1	129.95416 S	0.000 MS	129.95416 S
Server01:Socket7	1	86648.293 MS	0.000 MS	86648.293 MS
Server01:Socket1	3087	173.47138 S	87800.546 MS	337.01818 S
Server01 / src Images:				
client group 15 memb	2574	237.68055 S	136.73962 S	846.77899 S
Server01 / src HTML:				
client group 15 memb	660	280.10318 S	165.64280 S	871.71633 S
Server01 / src Formatted:				
client group 15 memb	7	444.39233 S	411.86017 S	1324.75594 S
Server01 / src Audio:				
client group 15 memb	3	455.73796 S	168.48584 S	592.66601 S
Server01 / src Other:				
client group 15 memb	2	457.43152 S	60068.739 MS	517.50026 S
Server01 / src Compressed:				
client group 15 memb	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Video:				
client group 15 memb	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Dynamic:				
client group 15 memb	65	207.54602 S	133.56253 S	705.83443 S

```
*****
* This report was generated by an academic license of COMNET III, *
* which is to be used only for the purpose of instructing      *
* students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
* graduate degrees. The information in this report is not for  *
* commercial use, funded projects, funded research, or use for *
* the benefit of any external organization.                    *
*****
```

13.4 Report files zu Punkt 11.3: Simulation mit Proxy Server

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:01:23 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit00

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	244262	0	0.362	2.748	1290.081	2.5358

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:01:23 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit00

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	45730	0	N/A	N/A	N/A	6.76
	Exit	79916	0	66170	12590	11586	88.21
Access ISP	Entry	79916	0	N/A	N/A	N/A	7.35
	Exit	45730	0	1005	0	9	0.56

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:01:23 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit00

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	3993	200.626 MS	2.333 MS	299.605 MS
Proxy server:Socket2	937	200.638 MS	1.737 MS	243.036 MS
Proxy server:Socket3	94	200.472 MS	0.175 MS	201.657 MS
Proxy server:Socket4	22	200.631 MS	0.681 MS	203.686 MS
Proxy server:Socket5	15	200.480 MS	0.159 MS	201.031 MS
Proxy server:Socket6	13	200.453 MS	0.048 MS	200.562 MS
Proxy server:Socket7	3	200.434 MS	0.023 MS	200.465 MS
Proxy server:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket1	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket2	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket3	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket4	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket5	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket6	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket7	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	3984	5173.471 MS	3941.062 MS	32870.979 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	932	6764.192 MS	5375.372 MS	42027.192 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	94	4959.640 MS	3599.869 MS	21366.997 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	21	35638.094 MS	32764.297 MS	111.69732 S
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	15	31227.869 MS	21313.921 MS	76339.101 MS
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	13	18608.406 MS	14423.684 MS	42986.129 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	3	67602.905 MS	49156.145 MS	135.72654 S
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:01:23 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit00

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	936	3167.614 MS	2103.121 MS	11463.270 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	94	3307.546 MS	2191.046 MS	11780.084 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	22	2728.526 MS	1528.492 MS	6759.369 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	15	4382.073 MS	2137.236 MS	8318.702 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	13	2936.659 MS	1691.363 MS	6467.154 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	3	767.734 MS	84.174 MS	886.250 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	3988	3151.639 MS	2151.583 MS	11836.758 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	3989	291.042 MS	99.648 MS	441.429 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	934	307.460 MS	101.427 MS	470.167 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	94	3.557 MS	3.762 MS	15.752 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	21	407.986 MS	117.644 MS	616.225 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	15	408.729 MS	132.260 MS	780.440 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	13	23.168 MS	22.181 MS	85.754 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	3	967.464 MS	286.966 MS	1317.045 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:24:20 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit01

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	252593	0	0.378	4.356	1280.107	2.6449

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:24:20 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit01

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	44935	0	N/A	N/A	N/A	6.64
	Exit	79390	0	69682	13101	11922	88.71
Access ISP	Entry	79390	0	N/A	N/A	N/A	7.39
	Exit	44935	0	1024	0	10	0.55

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
12:24:20 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit01

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	3804	200.608 MS	2.321 MS	307.223 MS
Proxy server:Socket2	971	200.551 MS	0.548 MS	209.194 MS
Proxy server:Socket3	81	200.452 MS	0.066 MS	200.763 MS
Proxy server:Socket4	22	200.611 MS	0.502 MS	202.760 MS
Proxy server:Socket5	10	200.501 MS	0.091 MS	200.670 MS
Proxy server:Socket6	13	200.461 MS	0.056 MS	200.593 MS
Proxy server:Socket7	1	200.459 MS	0.000 MS	200.459 MS
Proxy server:Socket8	3	200.525 MS	0.176 MS	200.774 MS
Proxy server:Socket1	408	200.618 MS	0.907 MS	211.127 MS
Proxy server:Socket2	104	200.603 MS	0.898 MS	207.618 MS
Proxy server:Socket3	8	200.490 MS	0.174 MS	200.929 MS
Proxy server:Socket4	3	200.525 MS	0.106 MS	200.664 MS
Proxy server:Socket5	2	200.422 MS	0.033 MS	200.454 MS
Proxy server:Socket6	2	200.450 MS	0.010 MS	200.459 MS
Proxy server:Socket7	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket8	1	200.550 MS	0.000 MS	200.550 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	3815	5299.107 MS	4088.345 MS	44943.372 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	971	6720.415 MS	5291.288 MS	46453.845 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	81	5338.641 MS	3741.774 MS	18841.943 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	24	29268.958 MS	23520.570 MS	120.62305 S
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	11	41961.803 MS	20708.674 MS	91162.836 MS
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	13	14353.033 MS	10488.755 MS	41251.692 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	1	229.56284 S	0.000 MS	229.56284 S
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	3	244.28366 S	132.51004 S	374.80289 S
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	8	253.648 MS	88.340 MS	410.335 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	104	303.287 MS	101.882 MS	448.412 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	3	406.930 MS	85.870 MS	474.360 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	2	450.449 MS	37.993 MS	488.442 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	2	380.652 MS	112.972 MS	493.624 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:24:20 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit01

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	1	763.967 MS	0.000 MS	763.967 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	408	294.748 MS	99.974 MS	426.632 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	971	3341.110 MS	2337.344 MS	12568.679 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	81	3709.459 MS	2421.107 MS	12762.854 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	22	3298.707 MS	2432.090 MS	11638.201 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	10	3254.632 MS	1505.629 MS	5680.089 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	13	3557.069 MS	1430.701 MS	7201.708 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	3	1965.863 MS	1058.603 MS	3346.509 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	1	2586.238 MS	0.000 MS	2586.238 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	3810	3245.049 MS	2185.613 MS	12624.429 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	3813	289.390 MS	99.535 MS	609.074 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	971	305.227 MS	101.518 MS	461.714 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	81	3.244 MS	2.935 MS	11.034 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	24	418.310 MS	119.380 MS	673.804 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	11	358.238 MS	96.752 MS	504.763 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	13	29.362 MS	22.206 MS	61.026 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	1	620.462 MS	0.000 MS	620.462 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	3	1111.509 MS	294.965 MS	1466.166 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:05:58 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit02

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 150.0 TO 3150.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	279068	0	0.447	8.380	1270.944	3.0515

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:05:58 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit02

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 150.0 TO 3150.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	45890	0	N/A	N/A	N/A	6.72
	Exit	83338	0	115999	37254	25709	96.08
Access ISP	Entry	83338	0	N/A	N/A	N/A	8.01
	Exit	45890	0	898	0	9	0.56

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:05:58 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit02

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 150.0 TO 3150.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	3679	201.410 MS	28.384 MS	1419.623 MS
Proxy server:Socket2	912	201.912 MS	39.099 MS	1381.752 MS
Proxy server:Socket3	118	200.545 MS	0.600 MS	206.874 MS
Proxy server:Socket4	21	200.517 MS	0.186 MS	201.039 MS
Proxy server:Socket5	13	200.515 MS	0.167 MS	201.057 MS
Proxy server:Socket6	13	200.444 MS	0.074 MS	200.651 MS
Proxy server:Socket7	2	200.614 MS	0.173 MS	200.787 MS
Proxy server:Socket8	7	200.438 MS	0.050 MS	200.534 MS
Proxy server:Socket1	867	202.205 MS	43.159 MS	1471.284 MS
Proxy server:Socket2	194	200.708 MS	1.164 MS	213.712 MS
Proxy server:Socket3	18	200.538 MS	0.292 MS	201.690 MS
Proxy server:Socket4	9	201.071 MS	0.798 MS	202.581 MS
Proxy server:Socket5	4	200.432 MS	0.032 MS	200.474 MS
Proxy server:Socket6	3	200.507 MS	0.096 MS	200.639 MS
Proxy server:Socket7	2	200.436 MS	0.040 MS	200.476 MS
Proxy server:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	3670	12416.046 MS	9089.734 MS	91877.542 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	908	15551.781 MS	11995.297 MS	73905.822 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	118	11693.719 MS	8393.000 MS	46034.819 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	21	57506.664 MS	47860.432 MS	180.95973 S
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	13	43334.119 MS	41430.257 MS	152.92042 S
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	12	36323.243 MS	37536.959 MS	123.39647 S
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	1	41546.615 MS	0.000 MS	41546.615 MS
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	7	788.54034 S	718.17590 S	2069.55176 S
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	18	281.789 MS	97.924 MS	410.988 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	194	309.211 MS	139.266 MS	1623.959 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	9	395.778 MS	125.564 MS	532.252 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	4	291.697 MS	75.822 MS	421.531 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	3	437.237 MS	23.045 MS	456.901 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:05:58 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit02

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 150.0 TO 3150.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	2	720.025 MS	193.136 MS	913.162 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	867	293.049 MS	100.670 MS	597.850 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	909	7811.783 MS	4852.402 MS	20575.815 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	118	8535.709 MS	5277.808 MS	20723.710 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	21	8352.244 MS	6636.714 MS	20859.386 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	13	7291.005 MS	3030.931 MS	16003.550 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	13	6977.448 MS	4549.033 MS	15508.494 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	7	5078.869 MS	4416.124 MS	15222.187 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	2	1103.974 MS	225.257 MS	1329.231 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	3675	7817.776 MS	4845.971 MS	20761.712 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	3672	292.621 MS	105.965 MS	1685.245 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	909	311.819 MS	115.970 MS	1634.154 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	118	3.709 MS	4.523 MS	37.422 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	21	433.737 MS	195.072 MS	1125.660 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	13	458.626 MS	135.106 MS	670.535 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	12	27.142 MS	34.826 MS	112.904 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	1	611.325 MS	0.000 MS	611.325 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	7	1449.276 MS	992.314 MS	3715.926 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:59:04 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit03

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	288575	0	0.490	11.395	2467.421	3.1537

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:59:04 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit03

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	42163	0	N/A	N/A	N/A	6.20
	Exit	75273	0	77784	15319	15925	84.92
Access ISP	Entry	75273	0	N/A	N/A	N/A	7.08
	Exit	42163	0	786	0	9	0.52

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:59:04 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit03

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	3572	202.078 MS	40.563 MS	1480.904 MS
Proxy server:Socket2	852	200.704 MS	2.024 MS	252.026 MS
Proxy server:Socket3	71	200.654 MS	0.842 MS	206.901 MS
Proxy server:Socket4	24	200.478 MS	0.099 MS	200.830 MS
Proxy server:Socket5	9	200.517 MS	0.101 MS	200.774 MS
Proxy server:Socket6	13	200.503 MS	0.221 MS	201.244 MS
Proxy server:Socket7	2	201.141 MS	0.692 MS	201.833 MS
Proxy server:Socket8	4	200.419 MS	0.021 MS	200.449 MS
Proxy server:Socket1	1541	205.273 MS	79.504 MS	2585.506 MS
Proxy server:Socket2	380	203.059 MS	46.856 MS	1114.975 MS
Proxy server:Socket3	40	200.547 MS	0.357 MS	202.082 MS
Proxy server:Socket4	5	200.544 MS	0.234 MS	201.010 MS
Proxy server:Socket5	6	200.728 MS	0.477 MS	201.774 MS
Proxy server:Socket6	4	200.404 MS	0.012 MS	200.421 MS
Proxy server:Socket7	3	200.626 MS	0.268 MS	201.002 MS
Proxy server:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	3550	5790.992 MS	5134.073 MS	45114.124 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	850	7545.163 MS	7169.592 MS	54382.069 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	72	5435.623 MS	3790.771 MS	19266.245 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	23	52294.290 MS	42737.675 MS	189.92227 S
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	8	46882.019 MS	21264.602 MS	82844.782 MS
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	13	17377.452 MS	13706.697 MS	49742.141 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	2	95492.685 MS	40433.570 MS	135.92625 S
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	4	435.01810 S	260.69803 S	666.45341 S
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	40	294.095 MS	99.798 MS	408.307 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	380	303.013 MS	101.457 MS	466.758 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	5	367.468 MS	123.127 MS	569.471 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	6	418.029 MS	146.823 MS	621.623 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	4	351.356 MS	128.910 MS	507.245 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 12:59:04 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit03

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	3	440.417 MS	154.319 MS	647.504 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	1541	296.370 MS	145.919 MS	2787.148 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	853	3743.792 MS	3138.026 MS	14383.126 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	72	3930.039 MS	2806.265 MS	11245.105 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	24	3434.883 MS	2867.327 MS	12400.458 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	9	4206.036 MS	2440.259 MS	9382.724 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	13	3368.377 MS	2401.077 MS	7977.572 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	4	5288.468 MS	4871.394 MS	13615.123 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	2	3538.448 MS	2625.221 MS	6163.669 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	3560	3627.159 MS	2959.818 MS	14292.997 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	3553	291.313 MS	103.967 MS	1601.281 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	852	313.424 MS	103.423 MS	796.227 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	72	3.419 MS	3.833 MS	20.832 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	23	350.162 MS	151.825 MS	785.268 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	8	383.683 MS	105.730 MS	589.918 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	13	34.048 MS	25.652 MS	104.692 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	2	542.232 MS	50.964 MS	593.196 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	4	3087.632 MS	3744.230 MS	9554.764 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:41:21 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit04

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	291353	0	0.401	4.121	1226.383	3.1155

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:41:21 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit04

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	40821	0	N/A	N/A	N/A	6.02
	Exit	73676	0	68668	12314	13054	84.00
Access ISP	Entry	73676	0	N/A	N/A	N/A	7.00
	Exit	40821	0	978	0	9	0.50

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:41:21 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit04

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	3346	201.074 MS	21.279 MS	1424.470 MS
Proxy server:Socket2	853	200.648 MS	1.270 MS	230.650 MS
Proxy server:Socket3	83	200.536 MS	0.227 MS	201.785 MS
Proxy server:Socket4	21	202.228 MS	7.748 MS	236.875 MS
Proxy server:Socket5	17	200.543 MS	0.218 MS	201.291 MS
Proxy server:Socket6	11	200.465 MS	0.080 MS	200.644 MS
Proxy server:Socket7	2	200.566 MS	0.095 MS	200.661 MS
Proxy server:Socket8	3	200.569 MS	0.056 MS	200.637 MS
Proxy server:Socket1	2286	201.366 MS	25.520 MS	1403.999 MS
Proxy server:Socket2	538	201.219 MS	10.449 MS	440.583 MS
Proxy server:Socket3	62	200.835 MS	2.193 MS	217.531 MS
Proxy server:Socket4	12	200.531 MS	0.145 MS	200.873 MS
Proxy server:Socket5	13	200.926 MS	1.458 MS	205.961 MS
Proxy server:Socket6	6	200.528 MS	0.051 MS	200.594 MS
Proxy server:Socket7	2	200.458 MS	0.015 MS	200.473 MS
Proxy server:Socket8	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	3345	4999.637 MS	4360.326 MS	35118.410 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	852	6214.009 MS	5746.977 MS	45142.062 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	83	4783.603 MS	4152.962 MS	15497.799 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	21	22223.360 MS	28952.976 MS	107.20678 S
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	17	41706.784 MS	41296.054 MS	179.22281 S
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	11	11681.960 MS	10022.385 MS	39206.813 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	2	139.36441 S	36889.903 MS	176.25432 S
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	3	522.44230 S	201.52101 S	753.13083 S
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	62	274.651 MS	97.151 MS	418.344 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	538	302.639 MS	102.173 MS	560.038 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	12	426.638 MS	114.769 MS	585.847 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	13	356.989 MS	160.979 MS	798.891 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	6	303.986 MS	97.484 MS	433.342 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:41:21 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit04

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	2	300.534 MS	25.854 MS	326.388 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	2287	291.442 MS	99.181 MS	458.001 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	854	3032.969 MS	2487.391 MS	12516.459 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	83	3274.568 MS	2539.480 MS	10667.252 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	21	2161.657 MS	1562.113 MS	5824.856 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	17	2697.592 MS	1927.593 MS	7762.510 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	11	2618.647 MS	1960.929 MS	7106.747 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	3	2639.048 MS	1091.406 MS	3802.381 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	2	2921.635 MS	411.341 MS	3332.976 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	3347	3051.213 MS	2465.093 MS	12817.759 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	3347	292.239 MS	104.346 MS	1651.548 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	853	307.034 MS	101.694 MS	533.968 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	83	2.864 MS	2.860 MS	14.478 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	21	447.914 MS	143.131 MS	725.876 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	17	403.270 MS	135.611 MS	630.103 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	11	59.342 MS	33.760 MS	120.710 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	2	465.398 MS	61.122 MS	526.521 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	3	1636.856 MS	1190.385 MS	3301.332 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:52:58 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit05

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	314048	0	0.445	7.651	1340.936	3.3913

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:52:58 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit05

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	38513	0	N/A	N/A	N/A	5.66
	Exit	69842	0	63683	9240	10897	79.85
Access ISP	Entry	69842	0	N/A	N/A	N/A	6.65
	Exit	38513	0	935	0	9	0.47

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:52:58 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit05

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	3148	201.112 MS	21.460 MS	1400.046 MS
Proxy server:Socket2	803	200.680 MS	0.975 MS	220.394 MS
Proxy server:Socket3	90	220.546 MS	142.359 MS	1463.666 MS
Proxy server:Socket4	15	200.533 MS	0.147 MS	200.980 MS
Proxy server:Socket5	18	200.828 MS	1.187 MS	205.700 MS
Proxy server:Socket6	12	200.486 MS	0.088 MS	200.726 MS
Proxy server:Socket7	3	200.846 MS	0.106 MS	200.985 MS
Proxy server:Socket8	1	200.468 MS	0.000 MS	200.468 MS
Proxy server:Socket1	3182	201.644 MS	29.202 MS	1397.775 MS
Proxy server:Socket2	812	201.685 MS	27.663 MS	988.318 MS
Proxy server:Socket3	78	200.563 MS	0.316 MS	202.882 MS
Proxy server:Socket4	17	200.452 MS	0.070 MS	200.634 MS
Proxy server:Socket5	8	200.619 MS	0.270 MS	201.153 MS
Proxy server:Socket6	13	200.472 MS	0.066 MS	200.586 MS
Proxy server:Socket7	3	202.096 MS	2.304 MS	205.354 MS
Proxy server:Socket8	2	200.466 MS	0.074 MS	200.540 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	3149	4162.524 MS	3700.781 MS	33631.288 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	803	5036.946 MS	4689.200 MS	33276.475 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	90	3225.498 MS	2638.658 MS	13919.734 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	15	32528.134 MS	31793.990 MS	139.24643 S
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	18	28988.815 MS	28268.196 MS	88483.387 MS
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	12	9770.621 MS	5933.753 MS	23169.434 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	3	193.19041 S	152.87904 S	404.97608 S
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	1	667.96600 S	0.000 MS	667.96600 S
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	78	293.263 MS	100.033 MS	410.791 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	812	308.449 MS	101.781 MS	457.726 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	17	469.369 MS	134.567 MS	717.954 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	8	432.231 MS	58.358 MS	509.598 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	13	318.912 MS	113.756 MS	512.527 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 13:52:58 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit05

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	2	1732.910 MS	33.992 MS	1766.902 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	3	1362.364 MS	692.786 MS	1932.534 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	3182	297.507 MS	109.438 MS	1798.635 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	804	2350.926 MS	1985.040 MS	10486.077 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	90	2277.843 MS	2024.671 MS	9559.575 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	15	2360.464 MS	1270.407 MS	5128.668 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	18	2567.018 MS	1896.423 MS	7958.229 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	12	2395.807 MS	1579.241 MS	5952.392 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	1	1115.045 MS	0.000 MS	1115.045 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	3	1219.322 MS	381.611 MS	1689.244 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	3149	2475.333 MS	2066.153 MS	10693.406 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	3149	294.888 MS	102.128 MS	1411.444 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	804	303.962 MS	100.610 MS	459.637 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	90	2.595 MS	2.332 MS	10.116 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	15	349.224 MS	113.407 MS	572.670 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	18	406.931 MS	174.601 MS	835.274 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	12	40.299 MS	38.414 MS	138.334 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	3	555.541 MS	142.260 MS	751.729 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	1	2262.480 MS	0.000 MS	2262.480 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:22:48 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit06

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	320408	0	0.440	6.974	1326.959	3.3944

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:22:48 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit06

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	32783	0	N/A	N/A	N/A	4.87
	Exit	56903	0	35880	3374	4534	61.95
Access ISP	Entry	56903	0	N/A	N/A	N/A	5.16
	Exit	32783	0	882	0	8	0.41

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:22:48 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit06

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	2868	200.761 MS	3.553 MS	371.766 MS
Proxy server:Socket2	742	200.791 MS	1.584 MS	231.718 MS
Proxy server:Socket3	74	200.618 MS	0.785 MS	206.941 MS
Proxy server:Socket4	15	200.540 MS	0.154 MS	200.934 MS
Proxy server:Socket5	9	200.513 MS	0.154 MS	200.933 MS
Proxy server:Socket6	11	200.829 MS	0.854 MS	203.447 MS
Proxy server:Socket7	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server:Socket8	3	200.711 MS	0.328 MS	201.174 MS
Proxy server:Socket1	4316	201.101 MS	15.759 MS	1192.972 MS
Proxy server:Socket2	1057	200.831 MS	2.700 MS	274.070 MS
Proxy server:Socket3	123	200.750 MS	1.077 MS	208.210 MS
Proxy server:Socket4	27	200.959 MS	1.735 MS	208.214 MS
Proxy server:Socket5	22	201.035 MS	1.276 MS	205.402 MS
Proxy server:Socket6	12	201.058 MS	1.812 MS	207.061 MS
Proxy server:Socket7	3	200.901 MS	0.681 MS	201.863 MS
Proxy server:Socket8	1	200.405 MS	0.000 MS	200.405 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	2869	2342.841 MS	1506.731 MS	15815.391 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	742	3014.408 MS	2105.003 MS	13998.142 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	74	1892.616 MS	855.415 MS	5216.068 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	15	19138.404 MS	13957.273 MS	46681.838 MS
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	9	15787.160 MS	15126.572 MS	56643.092 MS
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	11	5290.384 MS	5225.269 MS	19008.782 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	3	55345.476 MS	13556.767 MS	70138.851 MS
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	123	278.694 MS	97.171 MS	411.999 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	1057	308.622 MS	101.052 MS	461.716 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	27	371.837 MS	132.588 MS	703.178 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	22	348.358 MS	122.020 MS	602.774 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	12	292.082 MS	87.617 MS	424.847 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:22:48 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit06

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	1	1694.330 MS	0.000 MS	1694.330 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	3	774.069 MS	205.791 MS	1051.280 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	4316	294.540 MS	110.552 MS	3035.200 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	742	1334.933 MS	777.038 MS	5744.403 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	74	1250.500 MS	532.345 MS	2935.319 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	15	1414.454 MS	710.652 MS	3112.059 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	9	1024.098 MS	318.458 MS	1469.558 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	11	1302.685 MS	621.466 MS	2739.575 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	3	1568.688 MS	596.709 MS	2289.025 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	2868	1318.122 MS	754.775 MS	5865.977 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	2868	289.803 MS	108.174 MS	2362.140 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	742	309.350 MS	120.191 MS	1631.810 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	74	2.908 MS	2.777 MS	10.909 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	15	381.608 MS	96.754 MS	511.811 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	9	468.841 MS	59.429 MS	602.910 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	11	32.074 MS	17.762 MS	78.930 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	0	0.000 MS	0.000 MS	0.000 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	3	2663.161 MS	1655.937 MS	5001.945 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:39:38 2000 PAGE 2

no-proxy-ia9secphit07

LINKS: CHANNEL UTILIZATION

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

LINK	FRAMES		TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
Ethernet LAN	367249	0	0.474	8.177	1289.547	3.9781

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:39:38 2000 PAGE 4

no-proxy-ia9secphit07

WAN CLOUDS: ACCESS LINK STATS

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

CLOUD: ACCESS LINK	(ENTRY) (EXIT)	FRAMES		BUFFER (BYTES)			% UTIL
		ACCEPTED	DROPPED	MAX	AVG	STD	
Internet							
Access LAN	Entry	31157	0	N/A	N/A	N/A	4.59
	Exit	56528	0	38692	4124	5744	64.17
Access ISP	Entry	56528	0	N/A	N/A	N/A	5.35
	Exit	31157	0	785	0	8	0.38

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:39:38 2000 PAGE 5

no-proxy-ia9secphit07

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
client group 15 members / src client request:				
Proxy server:Socket1	2588	201.520 MS	26.845 MS	1535.375 MS
Proxy server:Socket2	672	202.669 MS	49.567 MS	1486.078 MS
Proxy server:Socket3	64	200.977 MS	1.405 MS	207.056 MS
Proxy server:Socket4	20	200.529 MS	0.213 MS	201.238 MS
Proxy server:Socket5	5	200.924 MS	0.967 MS	202.855 MS
Proxy server:Socket6	10	200.505 MS	0.155 MS	200.922 MS
Proxy server:Socket7	2	200.405 MS	0.014 MS	200.418 MS
Proxy server:Socket8	3	200.523 MS	0.173 MS	200.767 MS
Proxy server:Socket1	5992	201.344 MS	20.341 MS	1248.642 MS
Proxy server:Socket2	1440	201.768 MS	34.125 MS	1493.391 MS
Proxy server:Socket3	143	201.019 MS	2.644 MS	225.972 MS
Proxy server:Socket4	35	200.546 MS	0.201 MS	201.230 MS
Proxy server:Socket5	19	200.680 MS	0.413 MS	202.157 MS
Proxy server:Socket6	19	200.607 MS	0.277 MS	201.461 MS
Proxy server:Socket7	6	200.634 MS	0.299 MS	201.182 MS
Proxy server:Socket8	6	200.500 MS	0.092 MS	200.642 MS
Server01 / src Images:				
Proxy server:Socket1	2584	2530.967 MS	1938.680 MS	18842.410 MS
Server01 / src HTML:				
Proxy server:Socket2	671	3343.250 MS	2600.982 MS	18787.789 MS
Server01 / src Dynamic:				
Proxy server:Socket3	64	2105.239 MS	1159.825 MS	5977.873 MS
Server01 / src Formatted:				
Proxy server:Socket4	20	22623.712 MS	20666.309 MS	88350.188 MS
Server01 / src Audio:				
Proxy server:Socket5	4	23605.903 MS	13868.261 MS	41217.551 MS
Server01 / src Other:				
Proxy server:Socket6	10	11129.406 MS	7025.560 MS	21968.846 MS
Server01 / src Compressed:				
Proxy server:Socket7	2	98184.997 MS	70482.144 MS	168.66714 S
Server01 / src Video:				
Proxy server:Socket8	3	144.17762 S	113.27936 S	288.44585 S
Proxy server / src Dynamic@proxy:				
ECHO	143	292.175 MS	99.699 MS	415.722 MS
Proxy server / src HTML@proxy:				
ECHO	1440	303.814 MS	105.639 MS	1503.537 MS
Proxy server / src Formatted@proxy:				
ECHO	35	404.324 MS	177.434 MS	1001.287 MS
Proxy server / src Audio@proxy:				
ECHO	19	434.319 MS	132.708 MS	669.167 MS
Proxy server / src Other@proxy:				
ECHO	19	360.933 MS	104.452 MS	552.556 MS

CACI COMNET III Release 2.0.1 Build 1210 (Academic license) Sat Oct 07
 14:39:38 2000 PAGE 6

no-proxy-ia9secphit07

MESSAGE + RESPONSE SOURCES: MESSAGE DELAY

REPLICATION 1 FROM 100.0 TO 3100.0 SECONDS

ORIGIN / MSG SRC NAME: DESTINATION LIST	MESSAGES ASSEMBLED	AVERAGE	MESSAGE DELAY STD DEV	MAXIMUM
Proxy server / src Video@proxy: ECHO	6	1598.796 MS	1444.133 MS	4538.786 MS
Proxy server / src Compressed@proxy: ECHO	6	874.706 MS	726.887 MS	2377.425 MS
Proxy server / src Images@proxy: ECHO	5992	292.166 MS	103.890 MS	1684.032 MS
Proxy server / src HTML request: Server01:Socket2	671	1466.467 MS	1046.530 MS	7052.273 MS
Proxy server / src Dynamic request: Server01:Socket3	64	1431.365 MS	781.295 MS	4110.430 MS
Proxy server / src Formatted request: Server01:Socket4	20	1368.703 MS	880.576 MS	4076.609 MS
Proxy server / src Audio request: Server01:Socket5	5	1616.226 MS	678.770 MS	2750.944 MS
Proxy server / src Other request: Server01:Socket6	10	1084.890 MS	280.901 MS	1603.104 MS
Proxy server / src Video request: Server01:Socket8	3	974.345 MS	228.167 MS	1234.128 MS
Proxy server / src Compressed request: Server01:Socket7	2	1490.986 MS	812.289 MS	2303.275 MS
Proxy server / src Images request: Server01:Socket1	2587	1450.654 MS	1015.684 MS	7306.432 MS
Proxy server / src Images from i-net: client group 15 memb	2586	294.344 MS	106.932 MS	1656.965 MS
Proxy server / src HTML from i-net: client group 15 memb	671	306.916 MS	123.651 MS	1612.248 MS
Proxy server / src Dynamic from i-net: client group 15 memb	64	3.883 MS	3.408 MS	15.464 MS
Proxy server / src Formatted from i-net: client group 15 memb	20	389.529 MS	141.537 MS	619.186 MS
Proxy server / src Audio from i-net: client group 15 memb	4	343.222 MS	70.002 MS	416.629 MS
Proxy server / src Other from i-net: client group 15 memb	10	39.954 MS	29.524 MS	109.893 MS
Proxy server / src Compressed from i-net: client group 15 memb	2	853.561 MS	361.985 MS	1215.547 MS
Proxy server / src Video from i-net: client group 15 memb	3	950.984 MS	434.428 MS	1545.292 MS

 * This report was generated by an academic license of COMNET III, *
 * which is to be used only for the purpose of instructing *
 * students in an accredited program that offers AA, bachelors, or *
 * graduate degrees. The information in this report is not for *
 * commercial use, funded projects, funded research, or use for *
 * the benefit of any external organization. *

14 Glossar

10Base-2

Ethernet mit 10 MBit/s auf einem dünnen Koax-Kabel (RG-58 / RG-174), auch Thin-Ethernet oder Cheapernet genannt.

10Base-5

Ethernet mit 10 MBit/s auf dickem Koax-Kabel (Yellow-Kabel), weshalb es auch Thick-Ethernet genannt wird

10Base-FB

Synchrones Ethernet, diese Verkabelung ermöglicht eine effizientere Kommunikation der Repeater untereinander als die normalen FOIRL-Kabel. Dadurch lässt sich die maximale Anzahl der Repeater über die grundsätzlich erlaubten vier erhöhen. 10BaseFB ist in IEEE 802.3.17 beschrieben.

10Base-FL

Im Unterschied zu FOIRL definiert 10Base-FL von vornherein den Anschluss von Workstations an einen Hub über Glasfaserkabel für ein 10-MBit-Ethernet

10Base-FP

Ermöglicht den Anschluss mehrere Geräte über Glasfaser an einen passiven Hub, der also nur die Aufteilung der Signale auf die einzelnen Ports übernimmt. Dies ist in IEEE 802.3.16 spezifiziert

100Base-Fx

Ethernet mit 100 MBit/s über eine sternförmige Glasfaserverkabelung. Für das Kabel kann sogenannte Multimode- oder Monomode-Faser verwendet werden.

10Base-T

Ethernet mit 10 MBit/s über eine sternförmige UTP- oder STP-Verkabelung. Der Bus, den bei den Koax-Varianten das Kabel selbst bildet, ist hier im Hub konzentriert.(Twisted-Pair)

100Base-T4

Ethernet mit 100 MBit/s über eine sternförmige UTP-Verkabelung mit acht Adern (vier Leitungspaare, UTP Kategorie 3).

100Base-Tx

Ethernet mit 100 MBit/s über eine sternförmige UTP- oder STP-Verkabelung mit vier Adern (zwei Leitungspaaren UTP Kategorie 5, STP Typ 1 oder S/STP Kategorie 5).

100VG-AnyLAN

Ursprünglich als 100BaseVG bezeichnet, stellt dies eine Entwicklung von Hewlett-Packard und IBM dar, die Ethernet- und Token-Ring-Technologien für ein 100-MBit-Netzwerk vereint. Eigentlich sollte, nach den Vorstellungen der beiden Firmen, dies der offizielle Standard für ein 100-MBit-Ethernet werden, also die Spezifikation 802.3 für 100 MBit bilden. Inzwischen ist VG-AnyLAN als IEEE 802.12 standardisiert, allerdings wird es praktisch nur noch von Hewlett-Packard aktiv vermarktet

A

ACSE
Association Control Service Entity

Adresse
In einem Netzwerk hat jede Station eine physische und eine logische Adresse. Die physische Adresse, das ist eine Zeichenfolge, die vom Hersteller in die Netzwerkkarte eingebrannt wurde. Der Aufbau der logischen Adresse hängt demgegenüber vom verwendeten Protokoll ab. Jedes Paket, das über ein Netzwerk verschickt wird, enthält im Header einen Hinweis auf die Adresse der Zielstation.

API
Application Program Interface

Architektur
Der Begriff (Netzwerk-) Architektur wird in der Netzwerk-Literatur uneinheitlich verwendet. Teilweise wird er im Sinne von Topologie verwendet. In der amerikanischen Netzwerk-Welt versteht man unter der Architektur eines Netzwerks dagegen die Übertragungstechnik

ARP
Address Resolution Protocol. Protokoll zum dynamischen Abbilden von Internet-Adressen auf physische (Hardware-) Adressen

ARPA
Advanced Research Projects Agency

Arpanet
Advanced Research Projects Agency Network, Ende der 60er Jahre ins Leben gerufen, Vorgänger des *Internet*

B

Backbone
Überregionales, schnelles Netzwerk, das weitere Netzwerke verbindet. Backbones sind zum Beispiel das NSFNET in den USA, Ebone in Europa, JANET in Großbritannien. Es handelt sich also um das "Rückgrat" der Netzwerk-Infrastruktur.

Baud
Einheit der Schrittgeschwindigkeit bei isochronen Signalen. Wurde nach dem französischen Telegrapheningenieur Baudot benannt.

BITNET
Because It's Time NETwork. Akademisches Netzwerk, ursprünglich zwischen IBM Mainframes, die per 9,6 kBit Leitungen verbunden waren.

Bridge
Bridges sind Geräte, die als Kopplungselemente zwischen Netzwerken eingesetzt werden. Sie sorgen für die Filterung aller eintreffenden Pakete. Die Bridge unterscheidet anhand von Routing-Tabellen zwischen zwei Arten von Paketen: Pakete, die innerhalb des Netzwerks verbleiben, aus dem sie gekommen sind und Pakete, die für das jeweils andere Netzwerk bestimmt sind. Weitergeleitet werden nur die Pakete, die für das andere Netzwerk bestimmt sind. Da nur noch weitergeleitet wird, was weitergeleitet werden muss, sorgen Bridges für eine Entlastung in den angeschlossenen Netzwerken

C

CCITT
Comité Consultatif International
Télégraphique et Téléphonique, Zweig der
United Nations International
Telecommunications Union. Das *CCITT* gibt
unter anderem Empfehlungen für
Kommunikationsprotokolle heraus.

CGI
Common Gateway Interface, Standard zur
Ausführung externer Programme von
WWW-Servern.

Client
Arbeitsplatzrechner in einem Netzwerk

Client-Server-Modell
der Server ist ein leistungsstarker
Zentralrechner, die Clients sind
"intelligente" Workstations. Man
unterscheidet dedizierte (ausschließlich zur
Netzwerk-Verwaltung bestimmte) und
nichtdedizierte Server (die auch als
Workstation benutzt werden können).

CLNP
Connectionless Network Protocol.
Verbindungsloses Netzwerkprotokoll
(ISO IP).

CMIP
Common Management Information
Protocol.

CONS
Connection Oriented Network Protocol.
Verbindungsorientiertes Netzwerkprotokoll

COSINE
Cooperation for an Open Systems
Interconnection Networking in Europe, ein
von RARE ins Leben gerufenes Projekt zur
Bereitstellung einer auf ISO/OSI Normen
basierenden Infrastruktur für den
akademischen Bereich innerhalb Europas

CRC
Cyclical Redundancy Check, mit dem CRC
(deutsch: zyklische Redundanz-
Überprüfung) werden Datenübertragungen
auf Fehler überprüft. Über die Daten des
betreffenden Pakets wird eine Prüfsumme
gebildet. Dies geschieht auf dem sendenden
Computer ebenso wie auf dem
empfangenden. Stimmen die beiden
Ergebnisse überein, kann von einer
fehlerfreien Übertragung ausgegangen
werden. Die CRC-Daten werden im Trailer
eines Pakets übertragen

CSMA
Carrier Sense Multiple Access

CSMA/CA
Carrier Sense Multiple Access with Collision
Avoidance

CSMA/CD
Carrier Sense Multiple Access with Collision
Detection

D

DCA
Defense Communications Agency,
Unterabteilung des US Verteidigungs-
Ministeriums ,wurde 1975 mit der
Verwaltung des Arpanets beauftragt

DCE
Distributed Computing Environment.
Standardisierte Architektur der Open
Software Foundation (OSF) für verteilte
Anwendungen in einem heterogenen Netz,
enthält Programmschnittstellen,
Serverfunktionalitäten uvm.

DECnet
Proprietäre Netzarchitektur der Digital
Equipment Corporation

DE-NIC
Deutsches Network Information Center,
Das DE-NIC mit Sitz am Rechenzentrum
der Universität Karlsruhe verwaltet für die
Internet-Domain .de die Vergabe der
Unterdomains, koordiniert die Verteilung
der Internetnummern und betreibt den
Primary Nameserver

DFN
Deutsches Forschungsnetz

Directory Service
Verzeichnisdienst, der Informationen zu
Objekten im Umfeld der Kommunikation
enthält (Post/Netz-Adressen,
Telefon/FAX-Nummern zu Einrichtungen,
Personen, Rechnern). Standard X.500

DNS
Domain Name Service (Internet-
Adressierung)

DoD
Departement of Defense

E

EARN
European Academic Research Network

Ebone
Ein von RIPE 1992 in Betrieb genommener
europäischer Internet-Backbone

Ethernet
Netzwerk-Hardware-Standard (IEEE 802.3,
10 MBit/s)

EuropaNET
Ein vom COSINE-Projekt initiiertes
multiprotokoll Backbone, der Nachfolger
des International X.25 Interconnect (IXI)

F

FDDI
Fiber Distributed Data Interface
(Hochgeschwindigkeitsnetz [Glasfaser], 100
MBit/s, doppelt ausgelegter Token Ring)

FTAM
File Transfer, Access, and Management. OSI
Dienst und Protokoll für entfernten
Filezugriff.

FTP
File Transfer Protocol (Dateiübertragung
unter TCP/IP) (RFC 959)

G

Gateway

Gateways werden benötigt, wenn zwei Netzwerke miteinander verbunden werden sollen, die unterschiedliche Protokolle verwenden. Üblicherweise wird als Gateway ein dedizierter PC eingesetzt.

GMTF

General Modelling Tool Framework,
Regeln für Netzwerksimulation

Gopher

Internetweit verteiltes, hierarchisch aufgebautes und menüorientiertes Informationssystem, das Zugang zu unterschiedlichsten Daten bietet.

Gopher Protokoll

Eigens für Gopher entwickeltes Übertragungsprotokoll, das auf TCP aufsetzt

H

Halbduplex

Kommunikationsmethode, bei der zwei Partner immer nur abwechselnd Daten senden können. Normalerweise sind Ethernet-Netze für halbduplex ausgelegt. Moderne Hubs, Switches und Netzwerkkarten unterstützen auch Vollduplex. Allerdings ist darauf zu achten, dass die Netzwerkkarte und der Port am Hub oder Switch, an dem sie angeschlossen ist, identisch konfiguriert sind. Ansonsten kommt keine Verbindung zustande

HDLC

High-level Data Link Control

Header

Nachrichten, die über ein Netz verschickt werden sollen, werden in Pakete aufgeteilt. Jedes Paket enthält neben den eigentlichen Daten der Nachricht auch Daten, die für die Kommunikationssteuerung benötigt werden. Diese unterteilen sich in einen Header, der sich vorne am Paket befindet und einen Trailer, der das Ende des Pakets bildet. Im Header befindet sich üblicherweise die Adresse der Ziel-Station

HTTP

HyperText Transfer Protocol, Protokoll für die Übertragung von Hypertextdokumenten. HTTP wird im WWW als Übertragungsprotokoll verwendet

Host-to-Terminal

ein leistungsstarker Zentralrechner (Großrechner) versorgt eine große Anzahl von „dummen“ Terminals (veraltet)

Hub

Ein Gerät, das dazu dient, den Datenverkehr in einem Netzwerk zu regeln. In einem Stern-Netzwerk ist jede Station durch ein Kabel an einen Hub angeschlossen. An die Ports eines Hubs können aber auch ganze Netzwerke (oder Netzwerk-Segmente) angeschlossen werden

HyperText

Spezielle Form von Textdokumenten, in denen besonders gekennzeichnete Worte nach Aktivierung Aktionen auslösen

I

IAB

Internet Activities Board, verantwortlich für die technische Weiterentwicklung der Internet Protokoll Suite und besteht aus zwei Untereinheiten: IETF und IRTF

ICMP

Internet Control Message Protocol. Protokoll zur Übermittlung von Steuermeldungen (Fehler, Test) auf IP-Ebene

IEEE

Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEEE 802.3

Eine Spezifikation für Ethernet, die vom Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) festgelegt wurde. Die 802.3-Spezifikation umfasst Regeln für die Topologie von Ethernet-LANs

IEEE 802.5

Eine Spezifikation für Token Ring, die vom Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) festgelegt wurde

IMP

Interface Messages Processors

Internetworking

Der amerikanische Oberbegriff für alles, was mit dem Verbinden von Netzwerken und Netzwerk-Segmenten zu tun hat

IP

Internet Protocol

IP-Adresse

32 Bit lange Adresse zur Adressierung der Hosts im Netzwerk

Class A: net.host.host.host
(1.0.0.0 bis 126.0.0.0)

Class B: net.net.host.host
(128.1.0.0 bis 191.254.0.0)

Class C: net.net.net.host
(192.0.1.0 bis 223.255.254.0)

IPX/SPX

Internet Packet eXchange/Sequenced Packet eXchange (Subnetz von Novell für PCs)

IRC

Internet Relay Chat, Client-Server-Anwendung zur Interaktiven Kommunikation zwischen Usern im Internet. (RFC 1459)

ISDN

Integrated Services Digital Network (digitales Fernmeldenetz, 64 kBit/s)

ISO

International Organization for Standardization

IXI

International-X.25-Interconnect, alte Bezeichnung für das europaweite Forschungsnetz EuropaNET

J

JANET
Joint Academic Network. Universitäts-Netz in Großbritannien

K

Kermit
Populäres Programm für Filetransfer und Terminalemulation

Kollision
Kollisionen treten in einem Netzwerk auf, wenn zwei oder mehrere Stationen zur gleichen Zeit Pakete auf das Netzwerkkabel schicken

L

LAN
Lokal Area Network

LLC
Logical Link Control

M

MAC
Media Access Control

MAN
Metropolitan Area Network (Netz innerhalb einer Stadt)

MAU
Multistation Access Unit, eine MAU (Ringleitungsverteiler) bildet die Verkabelungszentrale in einem Token-Ring-Netzwerk

MHS
Message Handling System. OSI System für elektronische Nachrichtenübermittlung zwischen Personen oder Programmen. Bestehend aus User Agents (Nutzerprogramm zum Lesen/Senden von Mail), MTAs (Message Transfer Agent, Übertragung der Nachrichten). Standard X.400.

MIME
Multipurpose Internet Mail Protocol, erlaubt das Senden von Multimedia-Daten z.B. Audiofiles oder Videosequenzen. in standardisierter Form.

N

NCP
Network Control Program

NetBEUI
NETBIOS Extended User Interface, Schnittstelle in Windows-Netzen für Netzwerk-Anwendungen. Dazu zählen auch Client- und Server-Software. Rechner in einem Windows-Netzwerk identifizieren sich immer durch eindeutige NetBIOS-Name. NetBios kann nahezu beliebige Netz-Protokolle zum Transport benutzen, am häufigsten kommen NetBEUI und heutzutage TCP/IP zum Einsatz.

NetBIOS
Network Basic Input/Output System

Netiquette

Der Begriff setzt sich aus den Begriffen Network und Etiquette zusammen und bezeichnet Regeln über das Verhalten im Netzwerk

NetNews

weltweites, offenes Konferenzsystem, aufgeteilt in Themengebiete, in denen Leser ihre Meinungen/Fragen als Artikel ablegen

Netware

Netzwerk-Betriebssystem für PCs von Novell

Netzwerk

Verbund mehrerer einzelner Endgeräte (z.B. Computer) zum Zweck des Datenaustauschs und der gemeinsamen Nutzung von Systemkomponenten

NFS

Network File System (verteiltes Dateisystem) (RFC 1094)

NNTP

Network News Transfer Protocol, Übertragung von Usenet News (Konferenz-System unter TCP/IP) (RFC 977)

NTP

Network Time Protocol, Synchronisiert die Zeit auf einem Netzwerk, und benutzt TCP-Port 123 (RFC 958)

O

OSF

Open Software Foundation

OSI-BRM

Open Systems Interconnection-Basisreferenzmodell

OSI Netzadresse

max. 20 Oktetts zur Adressierung einer OSI Transportschicht, unterteilt in Initial Domain Part, das die Adressdomain bestimmt, und Domain Specific Part.

OSI Presentation Adresse

Adresse für eine OSI Anwendung, bestehend aus Netzadresse und bis zu drei Selektoren, jeweils für die Auswahl der Session-, Presentation- und Anwendungsschicht

P

Packet

In Netzwerken werden die Daten einer Nachricht nicht als Gesamtheit übertragen, sondern sie werden zunächst zu Paketen zusammengefasst und dann als Einzel-Pakete auf die Reise geschickt

PAD

Package Assembler Disassembler (für serielle Datenfernübertragung)

PBR

policy-based routing

PCI

Protocol Control Information

PDU

Protocol Data Unit, ein Datenobjekt, das zwischen zwei Instanzen einer Schicht ausgetauscht wird, bestehend aus Protocol Control Information (PCI) und Nutzerdaten.

Peer-to-Peer

alle Computer sind gleichberechtigt, d.h., sie können je nach Bedarf als Server oder als Workstation fungieren (also Ressourcen zur Verfügung stellen oder benutzen)

POP 2/3

Post Office Protocol, Das Post Office Protocol legt die Mechanismen fest, wie Rechner auf E-Mail zugreifen, die auf Mailbox Servern abgelegt ist (POP 2; RFC 937). POP3 ist in RFC 1460 definiert und ermöglicht den dynamischen Zugriff auf Mailserver. Port 109 wird von POP 2 benutzt während POP 3 Port 110 benutzt.

Port

Selektor, der vom Transportprotokoll benutzt wird, um mehrere simultane Verbindungen zu einem Rechner zu unterscheiden. Standardisierte Dienste sind über "well-known ports" ansprechbar, z.B. port 21 für ftp.

PPP

Point to Point Protocol, Ermöglicht die Übermittlung von Datenpaketen über synchrone oder auch asynchrone Wähl- oder Standleitungen. Das PPP-Protokoll ist in der Lage, unabhängig vom jeweiligen Physikalischen Interface zu arbeiten (z.B. RS 232, RS 422, RS 423). Die einzige Voraussetzung ist eine vollkommen transparente duplexfähige Datenleitung. Als Datenformat wird 8 bit, No Parity festgelegt

Protokoll

Satz von Regeln für die Kommunikation zwischen zwei Partnerinstanzen innerhalb derselben Schicht; es sind Regeln für die Benutzung von Diensten der darunterliegenden Schicht.

Protokoll-Stack

Bei Protokoll-Stacks handelt es sich um Einzel-Protokolle, die zu Gruppen zusammengefasst wurden. Häufig eingesetzt werden zum Beispiel die Protokoll-Stacks TCP/IP und IPX/SPX

PTT

Postes, Telegrape et Telephone

R

RARE

Réseaux Associés pour la Recherche Européene, Organisation zur Koordinierung der Netzwerkaktivitäten in Europa

Repeater

Repeater sind einfache Geräte für die Verbindung von Netzwerk-Segmenten. Sie erfüllen zwei Funktionen: Sie verstärken die Signale, die sie empfangen und sie leiten diese Signale in ein anderes Netzwerk-Segment weiter

RFC

Request for Comments, eine durchnummerierte Sammlung von Dokumenten, die Standards, Protokolle und sonstiges der Internet Protokoll Suite beschreiben

RIP

Routing Information Protocol. Protokoll zum Austausch und dynamischen Eintragen von Routing-Informationen

RIPE

Réseaux IP Européens, Organisation zur Koordinierung des Internetverkehrs in Europa

RMON

Remote Network Monitoring, Unter RMON-Tools versteht man Programme um Netzwerkdaten zu sammeln.

Router

Ein Router ist ein Gerät, das Netzwerke miteinander verbindet. Router erfüllen komplexere Aufgaben als Bridges. Während eine Bridge Adressinformationen zu den direkt angeschlossenen Netzwerken sammelt, können sich Router mit anderen Routern austauschen. Sie sammeln auch Informationen über entferntere Netzwerke

und können in Situationen mit mehreren Verbindungs-Möglichkeiten bestimmen, welche die günstigste ist

Routing-Tabellen

Routing-Tabellen sind kleine Datenbanken, die in Bridges und Routern zum Einsatz kommen. Während Bridges die Adressen von einzelnen Stationen aufzeichnen, werden von Routern nur die Adressen von Netzwerken vermerkt. Bridges merken sich nur Adressen aus den Netzwerken, die sie verbinden. Router dagegen notieren auch Angaben zu entfernteren Netzwerken

S

SAP

Service Access Point

SDU

Service Data Unit

Simplex

Kommunikationsmethode, bei der zwei Partner nur in einer Richtung Daten kommunizieren können. Es gibt nur einen Sender und einen Empfänger

Site

Computer innerhalb einer Domain

Sliding Window

Es gibt auf Senderseite ein Sendefenster und auf Empfängerseite ein Empfangsfenster. Die Nachrichten werden, ohne auf eine Empfangsbestätigung zu warten gesendet. Alle Nachrichten, die auf der Empfängerseite im Empfangsfenster liegen sind gültig. Alle anderen ungültig und müssen nochmals gesendet werden. Beim Senden der positiven Quittierungen wird analog verfahren.

SLIP

Serial Line Internet Protocol (IP über serielle Schnittstelle)

SMTP

Simple Mail Transfer Protocol, das Internet-Mail-Protokoll (unter TCP/IP) (RFC 821)

SNA

Systems Network Architecture. Proprietäre Netzarchitektur von IBM

SNMP

Simple Network Management Protocol

SRI

Stanford Research Institute

Subnetzmaske

Eine 32-bit Maske, die festlegt, wieviele Bits der Internet-Adresse für die Rechneradressierung im Subnetz bestimmt sind, z.B. 0xfffff00 - letzte 8 Bit für Rechneradresse

Switch

Ein Gerät, das mehrere separate LANs miteinander verbindet und Paketfilterung durchführt. Ein LAN-Switch ist ein Gerät mit mehreren Ports. Jeder dieser Ports kann eine einfache Station oder aber auch ein gesamtes Ethernet- oder Token-Ring-LAN unterstützen

T

TCP/IP

Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Netzwerk-Protokoll), neben IP das zentrale Protokoll in der Internet Protokoll Suite. Es stellt den Applikationen einen verbindungsorientierten, zuverlässigen, vollduplex Dienst in Form eines Datenstroms zur Verfügung

Telnet

remote terminal protocol, interaktives Arbeiten an entfernten Rechnern (unter TCP/IP) (RFC 854)

Token

Ein Token ist eine spezielle Abfolge von Bits.. Das Token kreist auf dem Ring, und eine Station, die senden will, muss warten bis sie in Besitz des Tokens ist und kann dann an das Token die Daten anhängen. Es können keine Kollisionen entstehen.

Token Ring

ringförmiges Netzwerk (IEEE 802.4)

Trailer

Jedes Paket, das über ein Netzwerk verschickt wird, enthält neben den Nutzdaten auch Daten, die für die Kommunikationssteuerung benötigt werden. Diese unterteilen sich in einen Header, der sich vorne am Paket befindet und einen Trailer, der das Ende des Pakets bildet. In der Regel enthält der Trailer Daten zur Fehlerüberprüfung, die mit Hilfe des Cyclical Redundancy Checks (CRC) berechnet werden.

Transceiver

Einfaches Gerät zum Anschluß von Computern an ein Ethernet.-Netzwerk. Der Transceiver wandelt den parallelen Datenstrom auf dem Prozessorbus in einen seriellen Datenstrom auf dem Anschlußkabel um.

Twisted-Pair-Kabel

Neben Koaxialkabeln die am häufigsten eingesetzte Kabelart. Es gibt geschirmte und ungeschirmte Twisted-Pair-Kabel, wobei die ungeschirmten die am meisten verbreiteten sind

U

UDP

User Datagram Protocol, Protokoll, das alternativ zu *TCP* verwendet werden kann, wenn keine Anforderungen über die Zuverlässigkeit gestellt werden. UDP arbeitet verbindungslos auf Datagrammbasis

URL

Uniform Resource Locator, einheitliche und eindeutige Form, um Ressourcen im Netz zu benennen

UTP

Unshielded Twisted Pair

UUCP

UNIX to UNIX Copy Program. Protokoll zur Kommunikation zwischen UNIX Systemen.

V

Vollduplex

Kommunikationsmethode, bei der zwei Partner gleichzeitig Daten senden und empfangen können. Moderne Netzwerkgeräte unterstützen diese Technik auch bei Ethernet, allerdings nur, wenn mit Hubs oder Switches und damit einer sternförmigen UTP/STP-Verkabelung gearbeitet wird.

W

WAIS

Wide Area Information Service ,ermöglicht die Volltextsuche in weltweit verteilten Datenbanken

WAN

Wide Area Network (Weitbereichs-Netz)

WIN

Deutsches Wissenschaftsnetz, separater Teil des öffentlichen X.25 Netzes der Telekom (DATEX-P), betrieben vom DFN

X

X.25

(a) Protokoll, das als eine Möglichkeit die unteren 3 Schichten des ISO/OSI-Modells abdeckt

(b) Dienst zur Datenübertragung, der in Deutschland als Datex-P (Data Exchange, paketvermittelt) bezeichnet wird.

X.29

Das X.29-Protokoll sitzt auf dem X.25-Protokoll auf und erlaubt es, ähnlich dem Telnet-Protokoll, auf entfernte Rechner online zuzugreifen.

X.400

Standard zum Austausch von interpersonellen Mitteilungen. Wird auch als Message Handling System bezeichnet.

X.500

Beim X.500 handelt es sich um einen verteilten, hierarchisch aufgebauten Verzeichnisdienst, der bislang meist nur personenbezogene Daten enthält. Wird auch als Directory bezeichnet

Z

Z39.50

Standard, der ein Protokoll zur Informationsbeschaffung aus Datenbanken auf der Anwendungsschicht des ISO/OSI-Modells definiert

15 Literaturverzeichnis

- [AbFoAW] Ghaleb Abdulla, Edward A. Fox, Marc Abrams, Stephen Williams –
WWW Proxy Traffic Characterization with Application to Caching
- [BrSe91] Bronstein, Semendjajew – Taschenbuch der Mathematik
B.G. Teubner Stuttgart, 1991
- [Bol89] Gunter Bolch – Leistungsbewertung von Rechensystemen
B.G. Teubner Stuttgart, 1989
- [BoAEQ] G. Bolch, M. Abu El-Qomsan – Analyse von Warteschlangennetzen mit
asymmetrischen Knoten und mehreren Auftragsklassen
<http://www.informatik.uni-erlangen.de>
- [BTLab] George Bilchev, Chris Roadknight, Ian Marshall, Sverrir Olafson –
WWW Cache Modelling Toolbox
BT Research Laboratories, UK
- [BWilli] Bert Williams – Transparent Web Caching Solution
<http://www.cache.ja.net/evebts/workshop/33/cachpaper.html>
- [Cis99] Cisco Systems Inc. – Internetworking Technology Overview
<http://www.cisco.com>
- [DaPe00] Jonathan Davidson, James Peters – Voice over IP – Grundlagen
Markt + Technik Verlag, Münschen 2000
- [DHB00] D.H. Brown Associates Inc. – Network Simulation – Is it worth the effort?
März 2000
<http://www.dhbrown.com>
- [Dün97] Dönhöler – Grundwissen Netzwerke
<http://members.aol.com/duenhoel/>
- [FhWolf] Lehrinheit Lokale Netze, Fachhochschule Wolfenbüttel
[http://www.fh-wolfenbuettel.de/fb/i/forschung/projekte/vfh/
Lehr-und-Lerneinheiten/lokale_netze/index.html](http://www.fh-wolfenbuettel.de/fb/i/forschung/projekte/vfh/Lehr-und-Lerneinheiten/lokale_netze/index.html)
- [Flu00] Michael Fluhr – OWN-Network
<http://www.haribo.purespace.de/index.html>

- [Fra91] Dieter Franz – Statistik
Hüthig Verlag, 1991
- [GoAhl85] Ulf Gollub, Dieter Ahlers – Auswahl und Einsatz lokaler Netzwerke
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg 1985
- [Har97] Mike Hartmann - Die TCP/IP Protokoll Suite
<http://www.iig.uni-freiburg.de/~mhartman/tcpip/>
- [Hav95] Boudewijn R. Haverkort –
Model-Based Performance Evaluation of Computer-Communication Systems
Skriptum, RWTH Aachen, 1995
- [Gro99] Frances S. Grodzinsky –
Networking and Data Communications Laboratory Manual
Prentice Hall, New Jersey 1999
- [Jac98] Prof. Dr. Erik Jacobson – Rechnernetzwerke
Skriptum, Fachhochschule Frankfurt am Main, 1998
<http://www.fh-frankfurt.de/~jacobson>
- [Jaco98] Prof. Dr. Erik Jacobson – Das Internet
Skriptum, Fachhochschule Frankfurt am Main, 1998
<http://www.fh-frankfurt.de/~jacobson>
- [Kauf00] Franz-Joachim Kauffels – Durchblick im Netz
3. Auflage
MITP-Verlag, Bonn, 2000
- [Kauf89] Franz-Joachim Kauffels – Lokale Netze
Datacom – Buchverlag, Puhlheim 1989
- [Kir99] Dr. B. Kirste – Computervernetzung
<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemnet/general/netzwerk.html>
- [Kie97] Uwe Kiencke – Ereignisdiskrete Systeme
R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1997
- [Krö90] Michael Krödel – Der LAN-Manager in der Praxis
Markt&Technik-Verlag, München 1990
- [KuSyWi] Michael Kurcewicz, Wojtek Sylwestrzak, Adam Wierzbicki –
A Distributed WWW Cache
University of Warsaw

- [Kün99] A. Kündig – Einführung in die Warteschlangen- und Verkehrstheorie
Skriptum, ETH Zürich, 1999
<http://www.tik.ee.ethz.ch/tik/education/lectures/KKEM/>
- [Lin91] Bernd Lindemann – Lokale Rechnernetze
VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1991
- [Matu98] Martin Matuška – Lokale Netze
<http://www.i-node.at/dief/Inf/Matuska/Fba/Text/logo.htm>
- [Mena94] Menascé, Almeida, Dowdy - Capacity Planning and Performance Modelling
Prentice Hall, 1994
- [Mena98] Daniel A. Menascé, Virgilio A.F. Almeida –
Capacity Planning for Web Performance
Prentice Hall, New Jersey 1998
- [MCloHi97] Bruno Müller-Clostermann, Jörg Hintelmann - Diskrete Simulation
Skriptum, Universität Gesamthochschule Essen, 1997
<http://www.informatik.uni-essen.de/Lehre/Material/DiskreteSim/Skript>
- [MüCl98] Bruno Müller-Clostermann – Stochastische Netze
Skriptum, Uni Essen, 1998
<http://www.informatik.uni-essen.de>
- [MüCl99] Bruno Müller-Clostermann – Kapazitätsplanung und Leistungsbewertung
Skriptum, Uni Essen, 1999
<http://www.informatik.uni-essen.de>
- [MWE00] Anirban Manhanti, Carey Williamson, Derek Eager –
Traffic Analysis of a Web Proxy Caching Hierarchy
IEEE Network, May/June 2000, Special Issue: Web Performance
- [Neu96] Dr. Bernhard Neumair – Datenkommunikation
Skriptum, Uni München, 1996
http://rfhs8012.fh-regensburg.de/~saj39122/jfroehl/df/arj/df_kap1.zip
- [Pay99] Margarete Payer - Computervermittelte Kommunikation
Skriptum, HBI Stuttgart
<http://www.payer.de>
- [ProCa] Proxy Cache – Van-Pool for the Web
<http://Vancouver-webpages.com/proxy>
- [RFC1180] T. Socolofsky, C. Kale - A TCP/IP Tutorial
Network Working Group, RFC1180
<http://www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc1180.html>

- [RFC793] Jon Postel – Transmission Control Protocol
DARPA Internet Program, RFC793
<http://www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc793.html>
- [RFC791] Jon Postel – Internet Protocol
DARPA Internet Program, RFC791
<http://www.cis.ohio-state.edu/htbin/rfc/rfc791.html>
- [Rose91] Marshall T. Rose – The Simple Book
Prentice – Hall, 1991
- [RoSpBi] Pablo Rodriguez, Christian Spanner, Ernst W. Biersack -
Web Caching Architectures: Hierarchical and Distributed Caching
Institut EURECOM, France
- [SBoGe94] Martin Scheller, Klaus-Peter Boden, Andreas Geenen –
Internet: Werkzeuge und Dienste
Springer Verlag, Berlin 1994
- [Sim99] Kai Simon – Netzwerkperformance bei Ethernet
Studienarbeit, Prof. Dr.-Ing. R. Urbansky
Universität Kaiserslautern, 1999
- [Sta97] Eckhard Stasch – Ethernet
Ausarbeitung zum Proseminar IBM-PC (SS 1997)
Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Informatik
http://www.tu-chemnitz.de/informatik/RA/kompendium/vortraege_97/ethernet/index.html
- [Str97] Dr. Rudolf Strub – TCP/IP Lehrgang
<http://ee-staff.ethz.ch/~strub/tcp-ip/tcp-ip.html>
- [StSo00] StatSoft – The Statistic Textbook
<http://www.statsoft.com/>
- [Schw86] Mischa Schwarz - Telecommunication Networks
Addison-Wesley, 1986
- [Tane96] Andrew S. Tanebaum – Computer networks
Third Edition, Prentice Hall, 1996
- [Tech99] TechFest - Ethernet Technical Summary
<http://www.techfest.com/networking/lan/ethernet.htm>
- [Tra96] Phuoc Tran-Gia – Analytische Leistungsbewertung verteilter Systeme
Springer Verlag, 1996

[Wil99] Andreas Willig – A short introduction to queueing Theory
Technische Universität Berlin, 1999

[LAWA] diplomarbeit lan-wan
<http://www.well-com.ch/thema/lan-1.htm>

16 Index

A

Algorithmus, Buzen	45
ALOHA	87
Ankunftsintervall.....	21
Ankunftstheorem	48
Anwendungsschicht	82
Application layer	73
ARPA	83
ARPANET	83
arrival theorem.....	48
Auslastung.....	20

B

backoff limit	90
Backoff-Intervall	90
Basic Rate Interface	115
Bedieneinheit.....	16
Bedieneinheit $E[N_s]$	20
Bedieneinheiten	18
Bedienrate.....	21
Bedienstrategie	18
begrenztem Warteraum	30
Bernoulli-Verteilung	12
Besuchshäufigkeiten.....	43
Binary Exponential Backoff Algorithmus	90
<i>Binomial-Verteilung</i>	12
<i>Birth-death-process</i>	22
Bitübertragungsschicht.....	78
<i>blocking</i>	30
BRI	115
Buzen Algorithmus	45

C

Cache Hit.....	112
Cache Miss	112
CACI.....	52
carrier sensing	90
CCITT.....	71
CDF.....	59
Closed Queueing Networks.....	43
COLLISION EPISODES	101

COMNET III	52
COMNET III Toolpalette	54
<i>confirm</i>	76
CSMA	89
CSMA/CD	88, 90, 92
<i>Cumulative Density Function</i>	59

D

Darstellungsschicht.....	81
Data link layer.....	74
DEFERRAL DELAY	101
<i>Deferring</i>	90
<i>Dichtefunktion</i>	11
Dienstansprüche.....	43
Dienste	76
Dienstgruppen.....	77
Diensttypen	76
Diskrete Verteilungen.....	12
Durchsatz	33

E

E1	115
<i>Erwartungswert</i>	11
Ethernet.....	87
Exponential-Verteilung.....	15

F

FCFS.....	17
<i>Feed-forward Queueing networks</i>	39
FIFO.....	17
First Come – First Served.....	17

G

<i>Geburts-Todesprozess</i>	22
<i>gedächtnislose Verteilung</i>	15
Geometrische Verteilung.....	13
Geschlossene Warteschlangennetze	43
<i>Gordon-Newell-Netze</i>	43

H

High-level-Proxys.....	112
Hochlastbereich	106

I	
IEEE 802.3	88
<i>indicate</i>	76
Infinite Server	17
Interet-Wizard	114
<i>Interframe Gap</i>	90
<i>Internet Protokoll</i>	85
<i>Internet Schicht</i>	84
<i>IS 17</i>	
ISO	71
ISO-OSI Basis Referenz Modell	71
J	
<i>Jackson Netze</i>	40
jam signal	90
K	
Kendall-Notation	18
Kommunikationssteuerungsschicht	81
L	
Last Come – First Served	17
<i>LCFS</i>	17
LIFO	17
Link-Report	98
Little's law	20
Low-level-Proxys	112
M	
M/G/1-Modell	34
M/M/1 – System	22
M/M/1/K – System	30
M/M/m – System	27
MAC	88
Markov-Kette	22
<i>Mean Value Analysis</i>	47
Medium Access Control	88
Medium Access Control Sublayer	79
Message source	58
Mittelwertanalyse	47
mittlere Population	25
<i>MVA</i>	47
N	
Network layer	74
Netzwerkschicht	80
<i>Netz-Zugangs-Schicht</i>	84
Niederlastbereich	106
Normalisierungskonstante G(M,K)	44
<i>Number of replications</i>	63
O	
offenen Warteschlangennetze	39
Open Queueing Networks	39
Open Systems Interconnection	71
OSI-Basisreferenzmodell	73
OSI-Environment	72
OSI-Modell	71
P	
Parent-Proxy	112
<i>PCI</i>	76
<i>PDF</i>	59
<i>PDU</i>	76
phit	120
Physical layer	74
Poisson-Verteilung	14
<i>Pollaczek-Khintschin-Formel</i>	35
Presentation layer	73
PRI	115
Primary Rate Interface	115
<i>Probability Density Function</i>	59
<i>Processing nodes</i>	55
Processor Sharing	17
<i>product form networks</i>	41
Produktformnetze	41
<i>protocol control information</i>	76
Protocol Data Unit	76
<i>PS</i>	17
PTT	71
Q	
quadratischen Variationskoeffizienten ...	34
Queueing Networks	39
R	
<i>Replication length</i>	63
<i>request</i>	76
residence time	20
<i>response</i>	76
response time	20
Routingwahrscheinlichkeit	40
S	
<i>SDU</i>	76

Service Data Unit	76	V	
<i>service demands</i>	43	<i>Varianz</i>	11
Servicezeit E[S]	20	<i>Variationskoeffizient</i>	11
Session layer	74	Vermittlungsschicht	80
Shortest Job First	17	<i>Verteilungsfunktion</i>	11
Shortest Remaining Processing Time	17	<i>visit counts</i>	43
Sicherungsschicht	79	W	
Sieben-Schichten-Modell	71	<i>Wahrscheinlichkeitsdichte</i>	11
<i>SJF</i>	17	<i>Warmup length</i>	63
<i>SRPT</i>	17	Warteraum	16
<i>Standartabweichung</i>	11	Warteschlangen	16
stationären Zustandswahrscheinlichkeiten	23	Warteschlangennetze	39
Stetige Verteilungen	15	Warteschlangenstrategie	18
T		Warteschlangensysteme	22
T1	115	Wartezeit E[W]	20
TCP/IP	83	Web Caching	111
TCP/IP Referenzmodell	83	weighted destination list	120
Throughput	33	<i>Weighted list</i>	61
Toolpalette	54	Z	
Transport layer	74	<i>Zufallsvariable</i>	11
Transportschicht	80	Zustandswahrscheinlichkeiten	23
U		Zwischenankunftszeiten	18
Überlastbereich	106		
<i>Utilisation</i>	20		

Erklärung

Hiermit erkläre ich, Andreas Neumahr, dass ich diese Diplomarbeit selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Kaiserslautern, 15.10.2000

Andreas Neumahr

Andreas Neumahr
Kaiserstrasse 32
67661 Kaiserslautern

Fon: 0631/3508150

E-mail: andreas@neumahr.de
www.neumahr.de