

Universität Leipzig
Fakultät für Mathematik und Informatik
Institut für Informatik
LS Rechnernetze und Verteilte Systeme
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Irmscher

Auftragsnummer: TK602-NT122
Projektitel: CoS-Konzepte im Gigabit-Wissenschaftsnetz
Projektnummer
Universität Leipzig: 2121-0050

Abschlussbericht zum BMBF/DFN-Projekt CoS-Konzepte im Gigabit-Wissenschaftsnetz

Autoren: Jean-Alexander Müller (jeanm@informatik.uni-leipzig.de)
Sven Heßler (hessler@informatik.uni-leipzig.de)
Klaus Mochalski (mochalski@informatik.uni-leipzig.de)
Klaus Irmscher (irmscher@informatik.uni-leipzig.de)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1. Allgemeine Angaben	1
1.1. Projektdaten	1
1.2. Organisatorische Aspekte	1
2. Einführung	4
3. Architektur	5
3.1. Skizze des Ansatzes	5
3.2. Komponenten der Architektur	6
4. Einsatz im G-WiN	8
4.1. Integration von Einrichtungen mit kleinen Netzen	8
4.2. Integration von großen Campusnetzen	9
4.3. Unterteilung des G-WiN in DiffServ-Domains	10
5. Dienste	12
5.1. Dienste und deren technische Realisierung	12
5.2. Dienstdefinitionen	13
5.3. Definition und Implementierung von Diensten	13

5.4. Dienstverträge und Dienstspezifikationen	15
5.5. Abrechnung genutzter Dienste	16
6. Prototyp – Demonstration	18
7. Passive Netzwerkmessungen im Rahmen des Projekts CoS-Konzepte	23
7.1. Konfiguration und Installation des Messsystems	23
7.2. Die Leipzig-I- und Leipzig-II-Datensätze	24
7.3. Echtzeitanalyse passiver Netzwerkmessungen	24
7.4. Passive Messungen zur Dienstgüteüberprüfung	26
8. Zusammenfassung und Ausblick	27
Literatur	29
A. Abbildungen zu den Testergebnissen	31
B. Überblick der Arbeitsergebnisse des Projekts CoS-Konzepte	35
B.1. Projekt Meilensteine	35
B.2. Projekt Homepage - http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win	36
B.3. Vorträge und Berichte	37

Abbildungsverzeichnis

1.	Hierarchie der DiffServ-Domains in großen Campusnetzen	9
2.	Zentralistische und kooperative Varianten der Unterteilung des G-WiN in DiffServ-Domains	10
3.	Test-Topologie	18
4.	Wartezeiten Teilbaum 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$	20
5.	Wartezeiten Teilbaum 1, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$	20
6.	Wartezeiten bb20101 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$	21
7.	Wartezeiten bb20101, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$	21
8.	Wartezeiten bb31301 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$	21
9.	Wartezeiten bb31301, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$	21
10.	Messpunkt am G-WiN-Zugang der Universität Leipzig	23
11.	Histogramm der Paketzwiseabstände	25
12.	3-D-Darstellung einer 30-Sekunden-Sequenz einzelner Histogramme	25
13.	Wartezeiten Teilbaum 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$	31
14.	Wartezeiten Teilbaum 1, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$	32
15.	Wartezeiten bb20101 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$	32
16.	Wartezeiten bb20101, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$	33
17.	Wartezeiten bb31301 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$	33
18.	Wartezeiten bb31301, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$	34

Tabellenverzeichnis

1.	Dienste-Hierarchie im G-WiN	14
2.	Ende-zu-Ende-Signalisierungszeit für Test-Nr. 01, 11	19
3.	Ende-zu-Ende-Signalisierungszeit für $NRU = 1, 10, 100, 300$	22
4.	Leipzig-I- und Leipzig-II-Datensätze	24

Abkürzungsverzeichnis

<i>AF</i>	Assured Forwarding
<i>BB</i>	Bandwith Brooker
<i>CoS</i>	Class of Service
<i>DiffServ</i>	Differentiated Services
<i>EF</i>	Expedited Forwarding
<i>ITU</i>	International Telecommunication Union
<i>LAN</i>	Local Area Network
<i>MDRR</i>	Modified Deficit Round Robin
<i>PQ</i>	Priority Queue
<i>SLA</i>	Service Level Agreement
<i>SLS</i>	Service Level Specification
<i>UBI</i>	User Bandwidth Broker Interaction
<i>URL</i>	Uniform Ressource Location

1. Allgemeine Angaben

1.1. Projektdaten

Titel: CoS-Konzepte im Gigabit-Wissenschaftsnetz
Förderung: BMBF
Projektträger (AG): DFN e.V., Berlin
Dr. J. Rauschenbach
Auftragnehmer (AN): Universität Leipzig,
Fakultät für Mathematik und Informatik,
Institut für Informatik,
Lehrstuhl Rechnernetze und Verteilte Systeme
Augustusplatz 10-11, 04109 Leipzig
Leitung beim AN: Prof. Dr. Klaus Irmscher
Tel.: (0341) 97 32271, Fax.: (0341) 97 32289
E-Mail: irmscherinformatik.uni-leipzig.de
Laufzeit: 01. Juli 2001 - 30. Juni 2003
Projektneutrale Verlängerung bis 31.12.2003
Projekt-Aktenzeichen: DFN Berlin: TK 602 - NT 122
Universität Leipzig: 21210050

1.2. Organisatorische Aspekte

Projektbearbeitung

Im Laufe des Projektzeitraums 01.07.2001 bis 31.12.2003 (inkl. projektneutraler Verlängerung) wurde die Projektbearbeitung wie folgt ausgestaltet:

Landesfinanziert :

Prof. Dr. Klaus Irmscher (Projektleiter, Univ.-Professor)
Dipl.-Inf. Jean-Alexander Müller (Projektkoordinator, wiss. Mitarbeiter)
Dipl.-Inf. Uwe Tönjes (wiss. Mitarbeiter, zeitweise)

Projektfinanziert :

Dipl.-Inf. Sven Hessler (wiss. Mitarbeiter, 01.10.2001- 31.10.2003)
Dipl.-Phys. Thomas Hoffmann (wiss. Mitarbeiter, 01.10.2001 - 31.08.2002)
Dipl.-Inf. Jens Käthner (wiss. Mitarbeiter, 01.09.2002 - 31.08.2003)
Dipl.-Inf. Klaus Mochalski (wiss. Mitarbeiter, 15.04.2002 - 31.07.2002 / 01.07.2003)

- 31.10.2003)
sowie studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte.

Neben den laut Projektantrag und Projektgenehmigung zu erfüllenden Aufgaben wurden begleitend dazu Arbeiten zu passiven Messung im Internet durchgeführt, die vorrangig von Herrn Dipl.-Inf. Klaus Mochalski wahrgenommen wurden.

Mittelverwaltung, rechnerischer Nachweis

Die Mittelverwaltung gegenüber dem Fördergeber BMBF/DFN oblag der zentralen Verwaltung der Universität Leipzig, Dezernat 1, Sachgebiet 11.

Der rechnerischer Nachweis zur Mittelverwendung erfolgt getrennt und wird über das Sachgebiet 11 und den Kanzler der Universität Leipzig direkt an den Projektträger DFN e.V. Berlin gereicht. Der abschließende rechnerische Verwendungsnachweis zum Stand 31.12.2003 weist keine Überziehung der Fördersumme aus. Insgesamt wurden über den Zeitraum von 30 Monaten ca. 3.700,- Euro nicht verbraucht (ca. 1,4 % der Gesamtsumme), bedingt durch geringere Inanspruchnahme der Dienstreisemittel und Einsparung bei Gerätekosten.

Die Personalmittel wurden zur Finanzierung der Drittmittelstellenmitarbeiter eingesetzt, ergänzt durch Finanzierungen von studentischen Mitarbeiter, die im Projekt eingesetzt wurden. Die soziale Struktur der Drittmittelbearbeiter sowie der verspätete Projektbeginn erlaubte eine kostenneutrale Verlängerung, die vom Projektträger mit Schreiben vom 28.01.2003 auf Antrag genehmigt wurde. Die Grundausstattung (u.a. Arbeitsplatzrechner) wurden von der Universität Leipzig bereitgestellt. Die Sachmittel wurden wie vorgesehen im Rahmen der Projektbearbeitung eingesetzt. Die Sachmittel in der Position 831 dienten der spezifischen Komplettierung der Signalisierungsstruktur im Labor sowie dem Aufbau der Messtechnik für die passiven Messungen im Internet. Dazu wurden beim Projektträger Entsperrungen beantragt und genehmigt.

Als Dienstreisen wurden im wesentlichen projektbezogene Tagungsteilnahmen, ein USA-Aufenthalt (genehmigter Antrag und Entsperrung) sowie Dienstreisen im Rahmen der Besprechungen beim Projektträger durchgeführt, u.a.

- 14. DFN-Jahrestagung über Kommunikationsnetze. Universität Düsseldorf, 14.-16.06.2000. Düsseldorf (Irmischer, Müller)
- IETF-Workshop, USA, Salt Lake City, 2002 (Hessler)
- 2. MMB-Arbeitsgespräch "Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen". Universität Hamburg,

19.-20. September 2002 (Müller, Mochalski)

- 13. ITG/GI-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS03)". Universität Leipzig, 25.-28. Febr. 2003 (Irmscher, Müller, Mochalski)
- Workshop on Quality of Service, Monitoring and End-to-End Performance. FhG Fokus, 07.04.2003, Berlin (Hessler, Müller, Käthner, Mochalski)
- 18th International Teletraffic Congress (ITC18). 31.08.-05.09.2003, Berlin (Irmscher, Müller).
- Workshop zu Dienstleistungen des BMBF. 11.-12.12.2003, Berlin (Hotzky)
- Arbeitstagungen zu QoS-Projekte des DFN. 2001, 2002. Berlin (Müller, Mochalski)
- DFN-Betriebstagungen, Berlin 2002, 2003 (Tönjes)

Eine Abschlusspräsentation ist geplant im Rahmen der QoS-Initiative des Projektträgers. Die Organisation und Durchführung liegt in Verantwortung des Projektträgers, erfolgt aber außerhalb des Projektzeitraumes

Danksagung Das Projektteam möchte sich bei den zuständigen Stellen im fördernden Ministerium BMBF und beim Projektträger DFN e.V. Berlin, insbesondere bei Herrn Dr. Jürgen Rauschenbach für die sachkundige Begleitung des Projekts bedanken.

2. Einführung

Dieser Abschlussbericht beinhaltet eine Zusammenfassung der im Projekt 'CoS-Konzepte im Gigabit-Wissenschaftsnetz' erzielten Ergebnisse und präsentiert Resultate, die in der letzten Phase des Projekts erzielt wurden.

Das Ziel des Projekts ist die Evaluation einer funktionierenden Beispiellösung zur Bereitstellung von Dienstgüte im G-WiN und angeschlossenen Kundennetzen anhand einer prototypischen Implementierung. Das im Rahmen des Projekts umgesetzte Modell basiert auf drei Säulen:

- der Differenzierung von Diensten in Netzwerkkomponenten,
- der Definition umsetzbarer Dienste und
- einer Infrastruktur zur anforderungsgesteuerten Ressourcenzuteilung.

Zunächst wurde eine Analyse existierender Ansätze und Protokolle sowie eine Evaluation der Merkmale der existierenden Infrastruktur vorgenommen. Es sollte untersucht werden, welche standardisierten Protokolle für die Implementierung genutzt werden können und Überschneidungen mit anderen Ansätzen auszunutzen. Weiterhin sollte überprüft werden, welche Mechanismen zur Differenzierung von Diensten genutzt werden und welche Schnittstellen zur Steuerung dieser zur Verfügung stehen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen war, dass bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine nutzbaren Standards zur Bereitstellung und Zuteilung von Kommunikationsdiensten auf der Basis von Differentiated Services existieren. In ähnlicher Weise gestaltet sich die Akzeptanz von Infrastrukturen, die ursprünglich zur Integration von Authentisierungs- und Abrechnungsmechanismen vorgesehen waren. In Folge dessen musste ein eigener Ansatz entwickelt und evaluiert werden.

Der Abschlussbericht fasst die in den einzelnen Meilensteinen erzielten Ergebnisse zusammen und gliedert sich wie folgt: Im ersten Teil wird der Ansatz skizziert und die Komponenten der prototypischen Implementierung erläutert. Darauf aufbauend wird in Kapitel 4 die Aufteilung des G-WiN sowie der angeschlossenen Campusnetze in DiffServ-Domains diskutiert. Jeder DiffServ-Domain wird eine Softwareinstanz (Bandbreitenmanager) zur Verwaltung der Ressourcen der Domain zugeordnet. Ziel der Aufteilung ist die Reduktion der Last dieser Softwareinstanzen zur Verbesserung der Antwortzeiten bei der Ressourcenanforderung. Kapitel 5 beschreibt die Ergebnisse der Definition von höherwertigen Diensten und gibt Empfehlungen zur Formulierung von Dienstverträgen. Das Kapitel schließt mit der Darstellung des entwickelten Abrechnungsmodells. Die in Experimenten mit der prototypischen Implementierung erzielten Ergebnisse werden in Kapitel 6 zusammengefasst. Der Meilenstein schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf zukünftige Arbeiten. Im Anhang ist neben vergrößerten Abbildungen der in Kapitel 6 angeführten Diagramme eine Auflistung der Meilensteine, Publikationen und Vorträge zu finden.

3. Architektur

Das Projekt beschäftigt sich mit einer Lösung basierend auf Dienstklassen. Eine solche kann mit der existierenden Infrastruktur sofort realisiert werden. Dabei wird das Modell der Differentiated Services zugrunde gelegt. Auf der Basis von Dienstklassen, können nur begrenzt Dienstgarantien bereitgestellt werden. Wie in [13] diskutiert, ist der Nutzungsgrad zwischen bereitgestellter Kapazität und möglicher Dienstnutzung eines solchen Ansatzes schlecht, da die Flussrichtung der einzelnen Pakete unbekannt ist. Es muss angenommen werden, dass jedes Paket jede Kante des Netzwerkes einmal durchläuft, obwohl dies unrealistisch ist.

Der im Projekt verfolgte Ansatz basiert auf der Erweiterung des Differentiated Services Modells um dynamische Zugangskontrollmechanismen, zu den so genannten absoluten Differentiated Services. Die Dynamik erlaubt die Durchführung der Verkehrsplanung und damit der Zugangssteuerung über den eigentlichen Flussrichtungen der Daten. Dadurch erreicht der Ansatz eine höhere Effizienz im Vergleich zu dem ursprünglichen Modell. Die Herausforderung des Ansatzes liegt in der notwendigen Reduktion der Statusinformationen, die zur Verkehrsplanung benötigt werden. Mit wachsendem Detailreichtum wird die Skalierbarkeit des Ansatzes – ähnlich wie es IntServ unterstellt wird – gefährdet. Ein zu geringer Detailreichtum führt andererseits zu Lasten der Effizienz oder der Güte, mit der die Zusicherungen des Dienstes ausgesprochen werden können.

3.1. Skizze des Ansatzes

Um die notwendige Verkehrsplanung pfadgenau durchführen zu können, muss sie tatsächlich entlang des Pfades geführt werden. Aus diesem Grund kann eine Verbesserung der Skalierbarkeit nur durch Generalisierung der Statusinformationen erreicht werden. Diese Generalisierung ist dabei auf die Bedürfnisse einzelner Netzbereiche anzupassen. Erreicht wird dies mit den im folgenden beschriebenen Schritten der Abbildung realer Datenströme auf generische Datenströme, die als virtuelle Kanäle bezeichnet werden, und einer Aufteilung der Datenpfade anhand von Aggregationspunkten.

Virtuelle Kanäle Die Beschreibungen der Verkehrsprofile zweier Datenströme lassen sich am besten zusammenfassen, wenn sie identisch sind. In diesem Fall muss nur die Anzahl der Datenströme protokolliert werden, die dem Verkehrsprofil zuzuordnen sind. Dieser Umstand wird in diesem Ansatz ausgenutzt. Für jede Dienstklasse wird genau ein zulässiges Verkehrsprofil definiert, auf das alle realen Datenströme abgebildet werden. Die zu speichernden und weiterzuleitenden Statusinformationen bezüglich der Dienstaussnutzung reduzieren sich so auf die Anzahl der aggregierten Datenströme, die Anzahl der dafür genutzten virtuellen Kanäle und der Kennung der Dienstklasse.

Reduktion der Pfad-Informationen Im weiteren muss vermieden werden, dass für jeden Datenstrom oder virtuellen Kanal detaillierte Statusinformationen über Quelle und Ziel entlang des Transportpfades verbreitet und gespeichert werden müssen. Ausgenutzt wurde eine besondere Eigenschaft der virtuellen Kanäle. Die Signalisierung wird nicht wie sonst üblich Sender- oder Empfängerbasiert durchgeführt. Stattdessen wird die Signalisierung gleichzeitig von beiden Seiten initiiert und bis zu einem gemeinsamen Kulminationspunkt (ein gemeinsamer Dienstanbieter) geführt. Ähnlich der Aggregation der realen Datenströme können mehrere Signalisierungen mit dem gleichen Kulminationspunkt aggregiert und dadurch eine Reduktion des Signalisierungsaufwands erreicht werden.

Reduktion der Komplexität des Netzwerkes Anstatt jedem Knoten/Router eines Netzes genau einen Bandbreitenmanager als Instanz zur Zugangskontrolle zur Seite zu stellen, werden Bereiche des Netzwerkes zu so genannten *DiffServ-Domains* zusammengeschlossen. Für seine Nachbarn verhalten sich diese DiffServ-Domains wie einzelne Knoten. Die Zusammenfassung der Knoten berücksichtigt sowohl administrative Gegebenheiten als auch die Zusammenfassung von eng benachbarten Kulminationspunkten. Dadurch wird eine weitere Reduktion der Komplexität des Gesamtsystems erreicht. Einerseits verringert sich die Anzahl der potentiellen Kulminationspunkte und damit auch die von einem Knoten zu verwaltenden virtuellen Kanäle. Andererseits wird die Anzahl der zur Signalisierung notwendigen Zwischenschritte reduziert.

DiffServ-Domains DiffServ-Domains bieten sich untereinander Dienste von einer benachbarten DiffServ-Domain zu einer anderen benachbarten DiffServ-Domain an. Die Nachbarn werden dabei als Blattknoten des von der DiffServ-Domain repräsentierten Netzwerkes angesehen. Benachbarte DiffServ-Domains handeln untereinander Dienstspezifikationen aus. Aus den von Nachbarn bereitgestellten Diensten und den in der eigenen DiffServ-Domain verfügbaren Diensten formuliert der Bandbreitenmanager weitere Dienstspezifikationen, die den benachbarten DiffServ-Domains angeboten werden. Die an einem Kulminationspunkt zur Verfügung gestellten Dienste werden dadurch bis zum Rand des gesamten Netzwerkes vererbt.

3.2. Komponenten der Architektur

Zur Umsetzung der Architektur sind folgende Hard- und Softwarekomponenten erforderlich:

Kern-Bandbreitenmanager Die Kernfunktionalität der Architektur wird durch den Kern-Bandbreitenmanager zur Verfügung gestellt. Für jede DiffServ-Domain muss eine Instanz dieses Bandbreitenmanagers mit einer eindeutigen Adresse (URL) gestar-

tet werden. Er integriert sich über die Instanzen in benachbarten DiffServ-Domains in das Gesamtsystem und erhält so einen Blick auf die im Netz verfügbaren Dienste und Dienstanbieter. Der Kern-Bandbreitenmanager übernimmt die Aufgabe der anforderungsgesteuerten Zuteilung von Ressourcen innerhalb der DiffServ-Domain an benachbarte DiffServ-Domains bzw. Software-Instanzen über die Nutzer Reservierungen vornehmen können. Sofern zusätzlich zu den lokalen Ressourcen noch Dienste von anderen Dienst Anbietern erforderlich sind, fordert der Kern-Bandbreitenmanager als Dienstanbieter Ressourcen bei dem jeweiligen Dienstanbieter an. Im Zusammenspiel mehrerer Kern-Bandbreitenmanager wird der virtuelle Kanal von der Quelle zum Kulminationspunkt (Upstream) oder der virtuelle Kanal vom Kulminationspunkt zum Ziel bereitgestellt.

UBI-Bandbreitenmanager Zur Bereitstellung von Ende-zu-Ende-Diensten wird eine Softwarekomponente benötigt, die die Verknüpfung der beiden Teilpfade (Upstream und Downstream) durchführt und die Einbringung von Reservierungswünschen in das System ermöglicht. Diese Interaktionen zwischen System und Nutzer sowie zwischen den Kern-Bandbreitenmanagern an den Endpunkten eines Kommunikationspfades übernimmt der UBI-Bandbreitenmanager (UBI steht für *User-BandwidthBroker-Interaction*). Dessen Instanzen sind entsprechend in lokalen Netzen (LAN) zu finden. Sie haben ebenfalls eine global eindeutige Adresse.

Anwendungsschnittstellen Der Zugang zu differenzierten Transportdiensten erfordert die Bereitstellung einer Beschreibung der verfügbaren Dienste sowie von Schnittstellen und Protokollen zur Anforderung solcher Dienste. Bisher existiert kein einheitlicher Standard zur Umsetzung derartiger Schnittstellen und Protokolle. Aufgrund des prototypischen Charakters erheben die im Projekt geschaffenen Schnittstellen und Protokolle keinen Anspruch auf Vollständigkeit, können jedoch als Empfehlung in zukünftige Standardisierungsbemühungen dienen.

Systemschnittstellen Die Skalierbarkeit der DiffServ-Modells wird u.a. durch die Annahme der Konformität des eingespeisten Verkehrs zu den in der Reservierung angegebenen Parametern erreicht. In der Folge muss ein Ansatz zur dynamischen Zugangskontrolle sicherstellen, dass der von einer Workstation oder ähnlichen Endgeräten gesendete Verkehr überprüft und gegebenenfalls angepasst wird. Dies muss nicht notwendigerweise innerhalb der Workstation erfolgen, sondern kann vom ersten Router im Kommunikationspfad (sog. *First-Hop-Router*) übernommen werden. Zur Steuerung müssen diese Systeme Möglichkeiten zur Verkehrsanpassung sowie Schnittstellen zur Steuerung dieser anbieten. Obwohl die Verfügbarkeit solcher Schnittstellen für die prototypische Implementierung und Evaluation nicht notwendig ist, wurden Überlegungen dazu angestellt, um den Aufwand bei der Einführung in einer Produktionsversion abschätzen zu können.

Monitoring Systeme Es besteht die Möglichkeit, dass Abweichungen bei der Berechnung der verfügbaren Ressourcen oder bestimmte Eigenschaften der Netzwerkkomponenten zu einem Fehlverhalten des Gesamtsystems führen. Zur Überprüfung der Berechnungsmodelle können zum Teil Simulationen herangezogen werden. Die Validierung der Hardware im einzelnen sowie als Netzwerk bedarf der Überwachung durch Messsysteme. Im Rahmen des Projektes erscheint insbesondere die Überprüfung der sog. *First-Hop-Router* als wünschenswert.

4. Einsatz im G-WiN

Zur Umsetzung der Architektur im G-WiN müssen die verschiedenen organisatorischen Einheiten (G-WiN, Campusnetze) in so genannte DiffServ-Domains aufgeteilt werden. Prinzipiell ist es möglich, dass diese organisatorischen Einheiten nicht weiter unterteilt werden. Dies ist aus zwei Gründen nicht empfehlenswert:

- Sowohl für die Campusnetze als auch für das G-WiN gilt, dass mit der Anzahl der angeschlossenen Kunden (Workstations im Campusnetz bzw. Kunden des DFN e.V.) die Anzahl parallel laufender Reservierungen wächst. In der Folge wächst die Anzahl der zu verwaltenden Daten und die Wahrscheinlichkeit, dass eingehende Anforderungen auf die Bearbeitung noch unbearbeiteter Anforderungen warten müssen. Dies kann im Prozess der Ende-zu-Ende-Reservierung zu signifikanten Verzögerungen führen.
- Die Komplexität der Architektur, insbesondere die Anzahl der zu verwaltenden Tunnel, wird von der Anzahl der Nachbarn einer DiffServ-Domain linear bestimmt. Die Abbildung der Reservierungen als Anzahl virtueller Kanäle die einem Tunnel zugeordnet werden, bietet eine dem Ansatz inhärente Reduktion der zu verwaltenden Reservierungsdaten. Durch eine weitere Unterteilung der DiffServ-Domains kann die Anzahl der Tunnel zum Teil deutlich reduziert und weitere Maßnahmen zur Reduktion der wartenden Anforderungen vorgenommen werden.

4.1. Integration von Einrichtungen mit kleinen Netzen

Innerhalb der angeschlossenen Einrichtungen sind im allgemeinen hierarchische Strukturen zu finden, die eine Unterteilung begünstigen. Ob eine solche Unterteilung vorgenommen werden sollte, ist abhängig von der zu erwartenden Last am Bandbreitenmanager. Falls die Anzahl der Hosts, die prinzipiell Ressourcenanforderungen stellen können, sehr klein ist, beispielsweise in Einrichtungen mit einem dünn besetzten Klasse C Netz, ist eine Unterteilung nicht notwendig. Die Anzahl der im Bandbreitenmanager auf Verarbeitung

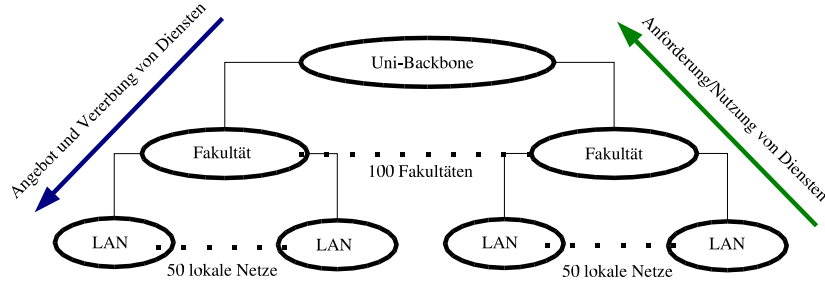


Abbildung 1: Hierarchie der DiffServ-Domains in großen Campusnetzen

wartenden Ereignisse und die Zahl der zu verwaltenden Ende-zu-Ende-Reservierungen sollte vergleichsweise klein sein. Die tatsächliche Auslastung ist nicht per se vorhersagbar, da – aufgrund der fehlenden Infrastruktur – bisher keine statistischen Daten über die Nutzung von Reservierungssystemen vorliegen. Es erscheint aber unwahrscheinlich, dass alle Nutzer einer Einrichtung simultan mit allen anderen eine oder mehrere Punkt-zu-Punkt-Verbindungen aufrecht erhalten. In dem unwahrscheinlichen Fall würde die Anzahl der Reservierungen in einem Netz mit 200 Hosts ein Vielfaches von 200^2 betragen. In Orientierung am Telefonsystem ist es eher wahrscheinlich, dass nur ein kleiner Teil der Nutzer simultan höherwertige Dienste nutzt, so dass die Anzahl der Reservierungen bestenfalls linear mit der Anzahl der Nutzer wächst. In diesem Fall wird eine Unterteilung des Netzes nicht empfohlen.

4.2. Integration von großen Campusnetzen

Ein Großteil der am G-WiN angeschlossenen Hochschuleinrichtungen verfügt über Campusnetze mit einer hohen Anzahl von Nutzern. Die innere Struktur des Netzes wird dabei hauptsächlich von der Unterteilung in Fakultäten und der davon ausgehenden Unterscheidung in kleinere Einheiten (Institute, Arbeitsgruppen usw.) geprägt. In Abbildung 1 wird beispielhaft eine Aufteilung des Netzes der Universität Leipzig in verschiedene DiffServ-Domains dargestellt. Der abgebildete Baum repräsentiert die Anbieter-Kunden-Beziehungen dessen Wurzel für das vom Rechenzentrum betriebene Backbone der Universität steht. Daran angeschlossen sind die Teilnetze der Fakultäten, an denen die lokalen Netze der einzelnen Arbeitsgruppen direkt angebunden sind. Durch die Zusammenfassung von Reservierungen zu Upstream- bzw. Downstream-Tunneln auf jedem Niveau des Baumes reduziert sich die Anzahl der von den Bandbreitenmanagern in den N Fakultäten zu verwaltenden Reservierungen auf N Tunnel pro Dienstklasse. N ist der Rang der Wurzel des Baumes. Auf dem Niveau der lokalen Netze sind neben den Tunneln zur Wurzel die Tunnel im Teilbaum der Fakultät zu berücksichtigen. Das heißt, bei M lokalen Netzen innerhalb der Fakultät sind insgesamt $M + N$ Tunnel pro Dienst zu verwalten. Einzuschränken ist, dass dies nur die maximale Anzahl zu verwaltender

Tunnel angibt. Tatsächlich sind nur solche Tunnel zu verwalten, denen tatsächlich aktive Reservierungen zugeordnet sind. Die Anzahl der Fakultäten einer Universität sowie deren Unterteilung in Institute und Arbeitsgruppen ist im allgemeinen kleiner als $N = 100$ bzw. $M = 50$, so dass die Anzahl der im schlechtesten Fall zu verwaltenden Tunnel mit ca. 150 als sehr gering eingestuft werden kann.

4.3. Unterteilung des G-WiN in DiffServ-Domains

Das G-WiN verbindet die Campusnetze zu einer neuen Hierarchie. Aufgrund der hohen Anzahl von Mitgliedern bzw. Kunden des DFN e.V. (ca. 550, Stand 2003) würde der Rang der neuen Wurzel – gebildet aus dem gesamten G-WiN – einen Wert von ca. 550 erreichen. Das heißt, jeder Bandbreitenmanager einer untergeordneten Domain müsste zusätzlich bis zu 550 Tunnel verwalten. Die oben angenommene Summe würde dadurch von 150 auf 700 Tunnel anwachsen. Diese Anzahl ist von der prototypischen Implementierung problemlos handhabbar. Eine solche Aufteilung sollte aufgrund der zentralen Stellung des Bandbreitenmanagers im G-WiN jedoch vermieden werden. Mit dessen Verfügbarkeit steht und fällt auch die Verfügbarkeit der Kommunikation mit höherwertigen Diensten zwischen Kunden des DFN (Die Verfügbarkeit des *Best Effort* Dienstes ist nicht an diesen Bandbreitenmanager gebunden). Gleichermäßen problematisch erscheint die Gefährdung der Skalierbarkeit durch die potentiell hohe Anzahl simultan auf Verarbeitung wartender Ereignisse (Reservierungswünsche u.ä.). Es sei wiederum darauf hingewiesen, dass statistische Daten fehlen, um diese Aussagen analytisch zu belegen. Es wird daher von den Erfahrungen mit typischen Client-Server-Architekturen ausgegangen.

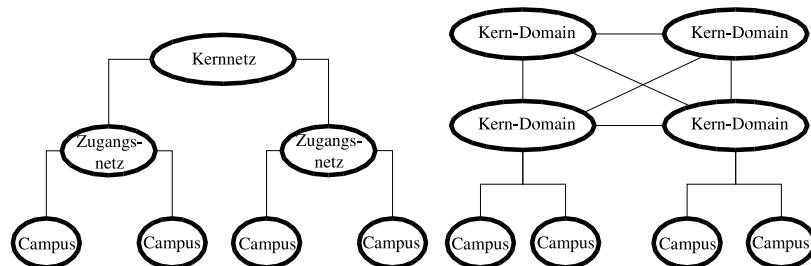


Abbildung 2: Zentralistische und kooperative Varianten der Unterteilung des G-WiN in DiffServ-Domains

Zur Reduktion der Last des Bandbreitenmanagers muss eine Aufteilung des G-WiN in verschiedene DiffServ-Domains vorgenommen werden. Als geeignet erscheint dabei sowohl eine zentralistische Aufteilung als auch die Bildung einer Anzahl von kooperierenden DiffServ-Domains, die sich gegenseitig Dienste anbieten. Beide Varianten werden in Abbildung 2 dargestellt. Im Fall der kooperierenden DiffServ-Domains existiert keine einheitliche Wurzel für das gesamte Netzwerk. Aus der Sicht der Dienstanbieter existiert jedoch für jeden unidirektionalen Pfad über das G-WiN genau ein Wurzel-Dienstanbieter.

Im folgenden werden beide Varianten erläutert.

Zentralistische Aufteilung Es wird vorgeschlagen, das G-WiN anhand der Unterscheidung zwischen Zugangsnetz und Kernnetz aufzuteilen. Die Wurzel der Hierarchie wird dann durch das Kernnetz mit den derzeit enthaltenen 27 Kernnetzroutern gebildet. An diese Router sind im allgemeinen nicht mehr als 7 Zugangsroutern angeschlossen. Die dadurch gebildete DiffServ-Domain hat damit $27 \cdot 7 = 189$ Dienstanutzer. Diese Dienstanutzer werden aus den Zugangsnetzen gebildet über die gegenwärtig nicht mehr als 10 Kunden an das Kernnetz angeschlossen werden. Das heißt, mit dieser zentralistischen Aufteilung wird eine Zwischenebene von Zugangsnetzen in der Hierarchie eingeführt. Die Anzahl der Tunnel zum G-WiN wird von 550 um 63% auf $199 = 189 + 10$ reduziert. Weiterhin wird die Ausfallsicherheit erhöht und die Anzahl der gleichzeitig wartenden Ereignisse durch die Ausnutzung der Lokalität verringert. In Folge dieser Verringerung muss der zusätzliche Verarbeitungsschritt, bezogen auf Tunnel über das Kernnetz, nicht notwendig zur Verlängerung der Verarbeitungszeiten führen. Durch den Einsatz von Cache-Strategien (siehe Abschnitt 6) lassen sich die Verarbeitungszeiten signifikant reduzieren.

Kooperative Aufteilung Einige der Kernnetzrouter im G-WiN (ca. 10) bilden ein fast vollständig vermaschtes Netz. Wenn jedem dieser Kernnetzrouter genau eine DiffServ-Domain zugeordnet wird, die alle daran angeschlossenen Zugangsroutern sowie untergeordneten Kernnetzrouter beinhaltet, so reduziert sich die Anzahl der benachbarten DiffServ-Domains auf ca. $55 = 550/10$ Kunden und 9 benachbarten Domains. Diese neuen DiffServ-Domains bilden für alle daran angeschlossenen Kundennetze jeweils die Wurzel der Upstream-Tunnel und für alle anderen DiffServ-Domains die Wurzel für die Downstream-Tunnel. Dies lässt sich recht einfach durch geeignete Dienstspezifikationen (siehe Abschnitt 5) realisieren. In der Folge reduziert sich die Anzahl der Tunnel zum G-WiN von 550 um ca. 92% auf 9 Downstream-Tunnel und ca. 64 Upstream-Tunnel. Auch diese Aufteilung berücksichtigt die Lokalität der Anforderungen und vermeidet die Einführung von zusätzlichen DiffServ-Domains im Bereich des Zugangsnetzes. Die Konfiguration ist aber stark von der Vermaschung der Kernnetzrouter abhängig. Bezüglich der Ausfallsicherheit sind keine signifikanten Vor- oder Nachteile gegenüber der zentralistischen Aufteilung festzustellen. Eine Neukonfiguration des Netzes kann, unabhängig von deren Ursache, dazu führen, dass die Aufteilung zumindest temporär in eine zentralistische umgewandelt werden muss. Dies hat die Notwendigkeit der Veränderung an Konfigurationen, Dienstspezifikationen und laufenden Reservierungen bis zu den lokalen Netzen zur Folge. Die kooperative Aufteilung sollte daher nur dann gewählt werden, wenn das Netz deren Merkmale berücksichtigt und die Aufteilung auf bei Veränderungen am Netz erhalten bleibt.

5. Dienste

Die Bereitstellung von differenzierten Diensten im G-WiN und angeschlossenen Einrichtungen ist abhängig von der existierenden Router-Infrastruktur, den Kunden-Anbieter-Beziehungen zwischen den verschiedenen organisatorischen Einheiten (z.B. G-WiN und Campusnetz) und den definierten Diensten.

5.1. Dienste und deren technische Realisierung

Wünschenswert sind differenzierte Dienste zur Unterstützung von IP-Telefonie und dem schnellen, weitgehend blockierungsfreien Transfer von adaptiven Echtzeitverkehr wie beispielsweise GRID-Anwendungen. Die dafür benötigten Dienste lassen sich mit der existierenden Router-Infrastruktur im G-WiN sowie an den am Projekt beteiligten Einrichtungen (HTWK Leipzig und Universität Leipzig) bereitstellen. Zur Umsetzung können sowohl prioritätsgesteuerte Warteschlangen als auch der in CISCO Routern implementierte M-DRR-Mechanismus genutzt werden.

Der Internet-Verkehr ohne besondere Anforderungen an die Übertragungsqualität wird wie bisher mit der niedrigsten Priorität weitergeleitet. Der Grad der Benachteiligung dieser als Best Effort bezeichneten Verkehrsklasse durch die beiden einzuführenden Dienstklassen (EF-Klasse für IP-Telefonie und AF-Klasse für adaptive Anwendungen) wird durch deren Anteil am Gesamtvolumen bestimmt und kann damit aktiv beeinflusst werden. Der durch IP-Telefonie erzeugte Verkehr wird der so genannten EF-Klasse zugeordnet und jeweils mit höchster Priorität bedient, um dessen Anforderungen an eine geringe Übertragungsverzögerung gerecht zu werden. Die Bedienung des Verkehrs von adaptiven Anwendungen der AF-Klasse wird mit mittlerer Priorität vorgenommen. Dadurch entstehen geringfügige Verzögerungen gegenüber der EF-Klasse (laut Vorschlag bis zu 10ms). Es kann aber garantiert werden, dass Verkehr der AF-Klasse keine spürbaren Verzögerungen durch Überlastsituationen erfährt.

Zur Umsetzung der Dienste werden entweder Router mit prioritätsgesteuerten Warteschlangen (kurz PQ) benötigt, die mindestens drei Prioritätsstufen unterscheiden können. Diese Anforderungen werden beispielsweise von den im Projekt eingesetzten Routern von Extreme Networks sowie Modellen von CISCO und Enterasys erfüllt. Ausweichend kann der in den Kern-Routern des G-WiN implementierte M-DRR-Mechanismus eingesetzt werden. Diese Router verfügen über eine Warteschlange die mit höchster Priorität geleert wird. Sie ist geeignet, um Verkehr der EF-Klasse zu bedienen. Die verbleibenden sieben Warteschlangen werden in Abhängigkeit der Gewichtung jeder einzelnen in einem Round-Robbing-Verfahren bedient. Für die AF-Klasse wird eine Gewichtung von 99% empfohlen. Aufgrund des hohen Defizits, im Vergleich zu den verbleibenden 1% die für die Verkehrsklasse Best Effort mindestens zur Verfügung stehen, wird der Verkehr

in der AF-Klasse bevorzugt bedient. Sofern alle anderen Warteschlangen leer sind, steht dem Best Effort Verkehr die volle Bandbreite zur Verfügung.

5.2. Dienstdefinitionen

Die EF-Klasse wurde für nicht-adaptive Echtzeitanwendungen, speziell IP-Telefonie, entwickelt. Der durch IP-Telefonieanwendungen generierte Verkehr zeichnet sich durch konstante Paketgrößen und konstante Paketabstände zwischen Sprachpaketen aus. Aus diesem Grund wurde ein Dienst entwickelt, welcher Pakete mit konstanter Paketrate bei Einhaltung einer maximalen Varianz transportiert. In verschiedenen Tests und auf Basis des zum Verkehrsmanagement entwickelten Berechnungsmodells konnte gezeigt werden, dass dieser Dienst den Nutzern des G-WiN eine hinreichend hohe Anzahl von Sprachkanälen (simultan über 100 pro Kunde zu anderen Kunden des DFN e.V.) zur Verfügung stellen kann. Als Parameter für die EF-Klasse wurden im Projekt, ausgehend vom Standard G.728(24kbps), Paketgrößen von 100Byte bei einer Paketrate von 50 Paketen pro Sekunde ausgewählt. Dies erlaubt eine effiziente Nutzung des Dienstes auch für Verkehr der nach G.711 kodiert wurde, während die Nutzung mit anderen Codecs wie G.728 aufgrund einer geringeren Paketgröße bei gleicher Paketrate zu Effizienzverlusten führt. Die Definition der Dienstparameter der EF-Klasse muss sich in einem realen Umfeld an den im G-WiN gebräuchlichen Kodierungsverfahren orientieren.

Das Dienstmodell wurde ebenfalls für die AF-Klasse genutzt, da es eine einfache Modellierung der benötigten Kanalkapazität anhand von Paketen erlaubt. Als Dienstparameter werden die im Internet typischen Paketgrößen von 512Byte und maximaler Paketverzögerung von 250ms pro Richtung (500ms Round-Trip-Time) empfohlen.

5.3. Definition und Implementierung von Diensten

Die Bereitstellung der Dienste im G-WiN sowie innerhalb der einzelnen Einrichtungen, sollte generell den Kunden-Anbieter-Beziehungen zwischen den einzelnen organisatorischen Einheiten folgen. Innerhalb lokaler Netze (LAN) ist dessen Betreiber als Anbieter von Diensten gegenüber den Workstations (Kunden) anzusehen. Im Prozess der Kommunikation zwischen Workstations in unterschiedlichen LAN verläuft der Datenpfad über das Backbone des Intranets bzw. sogar über das G-WiN (als Backbone des gesamten Autonomen Systems). Die LAN können in diesem Fall als Anbieter fungieren, wenn ihnen das Intranet-Backbone die benötigten Dienste anbietet und so weiter. Für jeden unidirektionalen Pfad zwischen zwei Workstations existiert eine organisatorische Einheit, von der die Bereitstellung des benötigten Dienstes abhängt. Tabelle 5.3 zeigt diese Vererbung der Dienste für unterschiedliche Pfade.

Empfänger	LAN	Intranet Backbone	G-WiN
im LAN	Dienstanbieter	nicht beteiligt	nicht beteiligt
im Intranet	Dienstanbieter im LAN und vererbender Kunde im Intranet	Dienstanbieter	nicht beteiligt
sonst	Dienstanbieter im LAN und vererbender Kunde im Intranet	Dienstanbieter im Intranet und vererbender Kunde des G-WiN	Dienstanbieter

Tabelle 1: Dienste-Hierarchie im G-WiN

Die Bereitstellung der Dienste innerhalb des G-WiN und der angeschlossenen Einrichtungen ist prinzipiell individuell zu gestalten. Aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den einzelnen organisatorischen Einheiten wird empfohlen, dass in der Diskussion mit den jeweiligen Betreibern ein homogenes Set von Dienstdefinitionen erstellt wird, das im gesamten Autonomen System des G-WiN zur Verfügung steht. Diese Dienstdefinitionen sollten Standards wie beispielsweise der ITU zur Kodierung von Sprachdaten (IP-Telefonie) berücksichtigen. Die Auswahl des benötigten Dienstes kann von einer Anwendung bzw. dem Nutzer somit einfach anhand einer eindeutigen Kennung erfolgen. Ein Vergleich der Parameter der Dienste mit einem Satz benötigter entfällt damit. Aufgrund der Vielzahl der Parameter die zur Definition und Beschreibung von Diensten eingesetzt werden können, ist solch ein Test aufwendig bzw. nicht ohne Interaktion mit einem technisch versierten Nutzer möglich und sollte vermieden werden.

Im Prozess der Vererbung der Dienste vom Dienstanbieter bis zum Endanwender werden Dienste des Dienstanbieters auf eigene Dienstdefinitionen abgebildet. Die Vereinbarung homogener Dienstdefinitionen trägt dabei zur Verringerung der Informationsmenge und Verbesserung der Effizienz bei. Wie in Abschnitt 5.2 dargestellt, ist beispielsweise die Abbildung eines Dienstes für 100Byte Pakete auf einen Dienst mit 120Byte Paketen bei gleicher Paketrate verlustbehaftet. Eine Abbildung in anderer Richtung sogar unmöglich. Wird auf eine homogene Dienstdefinition verzichtet, so können Dienste des G-WiN nur dann effizient genutzt werden, wenn diese Dienste auch innerhalb der Campusnetze umgesetzt oder auf existierende Dienste abgebildet werden. Im ersteren Fall kann dies zu einer explosionsartigen Zunahme der Dienstbeschreibungen in den lokalen Netzen führen, die bei der Auswahl der Dienste hinderlich ist. Eine ineffiziente Abbildung führt zu einer weiteren Reduktion der für die höherwertigen Dienste nur begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen. Schließlich ist eine homogene Bereitstellung der Dienste in allen Einrichtungen für erfolgreiche Ende-zu-Ende-Ressourcenreservierungen generell förderlich.

5.4. Dienstverträge und Dienstspezifikationen

Im Rahmen des Projektes wurden die Anforderungen an Dienstverträge (Service Level Agreements, SLA) und Dienstspezifikationen (Service Level Specifications, SLS) untersucht. Neben der bereits beschriebenen Vererbung der Dienste war zu klären, in welcher Form diese Vereinbarungen ausgehandelt werden und welche Diensteigenschaften diese beschreiben. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass homogene Dienste bzw. Dienstbeschreibungen zwischen dem DFN und den angeschlossenen Einrichtungen sowie innerhalb dieser Einrichtungen definiert wurden.

Ein Dienstvertrag (SLA) wird zwischen zwei benachbarten organisatorischen Einheiten geschlossen. Eine automatische Verhandlung zwischen den Dienstpartnern ist nicht notwendig. Solche Verträge sollten eine große Laufzeit haben und beinhalten Signaturen, die in jedem Fall eine manuelle Interaktion von Anbieter und Kunde erfordern.

Basierend auf einem existierenden Dienstvertrag sollten für jeden Dienst folgende Parameter in einer Dienstspezifikation festgehalten werden:

Dienstbeschreibung Der Name des Dienstes zur Auflösung seiner qualitativen Eigenschaften, z.B. "G.711/50pps" für einen auf die Sprachkodierung laut G.711 zugeschnittenen Dienst für nicht-adaptive Echtzeitanwendungen mit konstanter Paketrate von 50 Paketen pro Sekunde und konstanter Paketgröße von 200Byte. Aufgrund der Vereinbarung homogener Dienste, besteht keine Notwendigkeit diesen Parameter dynamisch zu verhandeln.

Reichweite Eine Liste von Diensteanbietern, die diesen Dienst anbieten und über den jeweiligen benachbarten Diensteanbieter erreichbar sind. Die Liste beinhaltet die Kennung der jeweiligen organisatorischen Einheit. Zu jedem Eintrag kann eine Liste der organisatorischen Einheiten angegeben werden, an die dieser Dienst nicht vererbt werden darf. Diese Option erlaubt die Unterstützung von Routingentscheidungen die anhand der Quelladresse vorgenommen werden, wie beispielsweise bei BGP üblich. Aufgrund von Änderungen an Routen besteht die Notwendigkeit, diese Liste von Diensteanbietern dynamisch aktualisieren zu können.

Kosten Die anfallenden Kosten, beispielsweise im Sekundentakt pro Volumeneinheit, in Abhängigkeit von der Reichweite, also dem jeweiligen Diensteanbieter. Zusätzlich können die Kosten in Abhängigkeit von Tageszeiten konkretisiert werden. Als Modell für die Spezifikation von Zeiträumen wird eine Orientierung an CRON, einem Systemdienst zur zeitgesteuerten Ausführung von Programmen, vorgeschlagen. Die Festlegung von Kosten sollte manuell erfolgen, um dem jeweiligen Kunden Möglichkeiten einzuräumen, den Zugang zu Diensten in Abhängigkeit der Kosten durch Regeln zu beschränken.

Ausnahmen Es besteht die Möglichkeit, dass ein Kunde, trotz Maßnahmen zur Ver-

kehrsanpassung, Datenverkehr an einen Dienstanbieter sendet, welcher als nicht konform zu dessen aktueller Anforderung klassifiziert wird. In diesem Fall stehen dem Dienstanbieter die Möglichkeiten der Verkehrsanpassung laut Anforderung, der Verwurf des nicht konformen Anteils des Verkehrs oder die Bedienung dieses Anteils durch einen schlechteren Dienst zur Verfügung. Diese Parameter sollten unveränderlich sein.

Laufzeit Die Laufzeit einer SLS wird global (zeitlich) von dem Zeitraum bestimmt, in dem diese bzw. der übergeordnete Dienstvertrag (SLA) generell gültig ist. Weiterhin ist es möglich, dass ein Dienst nur zu bestimmten Tageszeiten verfügbar ist, die Laufzeit also auch lokal (zeitlich) beschränkt ist. Als Modell für den Ausdruck solcher Zeiträume wird wiederum eine Orientierung an CRON empfohlen. Veränderungen an diesen Zeiträumen, beeinflussen in einer Kettenreaktion alle SLS, die von dieser vererbt wurden. Häufige Veränderungen sind aus diesem Grund nicht wünschenswert. Weiterhin wird dadurch die Planbarkeit der Dienstnutzung erschwert und der Natur eines Dienstvertrags widersprochen, so dass eine manuelle Verhandlung dieser Parameter zu bevorzugen ist.

Sonstiges Die angegebenen Parameter werden als notwendig zu Bereitstellung von Diensten auf der Basis von SLS angesehen. Weitere optionale Parameter sind die Angabe der mittleren Ausfallzeiten und Reparaturzeiten sowie Angaben zur durchschnittlichen und maximal erwarteten Auslastung des Dienstes.

Mit Ausnahme der dynamische Parameter zur Aktualisierung der Reichweite bei Veränderungen im Netz, wird empfohlen alle Parameter einer SLS manuell zu verhandeln. Im Projekt wurden die besonderen Anforderungen der Reichweite bei der Implementierung sowie durch Spezifikation eines Protokoll zur Aktualisierung berücksichtigt.

5.5. Abrechnung genutzter Dienste

Im Rahmen der Arbeit wurde ein Modell zur Abrechnung der genutzten Dienste entwickelt. Zu unterscheiden ist dabei die Abrechnung von Ende-zu-Ende-Reservierungen und die Abrechnung zwischen Anbieter und Kunde in der Hierarchie der organisatorischen Einheiten. Im letzteren Fall liegen beiden Partnern identische Daten über die Anzahl pro SLS genutzter Kanäle und die Kosten pro Kanal vor. Die Rechnungslegung kann in diesem Fall sofort durchgeführt und automatisiert geprüft werden.

Aufgrund der Zweiteilung der Reservierung ist eine Zusammenarbeit der beteiligten Einrichtungen, also Kunden des DFN, auch bei der Abrechnung notwendig. Die Gebühren für die Nutzung eines von G-WiN bereitgestellten Dienstes fallen sowohl beim Initiator der Reservierung (z.B. Uni Leipzig) als auch bei dem beteiligten Peer (z.B. TU Dresden) an. Wiederum liegen auf beiden Seiten identische Daten über die Dienstnutzung vor. Damit kann der beteiligte Peer gegenüber dem Initiator eine Rechnungslegung vornehmen,

die automatisch erstellt bzw. von dem Initiator automatisch geprüft werden kann. Zu diesem Zweck wurde ein Mechanismus zur Verteilung von öffentlichen Schlüsseln modelliert. In Folge der Verteilung entsteht eine Kette des Vertrauens zwischen den Einrichtungen anhand derer eine signierte Reservierung und Rechnungslegung vorgenommen werden kann.

Es wird empfohlen, dass die Rechnungslegung zwischen Initiator und Peer über eine gemeinsame virtuelle Bank abgewickelt wird, die der jeweils gemeinsame Dienstanbieter bereitstellt. Für Reservierungen zwischen Kunden des DFN sollte dies vom DFN bereitgestellt werden. Reservierungen innerhalb einer Einrichtungen sollten innerhalb der Einrichtung abgewickelt werden.

6. Prototyp – Demonstration

Eine der wichtigsten Eigenschaften einer QoS-Architektur ist die Skalierbarkeit der Signalisierung. Die Architektur ist skalierbar, wenn die Verarbeitungszeiten nur schwach oder gar nicht mit der Anzahl der laufenden Reservierungen sowie der Ankunftsrate der Anforderungen an den Bandbreitenmanagern korrelieren. Das Wachstum der Systemparameter um Ordnungen sollte die bereitgestellte Funktionalität nicht signifikant beeinflussen.

Um ein gutes Skalierungsverhalten zu erreichen, werden im Rahmen des Projekts zwei Mechanismen miteinander kombiniert (siehe [3]). Zum einen wird die Anzahl der zu speichernden Reservierungsanfragen durch ein hierarchisches Tunnelkonzept (siehe [8]) mit jedem Schritt zum Kern des Netzes reduziert. Zum anderen werden Cache-Strategien eingesetzt, um die Häufigkeit von Änderungen an bestehenden Reservierungen und neu ankommenden Reservierungsanfragen und -kündigungen zu senken.

Die Reduktion der Anzahl von Reservierungsstatus wird durch die Aggregation von Reservierungen zu einer aggregierten Reservierung erreicht. Jede Änderung einer Reservierung zieht eine Änderung an aggregierten Reservierungen nach sich. Die Häufigkeit dieser Änderungen kann durch den Einsatz geeigneter Cache-Strategien, z.B. der verzögerten Freigabe (*late_release-Cache*) und der vorausschauenden Überreservierung von Ressourcen (*pre-Cache*), reduziert werden.

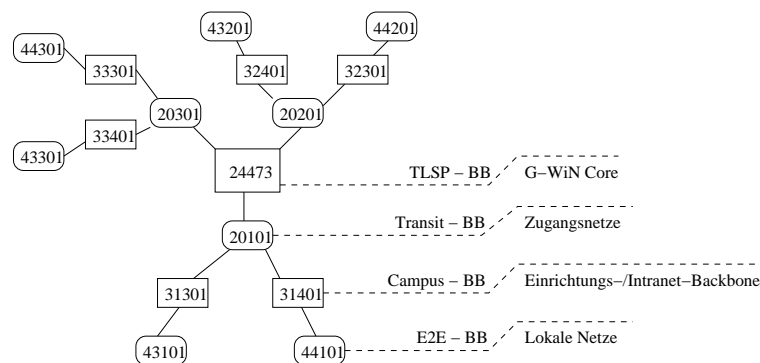


Abbildung 3: Test-Topologie

Zur Evaluation wurden Tests basierend auf dem in Abbildung 3 dargestellten Ausschnitts der zentralistischen Aufteilung des G-WiN durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war, die theoretischen Überlegungen mit Datenmaterial zu unterlegen und den Nachweis der Funktion des prototypischen Systems zu erbringen. Weiterhin stand die Beobachtung der Antwortzeiten für Ende-zu-Ende-Reservierungen und der Wartezeiten in den Kern-

Bandbreitenmanagern in Abhängigkeit von der Cache-Strategie und vor allem den Parametern der Implementierung im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Es wurden Tests für den im Abschnitt 5 beschriebenen EF-Dienst durchgeführt. Dabei wurde Signalisierung von IP-Telephonie-Anwendungen modelliert, die Ressourcen für bidirektionale Kommunikationspfade anfordern. Als Kommunikationsziele traten dabei jeweils hälftig lokale Netze im gleichen Teilbaum (siehe Abbildung 3) bzw. in jeweils einem der beiden anderen Teilbäume auf. Die Verteilung der Anfragen wurde so gestaltet, dass innerhalb eines 15 Minuten-Intervalls (virtuelle Simulationszeit), aus jedem lokalen Netz je 100 Anfragen an Ziele im gleichen Teilbaum und entfernte Ziele gestellt wurden. 80 Prozent der Anfragen waren Telefonate mit einer Gesprächsdauer von 3 Minuten. Die verbleibenden 20 Prozent der Anfragen waren 8 Minuten lang.

Die Tests wurden mit Erfolg durchgeführt. Ende-zu-Ende Dienst-Reservierungen konnten etabliert werden, wobei durch Verwendung von Cache-Strategien einerseits und die Aggregation von Dienstanfragen andererseits die Änderungshäufigkeit signifikant reduziert wurde. Für die Ende-zu-Ende Signalisierung werden je nach Cache-Einstellung für eine Dienstanforderung zwischen 257ms und 345ms benötigt. In Tabelle 2 sind die Ende-zu-Ende-Signalisierungszeit exemplarisch für zwei Tests aus Meilenstein 8 [9] mit einem sehr kleinen Cache (Test 01) bzw. optimaler Cache-Größe (Test 11) aufgeführt, anhand derer die Effekte beim Einsatz von Caching-Strategien sichtbar werden.

Test-Nr.	Cache-Einstellungen (NRU)		benötigte Zeit in ms für Signalisierung
	Transit-BBs (bb20x01)	Campus-BBs (bb3xx01)	
01	1	1	345
11	10	50	256

Tabelle 2: Ende-zu-Ende-Signalisierungszeit für Test-Nr. 01, 11

In den Abbildungen 4 bis 9 sind die Ergebnisse von Test 01 und Test 11 gegenübergestellt. Durch Verwendung einer guten Cache-Strategie kann die Anzahl der wartenden Anfragen in AS 20101 von rund 600 im Test 01 auf etwa 420 im Test 11 verringert werden, wobei die Zahl der Anfragen in den Campus-BBs nur wenig ansteigt.

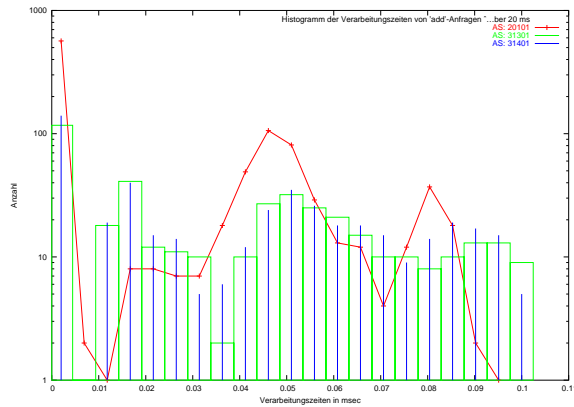


Abbildung 4: Wartezeiten Teilbaum 1,
Test-Nr. 01, $NRU = 1$

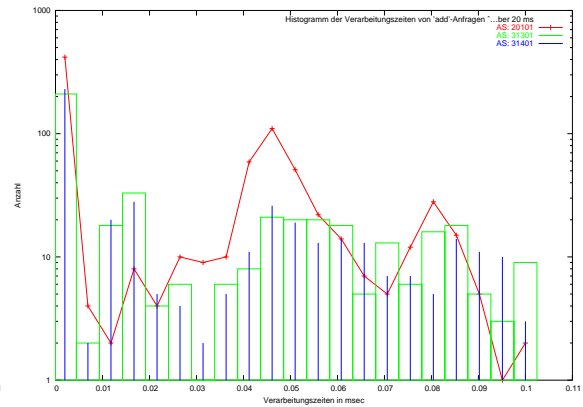


Abbildung 5: Wartezeiten Teilbaum 1,
Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$,
 $NRU_{bb20x01} = 10$

Die Auswirkungen des Caches werden desweiteren deutlich, wenn man sich die Abbildungen 6 und 7 betrachtet, in denen die Verarbeitungszeiten von Anfragen dargestellt sind. In Abbildung 7 (Test 11) ist der positive Effekt der verzögerten Freigabe von Ressourcen in mehrerlei Hinsicht sichtbar:

- Die Anzahl der Freigaben (“del”-Anfragen) sinkt erheblich gegenüber dem Test mit kleinen Cache-Werten (Test 01, Abb. 6)
- Die Intervalle, in denen Anfragen gestellt werden, sind kürzer im Test 11 (Abb. 7) im Vergleich zu Test 01 (Abb. 6).
- Die Überlappungen zwischen Anforderungen (“add”) und teilweise bearbeiteten Anforderungen (“pending”) und Freigaben (“del”) im Test 01 im Bereich zwischen der 15-ten und 25-ten Sekunde (Realzeit), der 60-ten und 70-ten Sekunde und 105-ten und 118-ten Sekunde verschwinden im Test 11. In den genannten Bereichen sind im Test 11 (Abb. 7) Lücken zu finden. Diese Lücken sind die direkte Auswirkung des Caches, da an diesen Stellen die Anfragen direkt aus dem Reservoir an vorgehaltenen Reservierungen bedient werden bzw. die Dienstkündigungen erst verzögert an den Dienstanbieter übermittelt werden.

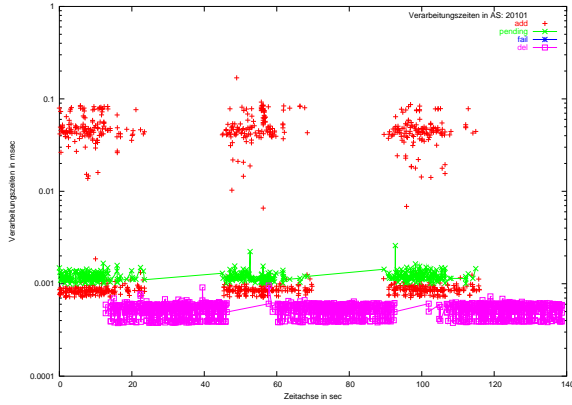


Abbildung 6: Wartezeiten bb20101 1,
Test-Nr. 01, $NRU = 1$

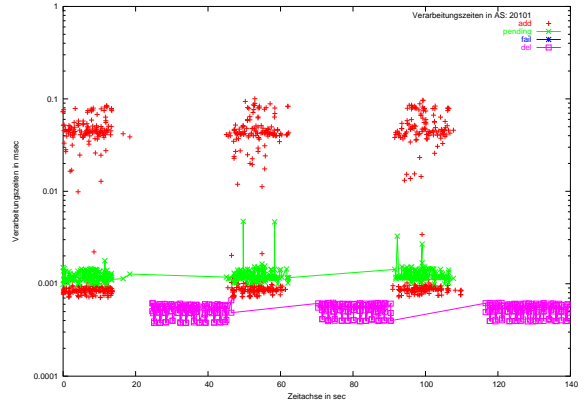


Abbildung 7: Wartezeiten bb20101,
Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$,
 $NRU_{bb20x01} = 10$

Ähnliche Effekte wie eben beschrieben und in den Abbildungen der Transit-Bandbreitenmanager, am Beispiel bb20x01 (Abb. 6 und 7) zu sehen, findet man auch in den Campus-Bandbreitenmanager (siehe Abbildung 8, 9). Obgleich die Reduktion von Freigaben (“del”) nicht auf den ersten Blick sichtbar ist, kann man die Effekte des Caches beobachten, da sich die Intervalle der Anfragen (“add”) und teilweise bearbeiteten Anforderungen (“pending”) im Test 11 gegenüber dem Test 01 deutlich verkürzen und die Überlappungsbereiche zwischen Freigaben (“del”) und teilweise bearbeiteten Anforderungen (“pending”) verringern. Vergleiche dazu Abbildungen 8 (Test 01) und 9 (Test 11).

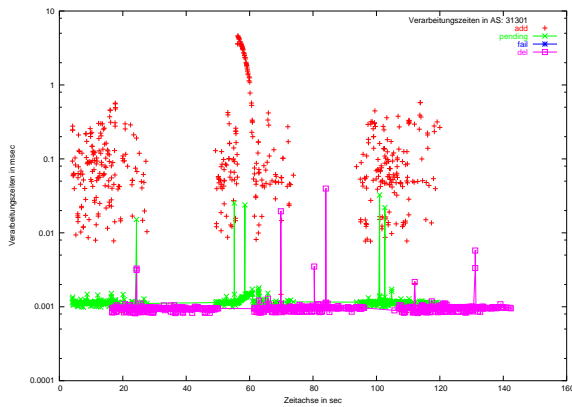


Abbildung 8: Wartezeiten bb31301 1,
Test-Nr. 01, $NRU = 1$

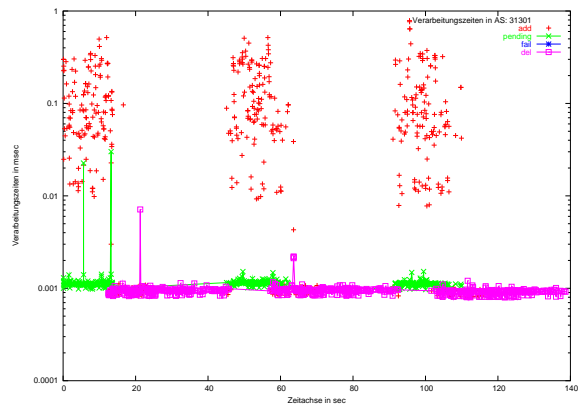


Abbildung 9: Wartezeiten bb31301,
Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$,
 $NRU_{bb20x01} = 10$

Die Effizienz der Cache-Strategie hängt direkt von der Größe der eingesetzten Caches ab.

Bis zu einem Wert von 100 für den Parameter NRU (*not recently used*), das entspricht einer verzögerten Freigabe nach 2000ms, steigt das Einsparungspotential signifikant. Bei größeren Werten verbessert sich das Antwortverhalten weniger signifikant. (siehe Tabelle 3).

Cache-Einstellungen (NRU)		benötigte Zeit in ms für Signalisierung
Transit-BBs (bb20x01)	Campus-BBs (bb3xx01)	
1	1	345
10	10	288
100	100	252
300	300	278

Tabelle 3: Ende-zu-Ende-Signalisierungszeit für $NRU = 1, 10, 100, 300$

Durch Verkettung von mehreren Caches in den Hierarchiestufen der autonomen Systeme können weitere Einsparungen erreicht und die Ende-zu-Ende-Antwortzeiten nochmals reduziert werden. Als besonders günstig wird erachtet, am Rand des Netzwerkes große Caches einzusetzen, um möglichst schnell die Anzahl der Anfragen zu reduzieren und somit Ende-zu-Ende Dienstanforderungen mit möglichst wenig zusätzlicher Signalisierung bedienen zu können. Dabei gilt es, einen Kompromiss zwischen steigender Unfairness bei großen und sinkender Effizienz bei kleinen Caches, insbesondere an den außenliegenden autonomen Systemen, zu erreichen.

Die erzielten Resultate wurden mit einem statisch konfigurierten `late_release`-Cache erreicht. Es wird erwartet, dass bei dynamischer Anpassung der Cache-Parameter unter Beachtung der momentanen Auslastung und in Verbindung mit statistischen Daten weitere Verbesserungen im Antwortverhalten zu erreichen sind. Dazu sind zunächst statistische Daten in realen Szenarien zu erheben.

7. Passive Netzwerkmessungen im Rahmen des Projekts CoS-Konzepte

Im Rahmen des Projekts wurde ein System zur Durchführung passiver Netzwerkmessungen angeschafft und am G-WiN-Zugang der Universität Leipzig installiert (siehe 7.1). Dieses Messsystem zeichnet Internet-Paket-Header auf, versieht sie mit einem präzisen Zeitstempel und liefert so die Datenbasis für Analysen des Internet-Verkehrs. Für diese Analyse gibt es zwei prinzipielle Ansätze: entweder werden die anfallenden Daten in Dateien gespeichert und für spätere Analysen in einem Offline-Verfahren herangezogen (siehe 7.2), oder die Daten werden in Echtzeit während der Aufzeichnung analysiert und lediglich die Ergebnisse werden gespeichert (siehe 7.3). Es wird eine Infrastruktur aus solchen passiven Messsystemen vorgeschlagen, mit der die Einhaltung vertraglich vereinbarte Dienstgüte in einem Bandbreitenmanager-basierten Netzwerk verifiziert werden kann (siehe 7.4).

7.1. Konfiguration und Installation des Messsystems

Zentraler Bestandteil des Messsystems bilden spezielle Netzwerkmesskarten der Firma Endace Measurement Systems. Insgesamt drei solche Messkarten wurden in einen Standard-PC eingebaut. Mittels dieser Karten wurde der Netzwerkverkehr vor und hinter dem zentralen G-WiN-Access-Router abgegriffen (Abb. 10). Eine Karte vom Typ "Dag 4.2 GE" wurde mit dem Gigabit-Ethernet-Link auf der Innenseite des Routers verbunden, und zwei Karten vom Typ "Dag 3.2" wurden mit dem OC3c-Packet-over-SONET-Link auf der Außenseite des Routers verbunden.

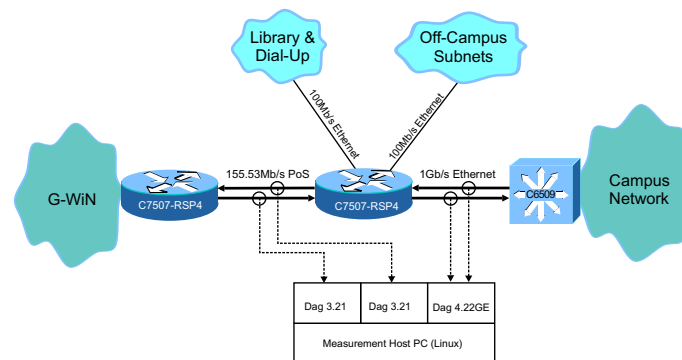


Abbildung 10: Konfiguration des Messpunktes am G-WiN-Zugang der Universität Leipzig

Zur Zeitsynchronisation wurden alle drei Karten an eine GPS-Antenne vom Typ "Trimble Acutime 2000" angeschlossen. Durch die Zeitsynchronisation wird die Präzision der Zeitstempel im Bereich von ca. 100 ns gewährleistet.

7.2. Die Leipzig-I- und Leipzig-II-Datensätze

Das klassische Verfahren bei der Analyse von Netzwerkverkehr ist die Aufzeichnung und Speicherung der Datenpakete bzw. deren Header in Dateien. Die eigentliche Analyse erfolgt später in einem Offline-Verfahren.

Mit Hilfe unseres Messsystems haben wir mittels der in Abb. 10 dargestellten Konfiguration zwei umfangreichere Datensätze bestehend aus Paket-Headern aufgezeichnet und analysiert (Tab. 4). Für Leipzig-I wurde lediglich auf der Außenseite des Routers aufgezeichnet, für Leipzig-II jedoch simultan und zeitsynchronisiert auf beiden Seiten.

Datensatz	Dauer (dd:hh:mm:ss)	Anzahl Pakete (Millionen)	Dateigröße (GB)	
			Unkomprimiert	Komprimiert
Leipzig-I	4:18:00:00	3.302	197	65
Leipzig-II	1:08:46:01	1.053	234	45

Tabella 4: Leipzig-I- und Leipzig-II-Datensätze

Zur Analyse kamen Verfahren zum Einsatz, die bereits in früheren Projekten verwendet worden sind. So wurden Statistiken über die Auslastung des Internet-Zugangs, den Applikationsmix und das Flow-Verhalten erstellt. Durch die Zweipunktmessung bei Leipzig-II konnten dort auch Statistiken über die Paketlaufzeiten und -verluste im Router erstellt werden. Wichtiges Ergebnis dieser Zweipunktmessung ist, dass der Router vom Typ "Cisco 7505" für die große Mehrzahl der Datenpakete sehr geringe Verzögerungswerte von unter 0.4 ms liefert. Daran ändert sich auch mit zunehmender Last im täglichen Rhythmus nichts. Bei genauerer Analyse fällt jedoch auf, dass der Router trotzdem das Leistungspotenzial nicht voll ausschöpft. Das wird dadurch deutlich, dass der Router für die Weiterleitung größerer Pakete überproportional länger benötigt [15]. Aus dem Verzögerungsunterschied für verschieden große Pakete lässt sich die interne Bandbreite des Routers berechnen. So ergeben sich für eingehenden und ausgehenden Verkehr ca. 54 bzw. 82 MBit/s (von theoretisch möglichen 155 bzw. 1000 MBit/s). Alle Analyseergebnisse und die anonymisierten Datensätze sind auf der Projekt-Homepage [16] verfügbar.

7.3. Echtzeitanalyse passiver Netzwerkmessungen

Ein prinzipielles Problem des in 7.2 beschriebenen Verfahrens besteht in dem riesigen Datenvolumen, dass bei einer Aufzeichnung aller Paket-Header über einen längeren Zeitraum anfällt. Im Rahmen des Projekts haben wir uns mit der Entwicklung neuer Verfahren zur Echtzeitverarbeitung von Paket-Headern beschäftigt. Dabei werden die gewünschten statistischen Analysen während der Aufzeichnung in Echtzeit durchgeführt. Statt der Paket-Header werden nur diese Daten in geeigneter Form präsentiert oder abgespeichert.

Besonderes Augenmerk haben wir dabei auf ein Verfahren zur Charakterisierung des momentanen Auslastungszustands einer Netzwerkverbindung gelegt. Gegenwärtig wird im Netzwerkmanagementbereich für diesen Zweck meist eine einfache Mittelwertbildung über ein Intervall im Minuten-Bereich eingesetzt. Durch die Mittelwertbildung geht jedoch das feingranulare Verhalten eines Datenstroms auf Paketebene insbesondere bei Paket-Burst komplett verloren. Da diese Information besonders für Echtzeitanwendungen jedoch von höchster Bedeutung ist, haben wir eine spezielle Metrik zur Beschreibung des Burst-Verhaltens eines Datenstroms entwickelt.

Diese Metrik basiert auf normalisierten kumulativen Histogrammen der Paketzwise-abstände, die über ein relativ kurzes Zeitintervall im Bereich unter einer Sekunde berechnet werden. Um mit diesen Histogrammen den zeitlichen Verlauf des Verkehrsprofils erfassen zu können, werden die einzelnen Histogramme in einer Sequenz auf dem Bildschirm dargestellt. Abb. 11 zeigt ein einzelnes Histogramm einer solchen Sequenz für einen Ausschnitt des Leipzig-II-Datensatzes. Zusätzlich zum kumulativen Histogramm (schwarz) ist das normalisierte absolute Histogramm (grau) eingezeichnet. Deutlich erkennbar ist der steile Anstieg am äußersten linken Rand. Dahinter verbergen sich alle die Pakete, die in einem Paket-Burst übertragen wurden. Weiterhin finden sich in der grafischen Darstellung die mittlere Datenrate (links), die Anzahl Pakete im dargestellten Intervall, die mittlere Paketgröße und die Laufzeit (oben).

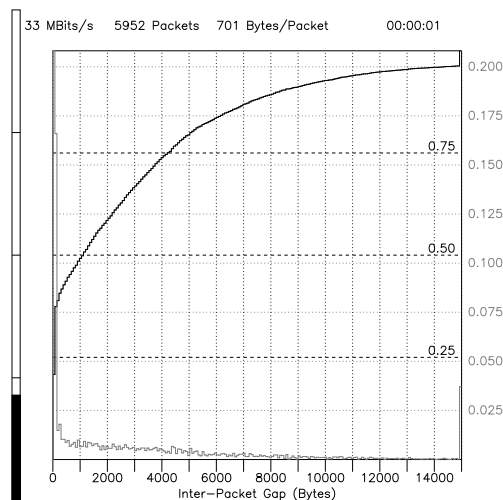


Abbildung 11: Screenshot eines einzelnen Histogramms der Paketzwise-abstände über eine Sekunde

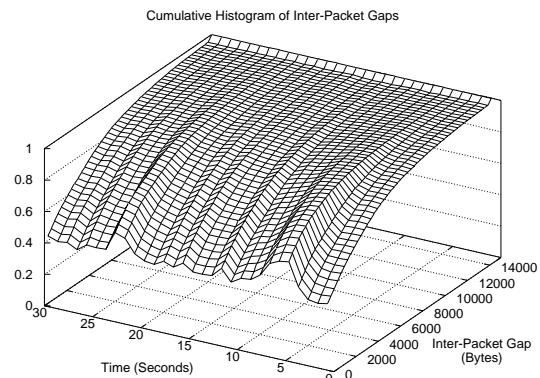


Abbildung 12: 3-D-Darstellung einer 30-Sekunden-Sequenz einzelner Histogramme

Zur Veranschaulichung der zeitlichen Veränderungen im Verkehrsprofil, wie es durch die Histogrammsequenz deutlich wird, zeigt Abb. 12 die 3-D-Darstellung von 30 hintereinander liegenden Histogrammen. In dieser Darstellung wird das bereits im letzten Absatz erwähnte Burst-Verhalten (im untersten Bereich der Paketzwise-abstände) besonders deutlich. Insbesondere fällt die hohe Dynamik im Burst-Volumen während dieses 30-

Sekunden-Intervalls auf.

Die Histogrammdata können neben der grafischen Darstellung auch zur späteren Verwendung abgespeichert werden. Anhand dieser Daten können bestimmte Abschnitte für eine genauere Analyse herausgegriffen werden. Durch die Aufzeichnung der Histogrammdata über einen längeren Zeitraum sind außerdem Trendanalysen für die Netzwerkplanung und -dimensionierung möglich.

7.4. Passive Messungen zur Dienstgüteüberprüfung

Im Rahmen des Projekts wurde eine hypothetische Bandbreitenmanager-Infrastruktur am Beispiel des deutsche G-WiN vorgestellt. Den First-Hop-Routern fällt dabei die Aufgabe zu, den Datenstrom ins Netzwerk entsprechend den vereinbarten Dienstgüteparametern anzupassen (siehe ??). Hier besteht die Gefahr einer Verletzung des vertraglich vereinbarten Verkehrsprofils mit all ihren potenziellen rechtlichen Konsequenzen. Daher ist eine Überwachung der First-Hop-Router notwendig.

Analog der Instrumentierung des G-WiN-Zugangs der Universität Leipzig (siehe 7.1) müssten Messsysteme zwischen den First-Hop-Routern und dem G-WiN installiert werden. In [14] wurde erläutert, wie mittels eines passiven Messsystems Verkehrsströme auf ihre Konformität bezüglich einer Dienstgütevereinbarung überprüft werden können. Durch eine beidseitige Instrumentierung der First-Hop-Router wäre es darüber hinaus möglich, die Paketverzögerung und damit die Warteschlangenlänge im Router zu ermitteln.

Die so ermittelten Messergebnisse werden an eine zentrale Datenbank übertragen und zum Nachweis der Konformität oder zur Beseitigung von Fehler in der Verkehrsanpassung verwendet. Durch die Kollaboration mit dem “Passive Measurement and Analysis Projekt” am National Laboratory for Applied Network Research (NLANR), San Diego Supercomputer Center (SDSC), University of California San Diego (UCSD) [17] konnten wir Erfahrungen beim Betrieb einer umfangreiche verteilten Infrastruktur von passiven Messsystemen und der Datenverwaltung und -analyse sammeln. Die NLANR-Infrastruktur besteht aus ca. 20 Messpunkten verteilt über die gesamten USA. Mittels einer vergleichbaren Infrastruktur könnten die Anforderungen an die Dienstgütekonformitätsprüfung im G-WiN erfüllt werden. Darüber hinaus könnten aus den aufgezeichneten Daten eine Vielzahl anderer Informationen gewonnen werden, die für den Betrieb und die Planung des G-WiN von Bedeutung sind. Dabei können die unter 7.2 und 7.3 beschriebenen Verfahren zum Einsatz kommen.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Die erreichten Ergebnisse zeigen, dass die Einführung von höherwertigen Diensten mit Dienstgarantien (so genannte *Quality of Service*) im G-WiN und angeschlossenen Einrichtungen mit einem "Class-of-Service"-Konzept realisierbar ist. Der im Projekt zur prototypischen Realisierung verfolgte Ansatz basiert auf der Ergänzung des Konzeptes durch Mechanismen des Steuerpfads. Diese Mechanismen werden zur Regulierung des Zugangs zu höherwertigen Diensten eingesetzt. In der Folge werden Überlastungen der Dienstklassen vermieden, so dass die gewünschten Eigenschaften des Dienstes gewährleistet werden können.

Die im Kern des Projektes zu bearbeitende Entwicklung eines Prototypen und dessen Evaluation konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Voraussetzung dafür war die Entwicklung der Mechanismen für die Regulierung des Zugangs zu höherwertigen Diensten im Steuerpfad. Die Berücksichtigung hierarchischer Anbieter-Kunden-Beziehungen zwischen den organisatorischen Einheiten der Netze, führte zur Entwicklung eines neuartigen Konzepts. Im Gegensatz zu bestehenden Ansätzen werden Reservierungen nicht über alle Instanzen vom Sender zum Empfänger geführt bzw. umgekehrt, sondern in einen kooperativen Verfahren ausgehend von den Kommunikationsendpunkten bis zu dem gemeinsamen Dienstanbieter im Netz. Dadurch wird eine signifikante Reduktion der Komplexität im Steuerpfad und die Unterstützung flexibler Reservierungsstrategien erreicht. Es konnte anhand des Prototypen gezeigt werden, dass dieses Konzept implementierbar und funktional ist.

Die Einführung höherwertigen Diensten im G-WiN wird durch die existierende Infrastruktur aber nicht durch das Konzept des Steuerpfades beschränkt. Die derzeit im G-WiN und angeschlossenen Netzen verfügbaren Router erlauben eine Differenzierung von Verkehrsklassen durch prioritätsgesteuerte Warteschlangen. Auf dieser Basis können Dienste für IP-Telefonie und raten-adaptive Echtzeitanwendungen durchgängig bereitgestellt werden. Anhand des im Projekt entwickelten Berechnungsmodells für Echtzeiddienste konnte für ausgewählte Szenarien der Anwendung von IP-Telefonie im G-WiN festgestellt werden, dass die Anzahl der simultan unterstützten Gespräche hinreichend groß ist. Dies betrifft sowohl Gespräche innerhalb einer Einrichtung als auch zwischen Einrichtungen, die über das G-WiN verbunden sind.

Die Bereitstellung von Diensten ist an die Formulierung von Dienstspezifikationen und deren Austausch zwischen organisatorischen Einheiten gebunden. Aufgrund der Anbieter-Kunden-Hierarchie erfordert die Bereitstellung von Diensten an Endanwender in lokalen Netzen die Vererbung der Dienste durch untergeordnete Dienstanbieter. Damit verbunden ist die Verschmelzung von unterschiedlichen Dienstspezifikationen. Um die Akzeptanz der neuen höherwertigen Dienste zu erreichen und die Verschmelzung zu vereinfachen, sollte ein Satz von einheitlichen Diensten definiert werden, die im gesamten Deutschen Forschungsnetz nutzbar sind.

Um das Konzept im G-WiN einzuführen, sind im Anschluss an das Projekt noch technischen Fragen zu klären, wie die Unterstützung von Mechanismen zur Verkehrsanpassung in Workstations, und vor allem, Vorstellungen über die Art der Bereitstellung und Abrechnung von Diensten zu entwickeln. Basierend auf diesen Überlegungen kann die Entwicklung einer Produktionsversion erfolgen, die weitere Mechanismen zur Zugangskontrolle und Kooperation mit anderen Netzwerkmanagementsystemen implementiert.

Literatur

- [1] J.-A. Müller and U. Tönjes. Meilenstein 1, Aufbau und Charakterisierung des Testnetzes, Oktober 2001. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms1.pdf>.
- [2] S. Heßler, U. Tönjes, and T. Hoffmann. Milestone 2 report snapshot, Concepts of a prototypical implementation of test applications and bandwidth managers, Januar 2002. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms2.pdf>.
- [3] S. Heßler, T. Hoffmann, and J.-A. Müller. Meilenstein 3, Mai 2002. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms3.pdf>.
- [4] S. Heßler, K. Mochalski, and J.-A. Müller. Meilenstein 4, September 2002. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms4.pdf>.
- [5] K. Mochalski. Passive Messungen am Internetzugang der Universität Leipzig (Projektbericht), April 2003. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/measurements.pdf>.
- [6] S. Heßler, J. Käthner, and J.-A. Müller. Meilenstein 5, September 2003. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms5.pdf>.
- [7] S. Heßler, J. Käthner, and J.-A. Müller. Meilenstein 6, Juli 2003. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms6.pdf>.
- [8] J.-A. Müller and S. Heßler. Meilenstein 7, September 2003. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms7.pdf>.
- [9] J.-A. Müller and S. Heßler. Meilenstein 8, November 2003. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms8.pdf>.
- [10] K. Mochalski and S. Heßler. Meilenstein 9, Dezember 2003. <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win/ms9.pdf>.
- [11] Deutsches Forschungsnetz (DFN) e. V. Gigabit-Wissenschaftsnetz (G-WiN). WebSite, November 2003. <http://www.dfn.de/index.jsp>.
- [12] K. Irmscher and J.-A. Müller. CoS-Konzepte im Gigabit Wissenschaftsnetz. Projektantrag, 2001. Universität Leipzig.
- [13] Jean-Yves Le Boudec Anna Charny. Delay Bounds in a Network With Aggregate Scheduling, 2000. QOFIS 2000.
- [14] K. Mochalski. A passive Quality of Service Meter. QoS Measurement and Monitoring Workshop, Berlin, Juli 2003.
- [15] Klaus Mochalski. Passive Netzwerkmessungen am Internet-Zugang der Universität Leipzig. Mitteilungsheft des GI/ITG-Fachausschusses MMB, Heft Nr. 43, ISSN 0945-7216, 2003.

- [16] K. Mochalski. Homepage Passive Netzwerkmessungen. WebSite, Nov 2003.
<http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/traces/>.
- [17] NLANR. Homepage NLANR Passive Measurement and Analysis. WebSite.
<http://pma.nlanr.net>.

A. Abbildungen zu den Testergebnissen

Die im Abschnitt 6 gezeigten Abbildungen wurden zu Gunsten des Textflusses teilweise verkleinert und zum Vergleich nebeneinander gestellt. Sie werden aus diesem Grund im folgenden nochmals mit höherem Detail dargestellt.

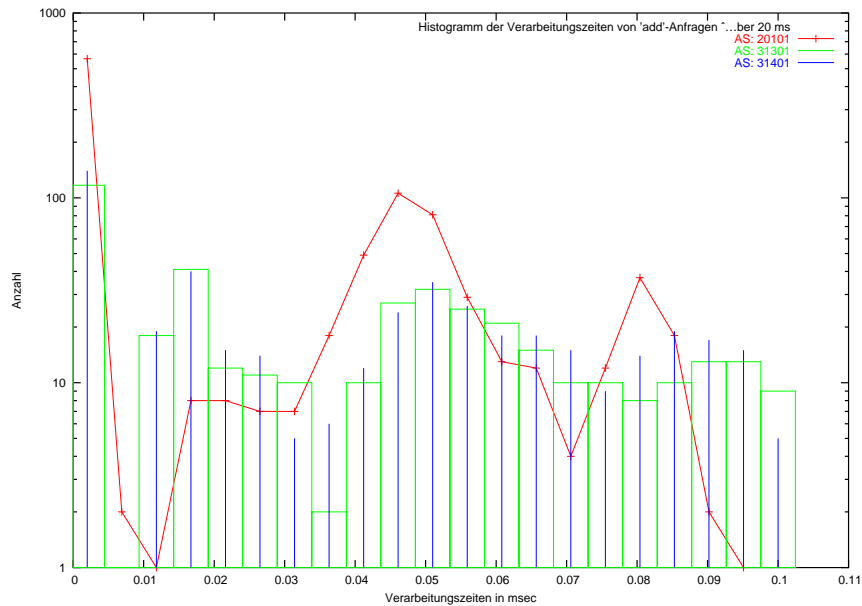


Abbildung 13: Wartezeiten Teilbaum 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$



Abbildung 14: Wartezeiten Teilbaum 1, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$

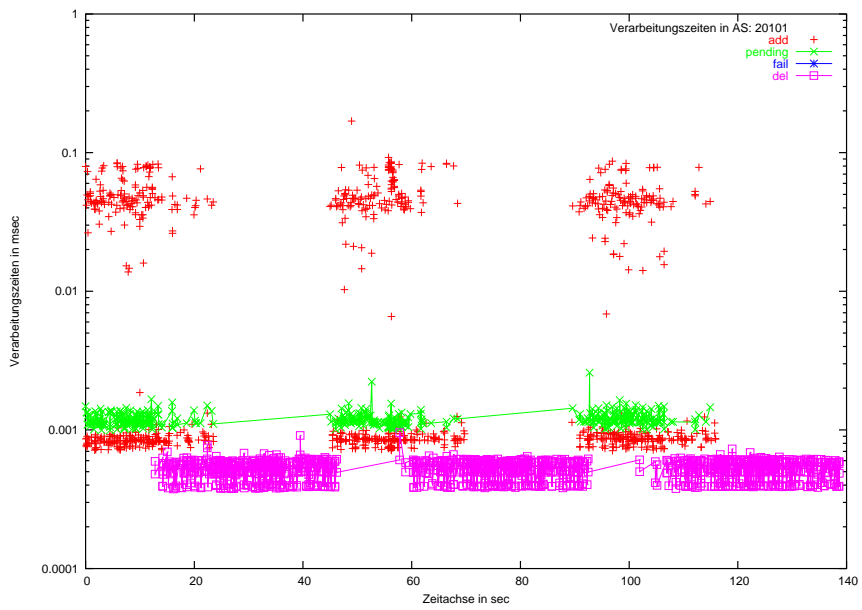


Abbildung 15: Wartezeiten bb20101 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$

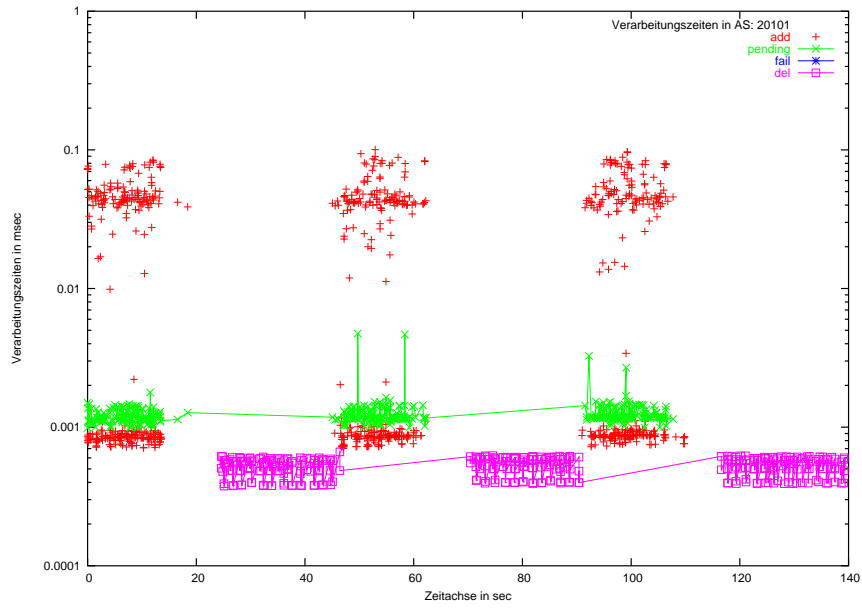


Abbildung 16: Wartezeiten bb20101, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$

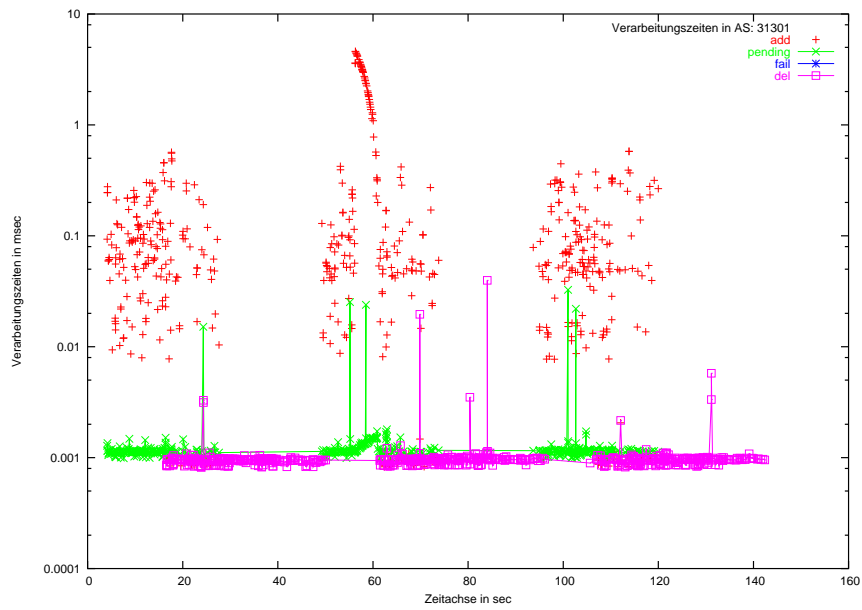


Abbildung 17: Wartezeiten bb31301 1, Test-Nr. 01, $NRU = 1$

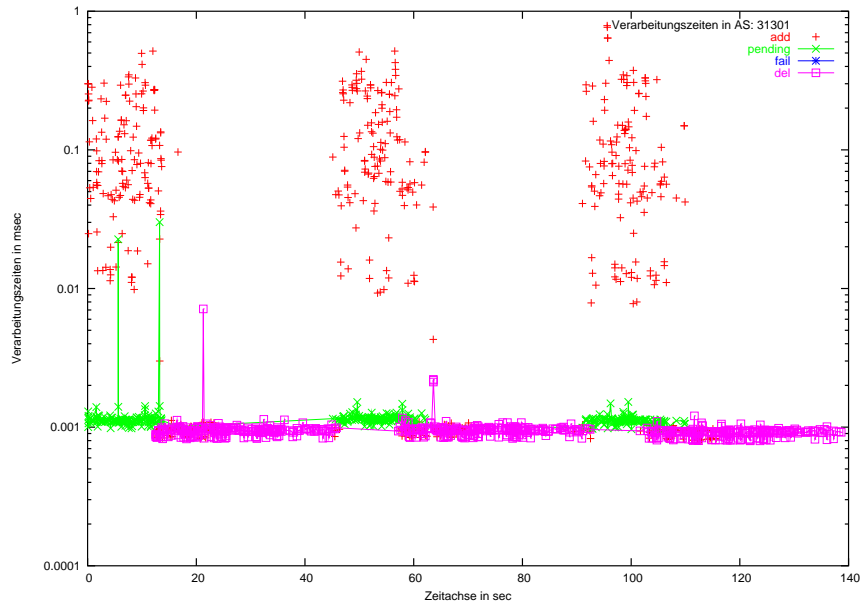


Abbildung 18: Wartezeiten bb31301, Test-Nr. 11, $NRU_{bb3xx01} = 50$, $NRU_{bb20x01} = 10$

B. Überblick der Arbeitsergebnisse des Projekts CoS-Konzepte

Im vorliegenden Abschnitt wird eine Übersicht der im Projekt erstellten Dokumente und Arbeitsergebnisse gegeben.

B.1. Projekt Meilensteine

Meilenstein 1 (17 Seiten) In Meilenstein 1 wird zunächst der Begriff “Quality of Service” unter Verwendung von Class of Service Konzepten definiert. Beginnend mit dem existierenden Netzwerk wird eine Beschreibung der installierten Komponenten gegeben. Weiterhin wird die Verwendung von COPS bzw. SNMP diskutiert und ein Protokoll zum Austausch von Informationen zwischen Bandbreitenmanagern vorgestellt.

Meilenstein 2 (21 Seiten) Im zweiten Meilenstein wird der aktuelle Stand der Entwicklungen und der Implementierungen des Projekts beschrieben. Das Protokoll zur Verhandlung von Dienstvereinbarungen wird ebenso vorgestellt, wie die laufende prototypischen Implementierung der Signalisierung des Bandbreitenmanagers. Außerdem enthält dieser Meilenstein Resultate von Messungen in der Testumgebung.

Meilenstein 3 (90 Seiten) Der dritte Meilenstein beschreibt die funktionale Architektur des Ansatzes vollständig. Desweiteren werden analytische Aussagen zum Aufwand der Signalisierung und zum Einfluss der eingesetzten Verkehrsvorhersagemechanismen getroffen. Schließlich wird die Umsetzbarkeit des EF-Dienstes im Rahmen des Testnetzes diskutiert.

Meilenstein 4 (23 Seiten) Der vierte Meilenstein beinhaltet Aussagen zur Bewertung und Einsetzbarkeit des Konzeptes. Ausserdem wird ein Calculus für den EF-Dienst in Anwendung auf IP-Telefonie vorgestellt. Ferner werden die Intregationsmöglichkeiten des Ansatzes in AMBIX und DFN PCA und die QoS Merkmale von CISCO 12000 Routern untersucht.

Meilenstein 5 (28 Seiten) Im fünften Meilenstein wird der aktuelle Stand der Implementierung des Bandbreitenmanagers und erste Ergebnisse von Laufzeitanalysen präsentiert. Im Einzelnen wird die Struktur und Aufbau der zweiten Version des Bandbreitenmanagers und der im Bandbreitenmanager enthaltenen Module “Kern” und “UBI”

beschrieben. Weiterhin wurden Laufzeittests durchgeführt, die zusammen mit der Auswertung und Interpretation selbiger präsentiert werden.

Meilenstein 6 (23 Seiten) Der sechste Meilenstein präsentiert experimentelle Untersuchungen der Teilkomponente UBI zur Bestimmung von Ende-zu-Ende Transaktionszeiten ohne Einbeziehung des Kern-Moduls des Bandbreitenmanagers. Es wird zunächst der Testaufbau beschrieben, um anschließend die Ergebnisse der Tests zu präsentieren und zu diskutieren.

Meilenstein 7 (30 Seiten) Nachdem im sechsten Meilenstein die Teilkomponente UBI im Mittelpunkt der Untersuchungen stand, wird im siebenten Meilensteinbericht die Teilkomponente “Kern” des Bandbreitenmanagers evaluiert. Desweiteren wird der Einfluss des hierarchischen Tunnelkonzepts auf die Skalierbarkeit des Ansatzes diskutiert.

Meilenstein 8 (37 Seiten) Meilenstein 8 untersucht die Performance des Bandbreitenmanagers nach der Intergration der Teilkomponenten “Kern” und “UBI”. Ferner wird der Nachweis der Funktion des Prototypischen Systems, basierend auf dem Ansatz erbracht. Es werden weiterhin Möglichkeiten untersucht, mittels intelligenter Cache-Mechanismen die Signalisierungszeiten bei der Ende-zu-Ende-Kommunikation und die Wartezeiten innerhalb der Kern-Bandbreitenmanager zu reduzieren. Die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse dieser Untersuchungen sind ebenfalls Schwerpunkte dieses Berichts.

Meilenstein 9 (12 Seiten) Meilenstein 9 beschreibt die Implementierung und den Einsatz eines prototypischen passiven Messsystems zur Dienstgüteüberprüfung in einem Bandbreitenmanager-basierten Netzwerk mit First-Hop-Routern der Größe des deutschen G-WiN. Erläutert werden die hardware- und softwaretechnischen Voraussetzungen. Es werden Beispielmessungen und Analyseergebnisse präsentiert, welche die Praxistauglichkeit des Messsystems nachweisen.

B.2. Projekt Homepage - <http://rnvs.informatik.uni-leipzig.de/q-win>

Die Homepage des Projektes ‘CoS-Konzepte im Wissenschaftsnetz’ bietet Zugriff auf die im Projekt erstellten öffentlichen Dokumente. Neben dem Abruf der Meilensteinberichte werden Informationen zu der Projektidee und den Projektzielen gegeben. Es wird auf andere verwandte Projekte, den DFN e.V. und Projektpartner verwiesen. Desweiteren finden sich die Namen und Kontaktadressen der Ansprechpartner der am Projekt beteiligten Institutionen.

B.3. Vorträge und Berichte

Irmscher, K.; Müller, J.-A.: Bereitstellung von Dienstgüte in Campusnetzen mittels Differentiated Services Management.

14. DFN-Jahrestagung über Kommunikationsnetze.
Universität Düsseldorf, 14.-16.06.2000. Düsseldorf

Müller, J.-A.: Q-WiN: Class of Service-Konzepte im G-WiN.

Arbeitstagung zu QoS-Projekten des DFN.
DFN e.V. Geschäftsstelle, 25.10.2001. Berlin

Mochalski, K.: A passive Quality of Service Meter.

QoS Measurement and Monitoring Workshop.
03. Juli 2002, Berlin.

Mochalski, K.; Irmscher, K.: Ein Quality-of-Service-Meter.

2. MMB-Arbeitsgespräch "Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen".
Universität Hamburg, 19.-20. September 2002, Hamburg.

Müller, J.-A.: Deterministische Dienste für IP-Telefonie auf Basis von DiffServ.

2. MMB-Arbeitsgespräch "Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen".
Universität Hamburg, 19.-20. September 2002, Hamburg.

Mochalski, K.; Irmscher, K.: On the Use of Passive Measurements for Modelling the Internet.

13. ITG/GI-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS03)".
Universität Leipzig, 25.-28. Februar 2003, Leipzig.
Springer-Verlag, Reihe Informatik aktuell. Berlin, Heidelberg, New York, 2003. S. 371-382

Müller, J.-A.; Irmscher, K.: Deterministische Dienste für Echtzeitanwendungen in DiffServ-Domains mit prioritätsgesteuerten Warteschlangen.

13. ITG/GI-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS03)".
Universität Leipzig, 25.-28. Februar 2003, Leipzig.
Springer-Verlag, Reihe Informatik aktuell. Berlin, Heidelberg, New York, 2003. S. 105-116

Müller, J.-A.; Hessler, S.; Irmscher, K.; Käthner, J.: Class of Service Konzepte im Gigabit Wissenschaftsnetz.

Workshop on Quality of Service, Monitoring and End-to-End Performance.
FhG Fokus, 07. April 2003, Berlin.

Müller, J.-A.; Irmischer, K.: Provision of deterministic services for voice over IP using priority queues.
18th International Teletraffic Congress (ITC18).
31 August - 05. September 2003, Berlin.