



**Fachhochschule
Bonn-Rhein-Sieg**

University of Applied Sciences

Fachbereich Informatik

Department of Computer Science

Abschlussarbeit

im Bachelor Studiengang

Performance-Untersuchungen an einem Gigabit-Ethernet-Netzwerk

Untersuchung von Desktop-Systemen in einem Gigabit-Ethernet

von
Jens Mahnke

Erstbetreuer: Prof. Dr. Uhde

Zweitbetreuer: Prof. Dr. Leischner

Eingereicht am: **09.08.2004**



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Köln, 9. August 2004

.....

(Jens Mahnke)

Abstract

Seit der Erfindung im Jahre 1973 hat das Ethernet eine Reihe von Weiterentwicklungen erfahren. Diese Entwicklungen wurden durch die ständige Leistungssteigerung der Computer-Systeme und den dadurch erhöhten Kommunikationsbedarf erforderlich. In dieser Untersuchung werden zunächst die verschiedenen Unterstandards des IEEE Ethernet-Standards 802.3 vorgestellt, um dann miteinander in Beziehung gesetzt zu werden.

Heute wird bei der Vernetzung von Computer-Systemen größtenteils der Fast-Ethernet-Standard eingesetzt; dies betrifft vor allem die Desktop-Systeme. Die Server-Systeme nutzen teilweise schon den schnelleren Gigabit-Ethernet-Standard. Mit der Standardisierung des 10-Gigabit-Ethernet im Jahre 2002 wurde eine schnellere Alternative für die Anbindung von Servern geschaffen, womit auch ein erhöhter Datenratenbedarf der Desktop-Systeme im Netzwerk einhergeht. Aus diesem Grund besteht für einige Unternehmen ein Interesse, ihr vorhandenes Fast-Ethernet-Netzwerk auf ein Gigabit-Ethernet-Netzwerk aufzurüsten.

Bei der Performance-Untersuchung werden die höheren Protokollschichten untersucht. Daher werden das TCP/IP-, FTP- und SMB-Protokoll kurz vorgestellt. Zusätzlich wird auf Optimierungsmöglichkeiten am TCP/IP-Protokoll eingegangen.

Die Performance-Untersuchung soll die Leistungsfähigkeit von gegebenen Desktop-Systemen in Bezug auf den erreichbaren TCP-Durchsatz, den Gewinn an Netzwerk-Performance durch eine Aufrüstung und den nutzbaren Durchsatz für den Anwender bewerten. Zum Erreichen der Untersuchungsziele wird auf Basis von definierten Test-Philosophien und Test-Methodologien eine an den Einsatzzweck angepasste Performance-Untersuchung entwickelt. Diese wird während der praktischen Durchführung benutzt, um reproduzierbare und vergleichbare Testergebnisse zu erhalten. Die Untersuchungen messen den erreichbaren Datendurchsatz über ein Gigabit-Ethernet und ein Fast-Ethernet, um im Anschluss den Performance-Gewinn bewerten zu können. Außerdem wird durch Modifikationen an Hard- und Software versucht den Durchsatz der Desktop-Systeme zu erhöhen. Es wurden verschiedene Werkzeuge und Methoden zur Leistungsmessung in Netzwerken betrachtet und einige davon ausgewählt, um diese Untersuchung durchzuführen.

Zusätzlich zu der Performance-Untersuchung an den Desktop-Systemen wurden die ausgewählten Werkzeuge im Hinblick auf ihre Messergebnisse, Dokumentation und ihren Entwicklungsstand bewertet. Mit Hilfe dieser Bewertung kann der Leser die Testverfahren und die benötigten Werkzeuge für eigene Performance-Untersuchungen weiterverwenden.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die untersuchten Desktop-Systeme nicht in der Lage sind, ein Gigabit-Ethernet auszulasten, aber dennoch einen signifikant höheren Durchsatz als in einem Fast-Ethernet erreichen. Von dieser Steigerung des erreichbaren Durchsatzes profitiert auch der Anwender des Desktop-Systems. Um ein Gigabit-Ethernet auszulasten, bedarf es einer schnellen Anbindung der Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte an das Desktop-System, wozu der verwendete PCI-Bus nicht in der Lage ist.

Inhaltsverzeichnis

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	II
ABSTRACT.....	III
INHALTSVERZEICHNIS.....	IV
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
TABELLENVERZEICHNIS	VIII
1 EINLEITUNG.....	1
2 GRUNDLAGEN.....	3
2.1 GESCHICHTE DES ETHERNET	3
2.2 ETHERNET-STANDARD	4
2.2.1 IEEE 802.3 und 802.2 Standard	4
2.2.2 Die IEEE 802.3 Rahmenstruktur.....	5
2.2.3 Medium Access Control (MAC)	6
2.2.4 Physical Layer Signalling (PLS).....	8
2.2.5 Attachment Unit Interface (AUI).....	8
2.2.6 Medium Attachment Unit (MAU)	8
2.3 FAST-ETHERNET-STANDARD	9
2.3.1 IEEE 802.3u Standard	9
2.3.2 Die IEEE 802.3u Rahmenstruktur.....	10
2.3.3 Reconciliation Layer	10
2.3.4 Media Independent Interface (MII).....	11
2.3.5 Physical Layer (PHY).....	11
2.3.5.1 Physical Coding Sublayer (PCS).....	11
2.3.5.2 Physical Media Attachment (PMA)	12
2.3.5.3 Physical Media Dependent (PMD)	12
2.3.6 Auto-Negotiation-Prozess.....	12
2.4 GIGABIT-ETHERNET-STANDARD.....	13
2.4.1 IEEE 802.3z/ab Standard	13
2.4.2 Die IEEE 802.3z/ab Rahmenstruktur.....	14
2.4.3 Media Access Control (MAC)	16
2.4.4 Reconciliation Layer	17
2.4.5 Gigabit Media Independent Interface (GMII)	17
2.4.6 Physical Attachment Layer (PHY)	18
2.4.6.1 Physical Coding Sublayer (PCS).....	18
2.4.6.2 Physical Media Attachment (PMA)	18
2.4.6.3 Physical Media Dependent (PMD)	18
2.4.7 Auto-Negotiation-Prozess.....	18
2.4.8 IEEE 802.3z Standard (1000BaseSX/LX/CX)	19
2.4.9 IEEE 802.3ab Standard (1000BaseT)	20
2.5 AUSBLICK AUF DEN 10-GIGABIT-ETHERNET-STANDARD	22
2.5.1 IEEE 802.3ae Standard	22
2.5.2 10-Gigabit-Ethernet und das OSI-Referenzmodell.....	23
2.5.3 Die IEEE 802.3ae Rahmenstruktur	24
2.5.4 Namensgebung der 10-Gigabit-Ethernet-Standards	25
2.6 ZUSAMMENFASSUNG DER ETHERNET-STANDARDS 802.3	26
2.7 HÖHERE PROTOKOLLSCHICHTEN	27
2.7.1 TCP/IP-Protokoll und Optimierungsmöglichkeiten	27
2.7.1.1 TCP/IP-Protokoll	27
2.7.1.2 TCP/IP-Protokoll-Overhead.....	28
2.7.1.3 TCP/IP Optimierungsmöglichkeiten	29
2.7.2 File Transfer Protokoll (FTP)	30
2.7.3 Server Message Block (SMB).....	31

3	BESCHREIBUNG DER DESKTOP-SYSTEME	33
3.1	ALLGEMEINE HARDWARE	33
3.2	KOMMUNIKATIONSKOMPONENTEN	34
3.2.1	Netgear GA621	34
3.2.2	Intel PRO/1000 MT Desktop-Adapter	35
3.2.3	Netgear GSM712F Gigabit-Ethernet-Switch	36
3.2.4	3Com Etherlink XL 10/100 Fast-Ethernet PCI (3C905C-TX)	37
3.2.5	D-Link DES-1016R+ Fast-Ethernet-Switch	37
3.3	ÜBERTRAGUNGSMEDIEN	38
3.3.1	Twisted-Pair-Kabel	38
3.3.2	Lichtwellenleiter	38
3.4	MICROSOFT WINDOWS XP PROFESSIONAL SP1	39
4	ENTWICKLUNG DER PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	41
4.1	TEST-PHILOSOPHIEN	41
4.2	TEST-METHODOLOGIEN	42
4.3	RFC 2544 – BENCHMARKING METHODOLOGY FOR NETWORK INTERCONNECT DEVICES	43
4.4	BESCHREIBUNG DER PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	44
4.4.1	Auswahl der Perspektive	44
4.4.2	Auswahl der Ziele	44
4.4.3	Entwicklung des Lastmodells	45
4.4.4	Test-Konfiguration	46
4.4.5	Sammeln der Messdaten	46
4.4.6	Interpretation und Präsentation der Ergebnisse	46
4.4.7	Einbeziehung des RFC 2544	47
4.5	WERKZEUGE FÜR DIE PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	47
4.5.1	TTCP	48
4.5.2	WSTTCP 1.0	48
4.5.3	PCATTCP	48
4.5.4	NETPERF	49
4.5.5	NetIO	49
4.5.6	NetPIPE	50
4.5.7	IPerf	50
4.5.8	NetIQ Chariot Test-Suite	51
4.5.9	Dateitransfer über das File Transfer Protokoll (FTP)	52
4.5.10	Dateitransfer über das Server Message Block Protokoll (SMB)	53
4.5.11	Weitere Werkzeuge zur Performance-Bewertung	54
4.5.11.1	hrPing - high resolution Ping	54
4.5.11.2	TDIQ	54
4.5.11.3	DrTCP	54
4.5.11.4	Disk Speed	54
4.5.11.5	Intel Iometer	55
4.5.11.6	PCIScope	55
4.5.11.7	Ethereal mit WinPcap	55
4.5.11.8	Windows XP Task-Manager	55
4.5.12	Auswahl der Werkzeuge für die Performance-Untersuchung	55
4.6	DARSTELLUNG DER VERWENDETEN SYSTEMKONFIGURATIONEN	57
4.6.1	Systemkonfiguration Test 1: Out-Of-The-Box	57
4.6.2	Systemkonfiguration Test 2: Hardware modifiziert	57
4.6.3	Systemkonfiguration Test 3: Software modifiziert	58
4.6.4	Systemkonfiguration Test 4: RAM-Disk	59
4.6.5	Systemkonfiguration Test 5: Fast-Ethernet-Vergleich	60
4.6.6	Abdeckung der Ziele durch die benutzten Werkzeuge	60
4.7	ZUSAMMENFASSUNG DER PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	60
5	DURCHFÜHRUNG DER PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	62
6	AUSWERTUNG DER PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	63
6.1	BEWERTUNG DER BULK-TRANSFER-MESSWERKZEUGE	63
6.2	AUSWERTUNG DER ZUSÄTZLICH DURCHGEFÜHRTEN TESTS	66

6.2.1	Iperf mit variabler TCP-Fenstergröße	66
6.2.2	NetIO mit variabler Anwendungspaketgröße	67
6.2.3	Performance-Messung der Festplatte und RAM-Disk	70
6.2.4	Round Trip Time mit hrPing	71
6.2.5	Jumbo-Frame-Test über TP	72
6.2.6	Jumbo-Frame-Test über LWL	73
6.2.7	Ethereal-Untersuchung	76
6.3	AUSWERTUNG DER TESTS 1-5	76
6.3.1	Maximal erreichbarer TCP-Durchsatz	76
6.3.2	Fast-Ethernet-Vergleichstest	78
6.3.3	Anwendungsprotokolle FTP und SMB	79
6.3.3.1	FTP-Transfer-Tests	79
6.3.3.2	SMB-Transfer-Tests	81
6.3.4	Zusammenfassung der Testergebnisse	82
6.4	FAZIT DER PERFORMANCE-UNTERSUCHUNG	83
6.5	OPTIMIERUNGSVORSCHLÄGE	85
7	ZUSAMMENFASSUNG	88
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
	LITERATURVERZEICHNIS	XII
	ANHANG	XVIII

CD mit folgendem Inhalt:

- Elektronische Version der Arbeit
- Bulk-Transfer-Messwerkzeuge
- Weitere Programme

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Skizze von Robert Metcalf, aus c't 3/2002.....	3
Abb. 2 Ethernet im OSI-Referenzmodell nach [Hein 1998], [IEEE 802.3]	5
Abb. 3 IEEE 802.3 Rahmenstruktur nach [IEEE 802.3]	6
Abb. 4 Das CSMA/CD-Zugriffsverfahren, [Grupp 1999]	7
Abb. 5 Fast-Ethernet im OSI-Referenzmodell nach [Hein 1998], [IEEE 802.3]	10
Abb. 6 IEEE 802.3u Fast-Ethernet-Rahmen nach [IEEE 802.3]	10
Abb. 7 Gigabit-Ethernet-Varianten nach [Kauffels 2000, S. 658]	13
Abb. 8 Gigabit-Ethernet im OSI-Referenzmodell nach [Hein 1998], [IEEE 802.3]	14
Abb. 9 IEEE 802.3z/ab Gigabit-Ethernet-Rahmen nach [IEEE 802.3]	14
Abb. 10 Gigabit-Ethernet Frame-Burst nach [IEEE 802.3]	15
Abb. 11 Prinzipschaltung eines 1000BaseT Transceiver aus [Kauffels 2000, S. 674]	21
Abb. 12 10GE im OSI-Referenzmodell nach [Jöcker et 2002], [IEEE 802.3ae]	23
Abb. 13 Unterscheidung der verschiedenen PHY, nach [Rech 2002]	24
Abb. 14 IEEE 802.3ae 10GE-Rahmen nach [IEEE 802.3ae]	24
Abb. 15 IEEE 802.3 Standards von http://www.gepanet.com/0009713_PIC.gif	26
Abb. 16 TCP/IP-v4-Referenzmodell nach [Hunt 1996]	28
Abb. 17 TCP/IP-v4-Header nach [RFC 773], [Hunt 1996]	28
Abb. 18 FTP-Stack nach [Hunt 1996]	31
Abb. 19 Microsoft Windows XP Protokoll-Stack mit TCP/IP	31
Abb. 20 SMB-Protokoll-Header nach [RADCOM IBM]	32
Abb. 21 Ergebnis des Vergleichstest aus PC-Magazine, aus [Kaven 2003]	37
Abb. 22 Mechanische Abmessung bei LWL, aus [Kiefer 2002]	39
Abb. 23 Prinzipieller Ablauf eines Testskripts mit NetIQ Chariot Test Suite, nach [NetIQ 2002]	51
Abb. 24 Auszug aus einem SMB-Testskript	53
Abb. 25 Aufbau des Testnetzwerks zur Durchführung der Performance-Untersuchung	62
Abb. 26 Vergleich der NetPerf-Ergebnisse unter Windows XP	63
Abb. 27 Abweichungen der NetPerf-, NetIO- und Iperf-Messdurchläufe (Test 1 TP)	64
Abb. 28 Vergleich der NetIO-Ergebnisse unter Windows XP (Auszug)	65
Abb. 29 Ergebnis des Iperf-Tests mit variablem TCP-Fenster über TP	66
Abb. 30 Ergebnis des Iperf-Tests mit variablem TCP-Fenster über LWL	67
Abb. 31 NetIO-Messwerte Tx und Rx über TP	68
Abb. 32 NetIO-Messwerte Tx und Rx über LWL	69
Abb. 33 Vergleich der Festplatten- und RAM-Disk-Transferraten	70
Abb. 34 Darstellung der mit hrPing bestimmten RTT's in ms	71
Abb. 35 Iperf-Messungen über TP-Direktverbindung	72
Abb. 36 FTP- und SMB-Transfer ohne bzw. mit aktivierten Jumbo-Frames	73
Abb. 37 Iperf-Messergebnisse mit der alternativer Testumgebung	75
Abb. 38 TCP-Durchsatz der Iperf-Messungen	77
Abb. 39 Vergleich der Iperf-Messungen aus Tests 1, 5 und 6	78
Abb. 40 Ergebnisse der Messungen von FTP-get und FTP-put	80
Abb. 41 Ergebnisse der Messungen von SMB get und put	81
Abb. 42 Ethernet-Standards im Vergleich	XVIII

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Halb-Duplex-Ethernet-Verfahren im Vergleich nach [Köhler 1998]	15
Tab. 2 Multimodefaser-Link-Längen für 1000BaseSX/LX nach [Kauffels 2000, S. 661]	19
Tab. 3 10-Gigabit-Ethernet-Standards im Vergleich	25
Tab. 4 Ethernet-Standards und Medien im Überblick	27
Tab. 5 Asus A7V8X-X Mainboard-Spezifikation nach [Asus 2003].....	33
Tab. 6 PCI-Bus-Datenpfade und Taktgeschwindigkeiten nach [SysKonnnect 1999]	34
Tab. 7 TP-Kabelkategorien, nach ANSI/TIA/EIA 568 und [Siemon 2004]	38
Tab. 8 Treiberversion und Datum der verwendeten Komponenten in der Out-Of-The-Box-Konfiguration.....	40
Tab. 9 Exemplarische Excel-Tabelle mit Messwerten aus Test 1 TP	46
Tab. 10 Testplan der Performance-Untersuchung an für die Gigabit-Ethernet Desktop-Systemen.....	61
Tab. 11 Vergleich der max. TCP-Durchsätze im Fast- und Gigabit-Ethernet in Bezug auf die Medien	83
Tab. 12 Vergleich aktueller Bus- und Punkt-zu-Punkt-Systeme nach [Intel 2003], [SysKonnnect 1999].....	86
Tab. 13 Test 1 Messergebnistabelle für TP	XXI
Tab. 14 Test 1 Messergebnistabelle für LWL.....	XXI
Tab. 15 Test 1 Messergebnistabelle für TPLWL	XXI
Tab. 16 Test 1 Messergebnistabelle für LWLTP	XXII
Tab. 17 Test 2 Messergebnistabelle für TP	XXII
Tab. 18 Test 2 Messergebnistabelle für LWL.....	XXII
Tab. 19 Test 2 Messergebnistabelle für TPLWL	XXIII
Tab. 20 Test 2 Messergebnistabelle für LWLTP	XXIII
Tab. 21 Test 3 Messergebnistabelle für TP	XXIII
Tab. 22 Test 3 Messergebnistabelle für LWL.....	XXIV
Tab. 23 Test 3 Messergebnistabelle für TPLWL	XXIV
Tab. 24 Test 3 Messergebnistabelle für LWLTP	XXIV
Tab. 25 Test 4 Messergebnistabelle für TP	XXV
Tab. 26 Test 4 Messergebnistabelle für LWL.....	XXV
Tab. 27 Test 4 Messergebnistabelle für TPLWL	XXV
Tab. 28 Test 4 Messergebnistabelle für LWLTP	XXVI
Tab. 29 Test 5 Messergebnistabelle für TP	XXVI
Tab. 30 Jumbo-Frame-Test über TP-Direktverbindung	XXVI
Tab. 31 Iperf mit variablem TCP-Fenster in Systemkonfiguration Test 2	XXVII
Tab. 32 Performance-Messung der Festplatte und RAM-Disk	XXVII
Tab. 33 Iperf mit variablem TCP-Fenster, alternative Systeme	XXVII
Tab. 34 Durchsatzmessung und RTT der alternativen Systeme	XXVII

1 Einleitung

Den Anstoß zu dieser Performance-Untersuchung gaben die schnelle Standardisierung des 10-Gigabit-Ethernet und die daraus resultierenden Überlegungen. So stellt sich heute bei der Planung eines lokalen Netzwerks zuerst die Frage nach der gewünschten Geschwindigkeit. Der Ethernet-Standard unterstützt verschiedene Geschwindigkeiten: 10, 100, 1.000 und 10.000MBit/s. Durch die weite Verbreitung des Ethernet entstand in Verbindung mit dem TCP/IP-Protokoll ein Quasi-Standard für die lokale Vernetzung von Computer-Systemen. Wenn nun die Arten der Anbindung von Desktop-Systemen betrachtet wird, stellt sich das Fast-Ethernet als Standardanbindung heraus. Das Gigabit-Ethernet wird dagegen als Backbone-Verbindung zwischen Servern eingesetzt. Ein weiteres Einsatzgebiet des Gigabit-Ethernet ist die schnelle Anbindung von Servern an Fast-Ethernet-Netzwerke. Hierbei sind die Clients per Fast-Ethernet an einen Switch angebunden, wobei die Server eine Gigabit-Ethernet-Verbindung zum Switch besitzen und somit den Datenratenbedarf von mehreren Clients gleichzeitig bedienen können. Die Server selbst besitzen zur Auslastung des Netzwerks spezielle Festplattensysteme (z.B. SCSI-RAID-Systeme), spezielle Peripheral-Component-Interconnect-Bussysteme (z.B. PCI-X mit 66MHz oder PCI Express) und dazu passende Netzwerkkarten. Da die Standardisierung des 10-Gigabit-Ethernet durch die 10GE Task Force vorangetrieben wurde, konnte 2002 der 10-Gigabit-Ethernet-Standard veröffentlicht werden. Somit wird in Zukunft das 10-Gigabit-Ethernet das Gigabit-Ethernet als Backbone-Netz ablösen. Laut einer Studie des Marktforschungsunternehmens IDC (International Data Corporation) stieg der Anteil an Gigabit-Ethernet-Ports im Vergleich zu Fast-Ethernet-Ports von 46,2% im letzten Jahr auf 52,3% in diesem Jahr an. Das Umsatzvolumen mit Gigabit-Switches stieg um 37,5%, siehe [c't 06/2004]. Dieser Umstand deutet auf einen wachsenden Markt bei der Vernetzung mit Hilfe von Gigabit-Ethernet-Komponenten hin.

Mit der steigenden Leistungsfähigkeit von Desktop-Systemen ergibt sich auch eine Steigerung des Datenratenbedarfs dieser Systeme. Die Firmen wünschen sich, durch die stetig sinkenden Kosten für Gigabit-Ethernet-Komponenten, auch den Einsatz in Desktop-Systemen und somit eine unternehmensweite Gigabit-Ethernet-Anbindung im Netzwerk. Ein weiterer wichtiger Punkt aus Sicht der Unternehmen ist die Migration des Gigabit-Ethernet in einem bestehenden Fast-Ethernet. Diese Arbeit liefert eine Antwort darauf, ob eine solche Aufrüstung der Desktop-Systeme mit einer Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte aus der Performance-Sicht sinnvoll ist.

Die Performance-Untersuchung soll verschiedene Fragen zur Verbindung von Desktop-Systemen mittels Gigabit-Ethernet beantworten. Es soll geprüft werden, ob es mit einem Standard-Desktop-System möglich ist, ein Gigabit-Ethernet auszulasten. Wenn dies nicht möglich ist, werden Optimierungen am Betriebssystem bzw. der Hardware durchgeführt und durch Tests deren Wirksamkeit überprüft. Für die Untersuchungen werden verschiedene Werkzeuge eingesetzt, die im Anschluss an die Messungen anhand der Messergebnisse bewertet werden. Im Voraus werden geeignete Untersuchungsverfahren zur Bewertung der Gesamt- und der Netzwerkleistung im Besonderen entwickelt. Die Ergebnisse aus der Performance-Untersuchung sollen die Desktop-Systeme in Bezug auf deren Gigabit-Ethernet-Performance bewerten und diese optimieren. Für die Untersuchungen werden nicht nur verschiedene Messwerkzeuge (Software) eingesetzt, sondern auch anwendungsnahe Dateiübertragungen betrachtet. Anschließend sollen die Ergebnisse helfen, die richtigen Optimierungen vorzuschlagen.

Die Bachelorarbeit gliedert sich in einen Grundlagen- und einen Praxisteil. Im Grundlagenteil wird die Entstehung des Ethernet erläutert und auf die Unterschiede der verschiedenen Ethernet-Standards eingegangen. Zusätzlich werden die höheren Protokolle, die bei der Performance-Untersuchung zum Einsatz kamen, erläutert. Darauf folgt der praktische Teil, der sich mit der Entwicklung, Dokumentation, Durchführung und Auswertung der Performance-Untersuchung beschäftigt. Zur vollständigen Dokumentation der Untersuchung beschreibt ein Kapitel die untersuchten Hard- und Software-Komponenten der Desktop-Systeme. Im darauf folgenden Kapitel werden die Testverfahren entwickelt und definiert, um eine reproduzierbare und nachvoll-

ziehbare Performance-Untersuchung zu gewährleisten. Abgeschlossen wird die vorliegende Arbeit mit der praktischen Durchführung und Auswertung der Performance-Untersuchung und weiterführenden Optimierungsvorschlägen für die untersuchten Desktop-Systeme.

2 Grundlagen

2.1 Geschichte des Ethernet

Die Geschichte des Ethernet begann 1969, als der damalige Student Robert Metcalf im Auftrag der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) einen Host-Interface-Controller mit 300 KBit/s Übertragungsrate entwickeln sollte. Dieser Controller leistete zwar keine 300 KBit/s, aber zum ersten Mal gelang die hardwareseitige Anpassung von Wortlängen, was damals ein großes Problem darstellte. Am 22. Mai 1973 arbeitete Robert Metcalf – inzwischen Diplom-Informatiker – beim Palo Alto Research Center (PARC), und präsentierte die Skizze des ersten Ethernet-Entwurfs, siehe Abb. 1. Dieser Tag gilt als Geburtstag des Ethernet.

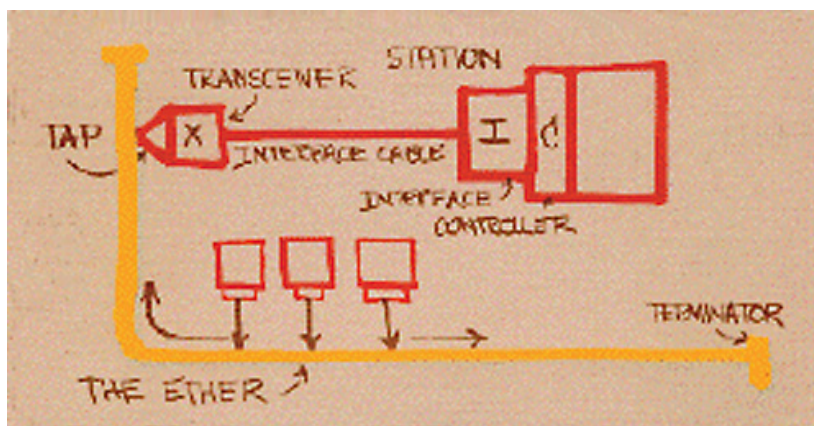


Abb. 1 Skizze von Robert Metcalf, aus c't 3/2002

1976 wurde dieses Verfahren erstmals auf einer Computerkonferenz der Öffentlichkeit vorgestellt. Der Host-Interface-Controller arbeitete mit einer Datengeschwindigkeit von 3MBit/s und war zehnmal so schnell wie das gesetzte Ziel im Jahre 1969. Im Februar 1979 einigten sich Robert Metcalf und Gordon Bell von Digital Equipment Corporation (DEC) darauf, das Ethernet zu einem LAN-Standard (Local Area Network) weiterzuentwickeln. Daraufhin begann das Firmenkonsortium aus DEC, Intel und Xerox (DIX) mit ihrer Zusammenarbeit und veröffentlichte im Jahre 1980 die Spezifikation der ersten Ethernet-Version (Ethernet Version 1). Das IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) nahm den Vorschlag der DIX-Gruppe auf und übergab die weltweite Standardisierung an die 802.3 Arbeitsgruppe. 1982 wurde der erste Entwurf der 802.3 Arbeitsgruppe zum CSMA/CD-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) veröffentlicht (10Base5). Daraufhin machte die DIX-Gruppe die Spezifikationen für die zweite Version des Ethernet (Ethernet V.2) publik, welche als Anpassung von Ethernet V.1 an den Entwurf des IEEE gilt. Nach der Veröffentlichung des CSMA/CD-Verfahrens wurde innerhalb der 802.3 Arbeitsgruppe des IEEE mit der Arbeit am Cheapernet-Standard (10Base2) begonnen, um günstigere Übertragungsmedien für das Ethernet nutzbar zu machen. Im Jahr 1984 wurde parallel am Ethernet-over-Broadband (10Broad36) und an der StarLAN-Spezifikation (10Base5) gearbeitet. Im selben Jahr schrieben amerikanische Forscher einen RFC (Request for Comment), welcher die Anpassung des TCP/IP-Protokolls an das Ethernet beschrieb (RFC 894: Standard for transmission of IP datagrams over Ethernet networks), siehe [RFC 894]. Durch das TCP/IP wurde der Ethernet-Standard noch populärer. Im Jahre 1985 wurde der 802.3 Draft-Standard von der IEEE und dem American National Standards Institute (ANSI) ratifiziert. Ebenfalls 1985 hatten weltweit über 100 Firmen eine Ethernet-Lizenz erworben und entwickelten und verkauften Ethernet-Komponenten.

Im Jahre 1986 wurden die endgültigen Standards für 10Base2 und 10Broad36 von der IEEE veröffentlicht, woraufhin 1987 die Arbeit am 10BaseT Standard durch die IEEE 802.3i Arbeitsgruppe begann. Dieser Standard sollte die Ethernet-Kommunikation über Vierdraht-Leitungen

ermöglichen und die Topologie des Ethernet von einem physikalischen Bus in einen logischen Bus mit strukturierter sternförmiger Verkabelung transformieren. Zwei Jahre später startete die Arbeit der IEEE am 10BaseF Standard, welcher zusätzlich die Kommunikation über Lichtwellenleiter ermöglichen sollte.

1990 wurde der IEEE 802.3 Standard auch von der International Standard Organisation (ISO) definiert, vgl. ISO/IEC 8802-3. Im Jahre 1991 wurde der endgültige 10BaseT Standard und zwölf Monate später der endgültige 10BaseF Standard fertig gestellt.

Im selben Jahr verkündeten Hewlett-Packard und AT&T Microsystems, dass sie an der Entwicklung einer 100MBit/s schnellen Ethernet-Version über Twisted-Pair-Leitungen (TP-Leitungen) arbeiten, das Fast-Ethernet. Dieser schnelle Standard wurde 1995 von der IEEE 802.3u Arbeitsgruppe als 100BaseX Standard veröffentlicht.

Im Jahre 1996 gründete die IEEE die 802.3z Arbeitsgruppe, welche sich um die Standardisierung eines Gigabit-Ethernet kümmern sollte. Gleichzeitig wurde eine neue IEEE 802.3ab Arbeitsgruppe gegründet, welche die Übertragung von Gigabit-Ethernet über TP-Leitungen standardisieren sollte. Durch das große Interesse des Marktes und der Hersteller an einer schnellen Ethernet-Version wurde der 802.3z Standard schon im Jahre 1997 als Draft-Standard vorgelegt und im darauf folgendem Jahr wurden die ersten endgültigen Standards veröffentlicht: 1000BaseSX und 1000BaseLX ermöglichen die Kommunikation über Lichtwellenleiter mit einer Geschwindigkeit von 1000MBit/s. Erst im Jahre 1999 wurde der 1000BaseT Standard veröffentlicht, welcher die Übertragung des Gigabit-Ethernet über TP-Leitungen ermöglicht.

Im Jahre 2002 wurde der bislang letzte IEEE Ethernet-Standard veröffentlicht: 10-Gigabit-Ethernet (10GE). [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.2 Ethernet-Standard

2.2.1 IEEE 802.3 und 802.2 Standard

Der Ethernet-Standard der IEEE Arbeitsgruppe von 1984 (802.3 CSMA/CD) definiert die Protokollarchitektur und die physikalischen Eigenschaften der unteren beiden Schichten des OSI-Referenzmodells [Siegmund 2002, S. 263 ff], der Bitübertragungs- und der Sicherungsschicht, vgl. Abb. 2 und [Kauffels 2000, S. 371ff]. Der IEEE 802.3 Standard legt den CSMA/CD-Mechanismus als Zugriffsverfahren auf das Netzwerk fest. Der ursprüngliche IEEE 802.3 Standard (10Base5) definiert für die physikalische Schnittstelle nur Bayonet-Navy-Connectory-Koaxialkabel (BNC, mit 50 Ohm) als Übertragungsmedium. Der später eingeführte IEEE 802.3a Standard (10Base2) spezifiziert ein preisgünstiges BNC-Koaxialkabel mit einer vereinfachten Anschluss Technik, um das Ethernet preislich und konfigurationstechnisch attraktiver zu machen. Die 802.3a Netzwerktopologie ist infolgedessen ein Bus mit einer Datenrate von 10MBit/s. Die Signalisierung läuft wie die gesamte Kommunikation im Basisband ab. An dieser Stelle eine kurze Erklärung der benutzten Bezeichnungen: IEEE 802.3 benennt den Ethernet-Standard und 10Base2 die physikalische Schicht. In 10Base2 steht die 10 für die Geschwindigkeit von 10MBit/s, das Wort Base für das Basisband und die 2 für die verwendete Kabelvariante (BNC, Cheapernet). Der IEEE 802.3 Ethernet-Standard besteht aus den folgenden Schichten, vgl. Abb. 2:

- Medium Access Control (MAC)
- Physical Layer Signalling (PLS)
- Attachment Unit Interface (AUI)
- Medium Dependent Interface (MDI)
- Physical Medium Attachment (PMA)

Im IEEE 802.2 Standard wird die Logical Link Control Schicht (LLC) beschrieben, welche im

Regelfall als Software im Treiber der Netzwerkkarte implementiert ist. Die Aufgabe der LLC-Schicht ist die Verbindungskontrolle, wozu sie der überlagerten Schicht drei Diensttypen zur Verfügung stellt, vgl. Abb. 2:

- Nichtbestätigter verbindungsloser Dienst (LLC Typ 1)

Dieser Diensttyp ermöglicht den Kommunikationspartnern den Austausch von Nachrichten der Vermittlungsschicht, ohne vorher eine Verbindung der Sicherungsschicht aufzubauen. Der Austausch der unbestätigten Datagramme kann über Punkt-zu-Punkt, Punkt-zu-Multipunkt oder Broadcasts erfolgen.

- Verbindungsorientierter Dienst (LLC Typ 2)

Der nächste Diensttyp bietet Möglichkeiten, um logische Verbindungen der Sicherungsschicht einzurichten, zu betreiben und auszulösen. Der Aufbau von Verbindungen wird von der überlagerten Schicht angefordert. Darüber hinaus leistet dieser Diensttyp eine Flusskontrolle, das Sequencing und das Wiederaufsetzen nach einem Fehler.

- Bestätigter verbindungsloser Dienst (LLC Typ 3)

Der letzte Diensttyp bietet analoge Dienste zu Typ 1, jedoch zusätzlich mit Empfangsbestätigungen auf der Vermittlungsschicht.

Die Verbindungen der LLC-Schicht werden zwischen den jeweiligen Service Access Points (SAP) der kommunizierenden Dienste eingerichtet. Das Protokoll der LLC-Schicht ist ein HDLC-Protokoll (High Level Data Link Control, siehe [Siegmond 2002, S.]) und besitzt einen Header, der aus DSAP (Destination SAP, 1Byte), SSAP (Source-SAP, 1Byte) und dem Control-Feld (1 oder 2Byte) zusammengesetzt ist.

Die einzelnen Schichten des IEEE 802.3 Standards werden später näher beschrieben. Die Abb. 2 ordnet den IEEE 802.3 Standard in das OSI-Referenzmodell ein.

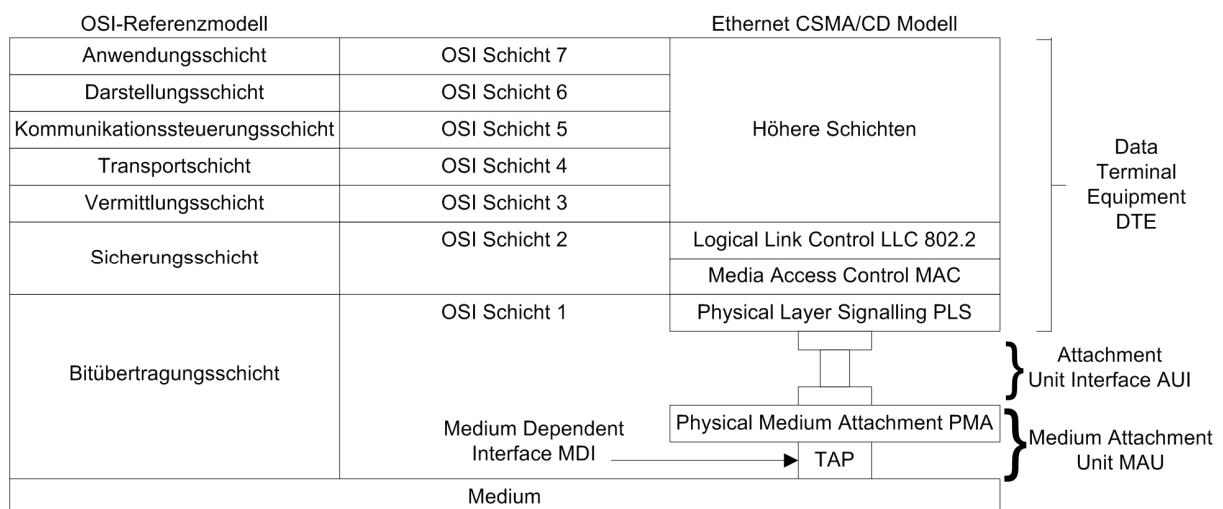


Abb. 2 Ethernet im OSI-Referenzmodell nach [Hein 1998], [IEEE 802.3]

Ein weiterer Bestandteil des Ethernet-Standards ist die Ethernet-Rahmenstruktur, welche den Einsatz des CSMA/CD-Mechanismus im Ethernet erst ermöglicht und indirekt die Topologie des Ethernet vorgibt. [IEEE 802.3], [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.2.2 Die IEEE 802.3 Rahmenstruktur

Ein Ethernet-Paket beginnt immer mit der Preamble, welche für jeden Ethernet-Rahmen gleich ist und aus acht Byte besteht. Die ersten sieben Byte der Preamble werden immer nach dem

Bitmuster 10101010 codiert, wobei das letzte Byte – auch als ‚start of frame delimiter‘ bezeichnet – immer als 10101011 codiert wird.

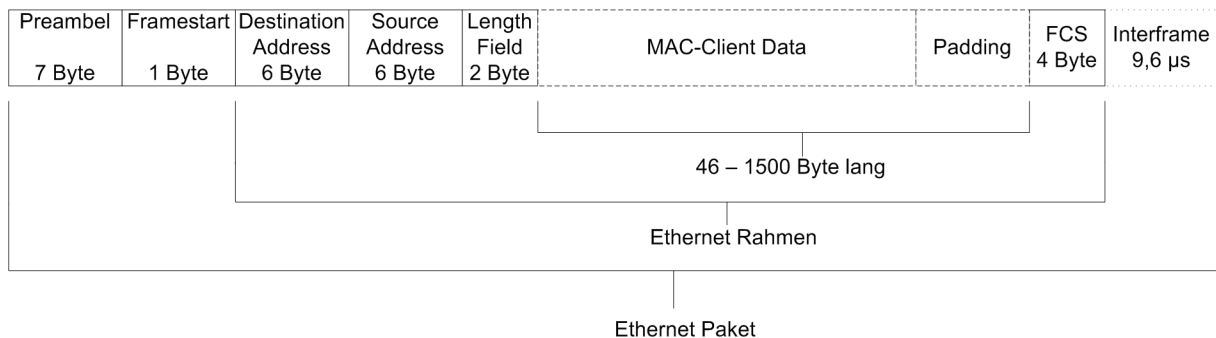


Abb. 3 IEEE 802.3 Rahmenstruktur nach [IEEE 802.3]

Die Preamble wird zum Synchronisieren der Kommunikationspartner eingesetzt. Dazu wird das empfangene Signal mit der Manchesterkodierung übertragen, wodurch es dem Empfänger möglich ist, ohne Synchronisationstakt den Takt des Senders aus dem Signal zurückzugewinnen. Jedes Bit wird dazu in zwei gleichlange Spannungszustände aufgeteilt: Ein 1-Bit ist durch den Übergang von einer hohen zu einer niedrigen Spannung kodiert, ein 0-Bit genau umgekehrt. Diese Manchesterkodierung wird auch als Bit-Synchronisation bezeichnet. Im Falle des IEEE 802.3 Ethernet wird für die hohe Spannung ein Wert von +0.85V und für die niedrige Spannung ein Wert von -0.85V genutzt.

Die Felder Destination- und Source-Address sind Empfänger- und Absenderadressen des Ethernet-Rahmens und beinhalten die MAC-Adresse des Ethernet-Netzwerk-Interfaces vom Empfänger bzw. Sender. Jedes Ethernet-Interface erhält bei der Herstellung eine weltweit eindeutige MAC-Adresse. Diese ist 6Byte lang und besteht aus dem Universal-/Local-Bit, dem Individual-/Group-Bit, der Herstellerkennung und einer herstellerspezifischen Kennung für das Netzwerk-Interface. Eine wichtige Besonderheit stellt die Broadcast-Adresse – eine Folge von Einsen – als Zieladresse dar. Damit ist es dem Sender möglich, alle an das LAN angeschlossene Ethernet-Interfaces anzusprechen. Weiterhin ist mit Hilfe des Adress-Resolution-Protokolls (ARP), ohne Kenntnis der MAC-Adresse, mit anderen Ethernet-Interfaces zu kommunizieren.

Das MAC-Client-Data-Feld besteht aus den Daten der überlagerten LLC-Schicht und kann zwischen 0 und 1.500Byte groß sein. Falls die LLC-Daten kleiner als 46Byte sind, wird durch das Einfügen von Füllbits in das Padding-Feld sichergestellt, dass ein Ethernet-Paket immer mindestens 72Byte lang ist bzw. ein Ethernet-Rahmen 64Byte. Diese Eigenschaft ist essentiell für die Funktion des CSMA/CD-Verfahrens, um Kollisionen zu erkennen.

Abgeschlossen wird jeder Ethernet-Rahmen mit der so genannten Frame-Check-Sequence (FCS), in der ein 32Bit langer Hashwert über die Daten des Rahmens enthalten ist. Die Auswertung der FCS wird vor der Verarbeitung des Rahmens initiiert und bei einer fehlerhaften FCS der Rahmen direkt verworfen. Wenn von einem Ethernet-Rahmen gesprochen wird, meint dies ein Ethernet-Paket ohne die Preamble. Ein Ethernet-Paket beschreibt das Gesamtkonstrukt aus Rahmen und Preamble, vgl. Abb. 3.

Somit ergibt sich die Länge eines gültigen Ethernet-Rahmens zwischen 64 und 1.518Byte. Die maximale Länge eines Ethernet-Pakets beträgt 1.526Byte und die minimale Länge 72Byte. Der Abstand zwischen zwei Ethernet-Paketen auf der Leitung muss mindestens 9,6 µs betragen (Interframe), was 512 Bitzeiten entspricht. [Kauffels 2000], [IEEE 802.3]

2.2.3 Medium Access Control (MAC)

Die MAC-Subschicht steuert den Zugriff auf das Medium. Dazu wurden verschiedene Aufgaben

in der MAC-Subschicht implementiert; diese sind:

- Die Umsetzung des CSMA/CD-Verfahrens
- Das Auswerten der Zieladressen, um Pakete an andere Empfänger frühzeitig verwerfen zu können
- Die Checksummenbehandlung (überprüfen, generieren), zum korrekten Empfangen und Senden von Ethernet-Rahmen
- Das Entfernen der Preamble und des Start-Frame-Delimiter
- Das Einbinden bzw. Entfernen von Quell- und Zieladresse und des Längensfeldes
- Eventuelles Padding der Daten

Darüber hinaus besitzt die MAC-Subschicht Funktionen zum Empfangen und Weiterreichen von Daten aus bzw. an die LLC-Schicht. Es folgt eine kurze Erläuterung zum CSMA/CD-Verfahren.

CSMA/CD steht für ‚Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection‘ und ist das im Ethernet-Standard benutzte Mediumzugriffsverfahren. Die folgende Abb. 4 stellt das CSMA/CD-Verfahren in einem Ablaufplan zusammen:

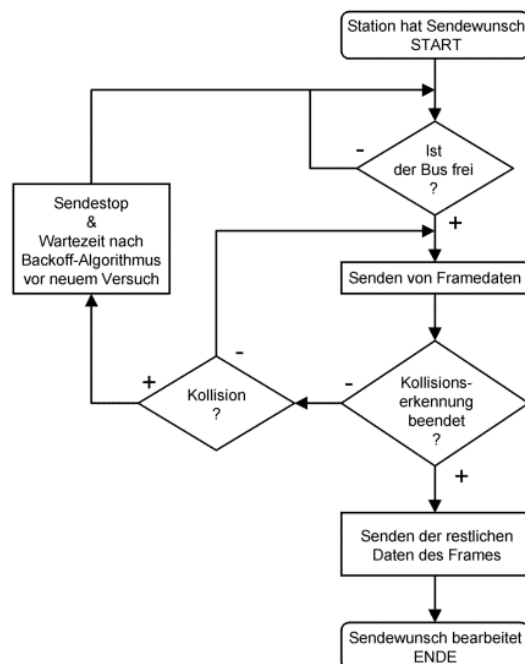


Abb. 4 Das CSMA/CD-Zugriffsverfahren, [Grupp 1999]

Eine sendewillige Station muss das Medium abhören und darf nur bei einem freien Medium senden (Carrier-Sense). Im Ethernet sind alle Stationen gleichberechtigt, müssen aber um den Zugriff auf das Medium konkurrieren (Multiple-Access). Wenn das Medium belegt ist, muss die Station warten und kann es darauf erneut versuchen. Beim Senden muss eine Station die gesendeten Signale abhören, um Kollisionen erkennen zu können (Collision-Detection), die durch den gleichzeitigen Start zweier Sendungen entstehen können. Eine Kollision wird erkannt, wenn die gesendeten und empfangenen Signale verschieden sind. Daraufhin wird die Sendung sofort abgebrochen und ein Jam-Signal ausgesendet. Durch dieses Signal werden alle anderen Stationen über die Kollision informiert und müssen ihre Sendungen ebenfalls abbrechen. Nachdem eine Kollision erkannt wurde, wird nach dem Backoff-Algorithmus eine zufällig ausgewählte Zeit gewartet und ein neuer Versuch gestartet. Beim CSMA/CD-Verfahren handelt es sich um ein nichtdeterministisches Verfahren, da nach fünfzehn Wiederholungen ein Fehler an die überla-

gerte Schicht gemeldet wird und der Ethernet-Rahmen nicht gesendet werden kann. [Kadambi 1998], [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.2.4 Physical Layer Signalling (PLS)

Die PLS-Subschicht ist ein Teil der Bitübertragungsschicht im Ethernet und befindet sich unterhalb der MAC-Subschicht im OSI-Referenzmodell, welcher sie fünf Funktionen anbietet: Die ersten beiden Funktionen realisieren die Umkodierung der empfangenen bzw. zu sendenden Daten. Die Daten der MAC-Subschicht werden zum Senden in die Manchesterkodierung und zum Empfangen von der Manchesterkodierung in das ‚Non-Return-to-Zero‘-Format (NRZ) überführt, welches von der MAC-Subschicht benutzt wird. Die dritte Funktion der PLS-Subschicht ist das Carrier-Sense. Mit Hilfe dieser Funktion kann die MAC-Subschicht das Medium abhören bzw. prüfen ob eine Kollision vorliegt. Die Error-Sense-Funktion ist die vierte Funktion der PLS, mit deren Hilfe die MAC-Subschicht über den aktuellen Zustand des Ethernet-Interfaces informiert wird (Connected, Operational). Im IEEE 802.3 Standard existiert noch eine fünfte Funktion: Der Monitor-Modus, mit dem es möglich ist, alle Ethernet-Rahmen im Netzwerk zu empfangen und auszuwerten. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000], [Kadambi 1998]

2.2.5 Attachment Unit Interface (AUI)

Das AUI stellt einen Übertragungsweg von der PLS-Subschicht zur Medium Attachment Unit zur Verfügung. Diese Funktion wird nur benötigt, wenn das Data Terminal Equipment (DTE) über keinen integrierten Transceiver verfügt. Der Transceiver kann mit einem speziellen Transceiverkabel (15-pin D-Type) über eine Entfernung von maximal 50 Metern angeschlossen werden. Die Daten werden von der PLS manchesterkodiert geliefert und nur an den Transceiver übertragen. Für die Übertragung der Signale wird jeweils ein Leitungspaar für das Senden (DataOut, DO), das Empfangen (DataIn, DI) und das Controlling (Controlln, CI) bereitgestellt. So kann der Sender während der Übertragung das Medium über DI abhören. Das AUI sichert die Spannungsversorgung des Transceivers mit 12 Volt Gleichspannung. [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.2.6 Medium Attachment Unit (MAU)

Die MAU stellt eine funktionale, elektrische und mechanische Schnittstelle zwischen dem DTE, bestehend aus MAC, PLS und AUI, und dem verwendeten Medium zur Verfügung. Ein Vorteil der Schichteneinteilung ist, dass nur die MAU angepasst werden muss, um ein anderes Medium zu unterstützen. Die anderen Schichten können unverändert weiter benutzt werden, da diese unabhängig vom verwendeten Medium sind.

Es werden verschiedene Funktionen von der MAU zur Verfügung gestellt, welche den Transport der Daten vom oder ins Netzwerk bearbeiten. Sie bietet eine Loopback- und eine SQE-Testfunktion (Signal Quality Errors Testfunktion), mit deren Hilfe das Ethernet-Interface die Linkqualität beurteilen und kleinere Tests durchführen kann. Eine weitere Funktion ist die Jabber-Funktion, welche verhindern soll, dass eine Ethernet-Station am Netzwerk nicht mehr aufhört zu senden. Dazu verursacht die Jabber-Funktion nach einer bestimmten Zeitspanne eine künstliche Kollision, um so die sendende Anwendung zu unterbrechen.

Die Collision Detection ist die letzte vorgestellte Funktion der MAU, welche der PLS eine erkannte Kollision mit Hilfe eines 10MHz Signals über die AUI-CI signalisiert, vgl. Kapitel 2.2.5. Die zur Kollisionserkennung nötigen Algorithmen sind je nach verwendetem Medium verschieden.

Mit der Einführung des 10BaseT Standards (IEEE 802.3i) wurde die MAU in zwei weitere Subschichten aufgeteilt: Das Physical Medium Attachment (PMA) und das Medium Dependent In-

terface (MDI). Diese Unterteilung wurde aufgrund der mit TP-Kabeln möglichen strukturierten Verkabelung durchgeführt. So kann der Ethernet-Standard leicht um moderne Übertragungskodierungen, Übertragungssysteme und neue Übertragungsmedien erweitert werden. Das MDI ist die physikalische Schnittstelle zum Medium, welches über die Physical Media Dependent (PMD) angeschlossen wird.

Mit der Einführung des 10BaseT wurde im Ethernet auch der Voll-Duplex-Betrieb möglich. Das bedeutet gleichzeitiges Senden und Empfangen über ein TP-Kabel, dazu wird jeweils ein Adernpaar des TP-Kabels benutzt, siehe auch Abb. 2. [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.3 Fast-Ethernet-Standard

2.3.1 IEEE 802.3u Standard

Der Fast-Ethernet-Standard (100BaseTx/Fx/T4) erhöht die Datenrate bzw. Bandbreite des Standard-Ethernet von 10MBit/s auf 100MBit/s. Er besteht aus einer Kombination der Verfahren aus dem IEEE 802.3 Standard und Teilen der FDDI-Technologie (Fiber Distributed Data Interface), siehe Kapitel 2.3.5.1. Der IEEE 802.3u Standard unterstützt auf der physikalischen Ebene die Verwendung von Shielded TP-Kabeln (STP-Kabeln Cat. 5 bei 100BaseTx) und Unshielded TP-Kabeln (UTP-Kabeln Cat. 3 bei 100BaseT4). Weiterhin wird die Verwendung von Lichtwellenleitern (100BaseFx) unterstützt. Nähere Informationen zu den verschiedenen Kabeltypen werden in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 gegeben. Bei der Definition des Fast-Ethernet-Standards wurde auf die Abwärtskompatibilität zu den 10Base Standards geachtet, obwohl keine Koaxialkabel mehr unterstützt werden. Die Topologie eines Fast-Ethernet-Netzwerks ist daher immer sternförmig.

Die wichtigsten Eckdaten des IEEE 802.3u Standards, wie das Paketformat, die minimale bzw. maximale Rahmenlänge (64Byte, 1.518Byte) und der Ethernet-Paketabstand (Interframe minimal $0,96 \mu\text{s} = 512 \text{ Bitzeiten}$) blieben wegen der Abwärtskompatibilität unverändert. Im Fast-Ethernet-Standard wurde eine Änderung vorgenommen: Das Ende eines Fast-Ethernet-Rahmens wird mit Hilfe des TX_EN-Signals (Transmit Enable) angezeigt und als End-Of-Frame-Delimiter (EFD) bezeichnet. Wenn keine Daten folgen wird zusätzlich das RX_DV-Signal (Receive Data Valid Signal) zurückgesetzt.

Somit ergeben sich einige Änderungen zum IEEE 802.3 Standard:

- Ausschließlich sternförmige Topologie mit TP-Kabeln oder Lichtwellenleitern möglich
- Hub- oder Switch-Einsatz
- Voll-Duplex-Übertragung mit Flusskontrolle beim Switch-Einsatz, kein CSMA/CD
- Einfügen eines Reconciliation Layer statt der PLS
- Das Media Independent Interface (MII) ersetzt die AUI
- Physical Coding Sublayer und Physical Media Dependent bilden mit der PMA einen
- neuen Physical Layer (PHY)
- Einführung des Auto-Negotiation-Prozess'

Die folgende Abb. 5 ordnet den IEEE 802.3u Standard (100BaseTx/Fx/T4) in das OSI-Referenzmodell ein und zeigt den Aufbau der Fast-Ethernet-Schichten.

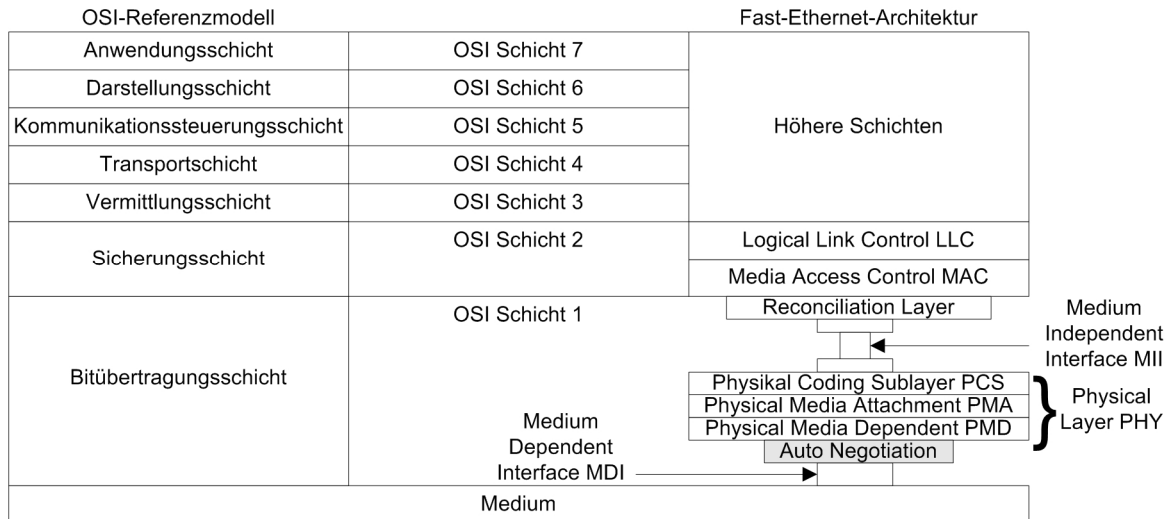


Abb. 5 Fast-Ethernet im OSI-Referenzmodell nach [Hein 1998], [IEEE 802.3]

Im Vergleich mit Abb. 2 sind die Unterschiede der Schichteneinteilung zum Ethernet-Standard erkennbar. Im Folgenden wird genauer auf die Aufgaben der Schichten eingegangen. Zuerst wird jedoch die Fast-Ethernet-Rahmenstruktur betrachtet. [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.3.2 Die IEEE 802.3u Rahmenstruktur

Die Ethernet-Rahmen wurden ohne jede Änderung aus dem IEEE 802.3 Standard übernommen. Dies ist in der folgenden Abb. 6, im Vergleich mit Abb. 3, zu erkennen.

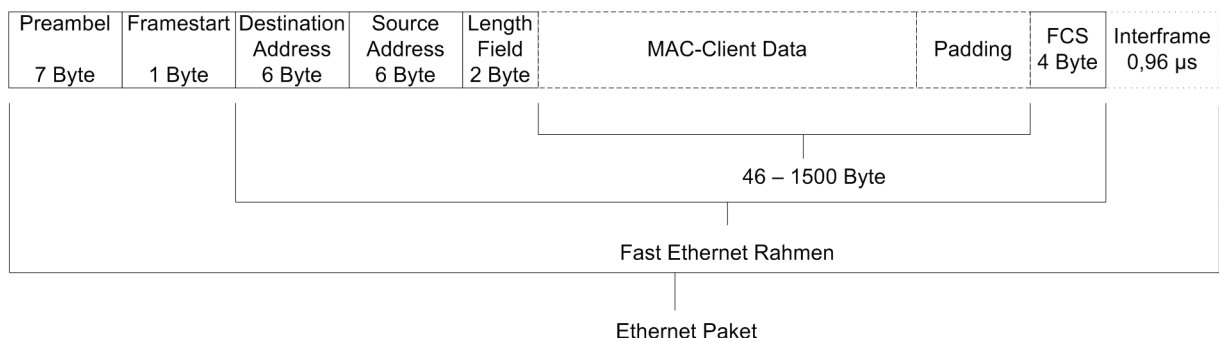


Abb. 6 IEEE 802.3u Fast-Ethernet-Rahmen nach [IEEE 802.3]

Somit sind alle in Kapitel 2.2.2 genannten Eckdaten des Ethernet-Standards auch auf den Fast-Ethernet-Standard anwendbar. Die Verkürzung des Interframe ist auf die verzehnfachte Datenübertragung zurückzuführen und entspricht wie im IEEE 802.3 Standard 512 Bitzeiten.

2.3.3 Reconciliation Layer

Der Reconciliation Layer bildet zusammen mit dem MII die logische Schnittstelle zwischen der MAC-Subschicht und der PHY. Der Reconciliation Layer hat dabei die Aufgabe der MAC-Subschicht eine logische Schnittstelle zum MII zur Verfügung zu stellen und wandelt die PLS-Dienstprimitive der MAC-Subschicht in MII-Signale um. Es bestand keine Notwendigkeit Änderungen an der MAC-Subschicht vorzunehmen, weil die Signale der unteren Schichten vom Reconciliation Layer umgewandelt und angepasst an die MAC-Subschicht weitergegeben werden. Da die Manchesterkodierung nicht mehr zur Kommunikation der MAC-Subschicht mit der MAU

eingesetzt werden kann, wurde diese Schicht eingefügt, weil sonst zu hohe Taktraten generiert würden. Weiterhin ermöglicht der Reconciliation Layer verschiedene Datenraten zu unterstützen und diese dynamisch auszuhandeln. [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.3.4 Media Independent Interface (MII)

Das MII ist das logische Äquivalent zur AUI im IEEE 802.3 Ethernet-Standard. Es wurde an die Anforderungen des schnelleren IEEE 802.3u Standards angepasst. Die Änderungen umfassen zum einen die Verbreiterung des Datenpfades von 6 Adernpaaren beim AUI, auf 18 Adern beim MII und zum anderen wird eine neue Kodierung verwendet, der Nibble-Wide-Datapath. Beim MII wird nicht mehr die Manchesterkodierung des AUI benutzt, sondern mit Hilfe eines Taktes ein Nibble (4Bit) parallel übertragen. Der Takt, mit dem die Daten übertragen werden, ist entweder 25 MHz bei 100MBit/s Fast-Ethernet oder 2,5 MHz/s bei 10MBit/s Ethernet.

Um ihre Aufgaben zu erfüllen wurden eine Reihe MII-Signale definiert, mit deren Hilfe es dem DTE ermöglicht wird, mit der PHY zu kommunizieren:

- Transmit/Receive-Clock (TX_CLK, RX_CLK)
- Transmit-Enable/Data/Coding Error (TX_EN, TXD, TX_ER)
- Receive-Data/Data-Valid/Error (RXD, RX_DV, RX_ER)
- Carrier-Sense (CRS)
- Collision-Detected (COL)
- Management-Data-Clock bzw. Data-Input/Output (MDC, MDIO)

Die MII bietet der MAC bzw. der PHY Funktionen zum Senden und Empfangen von Signalen, zum Abfragen des Netzwerkstatus (Kollisionserkennung, Carrier-Sense), zum Management des Taktes, Data-In- und Data-Out-put, und zur Linkanzeige an.

So können die Management-Informationen der PHY mit Hilfe der MII-Signale über die MII an das DTE weitergegeben werden und umgekehrt. Die Management-Informationen werden in den Management-Registern abgelegt und können von der Management-Entität abgefragt werden. Die Management-Entität ist laut IEEE Standard oberhalb der MII-Schicht zu implementieren und wird meist als Software im Treiber des NIC (Network Interface Controller) integriert. Die Definitionen der Register können dem IEEE Standard 802.3u von 1995 entnommen werden, vgl. [Kadambi 1998] S.106. Mit Hilfe der MII-Management-Register kann z.B. die Übertragungsrate und der Voll- oder Halb-Duplex-Modus konfiguriert werden, siehe [Kauffels 2000], [Hein 1998].

2.3.5 Physical Layer (PHY)

2.3.5.1 Physical Coding Sublayer (PCS)

Die PCS grenzt direkt an die MII-Schicht und ist die oberste Subschicht der PHY. Sie unterstützt alle oben genannten MII-Signale. Wie anfangs bereits erwähnt, wurden an dieser Stelle Teile der FDDI-Technologie in den IEEE 802.3u Ethernet-Standard eingebracht. Die Definition des FDDI ist im ISO 9314-1 Standard beschrieben. Dies betrifft insbesondere das 4B/5B-Kodierungsverfahren bei 100BaseTX und FX. Die PCS kodiert die Nibble der MII-Schicht mit Hilfe einer Kodetabelle in 5Bit-Symbole, welche über das Medium gesendet werden, vgl. [Hein 1998 S. 128]. Das heißt, dass für die 16 möglichen Datensymbole aus der MII-Schicht nun 32 Datensymbole für die Kodierung zur Verfügung stehen. Aus diesen 32 Symbolen wurden 16 für die Daten ausgewählt. Bei der Auswahl der Symbole wurde auf die Gleichstromfreiheit des Übertragungsmediums geachtet. Aus den verbleibenden 16 Symbolen wurden weitere 5 Symbole für die Steuerung definiert. Die restlichen Symbole wurden als INVALID gekennzeichnet und zur Fehlererkennung und Überwachung der Qualität der Übertragungsstrecke genutzt. Bei der Ent-

wicklung des 4B/5B-Blockcodes wurde auf die Lauflängenlimitierung geachtet. Das heißt, dass immer gewährleistet ist, dass bei einer beliebigen Kombination von Kodeworten nie mehr als eine maximale Anzahl aufeinander folgender Einsen oder Nullen gesendet werden. Somit wird sichergestellt, dass im übertragenen Signal immer genügend Taktinformationen enthalten sind. [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.3.5.2 Physical Media Attachment (PMA)

Bei der PMA handelt es sich um die mittlere Subschicht der PHY, welche die Aufgabe hat, die Signale der PCS in einen seriellen Non-Return-to-Zero/Insert-Bitstrom (NRZI) zu wandeln und dann zu senden. Für den Empfang von Signalen extrahiert die PMA die Taktinformationen aus dem Signal und bewertet die Qualität des Signals (Carrier-Detect). Danach wird das Signal, welches in serieller NRZI-Kodierung ankommt, noch in die 4B/5B-Kodierung umgewandelt und an die überlagerte Schicht weitergereicht. Darüber hinaus beinhaltet die PMA noch zwei weitere Funktionen: Der Link-Monitor überwacht die Zuverlässigkeit des Empfangskanals und setzt den Linkstatus auf On oder Off. Die Far-End-Fault-Detect-Funktion überwacht den empfangenen Bit-Strom und erkennt ob der Linkpartner Fehler festgestellt hat. [Kauffels 2000], [Hein 1998]

2.3.5.3 Physical Media Dependent (PMD)

Die PMD ist die unterste Subschicht der PHY im OSI-Referenzmodell. Sie ist für die Umsetzung der Signale des PMA in optische bzw. elektrische Signale zur Übertragung auf dem angeschlossenen Medium zuständig. Der 100BaseX Standard teilt die PMD in Fast-Ethernet über TP (100BaseTx) und Fast-Ethernet über LWL (100BaseFx) auf, wobei der 100BaseT4 Standard diese Schicht nicht benutzt. Für die Voll-Duplex-Unterstützung ist diese Schicht so ausgelegt, dass je ein Adernpaar bzw. Glasfaser zum Senden und Empfangen genutzt wird. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.3.6 Auto-Negotiation-Prozess

Der Auto-Negotiation-Prozess bezeichnet das automatisierte Aushandeln der Übertragungsparameter, wie z.B. Voll- oder Halb-Duplex oder die Übertragungsgeschwindigkeit. Im IEEE 802.3u Standard wird dieses Verfahren nur für die TP-Kabel spezifiziert (10BaseT, 100BaseTx und 100BaseT4) und dient der einfachen und schrittweise Migration von 100MBit/s Komponenten in bestehende 10BaseT Ethernet-Netzwerke. Der Auto-Negotiation-Prozess wurde kompatibel zum 10BaseT-Standard entwickelt, damit keine Anpassung der 10BaseT Komponenten erfolgen musste. Daher wird ein Verfahren namens Fast-Link-Pulse-Burst (FLP-Burst), welches auf dem Link-Integrity-Test-Pulse-Mechanismus des 10BaseT Standards basiert, eingesetzt. Beim Auto-Negotiation-Prozess sendet das Gerät einen FLP-Burst aus, den andere zur Auto-Negotiation fähige Geräte verstehen und ein so genanntes Link-Kodewort daraus berechnen können. Über das Link-Kodewort kann das DTE ermitteln, welche gemeinsamen Linkparameter unterstützt werden. Ein 10BaseT Ethernet-Gerät versteht diesen FLP-Burst nicht, erkennt ihn aber als reinen Link-Integrity-Test-Pulse und lässt den Port aktiviert. Wenn im umgekehrten Fall ein Normal-Link-Pulse (NLP) eines 10BaseT Geräts bei einem zur Auto-Negotiation fähigem 100BaseTx Gerät eintrifft, stellt dieses sofort das Aussenden des FLP-Burst ein und schaltet in den 10MBit/s Kommunikationsmodus. Dieses Verfahren wird auch als 'out of band'-FLP-Burst bezeichnet. Der Auto-Negotiation-Prozess wird über ein MII-Managementregister konfiguriert. Die ausgehandelten Parameter und die aktuelle Konfiguration werden innerhalb der MII-Managementregister gespeichert und können dort direkt vom Treiber editiert werden, vgl. [Hein 1998, S. 106-114]. [IEEE 802.3], [Hein 1998]

2.4 Gigabit-Ethernet-Standard

Durch die weite Verbreitung des Fast-Ethernet wurde der Wunsch der Unternehmen nach einer noch schnelleren Alternative für die Hochleistungsverbindung zwischen Server und Switch bzw. Servern bzw. Switches untereinander lauter. Das Gigabit-Ethernet verzehnfacht die Datenrate des Fast-Ethernet auf 1.000MBit/s. Zu Beginn des Standardisierungsprozesses wurde beschlossen, dass sowohl der Voll-Duplex-Betrieb, als auch der Halb-Duplex-Betrieb unterstützt werden soll, obwohl dieser beim Einsatz von Switches nicht mehr benötigt wird, vgl. Kapitel 2.3.

Die Beibehaltung der LLC-Schicht (IEEE 802.2) gewährleistet jeder Anwendung auf ein Ethernet zugreifen zu können, egal ob es sich um Ethernet, Fast-Ethernet oder Gigabit-Ethernet handelt. Die LLC-Schicht wurde lediglich um Funktionen zur Unterstützung des Gigabit-Ethernet-Betriebs erweitert.

Bei der Standardisierung des Gigabit-Ethernet wurden in der untersten Schicht des OSI-Referenzmodells die kompatiblen Kabeltypen spezifiziert, siehe Abb. 7.

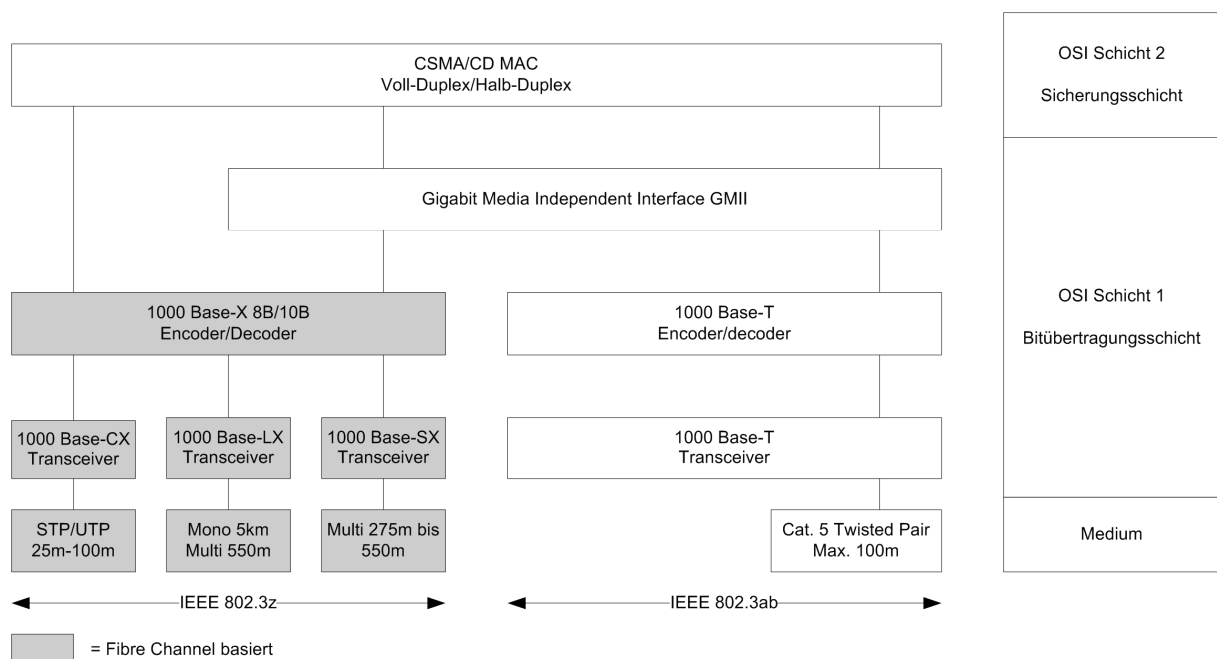


Abb. 7 Gigabit-Ethernet-Varianten nach [Kauffels 2000, S. 658]

Bei der PHY des Gigabit-Ethernet müssen zwei Varianten unterschieden werden: Zum einen existiert eine Version die auf dem Fibre-Channel basiert und nur Glasfasern als Medium unterstützt (IEEE 802.3z), zum anderen eine Version die die Verwendung von Cat. 5 TP-Kabeln spezifiziert (IEEE 802.3ab), siehe dazu Abb. 7. Die beiden Varianten werden in Kapitel 2.4.8 und 2.4.9 noch näher betrachtet. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.1 IEEE 802.3z/ab Standard

Der Unterschied zwischen den Referenzmodellen für Fast- und Gigabit-Ethernet ist minimal, bei letzterem ist lediglich eine optionale MAC-Control-Schicht hinzugekommen. Weiterhin wurde das MII durch das Gigabit Medium Independent Interface (GMII) ersetzt, siehe Abb. 8.

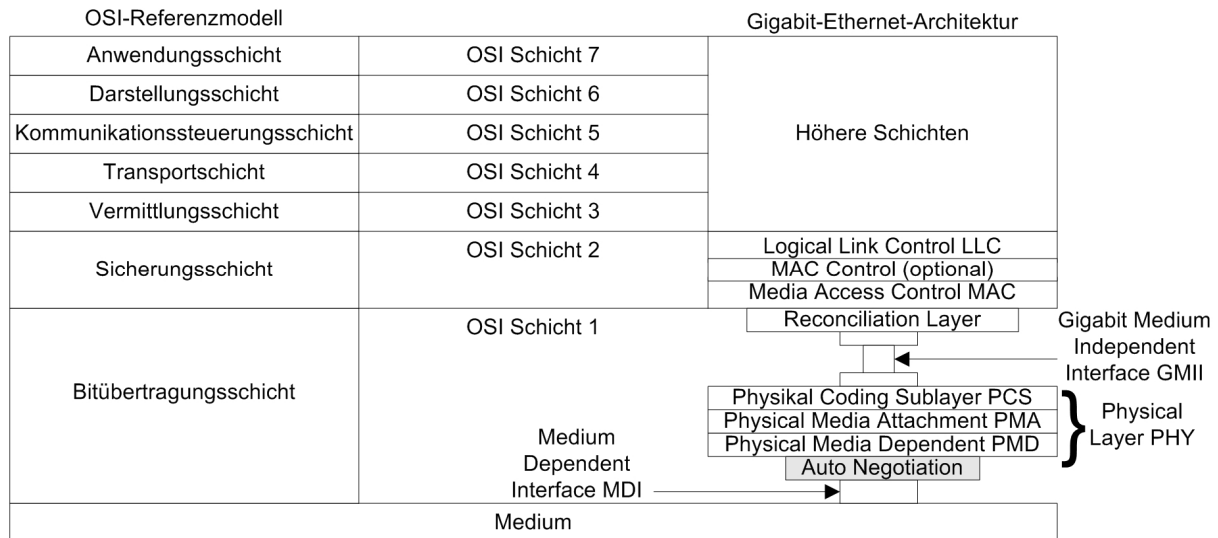


Abb. 8 Gigabit-Ethernet im OSI-Referenzmodell nach [Hein 1998], [IEEE 802.3]

In der OSI Schicht 1 unterscheiden sich der IEEE 802.3z und der IEEE 802.3ab durch die inneren Funktionen der Schichten, aber nicht durch deren Aufteilung. In der darüber liegenden OSI Schicht 2 unterscheiden sich die beiden Gigabit-Ethernet-Varianten nicht und sind damit kompatibel zu den früheren Versionen des Ethernet. Auf die Funktionen und Aufgaben der einzelnen Schichten im Gigabit-Ethernet-Standard wird in den folgenden Absätzen näher eingegangen. Im Anschluss wird die Unterstützung verschiedener Übertragungsmedien erläutert. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.2 Die IEEE 802.3z/ab Rahmenstruktur

Die Struktur der Ethernet-Rahmen des Gigabit-Ethernet ist bis auf die ‚slotTime‘ mit der des Ethernet identisch und somit kompatibel dazu. Anhand von Abb. 9 wird deutlich, dass die maximale bzw. minimale Rahmenlänge gleich der des Ethernet ist.

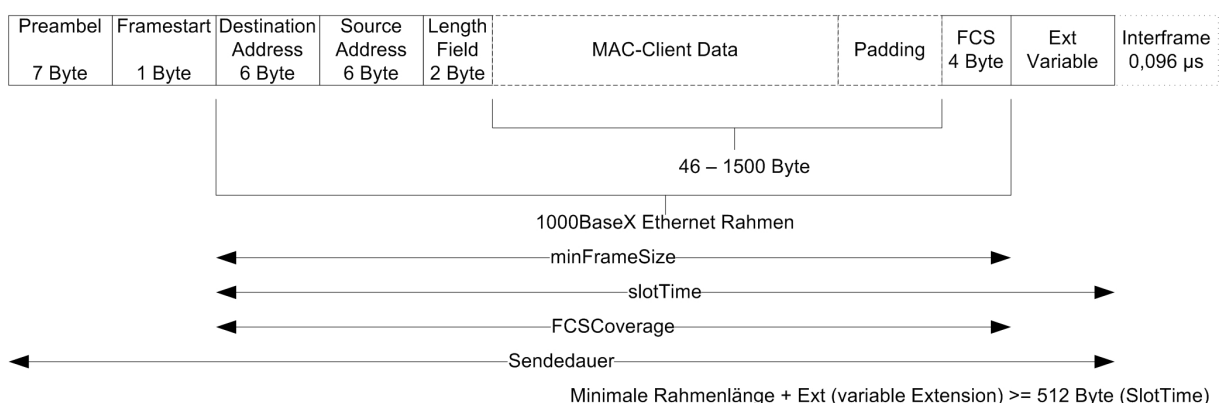


Abb. 9 IEEE 802.3z/ab Gigabit-Ethernet-Rahmen nach [IEEE 802.3]

Durch die Einführung der Extension-Symbole (Ext Variable) wird die minimale ‚slotTime‘ auf 512Byte angehoben. Diese Erweiterung wurde nötig, da auch weiterhin das CSMA/CD-Verfahren unterstützt wird.

Die Rahmen beim Gigabit-Ethernet werden mit der 10-fachen (zu 100BaseTx) bzw. 100-fachen (zu 10BaseT) Geschwindigkeit übertragen. Dies hätte zur Konsequenz, dass im Halb-Duplex-Modus die Leitungslänge auf 10 Meter beschränkt wäre. Da ein Netzwerk mit einer maximalen

Ausdehnung von 20 Metern in der Praxis keinen Sinn macht, muss jede Station im Halb-Duplex-Modus so lange senden, bis jegliche Kollision erkannt werden kann. Weil zu diesem Zweck nicht immer Nutzdaten zur Verfügung stehen, wurden die Extension-Symbole eingeführt, um eine zu kurze Sendung ‚künstlich‘ zu verlängern, siehe Tab. 1.

Parameter	10 Mbit/s	100 Mbit/s	1000 Mbit/s
Slottime [Bit times]	512	512	4096
Interframe [μ s]	9,6	0,96	0,096
MaxFrameSize [Byte]	1518	1518	1518
MinFrameSize [Byte]	64	64	64
ExtendedSize [Bits]	0	0	448
BurstLength [Bits]	0	0	65536

Tab. 1 Halb-Duplex-Ethernet-Verfahren im Vergleich nach [Köhler 1998]

Alle Systeme am Halb-Duplex-Ethernet sind daher in der Lage Kollisionen nach dem CSMA/CD-Verfahren zu erkennen. Diese Erweiterung hat den Effekt, dass bei vielen kleinen Datenpaketen der Overhead extrem ansteigt und somit der Durchsatz sinkt.

Um den Halb-Duplex-Modus wieder zu beschleunigen wurde die Möglichkeit des Frame-Bursting implementiert. Dies bedeutet, dass sich eine Station nach einer erfolgreichen Sendung, nicht nochmals um das Medium bewerben muss, sondern direkt mit der Sendung des nächsten Ethernet-Rahmens beginnen kann. Hierzu wird der erste Rahmen normal gesendet. In den Interframe Gaps sendet die Station nun Extension-Symbole, welche von den empfangenden Stationen als Daten interpretiert werden und somit keine neue Sendung beginnt. Nach der ersten korrekten Sendung werden die MAC-Rahmen nicht mehr mit Extension-Symbolen verlängert. Das Medium steht exklusiv für die sendende Station zur Verfügung. In Abb. 10 wird beispielhaft ein Frame-Burst dargestellt.

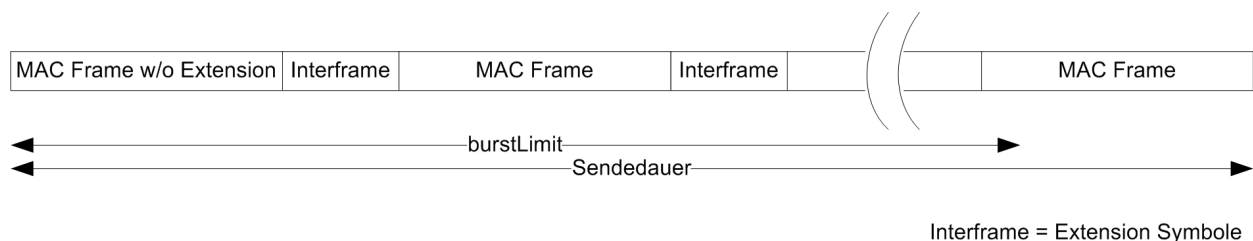


Abb. 10 Gigabit-Ethernet Frame-Burst nach [IEEE 802.3]

Da das Ethernet weiterhin fair bleiben soll, muss über das ‚burstLimit‘ die maximale Zeit eines Burst eingestellt werden. Nach Ablauf des ‚burstLimit‘ kann sich jede Station wieder um das Medium bewerben. Der Aufwand für die Implementierung des CSMA/CD-Verfahrens in das Gigabit-Ethernet-Protokoll wird von Experten als unnötig angesehen, da nicht der Halb-Duplex-Modus im praktischen Einsatz mit Switches, sondern immer der Voll-Duplex-Modus zum Einsatz kommt. [Kauffels 2000, S.676]

An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass einige Gigabit-Ethernet-Produkte größere Ethernet-Rahmen (z.B. 9.000Byte) als die im Standard definierten unterstützen. Diese großen Ethernet-Rahmen werden als Jumbo-Frames bezeichnet und wurden wegen einer Reduzierung des Protokoll-Overhead eingeführt. So kann z.B. sechs mal die Payload der maximalen Größe von 1.500Byte in einem Jumbo-Frame der Größe 9.000Byte transportiert werden. Dies entspricht einer Overhead-Reduzierung von $6 \cdot 26\text{Byte} + \text{Interframe}$ auf $1 \cdot 26\text{Byte} + \text{Interframe}$. Die Meinungen über Jumbo-Frames im Gigabit-Ethernet sind gespalten: So wird von vielen angeführt, dass die Jumbo-Frames nicht kompatibel und nicht standardkonform zum Gigabit-Ethernet-Standard sind und so auf dem Weg durch das Netzwerk evtl. fragmentiert werden. Andere se-

hen wiederum den Vorteil durch die Reduzierung des Protokoll-Overhead und der damit verbundenen Reduzierung der Prozessorbelastung als entscheidend an, vgl. [Dykstra 1999], [Mathis 2004_2]. Ein weiteres Problem ist die begrenzte FCS im Ethernet-Rahmen. Dieser 32Bit Hashwert kann nur maximal 12.000Byte Payload schützen. Somit sind Jumbo-Frames, die größer als 12.000Byte sind, nicht sicher übertragbar.

An dieser Stelle folgt ein Exkurs über die Berechnung des Ethernet-Protokoll-Overhead. Um den Overhead zu berechnen, müssen die Ethernet-Rahmen genauer betrachtet werden. So ist der Ethernet-Protokoll-Overhead in Bit die Summe aus dem Interframe in Bit, der Preamble in Bit und dem Header bzw. Trailer in Bit. Oder als Formel:

$$\frac{0,096\mu s}{0,001\frac{\mu s}{Bit}} + 64Bit + 112Bit + 32Bit = 304Bit = 38Byte$$

Daraus ergibt sich ein Overhead für jedes Ethernet-Paket von 38Byte, was bedeutet, dass für maximal gefüllte Rahmen (1.500Byte Payload) zusätzlich 38Byte an Ethernet-Protokoll-Informationen bzw. das Interframe übertragen werden. Somit ist im Idealfall die Payload zur Datenrate eines Ethernet-Rahmen mit

$$\frac{1.500Byte}{38Byte + 1.500Byte} * 100 = 97,5292\%$$

berechenbar. Dies bedeutet, dass 97,5292% der übertragenen Bytes Nutzdaten sind. Noch reicht diese Betrachtung des Protokoll-Overhead nicht aus, da die LLC-Schicht (IEEE 802.2) ebenfalls einen Overhead in jedes Ethernet-Paket mit einbringt, vgl. Kapitel 2.2.1. Daher müssen zu den 38Byte Overhead aus Schicht 1 und der MAC-Subschicht noch 3 bzw. 4Byte Overhead addiert werden, um die Payload zu Datenrate im Ethernet zu berechnen:

$$\frac{1.500Byte}{41Byte + 1.500Byte} * 100 = 97,3393\% \text{ bzw. } \frac{1.500Byte}{42Byte + 1.500Byte} * 100 = 97,2762\%$$

Wenn nun die nicht standardkonformen Jumbo-Frames betrachtet werden, unterscheiden sich diese nur in der Größe des maximalen Payload. Pro Rahmen werden statt 1.500Byte dann 9.000Byte übertragen:

$$\frac{9.000Byte}{41Byte + 9.000Byte} * 100 = 99,5465\% \text{ bzw. } \frac{9.000Byte}{42Byte + 9.000Byte} * 100 = 99,5355\%$$

Durch den Einsatz der Jumbo-Frames wird die Effizienz eines Ethernet-Rahmens von 97% auf 99% gesteigert. Dies entspricht einer Steigerung des Durchsatzes von 972MBit/s auf 995MBit/s. Im Kapitel 2.7.1, welches das TCP/IP-Protokoll behandelt, wird weiter auf den Protokoll-Overhead eingegangen, wobei dann der Fokus auf dem Overhead bei TCP/IP über Ethernet liegt. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.3 Media Access Control (MAC)

Die MAC-Subschicht regelt auch im Gigabit-Ethernet den Zugriff der Ethernet-Komponenten auf das zugrunde liegende Medium. Die MAC-Subschicht unterstützt zum einen den Halb-Duplex-Modus bei dem das CSMA/CD-Verfahren zum Einsatz kommt, zum anderen wird der Voll-Duplex-Modus in Kombination mit einem Switch unterstützt, bei dem es zu keinen Kollisionen mehr kommen kann. Wird an einem Gerät der Schicht 2, wie einem Switch, pro Port nur eine Ethernet-Station angeschlossen, werden Kollisionen auf diesem Kabelsegment ausgeschlossen. Diese Stationen arbeiten dann im Voll-Duplex-Modus. Das heißt, dass sie gleichzeitig Senden und Empfangen können. Da der MAC-Subschicht nun Teile des CSMA/CD-Verfahrens fehlen, müssen in den Knotenpunkten des Netzwerks aktive Komponenten wie Switches oder

Router dafür sorgen, dass alle Stationen im Voll-Duplex-Modus kommunizieren können. Die Schicht 2 Komponenten haben die Aufgabe den Medienzugriff zu steuern. Weiterhin müssen sie die Ethernet-Komponenten vor Überlast schützen. Dazu wurde von der IEEE Arbeitsgruppe die Flusskontrolle entwickelt, IEEE 802.3x Flow-Control.

Diese Flusskontrolle muss in allen Komponenten implementiert werden, die aufgrund ihrer Geschwindigkeit oder ihrer begrenzten Puffer die ankommenden Daten nicht schnell genug verarbeiten können. Die IEEE hat zu diesem Zweck eine Subschicht zwischen der LLC- und MAC-Subschicht standardisiert: Die MAC-Control-Subschicht, siehe Abb. 8. Die Partnerinstanzen dieser Schicht tauschen Kontrollpakete miteinander aus, um die Flusskontrolle zu gewährleisten. Ein solcher MAC-Control-Rahmen wird durch eine spezielle multicast MAC-Adresse (01-80-C2-00-00-01) als Empfänger gekennzeichnet. Außerdem wird der ‚Opcode‘ der Funktion und die Zeit für die keine Datenübertragung mehr stattfinden soll angegeben. Zurzeit ist nur ein Opcode in der Spezifikation enthalten: PAUSE = 0x0001. Somit sind weitere 65535 Opcodes möglich. Der PAUSE-Opcode selbst benötigt den Parameter ‚Pause_Time‘, welcher die Länge der Sendepause in ‚SlotTimes‘ angibt. Eine ‚Pause_Time‘ von 0 setzt die vorher angeforderte Pausenzeit auf 0 zurück. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.4 Reconciliation Layer

Der Reconciliation Layer im Gigabit-Ethernet ist die logische Schnittstelle zwischen dem GMII und der MAC-Subschicht und vergleichbar mit dem Reconciliation Layer des Fast-Ethernet-Standards, vgl. Kapitel 1.3.3. Diese Schicht stellt zusammen mit dem GMII den Zugang zur PHY sicher. Dazu werden die Daten der überlagerten Schichten durch den Reconciliation Layer an das benutzte Medium und die Übertragungsrate angepasst. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.5 Gigabit Media Independent Interface (GMII)

Das GMII stellt die Schnittstelle zum physikalischen Medium dar und ist im Gegensatz zum MDI des 802.3 Ethernet einheitlich für verschiedene Medien ausgelegt. Daher ist sie vergleichbar mit der MII im Fast-Ethernet-Standard. Diese Schicht bietet die folgenden Funktionen:

- Unterstützung verschiedener Datenraten (1.000MBit/s, 100MBit/s und 10MBit/s)
- Bereitstellung voneinander unabhängiger, 8Bit breiter, Voll-Duplex fähige Sende- und Empfangskanäle
- Management-Interface zur Überwachung und Kontrolle der PHY

Wenn das GMII mit einer Geschwindigkeit von 10 oder 100MBit/s arbeitet, verhält es sich äquivalent zum MII des Fast-Ethernet-Standards. Das GMII erbringt weitere Funktionen, wie z.B. das Kapseln der MAC-Daten. Dazu fügt das GMII die Interframe-Gap, die Preamble, den SFD und die evtl. nötigen Extension-Symbole an die MAC-Daten an, siehe Abb. 9. Das GMII erzeugt den EFD, der wie im Fast-Ethernet-Standard über ein Zurücksetzen des TX_EN-Signals realisiert ist, vgl. Kapitel 2.3.4.

Die Signale des GMII setzen sich aus folgenden Signalen zusammen:

- Transmit-, Receive-Clock (GTX_CLK bzw. TX_CLK , RX_CLK)
- Transmit-Enable, -Data, -Coding-Error (TX_EN, TXD, TX_ER)
- Receive-Data, -Data-Valid, -Error (RXD, RX_DV, RX_ER)
- Carrier-Sense, Collision-Detected (CRS, COL)
- Management-Data-Clock, Management-Data-In- bzw. Output (MDC, MDIO)

Alle Daten laufen synchron zur Transmit- bzw. Receive-Clock. Die Ethernet-Pakete werden mit einem EFD abgeschlossen, indem das TX_EN zurückgesetzt und so das Ende jedes Pakets signalisiert wird. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.6 Physical Attachment Layer (PHY)

Die PHY im Gigabit-Ethernet wurde wegen der Probleme bei der Umsetzung auf TP-Kabel in zwei verschiedenen Standards beschrieben. Beide Standards benutzen die gleiche Schichten-einteilung und werden in Kapitel 2.4.8 und 2.4.9 näher beschrieben. An dieser Stelle werden die grundsätzlichen Funktionen und Aufgaben der Subschichten der PHY erläutert.

2.4.6.1 Physical Coding Sublayer (PCS)

Innerhalb der PCS werden die zu sendenden Daten der MAC-Subschicht in die Leitungskodierung des jeweiligen Mediums überführt. Dazu mehr in Kapitel 2.4.8 und 2.4.9, in denen die verschiedenen unterstützten Medien besprochen werden.

Eine weitere Funktion ist das Carrier-Sense, wobei die PCS ständig das Medium abhört und eine entdeckte Kollision an die überlagerte Schicht meldet. Zusätzlich bietet die PCS Funktionen zum Senden und Empfangen von Paketen und zum Synchronisieren der Kommunikationspartner. Weiterhin wird durch die PCS der Auto-Negotiation-Prozess im Gigabit-Ethernet ermöglicht, siehe dazu Kapitel 2.4.7. [IEEE 802.3], [Kadambi 1998]

2.4.6.2 Physical Media Attachment (PMA)

Diese Subschicht der PHY wandelt die 10Bit-Symbole der PCS in einen seriellen Bitstrom um, und gibt sie zum Senden an die PMD weiter. Beim Empfang wandelt sie den empfangenen seriellen Bitstrom in 10Bit-Symbole für die PCS um. Außerdem extrahiert sie die im Empfangsstrom enthaltenen Taktinformationen, damit die Ethernet-Rahmen korrekt aneinander gereiht werden können. [IEEE 802.3], [Kadambi 1998]

2.4.6.3 Physical Media Dependent (PMD)

Die PMD passt den erhaltenen Bitstrom an die Übertragungseigenschaften des Mediums an. Dazu wandelt sie die elektrischen Bits z.B. in Lichtimpulse für die Übertragung über eine Glasfaser um. An diese Subschicht wird das Übertragungsmedium angeschlossen. Weitere Informationen über die beiden PHY-Varianten im Gigabit-Ethernet befinden sich in Kapitel 2.4.8 und 2.4.9. [IEEE 802.3], [Kadambi 1998]

2.4.7 Auto-Negotiation-Prozess

Der Gigabit-Ethernet Auto-Negotiation-Prozess ist völlig verschieden zu dem des Fast-Ethernet-Standards. Der Auto-Negotiation-Prozess wird nicht nur auf TP-Kabeln, sondern auch auf LWL unterstützt. Weiterhin werden nicht die Link-Pulse zur Durchführung des Prozesses benutzt, sondern mit reservierten Kodeworten die Linkinformationen ausgetauscht. Mit Hilfe dieser Kodeworte werden die unterstützten Geschwindigkeiten ausgehandelt. Bei 1000BaseT Ethernet-Komponenten wird dieser Prozess durch drei voneinander unabhängige Transceiver unterstützt: Jeweils für 10MBit/s, 100MBit/s und 1.000MBit/s. Nach dem Einschalten sind alle Transceiver aktiv. Zuerst überprüft der 1.000MBit/s Transceiver ob er eine Verbindung herstellen kann, danach sucht der 100MBit/s Transceiver nach FLP-Bursts und zuletzt versucht der Port eine Verbindung mit 10MBit/s aufzubauen. Die Aushandlung der Linkparameter beschränkt sich nicht nur auf die Verbindungsgeschwindigkeit, sondern bezieht auch Parameter wie Halb- oder

Voll-Duplex oder den Pause-Modus (Flow-Control) mit ein. Der Auto-Negotiation-Prozess läuft innerhalb der PCS ab, kann aber mit Hilfe von Managementinformationen vom GMII beeinflusst und kontrolliert werden. [IEEE 802.3], [Kadambi 1998], [Hein 1998]

2.4.8 IEEE 802.3z Standard (1000BaseSX/LX/CX)

Diese Variante des Gigabit-Ethernet-Standards basiert auf den Fiber-Channel-Spezifikationen der ANSI von 1994 (X3T11). Die Aufgaben der IEEE 802.3z Arbeitsgruppe zur Standardisierung waren bei Beginn ihrer Arbeit klar umrissen:

- Anpassung des Fiber-Channel an das 802.3 Ethernet
- Nutzung der 8B10B-Codierung vom Fiber-Channel
- Erhöhung der Fiber-Channel-Datenrate auf 1,25 GBit/s

Da die IEEE, die bisher mit Fast-Ethernet eingesetzte Verkabelung mit Cat. 5 TP-Kabeln unterstützen wollte, wurde eine neue 802.3ab Arbeitsgruppe gegründet, die eine Gigabit-Ethernet-Variante über Cat. 5 TP-Kabel realisiert, siehe Kapitel 1.4.3. Durch die Nutzung des Fiber-Channel als Grundlage für das Gigabit-Ethernet über Glasfasern, ergeben sich die im Fiber-Channel-Standard spezifizierten Kabeltypen für den Gebrauch im Gigabit-Ethernet:

- 1000BaseLX – Long Wavelength Laser (1.300nm) mit Multi- oder Singlemode-Faser
- 1000BaseSX – Short Wavelength Laser (850nm) mit Multimode-Faser
- 1000BaseCX – Ursprünglich Twinaxkabel mit 150Ohm

Die 1000BaseCX-Variante wurde durch die Arbeitsgruppe später auf UTP- bzw. STP-Kabel umspezifiziert, wird aber von den Herstellern nicht unterstützt.

Die beiden Glasfaservarianten 1000BaseLX und SX benutzen als Lichtquelle eine Laserdiode. Bei Versuchen während des Standardisierungsprozesses hatte sich herausgestellt, dass dies die einzige nutzbare Möglichkeit zur Überbrückung längerer Distanzen ist. In diesen Versuchen wurde festgestellt, dass bei hohen Frequenzen auf der Multimodefaser mit einer LED (Leuchtdiode) als Lichtquelle eine zu hohe Modendispersion und somit eine schlechte Signalqualität entstand. Als Reaktion darauf wurde eine kostengünstige Variante mit kurzen Wellenlängen, preiswerten Laserdioden und Multimode-Glasfasern spezifiziert (1000BaseSX). Weiterhin wurde eine hochwertige Variante mit langen Wellenlängen, teureren Laserdioden und mit Mono- oder Multimode-Glasfasern spezifiziert (1000BaseLX). In beiden Varianten kommen Duplex-Glasfaserkabel - je eine Faser für die Sende- und Empfangsrichtung - mit Duplex-SC-Steckern zum Einsatz. Da nicht alle Probleme mit den Laserdioden und Glasfasereigenschaften beseitigt werden konnten, entschied sich die IEEE Arbeitsgruppe zu einer recht konservativen Längenbeschränkung bei der Verwendung von Multimodeglasfasern.

Faser	Type	Bandbreite SX	max. Länge SX	Bandbreite LX	max. Länge LX
62μ	multimode	160 MHz*km	220m	500 MHz*km	550m
62μ	multimode	200 MHz*km	275m	500 MHz*km	550m
50μ	multimode	400MHz*km	500m	400 MHz*km	550m
50μ	multimode	500 MHz*km	550m	500 MHz*km	550m

Tab. 2 Multimodefaser-Link-Längen für 1000BaseSX/LX nach [Kauffels 2000, S. 661]

Die Längenbeschränkungen des Standards sind beim Einsatz von Singlemodeglasfasern nicht restriktiv. Die vorgeschriebenen maximalen Längen dürfen auf keinen Fall überschritten werden.

Die Leitungskodierung des 1000BaseSX bzw. LX Standards ist ähnlich zu der des Fast-

Ethernet-Standards, der auf FDDI basiert, 4B5B-Kodierverfahren, siehe Kapitel 2.3.5.1. Beim Gigabit-Ethernet wird immer die doppelte Anzahl von Bits zusammengefasst, woraus sich die 8B10B-Kodierung aus dem Fiber-Channel-Standard ergibt. Bei der 8B10B-Kodierung werden 8 Datenbits auf 10 Kodebits aufgespreizt und übertragen. Daraus ergibt sich ein neues Problem, denn im Gigabit-Ethernet steht keine gesonderte Taktleitung zur Übermittlung der Taktinformationen zur Verfügung. Aus diesem Grund muss der Empfänger die Taktinformationen aus dem Übertragungssignal extrahieren können. Zu diesem Zweck wurde die 8B10B-Kodetabelle so geschickt angepasst, dass bei der Umsetzung jeder 8Bit Daten auf den 10Bit Übertragungskode nie weniger als vier und nie mehr als sieben Wechsel der Spannung auftreten. Dieses Kodierungsverfahren wird auch als Lauflängen-Kodierung bezeichnet, da eine Regel die Anzahl aufeinander folgender Einsen bzw. Nullen beschränkt. Somit ist garantiert, dass das übertragene Signal genügend Taktinformationen enthält und vom Empfänger korrekt ausgewertet werden kann. Wie bei FDDI und Fast-Ethernet wird die große Anzahl an Kodeworten nicht ungenutzt gelassen. Es werden Kodeworte, die nicht zur Datenübertragung genutzt werden, für Steuer- und Verwaltungsworte reserviert. Der Rest wurde als Kodeverletzung definiert. Das heißt, dass diese Kodeworte ohne Fehler niemals auftreten können. Die reservierten Kodeworte werden als Carrier-Extension, Idle, Start-of-Packet, End-of-Packet oder Konfigurations-Marken verwendet. Der 1000BaseSX/LX Standard erreicht seine Übertragungsrate von 1.000MBit/s durch die Adaptierung des Fiber-Channel-Standards in das Gigabit-Ethernet. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000]

2.4.9 IEEE 802.3ab Standard (1000BaseT)

Diese Variante des Gigabit-Ethernet-Standards wurde von der IEEE an eine eigene Arbeitsgruppe übergeben, da der Fiber-Channel-Standard zwar ein kupferbasiertes Medium spezifiziert, eine Umsetzung in den Gigabit-Ethernet-Standard jedoch zu Beginn der Standardisierung als unmöglich eingestuft wurde. Daher basiert diese Variante nicht auf dem Fiber-Channel, sondern bedient sich einer eigenen PHY. Wie in Abb. 8 zu sehen ist, unterscheidet sich der 1000BaseT Standard unterhalb des GMII vom 1000BaseLX/SX Standard. Der 1000BaseT Standard verfügt über eine eigenständige PCS, da die 8B/10B-Kodierung des Fiber-Channel-Standards ungeeignet für die hohen Übertragungsraten auf Kupferkabeln ist. Stattdessen wurden verschiedene Schaltungstricks kombiniert um die Übertragung der Gigabit-Ethernet-Signale über bis zu 100 m lange Cat. 5 UTP-Kabel mit 125 MHz zu ermöglichen:

1. Parallelverarbeitung: Das Sendesignal wird auf vier Adernpaare aufgeteilt und so vier parallele Datenleitungen bereitgestellt. Dies entspricht dem Verfahren des 100BaseT4 Standards. Somit muss jeder Transceiver nur 250MBit/s zur Verfügung stellen.
2. Echo-Kompensation: Alle Leitungen werden paarweise im Voll-Duplex-Modus benutzt, das bedeutet, dass auf einem Adernpaar gleichzeitig in beide Richtungen kommuniziert wird. Deshalb bedarf es einer Unterdrückung des eigenen Sendesignals am eigenen Empfänger. Die hier eingesetzten Verfahren ähneln denen, die beim ISDN auf der Zweidraht-Leitung zur Echo-Kompensation eingesetzt werden.
3. Multilevel-Kodierung: Es werden fünf logische Niveaus (-2, -1, 0, 1, 2) auf der Leitung übertragen um die Taktrate auf dem Kabel zu reduzieren. Um bei einem Takt von 125 MHz eine Übertragungsrate von 1.000MBit/s zu erhalten, müssen pro Takt 8Bit übertragen werden. Dies wird durch das PAM5-Verfahren (Pulse Amplitude Modulation 5) erreicht. Außerdem bleiben noch genügend Codes zur Erhöhung der Übertragungsqualität übrig, vgl. Trellis-Kodierung.
4. Trellis-Kodierung: Zusätzlich wird eine spezielle Forward-Error-Correction-Kodierung (FEC-Kodierung) eingesetzt, um die Bitfehlerrate zu senken. Der dabei eingesetzte Trellis-Kode versieht acht Datenbits mit einem Parity-Bit und verteilt diese 'intelligent' auf die fünf Level und vier Adernpaare. Bei diesem Code handelt es sich um einen vierdimensionalen Übertragungskode mit acht Zuständen. Durch den Einsatz ergeben sich drei Vor-

teile: Das Signal-Rausch-Verhältnis wird verbessert, durch das Parity-Bit wird eine Plausibilitätsprüfung möglich und durch die ungültigen Kodeworte der PAM5-Kodierung kann der Empfänger direkt auf Übertragungsfehler schließen, wenn er diese empfängt. Zur Dekodierung wird der Viterbi-Algorithmus verwendet.

5. Scrambling: Die zu sendenden Daten werden 'verwürgelt' auf die Leitungen gegeben, so wird nur ein kontrolliertes Frequenzspektrum genutzt. Weiterhin werden z.B. die besonders häufig auftretenden Idle- bzw. Extension-Kodeworte, welche die Lücken zwischen den Rahmen schließen, geglättet. Diese Kodeworte würden in einer langen Folge gesendet Frequenzen von bis zu 625 MHz erzeugen und somit den physikalischen Rahmen eines TP-Kabels sprengen.
6. Kompensationsverfahren: Diese Verfahren heben den Effekt des Tiefpasses einer Übertragungsleitung auf. Entweder verstärken sie senderseitig die hohen Frequenzen oder dämpfen die tiefen Frequenzen auf der Empfängerseite. Diese Verfahren werden dynamisch implementiert und orientieren sich bei der Verstärkung bzw. Dämpfung am momentan empfangenen Signalpegel.
7. Equalizing und Filtering: Diese Verfahren werden zur Verbesserung der empfangenen Signale benutzt. So wird z.B. mit Hilfe eines digitalen Signalprozessors das Near-End-Crosstalk (NEXT, vgl. [Siegmond 2002]) herausgefiltert.

Das Ergebnis des Standardisierungsprozesses ist ein „kleines Wunderwerk der Technik“ [Kaufels 2000] und trotz der Änderungen kompatibel zu den alten Ethernet-Standards. Abb. 11 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines 1000BaseT Transceivers.

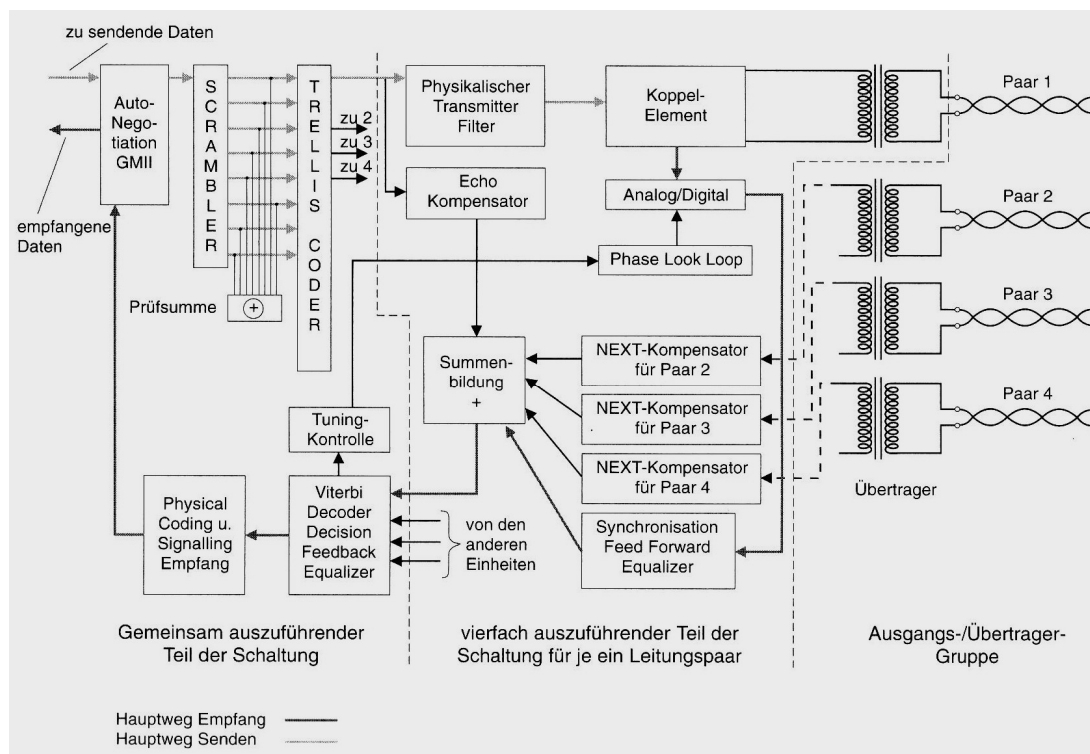


Abb. 11 Prinzipschaltung eines 1000BaseT Transceiver aus [Kaufels 2000, S. 674]

Im Vergleich zum IEEE 802.3z Standard war die Standardisierung des IEEE 802.3ab Standards wesentlich aufwändiger, da die physikalischen Eigenschaften der Kupferkabel sehr viel schlechter für hohe Frequenzen geeignet sind als Glasfaserkabel. Es mussten mehrere Verfahren kombiniert werden, um die hohe Bandbreite über ein Cat. 5e Kabel auch bei Entfernungen, die mehr als 100 m betragen, zu erreichen. Die zentralen Verfahren wurden aus den bereits beste-

henden 100BaseT2 und 100BaseT4 Standards entliehen. So stammt das Prinzip, alle vier Adernpaare des TP-Kabels zu verwenden, aus dem 100BaseT4 Standard und die PAM5-Kodierung wurde dem 100BaseT2 Standard entnommen. Die einzige Neuerung ist die Benutzung der fehlerkorrigierenden Trellis-Kodierung. Sie wird auch in der Satellitenkommunikation und dem Mobilfunk genutzt. Trotzdem bildet der 1000BaseT Standard eine kompatible und schnelle Ethernet-Variante. [IEEE 802.3], [Hein 1998], [Kauffels 2000], [GEA 1997]

2.5 Ausblick auf den 10-Gigabit-Ethernet-Standard

Bis heute hat sich die Popularität des Ethernet durch die niedrigen Kosten, die Zuverlässigkeit und die leichte Installation und Nutzung der Netze so weit entwickelt, dass nahezu der gesamte Internetverkehr in einem Ethernet entsteht oder endet. Daher werden die Anforderungen an die Bandbreite eines Ethernet immer höher. Nicht nur durch den heute 'normalen' Datenverkehr, sondern auch für zukünftige Anwendungen mit großem Bandbreitenbedarf sollte das Ethernet gerüstet sein. Da ein Ziel in Unternehmen die Vereinheitlichung der verschiedenen Datenströme, wie Voice, Video und Daten, ist, kann das 10GE eine relativ preiswerte Alternative zur Anbindung von Standorten an MANs (Metropolitan Area Network) oder WANs (Wide Area Network) werden. Diesem Ziel wurde bei der Standardisierung durch die Einführung eines zum SDH (Synchronous Digital Hierarchy) bzw. SONET (Synchronous Optical Network) kompatiblen PCS Rechnung getragen und das 10GE somit zu einer zukünftigen Alternative zum ATM (Asynchronous Transfer Mode, vgl. [Siegmond 2002]) gemacht. Als weiteres Einsatzgebiet für 10GE wird das SAN (Storage Area Network) gesehen, mit dem Festplattenspeicher an ein System oder Netzwerk gekoppelt werden kann. Die Performance ist einer lokalen Festplatte überlegen. So soll es in Zukunft möglich sein, Festplatten bzw. Festplatten-RAID-Systeme direkt mit einem 10GE-Interface an ein Netzwerk anzuschließen und so die Kapazität im Netzwerk bereitzustellen. Durch die hohen Anforderungen an das Übertragungsmedium entschloss sich die IEEE Arbeitsgruppe schon zu Beginn des Standardisierungsprozesses, die Umsetzung von 10GE auf TP-Verkabelung aufzugeben, und diese Aufgabe einer neuen IEEE 802.3an Arbeitsgruppe zu übergeben. Die 802.3an Arbeitsgruppe veröffentlicht ihre Fortschritte im Internet unter [P802.3an 2004]. Laut dem Zeitplan aus dem Jahre 2003 soll Ende 2004 der Standard veröffentlicht werden, siehe dazu [Lackner 3/2003]. [10GEA 2002a], [10GEA 2002b], [IEEE 802.3ae]

2.5.1 IEEE 802.3ae Standard

Bei der Standardisierung des 10GE, durch die 10GE-Task-Force der IEEE wurden fünf Kriterien, die der Standardisierungsprozess realisieren soll, aufgestellt:

- 10GE muss ein breites Marktpotential mitbringen. Das heißt, ein breites Angebot von Anwendungen muss von vielen Herstellern und Kunden gewünscht und unterstützt werden.
- 10GE muss kompatibel zu den anderen existierenden 802.3 Protokoll-Standards sein. Weiterhin müssen die Spezifikationen sowohl des Open System Interconnection (OSI) und Simple Network Management Protocols (SNMP) unterstützt werden.
- 10GE muss substantiell verschieden von den anderen existierenden 802.3 Standards sein. Somit wird 10GE eine nicht nur alternative, sondern einzigartige Lösung für ein Problem sein.
- 10GE muss seine technische Leistungsfähigkeit vor der endgültigen Ratifizierung unter Beweis stellen, z.B. durch Testbeds.
- 10GE muss für Kunden ökonomisch überschaubar sein und damit die entstehenden Kosten, einschließlich aller Installations- und Managementkosten, für die erwartete Leistungszunahme zur Verfügung stellen.

[10GEA 2002a]

Mit dem Abschluss der Standardisierung Mitte 2002 wurden diese fünf Kriterien von der 10GE-Task-Force umgesetzt und das Ergebnis des Prozesses von der IEEE zum 802.3ae Standard erklärt.

Der 10GE-Standard weist an einigen Stellen signifikante Unterschiede gegenüber dem Standard-Ethernet auf. Diese Unterschiede zeigen sich in der alleinigen Unterstützung von LWL als Medium und in ausschließlichem Betrieb im Voll-Duplex-Modus, weshalb auf das Kollisionsdetektions-Protokoll (CSMA/CD) verzichtet wird. Weiterhin ergeben sich Änderungen aus der Unterstützung von SDH/SONET-Containern, wozu im Standard ein WAN-Interface-Sublayer (WIS) eingefügt wurde. Die PHY wird in einen LAN- und WAN-Bereich aufgeteilt.

Trotz dieser Änderungen bleibt das 10GE aber noch ein Ethernet mit dem bekannten Ethernet-Rahmenformat und damit kompatibel zu den alten Ethernet-Standards. [IEEE 802.3ae]

2.5.2 10-Gigabit-Ethernet und das OSI-Referenzmodell

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Neuerungen im 10GE-Schichtenmodell betrachtet.

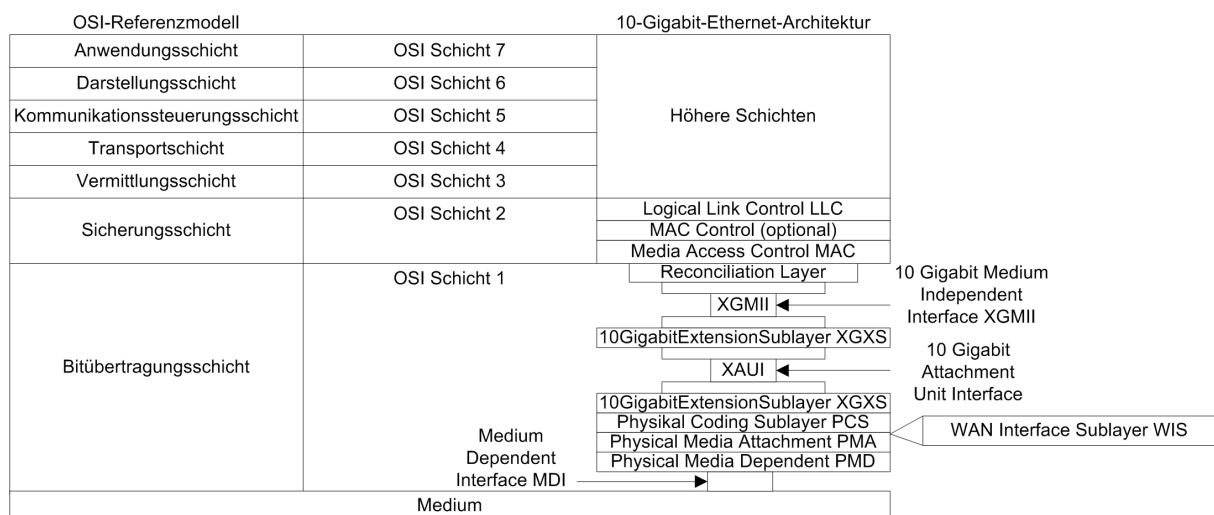


Abb. 12 10GE im OSI-Referenzmodell nach [Jöcker et 2002], [IEEE 802.3ae]

Die aus dem Gigabit-Ethernet-Standard bekannte optionale MAC-Control-Schicht wurde ebenso wie die MAC- und die LLC-Schicht weiterverwendet, um die Kompatibilität mit bestehenden Anwendungsprogrammen zu gewährleisten. Unterhalb der MAC-Subschicht liegt der Reconciliation Layer und das dazugehörige 10GE Medium Independent Interface (XGMII), welche dieselben Aufgaben übernehmen wie die äquivalenten Schichten im Gigabit-Ethernet-Modell (Reconciliation, GMII), siehe Abb. 12.

Das IEEE Gremium forderte die Implementierung der XGMII-Bauteile in CMOS-Technologie (Complementary Metal Oxide Semiconductor-Technologie). Aufgrund der hohen Bandbreite, die diese Bauteile zu bedienen haben, wurde ein maximaler Abstand von 7cm zwischen dem IC (Integrated Circuit) des XGMII und dem des PCS definiert. Dieser Abstand reicht für Netzwerkkarten aus. Da diese Reichweite für andere Aufgaben jedoch zu kurz ist, wurde die optionale 10 Gigabit Attachment Unit Interface (XAUI) Schnittstelle definiert, welche zusammen mit der 10 Gigabit Extension Sublayer (XGXS) eine Überbrückung von bis zu 50cm zulässt. Diese Variante wurde für die Verbindung von 10GE-Switches über eine Backplane standardisiert und funktioniert nach dem Prinzip der Parallelisierung der Daten auf vier seriellen ECL-Datenleitungen,

siehe [IEEE 802.3ae].

Durch die Unterstützung der WAN-Technik bzw. SDH/SONET musste eine neue Subschicht bereitgestellt werden, welche eine Anpassung der Daten und der Datenrate an unterschiedliche WAN-Techniken vornimmt. Aus der Aufteilung in WAN- und LAN-Technik ergibt sich eine andere Darstellung der PHY des 10GE, siehe Abb. 13.

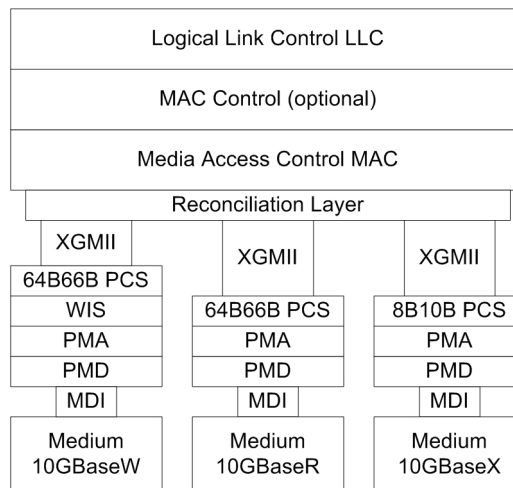


Abb. 13 Unterscheidung der verschiedenen PHY, nach [Rech 2002]

Die WIS wird zwischen der PCS und der PMD eingeführt und passt die 10 GBit/s Datenrate an die Datenrate von 9,95328 GBit/s eines SDH/SONET-Containers an. Weiterhin benötigen SDH/SONET-Systeme einen Takt zur synchronen Übertragung. Der Takt wird durch die WIS erzeugt bzw. synchronisiert sie sich auf den vorgegebenen Takt ein. [10GEA 2002b], [Kauffels 2000], [IEEE 802.3ae], [Rech 2002]

2.5.3 Die IEEE 802.3ae Rahmenstruktur

Auch im 10-Gigabit-Ethernet werden die Standard-Ethernet-Rahmen mit den bekannten maximalen und minimalen Längen benutzt. Das Format der Rahmen wurde ebenfalls unverändert übernommen.

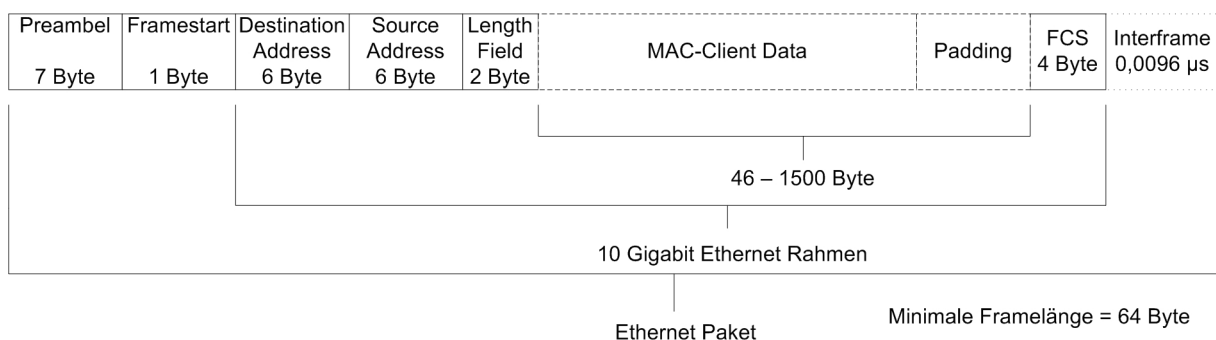


Abb. 14 IEEE 802.3ae 10GE-Rahmen nach [IEEE 802.3ae]

Daher ist ein 10GE kompatibel zu allen Substandards des Ethernet-Standard. [IEEE 802.3ae]

2.5.4 Namensgebung der 10-Gigabit-Ethernet-Standards

Die 10GE-Standards für die OSI-Schicht 1 tragen die Bezeichnung 10GBaseSR/SW, 10GBaseLR/LW, 10GBaseER/EW und 10GBaseLX4. Bei der Namensgebung wurde strukturiert vorgegangen, so bestimmt das Präfix 10GBase, dass es sich um den 10GE-Standard handelt. Der nächste Buchstabe spezifiziert eine der drei verwendeten Wellenlänge des LWL am PMD:

- S = 850 nm Multimode-Glasfaser (MMF)
- L = 1310 nm Multi- und Singlemode-Glasfaser
- E = 1550 nm Singlemode-Glasfaser (SMF)

Der letzte Buchstabe des Standards bezeichnet die eingesetzte PCS, welche folgende drei Verfahren unterstützt:

- W = PCS für WAN-Kodierung, kompatibel zu SDH
- R = PCS für serielle Kodierung, ohne WAN-Anpassung
- X = PCS für LAN-Kodierung (LAN-Standard)

Das bedeutet, dass der 10GE-Standard drei verschiedene PCS-Verfahren beinhaltet und diese Kodierung auf drei verschiedenen Übertragungsmedien unterstützt. Nicht jede Kombination von Übertragungsmedium und Kodierungsverfahren wurde standardisiert. Zulässige Kombinationen können der folgenden Tab. 3 entnommen werden:

Standard	Glasfaser/Kodierung	Reichweite
10GBaseSR	seriell 850nm ohne WAN-Anpassung	26m – 82m (MMF)
10GBaseSW	seriell 850nm mit WAN-Anpassung	26m – 82m (MMF)
10GBaseLR	seriell 1310nm ohne WAN-Anpassung	10km – 40km (SMF)
10GBaseLW	seriell 1310nm mit WAN-Anpassung	10km – 40km (SMF)
10GBaseER	seriell 1550nm ohne WAN-Anpassung	10km – 40km (SMF)
10GBaseEW	seriell 1550nm mit WAN-Anpassung	10km – 40km (SMF)
10GBaseLX4	1310nm WWDM für LAN-Bereich	240m – 300m (MMF), 10km (SMF)

Tab. 3 10-Gigabit-Ethernet-Standards im Vergleich

Alle Glasfasern werden wie beim Gigabit-Ethernet über Duplex-SC-Stecker angeschlossen, was im praktischen Einsatz wegen inkompatibler Laser- und Glasfaser-Kombinationen zu Konfigurationsproblemen führen kann. Natürlich sind für die verschiedenen Reichweiten nicht nur die verwendeten Fasern, sondern – vor allem bei den größeren Reichweiten – die verwendeten Laser relevant. So können bis zu 5 km mit einem günstigen Fabry-Perot-Laser überbrückt werden. Bei Entfernungen von bis zu 15 km muss ein teurer, ungekühlter DFB-Laser (Distributed Feedback Laser) eingesetzt werden. Für die größte mögliche Entfernung (bis zu 40km) müssen die DFB-Laser zusätzlich temperaturstabilisiert werden. [Kiefer 2002]

Eine besondere Stellung nimmt der 10GBaseLX4 Standard ein. Dieser benutzt das Wide Wavelength Division Multiplexing (WWDM), um auf einer Multimode-Faser vier Übertragungskanäle mittels vier Lichtmoden bereit zu stellen. Das Verfahren arbeitet mit vier verschiedenen Wellenlängen, die parallel durch die Faser übertragen werden. Es wurde nötig, da eine Weiterverwendung der vorhandene LAN-Verkabelung auch für 10GE ermöglicht werden sollte. So benötigt jeder Kanal nur ein viertel der Datenrate von 10 Gigabit. Dadurch steigt die maximal mögliche Multimode-Faserlänge an und gelangt wieder in einen nutzbaren Bereich. Die PCS des 10GBaseLX4 kodiert die Daten für jeden Kanal mittels des bekannten 8B10B-Verfahrens, wodurch die Gesamtdatenrate auf 12,5 GBit/s brutto ansteigt. Bei den seriellen Kodierungen der PCS kommt immer die 64B66B-Kodierung zum Einsatz. [Kiefer 2002]

2.6 Zusammenfassung der Ethernet-Standards 802.3

In der folgenden Abb. 15 sind alle Ethernet-Standards der IEEE unter 802.3 grafisch aufbereitet dargestellt. Weiterhin finden sich Angaben zu den vom jeweiligen Standard verwendeten Medien in Abb. 15 und Tab. 4.

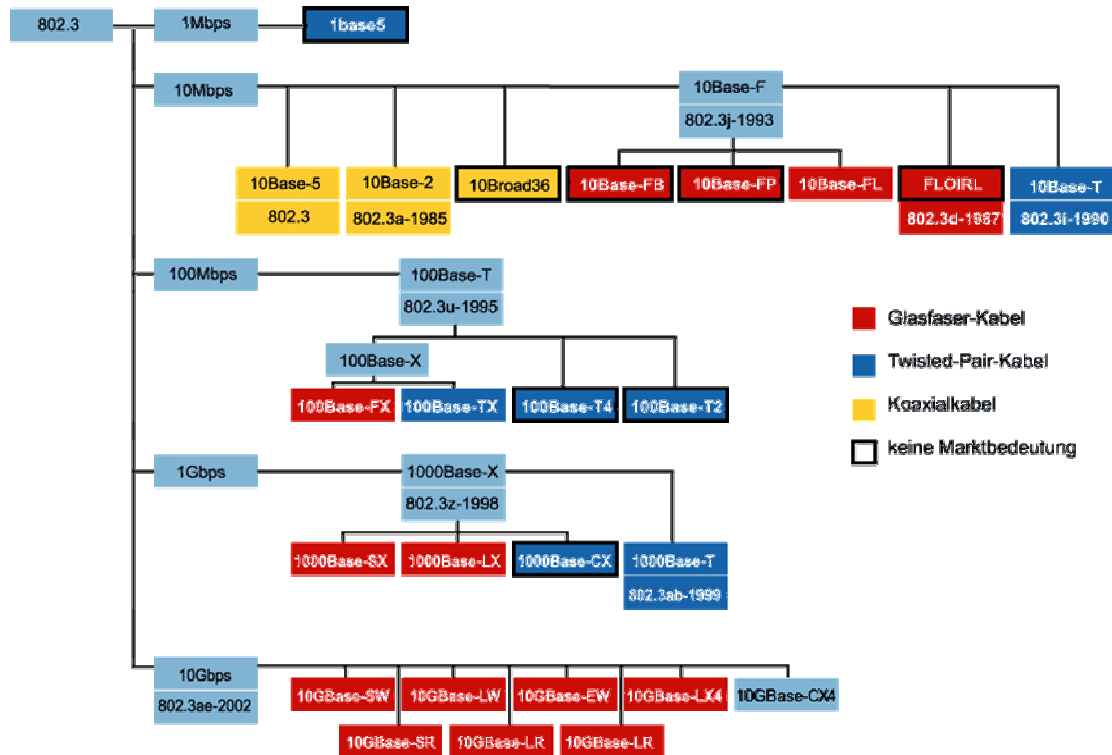


Abb. 15 IEEE 802.3 Standards von http://www.gepanet.com/0009713_PIC.gif

IEEE-Standard	Ethernet-Typ	Jahr	Datenrate	Medium	Maximale Länge	Leitungskodierung
802.3	10Base5 (gelbes Koax-Kabel)	1983	10 Mbit/s HD	Koaxialkabel 50 Ohm	500 m	Manchester
802.3a	10Base2 (Thinnet)	1988	10 Mbit/s HD	Koaxialkabel 50 Ohm	185 m	Manchester
802.3i	10BaseT	1990	10 Mbit/s FD/HD	verdrilltes Kupferkabel (UTP/STP) 100 Ohm	100 m	Manchester
802.3j	10BaseFB	1993	10 Mbit/s FD/HD	Lichtwellenleiter (Stern, aktiv)	2000 m	Manchester
	10BaseFP	1993	10 Mbit/s FD/HD	Lichtwellenleiter (Stern, passiv)	500 m	Manchester
	10BaseFL	1993	10 Mbit/s FD/HD	Lichtwellenleiter (Repeater, aktiv)	2000 m	Manchester
802.3u	100BaseTX	1995	100 Mbit/s FD/HD	2 Paare UTP Cat. 5	100 m	4B/5B
	100BaseT4	1995	100 Mbit/s HD	4 Paare UTP Cat. 3	100 m	8B/6T
	100BaseFX	1995	100 Mbit/s FD/HD	Multi/Monomode LWL	400 m/10000 m	4B/5B
	100BaseT2	1995	100 Mbit/s FD/HD	2 Paare UTP Cat. 3,4,5	100 m	PAM5x5
802.3z	1000BaseLX	1998	1 Gbit/s FD/HD	Lichtwellenleiter (long wave 1300 nm)	2 bis 5000 m	8B10B
	1000BaseSX	1998	1 Gbit/s FD/HD	Lichtwellenleiter (short wave 800 nm)	2 bis 550 m	8B10B
802.3ab	1000BaseT		1 Gbit/s FD/HD	4 Paare UTP Cat. 5	100 m	PAM5x5 und Trelliskodierung
802.3ae	10GBase-SR/SW	2002	10 Gbit/s FD	Lichtwellenleiter (short wave 850 nm), Multimode	26-82 m/SDH	64B/66B
	10GBase-LR/LW	2002	10 Gbit/s FD	Lichtwellenleiter (long wave 1310 nm) Multi-/Single-Mode	5km bzw. 10-40km/SDH	64B/66B
	10GBase-ER/EW	2002	10 Gbit/s FD	Lichtwellenleiter (extra long wave 1550 nm) Single-Mode	10-40 km/SDH	64B/66B
	10GBase-LX4	2002	10 Gbit/s FD	Lichtwellenleiter (1310 nm über Multi-/Single-Mode Dark Fiber)	300 m/10 km	LAN 8B/10B

Tab. 4 Ethernet-Standards und Medien im Überblick

Aus Gründen der Übersichtlichkeit befindet sich die Abbildung der Schichten der Ethernet-Standards nach dem OSI-Referenzmodell im Anhang, siehe Abb. 42.

2.7 Höhere Protokollschichten

Dieses Kapitel behandelt die höheren Protokollschichten im OSI-Referenzmodell. Zuerst wird das TCP/IP-Protokoll vorgestellt, welches in die OSI-Schichten 3 und 4 einzuordnen ist. Im Anschluss daran werden zwei weitere Protokolle aus der Anwendungsschicht vorgestellt: Das FTP und das SMB-Protokoll.

2.7.1 TCP/IP-Protokoll und Optimierungsmöglichkeiten

Alle Performance-Tests werden mit Hilfe des TCP/IP-Protokolls durchgeführt. Das Betriebssystem benutzt es, um über das Netzwerk zu kommunizieren. Das TCP/IP-Protokoll soll im weiteren Verlauf der Untersuchung optimiert werden. Die Definition des TCP wurde im [RFC 793] festgelegt. TCP steht für ‚Transmission Control Protocol‘. In diesem Kapitel werden einige Überlegungen zur Optimierung des TCP/IP-Stacks angestellt.

2.7.1.1 TCP/IP-Protokoll

Eingeleitet wurde der Erfolgszug von TCP/IP mit der Veröffentlichung des RFC 894, welcher durch die Anpassung des Internet-Protokolls (IP) an das Ethernet, die Verbreitung des TCP/IP-Protokolls erst ermöglichte [RFC 894]. Die folgende Abb. 16 zeigt das TCP/IP-Referenzmodell zusammen mit dem OSI-Referenzmodell.

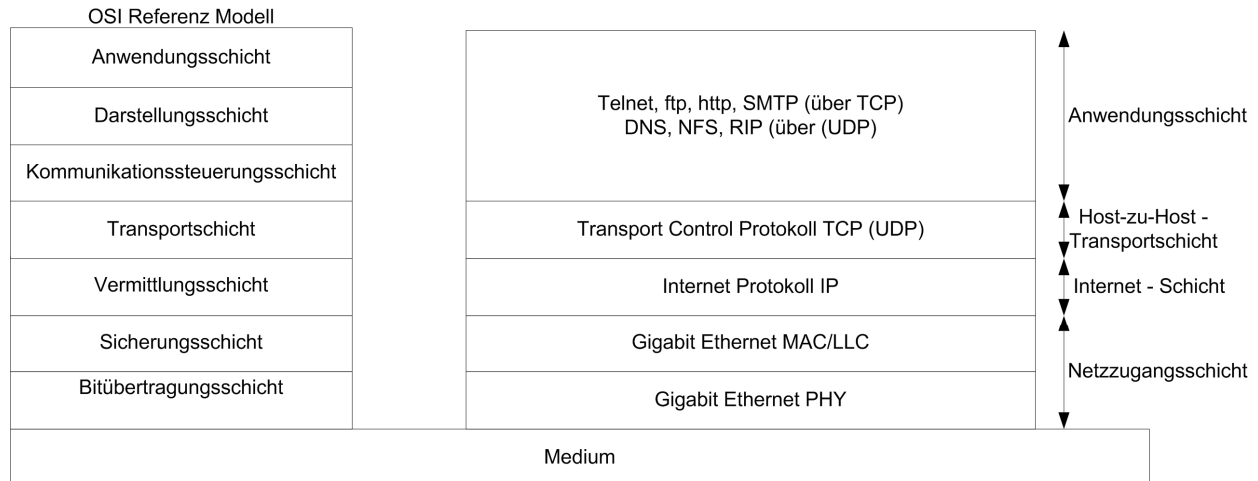


Abb. 16 TCP/IP-v4-Referenzmodell nach [Hunt 1996]

In der Abb. 16 wurde die Link-Schicht durch die bei den Untersuchungen benutzten Gigabit-Ethernet-Schichten ausgetauscht. Das TCP/IP-Referenzmodell ist älter als das OSI-Referenzmodell und weicht davon ab. Wie schon in Kapitel 2.4.3 angekündigt, wird in diesem Abschnitt auch auf den Protokoll-Overhead des TCP/IP-Protokolls über Ethernet eingegangen. Dazu müssen zunächst die Protokoll-Header des IP bzw. TCP näher betrachtet werden:

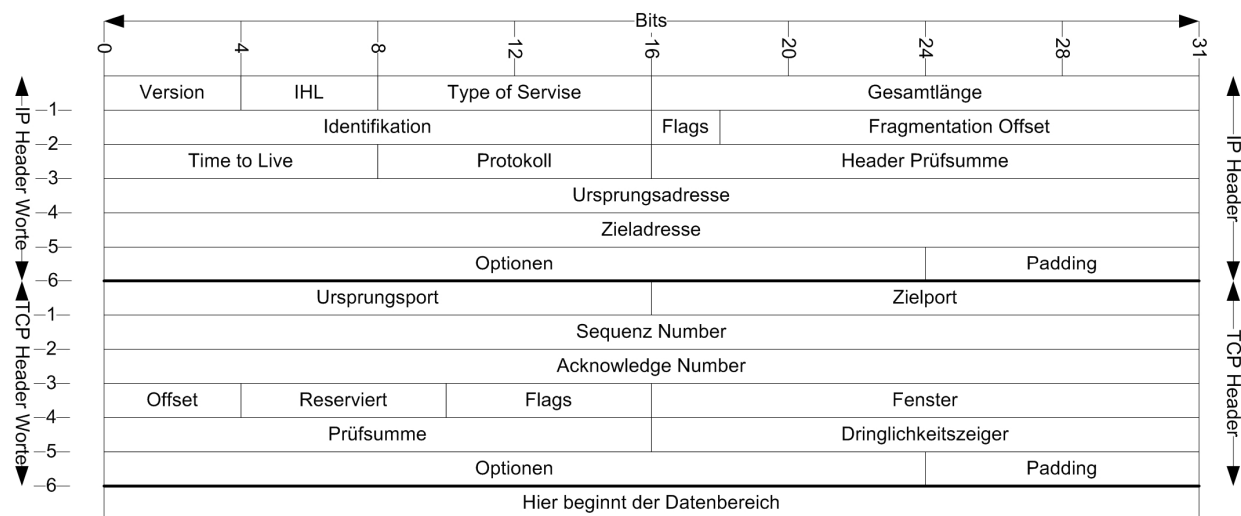


Abb. 17 TCP/IP-v4-Header nach [RFC 773], [Hunt 1996]

Das TCP/IP bietet einen verbindungsorientierten und zuverlässigen Transport von Datenpaketen mit Hilfe von IP anhand der Ursprungs- und Zieladresse (viertes und fünftes IP-Header Wort, siehe Abb. 17). Um den zuverlässigen Transport der Daten zu gewährleisten, benutzt TCP den ‚Positive Acknowledgement with Retransmission Mechanism‘, wozu die TCP-Header-Wörter zwei und drei genutzt werden. Zur Sicherstellung der Korrektheit der TCP-Segmente wird die Prüfsumme jedes TCP-Segments ausgewertet, vgl. Abb. 17. Die mit TCP- und IP-Header gekapselten Daten werden auch als IP-Datagramm bzw. TCP-Segment bezeichnet. [Hunt 1996]

2.7.1.2 TCP/IP-Protokoll-Overhead

In Kapitel 2.4.3 wurde der Ethernet Protokoll-Overhead berechnet, welcher 42Byte beträgt. Wenn nun mit TCP/IP über ein Ethernet kommuniziert wird, kommt der Overhead des TCP/IP noch hinzu. Bei einer Kommunikation von TCP/IP über Ethernet wird durch die TCP-Schicht si-

hergestellt, dass eine Fragmentierung der TCP-Segmente ausgeschlossen wird. Dazu werden mit Hilfe der MTU (Maximum Transfer Unit) des Netzwerks und der daraus ableitbaren MSS (Maximum Segment Size) vom TCP-Stack die TCP-Segmente so gestaltet, dass diese nicht fragmentiert werden müssen. Mit diesem Wissen kann der zusätzliche TCP/IP-Overhead berechnet werden. Der Overhead besteht zum einen aus dem IP-Header (ohne Optionen 20Byte) und zum anderen aus dem TCP-Header (ohne Optionen 20Byte). Daraus resultiert ein Overhead je IP-Datagramm mit einem maximalen TCP-Segment über ein Ethernet von insgesamt 82Byte. Dies wäre der Idealfall einer Übertragung, vgl. Kapitel 2.4.2. Mit einem Standard-Ethernet-Rahmen ist die

$$\text{Payload} / \text{Datenrate} = \frac{1.500\text{Byte} - 40\text{Byte}}{1.500\text{Byte} + 42\text{Byte}} * 100 = 94,48223\%$$

Wenn nun die aus Kapitel 2.4.2 bekannten Jumbo-Frames genutzt werden, ergibt sich für die

$$\text{Payload} / \text{Datenrate} = \frac{9.000\text{Byte} - 40\text{Byte}}{9.000\text{Byte} + 42\text{Byte}} * 100 = 99,09312\%$$

In der idealisierten Beispielrechnung beträgt die MSS 1.460 bzw. 8.960Byte, wobei das IP bzw. TCP keine der Optionen benutzt. Im praktischen Einsatz wird durch die Vielzahl an Erweiterungen des TCP/IP-Protokolls, welche in den Optionen implementiert sind, eine kleinere MSS wahrscheinlicher sein. Die errechneten Prozentzahlen ergeben eine erreichbaren Durchsatz von 944MBit/s bzw. 990MBit/s mit TCP/IP über ein Gigabit-Ethernet.

Durch die Berechnung des Protokoll-Overhead wird klar, dass die Übertragung auf der Leitung mit einer höheren Datenrate abläuft, als der gemessene Durchsatz angibt. Zur Berechnung der Auslastung des Gigabit-Ethernet wird von einer maximal möglichen Datenrate von 1.000MBit/s ausgegangen.

2.7.1.3 TCP/IP Optimierungsmöglichkeiten

Matt Mathis beschreibt in seiner System Specific Note „Enabling High Performance Data Transfers“ das Bandwidth*Delay Product (BDP), vgl. [Mathis 2004]. Das BDP berechnet die Menge an Daten die in der Leitung, während der Übertragung, ‘gespeichert’ werden. Es kann nach [Mathis 2004] zur Berechnung des idealen TCP-Fensters bei gegebener Bandbreite und Round Trip Time (RTT) benutzt werden, siehe [RFC 1323]:

$$\text{BDP}[\text{Byte}] = \text{Bandbreite} \left[\frac{\text{Byte}}{\text{s}} \right] * \text{RTT}[\text{s}]$$

Diese Formel zur Berechnung des BDP dient dazu, eine TCP-Verbindung, die über mehrere Hops mit unterschiedlichen Bandbreiten verläuft, zu optimieren. Nach [Mathis 2004] ist das errechnete BDP gleich dem idealen TCP-Fenster für die Verbindung. Hierzu muss die langsamste Verbindung zwischen zwei Hops als Bandbreite und die RTT der gesamten Verbindung verwendet werden. Die Formel ist für die Verwendung mit langen, schnellen Netzwerkverbindungen ausgelegt. Da es sich bei dem verwendeten Testnetzwerk um ein LAN handelt und RTTs von weit unter einer Millisekunde die Regel sind, wird das ideale TCP-Fenster durch Tests bestimmt, vgl. Kapitel 6.2.1. In Kapitel 6.2.4 wird eine exemplarische Berechnung des BDP für das Testnetzwerk durchgeführt. Bei der Optimierung des TCP-Stacks eines Betriebssystems müssen einige RFCs, die zu diesem Thema veröffentlicht wurden, betrachtet werden:

- RFC 1122 : Requirements for Internet Hosts [RFC 1122]
- RFC 1191 : Path MTU Discovery [RFC 1191]
- RFC 1323 : TCP Extensions for High Performance [RFC 1323]
- RFC 2018 : TCP Selective Acknowledgement Options [RFC 2018]

Diese vier RFCs stellen Möglichkeiten vor, das TCP/IP-Protokoll an verschiedene Übertragungsraten bzw. RTTs anzupassen und so die Netzwerk-Performance zu optimieren.

Der RFC 1122 beschreibt die Anforderungen an einen Host, der an das Internet angeschlossen ist. Ein wichtiger Vorschlag im Bezug auf die TCP-Performance ist die Reduzierung der übertragenen Pakete. Gemeint sind dabei die Acknowledgements (ACK), welche für jedes erhaltene TCP-Paket als Bestätigung gesendet werden. Die ACKs sollen verzögert übertragen werden um so mehrere TCP-Pakete mit einem ACK zu bestätigen. Der RFC empfiehlt eine maximale Verzögerung der ACKs von weniger als 0,5 Sekunden, bzw. bei TCP-Strömen mit voll gefüllten Segmenten, jedes zweite Paket zu bestätigen. Dieses Verfahren wird als ‚delayed Acknowledgement‘ bezeichnet. Die Empfehlung bezieht sich auf die Übertragung von kleinen Paketen, wie z.B. bei Telnet-Anwendungen, kann aber auch in schnellen Netzen helfen, da der Empfänger nur die halbe Anzahl von ACKs senden muss, und so einen Performance-Vorteil erhält. Darüber hinaus behandelt der RFC 1122 auch das IP, UDP (User Datagram Protocol) und weitere Vorschläge für TCP, wie z.B. die dynamische Berechnung des Retransmission Timeouts (RTO), siehe [RFC 1122].

Der RFC 1191 schlägt eine Technik vor, mit der es möglich ist, die MTU des Betriebssystems dynamisch an einen gewählten Weg durch das Internet anzupassen. Auch die Wichtigkeit einer möglichst großen aber optimalen MTU für die Netzwerk-Performance eines Systems wird beschrieben, siehe [RFC 1191].

Der RFC 1323 fasst zwei ältere RFCs (RFC 1072 und RFC 1185) zusammen und erweitert diese. Zum einen behandelt er das schon vorgestellte BDP, zum anderen wird auf Probleme im TCP hingewiesen: Durch die Limitierung des Feldes für die Größe des TCP-Fensters auf 16Bit kann dieses eine maximale Größe von 64KByte annehmen, vgl. Abb. 17. Um das Problem zu lösen, schlägt der RFC einen Skalierungsfaktor vor, mit dessen Hilfe das TCP-Fenster vergrößert werden kann. Die Realisierung wird über die TCP-Option ‚Window Scale‘ implementiert, welche beim Verbindungsaufbau übermittelt und bei beidseitiger Unterstützung aktiviert wird. Zusätzlich wird die Einführung eines RTT-Measurements (RTTM) mit Hilfe von Zeitstempeln vorgeschlagen. Das RTTM misst durchgängig die RTT, berechnet das BDP und passt die TCP-Fenstergröße während der Übertragung an einen idealen Wert an, siehe [RFC 1323].

Der RFC 2018 beschäftigt sich mit einem Problem, das durch mehrere verlorene Pakete eines TCP-Stroms hervorgerufen werden kann: Da dem Absender nur die Informationen aus den kumulativen ACKs des Senders vorliegen, könnte er Pakete erneut senden, obwohl diese korrekt empfangen wurden. Der RFC führt nun die ‚selective ACKs‘ (SACK) zusammen mit einer ‚selective retransmission policy‘ ein, mit deren Hilfe der Empfänger dem Sender mitteilen kann, welche Pakete des TCP-Stroms noch fehlen. Daraufhin kann der Sender nur diese Pakete erneut senden. Dieser RFC spielt in der Testumgebung eine untergeordnete Rolle, da nur selten Pakete in unbelasteten LANs verloren gehen, siehe [RFC 2018], [Mathis 2004].

Es existieren noch weitere RFCs, die die Optimierung des TCP/IP-Protokolls in schnellen Netzwerken behandeln, so z.B. der RFC 3649 und der RFC 3742. Da das eingesetzte Betriebssystem keine Unterstützung für diese RFCs bietet, wird für nähere Informationen auf die Literatur verwiesen, [RFC 3649] und [RFC 3742].

2.7.2 File Transfer Protokoll (FTP)

Das File Transfer Protokoll (FTP) dient zur Übertragung von Dateien in einem Netzwerk. Das FTP ist ein auf TCP/IP basierendes Protokoll und setzt, wie in Abb. 18 zu sehen ist, direkt auf diesem auf.

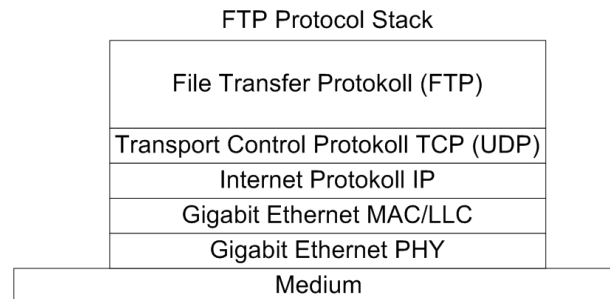


Abb. 18 FTP-Stack nach [Hunt 1996]

Der Kommunikationsablauf einer FTP-Übertragung beginnt mit dem Aufbau einer Kontrollverbindung über die Steuerinformationen bzw. Kommandos ausgetauscht werden (z.B. ABOR (Abbruch), STOR (Datei speichern), DELE (Datei löschen)). Die Steuerverbindung nutzt das TELNET-Protokoll, wobei die FTP-Kommandos als reiner ASCII-Text über diese Verbindung übertragen werden. Die Steuerverbindung wird über den FTP-Client bzw. Server zusammen mit der Verbindung aufgebaut. Der Dateitransfer wird durch den Aufbau einer zweiten TCP-Verbindung realisiert, wobei die Datei mit Hilfe von TCP übertragen wird [RFC 959]. Am Ablauf der Kommunikation ist zu erkennen, dass das FTP wenig zusätzlichen Protokoll-Overhead erzeugt, da die Datenübertragung direkt von TCP übernommen wird, und die Steuerinformationen auf einem getrennten Kanal übertragen werden. [Hunt 1996]

2.7.3 Server Message Block (SMB)

Bei SMB handelt es sich um das Standardprotokoll für Datei-, Druck- und andere Serverdienste in Microsoft Windows Netzwerken. Das SMB-Protokoll wird auf vernetzten Microsoft Windows Systemen für die netzwerkweite Nutzung von Ressourcen wie Druckern oder Laufwerken verwendet. Das SMB-Protokoll setzt standardmäßig auf der NetBIOS-Schnittstelle (Network Basic Input/Output System) auf, wobei als darunter liegende Protokolle z.B. TCP/IP, IPX/SPX von Novell oder DLC (Data Link Control) unterstützt werden, vgl. Abb. 19.

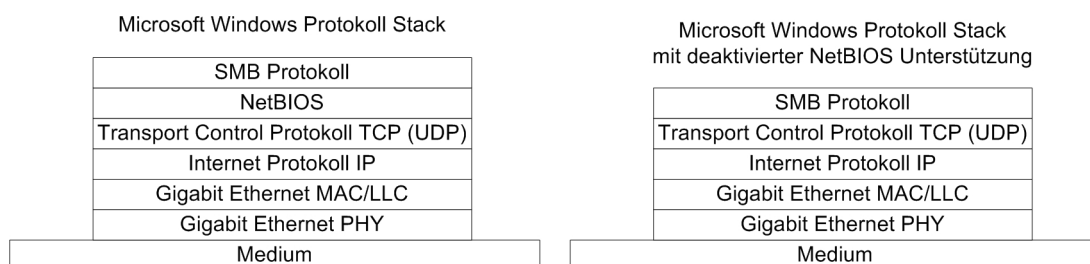


Abb. 19 Microsoft Windows XP Protokoll-Stack mit TCP/IP

Beim NetBIOS-Protokoll handelt es sich um das nicht routingfähige Standard-Protokoll in Microsoft Netzwerklösungen. Es ist kompatibel zu allen Netzwerken von Microsoft, hat einen geringen Speicherbedarf und liefert eine hohe Übertragungsrate. Das NetBIOS-Protokoll besteht aus nur 20 Befehlen und existiert seit den ersten MS-DOS-Netzwerken, vgl. [Kretschmer 1996, S. 202]. In den neueren Windows Versionen, wie z.B. Windows XP kann die Nutzung von SMB über NetBIOS über TCP/IP durch eine Systemeinstellung umgangen werden. Damit setzt SMB direkt auf TCP/IP auf. Hieraus ergibt sich eine Reduzierung des Protokoll-Overhead für die gesamte Datenübertragung, siehe Microsoft Knowledge Base Article 204279 [MS KB 2003].

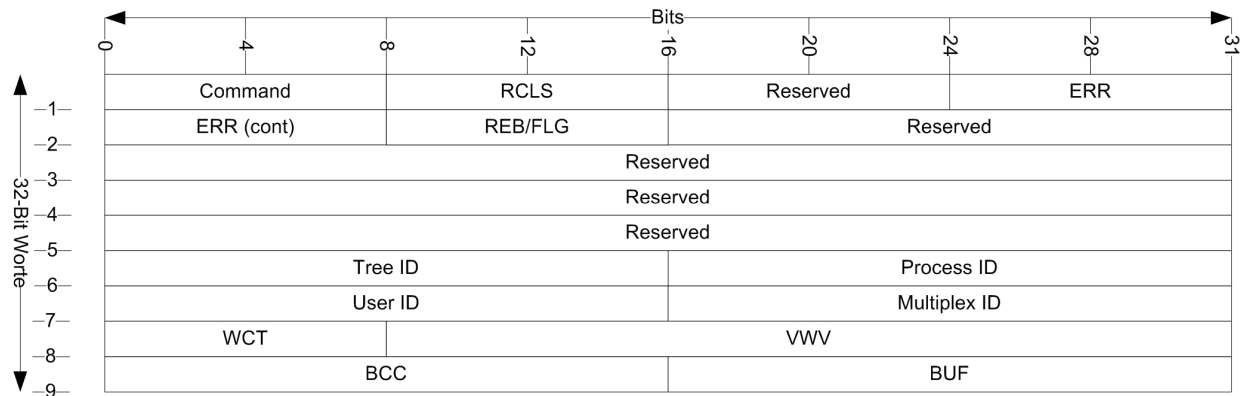


Abb. 20 SMB-Protokoll-Header nach [RADCOM IBM]

Ein wichtiges Feld im SMB-Protokoll-Header ist z. B. ‚Command‘, siehe Abb. 20, indem Befehle vom bzw. zum System mit der Freigabe gesendet werden. Dazu zählen eine Datei öffnen bzw. schließen, Berechtigungen von Anwendern abfragen bzw. setzen u.v.m., siehe [RADCOM IBM]. Ein weiteres ist das ERR-Feld, in dem Fehlermeldungen ausgetauscht werden. Die ID-Felder dienen der Identifizierung einzelner Verbindungen zwischen Prozessen, Usern und Freigaben, die über diese IDs adressiert werden können. Das BCC-Feld gibt die Bytes an Daten an, die dem Header folgen. Da dieses Feld 16Bit groß ist, kann jedes SMB-Paket 2^{16} Byte, bzw. 64KByte Daten transportieren. Der Protokoll-Overhead beträgt im Idealfall für jedes übertragene 64KByte SMB-Datenpaket 39Byte (9 mal 32Bit). Da es sich beim SMB-Protokoll um das Standard-Netzwerkprotokoll von Microsoft Windows Systemen handelt, soll es als zweites anwendungsnahe Protokoll in die Performance-Untersuchung eingehen. [RADCOM IBM], [Kretschmer 1996]

3 Beschreibung der Desktop-Systeme

In diesem Kapitel werden die in den zu untersuchenden Desktop-Systemen eingesetzten Hardware- und Software-Komponenten beschrieben. Zuerst die allgemeine Hardware, wie z.B. Prozessor, Mainboard und Grafikkarte, im Anschluss die Kommunikationskomponenten, die für die Untersuchung benötigt werden. Darauf folgt eine kurze Beschreibung der verwendeten und unterstützten Medien. Im letzten Teil werden das untersuchte Betriebssystem und die verwendeten Treiber für die Komponenten aufgeführt. Zusätzlich werden die Grundeinstellungen des Betriebssystems für das TCP/IP-Protokoll und den Netzwerk-Stack behandelt.

3.1 Allgemeine Hardware

Bei den zu untersuchenden Systemen handelt es sich ausschließlich um Desktop-Systeme. Ein Desktop-System ist ein Personal-Computer, welcher klein genug ist, um an einem individuellen Arbeitsplatz aufgestellt zu werden. Ein Desktop-System wird mit Hilfe von Standardkomponenten aufgebaut. So sind im Gegensatz dazu spezielle RAID-Kontroller, schnelle SCSI-Laufwerke oder spezielle Bussysteme wie PCI-X oder 64Bit PCI-Systeme in Server- bzw. Workstation-Systemen zu finden. Ein Desktop-System ist in der Regel mit preisgünstigen Komponenten ausgestattet, da viele bzw. alle Systeme gleichzeitig angeschafft oder ausgetauscht werden müssen.

Alle getesteten Systeme verfügen über einen AMD Athlon XP 2600+-Prozessor mit 512MB DDR-RAM. Das eingesetzte Mainboard ist ein Asus A7V8X-X; Die technischen Daten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Alle aufgeführten Onboard-Komponenten sind standardmäßig aktiviert.

CPU	Socket A for AMD Barton/Thoroughbred/Athlon XP/Athlon/Duron ab 2,25+ GHz
Chipset	Northbridge: VIA KT400 Southbridge: VIA VT8235
Front Side Bus (FSB)	200/266/333 MHz
Memory	3 x DDR DIMM Sockets, max. 3 GB PC2100 DDR SDRAM
Expansion slots	1 x AGP 8X, 6 x PCI 33 MHz
IDE-Controller	2 x Ultra DMA 133/100/66 MHz
Audio	ADI 1980 6-Kanal CODEC
LAN	Realtek 10/100 Mbit/s Ethernet PHY
USB 2.0	VT8235 USB 2.0 integriert, 6 x USB 2.0
Back Panel I/O Ports	1 x Parallel, 1 x Seriell, 1 x S/PDIF out, 1 x PS/2 Keyboard, 1 x PS/2 Maus, 1 x Audio I/O, 4 x USB 2.0, 1 x RJ45 Port LAN
Internal I/O Connectors	CPU/Chassis Fan, 20 Pin ATX power connector, DUE LED connector, Chassis Intrusion, Game Port, CD/AUX audio in, Front panel audio connector, 1 x USB 2.0
BIOS features	2 Mbit Flash ROM, Award BIOS, DMI 2.0, PnP, WfM 2.0, SM BIOS 2.3, TCAV, EZ Flash, ASUS MyLogo, ASUS CrashFree BIOS, ASUS JumperFree, ASUS C.P.R.
Industry Standard	PCI 2.2, USB 2.0
Manageability	WfM 2.0, DMI 2.0, WOR, WOL, Chassis Intrusion
Form Factor	ATX Form Factor: 30,5cm x 24,5cm

Tab. 5 Asus A7V8X-X Mainboard-Spezifikation nach [Asus 2003]

Auf dem Mainboard kommt der VIA Chipsatz KT400 und dessen Southbridge VT8235 zum Einsatz. Es benutzt die BIOS-Version 1008. Am 18.06.2004 wurde eine neue BIOS-Version 1011 von Asus veröffentlicht, die allerdings nicht zum Einsatz kommt. Laut Asus wurde in dieser Version nur der ‚Trend Chip Away Virus‘ (TCAV) entfernt, ansonsten sind keine weiteren Änderungen vorgenommen worden. Die aktuelle BIOS-Version kann unter <http://www.asus.com> bezogen werden.

Die Systeme verfügen außerdem über eine ATI Radeon 9200 SE AGP Grafikkarte und eine Seagate Barracuda Festplatte (ST380011A). Die technischen Daten der Festplatte werden von Seagate mit 7200 Umdrehungen pro Minute und einer Kapazität von 80GB angegeben. Die Festplatte ist über das Ultra ATA/100 Interface, welches eine theoretische Datenrate von maximal 100MByte/s liefert, mit dem Mainboard verbunden [Seagate 2002].

Zusätzlich zu den Gigabit-Ethernet-Komponenten sind die Systeme noch mit je zwei 3Com Etherlink XL 10/100 PCI (3C905C-TX) Fast-Ethernet-Netzwerkkarten ausgestattet, wobei eine mit einem Switch und die andere mit einem Hub verbunden ist. Die Netzwerkkarte, welche mit dem Switch verbunden ist, wird für den Vergleichstest mit dem Fast-Ethernet herangezogen, worauf in Kapitel 4.6.5 eingegangen wird. Während der Durchführung von Tests ist immer nur die Netzwerkkarte aktiv, die für den Test benötigt wird.

Das Mainboard verfügt über keine 64Bit-PCI Steckplätze und keine Möglichkeit, den PCI Bus-takt auf 66MHz zu erhöhen. Daher werden die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten in 32Bit 33MHz PCI-Slots betrieben, die in Bezug auf die Gigabit-Ethernet-Performance den ‚Flaschenhals‘ im Desktop-System darstellen, vgl. [Gray 2003], [Zaitsev 2004a].

3.2 Kommunikationskomponenten

Dieses Unterkapitel behandelt die für die Performance-Untersuchung verwendeten Kommunikationskomponenten. Dazu gehören einerseits die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten und der zugehörige Switch und andererseits die für den Vergleichstest mit dem Fast-Ethernet benötigten Netzwerkkarten und der dazu passende Switch. Zuerst werden die Gigabit-Ethernet- und danach die Fast-Ethernet-Komponenten vorgestellt.

3.2.1 Netgear GA621

Die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte GA621 von Netgear verfügt über einen 64Bit-PCI-Bus, der abwärtskompatibel zum 32Bit-PCI-Bus ist. Das heißt, beim Betrieb mit 64Bit verdoppelt sich die theoretische Datenrate im Vergleich zum 32Bit-PCI-Bus. Weiterhin unterstützt die GA621 33MHz oder 66MHz auf dem PCI-Bus, was die theoretische Datenrate nochmals verdoppelt, vgl. Tab. 6. Zum Einsatz wird mindestens ein PCI 2.2 kompatibler Steckplatz benötigt.

Taktfrequenz	Busbreite	theoretische Maximalleistung	erreichbare Maximalleistung
33 MHz	32 Bit	133,33 MB/s	115 MB/s
33 MHz	64 Bit	266,66 MB/s	230 MB/s
66 MHz	32 Bit	266,66 MB/s	230 MB/s
66 MHz	64 Bit	533,00 MB/s	490 MB/s

Tab. 6 PCI-Bus-Datenpfade und Taktgeschwindigkeiten nach [SysKonnnect 1999]

Die Netzwerkkarte ist kompatibel zum IEEE 802.3z Standard, wobei die PHY einen 1000BaseSX Gigabit-Ethernet-Anschluss (LWL) zur Verfügung stellt, vgl. Tab. 2. Somit kann diese Karte mit Multimode-Fasern einer Wellenlänge von 850nm betrieben werden, vgl. Kapitel 2.4.8. Die kompatiblen Multimode-Fasern mit einem Durchmesser von 50µm können bis zu

550m überbrücken. Bei einem Durchmesser von 62,5µm sind es 275m. Die Netgear Netzwerkkarte ist mit einem NS83820-Chipsatz von National Semiconductor ausgestattet.

Die mitgelieferten Treiber in der Version 2.1 von Netgear verfügen über Optionen zur Anpassung der Netzwerkkarteneinstellungen an das Einsatzszenario:

- *IEEE konforme Verbindung*: default = einschalten (oder ausschalten)
- *Media Type*: default = Auto Negotiate oder feste Übertragungsrate einstellen
- *Offload Checksum*: default = All oder Tx/Rx/None
- *Packet Size (MTU)*: default = 1.514 oder 4.088, 9.014, 10.000, 16.128Byte
- *Pausensteuerung*: default = einschalten (oder ausschalten)
- *Priority Queues*: default = einschalten (oder ausschalten)
- *Receive Buffers*: default Wert = 64Byte (max. 2.048Byte)
- *Transmit Buffers*: default Wert = 2.048Byte (max. 2.048Byte)

Als wichtigsten Parameter für die Durchsatzperformance ist der Wert für die Paketgröße (Paket Size) zu nennen, weil, wie in Kapitel 2.4.2 erläutert, mit Hilfe von Jumbo-Frames beim Gigabit-Ethernet der Protokoll-Overhead in den untersten beiden Schichten drastisch reduziert werden kann. Dabei sind die möglichen Treibereinstellungen als problematisch anzusehen, da die Treiber MTU Einstellungen, die größer als 12.000Byte sind, zulassen. Als Betriebssysteme werden von Netgear alle aktuellen Windows Versionen (ab Windows 95b OSR 2), Novell Netware (4.2, 5.0, 5.1) und Red Hat Linux (6.0, 6.1, 6.2, 7.0, 7.1) mit Treibern ausgestattet. [Netgear GA621]

3.2.2 Intel PRO/1000 MT Desktop-Adapter

Die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte von Intel verfügt über einen 32Bit breiten PCI-Bus und unterstützt 33MHz oder 66MHz auf dem PCI-Bus, vgl. Tab. 6. Auch diese Netzwerkkarte wird während der Performance-Untersuchung in einem 32Bit 33MHz PCI-Slot betrieben, wofür ein freier PCI 2.3 oder 2.2 Steckplatz benötigt wird. Bei der Netzwerkkarte handelt es sich um die Desktopversion, womit sie für den Einsatz in dieser Testumgebung geeignet ist. Der auf der Karte verwendete Netzwerk-Chipsatz ist ein Intel® 82541GI Prozessor. Die Netzwerkkarte entspricht laut Intel dem IEEE 802.3ab Standard und unterstützt als Medium eine Cat. 5e TP-Verkabelung.

Die Intel Treiber und Konfigurations-Software bietet eine Vielzahl an Konfigurationseinstellungen, wobei hier nur die wichtigsten herausgestellt werden:

- *Jumbo-Frames*: Benutzung größerer Ethernet-Rahmen (MTU) in Gigabit-Netzwerken. Default = Aus (= 1.500Byte, sonst 9.000Byte MTU)
- *Empf-IP-Prüfsumme entladen*: IP-Prüfsumme eingehender Pakete auf Adapter überprüfen => weniger CPU Last. Default = Ein
- *Übertrag-IP-Prüfsumme entladen*: IP-Prüfsumme ausgehender Pakete auf Adapter berechnen => weniger CPU Last. Default = Ein
- *Übertrag-TCP-Prüfsumme entladen*: TCP- oder UDP-Prüfsumme ausgehender Pakete auf Adapter ermitteln => weniger CPU Last. Default = Ein
- *TCP-Segmentierung entladen*: Segmentierung von TCP-Meldungen auf Adapter durchführen => weniger CPU-Last. Default = Ein
- *Empfangsdescriptor*: Empfangspuffer, die der Treiber für empfangene Pakete zuweist. Default = 256Byte (max. 2.048Byte)
- *Übertragungsdescriptor*: Speicher der verwendet wird, um Pakete zu senden. Default =

256Byte (max. 2.048Byte).

- *Flusssteuerung*: IEEE 802.3x Flusssteuerung. Default = Generieren und Reagieren
- *Interrupt-Drosselungsrate*: Bestimmt die Rate, mit der der Controller Interrupts kontrolliert bzw. darauf reagiert. Default = Hardware-Standard

Positiv anzumerken ist die Vielzahl der möglichen Einstellungen und die Unterstützung für Jumbo-Frames in Gigabit-Ethernet. Das Entladen der Prüfsummen und der TCP-Segmentierung wird von Microsoft und anderen Experten als wichtigster Parameter zur Verbesserung der Netzwerk- und System-Performance gesehen, vgl. [MS Win 2000], [Gallatin 1999]. Herauszustellen ist die Intel Konfigurations-Software, welche im Vergleich mit der Netgear Netzwerkkarte mehr Einstellungen zulässt. Mit ihr ist es sehr einfach, die Treibereinstellungen zu ändern und den aktuellen Status der Karte abzurufen. [Intel Pro1000]

3.2.3 Netgear GSM712F Gigabit-Ethernet-Switch

Dieses Kapitel stellt den eingesetzten Gigabit-Ethernet-Switch von Netgear vor. Es handelt sich um einen 12-Port Managed Gigabit-Ethernet-Switch. Bei der Performance-Untersuchung kam die Ausführung mit acht 1000BaseSX Ports und vier 1000BaseT Ports zum Einsatz. Er verfügt über eine Gesamtbandbreite von 24 GBit/s, arbeitet im store-and-forward Betrieb und ist als non-blocking Switch ausgelegt. Non-blocking bedeutet, dass der Switch über genügend Ressourcen verfügt, um die maximal mögliche Netzlast von 24 GBit/s im Voll-Duplex-Modus zu bearbeiten, ohne dass er zum 'Flaschenhals' im Netzwerk wird. Da der NetGear GSM712F Switch ein 'managed Switch' ist, verfügt er über zahlreiche Management- und Konfigurations-Funktionen: SNMP, RMON, VLAN, DiffServ, RADIUS, 802.1x, Port-Trunking, Spanning-Tree und Port-Mirroring. Die Konfiguration und Überwachung der Management-Funktionen kann beim GSM712F über den Konsolenport des Switch oder über ein integriertes Webinterface vorgenommen werden. Weiterhin verfügt der Switch über einen internen Systemspeicher von 16MByte und über einen Paketspeicher von 1,5MByte.

Der Netgear GSM712F Switch ist zu folgenden Netzwerk-Protokollen und -Standards kompatibel:

- IEEE 802.3 10BaseT
- IEEE 802.3u 100BaseTX
- IEEE 802.3z 1000BaseSX
- IEEE 802.3ab 1000BaseT
- IEEE 802.1x Flow Control

Der Switch unterstützt TP-Kabel der Cat. 5e an den vier GBIC-Modulen (Gigabit Interface Converter), die 1000BaseT Ports bereitstellen, siehe Kapitel 2.4.9 und 3.3.1. An den acht 1000BaseSX Ports werden Multimode-Glasfaserkabel mit einem Kerndurchmesser von 50 µm bzw. 62,5 µm unterstützt, siehe Kapitel 2.4.8 und 3.3.2. Intern verarbeitet der Switch die Signale elektrisch, was bedeutet, dass jedes Signal, welches über eine Glasfaser zum Switch transportiert wird, zuerst in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Nachdem der Switch-Vorgang durchgeführt wurde, wird das Signal wieder in ein optisches 1000BaseSX konformes Signal bzw. in ein 1000BaseT konformes Signal gewandelt und auf das Kabel gegeben. [Netgear 721]

Dieser NetGear Switch wurde vom 'PC-Magazine' in einem Vergleichstest untersucht und gewann diesen, siehe [Kaven 2003] und Abb. 21. Die anderen getesteten Switches stammten von Herstellern wie Dell, Linksys, D-Link, Asante und SMC.

	Hardware design	Manageability	Configurable options	Capability	Scalability	Performance	OVERALL
.....-EXCELLENT-VERY GOOD ...-GOOD ..-FAIR .-POOR							
Asanté FriendlyNETGX5-1300	N/A ¹	N/A ¹
Asanté IntraCore 35160-T
Dell PowerConnect 5212
Dell PowerConnect 5224, SMC TigerSwitch 8624T	N/A ²
D-Link DGS-3308TG
Linksys EtherFast 1704
MILAN MIL-S8000G
Netgear GSM712
RED denotes Editors' Choice. N/A ¹ —Not applicable: The product does not have this feature. N/A ² —Not applicable: We were unable to test this product.							

Abb. 21 Ergebnis des Vergleichstest aus PC-Magazine, aus [Kaven 2003]

Der GSM712 wurde nicht als der schnellste Switch im Test bewertet, aber durch die Managementfunktionen, das gute Hardwaredesign und die Konfigurationsmöglichkeiten des Switch wurden die Tester überzeugt. [Kaven 2003], [Netgear 721]

3.2.4 3Com Etherlink XL 10/100 Fast-Ethernet PCI (3C905C-TX)

Die 3Com 3C905C-TX ist eine Fast-Ethernet PCI-Karte, welche über eine RJ-45 Buchse verfügt, die zum Anschluss an ein TP-basiertes Fast-Ethernet dient. Die Karte ist kompatibel zu folgenden Netzwerkprotokollen bzw. -standards:

- IEEE 802.3 10BaseT,
- IEEE 802.3u 100BaseTX,
- IEEE 802.3x Voll-Duplex-Auto-Negotiation und Flow Control,
- NWay 10/100 Auto-Negotiation,
- IEEE 802.1p/Q,
- VLAN Tagging (IEEE 802.1Q) und
- RMON.

Weitere Informationen zu den unterstützten Ethernet-Standards wurden bereits in Kapitel 2.2 und 2.3 gegeben. Nähere Informationen von 3Com können unter [3Com 905c] gefunden werden.

3.2.5 D-Link DES-1016R+ Fast-Ethernet-Switch

Beim D-Link DES-1016R+ Fast-Ethernet-Switch handelt es sich um einen 16-Port Switch mit 2MByte Paketspeicher. Er kann bis zu acht portbasierte VLANs verwalten. Jeder der 16 Ports verfügt über Nway-Auto-Negotiation und unterstützt so 10 oder 100Mbit/s im Voll- oder Halb-Duplex-Modus. Zusätzlich verfügt der Switch über einen Steckplatz, welcher mit einem optionalen Zwei-Port-Modul bestückt werden kann, das 100BaseFX kompatibel ist. Der DES-1016R+ Switch arbeitet nach dem ‚store and forward‘-Schema, um die Übertragungsrate anzupassen und die Datenintegrität zu schützen. Der Switch unterstützt folgende Netzwerkprotokolle bzw. -standards:

- IEEE 802.3 10BaseT,
- IEEE 802.3u 100BaseTX,

- optional auch 100BaseFX und
- IEEE 802.3x Flow Control.

Die unterstützten Ethernet-Standards wurden bereits in Kapitel 2.2 und 2.3 behandelt. [Dlink DES1016]

3.3 Übertragungsmedien

Als Übertragungsmedien für ein Gigabit-Ethernet kommen alle in Kapitel 2.4 genannten Medien in Frage. Dieses Kapitel behandelt diese Medien ohne den Fokus auf das Gigabit-Ethernet zu legen. Hier werden ausschließlich die beiden Kabeltypen Twisted-Pair und Lichtwellenleiter allgemein erläutert.

3.3.1 Twisted-Pair-Kabel

Bei TP-Kabeln handelt es sich um symmetrische Kupferkabel, die aus vier Adernpaaren bestehen, welche miteinander verdreht sind. Die Adern bestehen aus Kupferleitern mit einer umgebenden Isolierung. Die TP-Kabel werden nach ihrer Abschirmung in zwei Typen eingeteilt: UTP-Kabel (Unshielded-Twisted-Pair) und STP-Kabel (Shielded-Twisted-Pair), wobei nur die STP-Kabel eine Abschirmung um die einzelnen Adernpaare besitzen. Beide Kabeltypen können eine Abschirmung zwischen dem äußeren Mantel und den Adernbündeln besitzen. UTP-Kabel mit einer äußeren Schirmung werden als S/UTP-Kabel bezeichnet. Die Kabel werden durch ihre physikalischen Eigenschaften in weitere Kategorien eingeteilt, siehe Tab. 7.

	Kategorie 3	Kategorie 5	Kategorie 5e	Kategorie 6
Spezifikation für bis zu	16 MHz	100 MHz	100 MHz	250 MHz
Impedanz	100 Ohm +/- 15%	100 Ohm +/- 15%	100 Ohm +/- 15%	100 Ohm +/- 15%
NEXT (max. MHz)	26 dB	32.3 dB	35.3 dB	44.3 dB
PS-NEXT (100 MHz)	nicht spezifiziert	nicht spezifiziert	32.3 dB	42.3 dB
ELFEXT (100 MHz)	nicht spezifiziert	nicht spezifiziert	23.8 dB	27.8 dB
PS-ELFEXT (100 MHz)	nicht spezifiziert	nicht spezifiziert	20.8 dB	24.8 dB
Return Loss (100 MHz)	nicht spezifiziert	16.0 dB	20.1 dB	20.1 dB
Delay Skew (100 m)	nicht spezifiziert	nicht spezifiziert	45 ns	45 ns
Link Klasse	C	D	D	E
Anwendung	10BaseT	100BaseT	1000BaseT	keine

Tab. 7 TP-Kabelkategorien, nach ANSI/TIA/EIA 568 und [Siemon 2004]

Mit steigender Kategorie verbessern sich die Übertragungseigenschaften des Kabels. Außer den in der Tabelle abgedruckten TP-Kabelkategorien existieren noch Kabel der Kategorie 1, 2 und 4, welche im ISO/IEC 11801 Standard enthalten sind, heute jedoch eine untergeordnete Rolle in Netzwerken spielen. Auf allen Kategorien von TP-Kabeln können Duplex-Verbindungen betrieben werden. Die Qualität der Kupferadern und die Wechselwirkung mit anderen Kabeln bzw. die Abschirmung gegen diese, sind für die Übertragungsrate wichtige Parameter.

Ein weiterer Aspekt der TP-Verkabelung ist die, durch den Einsatz von zentralen Komponenten wie Hubs und Switches ermöglichte, strukturierte Verkabelung [Kauffels 2000]. Die im Testnetzwerk verwendete TP-Verkabelung besteht ausschließlich aus Kategorie 5e UTP-Kabeln mit einer Länge von 20m.

3.3.2 Lichtwellenleiter

Ein LWL oder eine Glasfaser zur Datenübertragung besteht aus drei wesentlichen Elementen: Dem Kern (core), dem Mantel (cladding) und einer schützenden Beschichtung (coating). Die

Datenübertragung findet mit Hilfe des Mantels ausschließlich im Kern statt. Glasfasern werden je nach Durchmesser des Kerns in Multi- und Singlemode Fasern (MMF und SMF) eingeteilt, siehe nachfolgende Abb. 22.

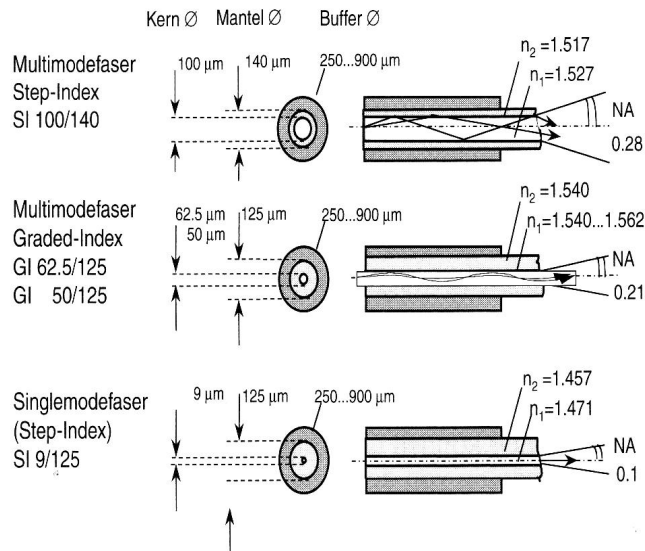


Abb. 22 Mechanische Abmessung bei LWL, aus [Kiefer 2002]

Wie in Abb. 22 zu erkennen ist, haben SMF einen sehr viel geringeren Kerndurchmesser als MMF. Nicht nur durch die verschiedenen Durchmesser, sondern auch durch die Ansteuerung unterscheiden sich die MMF von den SMF. So werden für den Einsatz mit den preisgünstigen MMF preiswerte LEDs eingesetzt, die eine erheblich höhere Streuung des Lichtstrahls und somit auch eine weniger hohe Reichweite haben. Bei SMF werden hochwertige Laserdioden eingesetzt, welche den Vorteil haben, dass sie generell eine höhere Lichtleistung als LEDs besitzen, und eine erheblich bessere Einkopplung der optischen Leistung in die Faser ermöglichen. Eine Kombination aus Laserdioden mit MMF ist in der Praxis nicht üblich. Anhand der standardisierten Bezeichnung von LWL können die wichtigsten Parameter der Faser abgelesen werden. Dazu zählen MMF oder SMF und der Durchmesser von Kern bzw. Mantel. Die Bezeichnung und die Kenndaten für verschiedene Fasertypen wurden in weltweiten Standards festgelegt und beschrieben: ITU-T G.651 für MMF und ITU-T G.652 für SMF. [Kiefer 2002]

Die verwendeten LWL für die Verkabelung des Testnetzwerks ist MMF-basiert und benutzt F-G50/125-Fasern. Dabei steht das F für Faser, das G für Gradientenprofil (also MMF) und 50/125 für den Kern- bzw. Manteldurchmesser in µm. Als Stecker an den Fasern kommen SC-Duplex-Stecker zum Einsatz.

3.4 Microsoft Windows XP Professional SP1

Das für die Performance-Untersuchung ausgewählte Betriebssystem ist Microsoft Windows XP mit Service Pack 1. Dieses Betriebssystem wurde ausgewählt, da es heute auf Desktop-Systemen am weitesten verbreitet ist. Der Einsatz von Betriebssystemen in Unternehmen wurde z.B. in einer Studie von Mummert Consulting [Mummert 2004] untersucht. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass „Linux in vielen Unternehmen noch kein Thema“ ist, und die ersten drei Plätze von Microsoft Windows 2000, XP und NT belegt werden. Weiterführende Informationen zum eingesetzten Microsoft Windows XP können im Internet auf der Seite <http://www.microsoft.de> abgerufen werden.

Dieses Kapitel stellt das Betriebssystem vor, behandelt die Out-Of-The-Box-Konfiguration der

Microsoft Windows XP Systeme und geht auf die Implementierung des TCP/IP-Stacks unter Windows XP ein. Die Desktop-Systeme wurden mit Windows XP Professional inklusive Service Pack 1 (SP1) ausgerüstet und mit allen verfügbaren Updates versehen (Stand 15.05.2004). Das Patchlevel wurde für die gesamte Performance-Untersuchung auf diesem Stand belassen. Des Weiteren wurde auf jedem System eine Freigabe mit Lese- und Schreibrechten konfiguriert. Der Microsoft Internet Information Server (IIS) wurde als FTP-Server installiert und die Standardkonfiguration für zehn Benutzer übernommen, siehe Kapitel 2.7.2 und 4.5.9. Die Konfiguration des FTP-Servers wurde während der Untersuchung nicht verändert, siehe Kapitel 4.3.

Als Treiber für die Hardwarekomponenten kamen die mit der Hardware gelieferten Treiber zum Einsatz, siehe nachfolgende Tab. 8.

Komponente	Treiberversion	Datum	Hersteller
AMD Athlon XP 2600+	5.1.2600.1152	17.12.2002	Microsoft
PCI-Bus	5.1.2600.0	01.07.2001	Microsoft
DMA Controller	5.1.2600.0	01.07.2001	Microsoft
VIA Hostbridge	5.1.0.190	16.08.2001	VIA
CPU to AGP Controller	5.1.0.3442	02.07.2003	VIA
VIA Bus-Master-IDE-Controller	5.1.3597.0	01.07.2001	VIA
ATI Radeon 9200 SE	6.14.10.6360	02.06.2003	ATI
SoundMAX Integrated Digital Audio	5.12.1.3663	15.07.2003	Analog Devices
VIA USB Controller	5.1.2600.1106	01.07.2001	Microsoft
Diskettenlaufwerkskontroller	5.1.2600.0	01.07.2001	Microsoft
Intel PRO/1000 MT Desktop Adapter	7.3.13.0	28.10.2003	Intel
Netgear GA621 Gigabit Fiber Adapter	5.0.2.71	26.12.2002	Netgear
3Com Etherlink XL 10/100 PCI (3C905C-TX)	4.5.0.0	01.07.2001	Microsoft

Tab. 8 Treiberversion und Datum der verwendeten Komponenten in der Out-Of-The-Box-Konfiguration

Diese Tabelle zeigt die Grundkonfiguration des Betriebssystems an, was der Out-Of-The-Box-Konfiguration entspricht. Es wurden nur WHQL-konforme Treiber eingesetzt, weshalb das Betriebssystem nach Herstellerangaben konfiguriert ist.

Als Netzwerkprotokoll wird TCP/IP eingesetzt, wobei die Netzwerkkonfiguration von Windows XP auf der Standardeinstellung belassen wurde. Dies bedeutet, dass der QoS-Paketplaner aktiviert ist, die Standard TCP-Fenstergröße bei 8.760Byte liegt [MS TCP/IP 2004], die Datei- und Druckerfreigabe aktiviert ist und nur eine Unterstützung für die in Kapitel 2.7.1 genannten RFCs 1122, 1191 und 2018 besteht, siehe [MS TCP/IP 2004]. Darüber hinaus wird vom Betriebssystem der Nagle-Algorithmus standardmäßig aktiviert, um das ‚Silly Window Syndrome‘ zu vermeiden, siehe [MS Win 2000]. Die Netzwerkeinstellungen werden für zwei Tests angepasst, was im Kapitel 4.6.3 näher erläutert wird. Das Betriebssystem kann über die Registrierung so konfiguriert werden, dass auch der RFC 1323 unterstützt wird, vgl. Kapitel 2.7.1.3. Windows XP stellt dann TCP-Fenstergrößen von bis zu 1GByte bereit. Die Konfiguration dieser Parameter wurde von Microsoft im Dokument „TCP/IP and NBT configuration parameters für Windows XP“ [MS TCP/IP 2004] veröffentlicht. Die MTU für die Übertragung mit der Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte ist wie die übrigen Treibereinstellungen auf dem Standard belassen worden. Weiterhin benutzt Windows XP in der Standardkonfiguration die NetBIOS-Schnittstelle für den Zugriff auf TCP/IP. Dies zieht bei der Benutzung des SMB-Protokolls einen höheren Protokoll-Overhead nach sich, siehe Kapitel 2.7.3 und 4.5.10. [MS TCP/IP 2004], [MS Net 2000], [MS Network 2003], [MS Win2000], [MS Win2003]

4 Entwicklung der Performance-Untersuchung

In diesem Kapitel wird die Grundlage der Performance-Untersuchung gelegt, welche auf den in Kapitel 3 beschriebenen Desktop-Systemen durchgeführt wird. Es werden Testverfahren zur Untersuchung der Netzwerk-Performance entwickelt. Dazu wurde insbesondere das Buch „The Art of Testing Network Systems“ von Robert W. Buchanan [Buchanan 1996], sowie der [RFC 2544] zum Thema Netzwerk-Benchmarking berücksichtigt. Zuerst soll der Begriff ‘Performance Testing’ definiert werden:

„Performance testing answers the question: How much can you get out of a given product?“
[Veritest 2004]

Eine Performance-Untersuchung (Test) beantwortet die Frage, wie viel Leistung aus einem gegebenen Produkt herausgeholt werden kann.

Nach dieser kurzen Einführung werden die Vorschläge zur Entwicklung von Netzwerk-Testverfahren aus [Buchanan 1996] benannt und erläutert. Dazu werden zwei Begriffe definiert:

- Test-Philosophie, Kapitel 4.1
- Test-Methodologie, Kapitel 4.2

Die Test-Philosophie stellt heraus, was getestet werden soll und warum es getestet wird. Die Test-Methodologie beschreibt den Test-Prozess und die dabei verwendeten Prozeduren, also wie getestet wird. Buchanan schlägt explizite Testverfahren vor, weist aber darauf hin, dass für ein spezielles Ziel auch spezialisierte Testverfahren entwickelt werden müssen [Buchanan 1996]. Die von Buchanan vorgeschlagenen Testverfahren sind, da das Buch bereits 1996 erschienen ist, auf die Bewertung älterer Netzwerke ausgelegt und müssen deshalb für die Performance-Untersuchung im Gigabit-Ethernet angepasst werden.

Die beiden folgenden Kapitel 4.1 und 4.2 beschreiben die in [Buchanan 1996] vorgeschlagenen Test-Philosophien und Test-Methoden. In Kapitel 4.3 werden die im [RFC 2544] vorgeschlagenen Testmethoden beschrieben. Im Anschlusskapitel 4.4 wird auf diesen Grundlagen basierend die Performance-Untersuchung entwickelt und geplant. Das Kapitel 4.5 stellt verschiedene Werkzeuge zur Untersuchung der Systemperformance vor und wählt für die Untersuchung passende Werkzeuge aus. Im Anschluss werden in Kapitel 4.6 die für die Tests benötigten Desktop-Systemkonfigurationen vorgestellt.

4.1 Test-Philosophien

Die Test-Philosophie benennt, was getestet werden soll und warum. Dazu definiert Buchanan zehn Ziele der Netzwerk-Performance-Untersuchung, bei denen jedes Ziel einer eigenen angepassten Test-Methodologie folgen muss. Diese Ziele werden nachfolgend benannt und kurz erläutert, vgl. [Buchanan 1996, S.65 ff].

- *Application response time*: Messung der Antwortzeit einer Anwendung oder Datenbank über ein Netzwerk.
- *Application Feature/functional*: Prüfung der Eigenschaften und Funktionen einer Netzwerkanwendung und deren korrekter Ausführung unter starker Last.
- *Product regression*: Prüfung der Leistung, Zuverlässigkeit und Funktionalität neuer Hard- und Software-Produkte, entspricht einer Kombination aus verschiedenen Test-Philosophien.
- *Throughput*: Durchsatzmessung des Netzwerks unter definierten Rahmenbedingungen. Durchsatzmessungen werden z.B. zur Bestimmung der Performance, zum Finden von ‚Flaschenhälsen‘ und für das ‚configuration sizing‘ benutzt. Die Untersuchungen bestimm-

men den nutzbare Teil der Bandbreite.

- *Acceptance*: Messung eines neu entwickelten Systems, vor der Überführung in den Produktiveinsatz, um sicherzustellen, dass es stabil funktioniert und die benötigte Leistung bereitstellt.
- *Configuration sizing*: Kann mit Hilfe von ‚throughput‘-Tests geleistet werden, indem nach der Durchführung eines Tests die Konfiguration geändert und der Test erneut durchgeführt wird. Dies wird solange wiederholt, bis z. B. ein gewünschter Durchsatz erreicht wurde.
- *Reliability*: Messung der Zuverlässigkeit eines Netzwerk-Systems über einen längeren Zeitraum. Dabei werden Fehler und Ausfälle dokumentiert.
- *Product evaluation*: Vergleich einzelner Hard- oder Software-Produkte mit Hilfe anderer Netzwerksichtweisen und deren Fokus.
- *Capacity planning*: Misst die überschüssige Kapazität im Netzwerk. Dazu wird z.B. der Durchsatz im Produktiveinsatz bestimmt und mit der vorhandenen Bandbreite verglichen.
- *Bottleneck identification and problem isolation*: Bestimmung des ‚Flaschenhalses‘ eines Netzwerk-Systems. Dazu muss von jeder am Transfer beteiligten Komponente die Geschwindigkeit bestimmt oder berechnet werden. Im Vergleich mit der erreichten Gesamtgeschwindigkeit, kann der ‚Flaschenhals‘ identifiziert werden.

Zusätzlich zu diesen Zielen der Performance-Untersuchung eines Netzwerks, definiert Buchanan die Sicht auf das Netzwerk aus zwei verschiedenen Perspektiven. So ist zu unterscheiden, ob ein Anwender oder Entwickler von Hardware das Netzwerk betrachtet.

- *Top down view*: Bezeichnung der Perspektive eines Anwenders von Netzwerkhardware; dieser arbeitet mit dem Betriebssystem und blickt somit von oben auf das OSI-Referenzmodell. Diese Perspektive wird auch ‚application/presentation layer‘-Perspektive genannt.
- *Bottom up view*: Bezeichnung der Perspektive eines Entwicklers von Netzwerk-Hardware; dieser legt seinen Fokus auf die Netzwerkkarten (Treiber), Protokolle und das Netzwerkbetriebssystem und blickt also von unten auf das OSI-Referenzmodell. Diese Perspektive wird auch ‚network infrastructure‘-Perspektive genannt.

Da eine Durchführung aller genannten Ziele der Netzwerk-Performance zu unübersichtlich und praktisch nicht zu verwirklichen ist, müssen durch Vorüberlegungen ein oder maximal zwei Ziele für die Performance-Untersuchung ausgewählt werden. [Buchanan 1996]

4.2 Test-Methodologien

Die Test-Methodologien sind ein geordnetes System von Prozeduren, welche die zu testenden Ziele der Netzwerk-Performance abdecken müssen. Außerdem müssen die Ergebnisse genau, reproduzierbar und relevant für das zu untersuchende Ziel sein. Die Test-Methodologie besteht aus sechs Komponenten, die in der angegebenen Reihenfolge entwickelt werden. Bei der Entwicklung muss die gewählte Perspektive berücksichtigt werden, vgl. [Buchanan 1996].

1. *Planning*: Auswahl geeigneter Ziele für die Netzwerk-Performance-Untersuchung und Planung der Tests, siehe Kapitel 4.4.2.
2. *Load modelling*: Das ausgewählte Lastmodell, welches zur Auslastung des Netzwerks eingesetzt wird, muss den Anforderungen der Ziele entsprechen, siehe Kapitel 4.4.3.
3. *Test configuration*: Die Test-Konfiguration muss die kritischen Bereiche des Netzwerks abdecken, siehe Kapitel 4.4.4.

4. *Data collection*: Das Sammeln der Messdaten der durchgeführten Performance-Untersuchung muss vor Testbeginn festgelegt und organisiert werden, siehe Kapitel 4.4.5.
5. *Data interpretation*: Die gesammelten Daten werden analysiert und es wird überprüft, ob die Messungen die erwarteten Ergebnisse liefern, siehe Kapitel 4.4.6.
6. *Data presentation*: Bezeichnet die Darstellung der gesammelten und ausgewerteten Messdaten, siehe Kapitel 4.4.6.

Die Planung, das Sammeln und die Darstellung der Daten folgt einer vorher fest definierten Prozedur und wird von Buchanan als „science of network testing“ [Buchanan 1996] bezeichnet, also die Wissenschaft des Netzwerktestens. Bei der Abarbeitung der übrigen Komponenten (Lastmodell, Test-Konfiguration und Interpretation der Daten) müssen die in den Erläuterungen angegebenen Voraussetzungen erfüllt werden. Die Bearbeitung dieser Komponenten wird von Buchanan „the art of testing networks“ [Buchanan 1996] genannt, also die Kunst des Netzwerktestens. [Buchanan 1996]

4.3 RFC 2544 – Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices

Der RFC 2544 ist eine Überarbeitung des RFC 1944 und schlägt Methoden zum Benchmarking von netzwerkverbindenden Komponenten vor. Da es sich bei den zu entwickelnden Verfahren um Testverfahren für Desktop-Systeme handelt, konnten die Methoden nicht direkt übernommen werden, sondern lieferten nur die Ideen und Grundlagen. Zum RFC 2544 existiert ein weiterer RFC, welcher sich mit der Terminologie beim Benchmarking von netzwerkverbindenden Komponenten beschäftigt, siehe [RFC 1242]. Dieser ist hilfreich für das Verständnis des RFC 2544, weil er die benutzten Begriffe zum Benchmarking definiert und erläutert.

Der [RFC 2544] schlägt für die Durchführung einiger Tests einen ‚Tester‘ vor. Diesen ‚Tester‘ bildet ein Hardware-System, welches zum Testen von Routern, Bridges, Switches und anderen Schicht 1 bis 3 Komponenten benutzt wird. Mit dem ‚Tester‘ kann systemunabhängig die Geschwindigkeit der netzwerkverbindenden Komponenten gemessen und so die Routing- bzw. Switching-Performance bestimmt werden. Ein ‚Tester‘ wird für die Performance-Untersuchung der Desktop-Systeme nicht benötigt, da der erreichbare Durchsatz des Gesamtsystems bestimmt werden soll, und nicht der Durchsatz beim Weiterleiten von Paketen. Die folgende Liste stellt eine Auswahl der relevanten Methoden, die im RFC 2544 vorgeschlagen werden, zusammen [RFC 2544]:

1. *Test set up*: Schlägt bei der Planung der Tests u.a. die Verwendung verschiedener Medien vor, welche beim Aufbau berücksichtigt werden müssen, vgl. Kapitel 4.2 Nr. 1 und 3.
2. *DUT set up*: Beschreibt die Konfiguration des DUT (Device under Test). Der DUT muss nach Herstellerangaben konfiguriert und alle zu testenden Protokolle zu Beginn der Untersuchung installiert und aktiviert werden. Weiterhin wird festgelegt, dass die Systemkonfiguration in die Dokumentation der Tests mit eingeht, vgl. Kapitel 4.2 Nr. 1 und 3.
3. *Frame Sizes*: Definiert Rahmengrößen, die im Test verwendet werden können (Appendix C, [RFC 2544]), wobei vor allem die maximalen und minimalen Rahmengrößen zum Einsatz kommen sollen. Der RFC 2544 empfiehlt die Verwendung von insgesamt fünf verschiedenen Größen. Dies sind für TCP/IP über Ethernet: 64, 128, 256, 512, 1.024, 1.280 und 1.518Byte große Ethernet-Rahmen. Diese Vorschläge sind keine Verpflichtung, daher sollten die verwendeten Paketgrößen mit dem Ergebnis dokumentiert werden. Da die Tests auf Desktop-Systemen durchgeführt werden, wird für die Tests die Paketgröße der sendenden Anwendung variiert.
4. *Modifiers*: Schlägt vor, die Systeme unter wechselnden Bedingungen zu testen. Dazu

zählen u.a. verschiedene Protokollparameter und Puffergrößen. Von diesen Bedingungen sollen alle vom Test-Equipment unterstützten Parameter benutzt werden. Zusätzlich fordert der RFC, dass die Systeme zuerst unmodifiziert getestet, dann modifiziert und erneut getestet werden. So wird sichergestellt, dass die Tests mit definierten Parametern durchgeführt werden. Daher sind die Ergebnisse vergleich- und reproduzierbar, vgl. Kapitel 4.1.

5. *Bidirectional traffic*: Sagt aus, dass im realen Einsatz der Datentransfer nicht nur in eine Richtung verläuft, sondern eine bidirektionale Kommunikation stattfindet. Dies muss bei der Planung berücksichtigt werden. Dann kann das DUT getrennt für das Senden und Empfangen bewertet werden.
6. *Benchmarking Tests*: Beschreibt z.B. die Ermittlung und Darstellung des erreichbaren Durchsatzes mit Hilfe des Test-Equipments und die spätere Darstellung als Diagramm, vgl. Kapitel 4.2 Nr. 4, 5 und 6.

Im Vergleich zu den von Buchanan vorgeschlagenen Test-Methodologien [Buchanan 1996], werden im RFC 2544 genauere Angaben zur Planung und Durchführung der Performance-Untersuchung gemacht. Durch die Ausrichtung des Dokuments auf netzwerkverbindende Komponenten, konnten jedoch nur die grundlegenden Ideen auf die Netzwerk-Performance-Untersuchung von Desktop-Systemen übertragen werden. [RFC 2544]

4.4 Beschreibung der Performance-Untersuchung

Der erste Schritt bei Performance-Untersuchungen in einem Netzwerk, ist die Planung der Tests, vgl. Kapitel 4.2. Dabei müssen zu Beginn die Perspektive und die Ziele der durchzuführenden Untersuchungen bestimmt werden.

4.4.1 Auswahl der Perspektive

Zuerst wird die Perspektive, aus der die Tests durchgeführt werden sollen, bestimmt. Da es sich um Desktop-Systeme handelt, werden sie aus der Perspektive des Anwenders untersucht, also im Sinne des ‚top-down-view‘, vgl. Kapitel 4.1. Dabei wird davon ausgegangen, dass die eingesetzten Netzwerkkarten und der Switch, wie von den Herstellern angegeben, IEEE 802.3z bzw. 802.3ab kompatibel sind, siehe Kapitel 3.2. Hieraus folgt, dass die eingesetzte Netzwerk-Hardware im Voll-Duplex-Modus eine Kapazität von 1 GBit/s je Kommunikationsrichtung zur Verfügung stellen kann.

4.4.2 Auswahl der Ziele

Als nächstes stellt sich die Frage nach den Zielen der Performance-Untersuchung. Da die in Kapitel 3 vorgestellten Desktop-Systeme nur über 32Bit 33MHz PCI-Bussysteme verfügen, ist der PCI-Bus der ‚Flaschenhals‘ im Desktop-System bezüglich der Gigabit-Performance, vgl. [Gray 2003]. Aus diesem Grund wird als Ziel der Performance-Untersuchung das ‚configuration sizing‘ verwendet, siehe Kapitel 4.1. Bei dieser Methode soll durch Modifikationen am System die Netzwerk-Performance gesteigert werden. Die Performance-Steigerung wird dann durch rekursives Testen belegt. Demzufolge wird ein weiteres Ziel benötigt, um dem ‚configuration sizing‘ gerecht zu werden:

- Throughput: Der Durchsatz eines Desktop-Systems wird gemessen. Nach einer Modifikation kann durch wiederholtes Messen die Durchsatzverbesserung bewiesen und mit der verfügbaren Datenrate verglichen werden.

Folglich wurde für die Performance-Untersuchung ein vierstufiges Testverfahren entwickelt, welches über das TCP/IP-Protokoll unter Windows XP durchgeführt wird. Das TCP/IP-Protokoll

wurde aufgrund seiner Bedeutung für das Internet und der weltweiten Verbreitung ausgewählt. Die Testverfahren beinhalten im ersten Test die Messung in der Out-Of-The-Box-Konfiguration, um den aktuellen Netzwerk-Performance-Zustand der Desktop-Systeme festzuhalten, siehe Kapitel 4.6.1. Vor dem zweiten Test wird die Hardware modifiziert, wobei die einzelnen Änderungen an der Hardware in Kapitel 4.6.2 aufgeführt sind. Vor dem dritten Test werden Modifikationen an der Software, den Treibern und dem TCP-Protokoll durchgeführt, die den erreichbaren Durchsatz steigern sollen, siehe Kapitel 2.7.1.3. Die Änderungen an der Software werden in Kapitel 4.6.3 beschrieben. Im vierten Test wird zusätzlich eine RAM-Disk installiert, um die Abhängigkeit des erreichbaren Durchsatzes von der Festplattengeschwindigkeit bestimmen zu können, siehe Kapitel 4.6.4. Mit Hilfe dieses Testablaufs soll der Einfluss der Hardware, des Betriebssystems und des verwendeten Protokolls auf den erreichbaren Durchsatz gemessen werden. Die Datenrate im Gigabit-Ethernet beträgt 1000MBit/s, wobei eine Messung den erreichbaren Durchsatz bestimmt.

Zusätzlich wird ein weiterer Test durchgeführt: Der fünfte Test soll den Vergleich zu einem Fast-Ethernet Windows XP System ermöglichen, die Systemkonfiguration wird in Kapitel 4.6.5 beschrieben. Diese Messung eines Fast-Ethernet soll den Performance-Gewinn bei einer Aufrüstung von einem Fast- auf ein Gigabit-Ethernet zeigen, siehe Kapitel 4.6.5.

4.4.3 Entwicklung des Lastmodells

Nachdem das Ziel der Performance-Untersuchung festgelegt wurde, muss das dazu passende Lastmodell entwickelt werden, vgl. Kapitel 4.2. Da die Performance-Untersuchung über das TCP/IP-Protokoll durchgeführt wird, wird ein Messwerkzeug benötigt, welches den erreichbaren TCP-Durchsatz ermitteln kann. In Kapitel 4.5 werden mehrere Bulk-Transfer-Messwerkzeuge vorgestellt, von denen drei Werkzeuge ausgewählt werden. Mit Hilfe eines Bulk-Transfer-Messwerkzeugs ist es möglich, den TCP-Durchsatz zu bestimmen. Die Messung erfolgt aufgrund von Zufallsdaten, die von einer Instanz des Programms auf System A zu einer anderen Instanz auf System B übertragen werden. Anhand der übertragenen Menge bzw. der benötigten Zeit wird der Durchsatz berechnet. Bei der Auswahl der Messwerkzeuge ist zu beachten, dass die Werkzeuge mindestens die Datenrate erzeugen können, die getestet werden soll, siehe Kapitel 4.2 Nr. 2. Die Tests werden innerhalb eines Testnetzwerks auf zwei über einen Switch verbundenen Desktop-Systemen durchgeführt.

Es werden mehrere Messwerkzeuge ausgewählt, um die jeweils gemessenen Durchsätze vergleichen und die Messwerkzeuge anhand ihrer gemessenen Werte beurteilen zu können. Dieses Vorgehen liegt darin begründet, dass die Messwerte der benutzten Werkzeuge auf diese Weise überprüfbar werden. Bei der Auswahl soll der Fokus auf Open-Source bzw. frei verfügbaren Werkzeugen liegen, damit ohne finanziellen Aufwand verschiedene Werkzeuge verglichen werden können. In Kapitel 4.4.7 werden durch die Einbeziehung des RFC 2544 weitere Kriterien zur Auswahl der Bulk-Transfer-Messwerkzeuge definiert.

Weil sich die Netzwerk-Performance-Untersuchung mit der Sicht des Anwenders auf das Netzwerk beschäftigen, werden zusätzliche Messungen höherer Protokolle durchgeführt. Dies sind Durchsatz-Messungen mit Hilfe von realen Dateitransfers über die Protokolle FTP und SMB, welche in Kapitel 2.7.2 und 2.7.3 näher beschrieben wurden. Die bei diesen Tests angewandte Messmethode ist in den Kapiteln 4.5.9 und 4.5.10 erläutert. Die SMB- bzw. FTP-Transfer-Tests sollen keine Bewertung der Netzwerk-Performance liefern, sondern lediglich einen Eindruck des Protokolldurchsatzes vermitteln, der für den Anwender des Desktop-Systems nutzbar ist.

Somit werden in jedem Test Messungen mit drei verschiedenen Bulk-Transfer-Messwerkzeugen durchgeführt und zusätzlich zwei reale Dateiübertragungen mittels FTP bzw. SMB ermittelt. Als letzter Wert wird die Round-Trip-Time (RTT) im Netzwerk bestimmt, vgl. Kapitel 4.5.11.1.

Alle Messungen mit den Werkzeugen werden jeweils fünfmal durchgeführt und die resultierenden Werte gemittelt, damit evtl. Messfehler minimiert werden, siehe [Heinemann 1997].

4.4.4 Test-Konfiguration

Der nächste Schritt in der Test-Methodologie ist die Test-Konfiguration, welche in Kapitel 4.6 beschrieben wird. Da für die Performance-Untersuchung verschiedene Medien bzw. Netzwerkkarten für eine Netzwerkverbindung zur Verfügung stehen, werden ebenfalls die Kombinationen der Medien untersucht, vgl. Kapitel 3.3. Bei der Durchführung der Tests wird die CPU- bzw. Speicherauslastung beobachtet und dokumentiert, um die Performance-Situation des Desktop-Systems einschätzen zu können. Nach [Farrell 2000] hat auch die CPU-Leistung einen Einfluss auf die Gigabit-Ethernet-Performance.

4.4.5 Sammeln der Messdaten

Der nächste Punkt der von Buchanan vorgeschlagenen Test-Methodologie betrifft das Sammeln der Messdaten aus den Tests. Um die gemessenen Daten komfortabel verwalten zu können, wurden Excel-Tabellen angelegt, worin die benötigten Mittelwerte berechnet werden. Die Tab. 9 zeigt exemplarisch eine ausgefüllte Tabelle aus einem Out-Of-The-Box-Testlauf:

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	33632,50	34626,25	33608,75	32640,00	33610,00	33623,50	KByte/s	NetPerf	268,988	Mbit/s	26,899	5,03
TCPWin 8K	42625	42950	42375	42250	42500	42540,00	KByte/s	Iperf	340,320	Mbit/s	34,032	1,92
Tx 64 Byte	23017	23073	23084	23022	23059	23051,00	KByte/s	NetIO	184,408	Mbit/s	18,441	0,22
Tx 1460 Byte	44992	45005	44989	44998	44985	44993,80	KByte/s	NetIO	359,950	Mbit/s	35,995	0,06
Tx 1K	45098	45111	45091	45073	45041	45082,80	KByte/s	NetIO	360,662	Mbit/s	36,066	0,19
Tx 2K	44155	44173	44245	44102	44169	44168,80	KByte/s	NetIO	353,350	Mbit/s	35,335	0,37
Tx 4K	45180	45106	45166	45942	45514	45381,60	KByte/s	NetIO	363,053	Mbit/s	36,305	2,52
Tx 8K	46235	46254	46144	46023	46129	46157,00	KByte/s	NetIO	369,256	Mbit/s	36,926	0,66
Tx 16K	46001	46101	46168	46016	45990	46055,20	KByte/s	NetIO	368,442	Mbit/s	36,844	0,55
Tx 32K	46235	46147	46169	45635	46119	46061,00	KByte/s	NetIO	368,488	Mbit/s	36,849	1,73
Tx 64K	46301	46350	46298	46297	46268	46302,80	KByte/s	NetIO	370,422	Mbit/s	37,042	0,21
Rx 64 Byte	23057	23056	23049	23061	23055	23055,60	KByte/s	NetIO	184,445	Mbit/s	18,444	0,03
Rx 1460 Byte	44989	44996	44985	44987	44991	44989,60	KByte/s	NetIO	359,917	Mbit/s	35,992	0,03
Rx 1K	45047	45061	45060	45049	45034	45050,20	KByte/s	NetIO	360,402	Mbit/s	36,040	0,08
Rx 2K	44141	44152	44388	44222	44549	44290,40	KByte/s	NetIO	354,323	Mbit/s	35,432	1,25
Rx 4K	46128	46125	46134	46050	46061	46099,60	KByte/s	NetIO	368,797	Mbit/s	36,880	0,29
Rx 8K	46050	46155	46189	46161	46087	46128,40	KByte/s	NetIO	369,027	Mbit/s	36,903	0,41
Rx 16K	46082	46073	46083	46086	45989	46062,60	KByte/s	NetIO	368,501	Mbit/s	36,850	0,30
Rx 32K	46112	46112	46031	46282	46183	46144,00	KByte/s	NetIO	369,152	Mbit/s	36,915	0,67
Rx 64K	46305	46309	46228	46391	46309	46308,40	KByte/s	NetIO	370,467	Mbit/s	37,047	0,41
get	11775,60	11067,03	11387,11	11746,14	11276,83	11450,54	KByte/s	FTP Transfer	91,604	Mbit/s	9,160	2,19
put	25619,45	25501,83	25686,54	25074,20	25618,74	25500,15	KByte/s	FTP Transfer	204,001	Mbit/s	20,400	1,77
get	15192,33	21647,37	22414,14	22812,31	22588,08	20930,85	KByte/s	SAMBA	167,447	Mbit/s	16,745	23,17
put	25180,36	27019,03	28370,86	26786,96	28782,30	27227,90	KByte/s	SAMBA	217,823	Mbit/s	21,782	10,22
	0,455	0,299	0,345	0,374	0,440	0,38	ms	hrPing				0,06

Tab. 9 Exemplarische Excel-Tabelle mit Messwerten aus Test 1 TP

In der ersten Spalte stehen die Konfiguration der verwendeten Werkzeuge. Dann folgen die Messwerte der fünf Testdurchläufe und der daraus gebildete Durchschnitt. Die farbig hervorgehobenen Spalten sind berechnete Ergebnisse. Zusätzlich werden in den letzten beiden Spalten die Auslastung des Gigabit-Ethernet in Prozent und die Standardabweichung der Messwerte aus Durchlauf 1 bis 5 berechnet. Die Messwerttabellen der gesamten Performance-Untersuchung sind im Anhang der Arbeit aufgeführt, siehe Tab. 13 bis Tab. 29.

4.4.6 Interpretation und Präsentation der Ergebnisse

Die letzten beiden Schritte der Test-Methodologie nach [Buchanan 1996] sind die Interpretation und Präsentation der Messergebnisse, welche bei der Auswertung in Kapitel 6 durchgeführt werden.

4.4.7 Einbeziehung des RFC 2544

Dieses Kapitel dient der Berücksichtigung des RFC 2544 bei der Entwicklung der Performance-Untersuchung, vgl. Kapitel 4.3 und [RFC 2544]. Aus dem RFC wurden weitere Auswahlkriterien für die Bulk-Transfer-Messwerkzeuge abgeleitet, welche von diesen erfüllt werden sollen:

- Unterstützung verschiedener Rahmengrößen, wobei in diesem Fall die Anwendungspaketgröße gemeint ist. So sollte mindestens ein Messwerkzeug die minimalen bzw. maximalen Rahmengrößen des Ethernet unterstützen (d.h. 64Byte bzw. 1.460Byte große Anwendungspakete), siehe Kapitel 4.3 Nr. 3. Darüber hinaus sollten vom Werkzeug auch 64KByte große Pakete unterstützt werden. Diese treten beim Transfer von großen Dateien mit dem SMB-Protokoll häufig auf, vgl. Kapitel 2.7.3. So kann der erreichbare TCP-Durchsatz in Abhängigkeit von der benutzten Anwendungspaketgröße bestimmt werden. Durch die Unterstützung von Jumbo-Frames durch die Kartentreiber, kann auch die Standardrahmengröße der Gigabit-Ethernet-Rahmen variiert werden.
- Unterstützung verschiedener TCP-Fenstergrößen durch das Werkzeug, da eine Änderung im Betriebssystem sehr zeitaufwendig ist, siehe Kapitel 4.3 Nr. 4. So kann der erreichbare TCP-Durchsatz in Abhängigkeit von der TCP-Fenstergröße und somit das optimale TCP-Fenster bestimmt werden.
- Unterstützung einer bidirektionalen Verkehrserzeugung durch das Messwerkzeug. Es sollte ein Werkzeug ausgewählt werden, welches beide Kommunikationsrichtungen messen kann, siehe Kapitel 4.3 Nr. 5. So kann ein direkter Vergleich der maximalen Sende- bzw. Empfangsleistung angestellt werden.

Außer diesen Punkten wird im RFC 2544 gefordert, die Performance-Untersuchung über verschiedene Medien zu testen, siehe Kapitel 4.3 Nr. 1. Da die dafür benötigte Hardware zur Verfügung steht, werden alle Performance-Tests auf allen möglichen Medienkombinationen durchgeführt. Dazu werden an dieser Stelle Bezeichnungen für die verwendeten Medienkombinationen bei den Tests eingeführt:

- TP steht für eine Datenübertragung, bei der die beiden Systeme über TP-Kabel mit dem Switch verbunden sind.
- LWL steht für eine Datenübertragung, bei der die beiden Systeme über einen LWL mit dem Switch verbunden sind.
- TPLWL steht für eine Datenübertragung, bei der das sendende System über TP-Kabel und das empfangende System über LWL mit dem Switch verbunden ist.
- LWLTP steht für eine Datenübertragung, bei der das sendende System über LWL und das empfangende System über TP-Kabel mit dem Switch verbunden ist.

Der RFC 2544 fordert weiterhin einen definierten Ausgangszustand der zu testenden Systeme, vgl. Kapitel 4.3 Nr. 2. Dies wird durch die nach Herstellerangaben konfigurierten Desktop-Systeme in der Out-Of-The-Box-Konfiguration sichergestellt.

4.5 Werkzeuge für die Performance-Untersuchung

Innerhalb dieses Kapitels werden verschiedene Werkzeuge vorgestellt, die zur Analyse und Bewertung der Performance eines an ein Netzwerk angeschlossenen Computersystems herangezogen werden können. Zu Beachten ist dabei, wie stark das Gesamtsystem durch einen solchen Test belastet wird und ob daraus eine Beschränkung des erreichbaren Durchsatzes resultieren kann. Die in den Kapiteln 4.5.1 bis 4.5.7 vorgestellten Messwerkzeuge werden auch als Traffic-Generatoren bzw. Bulk-Transfer-Messwerkzeuge bezeichnet. Ein Vorteil dieser Werkzeuge ist, dass sie nicht durch die Festplattenleistung des Systems beeinflusst, sondern nur durch die Prozessorleistung bzw. den Chipsatz begrenzt werden. Diese Werkzeuge betrachten das Netzwerk als Black-Box und erzeugen so viele Zufallsdaten, dass der maximal erreichbare

Durchsatz erzielt wird. Da die Messung mit Hilfe eines realen Systems stattfindet, sind die Ergebnisse nicht allgemeingültig, sondern immer ausschließlich auf die getesteten Desktop-Systeme bezogen. Es wird ebenso die Messmethode der anwendungsnahen Dateitransfers beschrieben.

Zusätzlich werden Programme vorgestellt, die benutzt wurden, um andere Performance-Parameter des Desktop-Systems bestimmen und bewerten zu können (z.B. die Festplattengeschwindigkeit, die CPU- und Speicherauslastung), siehe Kapitel 4.5.11. Bei der Auswahl der unterschiedlichen Werkzeuge wurde auf freie Verfügbarkeit und Aktualität der Programme Wert gelegt. Weiterhin muss eine Windows XP kompatible Version verfügbar sein, da die Performance-Tests auf diesem Betriebssystem durchgeführt werden. Die folgende Aufstellung soll keine vollständige Liste aller verfügbaren Performance-Messwerkzeuge darstellen, sondern lediglich die Werkzeuge benennen, die in Betracht gezogen wurden.

4.5.1 TTCP

Dieses Werkzeug wurde im Jahre 1984 von Terry Slattery und Mike Muuss für das US Army Ballistics Research Lab (BRL) entwickelt, um vorgeschlagene Verbesserungen am TCP-Protokoll zu belegen. TestTCP (TTCP) ist ein kommandozeilenbasiertes Benchmarking-Werkzeug, mit dem der TCP- und UDP-Durchsatz zwischen zwei über ein Netzwerk verbundene Computersysteme gemessen werden kann. Das ursprüngliche TTCP wurde für das BSD Linux System entwickelt, da der TCP-Stack dieses Betriebssystems optimiert werden sollte. Die Quellen sind unter Public Domain veröffentlicht worden. Kopien der Originalquellen existieren auf vielen anonymen FTP-Servern und können von dort kostenlos heruntergeladen werden. Später sind Portierungen von TTCP auf verschiedene Betriebssysteme erschienen, wie IBM OS/2, Unix, Linux, Microsoft Windows 95 und NT, ebenso für JAVA.

Das Werkzeug TTCP ist eine Client-Server-Anwendung, die auf einem System als Receiver (Parameter -r) und auf dem anderen als Transmitter (Parameter -t) gestartet wird. Der Transmitter erzeugt durch den Parameter -s Daten, um sie über das Netzwerk mittels TCP oder UDP an den Receiver zu übertragen. Dieser wertet die Pakete aus und verwirft die Daten aus den Paketen. Anhand der übertragenen Datenmenge und der dafür benötigten Zeit wird der erreichte Durchsatz des Netzwerks berechnet. Darüber hinaus kann TTCP die CPU-Auslastung unter einigen Unix-Systemen mit ausgeben. [TTCP 1997]

4.5.2 WSTTCP 1.0

Im Jahre 1996 veröffentlichte Sungjin Chun eine Portierung von TTCP auf Windows. Dieses Programm arbeitet analog zur originalen BSD-Version und ist mit dieser kompatibel. Durch eine Portierung auf Windows war es möglich die TCP-Netzwerk-Performance zwischen Unix und Windows zu testen. Einzig die Ausgabe der CPU-Nutzung wurde unter Windows nicht implementiert. Die aktuelle Version von WSTTCP ist 1.0 und kann unter [WSTTCP 1996] kostenlos bezogen werden.

4.5.3 PCATTCP

Eine weitere Microsoft Windows Portierung von TTCP stammt von der Firma Printing Communications Associates, Inc. USA (PCAUSA) aus dem Jahre 2003. PCATTCP ist unter einer Open-Source-Lizenz veröffentlicht und kann kostenlos bei PCAUSA bezogen werden. Die aktuelle Version von PCATTCP ist 2.01.01.07. Diese Portierung benutzt, wie die originale TTCP-Version das Client-Server-Modell und verfügt über erweiterte Parameter zur Beeinflussung der Übertragung, siehe [PCAUSA 2003].

4.5.4 NETPERF

Im Jahre 2003 wurde die Netperf Version 2.1pl1 vom 'IND Network Performance-Team' im Auftrag von Hewlett-Packard (HP) entwickelt. Der Fokus dieses Werkzeugs liegt auf der Messung von Bulk-Data-Transfers und ist vergleichbar mit den TTCP-Implementierungen. Zusätzlich werden optionale Performance-Messungen für Fore ATM API, DLPI, Unix Domain Sockets und die HP HiPPI LAN Schnittstellen angeboten. Die Messung von Bulk-Data-Transfers wird auch als stream oder unidirectional stream Performance bezeichnet. NetPerf wurde von HP unter einer Open-Source-Lizenz gestellt und kann kostenlos bei HP als Quelltext bezogen werden [NetPerf 1996]. HP nennt als unterstützte Betriebssysteme alle Unix-Derivate, Linux und Microsoft Windows NT. Dieses Werkzeug wurde in [Shaikh 2001] benutzt um die Verkehrseigenschaften eines Gigabit-Ethernet zu untersuchen.

Wie die zuvor dargestellten Performance-Messwerkzeuge, arbeitet Netperf auf der Kommandozeile, wobei erst beim Aufruf die Konfiguration vom Client zum Server übertragen und danach die Performance-Messung gestartet wird. Für die Konfiguration der Messungen verfügt NetPerf über verschiedene Kommandozeilenparameter, die beim Start des Clients mit angegeben werden können. So kann über die Option '-H IP-Adresse' die Adresse des Zielsystems übergeben werden. Weiterhin kann über die Option '-t [sek]' die Dauer des Tests bzw. die Anzahl der zu übertragenen Byte mit '-t -[Byte]' konfiguriert werden. Der Serverteil von NetPerf wird als zusätzliche Binärdatei (netserver) kompiliert und nicht, wie bei den anderen Werkzeugen, über eine Option eingestellt. Zusätzlich zu diesem Standardtest können über die Option '-t Testname' verschiedene Testskripte ausgeführt werden, um Messungen mit den oben genannten und unterstützten Netzwerktypen durchführen zu können.

Mit einem Unix Betriebssystem ist es möglich, die CPU-Auslastung von Client (Parameter -c) und Server (Parameter -C) am Testende auszugeben. Weiterhin kann die lokale Socket-Puffergröße (-s Puffergröße) und die entfernte Socket-Puffergröße (-S Puffergröße) zum Senden und Empfangen konfiguriert werden; leider funktionierte keine dieser Optionen unter Windows XP. Als Default-Wert wurde immer der vom Betriebssystem bereitgestellte Puffer verwendet.

Während der Performance-Untersuchung wurde Netperf in seiner Standardkonfiguration eingesetzt:

- Receive Socket Size = 8.192Byte
- Send Socket Size = 8.192Byte
- Send Message Size = 8.192Byte
- Testzeit = 10 Sekunden
- Ergebniseinheit ist KByte/s

Die Konfiguration der Send und Receive Socket Size gelang unter Windows XP nicht, da Netperf nur mit der Standardgröße funktioniert und die über Parameter konfigurierten Puffergrößen ignoriert hat. [NetPerf 1996]

4.5.5 NetIO

Im Jahre 2001 veröffentlichte Kai-Uwe Rommel die hier betrachtete Version 1.23 von NetIO. Mit Hilfe der Funktionen von NetIO können Durchsatzmessungen mit den Protokollen TCP (Parameter -t), UDP (Parameter -u) und NetBEUI (Parameter -n) durchgeführt werden. Zusätzlich zu den bisher vorgestellten Werkzeugen kann NetIO während des Tests verschiedene Paketgrößen (Standard: 1, 2, 4, 8, 16 und 32KByte) erzeugen und ermittelt den Durchsatz abhängig von diesen. Die Paketgröße kann auch über einen Kommandozeilenparameter (-b Paketgröße) an NetIO übergeben werden. Dabei werden Pakete von 64Byte bis 64KByte unterstützt, siehe Kapitel 4.3 Nr. 3. Weiterhin wird bei dieser Client-Server-Anwendung der Durchsatz des Netzwerks

immer bidirektional bestimmt, das heißt, dass zuerst vom Client zum Server übertragen wird und danach in der entgegengesetzten Richtung. Dabei verhält sich der Server als Client und umgekehrt. Als Betriebssysteme werden Unix, Linux, OS/2 und Microsoft Windows (Win32) unterstützt. Auch dieses Werkzeug ist frei verfügbar und kann über [NetIO 1997] bezogen werden.

Während der Performance-Tests wurde NetIO mit folgender Konfiguration eingesetzt:

- Standardpaketgrößen: 1, 2, 4, 8, 16 und 32KByte
- Zusätzliche Paketgrößen: 64Byte, 1.460Byte und 64KByte
- Parameter -t, da über TCP kommuniziert werden soll

Mit Hilfe von NetIO ist es möglich, den erreichbaren TCP-Durchsatz abhängig von der durch die Anwendungsschicht erzeugten Paketgröße zu bestimmen. NetIO wird u.a. von der Zeitschrift c't genutzt um den TCP- bzw. UDP-Durchsatz zu bewerten, siehe [Ahlers 2002]. Bei diesem Test wurde der Durchschnitt der Messwerte über die Paketgrößen von NetIO als Ergebnis bewertet. Im Gegensatz dazu soll in den NetIO-Messungen die Abhängigkeit des erreichbaren TCP-Durchsatzes von der Anwendungspaketgröße betrachtet werden. [NetIO 1997]

4.5.6 NetPIPE

NetPIPE steht für Network Protocol Independent Performance Evaluator. Es ist als Open-Source-Produkt zur freien Nutzung verfügbar. Ursprünglich wurde NetPIPE für das 'Scalable Computing Laboratory' (SCL: <http://www.scl.ameslab.gov>) von Quinn Snell, Armin Mikler, John Gustafson, und Guy Helmer entwickelt. Die aktuelle Version von NetPIPE 3.6.1 kann bei SCL kostenlos bezogen werden. Dieses Werkzeug wurde bei verschiedenen Performance-Untersuchungen im Gigabit-Ethernet eingesetzt, z.B. [Gray 2003].

Das Werkzeug sollte mehr Möglichkeiten bei der Protokollunterstützung und Konfiguration als die bisher existierenden Netzwerk-Messwerkzeuge bieten. Weitere Neuerungen sind die Unterstützung verschiedener TCP-Puffergrößen und die unbeschränkte Messung auf einer speziellen Schicht im OSI-Referenzmodell. Durch den modularen Aufbau kann NetPIPE sehr einfach um weitere Protokolle ergänzt werden. Da dieses Produkt ausschließlich für Unix und Linux zur Verfügung steht, kommt es bei der hier angestellten Performance-Untersuchung nicht zum Einsatz. Die eingesetzten Werkzeuge müssen unter Windows lauffähig sein. [NetPIPE 2003]

4.5.7 IPerf

Die meisten der bisher vorgestellten Werkzeuge zur Performance-Messung in Netzwerken sind älter und haben 'verwirrende' Parameter zur Konfiguration. Durch die Entwicklung von IPerf sollte, mit Hilfe leicht verständlicher Parameter, die Analyse von Netzwerkverbindungen vereinfacht werden. IPerf unterstützt viele Betriebssysteme und wird als fertig kompilierte Binärdatei für diese angeboten: Linux libc 2.1, Linux libc 2.3, FreeBSD 4.7, FreeBSD 5.0, Irix 6.5, MacOS X (Darwin 6.4), Microsoft Windows (Win32), OpenBSD 3.1, Solaris 7 und Solaris 8. Die aktuelle, hier betrachtete Version ist die Kommandozeilenversion 1.7.0. Als einziges betrachtetes Programm verfügt IPerf über ein grafisches Frontend zur Konfiguration und zur Durchführung der Tests in Java, welches aus Performance-Gründen aber nicht benutzt wurde.

IPerf ist zurzeit bei mehreren Projekten im Einsatz, dazu zählen z.B.:

- Internet2 Net Flow Report : <http://netflow.internet2.edu/weekly/20040510/>
- TeraGrid – Test der resultierenden Datenrate: <http://www.teragrid.org/>
- NCSA zur Überwachung der Server-Performance: <http://www.ncsa.uiuc.edu/>

Die implementierte Messmethode zur Bestimmung der Netzwerk-Performance arbeitet analog zu der von TTCP. IPerf wird auch als Client-Server-Anwendung betrieben, unterstützt aber zu-

sätzlich zu TTCP die Möglichkeit, mit mehreren IPerf-Clients auf mehrere IPerf-Server zuzugreifen und die Verbindung zu testen. IPerf misst den TCP-Durchsatz und kann zusätzlich die Latenzzeit und den Datagrammverlust ausgeben. Darüber hinaus kann die TCP-Fenstergröße über den TCP-Socket-Puffer eingestellt werden (Parameter `-w [Größe]`). Weitere Parameter können aus [Iperf 2003] entnommen werden. Auch das Testen von UDP-Streams wurde implementiert. Ein Iperf-Client kann einen UDP-Stream einer definierten Bandbreite erzeugen und der Server teilt von IPerf bestimmt, wie viele der UDP-Pakete verloren gegangen sind. So kann zusätzlich die Qualität einer Netzwerkverbindung geprüft werden. Bei einem TCP-Test liefert IPerf die während der Testdauer übertragene Datenmenge und den daraus berechneten TCP-Durchsatz als Ergebnis. Bei einem UDP-Test werden zusätzlich der Jitter, die Gesamtzahl der Datagramme und die verlorenen Datagramme ausgegeben.

Durch die Unterstützung verschiedener TCP-Fenstergrößen kann IPerf den TCP-Durchsatz abhängig von der verwendeten TCP-Fenstergröße messen. Daher kann mit IPerf auch die optimale TCP-Fenstergröße – alternativ zum Bandwidth-Delay-Product (BDP) – experimentell bestimmt werden, siehe Kapitel 6.2.4. [IPerf 2003]

4.5.8 NetIQ Chariot Test-Suite

Bei der NetIQ Chariot Test-Suite 5.0 handelt es sich um ein kommerzielles Produkt, welches über die Homepage des Herstellers NetIQ (<http://www.netiq.com>) als kostenfreie Trialversion bezogen werden kann. Die Chariot Test-Suite verfolgt ein anderes Konzept als die bisher vorgestellten Performance-Messwerkzeuge. Mit ihrer Hilfe können Testskripte erstellt werden, die bestimmte Performance-Untersuchungen zwischen Computern beschreiben.

Die Chariot Test-Suite besteht zum einen aus der Chariot-Console, dem Steuerrechner und Datensammler im Test, zum anderen existieren so genannte Endpunkte für verschiedene Betriebssysteme: HP-UX, IBM AIX, Linux x86, Linux IA-64, Windows CE, Windows Me/NT/2000/XP, Sun Solaris SPARC/x86, SGI IRIX vgl. [NetIQ 2002]. Die Endpunkte werden von der Chariot-Console gesteuert, konfiguriert und die Testskripte ausgeführt. Die Performance-Tests laufen zwischen den Endpunkten ab, die die Ergebnisse im Anschluss an die Chariot-Console übermitteln, siehe Abb. 23.

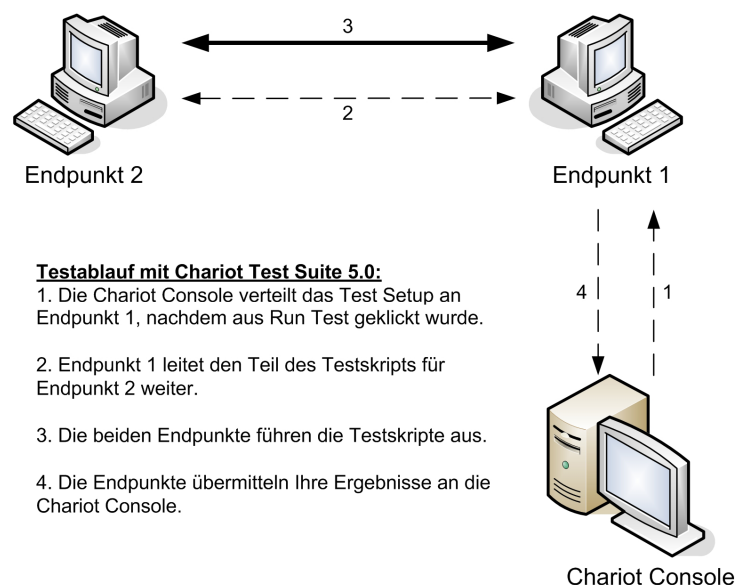


Abb. 23 Prinzipieller Ablauf eines Testskripts mit NetIQ Chariot Test Suite, nach [NetIQ 2002]

Um Tests zwischen zwei Endpunkten durchzuführen, werden die schon erwähnten Testskripte

benötigt. Vorgefertigte Skripte werden von NetIQ im Internet zum Download angeboten. Diese Testskripte sollen das Verhalten von realen Applikationen nachbilden und so einen besseren Realitätsbezug der Testergebnisse herstellen. An dieser Stelle wird eine Auswahl der wichtigsten Testskripte vorgestellt:

- *Active Directory Scripts*: Diese Skripte emulieren und testen das Active Directory für Windows 2000.
- *Exchange 2000 Scripts*: Diese Skripte emulieren und testen Exchange 2000 für Windows 2000.
- *FTP put/get Scripts*: Diese Skripte emulieren und testen eine FTP-Applikation. Die default-Größe der Datei ist dabei 100.000Byte.
- *Lotus Notes Application Scripts*: Diese Geschäftsanwendungsskripte wurden entwickelt, um die Prüfung der Computernetzinfrastruktur zu erleichtern, wenn Lotus Notes Anwendungen betrachtet werden sollen. Sie liefern eine repräsentative Auswahl an Lotus Notes Anwendungstransaktionen.
- *Receive/Send E-Mail Scripts*: Diese Skripte emulieren und testen typische E-Mail-Übertragungen. Die default-Größe einer E-Mail-Nachricht ist dabei 1.000Byte mit einem zusätzlichen Header von 20Byte.
- *Telnet Script*: Dieses Skript emuliert die byteweise Übertragung der Buchstaben in einer TCP-/IP Telnet-Anwendung.
- *Windows 2000 Scripts*: Diese Zusammenstellung von Skripten emuliert und testet ein Active Directory und Exchange 2000 unter Windows 2000. Diese Datei enthält vier Active Directory-Skripte und drei Exchange 2000-Skripte.

Die NetIQ Chariot Test-Suite 5.0 kann mit Hilfe der Endpunkte nur unidirektionale Tests durchführen. Dieses Messwerkzeug wird bei vielen kommerziellen Vergleichstests benutzt, um die Netzwerk-Performance eines Systems zu bewerten, siehe [Veritest 2002], [Veritest 2003].

Bis zum 20.06.2004 war es nicht möglich einen Evaluations-Key für die Chariot Test-Suite 5.0 von NetIQ zu erhalten. Von der Internetseite, auf der dieser Key abrufbar sein sollte, kann nur die Evaluierungsversion heruntergeladen werden. Diese ist jedoch nicht lauffähig, da sie den Key benötigt. NetIQ hat auf E-Mail-Anfragen nur Standardantworten mit Links auf die oben stehende Seite gegeben, weshalb die Tests mit der Chariot Test-Suite nicht in die Testreihe aufgenommen werden konnten. [NetIQ 2000], [NetIQ 2002]

4.5.9 Dateitransfer über das File Transfer Protokoll (FTP)

Bei den bisher vorgestellten Programmen handelt es sich ausschließlich um generische Testprogramme, die die Performance-Untersuchung mit zufällig generierten Daten durchführen. Beim FTP handelt es sich um ein einfaches Protokoll mit wenig zusätzlichem Protokoll-Overhead, weshalb es sich gut zum Einsatz als Testwerkzeug eignet, vgl. Kapitel 2.7.2. Ein weiterer Vorteil ist, dass in den meisten FTP-Clients die Bestimmung des erreichten Durchsatzes bereits integriert ist und sich leicht auswerten lässt. Die Testmethode FTP-Transfer benutzt einen FTP-Server und einen FTP-Client, um eine vorher für alle anwendungsnahen Tests erzeugte Datei mit Testdaten zu übertragen. Diese Datei ist ein ISO CD-Image mit einer Größe von 436.627.528Byte.

Der eingesetzte FTP-Server bzw. -Client wurde mit dem Betriebssystem ausgeliefert. Unter Microsoft Windows XP SP1 ist dies der Microsoft Internet Information FTP-Server und der Kommandozeilen FTP-Client, vgl. Kapitel 3.4. Die Testmethode umfasst je fünf ‚get‘ und fünf ‚put‘ Durchläufe mit den Testdaten, welche dann gemittelt werden. Die Testdaten werden gesendet (put) und empfangen (get), um die bidirektionale Kommunikation zu prüfen, vgl. Kapitel 4.3 Nr. 5.

4.5.10 Dateitransfer über das Server Message Block Protokoll (SMB)

Die Performance-Untersuchung mit dem SMB-Protokoll soll zum Abschluss der Testreihen einen realen Einblick in die Netzwerk-Performance eines vernetzten Desktop-Systems bieten. Im realen Produktiveinsatz ist das SMB-Protokoll zur Anbindung von Windows Desktop-Systemen weit verbreitet. Der Protokoll-Overhead, den eine SMB-Datenübertragung benötigt, ist im Vergleich mit einer FTP-Datenübertragung sehr groß, vgl. Abb. 20 und Kapitel 2.7.3.

Bei der SMB-Performance-Untersuchung wird die Zeit zwischen Start und Ende der Dateiübertragung gemessen und mit Hilfe der Dateigröße der Testdaten – einem ISO CD-Image mit einer Größe von 436.627.528Byte – der erzielte Durchsatz berechnet:

$$\text{Durchsatz} = \frac{\text{Testdatengröße}}{\text{Übertragungszeit}}$$

Wie in Kapitel 2.7.3 beschrieben, muss der Protokoll-Stack zusätzlich zu den reinen Daten die Protokollinformationen übertragen. Dies bedeutet, dass über das Netzkabel mehr Daten mit einem höheren Durchsatz übertragen werden. Diese höhere Rate besteht nur aus Protokoll-Overhead. Der resultierende SMB-Protokoll-Overhead für eine Übertragung der Testdatei kann wie folgt berechnet werden, vgl. Kapitel 2.7.3:

$$\text{SMB-Overhead} = \frac{436.627.528\text{Byte}}{65.536\text{Byte}} * 39\text{Byte} = 259.833,8866\text{Byte}$$

Daraus folgt, dass die TCP-Schicht nun 436.887.361,8866Byte Daten übertragen muss, also 259.833,8866Byte mehr als die Testdaten. Bei der Berechnung des SMB-Durchsatzes wurde nur die wirkliche Dateigröße herangezogen, da der SMB-Protokoll-Overhead nur theoretisch betrachtet wurde.

Da es ungenau und unpraktisch ist, die Übertragungszeit mit einer Stoppuhr zu messen, wurde ein Skript dafür erstellt. Dieses hält automatisch die Startzeit in einer Log-Datei fest, überträgt die Daten und schreibt die Endzeit der Datenübertragung wiederum in eine Log-Datei. Exemplarisch wird an dieser Stelle der Ausschnitt eines Skripts dargestellt:

```
@echo off
echo Beginne ersten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> Testlauf.txt
time < return >> Testlauf.txt
xcopy \\10.10.0.17\Bachelor\testdaten c:\temp
time < return >> Testlauf.txt
echo Beginne ersten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> Testlauf.txt
```

Abb. 24 Auszug aus einem SMB-Testskript

Dieses Skript speichert die Systemzeit in Millisekunden mit Hilfe des ‚time‘-Kommandos in der Datei ‚Testlauf.txt‘. Der Aufruf von ‚return‘ ruft eine ASCII-Datei auf, die ein einzelnes ‚carriage return‘ enthält. Dies wurde nötig, da das ‚time‘-Kommando eine Eingabe des Anwenders erwartet. Danach wird vom Rechner mit der IP-Adresse ‚10.10.0.17‘ von der SMB-Freigabe ‚Bachelor‘ die Datei ‚Testdaten‘ auf die lokale Festplatte kopiert. Nachdem die Datei kopiert wurde, wird das ‚time‘ Kommando erneut aufgerufen, um die Endzeit an die Datei ‚Testlauf.txt‘ anzuhängen. Wie schon beim FTP-Test wird beim SMB-Test die Dateiübertragung bidirektional gemessen, wobei put und get analog zum FTP-Transfer benutzt werden. Das komplette SMB-Testskript ist im Anhang als Abb. 43 aufgeführt und das SMB-Testskript für die SMB-put Messung als Abb. 44. In diesem Testskript wird der SMB-Transfer fünfmal durchgeführt, wobei zwischen den Transfers eine Pause von 20 Sekunden eingelegt wird, damit sich die Puffer in den Netzwerk-komponenten leeren und sich das Netzwerk beruhigt..

4.5.11 Weitere Werkzeuge zur Performance-Bewertung

In diesem Kapitel werden weitere Programme vorgestellt, die bei der Durchführung der Performance-Untersuchung hilfreich bzw. unverzichtbar sind, um z. B. die Systemleistung bewerten zu können.

4.5.11.1 hrPing - high resolution Ping

Bei hrPing handelt es sich um einen kostenlosen Ersatz für das zum Lieferumfang von Windows XP gehörende Ping, welches die RTT nur als volle Millisekunden angeben kann (<http://www.cfos.de>). Mit Hilfe von hrPing ist es möglich, die RTT zwischen zwei Systemen in Millisekunden auf drei Stellen hinter dem Komma genau zu messen.

Ein Ping ist ein ICMP Echo Request, worauf der adressierte Rechner mit einem ICMP Echo Response antwortet. Das Programm hrPing benutzt zur Berechnung der RTT die CPU (Central Processing Unit) Time-Stamps und kann deshalb genaue Werte berechnen.

4.5.11.2 TDIQ

Dieses Programm ermöglicht eine erweiterte Ausgabe von Netzwerkparametern unter Microsoft Windows 32Bit Systemen und entspricht einem erweiterten 'ipconfig' unter Windows. Das Programm wurde von PCAUSA entwickelt und als Open-Source veröffentlicht. Die aktuelle Version von TDIQ ist V2.01.04.12. Unter <http://www.pcausa.com/tdisamp/tdiq.htm> können weitere Informationen abgerufen und das Programm kostenlos heruntergeladen werden. Die Ausgabe von TDIQ umfasst:

- Netzwerkkonfiguration
- IP-Konfiguration
- Routing-Informationen
- IP-Statistiken

Dieses Programm wurde benötigt, um zu überprüfen, ob die konfigurierte MTU bzw. Jumbo-Frame-Größe vom Betriebssystem verwendet wird.

4.5.11.3 DrTCP

DrTCP ist ein freies Programm, mit dem die TCP-Protokolleinstellungen unter Microsoft Windows Betriebssystemen ausgelesen und verändert werden können. Die TCP-Einstellungen werden in der Registrierung von Windows durch DrTCP eingetragen, vgl. Kapitel 3.4. Das Programm kann unter <http://www.dslreports.com/drtcp> in der aktuellen Version 2.1 kostenlos heruntergeladen werden.

4.5.11.4 Disk Speed

Bei diesem Werkzeug handelt es sich um ein Windows Programm mit GUI (Graphical User Interface), welches die Geschwindigkeit für jeden Cluster der Festplatte misst. So kann die maximale bzw. minimale Datentransferrate der Festplatte bestimmt werden. Die Berechnung des Mittelwertes aus allen Einzelwerten zeigt die unter realen Bedingungen maximal erreichbare Geschwindigkeit. Diese Übertragungsrate kann der begrenzende Faktor einer Übertragung von einer Festplatte über das Gigabit-Ethernet-Netzwerk sein, wenn sie geringer ausfällt. Eine aktuelle Version 3.2 des Benchmarks kann im Internet kostenlos bezogen werden. Disk Speed wurde benutzt, um die maximale Festplatten-Performance der Systeme zu ermitteln.

4.5.11.5 Intel Iometer

Auch dieses Programm, welches ursprünglich von Intel entwickelt wurde, jetzt aber als Open-Source gepflegt wird, misst die Übertragungsleistung von Laufwerken. Der Fokus dieses Programms liegt auf der Bestimmung der Geschwindigkeit von virtuellen Laufwerken, wie z.B. eines Netzwerklaufwerks oder wie hier einer RAM-Disk. Iometer verfügt über eine GUI, mit der der kommandozeilenbasierte Teil der Software konfiguriert und gestartet wird. Außerdem wird das Ergebnis innerhalb der GUI angezeigt. Die aktuelle Version 2003.12.16 kann von der Projektseite <http://www.iometer.org/> kostenlos bezogen werden.

4.5.11.6 PCIScope

Dieses Werkzeug kann die Konfiguration des PCI-Busses auslesen und anzeigen. Es bietet weiterhin die Möglichkeit, die verschiedenen konkurrierenden PCI-Komponenten zu beobachten und von ihnen erzeugte Interrupts aufzuzeichnen. Mit Hilfe dieses Programms soll die Verbesserung der Interrupt-Verhältnisse nach dem Ausbau bzw. der Deaktivierung der Hardwarekomponenten gezeigt werden. Leider wurde der auf den Mainboards eingesetzte Chipsatz VIA KT400 nicht von PCIScope unterstützt, siehe [PCIScope 2004]. Deshalb war es nicht möglich, dieses Werkzeug mit den vorhandenen Mainboards zu verwenden. Da keine Alternative gefunden wurde, konnten die Interrupt-Verhältnisse nicht beobachtet werden. Eine kostenlose 14-tägige Trialversion von PCIScope kann, in der aktuellen Version 2.00.001, unter <http://www.tssc.de> heruntergeladen werden.

4.5.11.7 Ethereal mit WinPcap

Bei Ethereal handelt es sich um einen Open-Source Netzwerk-Protokoll-Analysator für Windows-, Linux- und Unix-Systeme. Ethereal empfängt im promiscuous-mode alle Netzwerkpakete, speichert und analysiert sie. Zur Analyse werden die Pakete in die verschiedenen Protokollschichten aufgeteilt und die jeweiligen Informationen angezeigt. Da es sich beim Gigabit-Ethernet um ein geschwitchtes Netzwerk handelt, kann Ethereal nur die Kommunikation des Systems aufzeichnen, auf dem es gestartet wurde. Ein Protokoll-Analysator wird auch als passives Werkzeug bezeichnet, weil er selbst keine Daten erzeugt, sondern diese nur mithören kann. Bei der Durchführung der Tests soll mit Hilfe von Ethereal die Kommunikation zwischen den DUTs aufgezeichnet und analysiert werden. Diese Tests mit Ethereal wurden außerhalb des normalen Testablaufs durchgeführt, siehe Kapitel 6.2.7. Die aktuelle Version 0.10.3 von Ethereal kann unter <http://www.ethereal.com> kostenlos heruntergeladen werden. Voraussetzung für den Einsatz von Ethereal unter Windows XP ist ein installierter WinPcap-Treiber, aktuell ist die Version 3.1 BETA.

4.5.11.8 Windows XP Task-Manager

Dieses von Windows XP mitgelieferte Werkzeug informiert den Anwender über die momentane Auslastung der CPU, des Speichers und der Auslagerungsdatei. Mit Hilfe des System-Monitors, der im Task-Manager von Windows XP integriert ist, wurden während der Tests die Betriebssystemparameter beobachtet. Damit konnte die Auslastung des Gesamtsystems bewertet werden. So würde z.B. eine hundertprozentige Auslastung der CPU und des Speichers während eines Testdurchlaufs darauf schließen lassen, dass die Geschwindigkeit der CPU oder ein zu kleiner Speicher der begrenzende Faktor des Durchsatzes ist.

4.5.12 Auswahl der Werkzeuge für die Performance-Untersuchung

Für die Durchführung der Performance-Untersuchung werden drei der in Kapitel 4.5.1 bis 4.5.7 vorgestellten Bulk-Transfer-Messwerkzeuge ausgewählt. Als erstes Werkzeug wurde Netperf

2.1pl1 bestimmt, weil es von einem namhaften Hersteller (Hewlett-Packard) entwickelt wurde und in diversen Performance-Untersuchungen bzw. -Evaluierungen eingesetzt wurde, vgl. [Galatin 1999], [Netperf 1996].

Des Weiteren wurde Iperf ausgewählt, weil es vergleichbar mit Netperf arbeitet, aber in einer aktuelleren Version vorliegt. Die Entwickler von IPerf sehen es als Weiterentwicklung der meisten Bulk-Transfer-Messwerkzeuge. Weiterhin ist es möglich, die Konfiguration des TCP/IP-Stacks über Kommandozeilenparameter vorzunehmen, und so den Einfluss von Protokoll-Parametern wie der TCP-Fenstergröße zu bestimmen, vgl. Kapitel 4.3 Nr. 4 und [Iperf 2003]. Iperf wird vom Lawrence Berkeley National Laboratory als Bestandteil des NTAF (Network Tool Analysis Framework) eingesetzt, vgl. <http://dsd.lbl.gov/NTAF/>.

Als letztes Bulk-Transfer-Messwerkzeug wurde NetIO bestimmt, da es die Paketgröße der sendenden bzw. empfangenden Anwendung variieren kann, vgl. Kapitel 4.3 Nr. 3. Somit ist es möglich, den Einfluss der Anwendungspaketgröße auf die Übertragungsrate zu bestimmen. Außerdem unterstützt NetIO die bidirektionale Übertragung, indem es nach einem Sendevorgang immer einen Empfangsvorgang mit den selben Parametern startet, vgl. Kapitel 4.3 Nr. 5.

Es werden verschiedene Bulk-Transfer-Messwerkzeuge eingesetzt, um die Abweichungen der einzelnen Testdurchläufe vergleichen und so die Qualität der Werkzeuge bestimmen zu können. Weiterhin muss für die Benutzung eines Werkzeugs bei der Performance-Untersuchung sichergestellt werden, dass das Werkzeug in der Lage ist, genügend Zufallsdaten zu erzeugen, um die zu testenden Systeme auszulasten. So wird garantiert, dass das Gigabit-Ethernet von den Werkzeugen nahezu ausgelastet werden kann. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Performance-Untersuchungen betrachtet, bei denen die ausgewählten Bulk-Transfer-Messwerkzeuge eingesetzt wurden:

- *NetPerf*: Gigabit-Ethernet Performance-Untersuchung an einem HP-Server, bei dem NetPerf einen maximalen TCP-Durchsatz von 948MBit/s erreichte, siehe [HP 2003].
- *Iperf*: Gigabit-Ethernet Performance-Untersuchung mit 64Bit Gigabit-Ethernet PCI-Karten, dabei erreichte Iperf einen maximalen TCP-Durchsatz von 990MBit/s, siehe [Zaitsev 2004].
- *NetIO*: Performance-Untersuchung verschiedener schneller Netzwerktechniken, bei dem NetIO einen maximalen TCP-Durchsatz von 794,4MBit/s erreichte, siehe [Lau 2003].

An den Ergebnissen der unterschiedlichen Tests ist zu erkennen, dass für die Auswertung der entwickelten Performance-Untersuchung die Bulk-Transfer-Messwerkzeuge eine obere Grenze definieren. Das heißt, dass Messwerte, die nah an den maximal erreichten TCP-Durchsätzen aus diesen Tests liegen, durch das verwendete Werkzeug begrenzt sein können.

Bei der Durchführung der Untersuchung wurden die Bulk-Transfer-Messwerkzeuge mit den folgenden Parametern von der Kommandozeile aufgerufen:

- `,iperf -c <IP-Adresse Server>` auf der Clientseite und `,iperf -s` auf der Serverseite,
- `,netperf -H <IP-Adresse Server>` auf der Clientseite und `,netserver` auf der Serverseite
- `,netio -t <IP-Adresse Server>` auf der Clientseite und `,netio -t -s` auf der Serverseite

Zusätzlich zu den Bulk-Data-Transfer-Tests sollten auch höhere Protokollschichten des Betriebssystems und deren Einfluss auf die Übertragungsrate bestimmt werden. Dazu wurden die FTP- und SMB-Tests, wie in Kapitel 4.5.9 und 4.5.10 beschrieben, in die Performance-Untersuchung aufgenommen. Abschließend soll die RTT in der jeweiligen Konfiguration bestimmt werden, weshalb auch Messungen mit hrPing in die Performance-Untersuchung aufgenommen wurde. Mit Hilfe der Messwerkzeuge wurden weitere Tests zwischen den einzelnen Modifikationen am System durchgeführt, um damit einen direkten Hinweis auf die Wirksamkeit einzelner Änderungen zu erhalten. Die in Kapitel 4.5.11 vorgestellten Werkzeuge wurden während der Untersuchung der Desktop-Systeme ebenfalls genutzt.

4.6 Darstellung der verwendeten Systemkonfigurationen

In diesem Kapitel werden die Systemkonfigurationen für die verschiedenen Modifikationsstufen vorgestellt. Für die Tests wurden vier, bis auf die Gigabit-Ethernet-Anbindung, gleich konfigurierte Desktop-Systeme genutzt. Die Grundkonfiguration wurde bereits in Kapitel 3 beschrieben.

Für die Performance-Untersuchung standen zum einen verschiedene Medien mit dazu passenden Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten, vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.2, und zum anderen ein Gigabit-Ethernet-Switch mit integriertem GBIC zur Verfügung, vgl. Kapitel 3.2.3. Bei der Durchführung jedes Tests wurden nur die beiden Desktop-Systeme mit dem Switch verbunden, die gerade getestet wurden. So wird eine Beeinflussung der Testergebnisse durch andere Systeme ausgeschlossen. Weiterhin wurden bei allen Tests dieselben Messwerkzeuge eingesetzt, vgl. Kapitel 4.5.12. Während der Testdurchführung wurde die CPU- bzw. Speicherauslastung mit Hilfe des Windows XP Task-Managers beobachtet und dokumentiert.

Wie bereits in Kapitel 3.4 erläutert, wurden die Systeme nach Herstellerangaben installiert und mit allen aktuellen Updates versehen. Dieser Update-Stand des Betriebssystems wurde während der gesamten Performance-Untersuchung nicht mehr verändert, vgl. Kapitel 4.3 Nr. 2.

Als Ziel der Untersuchung wurde in Kapitel 4.4.2 das ‚configuration sizing‘ [Buchanan 1996] ausgewählt und, da der RFC 2544 ebenfalls eine Modifikation der Systeme zwischen zwei Tests empfiehlt, werden vier Tests mit jeweils modifizierter Gigabit-Ethernet-Konfigurationen durchgeführt. Zusätzlich wird ein Vergleichstest mit einem Fast-Ethernet durchgeführt, der damit die fünfte Konfiguration bei der Performance-Untersuchung darstellt:

- Test 1: Out-Of-The-Box, siehe Kapitel 4.6.1.
- Test 2: Hardware modifiziertes System, siehe Kapitel 4.6.2.
- Test 3: Soft- und Hardware modifiziertes System, siehe Kapitel 4.6.3.
- Test 4: Modifiziertes System mit zusätzlicher RAM-Disk, siehe Kapitel 4.6.4.
- Test 5: Fast-Ethernet-Vergleichstest, siehe Kapitel 4.6.5.

Bei allen durchgeführten Performance-Tests muss immer berücksichtigt werden, dass sich die Testergebnisse nur auf die untersuchten Desktop-Systeme beziehen und nicht allgemeingültig sind. Aus den Messergebnissen kann jedoch eine Tendenz für ähnliche Desktop-Systeme und deren Performance in einem Gigabit-Ethernet-Netzwerk abgelesen werden. Die folgenden Kapitel 4.6.1 bis 4.6.5 beschreiben die Systemkonfigurationen der Desktop-Systeme bei den jeweiligen Tests bzw. die am System durchgeführten Modifikationen.

4.6.1 Systemkonfiguration Test 1: Out-Of-The-Box

Im ersten Test werden die Windows XP Desktop-Systeme, wie in Kapitel 3.4 beschrieben untersucht, das heißt die Systemkonfiguration wurde nicht verändert. Daher entspricht das Desktop-System der vom Hersteller empfohlenen Konfiguration. Dies bedeutet, dass die Netzwerk- bzw. System-Performance im ‚Auslieferungszustand‘ gemessen wird. Diese Messungen dienen der Bewertung der durchgeführten Modifikation und dem damit verbundenen Optimierungserfolg.

4.6.2 Systemkonfiguration Test 2: Hardware modifiziert

Bei diesem Test soll der Einfluss der eingebauten bzw. integrierten PCI-Karten am PCI-Bus auf die Netzwerk-Performance hin untersucht werden. Die theoretische Datenrate, welche der eingesetzte PCI-Bus leistet ist 133MByte/s bzw. 1.064MBit/s, was für eine Auslastung eines Gigabit-Ethernet theoretisch ausreicht. Beim PCI-Bus handelt es sich um ein Bussystem, bei wel-

chem sich alle angeschlossenen Komponenten die vorhandene Bandbreite teilen müssen. Daher können andere PCI-Karten Interrupts auslösen, bei denen das Betriebssystem einer anderen PCI-Karte den Prozessor zuteilt. Ein Interrupt kann zu einem geringeren Datendurchsatz auf dem PCI-Bus führen. Ziel dieses Tests ist die Bestimmung des maximal erreichbaren Durchsatzes des Desktop-Systems. Ein weiterer wichtiger Aspekt in Bezug auf den PCI-Bus ist, dass der IDE-Kontroller über den gleichen PCI-Bus betrieben wird, aber nicht deaktiviert werden kann. Ansonsten stünde keine Festplatte mehr zur Verfügung. Weiterhin werden für die eingebauten bzw. aktivierten Komponenten im Desktop-System die Treiber vom Betriebssystem geladen, was zu einer höheren Belastung des Gesamtsystems führt. Diese Belastung spiegelt sich in einer höheren CPU- und Hauptspeicherauslastung wieder.

Die durchgeführten Modifikationen am System sind zum einen der Ausbau aller nicht benötigten PCI-Karten (ein WLAN-Adapter und zwei 3Com Fast-Ethernet PCI-Netzwerkkarten) und zum anderen die Deaktivierung anderer nicht benötigter Komponenten über das BIOS. Mit Hilfe des BIOS wurden die Soundkarte, der Game-Port, die Onboard-Netzwerkkarte, die USB-, LPT-, und COM-Ports deaktiviert. Bei diesem Umbau der Desktop-Systeme wurde die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte in den PCI-Slot, der am nächsten zur CPU liegt, eingebaut. So werden die Signalwege zwischen CPU, Speicher und Netzwerkkarte minimiert. Die resultierende Systemkonfiguration verfügt, nach der Durchführung der Modifikationen, noch über vier aktive PCI-Komponenten: den PS/2-Kontroller, die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte, die PCI to AGP Bridge und den IDE-Bus-Master-Kontroller für die Festplatte. Nach der Durchführung dieser Tests kann, im Vergleich mit Test 1, der Geschwindigkeitszuwachs durch die Hardware-Modifikation bewertet werden.

4.6.3 Systemkonfiguration Test 3: Software modifiziert

Für die Durchführung von Test 3 wurden die Software-Einstellungen des Betriebssystems modifiziert und die Treiber der Komponenten aktualisiert. Die vorgenommenen Software-Modifikationen wurden in zusätzlichen Kurztests überprüft. In der Out-Of-The-Box-Konfiguration waren die aktuellen Treiber für den Chipsatz von VIA (KT400), welcher den IDE-Kontroller, die PCI to AGP Bridge und den PS/2-Kontroller einschließt, installiert. Für die Intel Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte wurden aktuellere Treiber (Version 7.4.19.0) aufgespielt, wohingegen für die Netgear Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte keine neueren Treiber existieren. Um die Wirksamkeit des Treiber-Updates zu überprüfen, wurde eine Zwischenmessung mit dem aktualisierten Treiber der Intel Netzwerkkarte durchgeführt, welche keine Verbesserung der Netzwerk-Performance mit sich brachte.

Nach der Aktualisierung der Treiber wurden die Windows XP Netzwerkeinstellungen modifiziert. So wurde der ‚QoS Paketplaner‘ deaktiviert, welcher 20% der verfügbaren Bandbreite reserviert und so den Anwendungsprogrammen vorenthält. Die Konfiguration des ‚QoS Paketplaner‘ kann über die Gruppenrichtlinie, welche über den Befehl ‚gpedit.msc‘ aufgerufen wird, durchgeführt werden. Weiterhin wurde die Einstellung ‚NetBIOS über TCP verwenden‘ deaktiviert, so dass das SMB-Protokoll direkt auf TCP aufsetzen kann und nicht unnötiger Protokoll-Overhead erzeugt wird, vgl. [MS KB 2003]. Diese Modifikation hat nur Einfluss auf die SMB-Performance des Systems. Die Konfiguration kann in den ‚WINS-Einstellungen‘ des TCP/IP-Protokolls der aktiven Netzwerkverbindung vorgenommen werden.

Microsoft Windows XP unterstützt über Parameter der Windows-Registrierung verschiedene Netzwerkeinstellungen für das TCP, siehe [MS Win2000]. Dazu gehört auch die Unterstützung der in [RFC 1323] vorgeschlagenen Verbesserungen am TCP/IP-Protokoll für schnelle Netzwerke. Diese Einstellungen sind standardmäßig deaktiviert. Daher wurden diese im Betriebssystem modifiziert und die Registrierungsschlüssel in der Windows Registrierung hinzugefügt. Dazu wurde das Programm ‚regedit.exe‘ genutzt.

Die neuen Schlüssel befinden sich in der Registrierung unter:

HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Services\Tcp\Parameters

Die Namen der neuen Schlüssel, welche alle vom Typ DWORD sind, lauten:

- *Tcp1323Opts* – Dieser Registrierungs-Parameter konfiguriert die Unterstützung für große TCP-Fenster und kann einen Wert zwischen 0 und 3 annehmen. Wobei 0 für die Deaktivierung der RFC 1323 Funktionen steht. Wenn der Wert auf 1 gesetzt wird, ist nur die Unterstützung für große TCP-Fenster aktiviert. Bei einer 2 werden nur die im RFC 1323 vorgeschlagenen Zeitstempel aktiviert. Der Wert 3 aktiviert beide Optionen, vgl. [RFC1323] und [MS Win 2000]. Erst nach der Konfiguration dieses Parameters wird eine größere TCP-Fenstergröße als 64KByte vom Betriebssystem unterstützt. Es wurde ein Wert = 1 gewählt, da die Zeitstempel einen zusätzlichen Overhead von 12Byte erzeugen und in dieser Testumgebung nicht benötigt werden.
- *GlobalMaxTcpWindowSize* – Dieser Wert gibt die maximale Größe des TCP-Fensters in Byte an. Der Wert wird nur bei konfigurierter Unterstützung für große TCP-Fenster vom Betriebssystem ausgewertet. In diesem Test wurde der Wert auf 131.400 (dezimal) eingestellt, was einem TCP-Fenster von 131.400Byte pro TCP-Verbindung und 90 mal der MTU entspricht, vgl. [MS Win 2000]. Die Größe von ca. 128KByte wurde durch Versuche mit Iperf und variablen Fenstergrößen bestimmt, vgl. Kapitel 6.2.1.
- *TcpWindowSize* – Dieser Registrierungs-Parameter konfiguriert die Anfangsgröße des TCP-Fensters und wurde auf den Wert des *GlobalMaxTcpWindowSize*, also 131.400 (dezimal) konfiguriert, vgl. [MS TCP/IP 2004]. Durch die Festlegung der maximalen TCP-Fenstergröße auf den Wert der Startgröße des TCP-Fensters wird der Wert fest eingestellt und eine dynamische Veränderung durch das Betriebssystem verhindert. Neben der experimentellen Bestimmung der Fenstergröße mit Iperf, vgl. Kapitel 6.2.1, wird in Kapitel 6.2.4 exemplarisch das BDP berechnet.

Da die Treiber der beiden Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten gut konfigurierte Standardeinstellungen haben, wurde nur die Unterstützung für Jumbo-Frames aktiviert. Dazu werden von beiden Karten verschiedene Größen unterstützt, siehe Kapitel 3.2.1 und 3.2.2. Für die Jumbo-Frame-Testläufe, werden 9.000Byte große Jumbo-Frames genutzt, vgl. Kapitel 2.4.2. Bei der Durchführung dieser Tests stellte sich heraus, dass der Switch keine Jumbo-Frames unterstützt. Deshalb wurden alle nicht standardkonformen Rahmen vom Switch verworfen. Weil die Performance-Untersuchung konsistent und vergleichbar bleiben sollen, wurden die Tests mit aktivierten Jumbo-Frames in die zusätzlichen Tests ausgelagert und mit Hilfe einer direkten Verbindung ohne Switch zwischen den Desktop-Systemen durchgeführt, siehe Kapitel 6.2.5 und 6.2.6.

Das Windows XP Desktop-System wurde in dieser Systemkonfiguration den gleichen Tests unterzogen wie bei den vorhergehenden Tests. Aus der Änderung des gemessenen TCP-Durchsatzes kann der Erfolg der Software-Modifikationen abgelesen werden.

4.6.4 Systemkonfiguration Test 4: RAM-Disk

Die für diesen Test an den Desktop-Systemen vorgenommenen Modifikationen sind zum einen die Erweiterung des Hauptspeichers von 512 auf 1.024MByte und zum anderen die Konfiguration eines RAM-Disk-Treibers. Der hinzugekommene Hauptspeicher wird komplett von der RAM-Disk belegt und so ein 512MByte großes RAM-Laufwerk erzeugt. Als RAM-Disk wurde die QSoft RAM-Disk Version 5.2.9.0 in der PRO Variante als Evaluationsversion eingesetzt. Informationen zu dieser Software sind unter <http://ramdisk.tk/> abrufbar. Die Geschwindigkeitsmessung der QSoft RAM-Disk befindet sich in Kapitel 6.2.3.

Auf dieses RAM-Laufwerk wurden die Testwerkzeuge und die Testdaten kopiert. Es wurde eine Windows Dateifreigabe für den Netzwerkzugriff auf das RAM-Laufwerk konfiguriert. Des Weiteren wurde die Konfiguration des FTP-Servers so angepasst, dass sich das Wurzelverzeichnis

auf dem RAM-Laufwerk befindet. Die Ausführung der Bulk-Transfer-Messwerkzeuge von einem RAM-Laufwerk aus wird keinen Geschwindigkeitszuwachs erzielen, jedoch wird dadurch eine Abhängigkeit ausgeschlossen. Nach der Modifikation verfügen alle Desktop-Systeme über ein 512MByte großes RAM-Laufwerk. Die Dateiübertragung über FTP bzw. SMB wird nun nicht mehr von einer Festplatte über das Netzwerk auf eine Festplatte verlaufen, sondern von einem RAM-Laufwerk über das Netzwerk auf ein RAM-Laufwerk.

Dieser vierte Performance-Test soll die Abhängigkeit des Netzwerkdurchsatzes von der Festplattengeschwindigkeit zeigen. Zum Vergleich der Geschwindigkeiten der Festplatte und der RAM-Disk wird in Kapitel 6.2.3 die Geschwindigkeit der beiden Laufwerke bestimmt.

4.6.5 Systemkonfiguration Test 5: Fast-Ethernet-Vergleich

Der fünfte Test ist der Fast-Ethernet-Vergleichstest und soll den Durchsatzzuwachs, welcher durch die Aufrüstung eines Desktop-Systems von Fast- auf Gigabit-Ethernet entsteht, näher beleuchten. Dazu werden die Desktop-Systeme in der Out-Of-The-Box-Konfiguration mit den Fast-Ethernet-Netzwerkkarten und dem Fast-Ethernet-Switch getestet, siehe Kapitel 3.2.4 bzw. 3.2.5. Die Out-Of-The-Box-Konfiguration wurde bereits in Kapitel 3.4 beschrieben. Für diesen Test wurden die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten deaktiviert und die Fast-Ethernet-Netzwerkkarten aktiviert und für die Messungen benutzt.

4.6.6 Abdeckung der Ziele durch die benutzten Werkzeuge

Bei jedem vorgestellten Test werden verschiedene Werkzeuge zur Messung des Netzwerkdurchsatzes eingesetzt. So sollen die Ergebnisse der Bulk-Transfer-Messwerkzeuge eine Bewertung des erreichbaren TCP-Durchsatzes ermöglichen. Zusätzlich soll die Zuverlässigkeit des Messwerkzeugs selbst geprüft werden. Weiterhin soll, durch die Iperf-Messungen, die Abhängigkeit des TCP-Durchsatzes von der TCP-Fenstereinstellung aufgezeigt werden. Die NetIO-Messungen sollen hingegen die Abhängigkeit des TCP-Durchsatzes von der Anwendungspaketgröße zeigen. Alle ausgewählten Bulk-Transfer-Messwerkzeuge liefern einen Maximalwert des TCP-Durchsatzes, der mit Hilfe des Desktop-Systems erreicht werden kann.

Zusätzlich werden höhere Protokollschichten betrachtet, indem die SMB- und FTP-Durchsätze bestimmt werden. Diese Messungen sollen die im realen Einsatz erreichbaren Dateitransferraten eines Desktop-Systems in einem Gigabit-Ethernet veranschaulichen. Bei der Bewertung der Messergebnisse muss immer beachtet werden, dass die Messungen aller Werkzeuge und auch der realen Versuche nur den Bruttodurchsatz der Übertragung bestimmen. Der Nettodurchsatz auf dem Medium ist durch den Protokoll-Overhead naturgemäß höher, vgl. Kapitel 2.7.1.2.

4.7 Zusammenfassung der Performance-Untersuchung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Fokus der Performance-Untersuchung auf der Bestimmung des maximal erreichbaren Netzwerkdurchsatzes eines Microsoft Windows XP Desktop-Systems liegt. Dabei wird die Methode des ‚configuration sizing‘ [Buchanan 1996] angewendet. Daraus folgt die Einteilung der Performance-Untersuchung in vier Bereiche:

1. Bewertung der Bulk-Transfer-Messwerkzeuge anhand der durchgeführten Messungen. Zusätzlich gehen Parameter wie die Aktualität, Dokumentation und Konfigurierbarkeit mit in die Bewertung ein. Die zugehörige Auswertung befindet sich in Kapitel 6.1. Mit Hilfe der Excelfunktion *STABWNA(Bereich)* wurde die Standardabweichung jeder Messreihe berechnet, vgl. Tab. 9. Eine Abweichung von mehr als 4MBit/s geht negativ in die Bewertung ein.
2. Bestimmung des maximal erreichbaren TCP-Durchsatzes eines Windows XP Desktop-

Systems durch ‚configuration sizing‘ (Test 1 bis 4), unter Einbeziehung der Abhängigkeit vom verwendeten Netzwerkmedium. In diesem Bereich wird die Eignung der Desktop-Systeme für eine Anbindung an ein Gigabit-Ethernet untersucht. Die zugehörige Auswertung befindet sich in Kapitel 6.3.1.

3. Vergleich des maximal erreichbaren TCP-Durchsatzes im Gigabit-Ethernet (Windows XP Test 1) mit einem Windows XP Fast-Ethernet Desktop-System (Test 5) in der Out-Of-The-Box-Konfiguration. In diesem Bereich wird die Aufrüstung eines Fast- auf ein Gigabit-Ethernet in Bezug auf die Desktop-Systeme untersucht. Die zugehörige Auswertung befindet sich in Kapitel 6.3.2.
4. Bestimmung der nutzbaren Dateitransferrate für den Anwender durch Prüfung des maximal erreichbaren Durchsatzes über die anwendungsnahen Protokolle FTP und SMB. Die zugehörige Auswertung befindet sich in Kapitel 6.3.3.

Außerhalb des geplanten Testablaufs (Test 1-5) wird die Abhängigkeit des TCP-Durchsatzes von der Anwendungspaketgröße und der TCP-Fenstergröße in zusätzlichen Tests bestimmt. Diese zusätzlichen Tests behandeln weiterhin die Bestimmung der Festplatten- bzw. RAM-Disk-Geschwindigkeit und die Messung der RTT. Die zugehörigen Auswertungen befinden sich in Kapitel 6.2.

Somit ergibt sich der folgende Testplan für die Durchführung der Performance-Untersuchung:

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Name	Out-Of-The-Box	Hardware modifiziert	Software modifiziert	RAM-Disk	Fast-Ethernet Vergleich
max. Netzwerk Geschwindigkeit	1000 Mbit/s	1000 Mbit/s	1000 Mbit/s	1000 Mbit/s	100 Mbit/s
Linkparameter	Full-Duplex über Switch	Full-Duplex über Switch	Full-Duplex über Switch	Full-Duplex über Switch	Full-Duplex über Switch
Medien	TP, LWL, TPLWL und LWLTP	TP, LWL, TPLWL und LWLTP	TP, LWL, TPLWL und LWLTP	TP, LWL, TPLWL und LWLTP	TP
Beobachtung der CPU- und Speicherauslastung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
TCP-Bulk-Transfer Werkzeuge	NetPerf, NetIO und Iperf	NetPerf, NetIO und Iperf	NetPerf, NetIO und Iperf	NetPerf, NetIO und Iperf	NetPerf, NetIO und Iperf
Anwendungsnahe Protokolle	FTP/SMB	FTP/SMB	FTP/SMB	FTP/SMB	FTP/SMB
Durchläufe pro Werkzeug	fünf	fünf	fünf	fünf	fünf
Zusätzlich durchgeführte Tests	Messung variable Paketgröße, RTT	Messung variable Paketgröße, variable TCP-Fenstergröße, RTT	Messung variable Paketgröße, variable TCP-Fenstergröße, Jumbo Frame Test (TP und LWL), RTT	Messung variable Paketgröße, RTT	Messung variable Paketgröße, RTT

Tab. 10 Testplan der Performance-Untersuchung an für die Gigabit-Ethernet Desktop-Systemen

Jeder Testdurchlauf wird fünfmal ausgeführt und anschließend gemittelt. Dadurch werden auftretende Messfehler minimiert. Zu beachten ist trotz alledem, dass die Ergebnisse der durchgeführten Performance-Untersuchung nicht auf andere Systeme übertragbar sind, sondern nur für die untersuchten Desktop-Systeme gelten. Die entwickelte Performance-Untersuchung für ein Gigabit-Ethernet erfüllen die in Kapitel 4.1, 4.2 und 4.3 gestellten Anforderungen.

5 Durchführung der Performance-Untersuchung

Die praktische Durchführung der Performance-Untersuchung fand an der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg innerhalb der in Abb. 25 dargestellten Netzwerktestumgebung statt. Die zu untersuchende Hardware wurde in Kapitel 3 ausführlich behandelt, wobei die Konfiguration der IP-Adressen aus Abb. 25 entnommen werden kann. Die Vorgehensweise bei der Performance-Untersuchung und die dazu verwendeten Werkzeuge wurden in Kapitel 4 erläutert und bei der Durchführung beachtet. Der Versuchsaufbau kann der folgenden Abb. 25 entnommen werden. Während der Durchführung waren nur die am Test beteiligten Desktop-Systeme eingeschaltet bzw. mit dem Switch verbunden. Diese Maßnahme schließt Beeinträchtigungen durch andere Systeme aus.

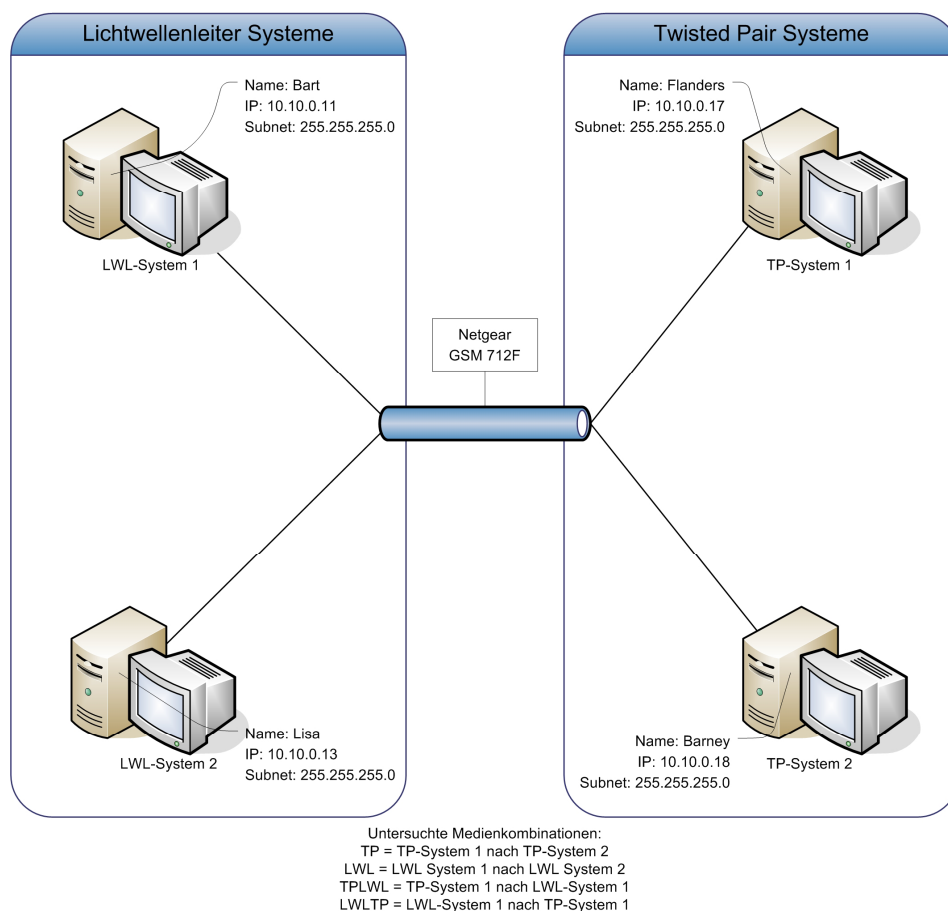


Abb. 25 Aufbau des Testnetzwerks zur Durchführung der Performance-Untersuchung

Die in Abb. 25 genannten Namen der Systeme sind für die Tests unerheblich, da alle Systeme über die gleiche Konfiguration verfügen und auch sonst gleichwertig sind. Genauso ist die IP-Adresse unwichtig und wird an dieser Stelle der Vollständigkeit halber angegeben. Bei der Durchführung der Performance-Untersuchung wurde strikt nach dem in Tab. 10 vorgestellten Testplan vorgegangen. Die Untersuchungsergebnisse wurden in Excel-Tabellen verwaltet, vgl. Tab. 9, und in, für die Auswertung nötige, Diagramme konvertiert. Die Auswertung der Performance-Untersuchung wird im nachfolgenden Kapitel 6 beschrieben. Außerdem beschäftigt sich das Kapitel mit der Bewertung der verwendeten Werkzeuge, dem Erfolg der zwischen den Tests durchgeführten Modifikationen an den Desktop-Systemen und weitergehenden Optimierungsmöglichkeiten zur Auslastung eines Gigabit-Ethernet mit Hilfe dieser Systeme.

6 Auswertung der Performance-Untersuchung

In diesem Kapitel wird die durchgeführte Performance-Untersuchung ausgewertet. Zu Beginn werden die Bulk-Transfer-Messwerkzeuge, danach die zusätzlich durchgeführten Tests beurteilt. Im darauf folgenden Teil werden die Modifikationen an den Systemen betrachtet, die Tests 1-4 ausgewertet und ein Vergleich mit den Fast-Ethernet-Systemen angestellt (Test 5). Nach dem Testfazit werden weitergehende Optimierungsmöglichkeiten für die Desktop-Systeme vorgeschlagen. Die Excel-Tabellen mit allen Messergebnissen der Performance-Untersuchung können im Anhang eingesehen werden, siehe Tab. 13 bis Tab. 34.

6.1 Bewertung der Bulk-Transfer-Messwerkzeuge

In diesem Kapitel werden die Abweichungen der einzelnen Werkzeuge bei den wiederholten Testdurchläufen untersucht. Zuerst wird das von Hewlett-Packard entwickelte NetPerf betrachtet. Unter Windows XP stellte sich bei den Messungen heraus, dass NetPerf als einziges eingesetztes Werkzeug kaum eine Verbesserung der Übertragungsrate durch die Modifikationen zeigte. Im folgenden Diagramm (Abb. 26) sind alle Tests unter Windows XP aufgeführt, um den Optimierungserfolg ablesen zu können.

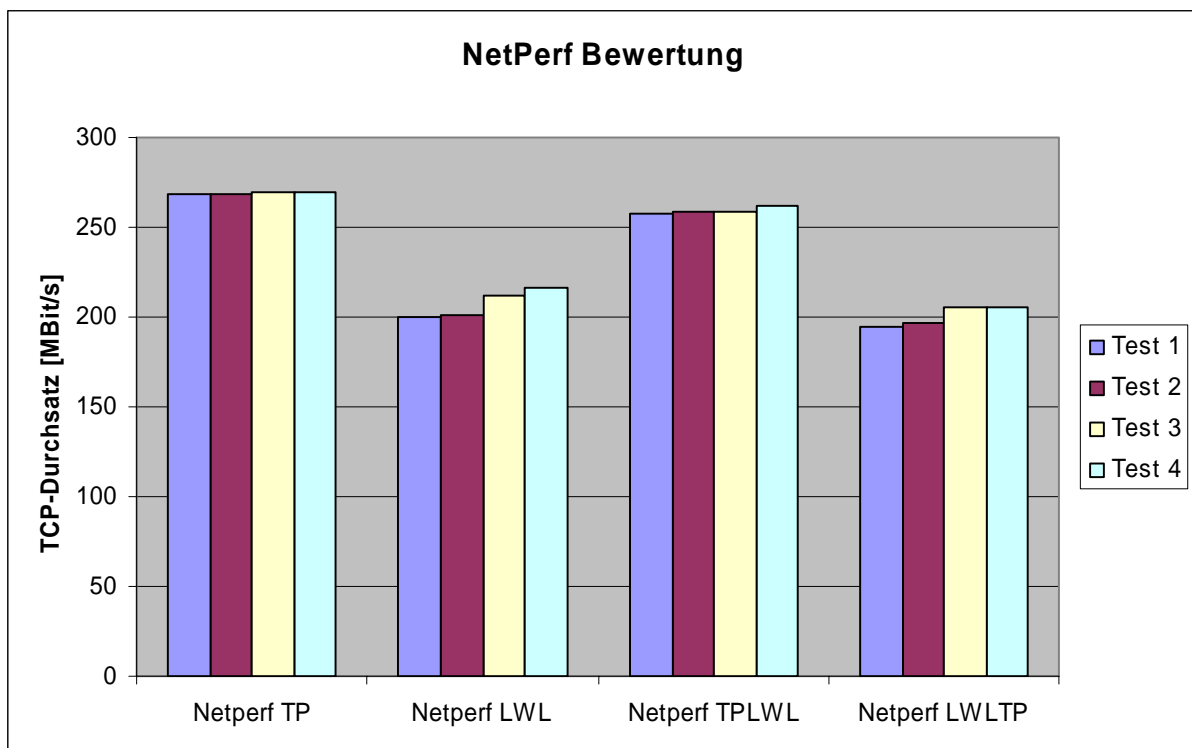


Abb. 26 Vergleich der NetPerf-Ergebnisse unter Windows XP

Die Bezeichnungen der X-Achse stellen die verwendeten Medien bzw. deren Kombination während des jeweiligen Tests dar. Die Y-Achse zeigt den gemessenen TCP-Durchsatz in MBit/s an. Die maximal gemessene Verbesserung des Durchsatzes mit NetPerf in den TP-Tests liegt bei nur 0,126MBit/s, in den LWL-Tests bei 16,688MBit/s, in den TPLWL-Tests bei 4,998MBit/s und in den LWLTP-Tests bei 10,746MBit/s. Diese Werte liegen, vor allem nach der Software-Modifikation, weit unter den ansonsten gemessenen Durchsatzverbesserungen.

Außerdem zeigte NetPerf in den fünf Testdurchläufen eine hohe Streuung der Messwerte, wobei die größte Abweichung zweier Messwerte innerhalb einer Messreihe 28,8MBit/s betrug, vgl. Abb. 27.

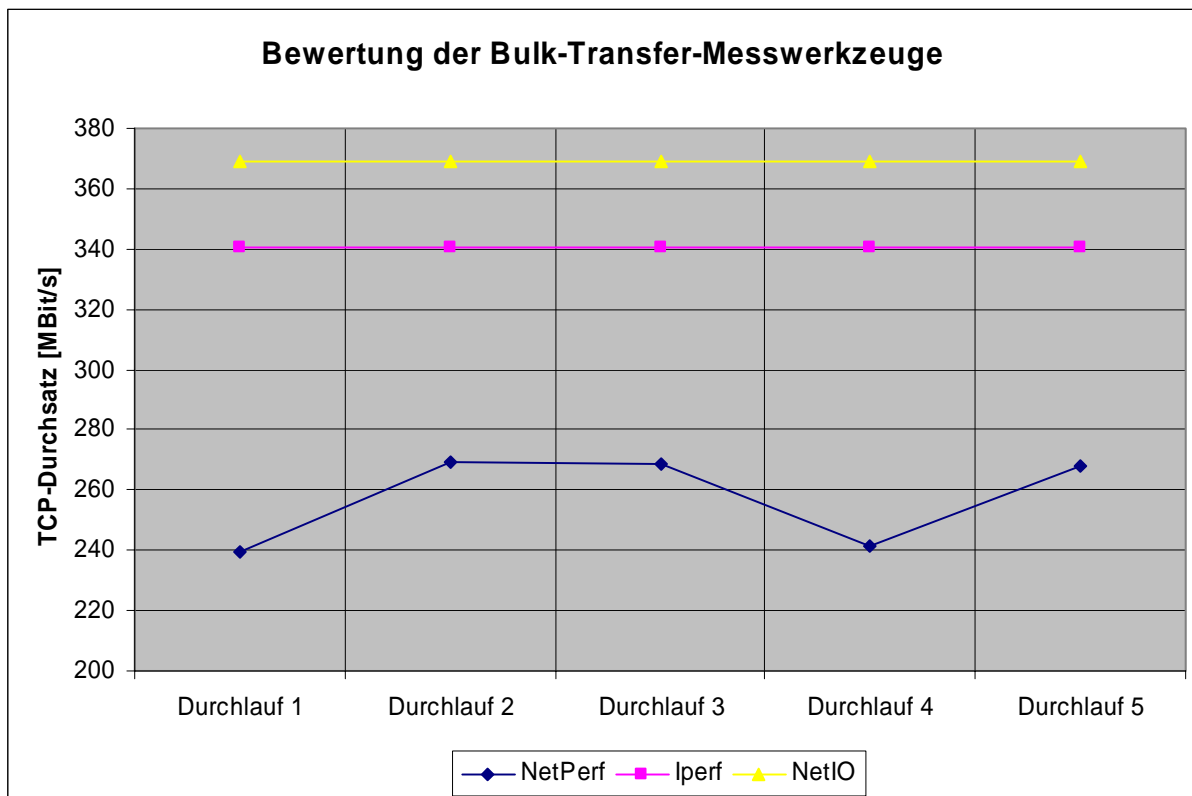


Abb. 27 Abweichungen der NetPerf-, NetIO- und Iperf-Messdurchläufe (Test 1 TP)

Wenn die Abweichung ins Verhältnis mit den gemessenen Verbesserungen gesetzt wird, kann die Messung mit Hilfe von NetPerf unter Windows XP als nicht stabil angesehen werden. Im Vergleich mit den anderen Bulk-Transfer-Messwerkzeugen, welche bei allen Testdurchläufen Abweichungen kleiner als 4 MBit/s erzielten, disqualifiziert dies den Einsatz von NetPerf als Messwerkzeug. Die Ergebnisse von NetPerf werden deshalb nicht weiter betrachtet.

Einer weiteren Betrachtung bedürfen jedoch die Messergebnisse von NetIO, bei denen der Switch als Medienkonverter fungiert, siehe dazu die folgende Abb. 28. Das Diagramm stellt die mit NetIO gemessenen TCP-Durchsätze in RX- bzw. TX-Richtung auf den verschiedenen Medienkombinationen dar.

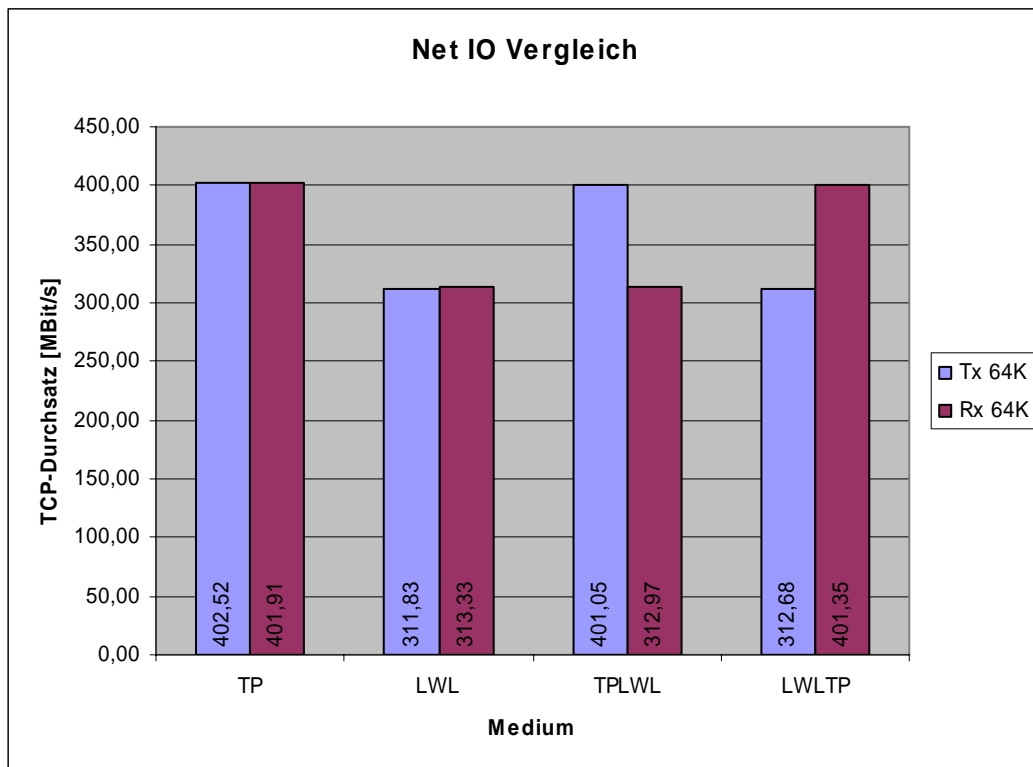


Abb. 28 Vergleich der NetIO-Ergebnisse unter Windows XP (Auszug)

Bei den TPLWL- bzw. LWLTP-Tests ergab sich ein asymmetrischer TCP-Durchsatz für das Senden bzw. Empfangen über den Switch als Medienkonverter. Wie im Diagramm Abb. 28 zu erkennen, entspricht der hohe TCP-Durchsatz bei den TPLWL- bzw. LWLTP-Tests dem des äquivalenten TP-Tests. Der niedrige TCP-Durchsatz entspricht dem beim LWL-Test gemessenen Wert. Dies liegt daran, dass die sendende Karte die Geschwindigkeit bestimmt, woraus folgt, dass die LWL-Netzwerkkarte mit dieser Geschwindigkeit empfangen kann, aber beim Senden langsamer arbeitet. Dies zeigte sich bei allen Tests über alle Modifikationsstufen hinweg.

Da NetPerf, durch die hohen Abweichungen während der Durchläufe, als Bulk-Transfer-Messwerkzeug für die Auswertung ausscheidet, müssen die beiden übrigen Messwerkzeuge – Iperf und NetIO – betrachtet werden. Die Messwerte von NetIO und Iperf unterscheiden sich nur geringfügig. Dieser Umstand identifiziert keines der Messwerkzeuge als das Bessere, daher werden für die Bewertung von Iperf bzw. NetIO weitere Parameter betrachtet. Aufgrund der nicht zu erreichenden Homepage von NetIO, ist derzeit keine aktuelle Dokumentation und Version verfügbar. Der Autor ist ebenfalls nicht zu erreichen. Dagegen ist Iperf ein gut dokumentiertes und aktuelles Projekt, siehe dazu die Homepage im Internet unter <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>. Iperf ist das flexiblere Werkzeug und bietet mehr Optionen zur Konfiguration als NetIO. Aus diesen Gründen werden bei der Auswertung des maximalen TCP-Durchsatzes nur die Ergebnisse von Iperf herangezogen, vgl. Kapitel 6.3.1. Die Messergebnisse von NetIO werden jedoch in Kapitel 6.2.2 bei der Auswertung der Abhängigkeit des TCP-Durchsatzes von der Anwendungspaketgröße betrachtet, da es sich in diesem Rahmen um ein zuverlässiges Werkzeug handelt.

Eine Bewertung der Messwerte der FTP- und SMB-Tests soll an dieser Stelle nicht durchgeführt werden, da es sich um anwendungsnahe Protokolle handelt, und so das Betriebssystem einen hohen Einfluss auf die Messungen hat. Somit sind auch die Abweichungen der einzelnen Messreihen nicht so bedeutend wie bei den Bulk-Transfer-Messwerkzeugen. Außerdem sollen die Ergebnisse der FTP- bzw. SMB-Tests nur einen Hinweis geben, wie viel des maximal gemessenen TCP-Durchsatzes der Anwender in der Praxis zum Dateitransfer verwenden kann.

6.2 Auswertung der zusätzlich durchgeführten Tests

6.2.1 Iperf mit variabler TCP-Fenstergröße

Die Auswertung der Iperf-Tests mit verschiedenen TCP-Puffergrößen soll die Abhängigkeit des Durchsatzes von einem geeignet gewählten TCP-Fenster zeigen und gleichzeitig bei der Bestimmung der richtigen Größe helfen. Dieser Testlauf ist eine praktische Alternative zur Berechnung des BDP. Der in Abb. 29 dargestellte Testlauf wurde in der Test 2 Systemkonfiguration über eine TP-Verbindung durchgeführt, siehe Kapitel 4.6.2.

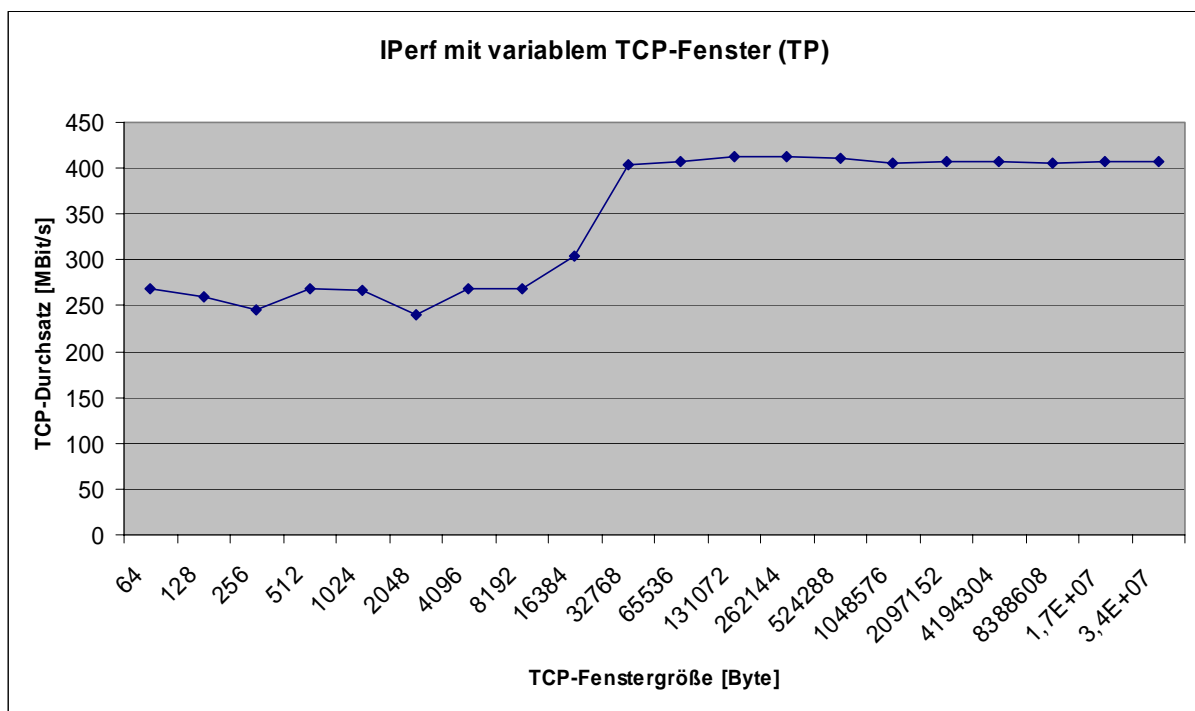


Abb. 29 Ergebnis des Iperf-Tests mit variablem TCP-Fenster über TP

An den in Abb. 29 dargestellten Messwerten von Iperf kann abgelesen werden, dass bei der Windows XP Standardkonfiguration mit einer TCP-Fenstergröße von 8.760Byte – dies entspricht sechs mal der MSS – ein TCP-Durchsatz von nur 268MBit/s erreicht wird. Wenn hingegen das TCP-Fenster auf einen Wert größer als 32.768Byte gesetzt wird, steigert dies den TCP-Durchsatz auf über 400MBit/s. Eine erneute Vergrößerung des TCP-Fensters auf 128KByte erhöht den Durchsatz auf 408MBit/s. Daher kann ein TCP-Fenster von ca. 128KByte als die beste Konfiguration angesehen werden, siehe Kapitel 4.6.3. Ein noch größeres TCP-Fenster hatte keinen positiven Effekt auf den TCP-Durchsatz.

Der Iperf-Test mit variabler TCP-Fenstergröße über eine LWL-Verbindung wurde ebenfalls in der Test 2 Systemkonfiguration durchgeführt, siehe Kapitel 4.6.2. Dieser Test hat vergleichbare Ergebnisse ergeben, wobei der gemessene Durchsatz der LWL-Verbindung um fast 100MBit/s niedriger als der der TP-Verbindung war, siehe Abb. 30.

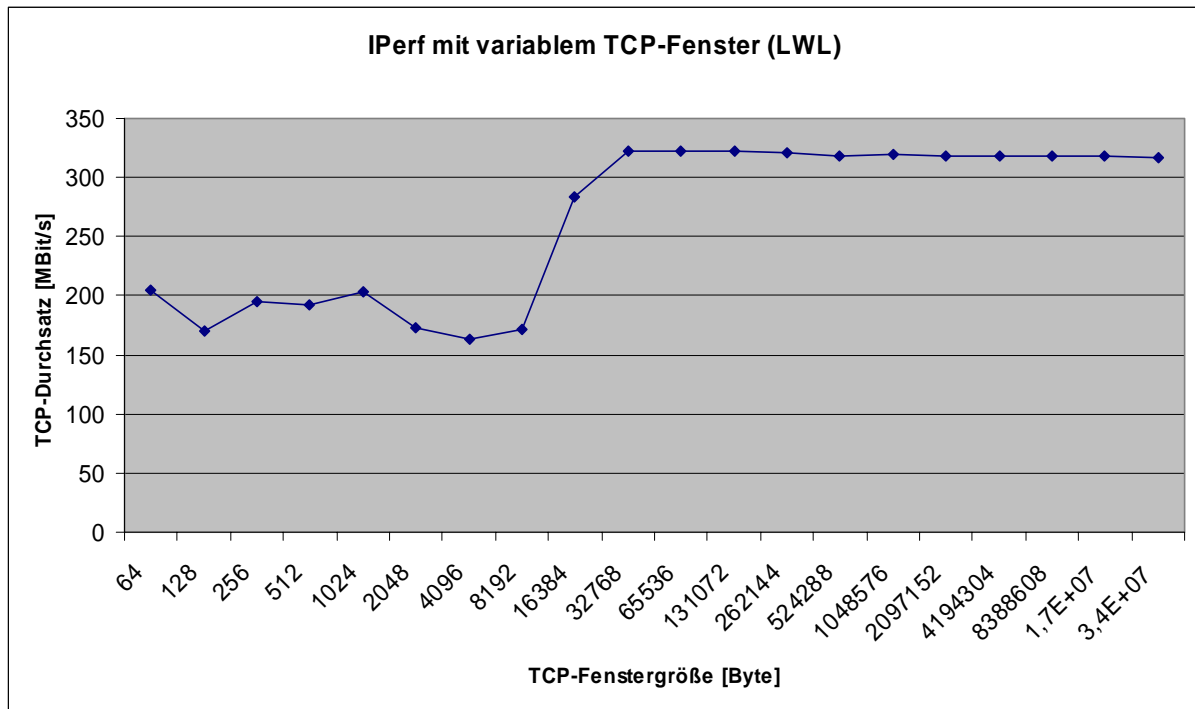


Abb. 30 Ergebnis des Iperf-Tests mit variablem TCP-Fenster über LWL

Die in Abb. 30 dargestellten Messwerte bescheinigen der Netgear LWL-Netzwerkkarte ein ähnliches Verhalten wie der Intel TP-Netzwerkkarte. So ist der TCP-Durchsatz in der Windows XP Standardkonfiguration des TCP-Fensters (8.760Byte) mit 171MBit/s vergleichsweise niedrig. Wie bei der Untersuchung der TP-Netzwerkkarte, stieg der TCP-Durchsatz mit einem TCP-Fenster von 32.768Byte sprunghaft auf 322MBit/s an. Eine erneute Vergrößerung auf 128KByte brachte nochmals einen Anstieg um 1MBit/s. Ein noch größeres TCP-Fenster hatte keinen positiven Effekt auf den TCP-Durchsatz.

Als Ergebnis der Iperf-Tests mit variabler TCP-Fenstergröße kann festgehalten werden, dass eine schnelle Verbindung erst ab einer TCP-Fenstergröße von 32KByte möglich wird, und der maximale TCP-Durchsatz auf beiden Medien mit einem TCP-Fenster von 128KByte erzielt wurde. Daher wird für die Software-Modifizierung eine TCP-Fenstergröße von 131.400Byte genutzt. Dieser Wert ist ein Vielfaches der MTU (90*1.460Byte) und liegt nah an den experimentell bestimmten 128KByte, vgl. Kapitel 4.6.3.

6.2.2 NetIO mit variabler Anwendungspaketgröße

Dieses Kapitel behandelt den Einfluss verschiedener Anwendungspaketgrößen auf den TCP-Durchsatz der Desktop-Systeme. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse der NetIO Performance-Untersuchung herangezogen. Bei diesen Tests hielt sich die CPU-Auslastung in einem moderaten Rahmen von 20%-25%. Dabei stieg sie nach der Installation der RAM-Disk um weitere 10% an, was auf den gesteigerten Verwaltungsaufwand für die RAM-Disk zurückzuführen ist. Das Betriebssystem musste während der NetIO-Tests keine Speicherbereiche auf die Festplatte auslagern. Daher wird davon ausgegangen, dass diese Parameter keinen Einfluss auf den gemessenen Durchsatz hatten.

Da bereits in Kapitel 6.1 auf die NetIO-Tests mit dem Switch als Medienkonverter eingegangen wurde, werden in diesem Kapitel nur die TP- bzw. LWL-Messungen mit NetIO behandelt. Zu diesem Zweck werden die Messwerte in vier Diagrammen zusammengestellt: je zwei Diagramme der TP-Messungen bzw. LWL-Messungen in Sende- und Empfangsrichtung, siehe Abb. 31 und Abb. 32. Bei der Auswertung wurden die Tests 1, 3 und 5 betrachtet. Der Aufbau der Dia-

gramme wurde gleich gehalten. Auf der X-Achse werden die zu einem Messwert gehörende Anwendungspaketgröße und auf der Y-Achse die Messwerte in MBit/s aufgetragen. Bei allen Tests mit NetIO wurde festgestellt, dass die kleinen 64Byte Pakete sehr viel langsamer übertragen werden als die größeren. Dieser Umstand war abzusehen, da Pakete mit wenig Daten und viel Protokoll-Overhead über das Netzwerk übertragen werden müssen. Es muss ein vergleichsweise hoher Aufwand auf der Netzwerkkarte betrieben werden, um die Rahmen zu erzeugen und die FCS zu berechnen. Da beim Einsatz des Gigabit-Ethernet meist große Dateien übertragen werden, fällt dieser Umstand hier nicht ins Gewicht, weil die Dateien in große Pakete (bei SMB z.B. 64KByte) zerlegt werden. Wie erwartet hatte die Installation einer RAM-Disk keinen Einfluss auf den TCP-Durchsatz von NetIO, weshalb diese Messwerte in den Diagrammen nicht aufgeführt werden.

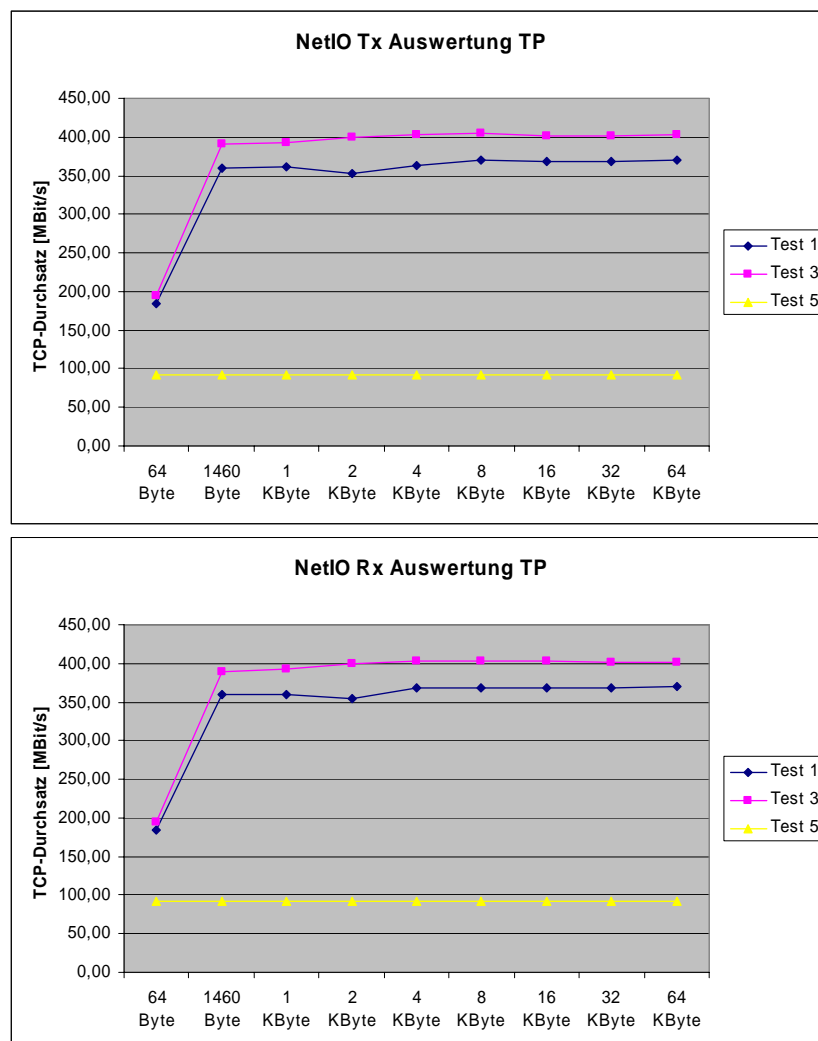


Abb. 31 NetIO-Messwerte Tx und Rx über TP

Die Messwerte von NetIO in Test 1 über TP lassen keine Abhängigkeit des TCP-Durchsatzes von der Anwendungspaketgröße erkennen. Die Unterschiede ab einer Paketgröße von 1.460Byte betragen ca. 10,47MBit/s im Sendebetrieb und 10,55MBit/s im Empfangsbetrieb. Der höchste TCP-Durchsatz von 370MBit/s wurde beim Senden und Empfangen von 64KByte großen Paketen erreicht.

Der Einfluss der verschiedenen Anwendungspaketgrößen auf den TCP-Durchsatz in Test 3 ist bis auf die 64KByte großen Pakete minimal. Beim Durchsatz, der Paketen größer 1KByte, liegt

zwischen dem Maximum und Minimum 13,46MBit/s im Sendebetrieb über TP, in der Empfangsrichtung sogar nur 10,68MBit/s. In beiden Richtungen wurden die 8KByte großen Pakete mit 404MBit/s am schnellsten verschickt.

Bei der Kommunikation über Fast-Ethernet (Test 5) wurden alle Paketgrößen mit der gleichen Geschwindigkeit übertragen, wobei dies auf die Geschwindigkeit des Desktop-Systems zurückzuführen ist. Es gab keine Performance-Einschränkungen bei der Auslastung eines Fast-Ethernet mit den getesteten Desktop-Systemen.

Bei den folgenden NetIO-Tests über LWL wurden die Messwerte der Fast-Ethernet-Untersuchung mit in das Diagramm übernommen, um einen direkten Vergleich anstellen zu können, siehe Abb. 32. Die Fast-Ethernet-Messungen wurden über eine TP-Verbindung durchgeführt (Test 5).

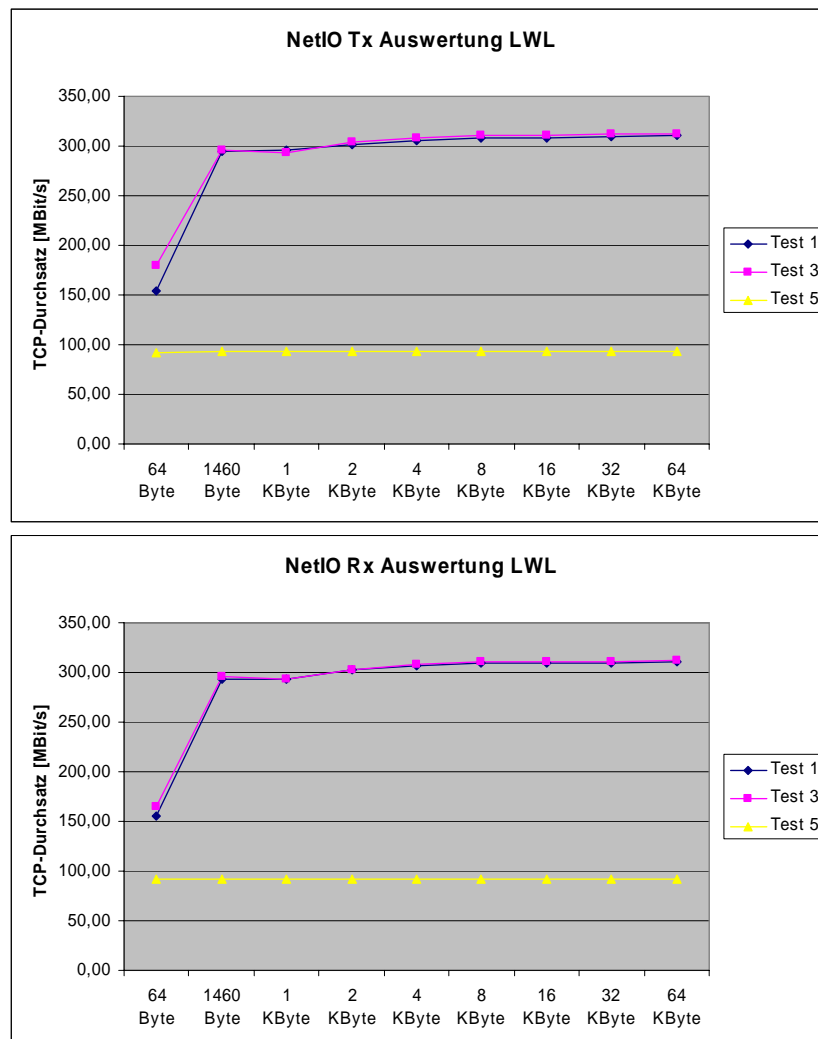


Abb. 32 NetIO-Messwerte Tx und Rx über LWL

Die Messergebnisse der NetIO LWL-Messungen sind vergleichbar zu den NetIO TP-Messungen, wobei die Durchsatzwerte der Netgear Netzwerkkarte in Test 1 und 3 etwas höheren Schwankungen unterliegen als bei den Messungen über die Intel Netzwerkkarte. So ist der Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem Maximum und dem Minimum bei Paketen die größer als 1KByte sind, im Sendebetrieb 16,41MBit/s und im Empfangsbetrieb 16,5MBit/s. Auffällig ist der geringe Unterschied zwischen Test 1 und 3. Zwar liegen die Messwerte aus Test 3 immer etwas über denen aus Test 1, die gemessene Durchsatzsteigerung ist jedoch nicht auf dem

Niveau der Messungen mit Iperf, vgl. Kapitel 6.3.1.

6.2.3 Performance-Messung der Festplatte und RAM-Disk

Die Ergebnisse der Festplatten- und RAM-Disk-Performance-Messung waren zu erwarten. Allein durch die langsame Performance der Festplatte kann der Datendurchsatz im Netzwerk beschränkt werden, falls die Daten zuerst von der Festplatte gelesen werden müssen.

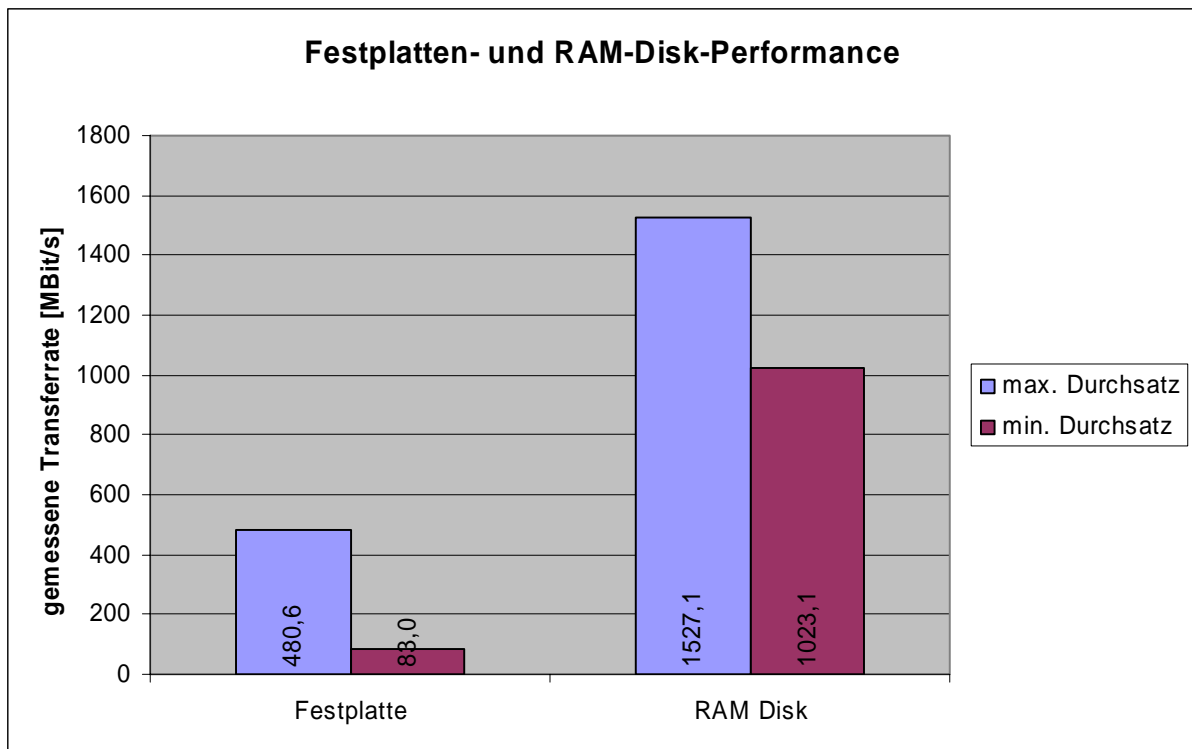


Abb. 33 Vergleich der Festplatten- und RAM-Disk-Transferraten

Die Untersuchung ergab bei der Seagate Festplatte einen maximal erreichbaren Durchsatz von 480,616MBit/s, was ca. der Hälfte eines ausgelasteten Gigabit-Ethernet entspricht. Die minimale Geschwindigkeit der Festplatte wurde mit 83,048MBit/s bestimmt, wobei sich dieser Wert sogar unterhalb der Auslastung eines Fast-Ethernet befindet. Der Mittelwert über alle Sektoren der Festplatte ergab eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 373,91MBit/s. Dieser Wert wird in keinem der festplattenabhängigen Tests erreicht, obwohl der SMB-Durchsatz der Intel PRO/1000 Karte in Test 4 mit SMB-put einen Wert von 303,8MBit/s erreicht, vgl. Abb. 41. Da im selben Testlauf der erreichte TCP-Durchsatz mit der Intel Netzwerkkarte und Iperf bei 406MBit/s liegt, vgl. Abb. 38, ist die Festplattengeschwindigkeit beim SMB-Test ein begrenzender Faktor.

Ein anderes Bild ergab sich bei den Messungen der RAM-Disk: Diese zeigte einen minimalen Durchsatz von 1.023,1MBit/s, der über dem theoretischen Maximum eines Gigabit-Ethernet liegt. Der gemessene maximale Durchsatz lag noch höher bei 1.527,067MBit/s. Bei der Performance-Bestimmung der RAM-Disk stieg die Auslastung des Prozessors auf 99%. Im Gegensatz zur Festplattenmessung, bei der die Auslastung auf nur ca. 40% anstieg. Die erhöhte Prozessbelastung durch den Treiber der RAM-Disk kann also folglich auch den Durchsatz im Gigabit-Ethernet begrenzen.

6.2.4 Round Trip Time mit hrPing

In diesem Kapitel werden die Messungen der RTT mit Hilfe von hrPing ausgewertet und exemplarisch eine Berechnung des BDP durchgeführt. Die RTT-Messungen der Testläufe sind im folgenden Diagramm in Abhängigkeit vom verwendeten Medium aufgetragen, siehe Abb. 34.

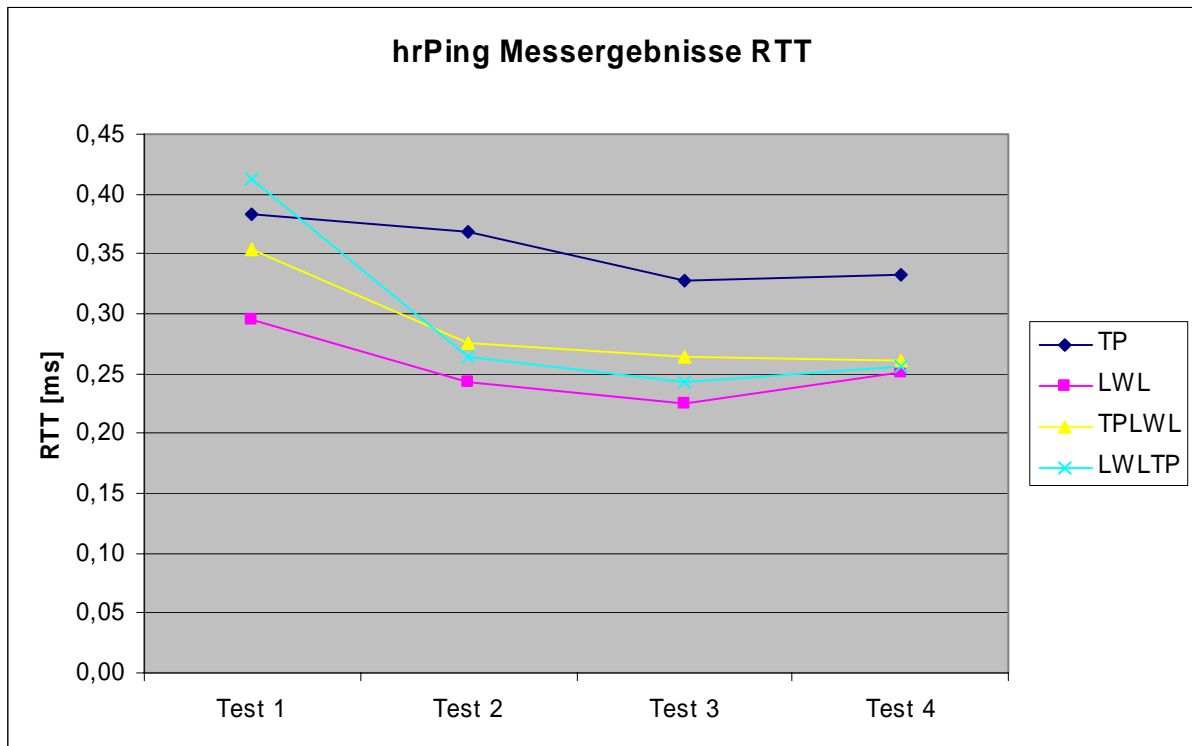


Abb. 34 Darstellung der mit hrPing bestimmten RTT's in ms

Die zwischen den Testläufen durchgeführten Modifikationen hatten einen Einfluss auf die gemessenen RTT's. Wie in Abb. 34 zu erkennen ist, haben sich die Werte für die RTT durch die Modifikationen aus Test 2 und 3 leicht verbessert. Die Konfiguration einer RAM-Disk verschlechterte die RTT-Werte wiederum, was auf die erhöhte CPU-Last durch den RAM-Disk-Treiber zurückzuführen ist. Weiterhin sind die gemessenen RTT's über die LWL-Verbindung durchgängig kleiner als über die TP-Verbindung, was an den besseren Übertragungseigenschaften der verwendeten Glasfaser liegt, siehe Kapitel 2.4.8 und 2.4.9.

Für die exemplarische Berechnung des BDP, vgl. Kapitel 2.7.1.3, werden die gemessenen RTTs des Test 2 für TP und LWL benutzt. Sie betrug für die TP-Verbindung 0,37ms und für die LWL-Verbindung 0,24ms. Damit ergibt sich die folgende Rechnung:

$$BDP(TP) = 1.000.000.000 \frac{Bit}{s} * 0,00037s = 370.000Bit = 46.250Byte$$

$$BDP(LWL) = 1.000.000.000 \frac{Bit}{s} * 0,00024s = 240.000Bit = 30.000Byte$$

Wenn nun diese BDP-Ergebnisse mit den in Kapitel 6.2.1 experimentell bestimmten TCP-Fenstergrößen verglichen werden, zeigt sich, dass die berechneten Werte kleiner als die aus den Messungen resultierenden Werte sind. Deshalb wurden die gemessenen Werte in der Systemkonfiguration von Test 3 benutzt, siehe Kapitel 4.6.3. Es wurde jedoch bei den Iperf-Tests festgestellt, dass ab den berechneten BDP-Werten eine schnellere Datenübertragung möglich war, siehe Abb. 29 und Abb. 30.

6.2.5 Jumbo-Frame-Test über TP

Durch die fehlende Jumbo-Frame-Unterstützung des Switch, wurde dieser Test aus dem normalen Testablauf ausgegliedert und mit Hilfe einer direkten TP-Kabelverbindung zwischen zwei Desktop-Systemen realisiert. So konnte die Unterstützung für Jumbo-Frames aktiviert werden, was durch einen Aufruf von ‚TDIQ –all‘ bestätigt wurde, vgl. Kapitel 4.5.11.2. Die MTU wurde vom Betriebssystem auf 9.000Byte gesetzt. Die Auswertung soll den Geschwindigkeitsvorteil im Vergleich zu Test 3 zeigen. Dazu wurden zwei Tests auf der Systemkonfiguration von Test 3, vgl. Kapitel 4.6.3, einmal mit aktivierter und einmal mit deaktivierter Jumbo-Frame-Unterstützung durchgeführt. Dabei waren die Desktop-Systeme direkt verbunden. Im folgendem Diagramm sind die Messergebnisse über den Switch (ohne Jumbo-Frames), die Direktverbindung ohne bzw. mit aktivierten Jumbo-Frames abgebildet.

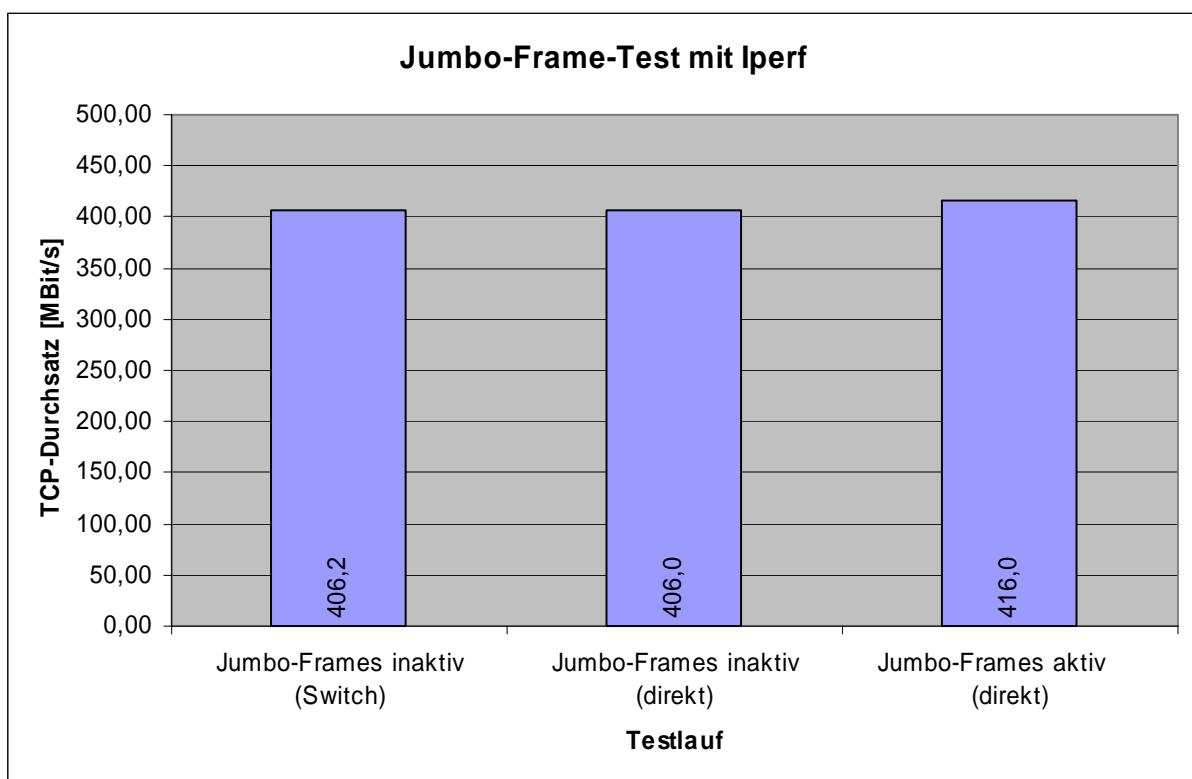


Abb. 35 Iperf-Messungen über TP-Direktverbindung

Der Vergleich der erreichten Durchsätze über eine TP-Direktverbindung (406MBit/s) bzw. über den Switch (406,2MBit/s) zeigt, dass der Switch im Testaufbau keine limitierende Wirkung auf den erreichbaren Durchsatz hat. Die Messung über eine TP-Direktverbindung ist äquivalent zu einer Testdurchführung über den Switch.

Wie aus der Abb. 35 ersichtlich ist, steigt der TCP-Durchsatz durch die Aktivierung der Jumbo-Frames von 406MBit/s auf 416MBit/s an. Dies entspricht einer Steigerung von 2% und entsteht durch den geringeren Protokoll-Overhead der Jumbo-Frames. Für die 6-fache Menge an Payload (6*1.500Byte = 9.000Byte) wird hier nur einmal ein Ethernet-Rahmen erzeugt. Im Vergleich zu einem Standard-Ethernet-Rahmen, bei dem die Payload zu Datenrate ca. 97% beträgt, steigt sie, bei der Nutzung von Jumbo-Frames, auf ca. 99% (bei 9.000Byte großen Jumbo-Frames), siehe Kapitel 2.4.2. Eine Absenkung der CPU-Auslastung wie in [Dykstra 1999] beschrieben, konnte nicht beobachtet werden. Eine erneute Vergrößerung des TCP-Fensters auf einen Wert größer als 128KByte brachte keinen höheren TCP-Durchsatz.

Mit NetPerf konnten keine Ergebnisse erzielt werden, da nach Aktivierung der Jumbo-Frames keine Kommunikation mit NetPerf mehr zu Stande kam.

Im nächsten Abschnitt wird der Einfluss der Jumbo-Frames auf die höheren Schichten im OSI-Modell geprüft. Zu diesem Zweck wurden die FTP- und SMB-Transfer-Tests mit einer direkten TP-Verkabelung durchgeführt und in einem Diagramm dargestellt, siehe Abb. 36. Bei der Durchführung der Jumbo-Frame-Tests über FTP fiel der Durchsatz auf ca. 30MBit/s in beiden Richtungen ab, wie in Abb. 36 zu erkennen ist. Dieser Umstand deutet auf eine schlechte Unterstützung der Jumbo-Frames durch den FTP-Server bzw. -Client hin. Da beide Programme zum Lieferumfang von Windows XP gehören, sollte eine Inkompatibilität ausgeschlossen sein. Die Optimierung des FTP-Servers bzw. -Clients würde zu weit führen, weshalb die FTP-Ergebnisse an dieser Stelle nicht weiter betrachtet werden.

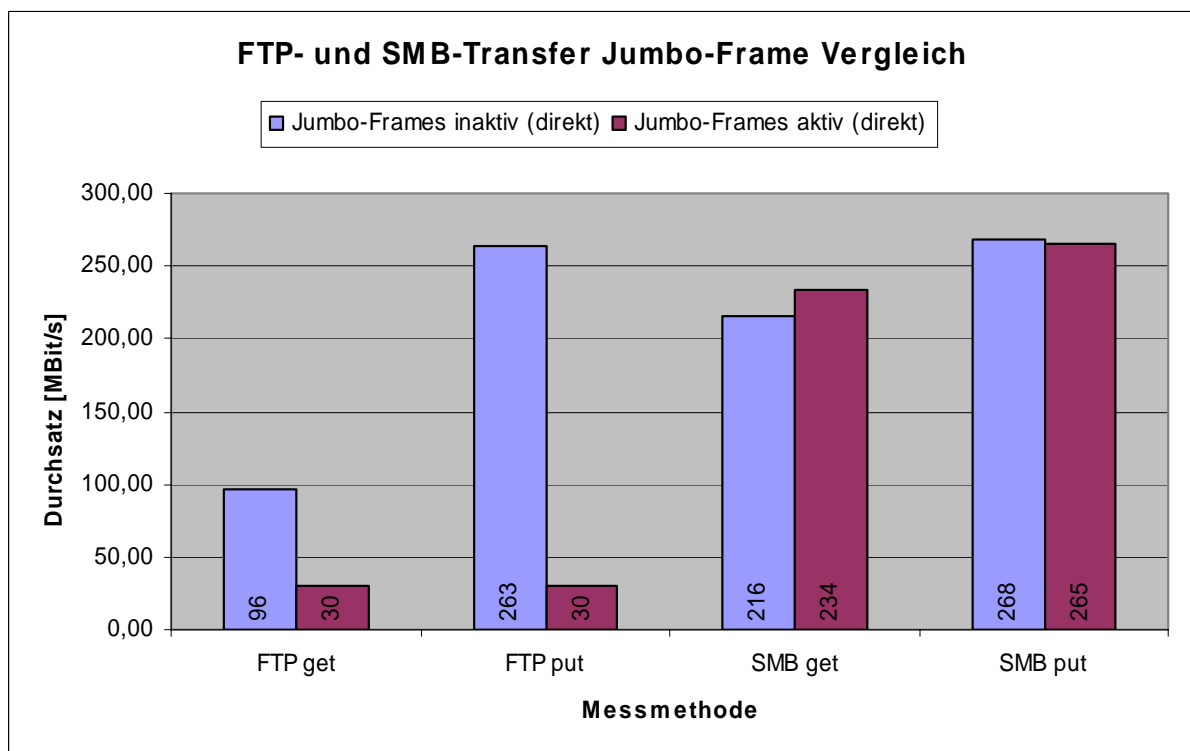


Abb. 36 FTP- und SMB-Transfer ohne bzw. mit aktivierten Jumbo-Frames

Wie aus Abb. 36 ersichtlich ist, haben die Jumbo-Frames einen uneinheitlichen Einfluss auf den erreichbaren Durchsatz. So fiel der SMB-Durchsatz im Sendebetrieb (SMB put) ab (-3,4MBit/s), wohingegen er im Empfangsbetrieb (SMB get) anstieg (+18MBit/s). Da beide gemessenen Durchsätze weit unter dem maximalen TCP-Durchsatz liegen, ist das Betriebssystem bzw. das SMB-Protokoll der begrenzende Faktor.

Es wurden nur Desktop-Systeme getestet, die das Gigabit-Ethernet nicht vollständig auslasten können, weshalb der Einfluss der Jumbo-Frames auf die Datenübertragung mit Hilfe von anderen Systemen mit breiteren bzw. schnelleren PCI-Systemen erneut getestet werden muss, siehe dazu das folgende Kapitel 6.2.6.

6.2.6 Jumbo-Frame-Test über LWL

Wie schon in Kapitel 6.2.5 erläutert, unterstützt der verfügbare Netgear Switch keine Jumbo-Frames. Daher sollte dieser Test über einen gekreuzten LWL als direkte Verbindung zwischen zwei Desktop-Systemen durchgeführt werden. Auch dieser Test war jedoch nicht möglich, da

die beiden Netgear Netzwerkkarten keinen Link über einen gekreuzten LWL aufbaut haben. So wurde dieser Test auf zwei alternativen Systemen durchgeführt, die kurzfristig zur Verfügung standen.

Diese alternativen Systeme sind mit anderer Hard- und Software ausgestattet als die in Kapitel 3 beschriebenen Desktop-Systeme. Daher wird die alternative Hard- und Software an dieser Stelle kurz aufgeführt. Die beiden alternativen Systeme verfügen über Asus CUR-DLS Mainboards, die jeweils mit zwei Pentium III Prozessoren mit 800 MHz und 1GByte RAM ausgestattet sind. Darüber hinaus verfügen sie über zwei 64Bit 33MHz PCI-Slots, in denen die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte betrieben werden. Die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten stammen von der Firma D-Link, verfügen über eine 64Bit 33/66MHz PCI-Schnittstelle und sind zum IEEE 802.3z Standard (1000BaseSX) kompatibel. Die D-Link Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte unterstützt ausschließlich 8.000Byte große Jumbo-Frames. Als Betriebssystem kam Microsoft Windows 2000 SP3 zum Einsatz. Die beiden alternativen Testsysteme wurden über einen gekreuzten LWL miteinander verbunden. Die durchgeführten Testläufe orientieren sich an den entwickelten Testverfahren, wobei die Bewertung der Werkzeuge mit berücksichtigt wurde. So wurden keine Tests mit NetPerf durchgeführt und die Tests der Anwendungsprotokolle wurden wegen ihrer geringen Aussagekraft nicht betrachtet. Bei der Durchführung mit NetIO zeigte sich ein Problem: Beim Test mit aktivierten Jumbo-Frames kam wie bei der Messung mit NetPerf unter Windows XP keine Kommunikation zustande, vgl. Kapitel 6.2.5. Daher konnten mit NetIO keine Messungen durchgeführt werden.

Zwischen den Testläufen wurde zur Bestimmung des optimalen TCP-Fensters Messungen mit Iperf durchgeführt, vgl. Kapitel 6.2.1. Es zeigte sich ein optimales 128KByte großes TCP-Fenster im Out-Of-The-Box-Test. Die Konfiguration der zuständigen TCP-Parameter verläuft unter Windows 2000 analog zu Windows XP. Nach der Aktivierung der Jumbo-Frames stieg der erreichte Durchsatz bei einer Verdoppelung des TCP-Fensters nochmals an. Dieses Verhalten konnte nur in der alternativen Testumgebung beobachtet werden, was ein Indiz für die Beschränkung des Durchsatzes durch die Hardware der untersuchten Desktop-Systeme ist. Somit ergeben sich vier Konfigurationen in denen die alternativen Systeme getestet wurden:

1. Out-Of-The-Box-Konfiguration ohne Jumbo-Frames
2. TCP-Fenster = 128KByte ohne Jumbo-Frames
3. Jumbo-Frames aktiv (8.000Byte) und TCP-Fenster = 128KByte
4. Jumbo-Frames aktiv (8.000Byte) und TCP-Fenster = 256KByte

Die Ergebnisse der Messungen sind im folgenden Diagramm dargestellt und können auf diese Weise einfach verglichen werden, siehe Abb. 37. Bei der Durchführung mussten die untersuchten Systeme zu keinem Zeitpunkt Daten aus dem Hauptspeicher auf die Festplatte auslagern.

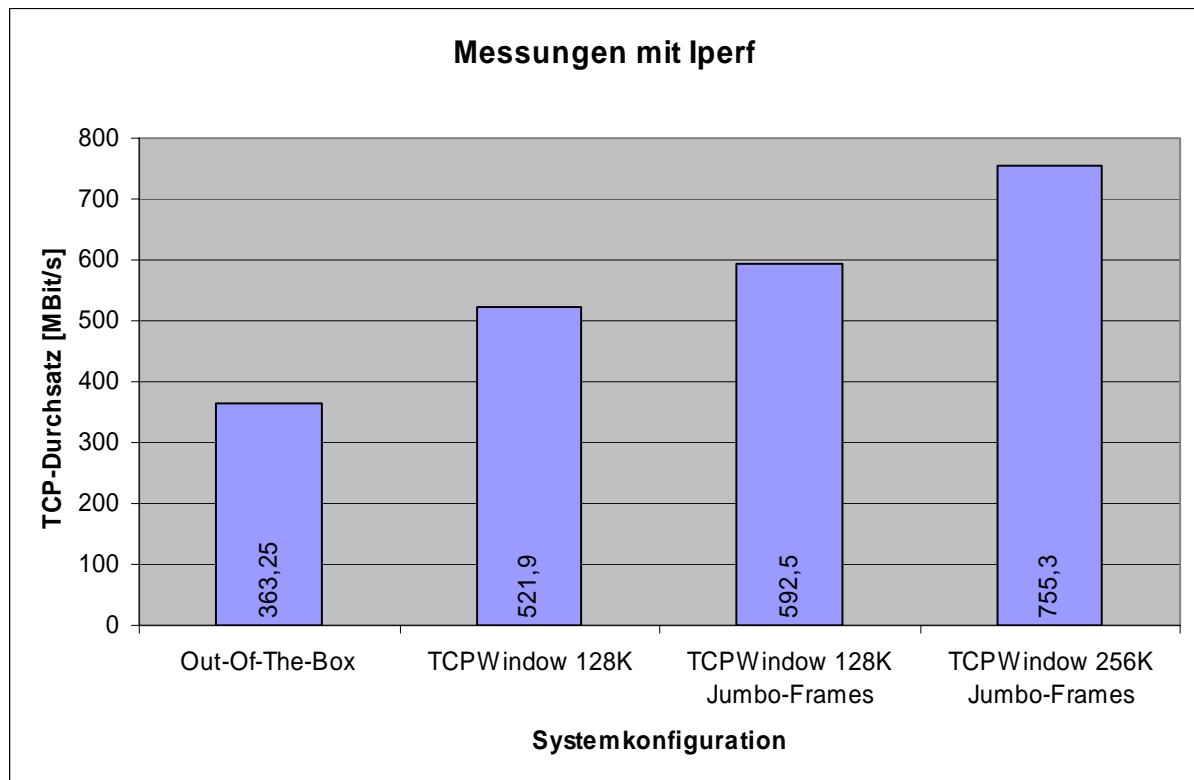


Abb. 37 Iperf-Messergebnisse mit der alternativer Testumgebung

Im ersten Testlauf der Out-Of-The-Box-Konfiguration wurde der Ist-Zustand des Systems festgehalten. Der Durchsatz der alternativen Systeme ist höher als der im originalen Testablauf (Test 1) gemessene, wobei die CPU-Auslastung mit ca. 35% etwas höher liegt als in Test 1.

Im Anschluss an den ersten Test wurde für den zweiten das TCP-Fenster auf 128KByte konfiguriert, woraus sich ein Zuwachs des TCP-Durchsatzes von 158,65MBit/s ergab. Mit der Steigerung des Durchsatzes auf 521,9MBit/s ging eine Erhöhung der CPU-Auslastung auf ca. 65% einher.

Für den dritten Test wurde die Jumbo-Frame-Unterstützung der D-Link Netzwerkkarte aktiviert. Aus dieser Änderung an der Konfiguration resultierte wieder eine Steigerung des Durchsatzes auf 592,5MBit/s. Beachtlich an dieser Steigerung ist dabei die auf 30% gefallene CPU-Auslastung des Systems. Dieses Phänomen ist durch den Einsatz der Jumbo-Frames zu erklären. Durch den größeren Payload der Jumbo-Frames müssen weniger Rahmen erzeugt werden. Da größere Rahmen weniger Interrupts erzeugen, wird somit die CPU nicht so stark belastet, siehe [Dykstra 1999] und [Mathis 2004_2].

Durch einen weiteren Testlauf mit Iperf und variabler TCP-Fenstergröße in der aktuellen Konfiguration konnte gezeigt werden, dass eine weitere Vergrößerung des TCP-Fensters eine erneute Steigerung des TCP-Durchsatzes nach sich zieht. Daher wurde das TCP-Fenster für den letzten Testlauf auf 256KByte konfiguriert. Aus dieser Änderung ergab sich eine erneute Steigerung des TCP-Durchsatzes auf 755,3MBit/s. Die Erhöhung des Durchsatzes resultierte in einer nicht kritischen CPU-Auslastung von ca. 35%.

Da es sich bei den getesteten alternativen Systemen um ca. 4 Jahre alte Modelle handelt, welche mit speziellen Komponenten für Server bzw. Workstation ausgestattet sind, können die Messergebnisse nicht verglichen werden. Sie bestätigen aber, dass beim Einsatz von geeigneten, breiten PCI-Bussystemen ein höherer Durchsatz erreichbar ist als bei 32Bit 33MHz PCI-Versionen.

6.2.7 Ethereal-Untersuchung

Um für die Analyse der Performance-Untersuchung über mehr Informationen zu verfügen, wurden einige Testläufe mit Hilfe von Ethereal auf Sender- und Empfängerseite aufgezeichnet. Bei der Aufzeichnung ergaben sich jedoch Performance-Probleme mit Ethereal unter Windows XP. Die Prozessorauslastung stieg auf 99% an und, im Vergleich mit einer Ausführung ohne Ethereal, halbierte sich der gemessene Datendurchsatz. Weiterhin gab es Stabilitätsprobleme. Bei einem Standardtest mit NetIO (1-32KByte Pakete), der mit Ethereal aufgezeichnet wurde, kam es zu einem reproduzierbaren Systemabsturz bei einer Paketgröße von 16KByte. Die Beobachtung von 'kleineren' Tests ergab keine verlorenen Pakete und es zeigte sich, dass das bekannt gegebene TCP-Fenster immer komplett geöffnet war. Dass während der Tests keine verlorenen Pakete beobachtet wurden, ist zu erwarten gewesen, da es sich um ein Testnetzwerk handelt, in dem eine qualitativ hochwertige Verkabelung mit geringen Längen eingesetzt wurde. Die Beobachtung des TCP-Fensters war nicht zu erwarten. Die niedrige Übertragungsrate und die hohe CPU-Auslastung von 99%, verhinderten das der Sender den Empfänger mit Paketen überfluten konnte.

Die Ergebnisse sind nicht aussagekräftig, da durch die Reduzierung der Übertragungsrate und der hohen Prozessorauslastung keine schnelle Kommunikation mehr möglich war. Auffallend bei der Beobachtung von NetIO waren außerdem die enormen Datenmengen, die bei der Testdurchführung aufgelaufen sind. So entstehen bei einem Durchlauf von NetIO mit 1, 2, 4, 8 und 16KByte großen Paketen ca. 1,7GByte an übertragenen Daten – inklusive der dazugehörigen Protokollinformationen.

6.3 Auswertung der Tests 1-5

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Tests 1-5 anhand von Diagrammen dargestellt und ausgewertet. Das Hauptaugenmerk dieser Untersuchung liegt auf dem maximal erreichbaren Protokolldurchsatz und den Auswirkungen der durchgeführten Modifikationen darauf. Weiterhin werden die gemessenen Gigabit-Ethernet TCP-Durchsätze mit den Fast-Ethernet TCP-Durchsätzen verglichen und die Tests der Anwendungsprotokolle SMB und FTP betrachtet.

6.3.1 Maximal erreichbarer TCP-Durchsatz

Dieses Kapitel behandelt die Iperf-Messungen unter Windows XP und bewertet die Auswirkungen der durchgeführten Modifikationen in Bezug auf eine Optimierung des erreichbaren TCP-Durchsatzes. Dazu werden die Messwerte aus den Performance-Tests 1 bis 4 betrachtet. Ebenso werden die Iperf-Messergebnisse dargestellt und bewertet.

Die CPU-Auslastung lag während der Iperf-Tests 1-3 bei ca. 20% und stieg beim Einsatz der RAM-Disk in Test 4 auf ca. 30% an. Das Windows XP Desktop-System musste während der Untersuchung keine Daten aus dem Hauptspeicher auslagern, so dass gezeigt werden konnte, dass die CPU- bzw. Speicherauslastung den Durchsatz nicht begrenzt. Im folgenden Diagramm sind die in Test 1-4 verwendeten Medien sortiert auf der X-Achse aufgetragen, auf der Y-Achse der gemessene TCP-Durchsatz in MBit/s, siehe Abb. 38.

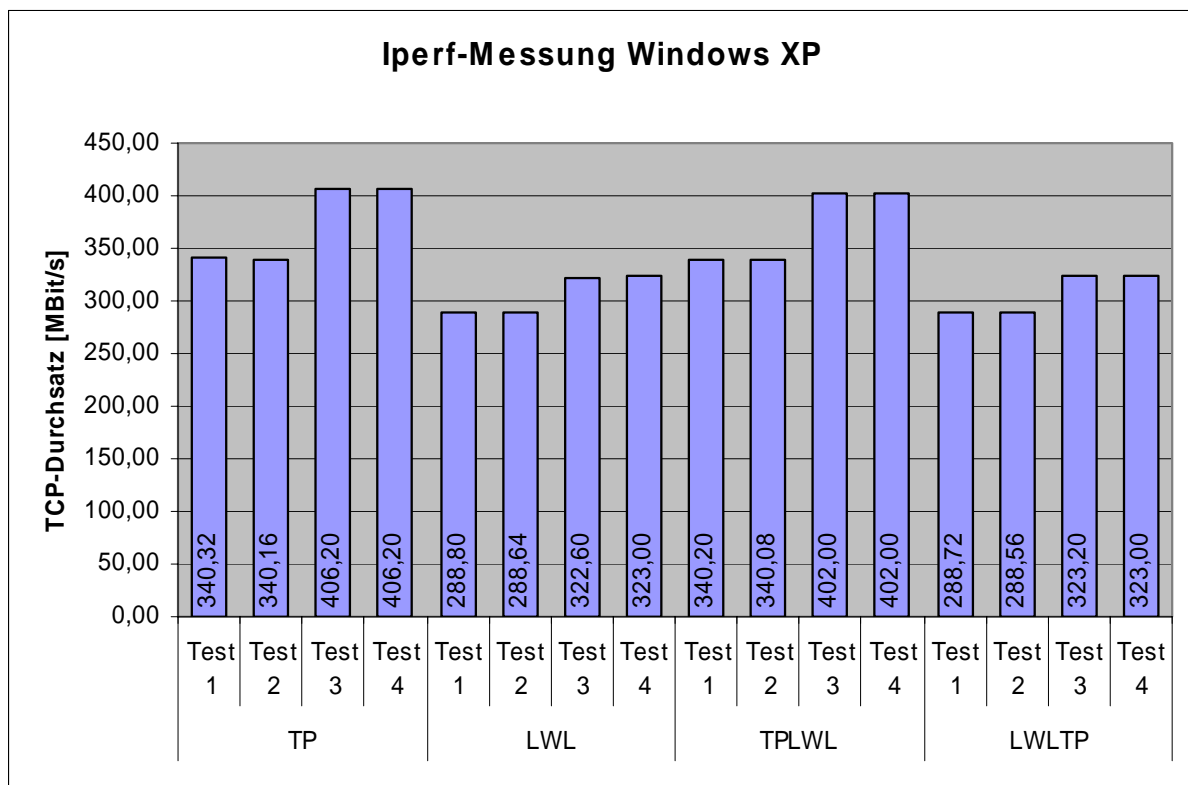


Abb. 38 TCP-Durchsatz der Iperf-Messungen

Zuerst werden die Messwerte der Desktop-Systeme betrachtet, welche per TP-Kabel über den Switch verbunden sind. Wie in Abb. 38 abgelesen werden kann, hatten die Modifikationen an der Hardware (Test 2) keinerlei Einfluss auf den TCP-Durchsatz, da dieser in beiden Tests ca. 340MBit/s betrug. Im Gegensatz dazu stellte sich durch die Modifikationen an den TCP-Parametern des Betriebssystems eine signifikante Erhöhung des Durchsatzes ein. So stieg der erreichbare TCP-Durchsatz in Test 3 um 66MBit/s, auf 406,2MBit/s an. Dieser Anstieg entspricht einer Steigerung von 19,4%. Test 4 hatte keinen Einfluss auf die Messergebnisse von Iperf.

Als nächstes werden die Messwerte der Desktop-Systeme analysiert, welche durch LWL-Kabel über den Switch verbunden sind. Auch bei diesen Tests zeigte sich, dass die Hardwareoptimierung keinen Einfluss auf das Messergebnis hatte (Test 2). Wie bei der Messung über TP stellte sich auch bei den LWL-Messungen eine signifikante Verbesserung des TCP-Durchsatzes nach den Modifikationen an den TCP-Parametern (Test 3) ein. Bei der Kommunikation über LWL lagen die TCP-Durchsatzgewinne bei 34MBit/s. Dieser Anstieg von ca. 289MBit/s auf ca. 323MBit/s entspricht einem Gewinn von 11,8%. Wie bei den TP-Untersuchungen stellte sich durch die Installation der RAM-Disk keine Verbesserung der Netzwerk-Performance ein.

Der maximale TCP-Durchsatz über die LWL-Verbindung ist um 83MBit/s langsamer, als über die TP-Verbindung, vgl. Abb. 38. Da es sich bei den Netzwerkkarten um Karten verschiedener Hersteller handelt und sie darüber hinaus für verschiedene PCI-Busbreiten ausgelegt sind, vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.2, ist es schwierig den Grund für den Geschwindigkeitsunterschied zu nennen. Um diesen zu finden, müssen die Tests nochmals mit einer modifizierten Hardwarekonfiguration durchgeführt werden, in der die Netzwerkkarten in jeweils passenden PCI-Slots betrieben werden. Diese Tests beziehen sich allerdings auf die Bewertung der Netzwerkkarten bzw. deren Treiber, was nicht Thema dieser Arbeit ist.

Zum Schluss werden die Ergebnisse der Performance-Untersuchung, die den Switch als Medienkonverter benutzen – also TPLWL und LWLTP – ausgewertet. Die Ergebnisse der Tests mit NetIO wurden in Kapitel 6.1 angesprochen und werden an dieser Stelle, der Vollständigkeit

halber, nochmals dargelegt. Die Messungen ergaben beim Senden von TP nach LWL die gleichen Werte, die bei der Untersuchung im reinen TP-Umfeld festgestellt wurden, vgl. Abb. 38. In dem Fall, wenn von LWL nach TP gesendet wurde, war der TCP-Durchsatz zu dem im reinen LWL-Umfeld gemessenen ebenfalls gleich, siehe Abb. 38. Somit sind die Messwerte aus den TPLWL-Tests gleich denen des TP-Tests und die der LWLTP-Test entsprechen denen des LWL-Tests.

Letztendlich kann der maximal erreichbare Durchsatz über die Intel PRO/1000 Netzwerkkarte mit 406MBit/s und die Netgear GA621 Netzwerkkarte mit 323MBit/s angegeben werden. Diese Werte entsprechen einer maximalen Auslastung von 40,6% bzw. 32,3% des Gigabit-Ethernet. Weiterhin kann festgehalten werden, dass sich durch die Modifikation der Hardware bzw. durch die Installation einer RAM-Disk keine Verbesserung des TCP-Durchsatzes der Desktop-Systeme im Gigabit-Ethernet einstellte.

6.3.2 Fast-Ethernet-Vergleichstest

In diesem Kapitel wird der zum Vergleich der Out-Of-The-Box-Konfigurationen durchgeführte Test 5 ausgewertet. Verglichen wird die Performance des Fast-Ethernet Windows XP Desktop-Systems mit dem Gigabit-Ethernet-System. Bei diesem Vergleich steht die Messung des TCP-Durchsatzgewinns, der durch eine Aufrüstung eines Fast-Ethernet zu einem Gigabit-Ethernet zu erwarten ist, im Vordergrund. Dazu werden die Messwerte aus Test 5 denen aus Test 1 im folgenden Diagramm gegenübergestellt, siehe Abb. 39.

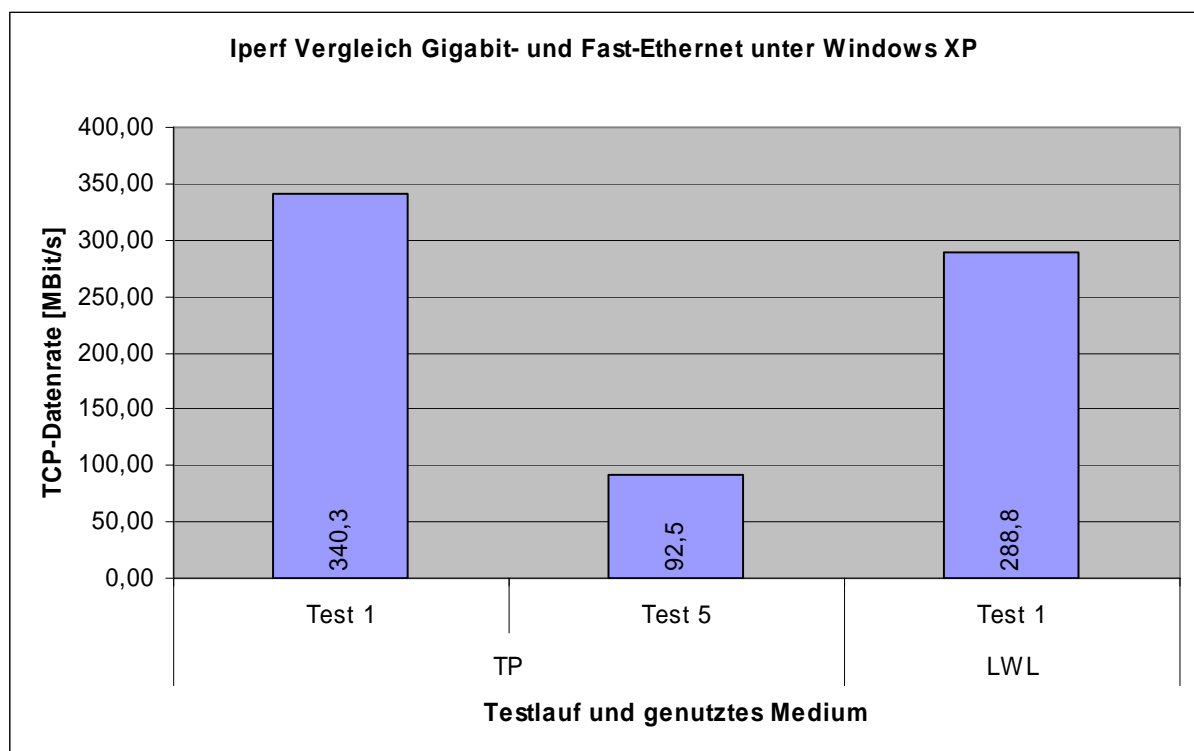


Abb. 39 Vergleich der Iperf-Messungen aus Tests 1, 5 und 6

In diesem Kapitel werden nur die Out-Of-The-Box-Konfigurationen der Systeme betrachtet, da die Modifikationen nicht am Fast-Ethernet Windows XP Desktop-System durchgeführt wurden. Der im Fast-Ethernet gemessene TCP-Durchsatz von 92,5MBit/s liegt sehr nah an der maximalen Datenrate eines Fast-Ethernet. Dagegen sind die gemessenen Durchsätze im Gigabit-Ethernet weit von der maximalen Datenrate entfernt: TP mit 340,3MBit/s und LWL mit

288,8MBit/s. Der Vergleich zeigt, dass, durch den einfachen Austausch der Netzwerkkarten und des Switch, der Netzwerk-Durchsatz der Desktop-Systeme gesteigert werden kann. Bei einer bestehenden TP-Verkabelung wurde das 3,6-fache und bei einer bestehenden LWL-Verkabelung das 3,1-fache des Fast-Ethernet-Durchsatzes mit einem Gigabit-Ethernet erreicht.

Anhand des durchgeführten Vergleichstests, kann festgehalten werden, dass die Aufrüstung eines Fast-Ethernet zu einem Gigabit-Ethernet die Performance deutlich erhöht. Vor allem wenn die aktuellen niedrigen Preise für Gigabit-Ethernet-Komponenten mit in die Betrachtung einfließen. Bei der Aufrüstung sind allerdings die Kosten für eine gegebenenfalls nötige Neuverkabelung nicht zu unterschätzen, denn nicht jede Fast-Ethernet TP-Verkabelung kann den hohen Anforderungen des 1000BaseT Standards genügen. Daher kann die Aufrüstung von wirtschaftlicher Seite her nicht lohnenswert sein. Wenn trotz einer unkompatiblen Verkabelung eine Aufrüstung durchgeführt werden soll, lohnt der Umstieg auf eine LWL-Verkabelung, vor allem wegen der besseren Zukunftsaussichten dieses Mediums, vgl. Kapitel 2.5.

Bei einer vorhandenen und kompatiblen Verkabelung mit LWL gibt es keine Probleme beim Umstieg auf den Gigabit-Ethernet-Standard.

6.3.3 Anwendungsprotokolle FTP und SMB

Dieses Kapitel behandelt die anwendungsnahen Protokolle FTP und SMB. Diese sind vor allem aus der Sicht des Anwenders besonders wichtig, da die Messungen Aussagen über den Durchsatz, welchen der Anwender nutzen kann, erlauben.

6.3.3.1 FTP-Transfer-Tests

In diesem Kapitel werden alle durchgeführten Tests in Bezug auf den FTP-Durchsatz betrachtet. Zuerst folgen einige allgemeine Angaben zur Durchführung der FTP-Tests: Die CPU-Auslastung unter Windows XP war in den FTP-Tests die niedrigste der gesamten Performance-Untersuchung. Die CPU wurde nur mit 8% bis 20% ausgelastet. Zwar stieg die CPU-Auslastung während Test 4 auf 40% an, dies kann durch die erhöhten Verwaltungsaufgaben für die RAM-Disk erklärt werden. Das Windows Desktop-System hat während der Durchführung keine Daten aus dem Hauptspeicher auslagern müssen.

Die Untersuchung der von Windows XP benutzten Anwendungsprotokolle gibt ein uneinheitliches Bild, da sich unter Windows XP das FTP-Protokoll wider Erwarten als sehr langsam herausstellte, vgl. Abb. 40.

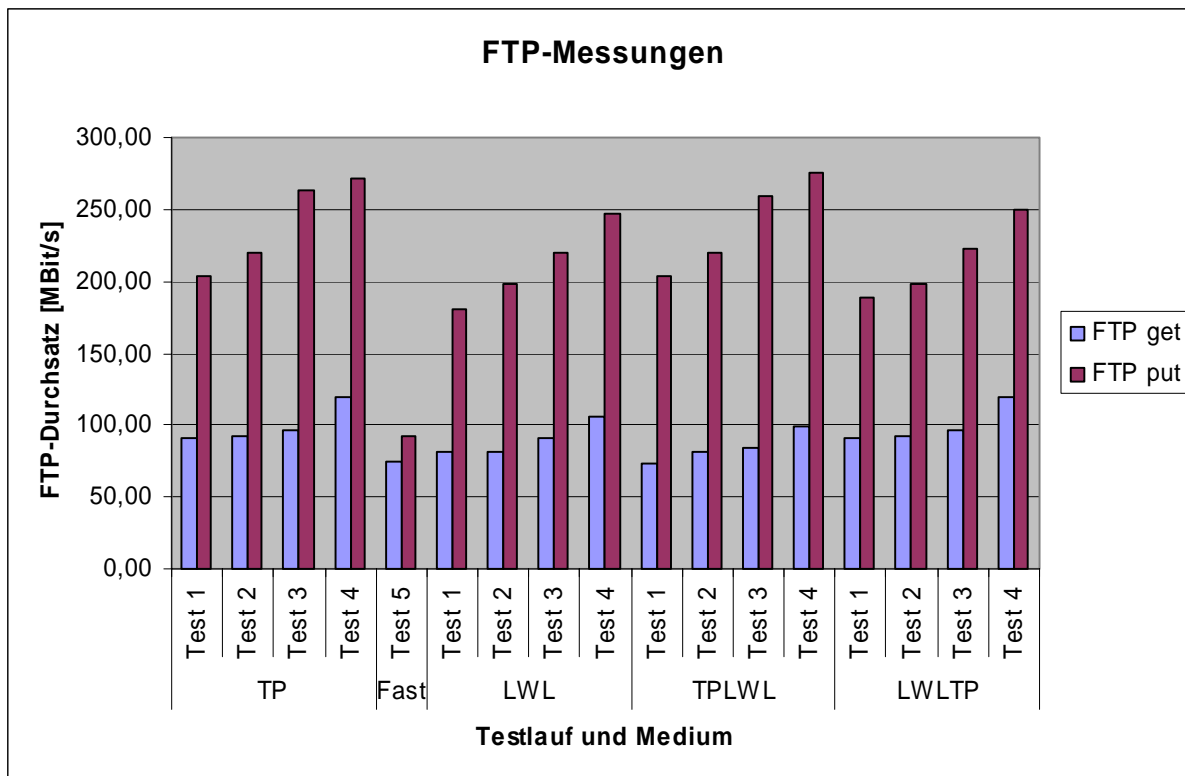


Abb. 40 Ergebnisse der Messungen von FTP-get und FTP-put

Windows XP erreicht in keiner Optimierungsstufe bei einem FTP-get mehr als 115MBit/s. Dieses Verhalten des FTP-Servers bzw. -Clients änderte sich auch nicht, nachdem die Konfiguration so bearbeitet wurde, dass maximal ein Benutzer eingeloggt sein darf, worauf diese Konfiguration wieder rückgängig gemacht wurde.

Wenn nun die andere Richtung eines FTP-Transfers - ein FTP-put - betrachtet wird, stellt sich ein anderes Bild dar: Ein FTP-put erreicht einen mehr als doppelt so hohen Durchsatz wie ein FTP-get, vgl. Abb. 40.

Der erreichbare FTP-Durchsatz beim Senden über TP liegt bei 270MBit/s und über LWL bei 247MBit/s. Auch die Wirkung der RAM-Disk auf den Durchsatz kann, trotz der uneinheitlichen Testergebnisse, im Diagramm abgelesen werden, siehe Abb. 40. Sie führte bei allen Medienkombinationen zu einer weiteren Erhöhung des FTP-Durchsatzes. Zwar sind die Durchsätze beim Senden mit dem FTP-Client (put) viel höher als beim Senden vom FTP-Server (get), es werden aber nicht solche hohen Durchsätze erreicht, wie dies mit Iperf möglich war. Für den Anwender eines Desktop-Systems sind beide Richtungen interessant, da er normalerweise Dateien von einem FTP-Server hoch- und herunterlädt.

Diese Tests zeigen, wie auch die Tests mit den Bulk-Transfer-Messwerkzeugen, dass die Netgear Netzwerkkarte der Intel Netzwerkkarte unter Windows XP unterlegen ist. Dies ist auf eine schlechtere Treiberqualität oder auf die Auslegung der Netgear Netzwerkkarte auf den 64Bit Betrieb zurückzuführen. Jedoch kann dies nur in separaten Tests mit geeigneten Mainboards nachgewiesen werden und ist deshalb nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die FTP-Transfer-Tests den Erfolg der Software-Modifizierung und RAM-Disk bestätigen, aber zur Bewertung der Desktop-Systeme eher ungeeignet sind. Weiterhin hinterließ der Windows XP FTP-Server einen schlechten Eindruck, da er zum einen nicht mit den Jumbo-Frames kompatibel war und zum anderen den Durchsatz unnötig begrenzte. Das Betriebssystem und die eingesetzten Programme haben, wie durch die Tests gezeigt, einen hohen Einfluss auf die Netzwerk-Performance des Gesamtsystems. Die Ergebnisse geben einen Einblick in den FTP-Durchsatz, der vom Anwender des Desktop-Systems

genutzt werden kann.

6.3.3.2 SMB-Transfer-Tests

Bei der Durchführung der SMB-Transfer-Tests wurde eine CPU-Auslastung zwischen 20% und 30% beobachtet, welche beim Einsatz der RAM-Disk auf 45%-55% anstieg. Diese Werte waren die höchsten der gesamten Performance-Untersuchung. Auch bei diesem Test musste das Betriebssystem keine Daten aus dem Hauptspeicher in die Auslagerungsdatei verschieben. Die Begriffe put und get werden im Kontext dieser Auswertung analog zur Bedeutung beim FTP benutzt.

Die Ergebnisse der SMB-Transfer-Tests sind aus der Optimierungssicht ein Erfolg, da sich durch jede Modifikationsstufe eine Durchsatzsteigerung erreichen ließ. Beim Vergleich der Messergebnisse untereinander stellten sich Widersprüche heraus. So ist ein SMB-put – das System kopiert die Testdaten auf die Freigabe eines entfernten Systems – um gut 50MBit/s schneller als ein SMB-get in der gleichen Konfiguration, siehe Abb. 41. Dieses Ergebnis ist darauf zurückzuführen, dass ein System, welches eine Sendung beginnt, versucht den SMB-Durchsatz zu maximieren. Bei einem SMB-get wird ein entferntes System nach einer Datei gefragt, diese zu transferieren. Um noch Bandbreite für Dateianfragen anderer Systeme bereitzustellen zu können, wird der Transfer gedrosselt. Da es sich bei diesem Test um Desktop-Systeme handelt, existieren keine Konfigurationsmöglichkeiten für dieses Verhalten. Server-Betriebssysteme stellen dagegen oftmals solche Konfigurationsmöglichkeiten zur Verfügung.

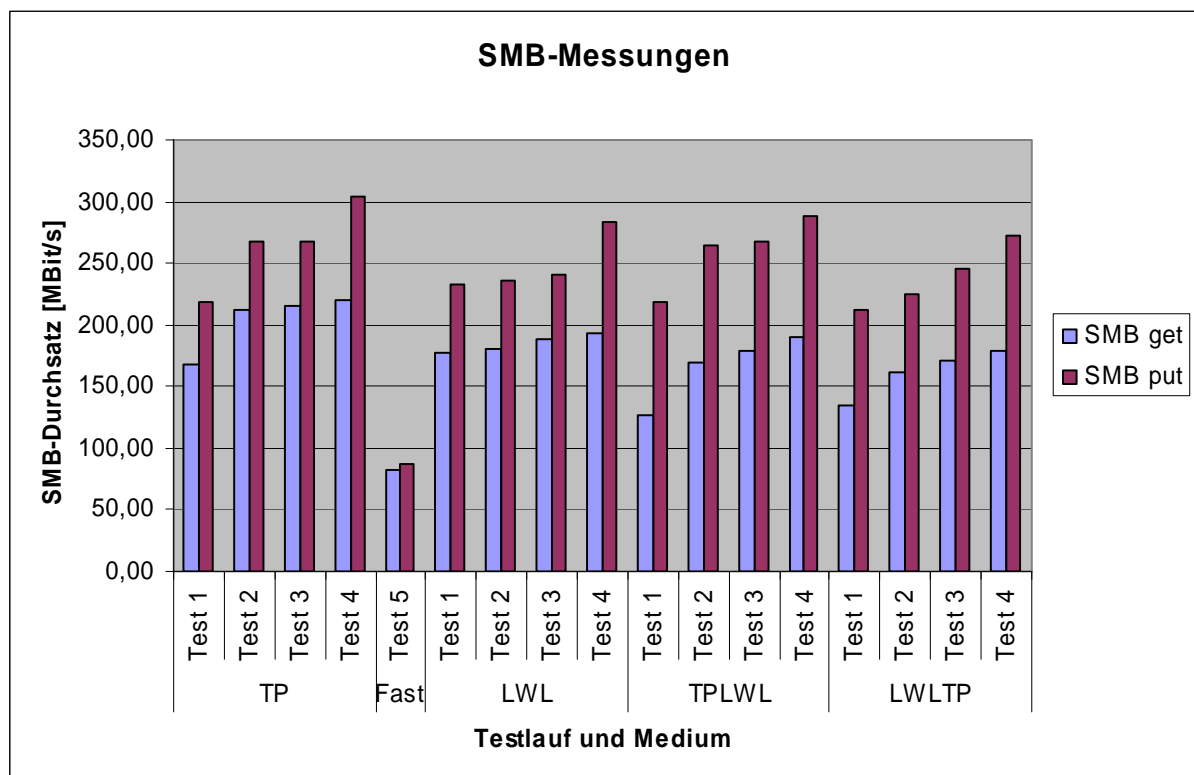


Abb. 41 Ergebnisse der Messungen von SMB get und put

Ein weiterer auffälliger Aspekt zeigte sich nach der Hardware-Modifikation in Test 2. Hier wird ein SMB-Durchsatzzuwachs von bis zu 50MBit/s erreicht. Die Hardware-Modifikation hatte einzig im SMB-Test einen Einfluss auf den Durchsatz. Der gemessene Durchsatz stieg, durch die Modifikationen, von Test 1 bis 4 stetig an, wobei der Zuwachs nach der Software-Modifikation im Vergleich mit Iperf und NetIO gering ausfällt. Beim TP-Test liegt er sogar im Bereich eines

Messfehlers.

Der höchste gemessene Durchsatz mit einem SMB-get beim TP-Test lag bei 220MBit/s und beim LWL-Test bei 193MBit/s. Im Vergleich zu Test 5 mit dem Fast-Ethernet, in dem 82MBit/s gemessen wurden, entspricht dies einer 2,7-fachen bzw. 2,4-fachen Verbesserung. Der größte gemessene Durchsatz mit einem SMB-put beim TP-Test lag bei 303MBit/s und beim LWL-Test bei 283MBit/s. Gegenüber dem Fast-Ethernet-Vergleichstest, in dem 86MBit/s gemessen wurden, entspricht dies einer 3,5-fachen bzw. 3,2-fachen Durchsatzverbesserung. Für den Anwender bedeutet das: Ein Dateitransfer über SMB im Gigabit-Ethernet nehmen nur noch ein Drittel der Zeit in Anspruch wie in einem Fast-Ethernet.

Die höchsten Zuwächse wurden bei den SMB-put Messungen erreicht, wobei der Einfluss der RAM-Disk dabei am größten war (TP +35MBit/s und LWL +43MBit/s). Bei den SMB-get Messungen wurden vergleichsweise geringe Zuwächse durch die RAM-Disk erzielt (TP +4MBit/s und LWL +5MBit/s). In Abb. 41 ist gut zu erkennen, dass die RAM-Disk einen hohen Einfluss auf den SMB-Durchsatz hat. Somit kann im Vergleich mit den Iperf-Ergebnissen, bei denen kein Einfluss der RAM-Disk erkennbar war, die Festplatte als bremsender Faktor für eine SMB-Dateiübertragung identifiziert werden. Dies wird auch durch die Geschwindigkeitsmessungen der Festplatte bzw. der RAM-Disk untermauert, vgl. Kapitel 6.2.3. Daher werden die Ergebnisse der SMB-Transfer-Tests nicht zur Bewertung der Desktop-Systeme herangezogen, sondern nur als Hinweis auf den maximal möglichen SMB-Durchsatz angesehen. Trotzdem ist auch bei den SMB-Tests der Erfolg der Modifikationen zu erkennen.

Durch das komplexe SMB-Protokoll und die Berechtigungsverwaltung ist dieses Protokoll tief in das Betriebssystem integriert und wird somit von diesem beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen dennoch, dass auch der Anwender direkt von einer Aufrüstung eines Fast-Ethernet auf ein Gigabit-Ethernet profitieren kann, da er durch die Aufrüstung einen bis zu 3,5-fachen SMB-Durchsatz im Vergleich zu einem Fast-Ethernet erhält.

6.3.4 Zusammenfassung der Testergebnisse

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der nach dem Testplan durchgeführten Performance-Untersuchung zusammen, vgl. Tab. 10 und Kapitel 4.7 Nr. 2 bis 4. Während der gesamten Durchführung der Untersuchung kam die CPU- und Speicherauslastung der Desktop-Systeme nie an eine kritische Grenze heran.

Die erste Messung wurde an unmodifizierten Desktop-Systemen durchgeführt, wobei ein maximaler TCP-Durchsatz von 340MBit/s über TP bzw. 288MBit/s über LWL erreicht wurde. Die Messungen während Test 2 bescheinigen der Hardware-Modifikation keinen Effekt auf den TCP-Durchsatz der Desktop-Systeme. Die im Anschluss daran durchgeführte TCP-Stack-Modifizierung konnte den TCP-Durchsatz auf beiden Medien steigern. Die Intel Netzwerkkarte überträgt TCP-Daten mit bis zu 406MBit/s und die Netgear Netzwerkkarte mit bis zu 323MBit/s, vgl. Abb. 38. Wie erwartet hatte die Installation der RAM-Disk keinerlei Einfluss auf den mit den Bulk-Transfer-Messwerkzeugen gemessenen TCP-Durchsatz.

Die Messwerte der Fast-Ethernet-Vergleichstests zeigen, dass die getesteten Desktop-Systeme in der Lage sind, ein Fast-Ethernet auszulasten. Weiterhin wurde durch den Austausch der Fast-Ethernet- gegen Gigabit-Ethernet-Netzwerkkomponenten eine Performance-Steigerung von bis zu 360% erreicht, die durch weitere Modifikationen auf bis zu 439% erhöht werden konnte.

Im Vergleich mit dem gemessenen TCP-Durchsatz der Bulk-Transfer-Messwerkzeuge waren die praktischen Dateitransfertests mit den Anwendungsprotokollen um 100 bis 150MBit/s niedriger. Die Konfiguration einer RAM-Disk in Test 4 sollte die Transferraten der in der Anwendungsschicht angesiedelten Tests mit FTP und SMB beschleunigen und von der Performance der Festplatte abkoppeln. Eine signifikante Performance-Steigerung konnte nur beim Senden mit SMB-put auf allen Medienkombinationen nachgewiesen werden, vgl. Abb. 41. Dagegen

wurden die SMB-get Anfragen kaum durch die RAM-Disk beschleunigt. Bei den FTP-Transfer-Tests hatte die RAM-Disk auch einen positiven Einfluss auf den FTP-Durchsatz aller Medienkombinationen. Hier trat eine signifikante Erhöhung des Durchsatzes ebenfalls nur bei FTP-put Transfers auf, vgl. Abb. 40. Die Messergebnisse sind allerdings mit Vorsicht zu behandeln, da der Einfluss des Windows XP FTP-Servers auf den gemessenen FTP-Durchsatz nicht abgeschätzt werden kann.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Messungen mit Iperf den maximal erreichbaren TCP-Durchsatz und den Optimierungserfolg widerspiegeln. Die anwendungsnahen Messungen mit FTP und SMB zeigen, dass der TCP-Durchsatz nicht vollständig an den Anwender weitergegeben wird. Trotzdem wird durch die Aufrüstung der Fast-Ethernet Desktop-Systeme auf ein Gigabit-Ethernet eine Netzwerk-Performance-Steigerung erzielt.

6.4 Fazit der Performance-Untersuchung

In Kapitel 4.7 wurde die Performance-Untersuchung in vier Bereiche eingeteilt, welche im Testfazit zu berücksichtigen sind.

Zuerst wird in diesem Kapitel auf die Bewertung der eingesetzten Bulk-Transfer-Messwerkzeuge eingegangen, vgl. Kapitel 4.7 Nr. 1. Durch einen Vergleich der Messergebnisse, der Dokumentation und des Entwicklungsstands der Werkzeuge hat sich ein Werkzeug als besonders zuverlässig, gut dokumentiert und aktuell herausgestellt: Dieses Werkzeug ist Iperf und kann für weitere Netzwerk-Performance-Untersuchungen empfohlen werden, siehe Kapitel 4.5.7 und 6.1.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Performance-Untersuchung soll nun bestimmt werden, inwieweit sich Desktop-Systeme für eine Anbindung mittels Gigabit-Ethernet eignen, vgl. Kapitel 4.7 Nr. 2. Der maximal erreichte Durchsatz der getesteten Protokolle und Medien und die während der Tests beobachtete CPU- bzw. Speicherauslastung müssen dabei besonders betrachtet werden. Weiterhin soll die Frage diskutiert werden, ob sich die Aufrüstung vorhandener Desktop-Systeme mit Gigabit-Ethernet-Komponenten aus Sicht der Performance-Verbesserung lohnt, vgl. Kapitel 4.7 Nr. 3. Dazu müssen zum einen die Messergebnisse der Tests herangezogen werden, zum anderen die Kosten für eine Aufrüstung mit in die Überlegungen eingehen. Als letzter Bereich wird die Bewertung des nutzbaren Netzwerkdurchsatzes für den Anwender gefordert, vgl. Kapitel 4.7 Nr. 4. Dazu werden die Messergebnisse der SMB-Transfer-Tests herangezogen.

In der folgenden Tab. 11 wurden die maximalen TCP-Durchsätze im Gigabit-Ethernet mit denen im Fast-Ethernet verglichen:

Fast-Ethernet (TP)		Gigabit-Ethernet		Steigerung [%]	Auslastung Gigabit-Ethernet [%]
Durchsatz [Mbit/s]	Medium	Durchsatz [Mbit/s]			
92,50	TP	406,20		439,1	40,6
92,50	LWL	323,00		349,2	32,3
92,50	TPLWL	402,00		434,6	40,2
92,50	LWLTP	323,20		349,4	32,3

Tab. 11 Vergleich der max. TCP-Durchsätze im Fast- und Gigabit-Ethernet in Bezug auf die Medien

Zuerst soll betrachtet werden, inwieweit die Desktop-Systeme das Gigabit-Ethernet auslasten können, siehe dazu die letzte Spalte der Tab. 11. Die durchgeführte Performance-Untersuchung hat gezeigt, dass mit den generischen Testwerkzeugen ein maximale Durchsatz von 406Mbit/s bei den TP-Tests bzw. von 323Mbit/s bei den LWL-Tests erzielt wurde. Dies entspricht einer Auslastung des Gigabit-Ethernet von 40,6% bzw. 32,3%. Die Messwerte der Tests, in denen der Switch als Medienkonverter genutzt wurde, sind nach Kapitel 6.1 äquivalent zu den TP- bzw. LWL-Messungen. Somit ergibt sich, dass die getesteten Desktop-Systeme ein

Gigabit-Ethernet nicht annähernd auslasten können.

Es stellt sich nun die Frage, warum mit den eingesetzten Systemen nur eine geringe Auslastung zu erreichen ist. Diese Frage sollte durch den Ausbau bzw. die Deaktivierung jeglicher PCI-Komponenten, die für den Betrieb nicht benötigt werden, beantwortet werden. Durch die Modifikationen wurde eine Störung durch Interrupts anderer PCI-Komponenten minimiert. Da der Festplattenkontroller ein PCI-Gerät und für den Betrieb der Systeme essentiell ist, muss sich die Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte die Bandbreite des PCI-Busses mit dem Festplattenkontroller teilen. Aus Tab. 6 folgt, dass das verwendete PCI-System eine maximale Datenrate von 115MByte/s bzw. 960MBit/s liefern kann, welche zwischen der Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte und dem Festplattenkontroller aufgeteilt wird. Dies entspricht einer Datenrate von 57,5MByte/s oder 460MBit/s für die jeweilige Komponente. Aus dieser theoretischen Betrachtung der PCI-Leistung der untersuchten Desktop-Systeme kann im Vergleich mit den erreichten Durchsätzen von einer guten Ausnutzung der vom PCI-Bus bereitgestellten Datenrate gesprochen werden. Diese These belegen auch die beobachteten CPU- bzw. Speicherauslastungswerte, welche sich nicht innerhalb eines kritischen Bereichs bewegten und deshalb als Ursache für die Begrenzung des Durchsatzes ausscheiden. Infolgedessen kann davon ausgegangen werden, dass nicht die CPU bzw. die Auslastung des Speichers, für den niedrigen Durchsatz im Gigabit-Ethernet verantwortlich sind, sondern dass die Leistung des eingesetzten 32Bit 33MHz PCI-Busses den Durchsatz begrenzt. Diese Ansicht bestätigen auch die in [Gray 2003], [Zaitsev 2004] und [Zaitsev 2004a] durchgeführten Performance-Messungen mit verschiedenen Ausführungen des PCI-Busses mit dazu kompatiblen Netzwerkkarten. Auch die Untersuchung der alternativen Systeme in Kapitel 6.2.6, welche den vier Jahre alten Systemen eine signifikant höhere Performance im Gigabit-Ethernet bescheinigen, bestätigen die Notwendigkeit einer schnellen Anbindung der Netzwerkkarte an das System. Die hohen Durchsatzwerte wurden durch den Einsatz eines breiten 64Bit 33MHz PCI-Bussystems mit einer passenden Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte erreicht.

Wenn nun die Eignung der untersuchten Desktop-Systeme für die Anbindung mittels Gigabit-Ethernet bewertet werden soll, muss die maximale Auslastung des Gigabit-Ethernet betrachtet werden. Das Maximum wurde über die TP-Netzwerkkarte von Intel gemessen und betrug 406MBit/s. Dies entspricht einer Auslastung von 40,6% und kann nur als schlechtes Ergebnis bezeichnet werden. Vor allem, wenn diese Messung mit dem maximalen Durchsatz der alternativen Systeme verglichen wird, siehe Kapitel 6.2.6. Hier wurde ein TCP-Durchsatz von 755MBit/s, was einer Auslastung von 75,5% entspricht, erreicht.

Aus wirtschaftlicher Sicht lohnt sich die Anbindung von Desktop-Systemen mit Gigabit-Ethernet bei einer Neuplanung eines Netzwerks, da alle Komponenten neu erworben werden müssen, und von vorneherein die Verkabelung, der Switch und auch die Desktop-Systeme für eine Anbindung an das Gigabit-Ethernet ausgelegt werden können. Dies bedeutet für die Desktop-Systeme, dass bei der Anschaffung der Komponenten auf eine schnelle Anbindung der Netzwerkkarte ans System geachtet werden muss. In Kapitel 6.5 wird näher auf alternative Anbindungsmöglichkeiten für Netzwerkkarten eingegangen. In der Planungsphase sollten die Kosten für die Fast- und Gigabit-Ethernet-Anbindung betrachtet und anhand des Preises pro MBit/s entschieden werden, welche die wirtschaftlich vernünftige Möglichkeit ist.

Bei der Aufrüstung eines vorhandenen Fast-Ethernet zu einem Gigabit-Ethernet bei Desktop-Systemen müssen noch weitere Parameter in die Kalkulation einfließen. Jedes System im Netzwerk muss mit einer Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte ausgerüstet und ein Switch mit genügend Ports installiert werden. Wenn die bereits verlegte Verkabelung den Anforderungen des Gigabit-Ethernet-Standards genügt, siehe Kapitel 2.4.8 und 2.4.9, kann das Netzwerk ohne weitere Kosten für eine Neuverkabelung aufgerüstet werden. Wenn allerdings die Verkabelung erneuert werden muss, wird die Aufrüstung evtl. unwirtschaftlich. Dieses Szenario muss, wegen der hohen Kosten einer Neuverkabelung, im Einzelfall bewertet werden. Außerdem müssen die Ergebnisse des Fast-Ethernet-Vergleichstests berücksichtigt werden. Das Fast-Ethernet stellt den heutigen Standard bei der Vernetzung von Desktop-Systemen dar. Im Vergleich mit dem er-

reichbaren Durchsatz in einem Fast-Ethernet-Netzwerk (92,5MBit/s) zeigt sich im Gigabit-Ethernet-Netzwerk eine bis zu 4,3-fache Steigerung des erreichbaren Datendurchsatzes auf 406MBit/s. Aus Performance-Sicht lohnt sich eine Anbindung der Desktop-Systeme an ein Gigabit-Ethernet, wenn eine Gigabit-Ethernet konforme Verkabelung vorliegt.

Inwieweit vorhandene Desktop-Systeme für eine Anbindung mit Gigabit-Ethernet geeignet sind, kann mit relativ geringen finanziellen Mitteln überprüft werden. Dazu müssen zwei der Desktop-Systeme mit einer Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte ausgestattet werden und über eine direkte TP- bzw. LWL-Verbindung einem Performance-Test unterzogen werden. Die in Kapitel 4.5 vorgestellten Bulk-Transfer-Messwerkzeuge können für diesen Zweck benutzt werden. Es ist somit möglich, die vorhandenen Desktop-Systeme in einem realen Umfeld auf ihre Eignung zu untersuchen.

Nun wird der nutzbare Datendurchsatz für den Anwender betrachtet. Dazu werden die aus der Anwendersicht wichtigen anwendungsnahen Protokolle SMB und FTP untersucht, wobei nur die SMB Ergebnisse in die Betrachtung eingehen. Die Messergebnisse hängen bei den Tests 1-3 stark von der Geschwindigkeit der Festplatte ab, was durch den Vergleich mit Test 4 deutlich wird. Der Geschwindigkeitsvorteil der RAM-Disk wurde gegenüber der verwendeten Festplatte durch eine Messungen bestimmt. Aus der Sicht des Anwenders haben die SMB-Messungen gezeigt, dass Durchsätze von bis zu 303MBit/s erzielt werden können, vorausgesetzt, die eingesetzte Festplatte kann diese Datenrate erbringen. Dies ist ein signifikant höherer Durchsatz als mit einem Fast-Ethernet erreichbar ist, entspricht aber einer Auslastung des Gigabit-Ethernet von nur ca. 30%. Daher ist die Aufrüstung beim Einsatz des SMB-Protokolls auch für den Anwender mit einer signifikanten Durchsatzsteigerung verbunden.

In den zusätzlichen Performance-Tests wurde der Einfluss von Jumbo-Frames auf den Durchsatz und die Auslastung der CPU untersucht. Die mit Hilfe der Desktop-Systeme bestimmten Messwerte haben gezeigt, dass die Durchsatzverbesserung durch Jumbo-Frames nur durch die Reduzierung des Ethernet-Protokoll-Overhead erreicht wurde, siehe Kapitel 6.2.5. Im Gegensatz dazu wurde mit Hilfe der alternativen Systeme gezeigt, dass die Jumbo-Frames, mit einer geeigneten Anbindung der Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten an das System, sehr wohl einen Einfluss auf den Durchsatz und die CPU-Auslastung des Systems haben. Die Jumbo-Frames und eine TCP-Fenstergröße von 256KByte konnten den Durchsatz von 363MBit/s auf 755MBit/s steigern, wobei die CPU-Auslastung auf 30% gesunken ist. Somit ergibt sich für den Einsatz von Jumbo-Frames der Schluss, dass diese nur bei einer geeignet hohen Anbindung der Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarte sinnvoll sind und erst bei hohen Durchsätzen einen Einfluss haben.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Optimierung des TCP-Fensters beim Gigabit-Ethernet immer Sinn macht. Der Einsatz von Jumbo-Frames muss wohl überlegt geschehen, weil diese nicht standardkonform sind und zu Problemen bei der Kommunikation mit unkompatiblen Ethernet-Komponenten führen können. Sie führen aber zu einem höheren Durchsatz im Netzwerk.

Im folgenden Kapitel 6.5 werden weitergehende Vorschläge zur Optimierung der untersuchten Desktop-Systeme gemacht.

6.5 Optimierungsvorschläge

Dieses Kapitel stellt den aktuellen Stand der Entwicklung bei schnellen Bus- und Punkt-zu-Punkt-Systemen dar und gibt weitere Optimierungsmöglichkeiten für die untersuchten Desktop-Systeme an.

Die Performance-Untersuchung an den Desktop-Systemen haben gezeigt, dass der PCI-Bus die Netzwerk-Performance der Desktop-Systeme im Gigabit-Ethernet beschränkt. Eine weitergehende Optimierung der untersuchten Desktop-Systeme kann daher nur durch eine Änderung der Hardware erfolgen. Daher müssen die Mainboards gegen gleichwertige Exemplare ausge-

tauscht werden. Sie müssen im Fall der Intel PRO/1000-Netzwerkkarte mindestens einen 32Bit PCI-Bus mit 66MHz und im Fall der Netgear GA621-Netzwerkkarte einen 64Bit PCI-Bus mit 66MHz unterstützen. Die Suche nach geeigneten Mainboards der Desktop-System-Klasse mit diesen Merkmalen gestaltet sich schwierig. Es existiert zur Zeit nur ein Chipsatz der zu einer AMD Athlon XP CPU kompatibel ist und über die geforderten PCI-Systeme verfügt. Der AMD 760MPX Chipsatz wird von AMD produziert und unterstützt bis zu zwei AMD Athlon MP CPUs. Beim Einsatz von AMD Athlon XP CPUs kann nur ein Prozessor verwendet werden. Der Chipsatz verfügt über zwei integrierte PCI-Systeme: Der primäre mit 64Bit und 66MHz und der sekundäre PCI-Bus mit 32Bit und 33MHz, vgl. [AMD-760-MPX]. Der AMD-760 MPX ist ein Server- bzw. Workstation-Chipsatz und wird auf wenigen Mainboards eingesetzt. Dazu zählen z.B. das Tyan Tiger-MPX (S2466), das Tyan Thunder-K7x-PRO (S2469UGN) und das MSI K7D-Master-L (MS-6501). Informationen zu den genannten Mainboards können über die Web-Seiten der Hersteller abgerufen werden: <http://www.tyan.com>, <http://www.msi-computer.de>. Alle genannten Mainboards verfügen über zwei CPU-Sockel für AMD Athlon CPUs, können aber auch mit nur einem AMD Athlon Prozessor betrieben werden. Auf den genannten Mainboards können die beiden untersuchten Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten ohne Einschränkungen durch den PCI-Bus betrieben werden. In Tab. 12 kann die Performance verschiedener PCI-Systeme abgelesen werden.

Wenn es sich bei einer Gigabit-Übertragung um Daten von der Festplatte handelt, ist die Lese- bzw. Schreibgeschwindigkeit der Festplatte von großer Bedeutung. Sie kann den erreichbaren Durchsatz im Netzwerk beschränken. In diesem Fall sollten spezielle SATA- oder SCSI-RAID-Systeme eingesetzt werden, welche aus mehreren Festplatten bestehen. Die Dateien werden vom RAID-Kontroller nach einem Algorithmus auf den verschiedenen Festplatten verteilt, so dass auf bzw. von den Festplatten parallel geschrieben bzw. gelesen werden kann. Diese RAID-Systeme liefern hohe Datenraten, da sie Lese- bzw. Schreibvorgänge parallel von verschiedenen Platten ausführen und sich so die Datenraten der einzelnen Festplatten addieren. Diese hohen Datenraten setzen – genau wie das Gigabit-Ethernet – eine schnelle Anbindung an das System voraus. Eine Auswahl dieser Systeme findet sich in der nachfolgenden Tab. 12.

Verbindung	Busfrequenz	Busbreite in [Bit]	max. Transferrate
PCI 32Bit, 33MHz	33MHz	32	133Mbyte/s
PCI 32Bit, 66MHz	66MHz	32	266Mbyte/s
PCI 64Bit, 33MHz	33MHz	64	266Mbyte/s
PCI 64Bit, 66MHz	66MHz	64	533Mbyte/s
PCI-X 66	66MHz	64	533Mbyte/s
PCI-X 100	100MHz	64	800Mbyte/s
PCI-X 133	133MHz	64	1Gbyte/s
PCI-X 2.0 266	133MHz	64	2Gbyte/s
PCI-X 2.0 533	133MHz	64	4Gbyte/s
PCIe x1	1,25GHz	1	312Mbyte/s
PCIe x4	1,25GHz	4	1,25Gbyte/s
PCIe x8	1,25GHz	8	2,5Gbyte/s
PCIe x16	1,25GHz	16	5Gbyte/s

Tab. 12 Vergleich aktueller Bus- und Punkt-zu-Punkt-Systeme nach [Intel 2003], [SysKonnnect 1999]

Durch die Unterstützung des PCIe (PCI Express) durch Intel wird sich die PCI-Situation in Zukunft ändern. Intel hat die Produktion der neuen Chipsätze i925X und i915P/i915G angekündigt, welche den PCIe-Standard unterstützen, vgl. Tab. 12. In absehbarer Zeit werden auch die ersten Mainboards und Gigabit-Ethernet-Netzwerkkarten in PCIe-Bauform erhältlich sein. Wie an den maximal erreichbaren Transferraten der neuen Systeme erkennbar ist, liegen sie alle über denen eines 32Bit PCI-Busses. Vorhandene Standard-PCI-Karten können aber nicht in die

neuen PCI-Systeme übernommen werden, weil sie nicht kompatibel sind. [Windeck 2004]

Vor dieser Ankündigung hat Intel einen anderen Weg eingeschlagen, um das Gigabit-Ethernet zum Desktop zu bringen: Intel hat eine Architektur mit dem Namen CSA (Communication Streaming Architecture) eingeführt, wobei der Gigabit-Ethernet-Chip direkt an den MCH (Memory Controller Hub) angeschlossen wird, und dort eine Bandbreite von 266MByte/s zur alleinigen Verfügung hat, vgl. [Intel CSA 2003]. Mainboards mit integriertem CSA-Gigabit-Ethernet-Kontroller sind schon erhältlich, allerdings nur mit Intel Pentium Prozessoren kompatibel. Außerdem handelt es sich beim CSA nicht um einen Erweiterungssteckplatz, sondern um eine schnelle Onboard-Anbindungsmöglichkeit.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit des Testnetzwerkes ergab sich aus der E-Mail-Kommunikation mit NetGear, die darauf hinwiesen, dass es für den getesteten Switch eine neue Firmware gibt. Die neue Firmware löst das Problem der Jumbo-Frame-Unterstützung nicht, aber eine evtl. Performance-Steigerung des Switch nach sich zieht. Diese kann im Internet über den Hersteller Netgear, <http://www.netgear.com>, bezogen werden. Die aktuelle Version der Firmware ist 2.4.1 vom 27.06.2004.

7 Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden Desktop-Systeme auf ihre Leistungsfähigkeit in einem Gigabit-Ethernet hin untersucht. Die Leistungsfähigkeit wurde aufgrund des erreichbaren TCP-Durchsatzes bewertet. Am Anfang wurde die Geschichte und Entstehung des 802.3 Ethernet-Standards anhand des Ethernet, Fast-Ethernet, Gigabit-Ethernet und des 10-Gigabit-Ethernet erläutert. Im Anschluss wurden höhere Protokollschichten mit Hilfe der für die Untersuchung genutzten Protokolle TCP/IP, FTP und SMB eingeführt und damit der Grundlagenteil abgeschlossen.

Um die Performance-Untersuchung an den Desktop-Systemen durchführen zu können, wurde zuerst die Hard- und Software-Konfiguration dokumentiert. Dazu gehörten alle Hardware-Komponenten, die bei der Untersuchung in den Systemen eingebaut waren. Weiterhin wurde das eingesetzte Betriebssystem Microsoft Windows XP SP1 und seine Grundkonfiguration festgehalten. Die Dokumentation der eingesetzten Systeme ist essentiell für die Auswertung und Reproduzierbarkeit der Performance-Untersuchung.

Bei der Entwicklung der Performance-Untersuchung wurden zwei Veröffentlichungen zum Thema Netzwerktests bzw. Benchmarking von Netzwerkkomponenten berücksichtigt, [Buchanan 1996] und [RFC 1322]. Als Ziel der Performance-Untersuchung wurde das ‚configuration sizing‘ aus Sicht des Anwenders gewählt. Die Untersuchung wurde auf der Basis von Durchsatzmessungen mit Hilfe von Bulk-Transfer-Messwerkzeugen durchgeführt. Es wurden drei verschiedene Werkzeuge ausgewählt, um sie anhand der Konsistenz der Messergebnisse, der Qualität der Dokumentation und der Aktualität bewerten zu können. Empfohlen wird die Benutzung von Iperf, das sich als ein konsistentes, gut dokumentiertes und aktuelles Bulk-Transfer-Messwerkzeug im Test herausstellte. Bedingt durch das ausgewählte Ziel wurden die Modifikationen, welche zwischen den Tests durchgeführt wurden, ebenfalls dokumentiert. Daraus ergaben sich eine Grundkonfiguration (Test 1) und drei Modifikationsstufen, in denen die Hardware (Test 2), die Software (Test 3) und die Datenhaltung (Test 4) verändert und getestet wurden. Die Ergebnisse der Tests zeigen die Durchsatzverbesserungen durch die Modifikationen. Für die vorliegende Untersuchung wurde vorausgesetzt, dass die eingesetzten Gigabit-Ethernet-Komponenten standardkonform sind und somit eine Datenrate von 1 GBit/s bereitstellen können. Dies kann in weiteren Tests mit geeigneter Hardware überprüft werden, wurde aber wegen der Ausrichtung der Untersuchungen auf die Anwendersicht jedoch nicht betrachtet.

Die so geplante Performance-Untersuchung wurde nach dem aufgestellten Testplan durchgeführt und dokumentiert. Im Anschluss daran wurden im vorherigen Kapitel die Messergebnisse ausgewertet, weshalb an dieser Stelle nur die wichtigsten Erkenntnisse nochmals geschildert werden:

- Die untersuchten Desktop-Systeme können ein Gigabit-Ethernet mit maximal 406MBit/s nutzen, dieses also nicht auslasten. Auch die alternativen Systeme erreichten mit maximal 755MBit/s keine Auslastung des Gigabit-Ethernet.
- Die Modifikationen der Hardware hatten keinen Erfolg. Jedoch kann ein Austausch des Mainboards gegen eines mit 64Bit 66MHz PCI-System den Gigabit-Ethernet-Netzwerkdurchsatz steigern. Es ist sogar zwingend erforderlich, auf eine schnelle Anbindung der Netzwerkkarten an das System zu achten, um einen hohen Durchsatz im Netzwerk zu erreichen.
- Die Modifikation der Software hatte Erfolg. Es wird empfohlen beim Einsatz eines Gigabit-Ethernet unter Windows XP immer die TCP-Fenstergröße zu optimieren, da die Standardeinstellung von Windows XP nicht für schnelle Netzwerke geeignet ist.
- Die Nutzung von Jumbo-Frames hat im normalen Testablauf mit den Desktop-Systemen geringe Auswirkungen auf den Durchsatz gezeigt. Bei der Untersuchung der alternativen Systeme (64Bit 33MHz PCI-Bus) konnte allerdings eine erhebliche Steigerung des TCP-

Durchsatzes – bei gesunkener CPU-Auslastung – aufgezeigt werden. Daher empfiehlt sich der Einsatz von Jumbo-Frames unter vorheriger Abwägung der Nachteile, wie der evtl. Fragmentierung, der Inkompatibilität und der Probleme mit der FCS.

- Der Vergleich der Fast- und Gigabit-Ethernet-Konfiguration zeigte, dass durch eine Aufrüstung, ein bis zu 4,4-facher Netzwerkdurchsatz zu erreichen ist. Dieser Umstand macht eine Aufrüstung – vor allem vor dem Hintergrund der sinkenden Gigabit-Ethernet-Komponentenpreise – zu einer lohnenswerten Überlegung. Dabei muss immer die vorhandene Verkabelung und deren Standardkonformität beachtet werden. Vor einer Entscheidung sollten die Desktop-Systeme durch Tests auf die Gigabit-Ethernet-Performance hin untersucht werden.
- Der Anwender kann in jedem Fall von einer Aufrüstung auf ein Gigabit-Ethernet profitieren, wenn auch die Performance-Steigerung über die anwendungsnahen Protokolle nicht so hoch ausfällt wie der TCP-Durchsatz.
- Die Geschwindigkeit der Festplatte hat einen Einfluss auf den Durchsatz im Gigabit-Ethernet, wenn die zu übertragenden Daten zuerst von einer Festplatte gelesen werden müssen.

Zum Abschluss der Arbeit wurden konkrete Vorschläge zur Optimierung der untersuchten Desktop-Systeme gemacht. Weiterhin wurde die Zukunft der Anbindung von schnellen Datenübertragungssystemen an Computer-Systeme betrachtet und aktuelle Neuerungen vorgestellt.

Festzuhalten ist, dass die untersuchten Desktop-Systeme in der aktuellen Hardware-Konfiguration nicht in der Lage sind ein Gigabit-Ethernet auszulasten, erreichen aber einen signifikant höheren Durchsatz als in einem Fast-Ethernet.

Abkürzungsverzeichnis

10GE	10-Gigabit-Ethernet
10GEA	10-Gigabit-Ethernet-Alliance
802.1x	Port Based Network Access Control
802.3	Der Ethernet-Standard, beinhaltet alle Ethernet-Standards
ACK	Acknowledge
AMD	Advanced Micro Devices
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AUI	Attachment Unit Interface
BDP	Bandwidth Delay Product
BRL	Ballistic Research Laboratory
BSD Linux	Berkeley Software Distribution Linux
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CoS	Class of Service, siehe IEEE 802.1p
CSA	Communication Streaming Architecture
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DDR-RAM	Double Data Rate - Random Access Memory
DEC	Digital Equipment Corporation
DFB-Laser	Distributed Feedback Laser
DiffServ	Differentiated Services, siehe http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html
Dispersion	Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Wellenlänge bzw. Frequenz
DLC	Data Link Control
DSAP	Destination Service Access Point
DTE	Data Terminal Equipment
DUT	Device under Test
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
ECL	Emitter Coupled Logic
EFD	End-Of-Frame-Delimiter
FCS	Frame Check Sequence
FEC	Forward Error Correction
FEXT	Far End Cross Talk
FLP-Burst	Fast Link Pulse Burst
FTP	File Transfer Protocol
GBIC	Gigabit Interface Converter
Gbit	Gigabit = 1.000.000.000Bit
Gbyte	Gigabyte = 1.000.000.000Byte
GEA	Gigabit Ethernet Alliance
GMII	Gigabit Media Independent Interface
GUI	Graphical User Interface
HD	Half Duplex, entweder Senden oder Empfangen
HDLC	High-level Data Link Control
IC	Integrated Circuit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIS	Internet Information Server
IP	Internet Protocol
IPX	Internetwork Packet Exchange
ISO	International Organization for Standardization
Jitter	Mittlere Abweichung der Paketabstände vom Empfänger zum Sender (UDP)
Kbit	KiloBit = 1000Bit
Kbyte	KiloByte = 1000Byte

LAN	Local Area Network
LED	Light-Emitting Diode, Leuchtdiode
LLC	Logical Link Control
LWL	Lichtwellenleiter
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MAU	Medium Attachment Unit
Mbyte	MegaByte = 1.000.000Byte
Mbit	MegaBit = 1.000.000Bit
MCH	Memory Controller Hub
MDI	Medium Dependent Interface
MII	Medium Independent Interface
MMF	Multimode Fibre
MSS	Maximum Segment Size
MTU	Maximum Transfer Unit
NCSA	National Center for Supercomputing Applications
NetBEUI	NetBIOS Extended User Interface
NetBIOS	Network Basic Input/Output System
NEXT	Near End Cross Talk
NIC	Network Interface Card
NLP	Normal Link Pulse
NRZ	Non Return Zero
NRZI	Non Return Zero Insert
OSI	Open System Interconnect
PAM5	Pulse Amplitude Modulation
PARC	Palo Alto Research Center
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCS	Physical Coding Sublayer
PHY	Physical Layer
PLS	Physical Layer Signalling
PMA	Physical Media Attachment
PMD	Physical Media Dependent
QoS	Quality of Service
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service, vergleiche RFC 2865
RAID	Redundant Array of Independent Disks
RFC	Request for Comment
RMON	Remote Monitoring, siehe RFC 1757
RTO	Retransmission Timeouts
RTT	Round Trip Time
RTTM	Round Trip Time Measurement
RX	Receive, Gegenteil von Tx (transmit)
SACK	Selective Acknowledge
SAN	Storage Area Network
SAP	Service Access Point
SCSI	Small Computer System Interface
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SMB	Server Message Block
SMF	Singlemode Fibre
SNMP	Simple Network Management Protokoll, vergleiche RFC 1157
SONET	Synchronous Optical Network
SPX	Sequenced Packet Exchange
SSAP	Source Service Access Point
STP	Shielded Twisted Pair

TCP	Transport Control Protocol
TP	Twisted Pair
TTCP	Test TCP
TX	Transmit, Gegenteil von Rx (Receive)
UDP	User Datagram Protocol
UTP	Unshielded Twisted Pair
VLAN	Virtual Local Area Network, siehe IEEE 802.1Q
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WHQL	Windows Hardware Quality Labs
WIS	WAN Interface Sublayer
WLAN	Wireless Local Area Network
WWDM	Wide Wavelength Division Multiplexing
XAUI	10GE Attachment Unit Interface
XGMII	10GE Medium Independent Interface
XGXS	10GE Extended Sublayer

Literaturverzeichnis

[10GEA 2002a] 10 Gigabit Alliance, Hrsg.: *10 Gigabit Ethernet Technology Overview White Paper*. 10 Gigabit Alliance 04/2002. http://www.10gea.org/10GEA%20White%20Paper_0502.pdf (22.05.2004).

[10GEA 2002b] 10 Gigabit Alliance, Hrsg.: *Ethernet – The Next Generation WAN Transport Technology* 05/2002. http://www.10gea.org/SP0502NextGenerationWAN_Final.pdf (22.05.2004).

[3Com 905c] 3Com, Hrsg.: *3Com® EtherLink® 10/100 PCI NIC for Complete PC Management Product Detail*. 3Com Corp. 2004, http://www.3com.com/products/en_US/detail.jsp?tab=prodspec&sku=3C905C-TX-M&pathtype=support (06.06.2004).

[Ahlers 2002] Ahlers, Ernst: *Volles Rohr – 13 Gigabit-Ethernet-Karten für PCI-Rechner*. Heinz Heise Zeitschriften Verlag, c't 2/2002, S. 164.

[AMD-760-MPX] Advanced Micro Devices, Inc, Hrsg.: *AMD-760 MPX Technical Documentation*. Advanced Micro Devices, Inc., 2004. http://www.amd.com/us-en/Processors/TechnicalResources/0,,30_182_739_4296,00.html (04.07.2004).

[Asus 2003] Asus, Hrsg.: *Handbuch zum Asus A7v8X-X*. First Edition, Januar 2003. E1198.

[Buchanan 1996] Buchanan, Robert W.: *The Art of Testing Network Systems*. 1. Auflage. John Wiley & Sons, Inc. 1996. – ISBN 0-471-13223-3.

[c't 06/2004] Heinz Heise Zeitschriften Verlag, Hrsg.: *Gigantische Gigabit-Nachfrage*. Heise News-Ticker, Heinz Heise Zeitschriften Verlag 25.06.2004, 11:36 Uhr. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/48587> (29.07.2004).

[Dlink DES1016] D-Link, Hrsg.: *DES-1016/1024 10/100 Fast Ethernet Switch User's Guide*. D-Link Rev. 2 01/1999. <ftp://ftp.dlink.com/Switch/des1016/Manual/DES1016&1024.pdf> (10.06.2004)

[Dykstra 1999] Dykstra, Phil: *Gigabit Ethernet Jumbo Frames – And why you should care*. WareOnEarth, Communications Inc.. 20.12.1999. <http://sd.wareonearth.com/~phil/jumbo.html> (01.06.2004).

[Farrell 2000] Farrell, Paul A.; Ong, Hong: *Communication Performance over Gigabit Ethernet Network*. Department of Mathematics and Computer Science, Kent State University, Kent. Aus „19th IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference“ S. 181-189.

[Gallatin 1999] Gallatin, Andrew; Chase, Jeff; Yocum, Ken: *Trapeze/IP: TCP/IP at Near-Gigabit Speeds*. Department of Computer Science, Duke University, 08.04.1999. <http://www.cs.duke.edu/ari/publications/tcpqig.ps> (11.06.2004)

[GEA 1997] Gigabit Alliance, Hrsg.: *Gigabit Ethernet 1000BASE-T White Paper*. Gigabit Alliance 11/1997. http://www.10gea.org/GEA1000BASET1197_rev-wp.pdf (22.05.2004).

[Gray 2003] Gray, Paul; Betz, Anthony: *Performance Evaluation of Copper-based Gigabit Ethernet Interfaces*. Department of Computer Science, University of Northern Iowa Cedar Falls 2002. <http://www.cs.uni.edu/~gray/qig-over-copper/hsln-lcn.ps> (24.05.2004)

- [Grupp 1999] Grupp, Andreas: *CSMA/CD-Verfahren im Ethernet*. Elektronischule Tett-
nang, 1999. <http://www.elektronischule.de/~grupp/ethernet/csmacd.html> (24.05.2004).
- [Hein 1998] Hein, Mathias: *Ethernet – Fast Ethernet Gigabit Ethernet*. 2. Auflage, Bonn,
ITP Verlag GmbH 1998. ISBN – 3-8266-4041-1.
- [Heinemann 1997] Heinemann, Hilmar; Krämer, Heinz: *Die kleine Formelsammlung Physik*. 2.
Auflage, Leipzig, Carl Hanser-Verlag, 1997. ISBN 3-446-19279-4.
- [HP 2003] Hewlett-Packard Company, Hrsg.: *PCI Gigabit Ethernet performance - Using
hp server RP7410*. Hewlett-Packard Company, 2003.
[http://www.hp.com/products1/servers/rackoptimized/rp7410/infolibrary/perf_wp_022803_FINAL2.
pdf](http://www.hp.com/products1/servers/rackoptimized/rp7410/infolibrary/perf_wp_022803_FINAL2.pdf) (06.06.2004).
- [Hunt 1996] Hunt, Craig: *TCP/IP Netzwerkadministration*, 3. Auflage, Bonn, O'Reilly Ver-
lag 1996. ISBN 3-930673-02-9.
- [IEEE 802.3] IEEE, Hrsg.: *802.3 Carrier sense multiple access with collision detection
(CSMA/CD) access method and physical layer specifications*. 2002 Edition, New York, USA.
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf> (26.05.2004).
- [IEEE 802.3ae] IEEE, Hrsg.: *802.3ae Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
(CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications - Media Access Control (MAC)
Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation*. 2002 Edition,
New York, USA. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3ae-2002.pdf> (26.05.2004).
- [Intel 2003] Intel, Hrsg.: *PCI Express Ethernet Networking*. Intel White Paper, 2003.
http://www.intel.com/technology/pciexpress/devnet/PCI-E_and_Networking.pdf (02.06.2004)
- [Intel CSA 2003] Intel, Hrsg.: *Communication Streaming Architecture – Reducing the PCI Bot-
tleneck*. Intel White Paper, 2003. <ftp://download.intel.com/design/network/papers/25245102.pdf>
(02.06.2004)
- [Intel Pro1000] Intel, Hrsg.: *Intel PRO/1000 MT Desktop Adapter Product Brief*. USA 2003.
[http://www.intel.com/network/connectivity/emea/deu/resources/doc_library/data_sheets/NP2115.
pdf](http://www.intel.com/network/connectivity/emea/deu/resources/doc_library/data_sheets/NP2115.pdf) (06.06.2004).
- [IPerf 2003] Gates, Mark; Tirumala, Ajay; Dugan, Jon; Gibbs, Kevin: *IPerf version 1.7.0*.
NLNLR Distributed Application Support Team 03/2003.
http://dast.nlanr.net/Projects/lperf/lperfdocs_1.7.0.html (20.05.2004)
- [Jöcker et 2002] Jöcker, Peter: *Unter Hochdruck, 10-Gigabit-Ethernet und mögliche Anwen-
dungen*. Heinz Heise Zeitschriften Verlag, c't 03/2002.
- [Kadambi 1998] Kadambi, Jayant; Kalkunte, Mohan; Crayford, Ian: *Gigabit Ethernet – Migra-
ting to High-Bandwidth LANs*. 1. Auflage. New Jersey, Prentice Hall, Inc. 1998. ISBN – 0-13-
913286-4.
- [Kauffels 2000] Kauffels, Franz-Joachim: *Lokale Netze*. 12. Auflage. Bonn, MITP-Verlag
GmbH 2000. ISBN 3-8266-4087-X.
- [Kaven 2003] Kaven, Oliver; Janowski, Davis D.: *Making the Switch?* PC-Magazine, Hrsg.
27.05.2003. <http://www.pcmag.com/article2/0,1759,1049025,00.asp> (28.05.2004).

[Kiefer 2002] Kiefer, Roland; Winterling, Peter: *DWDM, SDH & Co – Technik und Troubleshooting in optischen Netzen*. 2. Auflage. Heidelberg, Hüthig Verlag 2002. ISBN 3-7785-3960-4.

[Köhler 1998] Köhler, Rolf-Dieter; Kemmler, Wolfgang: *Gigabit-Ethernet – 3Com – Die Komponenten der Zukunft*. 1. Auflage. Köln, FOSSIL-Verlag GmbH 1998.

[Kretschmer 1996] Kretschmer, Bernd: *Das große Buch Windows NT 4*. 1. Auflage. Düsseldorf, DATA BECKER GmbH & Co KG 1996. ISBN 3-8158-1217-8.

[Lackner 3/2003] Lackner, Hans: *10 Gigabit Ethernet über Kupfer. Ist das überhaupt möglich – und zu vermarkten?*, NET S. 40-42, 3/2003.

[Lau 2003] Lau, Oliver: *Renn LAN - Gigabit-Ethernet und seine Nebenbuhler FireWire und USB 2.0 in der Praxis*. Heinz Heise Zeitschriften Verlag, c't 19/2003.

[Mathis 2004] Mathis, Matt; Reddy, Raghu: *Enabling High Performance Data Transfers*, Pittsburgh Supercomputing Center (PSC), 04.03.2004.
http://www.psc.edu/networking/perf_tune.html (23.05.2004).

[Mathis 2004_2] Mathis, Matt: *Raising the Internet MTU*. Pittsburgh Supercomputing Center (PSC). Draft, 2004. <http://www.psc.edu/~mathis/MTU/> (21.06.2004).

[MS KB 2003] Microsoft, Hrsg.: *Direct Hosting of SMB over TCP/IP*. Microsoft Knowledge Base Article – 204279, 20.1..2003. <http://support.microsoft.com/default.aspx?scid=kb:en-us:Q204279> (01.06.2004).

[MS Net 2000] Nassar, Daniel J.: *Network Analysis and Optimization Techniques*. Microsoft TechNet 2004, Eagle Eye Analysis, Incorporated 2000.
<http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/network/maintain/networka.mspx> (01.06.2004).

[MS Network 2003] Microsoft, Hrsg.: *High Performance Network Adapters and Drivers*. Microsoft WHDC, 15.01.2003. <http://www.microsoft.com/whdc/device/network/NetAdapters-Drvs.mspx> (15.05.2004).

[MS TCP/IP 2004] Microsoft, Hrsg.: *Knowledge Base 314053 - TCP/IP and NBT configuration parameters for Windows XP*. Microsoft Knowledge Base 13.05.2004.
<http://support.microsoft.com/default.aspx?scid=kb:en-us:314053> (01.06.2004).

[MS Win2000] MacDonald, Dave; Barkley, Warren: *Microsoft Windows 2000 TCP/IP Implementation Details*. Microsoft TechNet 2000.
<http://www.microsoft.com/technet/itsolutions/network/deploy/depovg/tcpip2k.mspx> (01.06.2004).

[MS Win2003] Microsoft Corp., Hrsg.: *Microsoft Windows Server 2003 TCP/IP Implementation Details*. Microsoft White Paper, 01.06.2003.
<http://www.microsoft.com/technet/prodtechnol/windowsserver2003/technologies/networking/tcpip03.mspx?pf=true> (01.06.2004).

[Mummert 2004] Mummert Consulting, Hrsg.: *Linux in vielen Unternehmen immer noch kein Thema*. Mummert Consulting, 11.05.2004.
<http://www.news4press.net/presse/10842606004067.php3> (22.06.2004).

- [Netgear GA621] Netgear, Hrsg.: *Netgear GA 621 Gigabit PCI Adapter Datenblatt*, München 2002. http://www.netgear.de/produkte/netzwerkkarten/desktop/download/Datenblatt_GA621.pdf (06.06.2004).
- [Netgear 721] Netgear, Hrsg.: *Netgear GSM 712F 12-Port Managed Fiber Gigabit Switch*. München 2002. http://www.netgear.de/produkte/switches/managed/download/Datenblatt_GSM712F.pdf (06.06.2004).
- [NetIO 1997] Rommel, Kai Uwe: *NETIO - Network Benchmark, Version 1.23*, München, Deutschland 1997. <http://ftp.leo.org/pub/comp/os/os2/leo/systools/netio123.zip> (22.05.2004).
- [NetIQ 2000] Zipperle, Al; NetIQ Corporation: *Three Rules to Follow for Successful Chariot Testing*. NetIQ Corporation, 2000. http://download.netiq.com/Library/White_Papers/NetIQ_Successful_Chariot_Tests.pdf (18.06.2004).
- [NetIQ 2002] NetIQ Corporation, Hrsg.: *Chariot Online Library*. NetIQ Corporation, 2002. <https://www.netiq.com/f/mynetiq/login.asp?title=Chariot+Trial&pagepath=%2Fproducts%2Fchr%2Ftri-al%2Easp&formid=1053&redirect=%2Ff%2Fform%2Fform%2Easp%3Fid%3D1053%26origin%3Dws%5FSidebar&ForcingHTTPS=1> (20.05.2004).
- [NetPerf 1996] Hewlett-Packard Company, Hrsg.: *Netperf: A Benchmark for measuring Network Performance*. Information Networks Division Hewlett-Packard Company 15.02.1996. ftp://ftp.cup.hp.com/dist/networking/benchmarks/netperf/netperf_2.1_manual.pdf (22.05.2004).
- [NetPIPE 2003] Turner, Dave; Oline, Adam; Chen, Xuehua; Benjegerdes, Troy: *Integrating New Capabilities into NetPIPE*. Ames Laboratory – Iowa State University 30.09.2003. http://www.scl.ameslab.gov/netpipe/np_euro.pdf (01.06.2004).
- [P802.3an 2004] IEEE P802.3an Task Force, Hrsg.: *Public Area*. IEEE P802.3an Task Force, 08.07.2004. <http://www.ieee802.org/3/an/public/index.html> (12.07.2004).
- [PCAUSA 2003] PCAUSA, Hrsg.: *Test TCP (TTCP) Benchmarking Tool for Measuring TCP and UDP Performance*. 23.11.2003. <http://www.pcausa.com/Utilities/pcattcp.htm> (22.05.2004).
- [PCIScope 2004] AP Soft, Hrsg.: *List Of Specifically Recognized Devices*. AP Soft, 2004. <http://www.tssc.de/download/docs/listofsupporteddevices.htm> (28.05.2004).
- [RADCOM IBM] RADCOM Ltd., Hrsg.: *IBM Protocols – The IBM Protocol Suite*. RADCOM Ltd. <http://www.protocols.com/pbook/ibm.htm> (26.06.2004).
- [Rech 2002] Rech, Jörg: *Daten lichtschnell - Die Technik von 10-Gigabit-Ethernet*. Heinz Heise Zeitschriften Verlag, c't , 3/2003, S.164.
- [RFC 793] Postel, Jon; Information Sciences Institute, University of Southern California; Hrsg.: *Transmission Control Protocol, DARPA Internet Program, Protocol Specification*. University of Southern California, RFC September 1981. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc793.txt> (23.05.2004).
- [RFC 894] Horning, Charles: *A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks*, RFC April 1984. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc894.txt> (23.05.2004).

- [RFC 959] Postel, J.; Reynolds, J.: *File Transfer Protocol (FTP)*. Network Working Group, RFC, Oktober 1985. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc959.txt> (23.05.2004)
- [RFC 1122] Braden, R.; IETF: *Requirements for Internet Hosts -- Communication Layers*. RFC Oktober 1989. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc1122.txt> (28.05.2004).
- [RFC 1191] Mogul, J.; Deering, S.: *Path MTU Discovery*. RFC November 1990. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc1191.txt> (28.05.2004).
- [RFC 1242] Bradner, S.: *Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices*, RFC Juli 1991. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc1242.txt> (23.05.2004).
- [RFC 1323] Jacobson, V.; Braden, R.; Borman, D.: *TCP Extensions for High Performance*, RFC Mai 1992. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc1323.txt> (23.05.2004).
- [RFC 2018] Mathis, Matt; Mahdavi, J.; Floyd, F.; Romanow, A.: *TCP Selective Acknowledgment Options*, RFC Oktober 1996. <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2018.txt> (30.05.2004).
- [RFC 2544] Bradner, S.; McQuaid, J.: *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices*, RFC März 1999. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc2544.txt> (23.05.2004).
- [RFC 3649] Floyd, S.: *HighSpeed TCP for Large Congestion Windows*. Institute for Clinical Systems Improvement (ICSI), RFC Dezember 2003. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc3649.html> (23.05.2004).
- [RFC 3742] Floyd, S.: *Limited Slow-Start for TCP with Large Congestion Windows*. Institute for Clinical Systems Improvement (ICSI), RFC März 2004. <http://asg.web.cmu.edu/rfc/rfc3742.html> (23.05.2004).
- [Seagate 2002] Seagate Technology LLC, Hrsg.: *ST380011A Configuration and Specifications*. 2002. <http://www.seagate.com/support/disc/specs/ata/st380011a.html> (06.06.2004).
- [Shaikh 2001] Shaikh, A.; Christensen, K.: *Traffic Characteristics of Bulk Data Transfer using TCP/IP over Gigabit Ethernet*. Proceedings of the IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference, S. 103-111, April 2001. <http://www.csee.usf.edu/~christen/ipccc01.pdf> (26.05.2004).
- [Siegmund 2002] Siegmund, Gerd: *Technik der Netze*, 5. Auflage, Heidelberg, Hüthig GmbH & Co. KG 2002. ISBN 3-7785-3954-X.
- [Siemon 2004] Siemon, Network Cabeling Solutions, Hrsg.: *Siemon Guidelines To Industry Standards*. Siemon, Network Cabeling Solutions 2004. <http://www.siemon.com/us/standards/> (26.05.2004).
- [SysKonnnect 1999] SysKonnnect, Hrsg.: *White Paper – 64Bit/66MHz Computing and PCI Bus Performance*. SysKonnnect 06/1999. http://www.syskonnnect.com/syskonnnect/technology/64bit66MHz_Computing.PDF (03.06.2004).
- [TTCP 1997] Seipp, Gregg G.: *TTCPW – Windows 95/NT Port of TTCP*. NC State University 1996. <http://renoir.csc.ncsu.edu/ttcp/DOCS/ttcpw.DOC> (28.05.2004).

- [Veritest 2002] VeriTest, Hrsg.: *Intel® PRO/1000 MT Desktop Adapter: Chariot 4.2 Performance Comparison Testing*. Morrisville, NC 27560 09/2002.
http://www.veritest.com/clients/reports/intel/intel_pro1000_mt_desktop_adapter.pdf (05.05.2004).
- [Veritest 2003] VeriTest, Hrsg.: *Intel PRO/1000 MT Dual Port Server Adapter: Chariot 4.3 Performance Comparison Testing*. Morrisville, NC 27560. 10/2003.
http://www.veritest.com/clients/reports/intel/intel_dualport.pdf (05.05.2004).
- [Veritest 2004] VeriTest, Hrsg.: *Performance testing*. Morrisville, NC 27560. 2004.
<http://www.veritest.com/services/performance.asp> (05.05.2004).
- [Windeck 2004] Windeck, Christof: *Herkules-Aufgabe – PC im Umbruch: Neue Chipsätze bringen PCI Express und DDR2-RAM*. Heinz Heise Zeitschriften Verlag, c't 14/2004, S.170.
- [WSTTCP 1996] Chun, Sungjin: *What is WSTTCP ?* Chun, Sungjin 1996.
<http://dl.winsite.com/bin/downl?5896> (28.05.2004).
- [Zaitsev 2004] Zaitsev, Evgeniy: *Gigabit Network Adapters on 64bit PCI Bus, AMD760MPX Platform*. Zaitsev, Evgeniy 05/2004. <http://www.digit-life.com/articles2/gig-eth-64bit-amd760/> (06.06.2004).
- [Zaitsev 2004a] Zaitsev, Evgeniy: *Gigabit Network Adapters on Platform TYAN Trinity GC-SL. Part One: 32bit PCI Interface*. Zaitsev, Evgeniy 04/2004. <http://www.digit-life.com/articles2/gig-eth-64bit/gig-eth-64bit-apr2004-p1.html> (06.06.2004).

Anhang

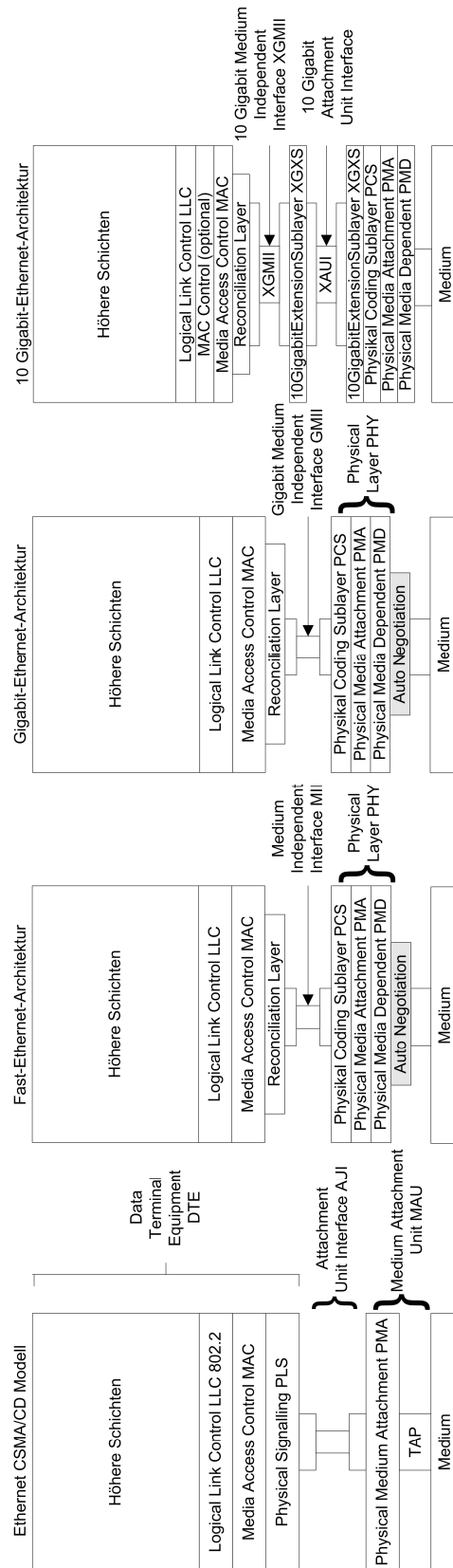


Abb. 42 Ethernet-Standards im Vergleich

```
@echo off
REM return ist eine Textdatei die als einziges Zeichen ein CR enthaelt
echo Beginn ersten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
REM tesdaten uebers Netzwerk nach C:temp kopieren
xcopy \\10.10.0.17\Bachelor\testdaten c:\temp
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
echo Ende ersten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn zweiten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
REM tesdaten uebers Netzwerk nach C:temp kopieren
xcopy \\10.10.0.17\Bachelor\testdaten c:\temp
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
echo Ende zweiten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn dritten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
REM tesdaten uebers Netzwerk nach C:temp kopieren
xcopy \\10.10.0.17\Bachelor\testdaten c:\temp
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
echo Ende dritten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn vierten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
REM tesdaten uebers Netzwerk nach C:temp kopieren
xcopy \\10.10.0.17\Bachelor\testdaten c:\temp
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
echo Ende vierten Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn fuenften Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
REM tesdaten uebers Netzwerk nach C:temp kopieren
xcopy \\10.10.0.17\Bachelor\testdaten c:\temp
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_get.txt
echo Ende fuenften Testlauf (Freigabe nach Festplatte) >> TP_SMB_get.txt
```

Abb. 43 SMB-get TP-Testskript

```
@echo off
REM return ist eine Textdatei die als einziges Zeichen ein CR enthaelt

echo Beginn ersten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
REM tesdaten von C:temp uebers Netzwerk kopieren
xcopy c:\temp\testdaten \\10.10.0.17\Bachelor
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
echo Ende ersten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn zweiten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
REM tesdaten von C:temp uebers Netzwerk kopieren
xcopy c:\temp\testdaten \\10.10.0.17\Bachelor
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
echo Ende zweiten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn dritten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
REM tesdaten von C:temp uebers Netzwerk kopieren
xcopy c:\temp\testdaten \\10.10.0.17\Bachelor
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
echo Ende dritten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn vierten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
REM tesdaten von C:temp uebers Netzwerk kopieren
xcopy c:\temp\testdaten \\10.10.0.17\Bachelor
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
echo Ende vierten Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt

REM Pause von 20 Sekunden einlegen
c:\Tools\sleep 20
REM Pause beendet

echo Beginn fuenften Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt
REM Startzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
REM tesdaten von C:temp uebers Netzwerk kopieren
xcopy c:\temp\testdaten \\10.10.0.17\Bachelor
REM Endzeit in die Log-Datei schreiben
time < return >> TP_SMB_put.txt
echo Ende fuenften Testlauf (Festplatte nach Freigabe) >> TP_SMB_put.txt
```

Abb. 44 SMB-put TP-Testskript

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	33632,50	34626,25	33608,75	32640,00	33610,00	33623,50	KByte/s	NetPerf	268,988	Mbit/s	26,899
TCPWin 8K	42625	42950	42375	42250	42500	42540,00	KByte/s	Iperf	340,320	Mbit/s	34,032
Tx 64 Byte	23017	23073	23084	23022	23059	23051,00	KByte/s	NetIO	184,408	Mbit/s	18,441
Tx 1460 Byte	44992	45005	44989	44998	44985	44993,80	KByte/s	NetIO	359,950	Mbit/s	35,995
Tx 1K	45098	45111	45091	45073	45041	45082,80	KByte/s	NetIO	360,662	Mbit/s	36,066
Tx 2K	44155	44173	44245	44102	44169	44168,80	KByte/s	NetIO	353,350	Mbit/s	35,335
Tx 4K	45180	45106	45166	45942	45514	45381,60	KByte/s	NetIO	363,053	Mbit/s	36,305
Tx 8K	46235	46254	46144	46023	46129	46157,00	KByte/s	NetIO	369,256	Mbit/s	36,926
Tx 16K	46001	46101	46168	46016	45990	46055,20	KByte/s	NetIO	368,442	Mbit/s	36,844
Tx 32K	46235	46147	46169	45635	46119	46061,00	KByte/s	NetIO	368,488	Mbit/s	36,849
Tx 64K	46301	46350	46298	46297	46268	46302,80	KByte/s	NetIO	370,422	Mbit/s	37,042
Rx 64 Byte	23057	23056	23049	23061	23055	23055,60	KByte/s	NetIO	184,445	Mbit/s	18,444
Rx 1460 Byte	44989	44996	44985	44987	44991	44989,60	KByte/s	NetIO	359,917	Mbit/s	35,992
Rx 1K	45047	45061	45060	45049	45034	45050,20	KByte/s	NetIO	360,402	Mbit/s	36,040
Rx 2K	44141	44152	44388	44222	44549	44290,40	KByte/s	NetIO	354,323	Mbit/s	35,432
Rx 4K	46128	46125	46134	46050	46061	46099,60	KByte/s	NetIO	368,797	Mbit/s	36,880
Rx 8K	46050	46155	46189	46161	46087	46128,40	KByte/s	NetIO	369,027	Mbit/s	36,903
Rx 16K	46082	46073	46083	46086	45989	46062,60	KByte/s	NetIO	368,501	Mbit/s	36,850
Rx 32K	46112	46112	46031	46282	46183	46144,00	KByte/s	NetIO	369,152	Mbit/s	36,915
Rx 64K	46305	46309	46228	46391	46309	46308,40	KByte/s	NetIO	370,467	Mbit/s	37,047
get	11775,60	11067,03	11387,11	11746,14	11276,83	11450,54	KByte/s	FTP Transfer	91,604	Mbit/s	9,160
put	25619,45	25501,83	25686,54	25074,20	25618,74	25500,15	KByte/s	FTP Transfer	204,001	Mbit/s	20,400
get	15192,33	21647,37	22414,14	22812,31	22588,08	20930,85	KByte/s	SAMBA	167,447	Mbit/s	16,745
put	25180,36	27019,03	28370,86	26786,96	28782,30	27227,90	KByte/s	SAMBA	217,823	Mbit/s	21,782
	0,455	0,299	0,345	0,374	0,440	0,38	ms	hrPing			0,06

Tab. 13 Test 1 Messergebnistabelle für TP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	23765,00	26293,75	26472,50	24872,50	23378,75	24956,50	KByte/s	NetPerf	199,652	Mbit/s	19,965
TCPWin 8K	36075	36125	36050	36125	36125	36100,00	KByte/s	Iperf	288,800	Mbit/s	28,880
Tx 64 Byte	19308	19327	19333	19298	19334	19320,00	KByte/s	NetIO	154,560	Mbit/s	15,456
Tx 1460 Byte	36795	36818	36824	36790	36799	36805,20	KByte/s	NetIO	294,442	Mbit/s	29,444
Tx 1K	37102	37093	36933	37014	36701	36968,60	KByte/s	NetIO	295,749	Mbit/s	29,575
Tx 2K	37692	37624	37485	37553	37761	37623,00	KByte/s	NetIO	300,984	Mbit/s	30,098
Tx 4K	38225	38190	38016	38087	38326	38168,80	KByte/s	NetIO	305,350	Mbit/s	30,535
Tx 8K	38523	38491	38304	38379	38625	38464,40	KByte/s	NetIO	307,715	Mbit/s	30,772
Tx 16K	38591	38562	38391	38505	38710	38551,80	KByte/s	NetIO	308,414	Mbit/s	30,841
Tx 32K	38616	38654	38467	38541	38728	38601,20	KByte/s	NetIO	308,810	Mbit/s	30,881
Tx 64K	38805	38799	38810	38808	38815	38807,40	KByte/s	NetIO	310,459	Mbit/s	31,046
Rx 64 Byte	19452	19465	19439	19470	19482	19461,60	KByte/s	NetIO	155,693	Mbit/s	15,569
Rx 1460 Byte	36401	36527	36487	36479	37002	36579,20	KByte/s	NetIO	292,634	Mbit/s	29,263
Rx 1K	36861	36748	36697	36763	36444	36702,60	KByte/s	NetIO	293,621	Mbit/s	29,362
Rx 2K	37957	37945	37741	37836	37447	37785,20	KByte/s	NetIO	302,282	Mbit/s	30,228
Rx 4K	38506	38473	38292	38361	37980	38322,40	KByte/s	NetIO	306,579	Mbit/s	30,658
Rx 8K	38810	38776	38592	38671	38257	38621,20	KByte/s	NetIO	308,970	Mbit/s	30,897
Rx 16K	38888	38859	38667	38745	38348	38701,40	KByte/s	NetIO	309,611	Mbit/s	30,961
Rx 32K	38902	38934	38679	38749	38365	38725,80	KByte/s	NetIO	309,806	Mbit/s	30,981
Rx 64K	38920	38907	38912	38895	38920	38910,80	KByte/s	NetIO	311,286	Mbit/s	31,129
get	10069,82	10084,48	10131,98	10168,79	10254,77	10141,97	KByte/s	FTP Transfer	81,136	Mbit/s	8,114
put	22737,46	23482,17	22391,16	22266,69	22230,41	22621,58	KByte/s	FTP Transfer	180,973	Mbit/s	18,097
get	18868,95	22646,66	22220,23	23872,47	23525,19	22226,70	KByte/s	SAMBA	177,814	Mbit/s	17,781
put	29581,81	29069,74	29108,50	29108,50	29108,50	29195,41	KByte/s	SAMBA	233,563	Mbit/s	23,356
	0,400	0,270	0,282	0,250	0,270	0,294	ms	hrPing			0,05

Tab. 14 Test 1 Messergebnistabelle für LWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	29972,50	33635,00	33596,25	30177,50	33521,25	32180,50	KByte/s	NetPerf	257,444	Mbit/s	25,744
TCPWin 8K	42525	42525	42525	42525	42525	42525,00	KByte/s	Iperf	340,200	Mbit/s	34,020
Tx 64 Byte	22997	22971	22988	23006	23000	22992,40	KByte/s	NetIO	183,939	Mbit/s	18,394
Tx 1460 Byte	44318	44329	44468	44352	44365	44366,40	KByte/s	NetIO	354,931	Mbit/s	35,493
Tx 1K	44532	44679	45052	44524	44871	44731,60	KByte/s	NetIO	357,853	Mbit/s	35,785
Tx 2K	44736	44194	44139	44192	45065	44465,20	KByte/s	NetIO	355,722	Mbit/s	35,572
Tx 4K	45862	45873	45882	45848	45808	45854,60	KByte/s	NetIO	366,837	Mbit/s	36,684
Tx 8K	45926	45814	45702	45956	46043	45888,20	KByte/s	NetIO	367,106	Mbit/s	36,711
Tx 16K	45980	46023	45885	45901	45877	45933,20	KByte/s	NetIO	367,466	Mbit/s	36,747
Tx 32K	45894	45942	45897	46012	46060	45961,00	KByte/s	NetIO	367,689	Mbit/s	36,769
Tx 64K	46123	46157	46110	46135	46138	46132,60	KByte/s	NetIO	369,061	Mbit/s	36,906
Rx 64 Byte	19240	19289	19273	19293	19261	19271,20	KByte/s	NetIO	154,170	Mbit/s	15,417
Rx 1460 Byte	36401	36397	36387	36394	36387	36393,20	KByte/s	NetIO	291,146	Mbit/s	29,115
Rx 1K	36605	36840	36512	36781	36728	36693,20	KByte/s	NetIO	293,546	Mbit/s	29,355
Rx 2K	37564	37846	37427	37832	37733	37680,40	KByte/s	NetIO	301,443	Mbit/s	30,144
Rx 4K	38135	38429	38012	38392	38311	38255,80	KByte/s	NetIO	306,046	Mbit/s	30,605
Rx 8K	38409	38713	38283	38676	38577	38531,60	KByte/s	NetIO	308,253	Mbit/s	30,825
Rx 16K	38473	38772	38351	38750	38643	38597,80	KByte/s	NetIO	308,782	Mbit/s	30,878
Rx 32K	38480	38778	38346	38786	38722	38622,40	KByte/s	NetIO	308,979	Mbit/s	30,898
Rx 64K	39001	38987	38975	39001	39064	39005,60	KByte/s	NetIO	312,045	Mbit/s	31,204
get	9198,16	9144,03	9168,03	9204,37	9201,07	9183,13	KByte/s	FTP Transfer	73,465	Mbit/s	7,347
put	25566,67	25426,71	25518,85	25613,16	25542,74	25533,63	KByte/s	FTP Transfer	204,269	Mbit/s	20,427
get	15610,57	15894,70	16034,80	15814,11	16171,39	15905,11	KByte/s	SAMBA	127,241	Mbit/s	12,724
put	26902,50	27547,48	27238,15	27340,48	27289,22	27263,57	KByte/s	SAMBA	218,109	Mbit/s	21,811
	0,541	0,309	0,353	0,378	0,185	0,353	ms	hrPing			0,12

Tab. 15 Test 1 Messergebnistabelle für TPLWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	23811,25	25267,50	24530,00	24141,25	23733,75	24296,75	KByte/s	NetPerf	194,374	Mbit/s	19,437	4,49
TCPWin 8K	36050	36075	36125	36100	36100	36090,00	KByte/s	Iperf	288,720	Mbit/s	28,872	0,20
Tx 64 Byte	19292	19318	19313	19309	19297	19305,80	KByte/s	NetIO	154,446	Mbit/s	15,445	0,08
Tx 1460 Byte	36598	36587	36541	36599	36601	36585,20	KByte/s	NetIO	292,682	Mbit/s	29,268	0,18
Tx 1K	37000	36780	37061	37146	36987	36994,80	KByte/s	NetIO	295,958	Mbit/s	29,596	0,97
Tx 2K	37485	37791	37546	37656	37466	37588,80	KByte/s	NetIO	300,710	Mbit/s	30,071	0,97
Tx 4K	38054	38356	38116	38236	38042	38160,80	KByte/s	NetIO	305,286	Mbit/s	30,529	0,96
Tx 8K	38334	38654	38400	38523	38323	38446,80	KByte/s	NetIO	307,574	Mbit/s	30,757	1,01
Tx 16K	38418	38717	38523	38592	38383	38526,60	KByte/s	NetIO	308,213	Mbit/s	30,821	0,97
Tx 32K	38425	38762	38527	38619	38394	38545,40	KByte/s	NetIO	308,363	Mbit/s	30,836	1,07
Tx 64K	38860	38821	38845	38839	38829	38838,80	KByte/s	NetIO	310,710	Mbit/s	31,071	0,11
Rx 64 Byte	22994	23058	23060	23048	23023	23036,60	KByte/s	NetIO	184,293	Mbit/s	18,429	0,20
Rx 1460 Byte	44786	44769	44699	44751	44759	44752,80	KByte/s	NetIO	358,022	Mbit/s	35,802	0,23
Rx 1K	45030	44994	45022	45049	45043	45027,60	KByte/s	NetIO	360,221	Mbit/s	36,022	0,15
Rx 2K	44860	44102	44290	44803	44937	44598,40	KByte/s	NetIO	356,787	Mbit/s	35,679	2,69
Rx 4K	45811	45814	45846	45776	45795	45808,40	KByte/s	NetIO	366,467	Mbit/s	36,647	0,19
Rx 8K	45863	45904	45886	45886	45802	45868,20	KByte/s	NetIO	366,946	Mbit/s	36,695	0,28
Rx 16K	45822	45886	45988	45879	45866	45888,20	KByte/s	NetIO	367,106	Mbit/s	36,711	0,44
Rx 32K	45909	46117	46120	46080	45846	46014,40	KByte/s	NetIO	368,115	Mbit/s	36,812	0,92
Rx 64K	46204	46215	46219	46201	46220	46211,80	KByte/s	NetIO	369,694	Mbit/s	36,969	0,06
get	11387,11	11775,60	11067,03	11276,83	11746,14	11450,54	KByte/s	FTP	91,604	Mbit/s	9,160	2,19
put	23945,79	24193,91	21298,90	24278,67	24089,79	23561,41	KByte/s	FTP	188,491	Mbit/s	18,849	9,09
get	16064,29	17055,76	16969,59	17271,66	17095,83	16891,43	KByte/s	SAMBA	135,131	Mbit/s	13,513	3,40
put	23859,43	27289,22	27357,61	27255,15	27204,21	26593,12	KByte/s	SAMBA	212,745	Mbit/s	21,274	10,94
	0,828	0,374	0,364	0,384	0,116	0,41	ms	hrPing				0,23

Tab. 16 Test 1 Messergebnistabelle für LWLTP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	33613,75	33616,25	33625,00	33627,50	33637,50	33624,00	KByte/s	NetPerf	268,992	Mbit/s	26,899	0,07
TCPWin 8K	42600	42925	42350	42225	42500	42520,00	KByte/s	Iperf	340,160	Mbit/s	34,016	1,92
Tx 64 Byte	23069	23070	23072	23080	23065	23071,20	KByte/s	NetIO	184,570	Mbit/s	18,457	0,04
Tx 1460 Byte	44963	44988	44956	44966	44998	44974,20	KByte/s	NetIO	359,794	Mbit/s	35,979	0,13
Tx 1K	45081	45099	45095	45081	45103	45091,80	KByte/s	NetIO	360,734	Mbit/s	36,073	0,07
Tx 2K	44962	44464	44234	44192	44202	44410,80	KByte/s	NetIO	355,286	Mbit/s	35,529	2,34
Tx 4K	46122	46166	46141	46111	46178	46143,60	KByte/s	NetIO	369,149	Mbit/s	36,915	0,20
Tx 8K	46229	46235	46241	46240	46252	46239,40	KByte/s	NetIO	369,915	Mbit/s	36,992	0,06
Tx 16K	45681	45844	45968	45993	45905	45878,20	KByte/s	NetIO	367,026	Mbit/s	36,703	0,89
Tx 32K	45912	45910	45991	46021	45978	45962,40	KByte/s	NetIO	367,699	Mbit/s	36,770	0,35
Tx 64K	46129	46138	46175	46421	46122	46197,00	KByte/s	NetIO	369,576	Mbit/s	36,958	0,91
Rx 64 Byte	23098	23164	23101	23142	23101	23121,20	KByte/s	NetIO	184,970	Mbit/s	18,497	0,22
Rx 1460 Byte	44816	44923	44945	44956	44925	44913,00	KByte/s	NetIO	359,304	Mbit/s	35,930	0,40
Rx 1K	44966	45065	45081	45089	45037	45047,60	KByte/s	NetIO	360,381	Mbit/s	36,038	0,36
Rx 2K	44195	44946	44304	44167	44087	44339,80	KByte/s	NetIO	354,718	Mbit/s	35,472	2,49
Rx 4K	46134	46135	46120	46159	46101	46129,80	KByte/s	NetIO	369,038	Mbit/s	36,904	0,15
Rx 8K	46193	46067	46206	46220	46069	46151,00	KByte/s	NetIO	369,208	Mbit/s	36,921	0,55
Rx 16K	45973	45783	45880	45965	45772	45874,60	KByte/s	NetIO	366,997	Mbit/s	36,700	0,69
Rx 32K	46158	45974	45879	46222	45942	46035,00	KByte/s	NetIO	368,280	Mbit/s	36,828	1,05
Rx 64K	46191	46359	46420	46300	46193	46292,60	KByte/s	NetIO	370,341	Mbit/s	37,034	0,72
get	11168,66	11480,83	12229,09	11415,10	11633,78	11585,49	KByte/s	FTP Transfer	92,684	Mbit/s	9,268	2,84
put	27531,72	28427,02	27577,20	27263,96	26496,04	27459,19	KByte/s	FTP Transfer	219,674	Mbit/s	21,967	4,96
get	25981,97	26633,43	26665,17	26754,70	26884,28	26583,91	KByte/s	SAMBA	212,671	Mbit/s	21,267	2,51
put	33002,84	33586,73	33526,73	33638,48	33509,40	33452,84	KByte/s	SAMBA	267,623	Mbit/s	26,762	1,84
	0,290	0,337	0,365	0,412	0,440	0,37	ms	hrPing				0,05

Tab. 17 Test 2 Messergebnistabelle für TP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	24163,75	26235,00	24678,75	26418,75	24251,25	25149,50	KByte/s	NetPerf	201,196	Mbit/s	20,120	7,83
TCPWin 8K	36050	36100	36025	36100	36125	36080,00	KByte/s	Iperf	288,640	Mbit/s	28,864	0,29
Tx 64 Byte	19320	19362	19421	19343	19344	19358,00	KByte/s	NetIO	154,864	Mbit/s	15,486	0,27
Tx 1460 Byte	37411	37398	37386	37296	37301	37358,40	KByte/s	NetIO	298,867	Mbit/s	29,887	0,40
Tx 1K	37110	37068	36695	36857	37013	36948,60	KByte/s	NetIO	295,589	Mbit/s	29,559	1,22
Tx 2K	37654	37617	37754	37938	37536	37699,80	KByte/s	NetIO	301,598	Mbit/s	30,160	1,11
Tx 4K	38203	38155	38305	38481	38068	38242,40	KByte/s	NetIO	305,939	Mbit/s	30,594	1,13
Tx 8K	38495	38454	38604	38791	38359	38540,60	KByte/s	NetIO	308,325	Mbit/s	30,832	1,18
Tx 16K	38571	38594	38683	38876	38454	38635,60	KByte/s	NetIO	309,085	Mbit/s	30,908	1,13
Tx 32K	38606	38568	38707	38894	38462	38647,40	KByte/s	NetIO	309,179	Mbit/s	30,918	1,17
Tx 64K	38639	38924	38842	39295	39088	38957,60	KByte/s	NetIO	311,661	Mbit/s	31,166	1,78
Rx 64 Byte	19509	19488	19498	19422	19480	19479,40	KByte/s	NetIO	155,835	Mbit/s	15,584	0,24
Rx 1460 Byte	37031	36979	37022	36995	37001	37005,60	KByte/s	NetIO	296,045	Mbit/s	29,604	0,15
Rx 1K	36717	36685	36775	36431	36611	36643,80	KByte/s	NetIO	293,150	Mbit/s	29,315	0,95
Rx 2K	37761	37718	37853	37422	37629	37676,60	KByte/s	NetIO	301,413	Mbit/s	30,141	1,17
Rx 4K	38291	38251	38399	38583	38166	38338,00	KByte/s	NetIO	306,704	Mbit/s	30,670	1,15
Rx 8K	38574	38538	38691	38247	38448	38499,60	KByte/s	NetIO	307,997	Mbit/s	30,800	1,19
Rx 16K	38704	38619	38775	38337	38544	38595,80	KByte/s	NetIO	308,766	Mbit/s	30,877	1,21
Rx 32K	38700	38679	38780	38374	38546	38615,80	KByte/s	NetIO	308,926	Mbit/s	30,893	1,14
Rx 64K	39018	38969	38997	38645	38560	38837,80	KByte/s	NetIO	310,702	Mbit/s	31,070	1,56
get	9990,79	10284,96	10157,91	10044,57	10407,54	10177,15	KByte/s	FTP Transfer	81,417	Mbit/s	8,142	1,23
put	24620,93	24664,04	24729,70	24750,72	24883,31	24729,74	KByte/s	FTP Transfer	197,838	Mbit/s	19,784	0,72
get	21042,29	21798,68	22242,87	23627,03	23781,46	22498,46	KByte/s	SAMBA	179,988	Mbit/s	17,999	8,46
put	27634,65	30469,47	29824,28	30405,82	29205,85	29508,02	KByte/s	SAMBA	236,064	Mbit/s	23,606	8,34
	0,203	0,224	0,245	0,264	0,281	0,24	ms	hrPing				0,03

Tab. 18 Test 2 Messergebnistabelle für LWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	30357,50	33637,50	33523,75	30473,75	33618,75	32322,25	KByte/s	NetPerf	258,578	Mbit/s	25,858
TCPWin 8K	42500	42525	42500	42525	42500	42510,00	KByte/s	Iperf	340,080	Mbit/s	34,008
Tx 64 Byte	23169	23172	23109	23181	23180	23162,20	KByte/s	NetIO	185,298	Mbit/s	18,530
Tx 1460 Byte	44766	44896	44968	44952	44961	44908,60	KByte/s	NetIO	359,269	Mbit/s	35,927
Tx 1K	44859	45072	45084	45063	45057	45027,00	KByte/s	NetIO	360,218	Mbit/s	36,022
Tx 2K	44818	44310	44166	44154	44241	44337,80	KByte/s	NetIO	354,702	Mbit/s	35,470
Tx 4K	45826	45796	45771	45850	45876	45823,80	KByte/s	NetIO	366,590	Mbit/s	36,659
Tx 8K	45972	45900	45875	45790	45934	45894,20	KByte/s	NetIO	367,154	Mbit/s	36,715
Tx 16K	46111	46113	46098	46154	46164	46128,00	KByte/s	NetIO	369,024	Mbit/s	36,902
Tx 32K	46138	45981	45958	46134	46150	46072,20	KByte/s	NetIO	368,578	Mbit/s	36,858
Tx 64K	46338	46345	46212	46366	46375	46327,20	KByte/s	NetIO	370,618	Mbit/s	37,062
Rx 64 Byte	19434	19332	19329	19326	19333	19350,80	KByte/s	NetIO	154,806	Mbit/s	15,481
Rx 1460 Byte	37115	37085	36996	37001	36989	37037,20	KByte/s	NetIO	296,298	Mbit/s	29,630
Rx 1K	36744	36638	36521	36481	36472	36571,20	KByte/s	NetIO	292,570	Mbit/s	29,257
Rx 2K	37371	37605	37429	37380	37374	37503,80	KByte/s	NetIO	300,030	Mbit/s	30,003
Rx 4K	38306	38173	38014	37956	38559	38201,60	KByte/s	NetIO	305,613	Mbit/s	30,561
Rx 8K	38589	38462	38287	38219	38216	38354,60	KByte/s	NetIO	306,837	Mbit/s	30,684
Rx 16K	38738	38608	38383	38316	38289	38466,80	KByte/s	NetIO	307,734	Mbit/s	30,773
Rx 32K	38729	38596	38389	38309	38314	38467,40	KByte/s	NetIO	307,739	Mbit/s	30,774
Rx 64K	38877	38662	38856	38813	38914	38824,40	KByte/s	NetIO	310,595	Mbit/s	31,060
get	10102,68	10168,79	10102,68	10084,48	10113,67	10114,46	KByte/s	FTP Transfer	80,916	Mbit/s	8,092
put	27639,90	28988,68	27750,57	27209,29	25874,22	27492,53	KByte/s	FTP Transfer	219,940	Mbit/s	21,994
get	20130,36	21593,84	21434,83	21424,31	21413,81	21199,43	KByte/s	SAMBA	169,595	Mbit/s	16,960
put	31076,69	33586,73	33742,47	33560,92	33535,14	33100,39	KByte/s	SAMBA	264,803	Mbit/s	26,480
	0,344	0,386	0,177	0,218	0,250	0,275	ms	hrPing			0,08

Tab. 19 Test 2 Messergebnistabelle für TPLWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	24527,50	25378,75	24663,75	24392,50	24226,25	24637,75	KByte/s	NetPerf	197,102	Mbit/s	19,710
TCPWin 8K	36025	36050	36100	36075	36100	36070,00	KByte/s	Iperf	288,560	Mbit/s	28,856
Tx 64 Byte	19472	19399	19389	19356	19330	19389,20	KByte/s	NetIO	155,114	Mbit/s	15,511
Tx 1460 Byte	37205	37201	37225	37296	37285	37242,40	KByte/s	NetIO	297,939	Mbit/s	29,794
Tx 1K	36901	36739	36942	37032	37134	36949,60	KByte/s	NetIO	295,597	Mbit/s	29,560
Tx 2K	37942	37727	37410	37517	37684	37656,00	KByte/s	NetIO	301,248	Mbit/s	30,125
Tx 4K	38506	38298	37988	38084	38254	38226,00	KByte/s	NetIO	305,808	Mbit/s	30,581
Tx 8K	38799	38587	38272	38368	38525	38510,20	KByte/s	NetIO	308,082	Mbit/s	30,808
Tx 16K	38900	38664	38399	38468	38620	38610,20	KByte/s	NetIO	308,882	Mbit/s	30,888
Tx 32K	38959	38747	38421	38512	38657	38659,20	KByte/s	NetIO	309,274	Mbit/s	30,927
Tx 64K	38930	39152	39210	39398	39310	39200,00	KByte/s	NetIO	313,600	Mbit/s	31,360
Rx 64 Byte	23073	22989	23072	22969	23001	23020,80	KByte/s	NetIO	184,166	Mbit/s	18,417
Rx 1460 Byte	44902	44895	44878	44886	44907	44893,60	KByte/s	NetIO	359,149	Mbit/s	35,915
Rx 1K	45015	45037	45023	45016	45009	45020,00	KByte/s	NetIO	360,160	Mbit/s	36,016
Rx 2K	45332	45195	45167	45071	45008	45154,60	KByte/s	NetIO	361,237	Mbit/s	36,124
Rx 4K	45776	45730	45831	45732	45793	45772,40	KByte/s	NetIO	366,179	Mbit/s	36,618
Rx 8K	45886	45872	45965	45820	45729	45854,40	KByte/s	NetIO	366,835	Mbit/s	36,684
Rx 16K	46106	46103	46135	46082	45968	46078,80	KByte/s	NetIO	368,630	Mbit/s	36,863
Rx 32K	46144	45998	46155	45958	46094	46069,80	KByte/s	NetIO	368,558	Mbit/s	36,856
Rx 64K	46294	46319	46255	46265	46251	46276,80	KByte/s	NetIO	370,214	Mbit/s	37,021
get	11481,71	12230,19	11171,02	11411,01	11634,79	11585,74	KByte/s	FTP Transfer	92,686	Mbit/s	9,269
put	24728,30	24795,70	24752,13	24707,31	24752,13	24747,11	KByte/s	FTP Transfer	197,977	Mbit/s	19,798
get	19158,73	20336,63	20355,60	20441,36	20346,11	20127,69	KByte/s	SAMBA	161,021	Mbit/s	16,102
put	26803,41	27357,61	28839,33	29050,40	28801,29	28170,41	KByte/s	SAMBA	225,363	Mbit/s	22,536
	0,270	0,255	0,258	0,277	0,257	0,26	ms	hrPing			0,01

Tab. 20 Test 2 Messergebnistabelle für LWLTP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	33650,00	34622,50	33650,00	32640,00	33621,25	33636,75	KByte/s	NetPerf	269,094	Mbit/s	26,909
TCPWin 128K	51000	50625	50625	51000	50625	50775,00	KByte/s	Iperf	406,200	Mbit/s	40,620
Tx 64 Byte	24365	24608	24039	24512	24234	24351,60	KByte/s	NetIO	194,813	Mbit/s	19,481
Tx 1460 Byte	48923	48952	48123	48938	49130	48913,20	KByte/s	NetIO	390,506	Mbit/s	39,051
Tx 1K	49099	49125	49078	49119	49077	49099,60	KByte/s	NetIO	392,797	Mbit/s	39,280
Tx 2K	49924	49904	49995	49989	49979	49940,00	KByte/s	NetIO	399,520	Mbit/s	39,952
Tx 4K	50349	50543	50349	50549	50345	50427,00	KByte/s	NetIO	403,416	Mbit/s	40,342
Tx 8K	50404	50542	50520	50501	50515	50496,40	KByte/s	NetIO	403,971	Mbit/s	40,397
Tx 16K	50312	50226	50242	50226	50213	50243,80	KByte/s	NetIO	401,950	Mbit/s	40,195
Tx 32K	50121	50457	50137	50404	50091	50242,00	KByte/s	NetIO	401,936	Mbit/s	40,194
Tx 64K	50429	50212	50471	50161	50369	50328,40	KByte/s	NetIO	402,627	Mbit/s	40,263
Rx 64 Byte	24897	24076	24488	24082	24076	24323,80	KByte/s	NetIO	194,590	Mbit/s	19,459
Rx 1460 Byte	48965	48644	48953	48119	48962	48728,60	KByte/s	NetIO	389,829	Mbit/s	38,983
Rx 1K	49054	49132	49122	49131	49135	49114,80	KByte/s	NetIO	392,918	Mbit/s	39,292
Rx 2K	50150	49968	50036	49874	50030	49991,60	KByte/s	NetIO	399,933	Mbit/s	39,993
Rx 4K	50431	50310	50298	50337	50300	50335,20	KByte/s	NetIO	402,682	Mbit/s	40,268
Rx 8K	50357	50491	50485	50429	50488	50450,00	KByte/s	NetIO	403,600	Mbit/s	40,360
Rx 16K	50544	50176	50547	50168	50515	50390,00	KByte/s	NetIO	403,120	Mbit/s	40,312
Rx 32K	50065	50372	50044	50380	50121	50196,40	KByte/s	NetIO	401,571	Mbit/s	40,157
Rx 64K	50189	50128	50253	50123	50267	50192,00	KByte/s	NetIO	401,536	Mbit/s	40,154
get	11547,02	11982,75	12486,13	12272,40	11741,09	12005,88	KByte/s	FTP Transfer	96,047	Mbit/s	9,605
put	28688,72	33741,03	42690,36	30741,03	28688,72	32909,97	KByte/s	FTP Transfer	263,280	Mbit/s	26,328
get	21434,83	27775,29	28315,66	29264,58	28133,22	26984,72	KByte/s	SAMBA	215,878	Mbit/s	21,588
put	33483,71	34138,20	33586,73	32438,90	33899,65	33509,44	KByte/s	SAMBA	268,075	Mbit/s	26,808
	0,339	0,379	0,301	0,305	0,312	0,33	ms	hrPing			0,03

Tab. 21 Test 3 Messergebnistabelle für TP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	25520	25797,5	27367,5	26812,5	27218,75	26543,25	KByte/s	NetPerf	212,346	Mbit/s	21,235	6,00
TCPWin 128K	40250	40375	40375	40250	40375	40325,00	KByte/s	lperf	322,600	Mbit/s	32,260	0,49
Tx 64 Byte	22798	22452	22211	22506	22379	22469,20	KByte/s	NetIO	179,754	Mbit/s	17,975	1,54
Tx 1460 Byte	37179	36807	36926	37075	37149	37027,20	KByte/s	NetIO	296,218	Mbit/s	29,622	1,13
Tx 1K	36852	36526	36618	36773	36828	36719,40	KByte/s	NetIO	293,755	Mbit/s	29,376	1,01
Tx 2K	38194	37705	37855	38038	38145	37987,40	KByte/s	NetIO	303,899	Mbit/s	30,390	1,46
Tx 4K	38740	38251	38402	38593	38679	38533,00	KByte/s	NetIO	308,264	Mbit/s	30,826	1,45
Tx 8K	38981	38559	38718	38913	39021	38838,40	KByte/s	NetIO	310,707	Mbit/s	31,071	1,39
Tx 16K	39124	38644	38791	38984	39097	38928,00	KByte/s	NetIO	311,424	Mbit/s	31,142	1,47
Tx 32K	39232	38710	38892	38999	39176	39001,80	KByte/s	NetIO	312,014	Mbit/s	31,201	1,52
Tx 64K	39283	38770	38969	39137	39236	39079,00	KByte/s	NetIO	312,632	Mbit/s	31,263	1,51
Rx 64 Byte	20399	20442	20745	20860	20668	20622,80	KByte/s	NetIO	164,982	Mbit/s	16,498	1,41
Rx 1460 Byte	36897	37073	37192	36775	36852	36957,80	KByte/s	NetIO	295,662	Mbit/s	29,566	1,22
Rx 1K	36596	36759	36855	36502	36560	36654,40	KByte/s	NetIO	293,235	Mbit/s	29,324	1,05
Rx 2K	37833	38052	38203	37671	37773	37906,40	KByte/s	NetIO	303,251	Mbit/s	30,325	1,55
Rx 4K	38381	38611	38745	38204	38310	38450,20	KByte/s	NetIO	307,602	Mbit/s	30,760	1,59
Rx 8K	38702	38936	39100	38541	38648	38785,40	KByte/s	NetIO	310,283	Mbit/s	31,028	1,63
Rx 16K	38769	39096	39122	38612	38720	38863,80	KByte/s	NetIO	310,910	Mbit/s	31,091	1,65
Rx 32K	38676	39097	39156	38617	38755	38860,20	KByte/s	NetIO	310,882	Mbit/s	31,088	1,78
Rx 64K	38920	39153	39355	38788	38884	39020,00	KByte/s	NetIO	312,160	Mbit/s	31,216	1,65
get	11155,53	11419,88	11405,85	11662,68	11382,66	11405,32	KByte/s	FTP Transfer	91,243	Mbit/s	9,124	1,29
put	23364,06	31973,31	23720,73	34799,36	23842,49	27539,99	KByte/s	FTP Transfer	220,320	Mbit/s	22,032	38,87
get	23742,66	23053,20	24096,44	23163,26	23703,99	23551,91	KByte/s	SAMBA	188,415	Mbit/s	18,842	3,11
put	30008,76	30813,52	29521,81	30726,78	29521,81	30118,53	KByte/s	SAMBA	240,948	Mbit/s	24,095	4,49
	0,164	0,210	0,234	0,251	0,270	0,226	ms	hrPing				0,04

Tab. 22 Test 3 Messergebnistabelle für LWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	32297,50	33267,50	32145,00	32671,25	31638,75	32404,00	KByte/s	NetPerf	259,232	Mbit/s	25,923	4,35
TCPWin 128K	50250	50250	50250	50250	50250	50250,00	KByte/s	lperf	402,000	Mbit/s	40,200	0,00
Tx 64 Byte	24915	24938	24771	24864	24374	24772,40	KByte/s	NetIO	198,179	Mbit/s	19,817	1,66
Tx 1460 Byte	49000	48877	49072	49008	48883	48968,00	KByte/s	NetIO	391,744	Mbit/s	39,174	0,61
Tx 1K	49116	49015	49214	49142	49016	49100,60	KByte/s	NetIO	392,805	Mbit/s	39,280	0,61
Tx 2K	50033	49905	50113	50045	49900	49999,20	KByte/s	NetIO	399,994	Mbit/s	39,999	0,67
Tx 4K	50537	50376	50617	50567	50381	50495,60	KByte/s	NetIO	403,965	Mbit/s	40,396	0,79
Tx 8K	50600	50434	50720	50625	50431	50562,00	KByte/s	NetIO	404,496	Mbit/s	40,450	0,90
Tx 16K	50482	50226	50450	50514	50258	50386,00	KByte/s	NetIO	403,088	Mbit/s	40,309	0,96
Tx 32K	50331	50118	50412	50363	50203	50285,40	KByte/s	NetIO	402,283	Mbit/s	40,228	0,87
Tx 64K	50228	50015	50261	50258	50033	50159,00	KByte/s	NetIO	401,272	Mbit/s	40,127	0,89
Rx 64 Byte	20996	21135	21227	21125	21058	21108,20	KByte/s	NetIO	168,866	Mbit/s	16,887	0,62
Rx 1460 Byte	37012	37200	36881	36999	37178	37054,00	KByte/s	NetIO	296,432	Mbit/s	29,643	0,96
Rx 1K	36696	36854	36574	36659	36845	36725,60	KByte/s	NetIO	293,805	Mbit/s	29,380	0,87
Rx 2K	37921	38170	37744	37885	38142	37972,40	KByte/s	NetIO	303,779	Mbit/s	30,378	1,29
Rx 4K	38470	38702	38281	38429	38683	38513,00	KByte/s	NetIO	308,104	Mbit/s	30,810	1,28
Rx 8K	38795	39039	38607	38756	39014	38842,20	KByte/s	NetIO	310,738	Mbit/s	31,074	1,31
Rx 16K	38878	39113	38710	38871	39178	38950,00	KByte/s	NetIO	311,600	Mbit/s	31,160	1,37
Rx 32K	38949	39167	38746	38831	39094	38957,40	KByte/s	NetIO	311,659	Mbit/s	31,166	1,26
Rx 64K	39063	39276	38764	38903	39159	39033,00	KByte/s	NetIO	312,264	Mbit/s	31,226	1,45
get	10501,41	10388,23	10572,86	10442,64	10493,33	10479,69	KByte/s	FTP Transfer	83,838	Mbit/s	8,384	0,49
put	28028,47	33747,68	30241,55	42276,10	28028,47	32464,45	KByte/s	FTP Transfer	259,716	Mbit/s	25,972	42,67
get	21216,11	22588,08	22494,98	22276,91	23261,99	22367,61	KByte/s	SAMBA	178,941	Mbit/s	17,894	5,31
put	32684,39	33667,27	33739,38	33779,68	33579,89	33490,12	KByte/s	SAMBA	267,921	Mbit/s	26,792	3,27
	0,272	0,308	0,344	0,177	0,218	0,26	ms	hrPing				0,06

Tab. 23 Test 3 Messergebnistabelle für TPLWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	26102,50	25808,75	25427,50	25553,75	25322,50	25643,00	KByte/s	NetPerf	205,144	Mbit/s	20,514	2,25
TCPWin 128K	40375	40375	40500	40375	40375	40400,00	KByte/s	lperf	323,200	Mbit/s	32,320	0,40
Tx 64 Byte	21924	21965	21973	21872	21901	21927,00	KByte/s	NetIO	175,416	Mbit/s	17,542	0,31
Tx 1460 Byte	37069	37179	37322	36988	37151	37141,80	KByte/s	NetIO	297,134	Mbit/s	29,713	0,90
Tx 1K	36747	36845	36975	36654	36800	36804,20	KByte/s	NetIO	294,434	Mbit/s	29,443	0,85
Tx 2K	37981	38130	38334	37860	38068	38074,60	KByte/s	NetIO	304,597	Mbit/s	30,460	1,27
Tx 4K	38524	38670	38857	38405	38606	38612,40	KByte/s	NetIO	308,899	Mbit/s	30,899	1,21
Tx 8K	38851	39002	39211	38740	38944	38949,60	KByte/s	NetIO	311,597	Mbit/s	31,160	1,26
Tx 16K	38938	39082	39265	38875	39011	39034,20	KByte/s	NetIO	312,274	Mbit/s	31,227	1,08
Tx 32K	38942	39091	39311	38799	39007	39030,00	KByte/s	NetIO	312,240	Mbit/s	31,224	1,36
Tx 64K	39017	39172	39434	38941	39210	39154,80	KByte/s	NetIO	313,238	Mbit/s	31,324	1,37
Rx 64 Byte	23148	22918	22982	22916	23287	23050,20	KByte/s	NetIO	184,402	Mbit/s	18,440	1,16
Rx 1460 Byte	48929	48836	48756	48994	48902	48883,40	KByte/s	NetIO	391,067	Mbit/s	39,107	0,65
Rx 1K	49095	49003	48919	49123	49015	49031,00	KByte/s	NetIO	392,248	Mbit/s	39,225	0,58
Rx 2K	49954	49883	49775	50024	49937	49914,60	KByte/s	NetIO	399,317	Mbit/s	39,932	0,66
Rx 4K	50448	50362	50232	50549	50413	50400,80	KByte/s	NetIO	403,206	Mbit/s	40,321	0,83
Rx 8K	50515	50411	50283	50603	50467	50455,80	KByte/s	NetIO	403,646	Mbit/s	40,365	0,86
Rx 16K	50359	50188	50154	50452	50274	50285,40	KByte/s	NetIO	402,283	Mbit/s	40,228	0,88
Rx 32K	50179	50046	49952	50307	50160	50128,80	KByte/s	NetIO	401,030	Mbit/s	40,103	0,97
Rx 64K	50178	50090	49975	50263	50127	50126,60	KByte/s	NetIO	401,013	Mbit/s	40,101	0,76
get	11983,69	11549,00	12278,50	12490,60	11743,09	12008,98	KByte/s	FTP	96,072	Mbit/s	9,607	2,74
put	24839,43	29507,84	26818,23	28778,51	28867,94	27762,39	KByte/s	FTP	222,099	Mbit/s	22,210	13,73
get	21608,12	21029,15	21340,25	21292,18	21196,83	21293,31	KByte/s	SAMBA	170,346	Mbit/s	17,035	1,52
put	30488,36	30752,13	30557,23	30682,17	30626,48	30621,27	KByte/s	SAMBA	244,970	Mbit/s	24,497	0,74
	0,233	0,246	0,239	0,247	0,250	0,24	ms	hrPing				0,01

Tab. 24 Test 3 Messergebnistabelle für LWLTP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	33625,00	33632,50	33650,00	33662,50	33626,25	33639,25	KByte/s	NetPerf	269,114	Mbit/s	26,911
TCPWin 128K	50625	50875	50750	50625	51000	50775,00	KByte/s	Iperf	406,200	Mbit/s	40,620
Tx 64 Byte	24673	24859	24600	24175	24621	24585,60	KByte/s	NetIO	196,685	Mbit/s	19,668
Tx 1460 Byte	48017	48991	48914	48967	48924	48762,60	KByte/s	NetIO	390,101	Mbit/s	39,010
Tx 1K	49177	49124	49181	49152	49172	49161,20	KByte/s	NetIO	393,290	Mbit/s	39,329
Tx 2K	49974	50054	49980	50039	49972	50003,80	KByte/s	NetIO	400,030	Mbit/s	40,003
Tx 4K	50634	50394	50668	50381	50633	50542,00	KByte/s	NetIO	404,336	Mbit/s	40,434
Tx 8K	50505	50635	50548	50530	50578	50559,20	KByte/s	NetIO	404,474	Mbit/s	40,447
Tx 16K	50333	50330	50271	50314	50220	50293,60	KByte/s	NetIO	402,349	Mbit/s	40,235
Tx 32K	50315	50125	50422	50141	50496	50299,80	KByte/s	NetIO	402,398	Mbit/s	40,240
Tx 64K	50258	50405	50258	50391	50265	50315,40	KByte/s	NetIO	402,523	Mbit/s	40,252
Rx 64 Byte	24082	24897	24488	24276	24581	24464,80	KByte/s	NetIO	195,718	Mbit/s	19,572
Rx 1460 Byte	49097	48903	49109	48894	49063	49013,20	KByte/s	NetIO	392,106	Mbit/s	39,211
Rx 1K	49070	49165	49064	49088	49041	49085,60	KByte/s	NetIO	392,685	Mbit/s	39,268
Rx 2K	49860	49940	49856	49989	49864	49901,80	KByte/s	NetIO	399,214	Mbit/s	39,921
Rx 4K	50371	50279	50329	50311	50306	50319,20	KByte/s	NetIO	402,554	Mbit/s	40,255
Rx 8K	50362	50501	50441	50449	50511	50452,80	KByte/s	NetIO	403,622	Mbit/s	40,362
Rx 16K	50246	50451	50158	50558	50158	50314,20	KByte/s	NetIO	402,514	Mbit/s	40,251
Rx 32K	50500	50044	50461	50130	50389	50304,80	KByte/s	NetIO	402,438	Mbit/s	40,244
Rx 64K	50182	50326	50211	50270	50206	50239,00	KByte/s	NetIO	401,912	Mbit/s	40,191
get	14707,70	15170,69	15137,55	14738,48	14707,21	14892,33	KByte/s	FTP Transfer	119,139	Mbit/s	11,914
put	30176,76	38598,61	33188,47	33667,02	33669,61	33860,09	KByte/s	FTP Transfer	270,881	Mbit/s	27,088
get	21985,27	29031,09	27599,72	29402,53	29541,78	27512,08	KByte/s	SAMBA	220,097	Mbit/s	22,010
put	37251,19	38132,37	38147,45	38223,19	38170,10	37984,86	KByte/s	SAMBA	303,879	Mbit/s	30,388
	0,304	0,344	0,355	0,322	0,334	0,33	ms	hrPing			0,02

Tab. 25 Test 4 Messergebnistabelle für TP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	27502,5	27500	27295	27275	25640	27042,50	KByte/s	NetPerf	216,340	Mbit/s	21,634
TCPWin 128K	40375	40375	40375	40375	40375	40375,00	KByte/s	Iperf	323,000	Mbit/s	32,300
Tx 64 Byte	21752	21104	21626	21581	21907	21594,00	KByte/s	NetIO	172,752	Mbit/s	17,275
Tx 1460 Byte	37180	36810	36922	37071	37150	37026,60	KByte/s	NetIO	296,213	Mbit/s	29,621
Tx 1K	36756	36971	36668	36794	36558	36749,40	KByte/s	NetIO	293,995	Mbit/s	29,400
Tx 2K	38063	38349	37907	38099	37761	38035,80	KByte/s	NetIO	304,286	Mbit/s	30,429
Tx 4K	38614	38258	38466	38663	38306	38461,40	KByte/s	NetIO	307,691	Mbit/s	30,769
Tx 8K	38935	38572	38783	38982	38624	38779,20	KByte/s	NetIO	310,234	Mbit/s	31,023
Tx 16K	39017	38649	38851	39070	38724	38862,20	KByte/s	NetIO	310,898	Mbit/s	31,090
Tx 32K	39019	38656	38923	39167	38725	38898,00	KByte/s	NetIO	311,184	Mbit/s	31,118
Tx 64K	39095	38753	39030	39182	38834	38978,80	KByte/s	NetIO	311,830	Mbit/s	31,183
Rx 64 Byte	20870	20984	20289	20918	20936	20799,40	KByte/s	NetIO	166,395	Mbit/s	16,640
Rx 1460 Byte	37195	36869	37087	37227	36971	37069,80	KByte/s	NetIO	296,558	Mbit/s	29,656
Rx 1K	36862	36579	36782	36891	36669	36756,60	KByte/s	NetIO	294,053	Mbit/s	29,405
Rx 2K	38227	37884	38077	38285	37913	38077,20	KByte/s	NetIO	304,618	Mbit/s	30,461
Rx 4K	38788	38427	38636	38814	38469	38626,80	KByte/s	NetIO	309,014	Mbit/s	30,902
Rx 8K	39111	38754	38963	39162	38791	38956,20	KByte/s	NetIO	311,650	Mbit/s	31,165
Rx 16K	39222	38855	39047	39228	38880	39046,40	KByte/s	NetIO	312,371	Mbit/s	31,237
Rx 32K	39125	38858	39061	39259	38901	39040,80	KByte/s	NetIO	312,326	Mbit/s	31,233
Rx 64K	39244	39001	39133	39421	39031	39166,00	KByte/s	NetIO	313,328	Mbit/s	31,333
get	15236,86	12719,28	12690,45	12731,15	12713,73	13218,29	KByte/s	FTP Transfer	105,746	Mbit/s	10,575
put	29792,24	30929,14	30791,73	31025,72	32292,07	30966,18	KByte/s	FTP Transfer	247,729	Mbit/s	24,773
get	24240,95	24121,20	24125,77	24208,51	24203,89	24180,06	KByte/s	SAMBA	193,441	Mbit/s	19,344
put	35714,22	35974,27	35122,41	35385,32	35267,80	35492,81	KByte/s	SAMBA	283,942	Mbit/s	28,394
	0,210	0,251	0,287	0,270	0,234	0,250	ms	hrPing			0,03

Tab. 26 Test 4 Messergebnistabelle für LWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz	Auslastung [%]	Standardabweichung
	32506,25	32543,75	33428,75	32735,00	32812,50	32805,25	KByte/s	NetPerf	262,442	Mbit/s	26,244
TCPWin 128K	50250	50250	50250	50250	50250	50250,00	KByte/s	Iperf	402,000	Mbit/s	40,200
Tx 64 Byte	25224	25903	25434	25351	25427	25467,80	KByte/s	NetIO	203,742	Mbit/s	20,374
Tx 1460 Byte	48786	48988	48862	48759	48997	48878,40	KByte/s	NetIO	391,027	Mbit/s	39,103
Tx 1K	48942	49112	48994	48892	49109	49009,80	KByte/s	NetIO	392,078	Mbit/s	39,208
Tx 2K	49818	50036	49901	49757	50055	49913,40	KByte/s	NetIO	399,307	Mbit/s	39,931
Tx 4K	50283	50556	50388	50239	50577	50408,60	KByte/s	NetIO	403,269	Mbit/s	40,327
Tx 8K	50364	50638	50443	50288	50660	50478,60	KByte/s	NetIO	403,829	Mbit/s	40,383
Tx 16K	50275	50566	50285	50099	50497	50344,40	KByte/s	NetIO	402,755	Mbit/s	40,276
Tx 32K	50164	50401	50188	50102	50430	50257,00	KByte/s	NetIO	402,056	Mbit/s	40,206
Tx 64K	50017	50216	50155	50003	50267	50131,60	KByte/s	NetIO	401,053	Mbit/s	40,105
Rx 64 Byte	20310	20387	20922	20420	20825	20572,80	KByte/s	NetIO	164,582	Mbit/s	16,458
Rx 1460 Byte	37179	36894	37087	37251	36888	37059,80	KByte/s	NetIO	296,478	Mbit/s	29,648
Rx 1K	36855	36592	36780	36917	36589	36746,60	KByte/s	NetIO	293,973	Mbit/s	29,397
Rx 2K	38156	37770	38028	38255	37761	37994,00	KByte/s	NetIO	303,952	Mbit/s	30,395
Rx 4K	38695	38302	38583	38787	38296	38532,60	KByte/s	NetIO	308,261	Mbit/s	30,826
Rx 8K	39027	38643	38910	39134	38629	38868,60	KByte/s	NetIO	310,949	Mbit/s	31,095
Rx 16K	39187	38799	39068	39201	38786	39008,20	KByte/s	NetIO	312,066	Mbit/s	31,207
Rx 32K	39191	38803	39000	39224	38793	39002,20	KByte/s	NetIO	312,018	Mbit/s	31,202
Rx 64K	39317	38880	39168	39387	38854	39121,20	KByte/s	NetIO	312,970	Mbit/s	31,297
get	12408,42	12430,68	12430,68	12452,66	12436,34	12431,76	KByte/s	FTP Transfer	99,454	Mbit/s	9,945
put	34384,43	32210,70	34598,73	35363,90	35358,78	34383,31	KByte/s	FTP Transfer	275,066	Mbit/s	27,507
get	23344,36	23896,48	23905,34	23927,51	23883,23	23791,38	KByte/s	SAMBA	190,331	Mbit/s	19,033
put	35070,48	36629,83	36385,63	36204,60	36084,92	36075,09	KByte/s	SAMBA	288,601	Mbit/s	28,860
	0,227	0,267	0,291	0,329	0,192	0,26	ms	hrPing			0,05

Tab. 27 Test 4 Messergebnistabelle für TPLWL

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
	26022,50	25396,25	25817,50	25720,00	25243,75	25640,00	KByte/s	NetPerf	205,120	Mbit/s	20,512	2,26
TCPWin 128K	40375	40375	40375	40375	40375	40375,00	KByte/s	Iperf	323,000	Mbit/s	32,300	0,00
Tx 64 Byte	22508	22770	22000	22571	22659	22501,60	KByte/s	NetIO	180,013	Mbit/s	18,001	2,13
Tx 1460 Byte	37104	37247	36926	36995	37132	37080,80	KByte/s	NetIO	296,646	Mbit/s	29,665	0,89
Tx 1K	36779	36906	36622	36675	36805	36757,40	KByte/s	NetIO	294,059	Mbit/s	29,406	0,80
Tx 2K	38027	38216	37788	37878	38054	37992,60	KByte/s	NetIO	303,941	Mbit/s	30,394	1,19
Tx 4K	38548	38739	38335	38408	38591	38524,20	KByte/s	NetIO	308,194	Mbit/s	30,819	1,13
Tx 8K	38900	39094	38659	38748	38930	38866,20	KByte/s	NetIO	310,930	Mbit/s	31,093	1,21
Tx 16K	38958	39166	38729	38812	38993	38931,60	KByte/s	NetIO	311,453	Mbit/s	31,145	1,21
Tx 32K	38966	39165	38802	38846	39027	38961,20	KByte/s	NetIO	311,690	Mbit/s	31,169	1,04
Tx 64K	39135	39330	38819	38969	39172	39085,00	KByte/s	NetIO	312,680	Mbit/s	31,268	1,41
Rx 64 Byte	23217	23436	23591	23934	23808	23597,20	KByte/s	NetIO	188,778	Mbit/s	18,878	2,05
Rx 1460 Byte	48832	48748	48950	48911	48817	48851,60	KByte/s	NetIO	390,813	Mbit/s	39,081	0,57
Rx 1K	48985	48896	49065	49054	48963	48992,60	KByte/s	NetIO	391,941	Mbit/s	39,194	0,50
Rx 2K	49872	49772	50000	49956	49866	49893,20	KByte/s	NetIO	399,146	Mbit/s	39,915	0,63
Rx 4K	50380	50253	50546	50491	50346	50403,20	KByte/s	NetIO	403,226	Mbit/s	40,323	0,84
Rx 8K	50476	50332	50626	50574	50443	50490,20	KByte/s	NetIO	403,922	Mbit/s	40,392	0,82
Rx 16K	50295	50132	50500	50423	50292	50328,40	KByte/s	NetIO	402,627	Mbit/s	40,263	1,01
Rx 32K	50277	50130	50421	50370	50178	50275,20	KByte/s	NetIO	402,202	Mbit/s	40,220	0,88
Rx 64K	50154	50060	50265	50231	50135	50169,00	KByte/s	NetIO	401,352	Mbit/s	40,135	0,58
get	14703,13	15139,11	14740,50	15165,10	14712,40	14892,05	KByte/s	FTP	119,136	Mbit/s	11,914	1,70
put	29728,84	31672,90	30048,00	32010,82	32268,68	31145,85	KByte/s	FTP	249,167	Mbit/s	24,917	8,39
get	22588,08	22276,91	23261,99	21216,11	22494,98	22367,61	KByte/s	SAMBA	178,941	Mbit/s	17,894	5,31
put	33458,05	33586,73	35411,80	34461,53	33509,40	34085,50	KByte/s	SAMBA	272,684	Mbit/s	27,268	6,07
	0,241	0,284	0,261	0,240	0,251	0,26	ms	hrPing				0,02

Tab. 28 Test 4 Messergebnistabelle für LWLTP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]	Standardabweichung
TCPWin 8K	11489,26	11500,24	11491,70	11490,48	11484,38	11491,21	KByte/s	Iperf	91,930	Mbit/s	9,193	0,04
Tx 64 Byte	11540,00	11517,00	11530,00	11530,00	11541,00	11531,60	KByte/s	NetIO	92,253	Mbit/s	9,253	0,07
Tx 1460 Byte	11599,00	11599,00	11598,00	11599,00	11598,00	11598,60	KByte/s	NetIO	92,789	Mbit/s	9,279	0,00
Tx 1K	11598,00	11598,00	11599,00	11598,00	11581,00	11594,80	KByte/s	NetIO	92,758	Mbit/s	9,275	0,06
Tx 2K	11598,00	11599,00	11599,00	11598,00	11599,00	11598,60	KByte/s	NetIO	92,789	Mbit/s	9,279	0,00
Tx 4K	11600,00	11599,00	11599,00	11599,00	11599,00	11599,20	KByte/s	NetIO	92,794	Mbit/s	9,279	0,00
Tx 8K	11599,00	11600,00	11600,00	11540,00	11600,00	11587,80	KByte/s	NetIO	92,702	Mbit/s	9,270	0,19
Tx 16K	11599,00	11599,00	11600,00	11598,00	11598,00	11598,80	KByte/s	NetIO	92,790	Mbit/s	9,279	0,01
Tx 32K	11604,00	11604,00	11604,00	11604,00	11604,00	11604,00	KByte/s	NetIO	92,832	Mbit/s	9,283	0,00
Tx 64K	11604,00	11604,00	11604,00	11604,00	11604,00	11604,00	KByte/s	NetIO	92,832	Mbit/s	9,283	0,00
Rx 64 Byte	11491,00	11481,00	11516,00	11515,00	11485,00	11497,60	KByte/s	NetIO	91,981	Mbit/s	9,198	0,12
Rx 1460 Byte	11556,00	11555,00	11556,00	11556,00	11556,00	11555,80	KByte/s	NetIO	92,446	Mbit/s	9,244	0,00
Rx 1K	11557,00	11556,00	11556,00	11557,00	11555,00	11556,20	KByte/s	NetIO	92,450	Mbit/s	9,245	0,01
Rx 2K	11557,00	11557,00	11556,00	11556,00	11557,00	11556,60	KByte/s	NetIO	92,453	Mbit/s	9,245	0,00
Rx 4K	11557,00	11556,00	11556,00	11556,00	11557,00	11556,40	KByte/s	NetIO	92,451	Mbit/s	9,245	0,00
Rx 8K	11557,00	11557,00	11558,00	11537,00	11557,00	11553,20	KByte/s	NetIO	92,426	Mbit/s	9,242	0,06
Rx 16K	11559,00	11559,00	11558,00	11449,00	11558,00	11536,60	KByte/s	NetIO	92,293	Mbit/s	9,229	0,35
Rx 32K	11555,00	11555,00	11557,00	11536,00	11557,00	11552,00	KByte/s	NetIO	92,416	Mbit/s	9,241	0,06
Rx 64K	11556,00	11556,00	11554,00	11556,00	11556,00	11555,60	KByte/s	NetIO	92,445	Mbit/s	9,244	0,01
get	9323,87	9132,17	9491,90	9289,95	9219,53	9291,48	KByte/s	FTP Transfer	74,332	Mbit/s	7,433	0,96
put	11494,74	11490,20	11518,69	11499,58	11523,25	11505,29	KByte/s	FTP Transfer	92,042	Mbit/s	9,204	0,11
get	10261,52	10393,42	10398,37	10395,89	10371,20	10364,08	KByte/s	SAMBA	82,913	Mbit/s	8,291	0,42
put	10762,33	10749,08	10864,08	10796,92	10788,92	10792,27	KByte/s	SAMBA	86,338	Mbit/s	8,633	0,32
	0,282	0,161	0,169	0,130	0,117	0,172	ms	hrPing				0,06

Tab. 29 Test 5 Messergebnistabelle für TP

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchschnitt	Einheit	Tool	Durchsatz		Auslastung [%]
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	KByte/s	NetPerf	0,000	Mbit/s	0,000
TCPWin 64K	52000	52000	52000	52000	52000	52000,00	KByte/s	Iperf	416,000	Mbit/s	41,600
Tx 64 Byte	21072	20394	21607	19774	20882	20745,80	KByte/s	NetIO	165,966	Mbit/s	16,597
Tx 1500 Byte	49590	49738	49744	49636	49827	49707,00	KByte/s	NetIO	397,656	Mbit/s	39,766
Tx 1K	50005	50284	49879	50118	49910	50039,20	KByte/s	NetIO	400,314	Mbit/s	40,031
Tx 2K	50940	50729	50902	50824	50787	50836,40	KByte/s	NetIO	406,691	Mbit/s	40,669
Tx 4K	51223	51324	51320	51272	51326	51293,00	KByte/s	NetIO	410,344	Mbit/s	41,034
Tx 8K	51260	51279	51208	51445	51174	51273,20	KByte/s	NetIO	410,186	Mbit/s	41,019
Tx 16K	51370	51268	51356	50998	51049	51208,80	KByte/s	NetIO	409,666	Mbit/s	40,967
Tx 32K	50934	50784	50778	50930	50858	50856,80	KByte/s	NetIO	406,854	Mbit/s	40,685
Tx 64K	50771	51293	50901	50865	51316	51029,20	KByte/s	NetIO	408,234	Mbit/s	40,823
Rx 64 Byte	20475	18941	20418	19966	19951	19950,20	KByte/s	NetIO	159,602	Mbit/s	15,960
Rx 1500 Byte	49605	49784	49549	49794	49708	49688,00	KByte/s	NetIO	397,504	Mbit/s	39,750
Rx 1K	50084	49846	50272	49991	49982	50035,00	KByte/s	NetIO	400,280	Mbit/s	40,028
Rx 2K	50726	50919	50829	50825	50917	50843,20	KByte/s	NetIO	406,746	Mbit/s	40,675
Rx 4K	51333	51307	51301	51307	51205	51290,60	KByte/s	NetIO	410,325	Mbit/s	41,032
Rx 8K	51446	51382	51350	51329	51464	51394,20	KByte/s	NetIO	411,154	Mbit/s	41,115
Rx 16K	51307	51307	51246	51422	51322	51320,80	KByte/s	NetIO	410,566	Mbit/s	41,057
Rx 32K	50802	50869	50754	50853	50749	50805,40	KByte/s	NetIO	406,443	Mbit/s	40,644
Rx 64K	51358	51345	51332	51247	51315	51319,40	KByte/s	NetIO	410,555	Mbit/s	41,056
get	3761,00	3749,00	3785,00	3765,00	3711,00	3754,20	KByte/s	FTP Transfer	30,034	Mbit/s	3,003
put	3768,00	3784,00	3759,00	3764,00	3758,00	3766,60	KByte/s	FTP Transfer	30,133	Mbit/s	3,013
get	28006,90	29947,02	29225,40	30533,39	28500,49	29242,64	KByte/s	SAMBA	233,941	Mbit/s	23,394
put	30791,79	33586,73	33560,92	33847,10	33638,48	33085,00	KByte/s	SAMBA	264,680	Mbit/s	26,468
	0,236	0,277	0,306	0,352	0,380	0,31	ms	hrPing			

Tab. 30 Jumbo-Frame-Test über TP-Direktverbindung

Fenstergröße [Byte]	TP Durchsatz [Mbit/s]	LWL Durchsatz [Mbit/s]
64	269	205
128	259	170
256	246	195
512	269	192
1024	267	203
2048	240	173
4096	269	163
8192	268	171
16384	305	284
32768	403	322
65536	407	322
131072	412	323
262144	412	321
524288	411	318
1048576	406	319
2097152	407	318
4194304	407	318
8388608	406	318
16777216	407	318
33554432	407	317

Tab. 31 Iperf mit variablem TCP-Fenster in Systemkonfiguration Test 2

	Festplatte	RAM-Disk
max. Durchsatz [Mbit/s]	480,62	1527,07
min. Durchsatz [Mbit/s]	83,05	1023,12

Tab. 32 Performance-Messung der Festplatte und RAM-Disk

TCP- Fenstergröße	Durchsatz [Mbit/s]		
	Out-Of- The-Box	TCP-Fenster 128K	TCP-Fenster 128K Jumbo aktiv
64	331	427	445
128	357	421	433
256	352	440	445
512	398	443	434
1024	392	435	445
2048	405	440	435
4096	403	449	434
8192	401	464	515
16384	409	486	533
32768	410	485	570
65536	410	488	564
131072	443	531	591
262144	440	512	684
524288	439	494	680
1048576	438	499	655
2097152	441	502	643
4194304	440	503	610
8388608	444	506	606
16777216	441	505	600
33554432	444	504	609

Tab. 33 Iperf mit variablem TCP-Fenster, alternative Systeme

	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	Durchsatz [Mbit/s]	Testkonfiguration
Iperf	366	359	363	364	365	363	Out-Of-The-Box
Iperf	522	521	520	522	524	522	TCPWindow 128K
Iperf	593	591	593	592	593	593	TCPWindow 128K Jumbo-Frames
Iperf	748	747	770	750	762	755	TCPWindow 256K Jumbo-Frames
	Durchlauf 1	Durchlauf 2	Durchlauf 3	Durchlauf 4	Durchlauf 5	RTT [msek]	Testkonfiguration
hrPing	0,169	0,157	0,143	0,156	0,151	0,151	Out-Of-The-Box
hrPing	0,168	0,17	0,141	0,167	0,143	0,152	TCPWindow 128K
hrPing	0,146	0,168	0,147	0,137	0,167	0,151	TCPWindow 128K Jumbo-Frames

Tab. 34 Durchsatzmessung und RTT der alternativen Systeme