

## **Arbeitsgruppe Telekommunikation und Rechnernetze (TKRN)**

Vogt-Kölln-Straße 30, 22527 Hamburg, Tel.: +49 40 428 83-2424/2422, FAX: +49 40 428 83-2345  
URL: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TKRN>

### **1. Zusammenfassende Darstellung**

#### **Mitglieder der Fachbereichseinrichtung:**

##### *ProfessorInnen:*

Dr. Bernd E. Wolfinger (Leiter)

##### *DozentInnen:*

Dr. Martin Lehmann

##### *AssistentInnen/Wiss. MitarbeiterInnen:*

Dipl.-Inform. Stephan Heckmüller (ab 9/2006) Priv.-Doz. Dr. Klaus-Dieter Heidtmann; Dipl.-Inform. Jürgen Wolf (bis 9/2006)

##### *Technisches und Verwaltungspersonal:*

Katrin Köster, Sekretariat

##### *GastwissenschaftlerInnen:*

Jing Cong, DAAD-Stipendiatin (VR China, bis 4/2006)  
Christian Scherpe, Doktorand (bis 1/2006)

#### **Allgemeiner Überblick**

Die Arbeitsgruppe Telekommunikation und Rechnernetze arbeitet an Fragestellungen zu Netzarchitekturen, der Konzipierung und effizienten Realisierung innovativer Protokolle ("Protocol Engineering") sowie der Leistungs-/Zuverlässigkeitsanalyse, der Verkehrscharakterisierung bzw. -beeinflussung ("Traffic Engineering") und dem Dienstgüte (QoS)-Management für Kommunikations- und Rechnernetze. Der Bereich der betrachteten Kommunikations- und Rechensysteme umfasst in erster Linie heterogene, sowohl lokale, regionale als auch globale Rechnernetze (u.a. Internet, Mobilnetze) und reicht bis hin zu innovativen Rechnerarchitekturen (u.a. Parallelrechner). Die methodischen Grundlagen der Forschungsaktivitäten betreffen insbesondere Verfahren zur mathematisch-analytischen und simulativen Bewertung von Rechnernetzen und den durch sie bereitgestellten anwendungsorientierten Diensten, Verfahren zur Parallelisierung und zur effizienten Implementierung von Kommunikationssoftware sowie den Einsatz von Mess-, Lastgenerierungs-, Lasttransformations- und Netzemulationswerkzeugen. Die Entwurfs-, Analyse- und Optimierungsverfahren werden erprobt und weiterentwickelt bei der prototypischen Realisierung von Hochleistungsnetzen und von IP-basierten Rechnernetzen mit realzeitorientierten Kommunikationsdiensten sowie deren Nutzung zur Unterstützung verteilter multimedialer Anwendungen (insbesondere im Anwendungskontext E-Learning / Telelearning) mit Fokus auf qualitativ hochwertiger Audio-/Video- und Mobilkommunikation.

#### **Forschungsschwerpunkte**

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Arbeitsgruppe Telekommunikation und Rechnernetze werden einerseits im Rahmen von Kooperationsprojekten und andererseits im Rahmen von Mitarbeiter-/ Gastforscher-/Studenten-Projekten (u.a. Diplom-, Master- und Doktorarbeiten) durchgeführt. Auf folgende Forschungsschwerpunkte hat sich unsere Arbeit im Berichtszeitraum konzentriert:

##### **Hochgeschwindigkeits-, Echtzeit- und Mobilkommunikation**

(Koordinatoren: Prof. Dr. B. E. Wolfinger, PD Dr. K.-D. Heidtmann)

Die Verfügbarkeit hochleistungsfähiger Kommunikationssysteme gestattet inzwischen die Realisierung verteilter multimedialer Anwendungen in heutigen (in der Regel IP-basierten) Rechnernetzen. Allerdings führt eine qualitativ hochwertige Bewegtbildübertragung in Echtzeit noch häufig zu erheblichen Leistungseinsparungen in nicht-realzeitorientierten und/ oder leistungsschwachen Kommunikationsnetzen bzw. in den als Endsysteme benutzten PCs, Notebooks, Laptops, etc. In diesem Forschungsschwerpunkt wird daher versucht, einerseits durch vereinfachte Protokolle („light-weight protocols“) und effiziente Implementierungstechniken sowie andererseits durch Einsatz von Fehlertoleranzmechanismen (wie Vorwärtsfehlerkontrolle) und durch

adaptive Videocodierung, die für multimediale Anwendungen geforderte Dienstgüte bzw. Dienstqualität („Quality of Service“ – QoS) zu garantieren. Die dazu notwendige rechnerübergreifende Verwaltung der Rechnernetzressourcen soll dabei ebenfalls unterstützt werden. Die prototypische Realisierung entsprechender (modellbasierter) QoS-Managementsysteme zum einen für dienstintegrierte Kommunikationsnetze ohne a priori bereitgestellte QoS-Mechanismen (z.B. Lokale Netze der Ethernet-Familie), zum anderen für IP-basierte Netze (Internets und Intranets) mit „best effort“-Dienstleistung sowie überdies für Netze mit Mobilkommunikation (z.B. WLANs) steht in diesem Forschungsschwerpunkt im Zentrum des Interesses (vgl. hierzu auch begleitende konzeptionelle und stärker methodisch orientierte Arbeiten im Schwerpunkt „*Netz-/QoS-Management, Modellierung und Messungen, Traffic Engineering*“).

Überdies werden die Möglichkeiten eines Einsatzes der Mobilkommunikation (insbesondere über WLANs) in Verbindung mit Notebooks als Endsystemen für eine innovative Informatiklehre untersucht, z.B. im Rahmen universitätsübergreifender Kooperation studentischer Arbeitsgruppen im Hinblick auf ein synchrones verteiltes (Zusammen-)Arbeiten zwischen Studierenden.

### **Netz-/QoS-Management, Modellierung und Messungen, „Traffic Engineering“**

(Koordinatoren: Prof. Dr. B. E. Wolfinger, PD Dr. K.-D. Heidtmann)

Kommunikationssysteme sind, insbesondere im multimedialen Kontext, einem zunehmend breiteren Anforderungsprofil ausgesetzt. Neben diskreten sollen auch kontinuierliche Medien unterstützt werden, wobei applikations- und benutzerspezifische Anforderungen an die zu erbringende Dienstgüte zu erfüllen sind. Traditionelle Netzdienste, wie sie beispielsweise im Internet vorzufinden sind, sind in der Regel nicht in der Lage, Dienstqualitäten zu garantieren und multimediale Anwendungen hinreichend zu unterstützen. Das Transportsystem und die Anwendung selbst haben in solchen Netzen Vorkehrungen zu treffen, um die unzureichenden Eigenschaften der Netzdienste zu kompensieren.

Vor diesem Hintergrund streben wir die Entwicklung von Leistungsmodellen an, welche in der Lage sind, Komponenten innerhalb der Protokollarchitektur sowie Beziehungen zwischen diesen, analytisch oder simulativ zu modellieren. Zentral hierbei sind auf der einen Seite die durch die Anwendungen induzierten Lasten, sowohl an anwendungs- als auch an netznahen Schnittstellen, die Charakteristika der Kommunikationsbeziehung und der Einfluss der Last auf die Güte der Kommunikationsbeziehung. Auf der anderen Seite gilt es, Zuverlässigkeits- und Fehlermodelle für die multimedialen Dienste zu entwickeln, um so Auswirkungen von Fehlern auf die Anwendung abschätzen zu können, und auf Basis dieser Modelle Stabilisierungs- und Fehlertoleranzmaßnahmen ergreifen zu können.

Im Bereich des 'Traffic Engineering' liegt der Fokus der Forschung auf der Entwicklung und dem Einsatz formaler Lastbeschreibungstechniken sowie der Realisierung möglichst breit einsetzbarer (geographisch verteilter) Lastgeneratoren zur Erzeugung synthetischer Lasten an unterschiedlichen (Dienst-) Schnittstellen eines Rechnernetzes. Überdies werden Lasttransformatoren zur Umsetzung von Primärlasten in Rechnernetzen (z.B. zu übertragende Videostreams) in daraus resultierende Sekundärlasten (z.B. IP- oder ATM-Lasten) realisiert. Multimediale E-Learning-Werkzeuge zur Vermittlung von Methodenwissen und zur Erhöhung der Praxisrelevanz der Ausbildung in den Bereichen des 'Traffic Engineering' sowie der Modellierung von Rechnernetzen werden entwickelt und ihr Einsatz in der universitären Informatiklehre evaluiert.

Des Weiteren beziehen sich die Forschungsaktivitäten auf die prototypische Realisierung flexibel einsetzbarer Netzemulatoren, die sich über Standardschnittstellen, wie UDP- oder TCP/IP-Dienstschnittstellen, in den Kommunikationspfad einer verteilten Anwendung integrieren lassen und die das Paketverzögerungs- und -verlustverhalten eines Netzes aus anwendungsspezifischer Sicht realitätsnah nachbilden.

### **Parallelverarbeitung und Parallelprogrammierung**

(Koordinator: Dr. M. Lehmann)

Um die zeitlichen Limitationen sequentieller Verarbeitung zu entschärfen, werden in diesem Schwerpunkt Sprachen für Parallelprogrammierung sowie die Möglichkeiten und Grenzen der Parallelverarbeitung von Algorithmen studiert. Eine Parallelisierung wird dabei insbesondere angestrebt für Kommunikationssoftware in Hochgeschwindigkeitsnetzen, für Algorithmen zur verteilten Netzemulation und zur Echtzeitsimulation von Kommunikationsnetzen, für die Auftragsbearbeitung in Parallelrechnern und lokalen Netzen („Load balancing“) sowie für verteilte Lastgeneratoren in Rechnernetzen. Die Resultate der entsprechenden FuE-Aktivitäten zur Parallelisierung von Kommunikationsabläufen sollen in erster Linie in dem Schwerpunkt „*Hochgeschwindigkeits-, Echtzeit- und Mobilkommunikation*“ Berücksichtigung finden.

## Wissenschaftliche Zusammenarbeit

### Universitäten und Technische Hochschulen in Deutschland

- Universität Tübingen (Beantragung eines gemeinsamen Drittmittelprojektes)
- Universität Rostock (gemeinsame Teleseminarveranstaltungen, Kooperation im Rahmen lfd. Promotionsverfahren, Lizenzvertrag zur Bereitstellung von eLearning-Werkzeugen seitens TKRN)
- Universität Essen (Kooperation im Rahmen lfd. Promotionsverfahren)
- TU Berlin (Kooperation im Rahmen lfd. Promotionsverfahren)
- TU Hamburg-Harburg (Kooperation im Rahmen lfd. Promotionsverfahren)
- Kooperationspartner im Ausland
- LIP6, Université Pierre et Marie Curie, Paris (gemeinsame Publikationen, incl. Zeitschriftenpublikation)
- ENST-INFRES, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris (Lizenzvertrag zur Bereitstellung von eLearning-Werkzeugen seitens TKRN)
- Dalarna University, Schweden (gemeinsame Betreuung einer International Master Thesis)

### Ausstattung

Die Arbeitsgruppe TKRN verfügt über vier Notebooks, vier Workstations der Firma Sun, zwei davon von Sun geschenkt, sowie über mehrere Pentium-PCs unter den Betriebssystemen Windows und Linux. Einige PCs dienen den wissenschaftlichen Mitarbeitern als Arbeitsplatzrechner, die anderen werden im Labor zusammen mit den Workstations u.a. als Endsysteme für die Realisierung realzeitorientierter Audio-/ Videokommunikation, als Lastgeneratoren (zur Erzeugung zusätzlicher Netzlast), als Messmonitore sowie zur Modellierung, Simulation und Emulation von Rechnernetzen verwendet. Ferner werden sie in der Lehre für das Projekt „Echtzeitkommunikation und Mobilnetze“ genutzt.

Für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Rechnernetzbereich sind folgende lokale Netze bzw. Netzkomponenten vorhanden: Fast-Ethernet-LAN, WLAN sowie ein ATM-Switch.

### Drittmittel

Projekt:	Förderung eines Forschungsaufenthaltes einer chinesischen Gastwissenschaftlerin (Frau Jing Cong) von 10/2002 bis 4/2006
Geldgeber:	DAAD
Gesamtmittel:	Stipendium für die Doktorandin während der gesamten Laufzeit des Promotionsprojektes

## 2. Die Forschungsvorhaben der Arbeitsgruppe

### Etatisierte Projekte

#### 2.1 Hochgeschwindigkeits-, Echtzeit- und Mobilkommunikation

Heidtmann, Klaus-Dieter, Dr.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr. (Koordinatoren); Heckmüller, Stephan, Dipl. Inform.; Scherpe, Christian, Dipl.-Inform.; Wolf, Jürgen, Dipl.-Inform.

Um die längerfristigen Ziele des Forschungsschwerpunktes „Hochgeschwindigkeits-, Echtzeit- und Mobilkommunikation“ zu erreichen, werden gegenwärtig drei Teilvorhaben in diesem Schwerpunkt verfolgt:

Zum einen beschäftigen wir uns mit der Realisierung „intelligenter“ anwendungsnaher Kommunikationsdienste, die durch kommunikationsnetzexterne Fehlertoleranzverfahren, wie Einsatz von Vorwärtsfehlerkontrolle (FEC), und sonstige netzexterne Maßnahmen (z.B. realisiert in dedizierten „Middleware-Komponenten“) zur Verbesserung der Qualität von Videokommunikationsdiensten versuchen, die Mängel von Kommunikationsnetzen mit geringer Dienstgüte (QoS) dem Endbenutzer gegenüber zu verbergen (vgl. Teilvorhaben 2.1.1). Zum zweiten bezieht sich unsere Forschung auf die Konzeption von Systemen mit kommunikationsnetzinternen Managemententscheidungen, um die Dienstgüte im Kommunikationsnetz selbst zu erhöhen bzw. eine geforderte QoS zu gewährleisten sowie eine effiziente Betriebsmittelnutzung trotz Echtzeitkommunikationsanforderungen zu ermöglichen (vgl. Teilvorhaben 2.1.2). Des weiteren werden auch Kombinationen aus netzexternen und netzinternen Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung bei Videokommunikation oder VoIP-basierter Sprachübertragung sowie deren Wechselwirkungen von uns untersucht, wobei als wichtige und anspruchsvolle zu lösende Teilaufgabe hier die präzise Definition eines aussagekräftigen Momentanzustandes eines Kommunikationsnetzes (z.B. aktuelles Belastungsniveau, Momentanpaketverlustrate, o.ä.) im Vordergrund steht, incl. der Entwicklung von Verfahren zur schnellen Erkennung signifikanter Zustands-

änderungen (vgl. Teilvorhaben 2.1.3). Die Arbeiten im gesamten Schwerpunkt beziehen sich zur Zeit primär auf Mobilnetze (insbesondere WLANs), Fast Ethernet-LANs und globale Rechnernetze (Internet). Bei Betrachtung konkreter Videocodierungsalgorithmen werden bislang vorrangig die Standards MPEG-1/-2/-4 sowie H.261/H.263/H.264 für die entsprechenden experimentellen Studien zugrundegelegt.

### 2.1.1 Realisierung adaptiver, fehlertoleranter multimedialer Anwendungen mit Echtzeitkommunikation

Heidtmann, Klaus-Dieter, Dr.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.

*Laufzeit des Projektes:*

seit Januar 1999

*Projektbeschreibung:*

Qualitätsverbesserung für Audio-/Videokommunikation mit Echtzeitanforderungen durch dedizierte Middleware: Architekturkonzepte und Werkzeuge zur Qualitätsbeurteilung

Für die durch die TKRN-Forschungsgruppe bereitgestellten Werkzeuge zur QoS-Beurteilung von Videokommunikation in Echtzeit aus Endbenutzersicht wurde inzwischen eine aus aktueller Sicht hinreichend umfassende Systemfunktionalität erreicht. Dies betrifft zum einen den Netzemulator *NetEmu*, der die Qualitätsbeurteilung von Videosequenzen gestattet, die über eine Menge gekoppelter Kommunikationsnetze übertragen werden, unter detaillierter Berücksichtigung vollständiger Kommunikationspfade sowie der auf ihnen entstandenen Ende-zu-Ende-Paketverzögerungen und -verluste. Bei dem zweiten Werkzeug zur QoS-Beurteilung handelt es sich um das im Rahmen des TeleMuM-Projektes entwickelte Werkzeug *Medien-Explorativ*. Sowohl für *NetEmu* als auch für *MedienExplorativ* konnten im Berichtszeitraum die Benutzungsschnittstellen und die Bedienungsanleitungen und Systemdokumentationen weiter verbessert werden. Für *MedienExplorativ* wurde insbesondere auch eine optionale englischsprachige Benutzungsoberfläche realisiert. Beide Werkzeuge wurden im Berichtszeitraum erfolgreich in Forschung und Lehre eingesetzt, um die (subjektiv wahrgenommene) Qualität von Audio-/Videokommunikation in Echtzeit aussagekräftig und valide zu beurteilen, insbesondere in Kommunikationsnetzen, in denen QoS-verbessernde Maßnahmen und Algorithmen integriert sind.

*Schlagwörter:*

Fehlertoleranz; Fehlerkontrolle; Codierungsstandards (MPEG, H.261, H.263); Hochgeschwindigkeitskommunikation; Dienstqualität; Applikationen, adaptive

*Publikationen aus dem Projekt:*

- Heidtmann, K.: Evaluation of Video Communication over Packet Switching Networks, 3rd European Dependable Computing Conference EDCC-3, Prag, 1999, 24-41
- Heidtmann, K.: Leistungs- und Zuverlässigkeitsaspekte von Videokommunikation mit Echtzeitanforderungen, 2. WAKI- / G-IIA-Symposium (Wissenschafts-Akademie für Kommunikations- und Informationstechnik) über Verteilte multimediale Anwendungen und diensteintegrierende Kommunikationsnetze, Flensburg, September 1999, 111-125
- Heidtmann, K.; Kohlhaas, C.; Zaddach, M.: Messung der Netzlast und Bewertung der Videoqualität bei Videokommunikation über Paketvermittlungsnetze, GI/ITG-Fachtagung über Architektur von Rechner-Systemen, Jena, Oktober 1999, 237-248
- Norgall, J.: Lastanalyse zur Modellierung H.264/AVC-kodierter Videoströme, MMBnet 2005, s. Wolfinger B.E., Heidtmann K. (Hrg.), 2005, pp. 111-118
- Suchanek, T.: Lösungsansätze zur empfängerbasierten Behandlung von Übertragungsfehlern in H.263-kodierten Bewegtbildsequenzen, Fachwissenschaftlicher Informatik-Kongress, Bad Schussenried, Okt. 2000, in: Informatiktage 2000, Konradin Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 2000

### 2.1.2 Lastadaptive Ressourcenverwaltung bei Echtzeitkommunikation über lokale (Mobil-)Netze

Heckmüller, Stephan, Dipl. Inform.; Wolf, Jürgen, Dipl. Inform.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.; externe Kooperationspartner: Le Grand, Gwendal, Dr. (ENST-INFRES, Paris); Anelli, Pascal, Prof. Dr. (Université de La Réunion / F.)

*Laufzeit des Projektes:*

seit September 2001

*Projektbeschreibung:*

Drahtlose Kommunikationsinfrastruktur wird – gefördert durch die technischen Weiterentwicklungen – verstärkt zur Übertragung unterschiedlichster Daten eingesetzt. Gleichwohl sind die Übertragungsressourcen, verglichen mit den leitungsgebundenen Pendanten, deutlich eingeschränkter. Nichtsdestotrotz werden die drahtlosen Netze prinzipiell selbst für aufwändige Anwendungen wie Audio- oder Videoübertragungen genutzt. Allerdings sind lokale Netze, drahtlose wie drahtgebundene, ohne Erweiterungen ihrer Netzarchitektur bzw. ihrer Protokolle in der Regel nicht in der Lage, die Kommunikationsdienste dauerhaft mit der für eine Echtzeitkommunikation erforderlichen Qualität zu erbringen. Eine Garantie von Dienstgüte (QoS) in lokalen Rechnernetzen kann indes durch Maßnahmen wie Betriebsmittelreservierungen, Verkehrspriorisierung oder aber einer absichtlichen Überdimensionierung der Netzressourcen erreicht werden. Das Aufteilen von Bandbreite in konventionellen Kommunikationsnetzen ohne Echtzeitbedingungen ist bereits relativ gut verstanden. Bei Kommunikationsnetzen mit zu garantierenden Maximalverzögerungen der zu übertragenden Dateneinheiten zwischen Endsystemen ("end-to-end delay") sind dynamische Bandbreitevergabe-Algorithmen noch Gegenstand intensiver Forschung. Dies gilt insbesondere für "Broadcast-Netze", wie sie bei Mobilkommunikation typisch sind, die Dienstgütegarantien hinsichtlich maximaler Ende-zu-Ende-Verzögerungen zu erbringen haben.

In diesem Projekt betrachten wir den Ansatz der Betriebsmittelreservierung (primär bezogen auf Übertragungskapazität) sowie seine Nutzung in (o.B.d.A. lokalen) Broadcast-Netzen. Insbesondere untersuchen wir, auf welche Weise Betriebsmittel, die bereits reserviert und kommunizierenden Endbenutzern fest zugeordnet sind, zeitweise „verliehen“ werden können. Abschätzungen der Momentanauslastung haben sich als ein probates Mittel erwiesen, entsprechende Phasen zu erkennen und auszunutzen. Zur Vermeidung von zu häufigen Zustandswechseln nutzen wir weiterhin parametrisierbare Schwellwertsysteme, welche sich an die jeweiligen Echtzeit-Anforderungen der Anwendung anpassen lassen. Im Berichtszeitraum haben wir hierauf aufbauend probabilistische Schwellwertsysteme entwickelt, die durch Berücksichtigung der stochastischen Lasteigenschaften eine Erhöhung der Effizienz bei minimal erhöhter Verzögerung ermöglichen.

Einen weiteren wichtigen Aspekt, gerade für reale Anwendungen, stellen applikationsabhängige Parametrisierungen des eingesetzten Betriebsmittelmanagements dar; es muss sichergestellt werden, dass im Bedarfsfall verliehene Betriebsmittel rechtzeitig wieder verfügbar sind, um Echtzeitanforderungen bzw. QoS-Garantien nicht zu verletzen. Zur Anwendungsstudie dient unter anderem eine Multimedia-Server-Architektur, welche Nutzern über einen Schnittstellenrechner Zugriff auf im lokalen Netz verteilt gespeicherte Multimediadokumente erlaubt. Insbesondere für die Übertragung kontinuierlicher Dokumente, wie Audio- und Videoströme, soll ein Bandbreitenmanagement zur Optimierung der Auslastung des internen Kommunikationsnetzes eingesetzt werden. Überdies erweitern wir existierende, *ns2*-basierende Rechnernetzsimulationsmodelle um Komponenten zur Simulation des adaptiven Dienstgütemanagements (auf Medienzugriffsebene) für den aktuellen WLAN-Standard 802.11e von IEEE. Damit können Leistungsanalysen gewonnen und unsere analytischen Modelle validiert werden.

Vorwiegend aus den analytischen Betrachtungen lassen sich insbesondere auch Werkzeuge zur Bestimmung geeigneter Parameter der vorgestellten Algorithmen ableiten. Diese dienen im Falle praktischer Anwendung dazu, bekanntes a priori Wissen über die Verkehrsströme bzw. die individuellen Anforderungen der beteiligten Anwendungen in die Auswahl der Kenngrößen sinnvoll einfließen zu lassen.

Einen Teil der gewonnenen Erkenntnisse haben wir bereits in den Beiträgen [Wolf 2004], [Harivelo, Le Grand, Anelli, Wolf, Wolfinger 2004] und [Wolfinger, Wolf, Le Grand 2005] veröffentlicht; eine erweiterte und vertiefte Publikation der Resultate ist in der kurz vor ihrer Vollendung stehenden Dissertationsschrift von Jürgen Wolf im Laufe des Jahres 2007 zu erwarten. Im Berichtszeitraum konnte auch die Eignung des lastadaptiven Ressourcenverwaltungsalgorithmus für Telefonie-Anwendungen sowie dessen weitgehende Verträglichkeit mit TCP demonstriert werden (vgl. Abschnitt 2.2.2a).

*Schlagwörter:*

Dienstgüte, Ressourcenmanagement, Echtzeit-Kommunikation, Leistungsbewertung, Mobilnetze

*Publikationen aus dem Projekt:*

- Heckmüller S.: Bereitstellung von Dienstgüte für aggregierte Multimediaströme in lokalen ‚Broadcast‘-Netzen, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2007, Bern, 26. Februar - 2. März 2007 (Award: "Best Diploma Thesis 2006")
- Harivelo F., Le Grand G., Anelli P., Wolf J., Wolfinger B.E.: Expedited Forwarding for WiFi, Proc. of 1st International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Mauritius, 2004

- Wolf J., Wolfinger B.: Analytische Leistungsbewertung von Algorithmen zur bedarfsabhängigen Betriebsmittelverwaltung in "Broadcast"-Netzen, 2. MMB-Arbeitsgespräch, 19./20. September, Hamburg, 2002, in: Wolfinger B.E., Heidtmann K. (Hrsg.), Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen, Univ. Hamburg, Fachbereich Informatik, Bericht FBI-HH-B-242/02, 2002
- Wolf J.: Network Resource Management for Real-Time Streams within a Multimedia Document Server Architecture, Proc. of 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (IWK), Ilmenau, 2004
- Wolf J., Wolfinger B.E., Le Grand G., Anelli P.: Leistungsbewertung von Algorithmen zur dynamischen Ressourcenverwaltung in lokalen "Broadcast"-Netzen, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2003, Leipzig, Februar 2003
- Wolf J., Wolfinger B.E.: Efficient Resource Management for Distributed Applications with Real-Time Requirements in Broadcast Networks, 8th CaberNet Radicals Workshop, 2003
- Wolfinger B.E., Wolf J., Le Grand G.: Improving Node Behavior in a QoS Control Environment for Local Broadcast Networks, Proc. of the Internat. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2003
- Wolf J., Heckmüller S., Wolfinger B.E.: Dynamic Resource Reservation and QoS Management in IEEE 802.11e Networks, International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), July 24-28, Cherry Hill, New Jersey, USA, 2005 pp. 149-161
- Wolfinger B.E., Wolf J., LeGrand G.: Improving Node Behaviour in a QoS Control Environment by Means of Load-dependent Resource Redistributions in LANs, Internat. Journal of Communication Systems, Wiley, Vol. 18, Issue 4, May 2005, pp. 373-394

### 2.1.3 Qualitätsverbesserung von Video- und Sprachkommunikation über das Internet

Heidtmann, Klaus-Dieter, Dr.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.; externe Kooperationspartner: Fdida, Serge, Prof. Dr. (LIP6, Université P. et M. Curie, Paris); Ziviani, Artur, Prof. Dr. (National Laboratory of Scientific Computing, Rio de Janeiro, Brasilien)

*Laufzeit des Projekts:*

seit Mai 2001

*Projektbeschreibung:*

Die Bedeutung der Videokommunikation in heutigen Rechnernetzen nimmt beträchtlich zu, u.a. infolge der zunehmenden Bedeutung verteilter Multimediaanwendungen (z.B. Videokonferenzen, Videospiele, Videotelephonie, Video-over-IP, etc). Die wichtigsten der gegenwärtig existierenden Klassen von Netzen (Internet, WLANs, traditionelles Ethernet, ...) sind im allgemeinen nicht in der Lage, Videoübertragung in Echtzeit in sehr guter Qualität auch im Hochlastbereich des Netzes dauerhaft bereitzustellen.

Hieraus bezog eine im Berichtszeitraum durchgeführte und abgeschlossene Diplomarbeit [Fey 2006] ihre Motivation. Insbesondere wurde angestrebt, das weitverbreitete TCP-Protokoll geeignet zu modifizieren, um seine Echtzeitfähigkeit zu verbessern. Dabei ergaben sich nach eingehenden Untersuchungen im Rahmen einer Studienarbeit drei unterschiedliche Möglichkeiten, die in der nachfolgenden Diplomarbeit implementiert und untersucht wurden. Dabei handelt es sich um Varianten des weit verbreiteten TCP-Protokolls, die aus diesem Protokoll selbst abgeleitet wurden. Genauer wurden in der TCP-Implementation des Betriebssystems Linux jeweils unterschiedliche Funktionen abgeschaltet bzw. entfernt, welche die Videokommunikation beeinträchtigen können. Dabei zeigte sich, dass die Änderung des Betriebssystemkerns, in den das TCP-Protokoll integriert ist, eine sehr aufwendige und komplexe Aufgabe darstellt. Dies ist eine Folge der vielen Funktionen die vom Betriebssystemkern erbracht werden und der vielen Zusammenhänge und Abhängigkeiten innerhalb eines solch umfangreichen Softwarepakets. In mehreren Experimenten mit den neuen TCP-Varianten wurde dann gezeigt, wie sich die Qualität der Videoübertragung damit verbessern lässt. Die Nutzung der neuen Varianten zusammen mit dem ursprünglichen TCP-Protokoll im Netz wurde ebenfalls thematisiert. Leider konnten nützliche Fähigkeiten der neuen TCP-Varianten in der darüber liegenden Videoanwendung nicht in dem erwarteten Maße zur Geltung gebracht werden.

*Schlagwörter:*

Dienstgüte, Videokommunikation, MPEG, Voice over IP (VoIP), Differentiated Services (DiffServ), Vorwärtsfehlerkontrolle (FEC)

*Publikationen aus dem Projekt:*

Daskalaki, K.: Architektur und adaptive Algorithmen zur Qualitätsverbesserung von Videokommunikation aus Endbenutzersicht, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2005

- Fey, A.: Untersuchung selbst abgeleiteter TCP-Varianten zur Videokommunikation, Diplomarbeit, Univ. Hamburg, 2006
- Ziviani A., Wolfinger B.E., de Rezende J.F., Duarte O.C.M.B.; Fdida S.: On the Combined Adoption of QoS Schemes to Improve the Delivery Quality of MPEG Video Streams, 2002 Intern. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, SPECTS 2002, July 14-19, San Diego, California/USA, 2002
- Ziviani A., Wolfinger B.E., de Rezende J.F., Duarte O.C.M.B., Fdida S.: Joint Adaption of QoS Schemes for MPEG Streams, *Multimedia Tools and Applications Journal*, Kluwer, Academic Publishers, Vol. 26, No. 1, May 2005, pp. 59-80

### 2.1.4 Routing in Multi-hop Ad-hoc Netzen

Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.; externe Kooperationspartner: Fladenmuller, Anne, Dr. sowie Karbaschi, Golnaz (beide LIP6, Université P. et M. Curie, Paris)

*Laufzeit des Projekts:*

seit Mai 2006

*Projektbeschreibung:*

Zu den anspruchsvollsten Problemen bei Multi-hop Mobilnetzen – d.h. Netzen, bei denen zwischen den kommunizierenden Mobilstationen der Datenaustausch indirekt unter Inanspruchnahme von Zwischenknoten erfolgt – gehört die Wegeermittlung (engl. Routing). Während des Forschungsaufenthaltes von Prof. Wolfinger am LIP6 (Mai/ Juni 2006) wurde, im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mit zwei LIP6-Wissenschaftlerinnen, als eine neue Forschungsaufgabe das adaptive Routing in Multi-hop Mobilnetzen aufgegriffen. Insbesondere wurde dabei eine innovative Messmethode (*QualRout* genannt) konzipiert, die die Übertragungsqualität zwischen direkt kommunizierenden Mobilstationen durch die (passive) Beobachtung des von anderen Stationen induzierten Verkehrs erkennt, den eine Station mithören kann, wenn sie sich in derselben Funkzelle befindet (ohne dass sie selbst als Sender oder als adressierter Empfänger der Datenübertragung fungiert). In Anbetracht der nur passiven Beobachtung ist die Messmethode im Gegensatz zu bislang benutzten Methoden sehr effizient, da kein zusätzlicher „Overhead“ an zu übertragenden Datenpaketen zu Messzwecken in das Netz eingespeist wird. Dies gilt um so mehr als für das Versenden der Momentanschätzungen von Mobilverbindungsqualitäten an Nachbarstationen die ohnehin periodisch verschickten Routing-Updates verwendet werden (wobei hier „Verbindung“ eine einzelne Funkstrecke zwischen Stationen einer gemeinsamen Zelle bezeichnet). Umfassende Vergleiche (mittels ns2-Simulationen) zwischen konventionellen Routing-Algorithmen, die ohne detaillierte Kenntnis der momentanen Verbindungsqualität ihre Routingscheidungen treffen, und einem *QualRout*-basierten Routing sind sehr ermutigend im Hinblick auf den zu erwartenden Effizienzgewinn hinsichtlich erzielbarem Gesamtnetzdurchsatz und mittlerer Ende-zu-Ende-Verzögerungen zwischen kommunizierenden Stationen.

Die durchgeführten Forschungsarbeiten konnten inzwischen bereits soweit konsolidiert werden, dass ein gemeinsames Papier (G. Karbaschi, A. Fladenmuller, B.E. Wolfinger) ausgearbeitet wurde und im Dezember 2006 bei einer Fachzeitschrift eingereicht wurde.

*Schlagwörter:*

Ad-hoc Netze, Mobilkommunikation, Drahtlose Datenübertragung, Routing, Messungen, Übertragungsqualität

### 2.2 Netz-/QoS-Management, Modellierung und Messungen, “Traffic Engineering“

Heidtmann, Klaus-Dieter, Dr.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr. (Koordinatoren); Heckmüller, Stephan, Dipl. Inform.; Scherpe, Christian, Dipl.-Inform.; Wolf, Jürgen, Dipl.-Inform.

Die zur Zeit laufenden Projekte innerhalb des Forschungsschwerpunktes „Netz-/QoS-Management, Modellierung, ‘Traffic Engineering‘ ” orientieren sich an den beiden Primärzielen eines *modellbasierten Dienstgütemanagements für innovative Kommunikationssysteme* sowie an einer angestrebten Nutzung von *Analyse- und Bewertungswerkzeugen*, die sich als eine sehr *flexible Kombination aus Realsystemkomponenten* (z.B. verteilte multimediale Anwendungen mit Echtzeitkommunikationsanforderungen, Mobilnetze, LANs, Teilnetze des Internet, Intranets) und *Modellkomponenten* (z.B. künstliche Lastgeneratoren, analytische oder simulative Rechnernetzmodelle) konfigurieren und einsetzen lassen. Die Forschungsarbeiten im Berichtszeitraum bezogen sich in einem FuE-Projekt dieses Forschungsschwerpunktes auf die Weiterentwicklung der Lastgenerierungs-, Lasttransformations-, Modellierungs-, Netzemulations-, Mess- und Analysewerkzeuge, insbesondere zum Zwecke der Durchführung QoS-relevanter Studien für Multimediaanwendungen, die über

verlustbehaftete Paketvermittlungsnetze kommunizieren (Werkzeuge, vgl. Teilvorhaben 2.2.1). Zwei Projekte dieses Schwerpunkts betreffen die Entwicklung und Nutzung von Modellen für Kommunikationsnetze, insbesondere von Mobilnetzen (Systemmodelle, vgl. Teilvorhaben 2.2.2, bzw. Lastmodelle und ihre Nutzung bei der Realisierung von künstlichen, evtl. geographisch verteilten Lastgeneratoren, vgl. Teilvorhaben 2.2.3). Die erzielten Forschungsergebnisse gestatten insbesondere eine deutliche Verbesserung des lastadaptiven Dienstgüte-(QoS-) Managements, das durch ein neues – QoS-Anforderungen berücksichtigendes – Konzept für das Ressourcenmanagement in „Broadcast“-Netzen bei Überlagerung von Echtzeit- und Nicht-Echtzeit-Verkehr unterstützt wird (zu den gesamten Aktivitäten im Umfeld des Managements von Rechnernetzen, vgl. Teilvorhaben 2.2.4). Im Rahmen eines Forschungssemesters (an der Université P. et M. Curie, Paris) wurde überdies als ein neues Forschungsvorhaben (vgl. Teilvorhaben 2.2.5) ein Projekt gemeinsam mit Wissenschaftlern des LIP6, Paris begonnen, das die Gewinnung von Modellen zum Ziel hat, die in der Lage sind, ein gemessenes Systemverhalten von Rechensystemen und Kommunikationsnetzen möglichst gut zu reflektieren (funktionale Modellierung).

### **2.2.1 Entwicklung und Anwendung von Modellierungs-, Emulations- und Analysewerkzeugen für Netze (Mobilnetze, Internet) mit Medienkommunikation**

Scherpe, Christian, Dipl.-Inform.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.

*Laufzeit des Projektes:*

seit Januar 2000

*Projektbeschreibung:*

Die früher übliche Sicht bei Entwicklung und Analyse von Rechnernetzen bestand in einer klaren Separierung zwischen Netz und Anwendungen. Diese Sicht brachte den Vorteil einer Komplexitätsreduktion: Es war möglich, Netz und Anwendungen weitgehend unabhängig voneinander zu realisieren, zu konfigurieren bzw. zu analysieren. Infolge des verstärkten Aufkommens dienstintegrierter Kommunikationsnetze, d.h. Netze, die unterschiedliche Verkehrsarten (Daten, Sprache, Festbilder, Videosequenzen, ...) über eine gemeinsame Kommunikationsinfrastruktur übertragen, ist es nunmehr unverzichtbar, dass im Kommunikationsnetz die verschiedenartigen Anforderungen der kommunizierenden Anwendungen an die Qualität der zu erbringenden Kommunikationsdienste (Quality of Service, QoS) Berücksichtigung finden. Umgekehrt ist es häufig auch wünschenswert, dass sich verteilte Anwendungen ihrerseits in ihrem Verhalten an den Momentanzustand des Kommunikationsnetzes anpassen, beispielsweise durch adaptive Codierung oder adaptive Senderate bei „Video Streaming“. Somit zeigt sich, dass verteilte Anwendungen und das von ihnen benutzte Kommunikationsnetz (z.B. Internet, WLANs) inzwischen immer stärker miteinander verwoben sind. Ergo ist es bei dem Entwurf und der Realisierung innovativer verteilter Anwendungen (z.B. Multimedia-Anwendungen) zunehmend wünschenswert, ein Werkzeug zur Verfügung zu haben, das es gestattet, das Verhalten einer verteilten Anwendung und deren Kommunikation über verschiedenartige Netze mit unterschiedlichen Paketverlust- und Paketverzögerungscharakteristika gezielt zu untersuchen und realistisch zu bewerten.

Hieraus bezog das vorliegende, hauptverantwortlich von Herrn Christian Scherpe im Rahmen seiner Promotion bearbeitete, Projekt seine Motivation, das sich zur Aufgabe gemacht hat, in intensiver Zusammenarbeit mit Studierenden der TKRN-Gruppe (Studien-/Diplomarbeitenden), einen möglichst allgemein einsetzbaren Netzemulator für gekoppelte Rechnernetze zu entwickeln – basierend auf einem flexibel kombinierbaren Einsatz verschiedenartiger Prognosekomponenten zur Verhaltensprognose der emulierten und miteinander gekoppelten Teilnetze. Der Emulator sollte sich dabei so in verteilte Anwendungen integrieren lassen, dass aus Anwendungssicht möglichst keinerlei Unterschied zwischen der Kommunikation über den Netzemulator und derjenigen über ein reales Rechnernetz feststellbar sein sollte. Insbesondere sollten dabei auch UDP und TCP, die beiden wesentlichen Transportdienste des heutigen Internet, in einem zu entwickelnden Emulatorprototypen abgedeckt werden. Die bereitzustellenden Prognosekomponenten sollten sowohl die Nutzung von ‚Traces‘ (z.B. Realnetzmessungen bzgl. Paketverlusten/-verzögerungen) als auch die Verwendung von Netzmodellen mit wahlweise analytischer oder simulativer Modellauswertung gestatten.

Im Rahmen seiner zu Beginn des Jahres 2006 publizierten Dissertationsschrift [Scherpe 2006] hat Herr Scherpe mit den beteiligten Studierenden (I. Brehmer, F. Bühring, T. Kamel, I. Salzmann) die in unserem Emulationsprojekt gesteckten Ziele nunmehr weitestgehend erreicht und dabei insbesondere die nachfolgenden praxisrelevanten Resultate und wissenschaftlichen Beiträge erzielt, u.a.

- Entwicklung einer allgemeinen Architektur zur verteilten Emulation gekoppelter Rechnernetze unter Nutzung unterschiedlicher Typen von Prognosekomponenten;
- Erarbeitung innovativer Konzepte zur Integration von trace- und modellbasierten Prognosekomponenten mit möglichst breitem Funktionsumfang in den vorgeschlagenen Netzemulator (u.a. Nutzbarkeit last- und zeitabhängiger Traces, Unterstützung der Parametrisierung analytischer Prognosemodelle

durch Ratenschätzungen, Bereitstellung von Modellbausteinen für modellbasierte Prognosekomponenten);

- Entwicklung von Prototypen für Netzemulation aufsetzend sowohl auf der IP- als auch auf der UDP-Schnittstelle;
- äußerst konsequentes und sehr gut strukturiertes Vorgehen bei dem Austesten und der Bestimmung der Leistungsgrenzen des Emulatorprototypen; und nicht zuletzt
- sehr aussagekräftige Fallstudien zur Illustration der Anwendungsbreite und des Einsatzspektrums des realisierten Netzemulators (*NetEmu*) sowie der bei dem vorgeschlagenen Emulationsansatz erreichbaren, außerordentlich guten Realitätsnähe.

*Schlagwörter:*

Modellierung; Optimierung; Analyse; Echtzeitsimulation; Experimentierumgebung; Netzemulation

*Publikationen aus dem Projekt:*

- Brehmer I.: Realisierung eines IP-basierten Netzemulators, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamb., 2005
- Bühning, F., Scherpe, Chr.: Modellierungsverfahren zur lastabhängigen Verhaltensprognose von Kommunikationsnetzen in Echtzeit, Proc. 14. Symp. Simulationstechnik, ASIM 2000, Hamburg, 2000
- Kamel, T.: Generierung und Einsatz lastabhängiger Traces zur Emulation von Kommunikationsnetzen, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2004
- Salzmann I.: Erstellung von Simulationsmodellen für Mobilnetze und ihre Integration in einem Netzemulator, Fachwissenschaftlicher Informatik-Kongress, GI-Informatiktage 2003, Bad Schussenried, Nov. 2003
- Scherpe C.: Emulation von Rechnernetzen und Netzkopplungen, Proc. zur Tagung Modellierung 2004, 23.-26.3.2004, Marburg, LNI 45 GI 2004, S. 305-306
- Scherpe C.: Emulation gekoppelter Rechnernetze mit lastabhängigem Verzögerungs- und Verlustverhalten - Architekturkonzepte, prototypische Realisierung und Fallstudien, Dissertation, Department Informatik, Universität Hamburg, 2006, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 4, Shaker-Verlag, Aachen, 2006
- Scherpe C., Brehmer I., Wolfinger B.E.: IP-basierte Emulation von gekoppelten Rechnernetzen, MMBnet 2005, s. Wolfinger B.E., Heidtmann K. (Hrg.), 2005, pp. 61- 70
- Scherpe, C., Wolf, J.: Echtzeitsimulation von Multi-Hop Ad-hoc Netzen, 16. Symposium Simulationstechnik, ASIM 2002, Rostock, 2002
- Scherpe, C., Wolf, J.: Real-Time Simulation of Multi-Hop Ad hoc Networks, CaberNet Radicals Workshop, Funchal, Madeira, 24.-27. Feb. 2002
- Scherpe C., Wolfinger B.E., Salzmann I.: Model Based Network Emulation to Study the Behavior and Quality of Real-Time Applications, 7th IEEE Internat. Symp. on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT 2003), 23.-25. Okt. 2003, Delft, NL

### **2.2.2 Analytische, simulative und hybride Leistungs-/Zuverlässigkeitsmodelle für Kommunikationsnetze und verteilte Anwendungen**

Heckmüller, Stephan, Dipl. Inform.; Heidtmann, Klaus-Dieter, Dr.; Scherpe, Christian, Dipl.-Inform.; Wolf, Jürgen, Dipl.-Inform.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.; externe Kooperationspartner: Fdida, Serge, Prof. Dr. (LIP6, Université P. et M. Curie, Paris), Ziviani, Artur, Prof. Dr. (NLSC, Rio de Janeiro, Brasilien)

*Laufzeit des Projektes:*

seit Januar 1997

*Projektbeschreibung:*

#### **Modelle zur Leistungsbewertung von Audio- und Videokommunikation in Echtzeit**

Drahtlose Kommunikationsinfrastrukturen werden verstärkt zur Übertragung unterschiedlichster Arten von Daten eingesetzt. Durch die zunehmende „Multimedialisierung“ werden auch vermehrt kontinuierliche Datenströme, wie Audio- oder Videodaten, versendet. Drahtlose Netze nach den bisher verabschiedeten Standards von IEEE sind ohne Erweiterungen ihrer Netzarchitektur bzw. ihrer Protokolle nicht in der Lage, die Kommunikationsdienste dauerhaft mit der für eine Echtzeitkommunikation erforderlichen Qualität zu erbringen. Eine Garantie von Dienstqualität respektive Dienstgüte (QoS) in lokalen Rechnernetzen kann indes durch Maßnahmen wie Betriebsmittelreservierungen, Verkehrspriorisierung oder aber einer absichtlichen Überdimensionierung der Netzressourcen erreicht werden. In diesem Projekt erstellen wir Modelle, um die Leistung unseres neuen Ansatzes der Betriebsmittelreservierung (vgl. auch Abschnitt 2.1.2) sowie seine Nutzung in drahtlosen Netzen, zu analysieren, zu bewerten und zu validieren (vgl. [Harivelo, Le Grand, Anneli, Wolf, Wolfinger 2004]).

Hierbei bedienen wir uns sowohl simulativer als auch analytischer Methoden. Im Bereich der diskreten Simulation wurden existierende Simulationsmodelle für WLANs signifikant erweitert, um die Eignung unseres Ansatzes zur dynamischen Betriebsmittelverwaltung für reale Netze bewerten zu können (vgl. [Wolf, Heckmüller, Wolfinger 2005]). Im Berichtszeitraum konnte die Tauglichkeit des Verfahrens für WLAN-Netze nach dem Standard IEEE 802.11e durch Simulationsstudien weiter untermauert werden: Einerseits konnten wir eine Erhöhung der Effizienz für überlagerte multimediale Datenströme feststellen, wobei sich dies insbesondere auch für den immer wichtiger werdenden Bereich der Telefonie-Anwendungen, z.B. auf Voice-over-IP (*VoIP*)-Basis, konstatieren ließ. Andererseits ließ sich auch die Verträglichkeit mit Strömen, welche nicht Gegenstand des Reservierungsverfahrens sind, weiter belegen. Dies gilt vor allem auch für solche Ströme, die einer Sättigungskontrolle, wie u.a. bei *TCP*, unterworfen sind (vgl. [Heckmüller 2006/ 2007]).

Weiterhin wurden im Berichtszeitraum analytische Modelle zur Bewertung unseres Ansatzes zur Betriebsmittelreservierung entwickelt. Diese umfassen stochastische Modelle zur Bewertung der von uns verwendeten Lastschätzfunktionen, so dass wir nunmehr in der Lage sind, auf deren Eigenschaften direkt ausgehend von den Lasteigenschaften zu schließen. Durch die Betrachtung von überlagerten Multimediastömen und den einhergehenden Schätzfehlern haben wir weitergehende Kenntnisse bezüglich der zu verwendenden Parametrisierung für die von uns benutzten Schätzer gewonnen (siehe Abb. 1 und 2). Somit können auch für reale Lasten die zu verwendenden Parameter a priori genauer festgelegt werden. Weiterhin konnten die bisherigen *Worst-Case*-Abschätzungen für normalverteilte Lasten mit Hilfe von Methoden der Warteschlangentheorie durch deutlich genauere Approximationen ersetzt werden.

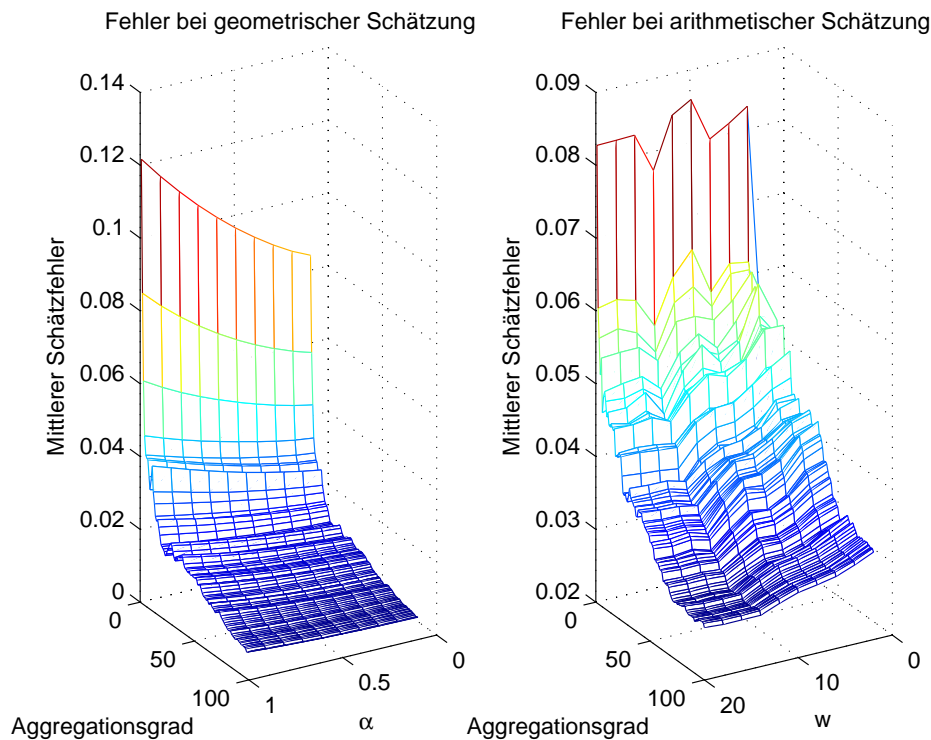


Abb. 1: Schätzfehler bei geometrischer bzw. arithmetischer Schätzung von aggregierten Videolasten in Abhängigkeit vom Aggregationsgrad und vom Schätzparameter  $\alpha$  bzw.  $w$

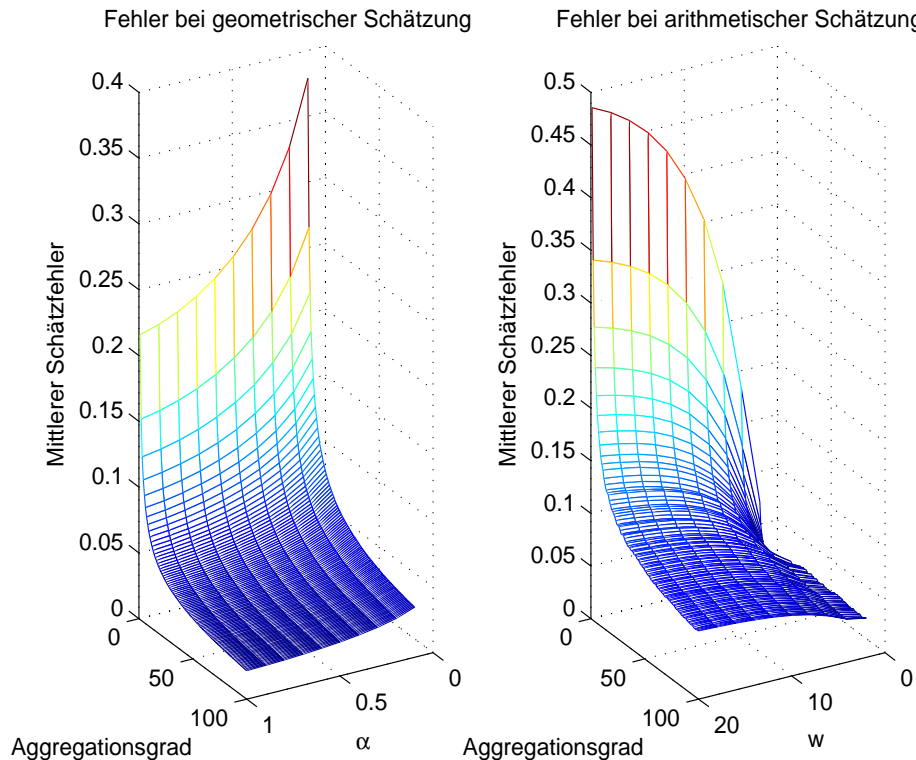


Abb. 2: Schätzfehler bei geometrischer bzw. arithmetischer Schätzung von aggregierten Sprachlasten in Abhängigkeit vom Aggregationsgrad und vom Schätzparameter  $\alpha$  bzw.  $w$

*Schlagwörter:*

Modelle, analytische; Zuverlässigkeitsanalyse; Leistungsanalyse; Kommunikationsnetze; Zerlegungsverfahren, statistischer Vergleich; MPEG; H.261; H.263; Videokommunikation; Bildqualität; Bildverlustwahrscheinlichkeit; Code, fehlerkorrigierender; Entscheidungsmodelle; Markov-Reward-Modelle; Verlässlichkeit; Petri Netze, stochastische

*Publikationen aus dem Projekt:*

- Blechschmidt, C.: Statistischer Vergleich von Faktorisierungs- und Zerlegungsverfahren zur Zuverlässigkeitsanalyse von Netztopologien, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2005
- De Meer, H.; Düsterhöft, O.-R.; Fischer, S.: COSTPN for Modeling and Control of Telecommunication Systems. in: M. Diaz (ed.), Applications of Petri Nets to Communication Networks, Special Issue of Advances in Petri Nets, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 1605, Springer Verlag, April 1999
- Harivelo F., Le Grand G., Anelli P., Wolf J., Wolfinger B.E.: Expedited Forwarding for WiFi, Proc. of 1st International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Mauritius, 2004
- Heckmüller S.: Bereitstellung von Dienstgüte für aggregierte Multimediaströme in lokalen ‚Broadcast‘-Netzen, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2007, Bern, 26. Februar - 2. März 2007 (Award: "Best Diploma Thesis 2006")
- Heidmann, K.-D.: Zuverlässigkeit technischer Systeme – Modelle für Zuverlässigkeitsstrukturen und ihre analytische Auswertung, Teubner-Texte zur Informatik 21, Teubner 1997
- Heidmann, K.: Evaluation of Video Communication over Packet Switching Networks, 3<sup>rd</sup> European Dependable Computing Conference EDCC-3, Prag, 1999, 24-41
- Heidmann, K.: Statistical Comparison of Two Sum-of-Disjoint-Products Algorithms for Reliability and Safety Evaluation, 21st Intern. Conf. on Computer Safety, Reliability and Security, SAFECOMP 2002, Catania/Italy, September, 2002, in: Anderson S., Bologna S., Felici M. (Eds.), Computer Safety, Reliability and Security, Lecture Notes in Computer Science No. 2434, Springer, Berlin, 2002, 70-81
- Heidmann, K.; Wolfinger, B.: Analytische Leistungsbewertung von Videokommunikation gemäß H.261 über verlustbehaftete Paketvermittlungsnetze, 10. GI/ITG-Fachtagung über Messung, Modellierung und Bewertung von Rechen- und Kommunikationssystemen MMB'99, Trier, September 1999, 87-104
- Wolf J., Heckmüller S., Wolfinger B.E.: Dynamic Resource Reservation and QoS Management in IEEE 802.11e Networks, International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), July 24-28, Philadelphia, PA, USA, 2005 pp. 149-161

- Wolfinger, B.: Efficiency of PET and MPEG Encoding for Video Streams: Analytical QoS Evaluations, Technical Report TR-97-015, Internat. Computer Science Institute, Berkeley 1997
- Wolfinger B.E., Heidtmann K. (Hrg.): Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen, 3. GI/ITG-Workshop MMBnet 2005, 8.-9. September Hamburg, Bericht 263 des Fachbereichs Informatik der Universität Hamburg, 2005
- Wolfinger, B.; Zaddach, M.: Techniques to Improve Quality-of-Service in Video Communications via Best Effort Networks, IEEE International Conference on Networking (ICN'01), Colmar, Frankreich, Juli 2001
- Ziviani A., Wolfinger B.E., de Rezende J.F., Duarte O.C.M.B., Fdida S.: On the Combined Adoption of QoS Schemes to Improve the Delivery Quality of MPEG Video Streams, 2002 Intern. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, SPECTS 2002, July 14-19, San Diego, California/USA, 2002
- Ziviani A., Wolfinger B.E., de Rezende J.F., Duarte O.C.M.B., Fdida S.: Joint Adoption of QoS Schemes for MPEG Streams, Multimedia Tools and Applications, Kluwer Academic Publ., accepted for publication

### 2.2.3 Lastmessung und Lastmodellierung für Videoverkehr, Leistungs- und Verfügbarkeitsmessungen sowie "Traffic Engineering" für dienstintegrierte Kommunikationsnetze

Cong, Jing; Heckmüller, Stephan, Dipl. Inform.; Heidtmann, Klaus-Dieter, Dr.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.; Zaddach, Martin, Dr.

*Laufzeit des Projektes:*

seit Januar 1999

*Projektbeschreibung:*

#### **a) Lastspezifikation und Lastgenerierung**

Eine hinreichend realistische Lastgenerierung ist unverzichtbar, um valide Prognosen des Verhaltens von Kommunikations- und Rechnernetzen unter verschiedenartigen Lastszenarien (z.B. aus multimedialen Anwendungen resultierend) zu erzielen. Lastgenerierung setzt Lastcharakterisierung bzw. Lastmodellierung voraus und erfordert neben einer möglichst formalen Beschreibungstechnik sowohl für reale Lasten als auch für Lastmodelle eine möglichst allgemein anwendbare Methode zur Entwicklung realitätsnaher Lastmodelle unter Miteinbeziehung von Lastmessungen. Bereits in früheren Arbeiten der Forschungsgruppe TKRN war ein allgemeines Procedere konzipiert worden, das es gestattet, Verkehrslasten (u.a. mit Überlagerung von Daten-, Audio- und Videoverkehr) zu modellieren, wie sie für verteilte multimediale Anwendungen typisch sind. Die Lastmodellierung kann hierbei auf unterschiedlichem Detaillierungsgrad erfolgen und ist zu einer Lastcharakterisierung an unterschiedlichen Schnittstellen eines dienstintegrierten Kommunikationsnetzes geeignet und in der Lage, auch Lastmessungen in wohldefinierter Weise mit einbeziehen zu können.

Mittels dieses Lastmodellierungs- und formalen Lastbeschreibungsansatzes lassen sich abstrakte Lasten (Auftragssequenzen) für verschiedenartige Dienstschnittstellen eines dienstintegrierten Netzes spezifizieren und zur Generierung synthetischer, multimedialer Verkehrslasten heranziehen. Dabei sind die abstrakten Auftragssequenzen auf konkrete Auftragssequenzen für eine gegebene, wohldefinierte Schnittstelle (z.B. die UDP- oder die TCP-Schnittstelle des Internet-Protokollstapels) abzubilden und zur Weiterverarbeitung zu übergeben. Zu diesem Zweck schlagen wir den Einsatz eines verallgemeinerten Lastgenerators vor, für den im Rahmen eines im Berichtszeitraum abgeschlossenen Dissertationsvorhabens [Cong 2006] eine flexibel nutzbare Gesamtarchitektur entworfen wurde, die sämtliche Funktionen von der formalen Beschreibung von Lasten, in Form von sog. *parametrisierten Benutzerverhaltensautomaten*, bis hin zur Generierung konkreter Lasten für eine reale Schnittstelle unterstützt. Diese Architektur (vgl. Abb. 3), geht davon aus, dass zunächst abstrakte Auftragssequenzen mit logischen Auftragsgenerierungszeitpunkten spezifiziert werden, wobei diese dann sukzessive auf konkrete (reale) Auftragssequenzen mit physikalischen Generierungszeitpunkten (im Sinne von Realzeit) abgebildet werden. Der Architekturvorschlag mündete bereits in eine prototypische Realisierung eines Lastgenerators – dem auf PCs lauffähigen *UniLoG*-Generator (implementiert als reine Softwarelösung für konventionelle PCs unter Windows NT). Im Rahmen von Fallstudien für IP-basierende Netze und WLAN-Konfigurationen unter Nutzung des UniLoG-Lastgenerierungswerkzeuges konnte auch bereits aufgezeigt werden, dass sich zum einen mit dem entwickelten Lastgenerierungskonzept die hohen Echtzeitanforderungen bei der Erzeugung realistischer Lasten in der Tat erfüllen lassen und dass die angestrebten Verhaltensanalysen von Netzen mit deutlich reduziertem Aufwand gegenüber konventionellen Ansätzen erzielt werden können.

Außerdem wurde in [Cong 2006] ein Konzept zur geographisch verteilten Lastgenerierung aufsetzend auf der zuvor realisierten zentralisierten Lastgenerierung erstellt. Im Berichtszeitraum wurden (durch Frau Leila Hadji, Studentin der Dalarna University / Schweden, im Rahmen einer internationalen Master Thesis [Hadji

2006] sowie durch Herrn M. Schwengel als Diplomand des hiesigen Informatik-Departments [Schwengel 2006]) nunmehr geographisch verteilte Lastgeneratoren implementiert auf der Basis des von Frau Cong vorgeschlagenen Konzeptes. Es wurden gezielt zwei unabhängige Lösungen für die verteilte Lastgenerierung (jeweils nach einem Master-/Slave-Ansatz, mit dem „Master“ zur Initiierung der Lastgenerierung und Generierung der aktuellen Last seitens der „Slaves“) realisiert, um Vor- und Nachteile einer JAVA- und einer Windows-basierten Lösung einander gegenüberstellen zu können. Bei beiden Implementierungen wurden jeweils sowohl die relevanten Sicherheitsaspekte (im Zusammenhang mit der expliziten Autorisierung des Masters zur Initiierung einer Lastgenerierung) sowie die notwendige Synchronisation der Slaves zur zeitlichen Koordination der gemeinsamen Lastgenerierung berücksichtigt und auch angemessen gelöst.

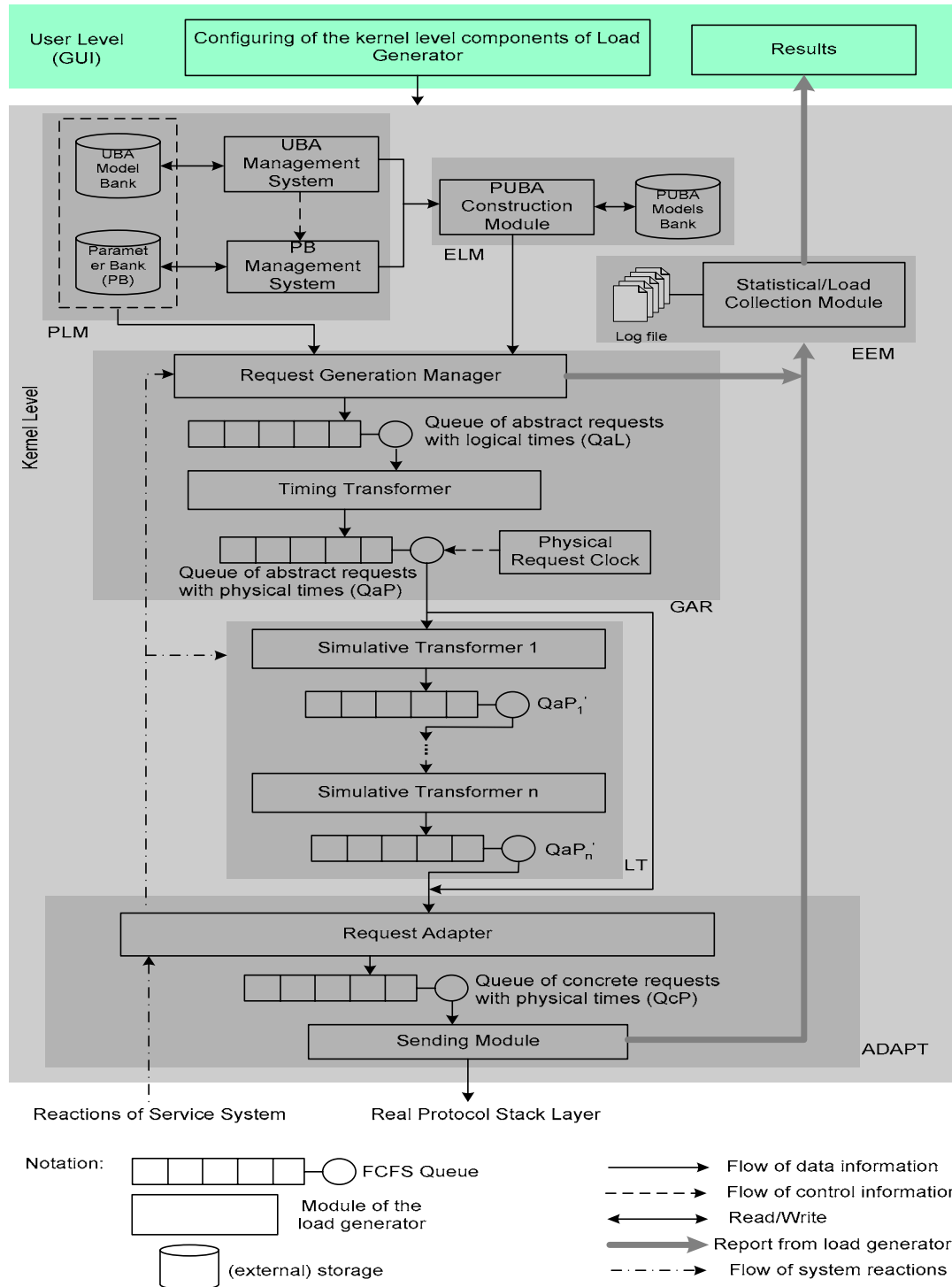


Abb. 3 : Architektur (detaillierte Sicht) des UniLoG-Lastgenerators, vgl. [Cong Wolfinger 2006]

Überdies erfolgte 2006 eine zusätzliche Anpassung des Adapters von *UniLoG* für die TCP-Schnittstelle in IP-basierenden Netzen nachdem bereits früher die aufwandsärmere Anpassung an die UDP-Schnittstelle realisiert worden war. Auch wurde durch André Kolesnikov [Kolesnikov 2006] ein Konzept zur Unterstützung von Blockierungszuständen im spezifizierten Benutzerverhaltensautomaten entwickelt und in einem Beitrag bei den GI-Informatiktagen 2006 auf nationaler Ebene als studentisches Projekt präsentiert [Kolesnikov 2006], um die gegenwärtige Implementierung durch diese sehr wünschenswerte Eigenschaft abzurunden – wenngleich der Realisierungsaufwand hierfür nicht unerheblich und konzeptionell sehr anspruchsvoll ist. Des Weiteren wurde eine Diplomarbeit initiiert (Björn Broll), um *LoadSpec* und *UniLoG* in einem vollkommen anderen Kontext, nämlich der Lastspezifikation und -generierung für Datenbank- bzw. Informationssystem-schnittstellen einzusetzen und zu untersuchen, welche Modifikationen der Lastbeschreibungstechnik und des Lastgenerators in diesem neuen Anwendungsumfeld erforderlich sind – neben der ganz offensichtlichen Erfordernis eines neuen Adapters für die neue Art der vorausgesetzten (Realsystem-) Schnittstelle.

Um die im vorliegenden Forschungsprojekt erarbeitete Lastbeschreibungstechnik – im Sinne der Einheit von Forschung und Lehre – auch für die fortgeschrittene Informatiklehre im Studienschwerpunkt „Rechnernetze und Telematik“ möglichst aufwandsarm und studierendengerecht einsetzen zu können, war im Rahmen des TeleMuM-Projektes die UniLoG-Teilkomponente *LoadSpec* als eLearning-Werkzeug entwickelt worden, das auch im Berichtszeitraum wiederum in der Lehre des Informatik-Hauptstudiums (u.a. in der Grundlagenvorlesung „Datenkommunikation und Rechnernetze“) seinen erfolgreichen Einsatz fand. *LoadSpec* gestattet den Studierenden, mittels einer komfortablen graphischen Benutzerschnittstelle, die Spezifikation und Parametrisierung von Lastmodellen in Form sogenannter *Benutzerverhaltensautomaten* (BVAs). *LoadSpec* wurde inzwischen auch in einer englischsprachigen Variante realisiert und Ende des Jahres 2006 – gemeinsam mit anderen eLearning-Werkzeugen (insbesondere die, inzwischen ebenfalls um eine englischsprachige Benutzungsschnittstelle erweiterten, Tools *LoadTrafo*, *InternetExplorativ* sowie *MedienExplorativ* aus dem TeleMuM-Projekt) – nach Abschluss eines entsprechenden Lizenzvertrags an die Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST-INFRES), Paris sowie an die Universität Rostock zum dortigen Einsatz in der Lehre übergeben.

### **b) Lasttransformation**

Lasten (als Sequenz von Aufträgen) werden in Kommunikations- und Rechensystemen bei ihrer systeminternen (Weiter-)Verarbeitung in der Regel in ihrer Art und in ihrem inhärenten Auftragsankunftsprozess beträchtlich verändert. Die Schritte, die durch die Systemkomponenten zur Verarbeitung eines Auftrages vorgenommen werden, beeinflussen somit im allgemeinen die Last, welche auf nachfolgende Komponenten einwirkt. Dies gilt im Besonderen auch für Rechnernetze, in denen Vorgänge wie Fragmentierung, Headergenerierung oder Auftragsverluste von Dateneinheiten (wie z.B. Datenpaketen oder Nachrichten) allgegenwärtig sind.

Die hierdurch hervorgerufene Veränderung der Lastcharakteristiken überführen in unserer Terminologie eine *Primärlast* in eine *Sekundärlast*, wobei dieser Vorgang als *Lasttransformation* bezeichnet wird. Wir stellen uns modellhaft vor, dass diese Transformation von einem sogenannten *Transformator* geleistet wird. Dabei werden die Eigenschaften der Last verändert, z.B. können Datenpakete der Sekundärlast größer oder kleiner sein als die Dateneinheiten der Primärlast und auch die Verarbeitungsdauer für Aufträge in Protokollschichten kann die Zeitpunkte der Lastgenerierung verändern. Die Datenpakete der Sekundärlast entstehen trivialerweise später und u.U. auch in anderen Zeitabständen als die zugehörigen Dateneinheiten der Primärlast.

Aufbauend auf den in der Gruppe TKRN bereits unternommenen Untersuchungen zum Thema sollen neben der Veränderung von Auftragsattributen auch zeitliche Aspekte in die Betrachtung integriert werden, um so zu einer möglichst exakten und vollständigen Beschreibung der aus der Transformation resultierenden Sekundärlast zu gelangen. Um sowohl möglichst allgemein verwendbare Modelle als auch die analytische Handhabbarkeit derselben gewährleisten zu können, befassen wir uns momentan vor allem mit einer Klasse markovscher Ankunftsprozesse, den *Batch Markovian Arrival Processes*. Erste ermutigende Ergebnisse konnten diesbezüglich bereits für eine Reihe von Transformationsvorgängen, wie Fragmentierung, zustandsbehafteten Verlustprozessen oder Lastglättung, verzeichnet werden. Da viele, in der analytischen Modellierung von Rechnernetzen verwendete Prozesse in der Klasse der BMAPs enthalten sind, gewinnen wir so gleichzeitig Methoden zur Transformation auch solcher Prozesse (vgl. Abbildung 4). Weiterhin kann eine Vielzahl von Modellen, die mit Hilfe der in der Arbeitsgruppe entwickelten *Benutzerverhaltensautomaten* beschrieben wurden, der analytischen Bewertung zugänglich gemacht werden

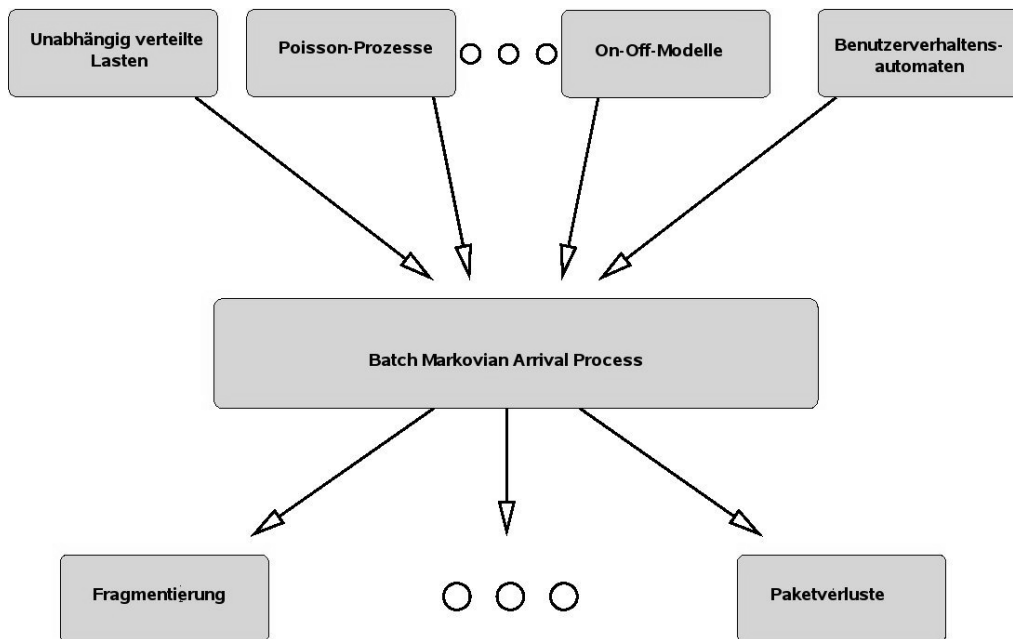


Abb. 4: Schematische Darstellung des Transformationsvorganges für *BMAPs*

Neben der entsprechenden Erweiterung der bereits vorhandenen Modelle auf allgemeinere Auftragsankunftsprozesse wird das Ziel verfolgt, auch für weitere Transformationsvorgänge Modelle zu entwickeln. Hierbei gilt das Interesse insbesondere solchen Transformationen, deren Ergebnis vom Zustand des Netzes abhängig ist.

### c) Last- und Qualitätsmessungen bei Videokommunikation

Auch als Fortführung ähnlicher Untersuchungen zu älteren Kodierungsverfahren in der Arbeitsgruppe TKRN wurde die neue Codierung gemäß H.264/AVC im Rahmen einer im Berichtszeitraum abgeschlossenen Diplomarbeit [Norgall 2006] untersucht. Dabei konnte die Vermutung bestätigt werden, dass durch die Weiterentwicklung der älteren Verfahren mit dem neuen eine bessere Effizienz und Zuverlässigkeit erreicht wird. Dies bedeutet, dass Videoströme, die gemäß der Norm H.264/AVC kodiert sind, bei gleicher Bildqualität eine wesentlich geringere Last für paketorientierte Kommunikationssysteme darstellen. Ziel dieser Untersuchung waren quantitative und qualitative Aussagen zur Kodiereffizienz und zum Fehlerverhalten des neuen Verfahrens. Diese sind sowohl für den Entwurf, die Konfiguration und den Betrieb von Rechnernetzen relevant als auch für deren Nutzung in Form der vom Benutzer solcher Systeme zu erwartenden Qualität in Echtzeit übertragener Videosequenzen, z.B. im Rahmen von Bildtelefonaten oder Videokonferenzen. Deshalb wurde dieser Unterschied anhand größerer Stichprobenmengen untersucht mit dem Ziel, statistisch abgesicherte Aussagen über die (zu erwartenden) Verbesserungen bzgl. der Kompression zu gewinnen. Die von den Entwicklern von H.264 propagierte Verdopplung der Kodiereffizienz gegenüber der Vorgängernorm konnte bereits mit der Kernfunktionalität der neuen Kodiernorm erreicht und vor allem bei Sequenzen mit höherem Bewegungsanteil übertroffen werden. Unter Nutzung weiterer Kodiermodi der neuen Norm lassen sich zusätzliche Kompressions- und Qualitätszuwächse erreichen. Ferner konnte die Gültigkeit des existierenden Lastmodells generell für H.264/AVC nachgewiesen werden und stimmte größtenteils mit Ergebnissen früherer Untersuchungen für H.263 überein. Wesentliche Unterschiede ergaben sich jedoch bei den I-Bildern.

Darüber hinaus wurde in einer weiteren im Berichtszeitraum abgeschlossenen Diplomarbeit [Kiritz 2006] der Einfluss verschiedener Robustheitstechniken auf die Bildqualität H.264/AVC kodierter Videoströme untersucht, bei denen simulierte Übertragungsverluste auftraten. Ziel dieser Untersuchung waren quantitative und qualitative Aussagen zur Fehlerrobustheit und Fehlertoleranz von Verfahren innerhalb der neuen Kodiernorm. Diese sind sowohl für den Entwurf, die Konfigurierung und den Betrieb von Rechnernetzen relevant als auch für deren Nutzung in Form der vom Benutzer solcher Systeme zu erwartenden Qualität in Echtzeit übertragener Videosequenzen, z.B. im Rahmen von Bildtelefonaten oder Videokonferenzen. Bei dieser Arbeit handelt es sich um sowohl die Fortführung thematisch verwandter Untersuchungen mit älteren Kodierungsverfahren, als auch der vorgenannten Untersuchung zur Kompressionseffizienz. Auch hier wurde vermutet und bestätigt, dass durch die Weiterentwicklung der älteren Verfahren mit dem neuen eine bessere Zuverlässigkeit bei der Übertragung erreicht werden kann. Dazu wurde für ausgewählte Szenarien die Fehlerrobustheit untersucht mit dem Ziel, qualitative und quantitative Aussagen über die zu erwartende Bildqualität

bei fehlerhafter Übertragung zu gewinnen. Als besonders interessant und fruchtbar erwies sich die Verwendung des neben dem PSNR neu entwickelten Verfahrens SSIM (Structural *S*IMilarity Index) zur Bewertung der Bildqualität. Die Ergebnisse der PSNR-Berechnungen wurden mit denjenigen entsprechender SSIM-Berechnungen verglichen. Dabei wurden kleinere Bitfehler, die dem Betrachter in der Regel kaum auffallen, physiologisch korrekter von SSIM auch schwächer bewertet als von PSNR. Aufgrund der Ergebnisse erscheint es somit generell sinnvoll, bei künftigen Untersuchungen neben dem PSNR auch SSIM zu berücksichtigen.

*Schlagwörter:*

Lastbeschreibung, formale; Lastmodellierung; Lastmessungen; Leistungs-/Verfügbarkeitsmessungen; Lasttransformation; MPEG-Codierung; Videokommunikation; „Traffic Engineering“

*Publikationen aus dem Projekt:*

- Bai G.: Load Measurements and Load Modeling for Distributed Multimedia Applications in High-Speed Networks, Uni Press Hochschulschriften Bd. 107, auch: Dissertation, Fachbereich Informatik, Univ. Hamburg, 1999
- Cong J.: Load Specification and Load Generation for Multimedia Traffic Load in Computer Networks, Dissertation, Department Informatik, Universität Hamburg, 2006, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 5, Shaker-Verlag, Aachen, 2006
- Cong J., Wolfinger B.E.: A Unified Load Generator Based on Formal Load Specification and Load Transformation, ValueTools 2006, First Intern. IEEE Conf. on Performance Evaluation Methodologies and Tools, Pisa, October 2006
- Cong J., Wolfinger B.E., Zaddach M.: Design and Application of Multi-Layered Load Generators, 2nd IASTED Internat. Conf. on Communications, Internet and Information Technology (CIIT 2003), 17.-19. Nov. 2003, Scottsdale, Arizona/USA
- Cong J.: A unified Load Generation Approach based on a Formal Load Description Technique, Joint Conference of Chinese Academic Associations in Germany (CAAG 2004), Hamburg, 2004
- Cong J., Kolesnikov A.: A Methodology for Load Generation Based on a Formal Load Specification Technique, MMBnet 2005, s. Wolfinger B.E., Heidtmann K. (Hrsg.), 2005, pp. 71-82
- Gaitzsch M.: Benutzerorientierte Leistungs- und Verfügbarkeitsbewertung von Internetdiensten am Beispiel des Portals hamburg.de, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2005
- Gaitzsch M.: Benutzerorientierte Leistungs- und Verfügbarkeitsbewertung von Internetdiensten am Beispiel des Portals hamburg.de, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2007, Bern CH, 26. Februar - 2. März 2007 (Award: "Best Diploma Thesis 2005")
- Hadji L.: A Unified Load Generator for Geographically Distributed Generation of Network Traffic, International Master Thesis, Dept. of Computer Engineering, Dalarna University, Sweden, 2006
- Heidtmann K., Kohlhaas C., Zaddach M.: Messung der Netzlast und Bewertung der Bildqualität bei Videokommunikation über Paketvermittlungsnetze, 15. GI/ITG-Fachtagung über Architektur von Rechnersystemen ARCS'99, Jena, Oktober 1999, 237-248
- Kiritz M.: Untersuchung von Fehlerrobustheitstechniken für H.264/AVC-kodierte Videoströme, Diplomarbeit, Dept. Informatik, Univ. Hamburg, 2006
- Kühn P.J., Wolfinger B.E. (Hrsg.): Themenheft "Internet Traffic Engineering", Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation (PIK), 24. Jg., Heft 2, 2002
- Kolesnikov A.: Entwicklung eines Lastgenerators für gemischte Verkehrslasten in dienstintegrierten Rechnernetzen, Studienarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2004
- Kolesnikov A.: Prototypische Realisierung eines echtzeitfähigen Lastgenerators für dienstintegrierende Netze, Informatiktage 2006, Bonn, Lecture Notes in Informatics (LNI), GI-Edition, 2006, 127-130
- Norgall J.: Verkehrslast und Fehlerverhalten H.264/AVC-kodierter Videoströme in paketbasierten Kommunikationsnetzen, Diplomarbeit, Dept. Informatik, Univ. Hamburg, 2006
- Schwengel M.: Verteilte Lastgenerierung für multimediale Verkehrsströme in IP-basierten Rechnernetzen, Diplomarbeit, Dept. Informatik, Univ. Hamburg, 2006
- Wolfinger B.: Characterization of Mixed Traffic Load in Service-Integrated Networks, 6th Polish Teletraffic Symp., Szklarska Poreba, Polen, April 1999 (invited paper), auch: Systems Science Journal, Vol. 25, No. 2 (1999), 65-86
- Wolfinger B., Zaddach, M., Bai G., Heidtmann K.: Modeling of Primary and Secondary Load in the Internet, Bericht FBI-HH-B-22700, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2000
- Wolfinger B.E., Zaddach M., Heidtmann K., Bai G.: Analytical Modeling of Primary and Secondary Load as Induced by Video Applications Using UDP/IP, Computer Communications Journal, Vol. 25, Issue 11-12, July 2002, 1094-1102
- Zaddach M.: Eine methodologische Basis zur analytischen Beschreibung von Verkehrslasten und Lasttransformationen, 2. MMB-Arbeitsgespräch, 19./20. September, Hamburg, 2002, in: Wolfinger B.E., Heidt-

mann K. (Hrsg.), Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen, Univ. Hamburg, Fachbereich Informatik, Bericht FBI-HH-B-242/02, 2002

Zaddach M.: Load Characterization of Video Streams, Intern. Conf. on Communications, Internet and Information Technology, CIIT 2002, St. Thomas, US Virgin Islands, November, 2002

Zaddach M., Wolfinger B.E., Krämer N., Heidtmann K.: Lasttransformation und ihre Einsatzmöglichkeiten zur Verkehrsprognose in Intranets und im Internet, Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation (PIK), 24. Jg., Heft 2, 2002

Zaddach M.: Charakterisierung, Modellierung und Transformation von Videoverkehrslasten, MMB-Mitteilungen, Heft 02/2003 (Nr. 44)

#### 2.2.4 Dienstgüte-(QoS-) und Netzmanagement für Rechnernetze

Wolf, Jürgen, Dipl.-Inform.; Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.

*Laufzeit des Projektes:*

seit Januar 1998

*Projektbeschreibung:*

##### ***Lastadaptive Betriebsmittelverwaltung zur Unterstützung des QoS-Managements bei Echtzeitkommunikation***

Eine zentrale Aufgabe für Übertragungsdienste in Kommunikationsnetzen besteht darin, multimedialen Tele-diensten die Einhaltung garantierter Echtzeiteigenschaften zu garantieren, die sich jedoch häufig nicht direkt auf Leistungsangebote der unterliegenden Schichten abbilden lassen. Umgekehrt beeinflusst auch der Charakter des auf das System aufgebrachten Verkehrs die erreichbare Güte des zu erbringenden Dienstes. Die Komplexität des Gesamtsystems sowie die erwünschte Abgrenzung der unterschiedlichen Abstraktionsebenen innerhalb des Kommunikationssystems verlangt somit nach einem hochentwickelten Dienstgütemanagement, das sowohl die Abbildung von Last- und Leistungsspezifikationen von Ebene zu Ebene vornimmt, als auch die Einhaltung von vereinbarten Dienstgüteschranken gewährleistet, oder zuverlässig entsprechende Fehlermeldungen generiert. Das Dienstgütemanagement muss in diesem Zusammenhang Entscheidungen treffen, die auf potentiellen zukünftigen Arbeitszuständen und den daraus resultierenden Leistungsgrößen beruhen bzw. diese beeinflussen. Aufgrund der starken Nichtlinearität der betrachteten Systeme können für diese Entscheidungen keine einfachen Regeln formuliert werden. Vielmehr ist es notwendig, dass das Dienstgütemanagement mögliche Aktionen und Entscheidungen anhand von Systemmodellen im voraus bewerten kann, um so eine optimale Wahl treffen zu können. Der von uns propagierte Dienstgütemanagementansatz muss durch umfassende Last- und Leistungsmessungen während des Netzbetriebs unterstützt werden, wofür wir in begleitenden Studien auch geeignete Messkonzepte und -werkzeuge entwickeln.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes zur lastadaptiven Betriebsmittelverwaltung werden die Einflussgrößen untersucht werden, die die Netzmanagementeinheit einer Multimedia-Server-Architektur, wie sie in Abschnitt 2.1.2 beschrieben wurde, zur Erbringung ihres Dienstes in die Entscheidungsfindung einfließen lassen muss. Dabei werden als Bewertung des Erfolges dieser Einheit unterschiedliche Charakteristika beachtet – sowohl für Netzbetreiber relevante Eigenschaften (z.B. Ressourcenauslastung) als auch Kriterien, die für Endbenutzer entscheidend sind (z.B. Bildqualität einer Videoübertragung). Anhand umfassender Fallstudien werden aus den Bereichen der Audio- und Videoübertragung in Echtzeit die analytisch hergeleiteten Aussagen über Zusammenhänge der Systemparameter und deren Optimierung anhand einer prototypischen Implementierung belegt. Darüber hinaus werden Methoden und Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die es erlauben, adäquate Parameter für die effektive Betriebsmittelverwaltung auf Grundlage individueller Randbedingungen zu gewinnen. Diese Methoden werden auch in der für das Jahr 2007 geplanten Dissertation von Herrn Wolf veröffentlicht werden.

Bei lastadaptivem QoS-Management spielt insbesondere die Abschätzung der Momentanauslastung von betrachteten Netzressourcen eine übergeordnete Rolle, da ausgehend von dieser die zur Verfügung stehenden Betriebsmittel adaptiv innerhalb des Kommunikationsnetzes vergeben werden können. So wird es ermöglicht, dass einerseits Betriebsmittel, die innerhalb des QoS-Managements festen „Eigentümern“, End-Systemen oder Benutzern, zugewiesen wurden, gegebenenfalls anderen Systemen temporär zur Verfügung gestellt werden können, aber gleichzeitig eine Einschränkung der vereinbarten Qualitätskriterien vermieden werden kann. Unsere Untersuchungen im Berichtszeitraum zu lastadaptivem QoS-Management, mit Fokus auf Broadcast-Netze, haben wir bereits in 2.1.2 beschrieben und dort auf die Veröffentlichungen hingewiesen.

*Schlagwörter:*

Netzmanagement; Dienstgüte, Dienstqualität (QoS); Sicherheitsmanagement; Überlebensfähigkeit; Unternehmensnetze; Rechnernetze, globale; Hochgeschwindigkeitskommunikation; Modelle

*Publikationen aus dem Projekt:*

- Benecke, C.: Überlebensfähige Sicherheitskomponenten für Hochgeschwindigkeitsnetze - Entwurf und Realisierung am Beispiel einer Packet Screen, Dissertation, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2002, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 3, Shaker-Verlag, Aachen, 2002
- De Meer, H.; Puliafito, A.; Richter, J.-P.; Tomarchio, O.: Tunnel Agents for Enhanced Internet QoS, IEEE Concurrency, Vol. 6, No.2, pp. 30-39, 1998
- De Meer, H.; Puliafito, A.; Richter, J.-P.; Tomarchio, O.: QoS-Adaptation by Software Agents in the Presence of Defective Reservation Mechanisms in the Internet, Proc. 3rd IEEE Symp. Computers and Communications, Athens, June 1998
- De Meer, H.; Puliafito, A.; Tomarchio, O.: Management of QoS with Software Agents, Cybernetics and Systems: An International Journal, Vol. 27, No. 5, 1998
- Fischer, S.; de Meer, H.: Decision Support in Cooperative QoS Management, 6th IWQoS, San Francisco, Ca., May 1998
- Fischer, S.; de Meer, H.: QoS Management: A Model-Based Approach, 6th Intern. Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, MASCOTS'98, Montreal, July 1998
- Fischer, S.; de Meer, H.: Cooperative QoS Management, Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation PIK, Vol. 21, No. 4 (Special Issue on QoS), 1998
- Harivelo F., Le Grand G., Anelli P., Wolf J., Wolfinger B.E.: Expedited Forwarding for WiFi, Proc. of 1st International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Mauritius, 2004
- Holst, S.: Absicherung von Netzdiensten am Beispiel des ATMARP-Dienstes, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2002
- Knoche, H.; De Meer, H.; Kirsh, D.: Utility Curves: Mean Opinion Scores Considered Biased, 7th IEEE/IFIP International Workshop on Quality of Service (IWQOS99), London, June 1999
- Richter, J.-P.: Qualitative and Quantitative Analysis of the HEC Mechanism in ATM, 6th International Conference on Telecommunication Systems, Nashville/USA, March 5-8, 1998
- Richter, J.-P.; de Meer, H.: Towards Formal Semantics for QoS Support, Proc. 17th IEEE INFOCOM Conf., San Francisco, March/April 1998
- Richter, J.P.: Spezifikations- und Messmethodik für ein adaptives Dienstgütemanagement, Dissertation, Fachbereich Informatik, Univ. Hamburg, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 1, Shaker-Verlag, 2000
- Wolf J., Wolfinger B.E.: Efficient Resource Management for Distributed Applications with Real-Time Requirements in Broadcast Networks, 8th CaberNet Radicals Workshop, 2003
- Wolf J., Wolfinger B.E., Le Grand G., Anelli P.: Leistungsbewertung von Algorithmen zur dynamischen Ressourcenverwaltung in lokalen "Broadcast"-Netzen, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2003, Leipzig, Februar 2003
- Wolfinger, B.: Kommunikationsinfrastrukturen für Intranets: Anforderungen, systemtechnische Voraussetzungen und Probleme ihrer Bereitstellung in unternehmensweiten Netzen, eingeladener Beitrag für die 21. Europäische Congressmesse für Technische Kommunikation (ONLINE'98), Düsseldorf, Febr. 1998
- Wolfinger, B.: Intranet: Evolution der unternehmensweiten Netze, Office Management, Nr. 3, März 1998
- Wolfinger B.E., Wolf J., Le Grand G.: Improving Node Behavior in a QoS Control Environment for Local Broadcast Networks, Proc. of the Internat. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2003
- Wolf J., Heckmüller S., Wolfinger B.E.: Dynamic Resource Reservation and QoS Management in IEEE 802.11e Networks, International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), July 24-28, Philadelphia, PA, USA, 2005 pp. 149-161
- Wolfinger B.E., Wolf J., LeGrand G.: Improving Node Behaviour in a QoS Control Environment by Means of Load-dependent Resource Redistributions in LANs, Internat. Journal of Communication Systems, Wiley, Vol. 18, Issue 4, May 2005, pp. 373-394

### 2.2.5 Funktionale Modellierung gemessenen Systemverhaltens von Rechensystemen und Kommunikationsnetzen

Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.; externe Kooperationspartner: Baynat, Bruno, Dr., Begin, Thomas und Fdida, Serge, Prof. Dr. (alle drei : LIP6, Université P. et M. Curie, Paris) sowie Brandwajn, Alexandre (University of California, Santa Cruz, USA)

*Laufzeit des Projekts:*

seit Mai 2006

*Projektbeschreibung:*

Gegenwärtige Rechner- und Kommunikationssysteme zeichnen sich durch eine zunehmend hohe Komplexität aus wie sich u.a. am Beispiel der heutzutage häufig multiprozessorbasierten Rechnerarchitekturen oder des aktuellen Internet bzw. der Mobilnetze mit ihren zur Zeit (noch) exponentiell anwachsenden Benutzerzahlen zeigt. Auch verbergen heutige Rechner und besonders die globalen Rechnernetze ihre interne Struktur in der Regel vor ihren Benutzern. Bei einer derartigen “*Black Box*”-Sicht auf ein System wäre es vorteilhaft, wenn gute Approximationen für beobachtetes (z.B. gemessenes) Systemverhalten gefunden werden könnten, beispielsweise durch eine geeignete Kombination und Parametrisierung einer kleinen Menge elementarer Warternetzmodelle.

Während des Forschungsaufenthaltes von Prof. Wolfinger am LIP6 (Mai/ Juni 2006) wurde ein derartiger, a priori bereits von LIP6-Wissenschaftlern verfolgter, Forschungsansatz aufgegriffen und weiterentwickelt. Insbesondere wurde eine Menge von Wartesystem- und Warternetzmodellen (quasi als Modellbausteine) identifiziert, die sich – wie zahlreiche Experimente unterstrichen – gut eignen, um gemessenes Systemverhalten bei geeigneter Kombination der Modellbausteine und nach adäquater Parameterwahl der freien Modellparameter zu approximieren. Eine allgemein anwendbare Methode zur Auswahl, Kombination und Kalibrierung der Modellbausteine wurde entwickelt. Die Methodik konnte bereits anhand einer größeren Anzahl von Fallstudien partiell validiert werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass sich der Ansatz der Approximation gemessenen Systemverhaltens durch eine Kombination von a priori gewählten Modellbausteinen auch nutzbringend auf Szenarien anwenden lässt, bei denen neben dem beobachteten Systemverhalten partielle Kenntnis des Umgebungs-(Benutzer-)Verhaltens während des Messexperiments vorliegt (sog. “*Grey Box*”-Sicht). Die Kenntnis des Umgebungsverhaltens kann dabei insbesondere die Last (als Sequenz der seitens der Umgebung generierten Aufträge) betreffen, z.B. könnten der Auftragsankunftsprozess oder die Attribute der generierten Aufträge (wie Längen von Paketen bei Datenübertragung) näherungsweise bekannt sein. Mit einer derartigen Lastkenntnis erhält die funktionale Modellierung eine Prognosefähigkeit (z.B. im Hinblick auf das zu erwartende Systemverhalten bei veränderter Systembelastung).

Die durchgeführten Forschungsarbeiten konnten insoweit konsolidiert werden, dass ein gemeinsames Papier (Begin, Baynat, Brandwajn, Wolfinger, Fdida) ausgearbeitet wurde und im November 2006 bei einer internationalen Konferenz eingereicht wurde.

*Schlagwörter:*

Verhaltensmodellierung, Modellkonstruktion, Systemmessungen, „Black-Box“-Systeme

**2.3 Parallelverarbeitung und Parallelprogrammierung**

Lehmann, Martin, Dr. (Koordinator); Wolfinger, Bernd, Prof. Dr.

*Laufzeit des Gesamtvorhabens:*

seit Januar 1998

*Projektbeschreibung:***a) Verteilte Netzemulation und (geographisch) verteilte Lastgenerierung**

Verteilte Netzemulation in einem dedizierten PC-Netz (z.B. auf Fast-Ethernet-Basis) und geographisch verteilte Lastgenerierung (durch replizierte und von einem Zentralrechner in ihrer Lasterzeugung gesteuerte Lastgeneratoren) wurden im Berichtszeitraum durch die Bereitstellung entsprechender Werkzeuge weiterentwickelt und erfolgreich eingesetzt. Dies gestattete uns einerseits die effiziente Auswertung (simulativer bzw. komplexer mathematisch-analytischer) Prognosekomponenten bei Emulation und andererseits die Generierung von Hochlastsituationen, insbesondere bei irregulär vermaschten Kommunikationsnetzen, wie typischen Teilnetzen des globalen Internet, und bei WLANs (vgl. hierzu die verfeinerten Projektbeschreibungen bereits in den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.3). In beiden Fällen wurde Parallelverarbeitung herangezogen, um Engpässe bei Netzemulation und Lastgenerierung zu vermeiden und Echtzeitanforderungen zu erfüllen.

**b) Parallele Speicherbereinigung**

Im Jahre 1978 veröffentlichten Dijkstra, Lamport, Martin, et al. einen Artikel in C. ACM mit dem Titel: "On-the-Fly Garbage Collection: An Exercise in Cooperation". Inhalt dieses Artikels war ein Beweis, dass die Speicherbereinigung parallel zum laufenden Programm korrekt und effizient erfolgen kann. Der Schwerpunkt

dieses Artikels lag auf der Einfachheit und Klarheit des Beweises und nicht auf der Verfahrenseffizienz. Die Ideen obiger Arbeit wurden genutzt, um inkrementelle Speicherbereinigungsverfahren für objektorientierte Programmiersprachen wie Smalltalk und Java zu realisieren. Unterstützt man die inkrementelle Arbeit durch die Einführung von Lebensaltern für Objekte, erhält man sehr effiziente Speicherbereiniger, die beinahe quasi-parallel zur Durchführung der eigentlichen Aufgabe ihre Arbeit verrichten. Es bietet sich nun an, den Gedanken des vollparallel agierenden Speicherbereinigers wieder aufzugreifen. Nutzt man zur Programmnotation Threads und als Ausführungseinheiten Multiple-Core-Prozessoren, dann sollte es möglich sein, auch auf konventioneller Hardware leistungsfähige parallele Speicherbereiniger zu erstellen; Spezialbefehle wie 'Read-Barrier'- oder 'Write-Barrier'-Instruktionen sollten nicht mehr nötig sein. In einer laufenden Diplomarbeit wird der gegenwärtige Wissensstand im Bereich "Garbage Collection" aufgearbeitet und nach Verbesserungen Ausschau gehalten.

#### *Schlagwörter:*

Algorithmenparallelisierung; Lastausgleich; Parallelprogrammierung; Leistungs-/ Zuverlässigkeitserhöhung

#### *Publikationen aus dem Projekt:*

- Benecke, C.: Überlebensfähige Sicherheitskomponenten für Hochgeschwindigkeitsnetze – Entwurf und Realisierung am Beispiel einer Packet Screen, Dissertation, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2002, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 3, Shaker-Verlag, Aachen, 2002
- Ehlebracht, O.: Lastverteilung und Ausfallsicherheit im Internet am Beispiel von *mobile.de*, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2002
- Kilic, G.; Jgarkava, Z.: Eignung des Java Server Faces Frameworks für die Bedienung unterschiedlicher Client-Typen, Diplomarbeit, FB Informatik, Univ. Hamburg, 2005

#### **Drittmittelprojekte**

Zur Zeit kein lfd. Drittmittelprojekt; DFG-Projekt gegenwärtig in Begutachtungsphase

### **3. Publikationen und weitere Leistungen**

#### **Wissenschaftliche Publikationen im Berichtszeitraum**

- Cong J.: Load Specification and Load Generation for Multimedia Traffic Load in Computer Networks, Dissertation, Department Informatik, Universität Hamburg, 2006, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 5, Shaker-Verlag, Aachen, 2006
- Cong J.; Wolfinger B.E.: A Unified Load Generator Based on Formal Load Specification and Load Transformation, ValueTools 2006, First Intern. IEEE Conf. on Performance Evaluation Methodologies and Tools, Pisa, October 2006
- Gaitzsch M.: Benutzerorientierte Leistungs- und Verfügbarkeitsbewertung von Internetdiensten am Beispiel des Portals hamburg.de, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2007, Bern CH, 26. Februar - 2. März 2007 (Award: "Best Diploma Thesis 2005")
- Heckmüller S.: Bereitstellung von Dienstgüte für aggregierte Multimediaströme in lokalen 'Broadcast'-Netzen, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2007, Bern, 26. Februar - 2. März 2007 (Award: "Best Diploma Thesis 2006")
- Kolesnikov A.: Prototypische Realisierung eines echtzeitfähigen Lastgenerators für dienstintegrierende Netze, Informatiktage 2006, Bonn, Lecture Notes in Informatics (LNI), GI-Edition, 2006, 127-130
- Scherpe C.: Emulation gekoppelter Rechnernetze mit lastabhängigem Verzögerungs- und Verlustverhalten - Architekturkonzepte, prototypische Realisierung und Fallstudien, Dissertation, Department Informatik, Universität Hamburg, 2006, erschienen in: Wolfinger B.E. (Hrsg.), Berichte aus dem Forschungsschwerpunkt Telekommunikation und Rechnernetze, Band 4, Shaker-Verlag, Aachen, 2006
- Wolfinger B.: 10 Jahre TKRN (Telekommunikation und Rechnernetze) – Zwischenbilanz 1996 bis 2006, FBI-Mitteilung No. 338, Dept. Informatik, Univ. Hamburg, 2006, 40 S.

#### **Wichtige Publikationen aus den vergangenen Jahren 2003-2005**

- Cong J.; Wolfinger B.E.; Zaddach M.: Design and Application of Multi-Layered Load Generators, 2nd I-ASTED Internat. Conf. on Communications, Internet and Information Technology (CIIT 2003), 17.-19. Nov. 2003, Scottsdale, Arizona/USA
- Crispin T.; Fiolka K.; Fischer S.; Heidtmann K.D.; Hosseini M.; Kolbe M.; Malinka M.; Nölting K.; Parniani P.; Röwe K.; Tavangarian D.; Wolfinger B.E.: Experimente zur verteilten synchronen Kooperation zwi-

- schen Studierenden unter Nutzung von WLANs, Workshop "Structured eLearning" im Rahmen der 3. Deutschen e-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2005), 13. - 16. September, Rostock, 2005
- Fiolka K.; Heidtmann K.; Wolfinger B.: Ein eLearning -Werkzeug zur Videokommunikation über simulierte verlustbehaftete Netze, GI-Workshop "Elektronische Unterstützung der Präsenzlehre" im Rahmen der GI-Jahrestagung INFORMATIK 2004, Ulm, September 2004
- Gaitzsch M.; Wolfinger B.E.: Leistungs- und Verfügbarkeitsbewertung von Internetdiensten am Beispiel des Portals hamburg.de, MMBnet 2005, s. Wolfinger B.E., Heidtmann K. (Hrg.), 2005, pp. 13-25
- Harivelo F.; Le Grand G.; Anelli P.; Wolf J.; Wolfinger B.E.: Expedited Forwarding for WiFi, Proc. of 1st International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Mauritius, 2004
- Scherpe C.; Wolfinger B.E.; Salzmann I.: Model Based Network Emulation to Study the Behavior and Quality of Real-Time Applications, 7th IEEE Internat. Symp. on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT 2003), 23.-25. Okt. 2003, Delft, NL
- Scherpe C.: Emulation gekoppelter Rechnernetze mit lastabhängigem Verzögerungs- und Verlustverhalten, Dissertationsschrift, Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften, Univ. Hamburg, 2005
- Wolf J.; Burgard W.; Burkhardt H.: Robust Vision-based Localization by Combining an Image Retrieval System with Monte Carlo Localization, IEEE Transactions on Robotics, 21, 2, 2005, pp. 208-216
- Wolf J.; Heckmüller S.; Wolfinger B.E.: Dynamic Resource Reservation and QoS Management in IEEE 802.11e Networks, International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), July 24-28, Philadelphia, PA, USA, 2005 pp. 149-161
- Wolf J.; Wolfinger B.E.; le Grand G.; Anelli P.: Leistungsbewertung von Algorithmen zur dynamischen Ressourcenverwaltung in lokalen "Broadcast"-Netzen, GI/ITG-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen" KiVS 2003, Leipzig, Februar 2003
- Wolfinger B.E.; Heidtmann K. (Hrsg.): Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen, 3. GI/ITG-Workshop MMBnet 2005, 8.-9. September Hamburg, Bericht 263 des Fachbereichs Informatik der Universität Hamburg, 2005
- Wolfinger B.E.; Wolf J.; le Grand G.: Improving Node Behavior in a QoS Control Environment for Local Broadcast Networks, Proc. Internat. Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2003
- Wolfinger B.E.; Wolf J.; LeGrand G.: Improving Node Behaviour in a QoS Control Environment by Means of Load-dependent Resource Redistributions in LANs, Internat. Journal of Communication Systems, Wiley, Vol. 18, Issue 4, May 2005, pp. 373-394
- Zaddach M.; Krämer N.A.: Resource Concurrency Effects within Bandwidth Restricted Shared Medium, I-ASTED Int. Conf. on Multimedia Systems and Applications (IMSA'04), Kauai, Hawaii, August 2004
- Ziviani A.; Wolfinger B.E.; de Rezende J.F.; Duarte O.C.M.B.; Fdida S.: Joint Adaption of QoS Schemes for MPEG Streams, Multimedia Tools and Applications Journal, Kluwer, Academic Publishers, Vol. 26, No. 1, May 2005, pp. 59-80

### Begutachtungen und abgeschlossene Betreuungen am Department

#### Dissertationen

Doktorand/In	Gutachter	Thema	Datum
Christian Scherpe	B. E. Wolfinger, K. Kaiser, B. Müller-Clostermann	Emulation gekoppelter Rechnernetze mit lastabhängigem Verzögerungs- und Verlustverhalten	Jan. 2006
Jing Cong	B. E. Wolfinger, I. Schieferdecker (TU Berlin), F. Vogt (TU Harburg)	Load Specification and Load Generation for Multimedia Traffic Loads in Computer Networks	März 2006

#### Diplomarbeiten

Diplomand/In	Gutachter	Thema	Datum
Stephan Heckmüller	B. E. Wolfinger, K. Kaiser	Bereitstellung von Dienstgüte für aggregierte Multimediaströme in lokalen „Broadcast“-Netzen	Juli 2006
Markus Schwengel	B. E. Wolfinger, B. Page	Verteilte Lastgenerierung für multimediale Verkehrsströme in IP-basierten Rechnernetzen	Oktober 2006
Berndt Reinhold	M. Lehmann, R. Lang	Untersuchungen zur Burrows-Wheeler-Transformation	Juli 2006
Andreas Fey	K.-D. Heidtmann, K. von der Heide	Untersuchung selbst abgeleiteter TCP-Varianten zur Videokommunikation	Januar 2006

Jens Norgall	K.-D. Heidtmann, K. von der Heide	Verkehrslast und Fehlerverhalten H.264/AVC-kodierter Videoströme in paket- basierten Kommunikationsnetzen	Mai 2006
Michael Kiritz	K.-D. Heidtmann, L. Dreschler- Fischer	Untersuchung von Fehlerrobustheitstechniken für H.264/AVC-kodierte Videoströme	November 2006

### Mit-Begutachtungen und abgeschlossene Mit-Betreuungen am Department

#### Diplomarbeiten

Diplomand/In	Gutachter	Thema	Datum
Noureddine Belaredj	R. Lang, M. Lehmann	Portfoliooptimierung	März 2006
Kai Stierand	M. Rarey, M. Lehmann	Algorithmen für das effiziente Matching mul- tipler Mustergraphen	Sept. 2006

### Begutachtungen und abgeschlossene Betreuungen außerhalb des Department

#### Dissertationen

DoktorandIn	GutachterIn	Thema	Datum
Ulrike Lucke	D. Tavangarian (Uni Rostock), B. Krämer (Fernuni Hagen), B. E. Wolfinger	Architekturen und Werkzeuge zur strukturier- ten Dokumentenverarbeitung	Nov. 2006

#### Masterarbeiten

StudienarbeiterIn	GutachterIn	Thema	Datum
Leila Hadji	E. Nordstroem (Dalarna Univer- sity, Sweden), B. E. Wolfinger	A Unified Load Generator for Geographically Distributed Generation of Network Traffic (International Master Thesis)	October 2006

### Wissenschaftliche Vorträge

B. E. Wolfinger :

Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6), Université P. et M. Curie, Paris, 9. Mai 2006 : "Traffic Engineering and Performance Engineering for Service-integrated Networks and Distributed Real-time Applications".

Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6), Université P. et M. Curie, Paris, 30. Mai 2006 : "Dynamic Resource Redistribution to Improve the Efficiency of Real-Time Communications in IEEE 802.11e based LANs".

Ecole Nationale Supérieure de Télécommunications (ENST), Paris, 15. Juni 2006 : "Traffic Engineering and Performance Engineering for Multimedia Applications in the Internet and in Mobile Networks".

ValueTools 2006-Konferenz, Pisa, 12. Okt. 2006: "A Unified Load Generator Based on Formal Load Specification and Load Transformation".

## 4. Wichtige weitere Aktivitäten von Mitgliedern der Arbeitsgruppe

### Mitarbeit in wissenschaftlichen außeruniversitären Gremien

Wolfinger, Bernd

TPC-Mitglied *MMB 2006* (13th GI/ITG Conference on "Measurement, Modeling, and Evaluation of Computer and Communication Systems", 27.3. - 30.3.2006 in Nürnberg)

TPC-Mitglied *PerU 2006*, Workshop "Pervasive University" (im Rahmen der GI-Jahrestagung, 2.10. - 6.10.2006 in Dresden)

TPC-Mitglied *PDCN'06* (IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks, 14.2. - 16.2.2006 in Innsbruck, Austria)

TPC-Mitglied *EW'06* (12th European Wireless Conference, 2.4. - 5. 4.2006 in Athen, Griechenland)

TPC-Mitglied *DepCoS'06* (International Conference on Dependability of Computer Systems, 24.5. - 28.5.2006 in Wroclaw, Polen)

TPC-Mitglied *ICOMP'06* (International Conference on Internet Computing, 26.6. - 29.6.2006 in Las Vegas, USA)

TPC-Mitglied *PDPTA'06* (International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 26.6. - 29.6.2006 in Las Vegas, USA)

TPC-Mitglied *WNET'06* (IASTED International Conference on Wireless Networks and Emerging Technologies, 3.7. - 5.7.2006 in Banff, Kanada)

TPC-Mitglied *SPECTS'06* (International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 31.7. - 2.8.2006 in Calgary, Kanada)

TPC-Mitglied *I3E'06* (6th International Conference on eBusiness, eCommerce and eGovernment, 11.10.-13.10.2006 in Turku, Finnland)

TPC-Mitglied *PDCN'07* (IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Networks, 13.2. - 15.2.2006 in Innsbruck, Austria)

TPC-Mitglied *KiVS 2007* (GI-Fachtagung "Kommunikation in Verteilten Systemen", 28.2. - 2.3.2005 in Bern)

TPC-Mitglied *EW 2007* (13th European Wireless Conference, 1.4. - 4.4.2007 in Paris, Frankreich)

TPC-Mitglied *WOC'07* (IASTED International Conference on Wireless and Optical Communications, 30.5. - 1.6.2007 in Montreal, Kanada)

TPC-Mitglied *DepCoS-RELCOMEX'07* (2nd Conference on Dependability of Computer Systems, 14.6. - 16.6.2007 in Szklarska Poreba, Polen)

TPC-Mitglied *ICOMP'07* (International Conference on Internet Computing, 25.6. - 28.6.2007 in Las Vegas, USA)

TPC-Mitglied *PDPTA'07* (International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 25.6. - 28.6.2007 in Las Vegas, USA)

TPC-Mitglied *SPECTS'07* (International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 16.7. - 18.7.2007 in San Diego, USA)

TPC-Mitglied *MMBnet'07* (4th GI/ITG-Workshop „Leistungs-, Zuverlässigkeits- und Verlässlichkeitsbewertung von Kommunikationsnetzen und verteilten Systemen“, 13./14.9.2007 in Hamburg).

GI-Vertrauensdozent Gesellschaft für Informatik (GI) :

### Mitarbeit in universitären Gremien

Heidtmann, Klaus-Dieter:

Gemeinsame Kommission „Mathematik/Physik/Informatik“  
 TKRN-Sicherheitsbeauftragter  
 TKRN-Lehrplanungsbeauftragter

Lehmann, Martin:

stellvertretendes Mitglied, Fachbereichsrat / Fachausschuss Informatik  
 Promotionsausschuss  
 Ausschuss zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses  
 Beauftragter des FB Informatik für die Verwaltung der Tutoren- und Student. Hilfskraftmittel  
 Gewählter Vertreter als Vermittlungsinstanz im Fachbereich Informatik  
 Gemeinsame Kommission „Chemie/Informatik“

Wolfinger, Bernd:

Fachbereichsrat / Fachausschuss Informatik  
 Prüfungsausschuss  
 Promotionsausschuss  
 Habilitationsausschuss  
 Ausschuss zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses  
 Ausschuss „Bestes Vordiplom“  
 Gemeinsame Kommission „Mathematik/Physik/Informatik“

### Begutachtungstätigkeit

Heidtmann, Klaus:

Gutachter-/Refereetätigkeit für die Zeitschrift IEEE Transactions on Reliability.  
 Gutachtertätigkeit für die Tagungen EW'07 (13th "European Wireless Conference") sowie Dep-CoS\_RELCOMEX'07 (2nd Conference on "Dependability of Computer Systems").

Lehmann, Martin:

Gutachtertätigkeit für die Tagung EW'07 (13th "European Wireless Conference").

Wolf, Jürgen:

Gutachtertätigkeit für die Tagungen: EW'07 (13th "European Wireless Conference"), MMB 2006 (Messung, Modellierung und Bewertung von Rechensystemen) sowie IASTED PDCN'07.

Wolfinger, Bernd:

Begutachtung für die Zeitschrift Computer Communications Journal.

Gutachtertätigkeit (i) für die Konferenzen/Tagungen SPECTS 2006, I3E'06, WNET'06, PerU 2006, I-COMP'06, MMB 2006, PDCN'07, EW'07, KiVS'07, DepCoS\_RELCOMEX'07, etc als Mitglied des Programmkomitees (s.o.); sowie (ii) für die Konferenzen/Tagungen CSA 2006 (IASTED Internat. Conf. on "Communication Systems and Applications"), ARCS 2007 (GI/IFIP Internat. Conf. on "Architecture of Computing Systems") und WCNC 2007 (IEEE Wireless Communications and Networking Conf.) speziell als Reviewer.

Gutachter für Forschungsförderungseinrichtung National Research Foundation (NRF), Südafrika.  
Externer Gutachter im Promotionsverfahren von Frau Dr. U. Lucke (Univ. Rostock).

### **Kongressorganisation/-ausrichtung durch Mitglieder der Departmenteinrichtung**

Wolfinger, Bernd :

WCSN 2006 (2nd Conference on Wireless Communication and Sensor Networks, 17.-19.12.2006 in Allahabad, Indien) – Mitglied im Technical Advisory Committee.

### **Preisverleihungen an Mitglieder der Departmenteinrichtung**

Gaitzsch, Martin:

MMB-Preis „Beste Diplomarbeit 2005“, GI/ITG-Fachgruppe „Messung, Modellierung und Bewertung von Rechensystemen (MMB)“: Preisverleihung bei MMB2006-Konferenz, Nürnberg, März 2006

KuVS-Preis, „Beste Diplomarbeit 2005“, GI/ITG-Fachgruppe „Kommunikation und Verteilte Systeme (KuVS)“: Preisverleihung bei KiVS2007-Konferenz, Bern, Febr. 2007

Heckmüller, Stephan:

KuVS-Preis, „Beste Diplomarbeit 2006“, GI/ITG-Fachgruppe „Kommunikation und Verteilte Systeme (KuVS)“: Preisverleihung bei KiVS2007-Konferenz, Bern, Febr. 2007

### **Längerfristige Forschungsaufenthalte im Ausland von Mitgliedern der Departmenteinrichtung**

Wolfinger, Bernd :

LIP6, Université Pierre et Marie Curie, Paris ; von 1. Mai 2006 bis 30. Juni 2006.