

Spezifikations- und Meßmethodik für ein adaptives Dienstgütemanagement

als Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
am Fachbereich Informatik der Universität Hamburg
vorgelegt von

Jan-Peter Richter

Hamburg 1999

Eingereicht: 1. November 1999

Disputation: 10. Februar 2000

Gutachter: Prof. Dr. Bernd E. Wolfinger, Universität Hamburg
Prof. Dr. Martina Zitterbart, Technische Universität Braunschweig

Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation
und Rechnernetze

Jan-Peter Richter

**Spezifikations- und Meßmethodik
für ein adaptives Dienstgütemanagement**

Shaker Verlag
Aachen 2000

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Richter, Jan-Peter:

Spezifikations- und Messmethodik für ein adaptives Dienstgütemanagement/
Jan-Peter Richter. - Als Ms. gedr. - Aachen : Shaker, 2000

(Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation
und Rechnernetze)

Zugl.: Hamburg, Univ., Diss., 2000

ISBN 3-8265-7277-7

Copyright Shaker Verlag 2000

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 3-8265-7277-7

ISSN 1439-3573

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Für Anette



Vorwort des Herausgebers

Rechnernetze stellen Kommunikations- und Kooperationsdienste für kommunizierende menschliche Benutzer bzw. geographisch verteilte System- und Anwendungsprozesse bereit. Die Qualitätsanforderungen an die Dienstleistung seitens der Dienstbenutzer sind dabei sehr stark abhängig von dem Typ der zu unterstützenden verteilten Anwendung (z.B. Dateitransfer, Elektronische Briefpost, Sprachübertragung, Bewegtbildübertragung, etc). So impliziert ein Dateitransfer in der Regel die Anforderung einer Datenübertragung mit vernachlässigbarer Restfehlerrate und akzeptablen Verzögerungszeiten im Sekundenbereich wohingegen es bei paketisierter Sprachübertragung durchaus zum gelegentlichen Verlust von Datenpaketen kommen darf (ohne daß der menschliche Kommunikationspartner eine Qualitätsminderung bei der Sprachübertragung feststellen würde), indes ist bei Sprachübertragung in Echtzeit die Einhaltung von Verzögerungsschranken, bis auf hinreichend seltene Ausnahmen, eine unabdingbare Forderung.

Bei der Realisierung von Kommunikations- und Rechnernetzen verstärkt sich eine Tendenz hin zu einer Dienstintegration. Man spricht dann von sog. dienstintegrierenden oder dienstintegrierten Netzen, die verschiedene Verkehrsarten (z.B. Daten-, Sprach- und Audio-/ Videoverkehr) über ein einziges gemeinsames Kommunikationsnetz transportieren. Eine Hauptherausforderung bei der Realisierung und dem Betrieb dienstintegrierender Netze besteht somit darin, die sehr unterschiedlichen Dienstgüteeigenschaften im Zusammenhang mit den verschiedenartigen Typen von Verkehr angemessen zu unterstützen. Hierfür können in Kommunikationsnetzen spezielle Managementkomponenten vorgesehen werden, die die benutzerseitigen Anforderungen an die zu erbringende Dienstgüte entgegennehmen und Vorkehrungen treffen, daß ein Dienstleister die an ihn gestellten Anforderungen möglichst gut (z.B. mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit) erfüllt. Die Managementkomponenten bzw. die durch sie realisierte Funktionalität werden üblicherweise zum sog. Dienstgütemanagement zusammengefaßt.

Das Dienstgütemanagement steht im Zentrum zahlreicher gegenwärtiger Forschungsaktivitäten zu Rechnernetzen. Auch Herr Jan-Peter Richter leistet in seiner Dissertationsschrift wichtige Beiträge zum Thema Dienstgütemanagement in Rechnernetzen. Insbesondere gelingt es ihm in überzeugender Weise, die Spezifikation benutzerseitig geforderter Dienstgüteeigenschaften durch eine formale Beschreibungsmethode zu unterstützen, einen neuen Ansatz für ein adaptives Dienstgütemanagement zu entwickeln und im Rahmen eines neuartigen Transportsystems (FCMTS) für die Übertragung von Mediendaten prototypisch zu realisieren. Überdies verfolgt Herr Richter erfolgreich das Ziel, neue Konzepte der Dienstgütemessung zu erarbeiten und auch deren Tragfähigkeit durch prototypische Implementierung (im FCMT-System) experimentell zu untersuchen.

Die mit der vorliegenden Publikation eröffnete Schriftenreihe mit Beiträgen zu den zukunftssträchtigen Informatikschwerpunkten "Telekommunikation und Rechnernetze" wird Forschungsergebnisse präsentieren, die sich durch signifikanten Theoriegehalt bei gleichzeitiger Praxisrelevanz auszeichnen.

In diesem Sinne stellt die Dissertationsschrift von Herrn Jan-Peter Richter einen nahezu idealen Startpunkt für die neue Schriftenreihe dar, da diese Arbeit neben ihren wertvollen theoretischen Beiträgen eine Vielzahl von Resultaten beinhaltet, die für die praktische Realisierung und den (benutzerorientierten) Betrieb von Kommunikations- und Rechnernetzen bedeutsam sind.

Kurzfassung

Die Beherrschbarkeit einer so komplexen Aufgabe, wie die Verwendung adaptiver Fehlertoleranzverfahren zum Zwecke der Dienstgütereuerung, ist nur möglich, wenn die grundlegenden Konzepte eindeutig definiert und die verwendeten Methoden wohlverstanden sind. Um die vorhandenen Konzepte zu präzisieren und weiterzuentwickeln, wird ein Rahmenwerk allgemeingültiger Dienstgütebegriffe vorgestellt, das unabhängig vom spezifischen Problemfeld der paketorientierten Datenübertragungsdienste ist und es daher erlaubt, Managementprobleme auf allen Ebenen einer komplexen Anwendung in einer einheitlichen, abstrakten Sichtweise zu betrachten. Durch die Verwendung dieser allgemeingültigen Konzepte werden viele Zusammenhänge erstmals explizit, eindeutig und formal erfaßbar ausgedrückt. So erlaubt das Rahmenwerk u.a. die formale Definition von Fehlertypen und geht damit über etablierte, semiformale Fehlertypkonzepte hinaus. Da das Rahmenwerk auf den mathematischen Grundvorstellungen der Cantor'schen Mengenalgebra sowie der Ordnungs- und Relationentheorie basiert, eröffnet sich die Möglichkeit, mit Hilfe der allgemein bekannten Notation dieser Theorien die Dienstgüteeigenschaften von Dienstleister-/Dienstbenutzersystemen formal zu spezifizieren.

Vor dem Hintergrund des formalen Rahmenwerkes werden eine Reihe grundsätzlicher Fragen der Dienstgüteunterstützung durch ein adaptives Management näher beleuchtet. So sollte im Rahmen von Dienstgüteverhandlungen nicht nur eine Dienstgüteschranke sondern auch die Gestalt der Dienstgüteordnung zwischen Dienstbenutzer und Dienstleister aushandelbar sein. Durch diese neuartige Erweiterung des konventionellen Konzepts der Dienstgüteverhandlung wird so auch die Fehlersemantik des unterliegenden Dienstleistersystems durch den Dienstbenutzer beeinflussbar. Gleichzeitig wird durch eine Verhandelbarkeit der Dienstgüteordnung der Dienstleister in die Lage versetzt, seine Ressourcen gezielter im Interesse des Dienstbenutzers einzusetzen, da nun Dienstgüteeigenschaften auf eine bessere Art und Weise graduell gegeneinander gewichtet oder auch als irrelevant eingestuft werden können.

Die Ergebnisse dieser theoretischen Vorarbeiten werden benutzt, um Fragen der Meßmethodik für ein adaptives Dienstgütemanagement zu klären. Eine exakte Zielanalyse macht deutlich, daß tatsächlich zwei Meßaufgaben mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu erfüllen sind. Die Meßaufgabe im Rahmen des Tests auf Erfüllung der Dienstgütevereinbarung ist geprägt durch die Einschränkung der Domäne der Meßgrößen auf die Ereignisse an den betrachteten Dienstzugangspunkten sowie die Notwendigkeit einer hohen Meßgenauigkeit zur Gewährleistung der Garantiesemantik. Bei der Meßaufgabe der Informationsbeschaffung für das adaptive Management ist dagegen die Domäne der Meßgrößen sowie die zu erreichende Genauigkeit der Messung wesentlich von der Auswahl der verwendeten Modelle bestimmt. Daher können Modelle und Meßmethoden nur in sorgfältiger gegenseitiger Abstimmung ausgewählt werden. Die Umsetzung beider Meßaufgaben kann sinnvoll nur mit Methoden des *software monitoring* gelöst werden. Die Analyse der speziellen Eigenschaften der Meßaufgaben führt zu einer adäquaten Methodenauswahl und gibt so einen Leitfaden für ein strukturiertes Vorgehen bei der Umsetzung in einem konkreten System.

Um die dargestellten Zusammenhänge zu illustrieren, wird das *Flexible Continuous Media Transfer System (FCMTS)* vorgestellt, dessen umfassende prototypische Realisierung erstmals eine weitgehende Parametrisierung der Dienstgüteordnung erlaubt sowie ein neuartiges Verfahren zur Auswahl und Veränderung der Protokollmechanismen zur Laufzeit enthält. Die Dienstgüteeigenschaften des FCMT-Dienstleisters werden anhand der Konzepte des eingangs eingeführten Rahmenwerks beschrieben und formal spezifiziert. Zur Lösung der dargestellten Meßaufgaben wird eine geeignete Meßinfrastruktur entwickelt und in das FCMT-System integriert. In einer Reihe von Meßversuchen

wird die Leistungsfähigkeit der Meßinfrastruktur sowie die Wirkungsweise eines adaptiven Dienstgütemanagements mittels Auswahl und Parametrisierung von Mikroprotokollmaschinen dokumentiert.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Bernd E. Wolfinger für die Unterstützung meiner Arbeit, die vielen Ratschläge und fruchtbaren Diskussionen sowie nicht zuletzt für die Freiheit, die er mir stets gab, meine eigenen Ideen entwickeln zu können.

Frau Prof. Dr. Martina Zitterbart möchte ich für ihre wertvollen Hinweise und Korrekturen danken, die zur Vervollständigung dieser Arbeit beigetragen haben.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. Hermann De Meer, der mich in das Forschungsfeld des adaptiven modellgestützten Dienstgütemanagements eingeführt hat.

Schließlich möchte ich allen KollegInnen und StudentInnen, besonders Herrn Dr. G. Bai, Herrn Dipl. Inform. O. Düsterhöft, Herrn Dipl. Ing. H. Ernst, Herrn cand. Inf. M. Fürter, Frau I. Hänig, Herrn Priv. Doz. Dr. K. Heidtmann, Herrn cand. Inf. Chr. Langmann, Frau cand. Inf. H. Sevcikova, Frau cand. Inf. A. Spreckelmeyer, Herrn cand. Inf. S. Weitendorf sowie Herrn Dipl. Inform. M. Zaddach, für die vielen Anregungen und Ideen, für die tätige Mitarbeit und nicht zuletzt für die herzliche Arbeitsatmosphäre in der Arbeitsgruppe Telekommunikation und Rechnernetze meinen Dank aussprechen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Ziele der Arbeit.....	6
1.3 Überblick	9
2 Dienstgütekonzpte in konventionellen Dienstgütearchitekturen	13
2.1 Spezielle Anforderungen bei der Übertragung kontinuierlicher Mediendatenströme.....	13
2.2 Der Dienstgütebegriff in der Literatur	16
2.3 Kriterien für die Beurteilung der Dienstgüte	18
2.3.1 Dienstgütekriterien für den Dienst eines Multimediasystems.....	18
2.3.2 Dienstgütekriterien für den Dienst der ATM-Schicht.....	19
2.3.3 Dienstgütekriterien für den Dienst der ATM-Anpassungsschicht	24
2.3.4 OSI95, Tenet und weitere Ansätze.....	25
2.3.5 Zusammenfassung der Ansätze	26
2.4 Charakterisierung der Anforderungen und Zusicherungen	27
2.4.1 Verifizierte Garantien.....	28
2.4.2 Ergebnisoffene Garantien.....	28
2.4.3 Zusammenfassung der Ansätze und kritische Betrachtung.....	30
2.5 Mechanismen und Strategien zur Dienstgüteunterstützung.....	31
2.5.1 Mechanismen der Dienstgütebereitstellung	31
2.5.2 Mechanismen der Dienstgütekontrolle.....	32
2.5.3 Mechanismen des Dienstgütemanagements.....	33
2.6 Vorschläge zur Dienstgüteunterstützung in IP-basierten Netzen	35
2.6.1 Die <i>integrated services</i> Architektur und RSVP	35
2.6.2 Die <i>differentiated services</i> Architektur	38
3 Vereinheitlichung von Dienstgütekonzpten mit Hilfe eines formalen Ansatzes	41
3.1 Zielsetzung.....	41
3.2 Ein Rahmenwerk zur Beschreibung von Dienstgütekonzpten.....	42
3.2.1 Systemschnitt.....	42
3.2.2 Sitzung.....	44
3.2.3 Dienstgüte.....	46
3.2.4 Dienstgüteparameter	49

3.2.5	Dienstgüteschranke, Dienstgütevereinbarung und Fehler	51
3.2.6	Formale Darstellung des Rahmenwerks	55
3.3	Eine Methode zur Spezifikation von Dienstgüteeigenschaften	62
3.3.1	Reduktion der Komplexität	64
4	Dienstgüteunterstützung durch ein adaptives Management	71
4.1	Zielsetzung	72
4.1.1	Verhandelbarkeit der Fehlersemantik zum flexiblen Einsatz von Fehlertoleranzmaßnahmen	74
4.1.2	Bedarfsgerechte Ressourcennutzung bzw. -zuordnung	75
4.1.3	Optimale Wahl der Redundanzmaßnahme und des Redundanzgrades	80
4.1.4	Der Garantiebegriff	84
4.1.5	Dienstbenutzerorientierte vs. dienstbringerorientierte Sicht	87
4.2	Realisierungsmethode am Beispiel paketorientierter Kommunikationsdienste	93
4.2.1	Flexibilisierung der Protokollabläufe	93
4.2.2	Rückkopplung durch Dienstgütemessung	101
5	Meßkonzepte für ein adaptives Dienstgütmanagement	103
5.1	Konventionelle Meßaufgaben in Kommunikationsnetzen	103
5.2	Dienstgütemessung in der Literatur	105
5.2.1	Dienstgütemessung in ATM-Netzen	107
5.2.2	Dienstgütemessung in IP-basierten Netzen	111
5.2.3	Dienstgütemonitore als Zusatzmodule zur Protokollimplementation	112
5.3	Meßstrategie	116
5.3.1	Überprüfung auf Erfüllung der Dienstgütevereinbarung zur Gewährleistung der Garantiesemantik	116
5.3.2	Informationsbeschaffung für das adaptive Management	119
5.4	Meßmethodik	122
5.4.1	Grundlegende Betrachtungen	122
5.4.2	Exkurs: Zeitmessung in verteilten Systemen	126
5.4.3	Teilaufgaben der Messung	130
6	Beispielanwendung: Das FCMT-System	135
6.1	Anforderungen an das Transportsystem	136
6.1.1	Grundlegende Anforderungen	136
6.1.2	Anforderungen durch spezielle Dienstbenutzer	141
6.1.3	Technische Rahmenbedingungen	144
6.2	Dienstbeschreibung	145
6.3	Dienstgüteunterstützung	149
6.3.1	Dienstgüteordnung	150
6.3.2	Dienstgüteschranke	152
6.3.3	Dienstgütegarantie	153
6.4	Systemarchitektur	154
6.4.1	Dienstschnittstellen	155
6.4.2	Architektur der Protokollmaschinen	158

7 Dienstgütemessung im FCMT-System	167
7.1 Die Meßaufgabe des Tests auf Erfüllung der Dienstgütevereinbarung.....	167
7.1.1 Exkurs: Lokalität des Testverfahrens	167
7.1.2 Granularitätsebene der <i>Intervalle</i>	169
7.1.3 Granularitätsebene der <i>Rahmen</i>	171
7.1.4 Granularitätsebene der <i>Scheiben</i>	174
7.1.5 Zusammenfassung und Umsetzung	181
7.2 Die Meßaufgabe der Informationsbeschaffung für das adaptive Management	184
7.2.1 Leistungsaspekte der Transportschicht	185
7.2.2 Leistungsaspekte des Vermittlungsdiensterbringers	186
7.3 Validierung der Meßinfrastruktur.....	194
7.3.1 Dienstgütemessung am Transportdienstzugangspunkt	194
7.3.2 Messung von Leistungsgrößen am Vermittlungsdienstzugangspunkt	202
7.4 Wirkungsweise eines adaptiven Dienstgütemanagements mittels Auswahl und Parametrisierung von µP-Maschinen.....	207
8 Schlußbemerkungen	217
8.1 Zusammenfassung	217
8.2 Ausblick	219
Literaturverzeichnis	221
A Spezifikation der Dienstgüteeigenschaften für den FCMT-Diensterbringer A-1	
A.1 Grundlegende Festlegungen	A-1
A.2 Dienstgüte auf der Granularitätsebene der <i>Scheiben</i>	A-3
A.2.1 Umgangssprachliche Darstellung des Dienstes.....	A-3
A.2.2 Konstruktion der Dienstgütespezifikation.....	A-4
A.3 Dienstgüte auf der Granularitätsebene der <i>Rahmen</i>	A-15
A.3.1 Umgangssprachliche Darstellung des Dienstes.....	A-15
A.3.2 Konstruktion der Dienstgütespezifikation.....	A-16
A.4 Dienstgüte auf der Granularitätsebene der <i>Intervalle</i>	A-34
A.4.1 Umgangssprachliche Beschreibung des Dienstes	A-34
A.4.2 Konstruktion der Dienstgütespezifikation.....	A-34
B Vergleich zwischen Stichprobenmethode und Ereignisregistrierung als Test auf Erfüllung der Dienstgütevereinbarung	B-1
B.1 Gütekriterien für Tests auf Erfüllung der Dienstgütevereinbarung.....	B-1
B.2 Exemplarische Tests in einer einfachen Dienstgüteordnung.....	B-1
B.2.1 Der ereignisregistrierungsbasierte Test	B-2
B.2.2 Der klassische stichprobenbasierte Test mit Konfidenzintervall	B-2
B.2.3 Der verbesserte stichprobenbasierte Test	B-4

Abbildungsverzeichnis

1-1	Strukturierungsmöglichkeit für ein Dienstgütemanagementsystem.....	6
2-1	Implizite und explizite Signalisierung der Zeiteigenschaften der Abschnitte.....	15
2-2	3x3-Matrix zur Klassifikation von Dienstgütekriterien	21
2-3	Zellübertragungsergebnisse (nach [ITU93b])	22
3-1	Formale Fehlertypen (Beispiel)	54
3-2	Fehlertypkarten für eine (a) zulässige und (b) überbestimmte Dienstgüteschranke	61
4-1	ATM-Zellkopfstruktur.....	77
4-2	Angebotene Dienstgütevereinbarung für Einzelzellübertragungen am ATM-SAP	78
4-3	Gewünschte Dienstgütevereinbarung am ATM-SAP aus der Sicht der AAL-1	79
4-4	Primäre und sekundäre Sitzungen beim Problem der Dienstgüteabbildung	89
4-5	Optionsindikatoren der XTP-Paketköpfe	95
4-6	Schichtenbasierte Multimedia-Architektur und Mechanismen für eine Dienstgüteunterstützung durch XTPX (nach [MiO95])	96
4-7	Das funktionsbasierte Kommunikationsmodell von FuKSS (nach [ZST93]).....	98
4-8	Abhängigkeiten der Protokollfunktionen von den qualitativen Kriterien (nach [ZST93])	99
5-1	Ermittlung des Zeitabstands zweier lokaler Uhren nach [Cri89]	128
6-1	Fehlerausbreitung bei der Übertragung MPEG-kodierter Datenströme.....	142
6-2	Begrenzte Fehlerausbreitung durch begrenzt verspätete Datenauslieferung.....	143
6-3	Timing einer FCMT-Verbindung	148
6-4	FCMT-Systemarchitektur (Grobgliederung).....	154
7-1	<i>Aliasing</i> -Effekt als Auslöser <i>fataler Fehler</i> auf Ebene der <i>Scheiben</i>	176
7-2	Histogramm der Bitfehlerabschnittslängen im <i>walking</i> -Szenario	178
7-3	Fehlerverhältnisse im <i>walking</i> -Szenario.....	180
7-4	Testergebnisse im <i>walking</i> -Szenario	180
7-5	Verfahren zur Bewertung des Paketüberholungsverhaltens	190
7-6	Verfahren zur Bewertung des Paketverlustverhaltens	192
7-7	Versuchsaufbau der Validierungsexperimente	196
7-8	Parameter des ersten Experiments	198
7-9	Ergebnisse des ersten Experiments	198
7-10	Parameter des zweiten Experiments	200
7-11	Ergebnisse des zweiten Experiments.....	201
7-12	Parameter des dritten Experiments.....	203
7-13	Ergebnisse der Messung der Nullpunktverschiebung im dritten Experiment	204
7-14	Ergebnisse der Messung des Parameters λ im dritten Experiment	205
7-15	Ergebnisse der Messung des Paketverlust- und -überholungsverhaltens im dritten Experiment	206
7-16	Versuchsaufbau des vierten Experiments.....	207
7-17	Parameter des vierten Experiments	209

7-18	Gemessene Nullpunktverschiebung im vierten Experiment	210
7-19	Gemessene zufällige Verzögerungskomponente im vierten Experiment.....	211
7-20	Gemessenes Paketverlust- und -überholverhalten im vierten Experiment.....	212
7-21	Zeitbudget der zweiten Phase des vierten Experiments	213
7-22	resultierende Dienstgüte im vierten Experiment: Dienstgüteparameter.....	215
A-1	Der Dienstgüteparameter $\geq_b$	A-9
A-2	Der Dienstgüteparameter $\geq_i$	A-10
A-3	Die Dienstgüteordnung $\geq_{s_Q}$ auf Granularitätsebene der <i>Scheiben</i>	A-11
A-4	Fehlertypen bezüglich $\left(\geq_{s_Q}, \overset{s}{z}_1\right)$	A-13
A-5	Fehlertypen bezüglich $\left(\geq_{s_Q}, \overset{s}{z}_2\right)$	A-14
A-6	Mögliche Sitzungen auf Granularitätsebene der <i>Rahmen</i>	A-20
B-1	Signifikanzniveaus der verbesserten stichprobenbasierten Tests für $n=10$ und $h_z=8$	B-5
B-2	Maximale Wahrscheinlichkeiten für Fehler zweiter Ordnung bei verbesserten stichprobenbasierten Tests für $n=10$ und $h_z=8$	B-6