

Institut für Informatik 4
Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme
Universität Bonn

Prof. Dr. Peter Martini

Seit dem Wintersemester 1996/97 leitet Prof. Dr. Peter Martini das Institut für Informatik 4 der Universität Bonn und die dort beheimatete Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme. Dieser Arbeitsgruppe gehören 16 wissenschaftliche Mitarbeiter, drei Techniker, eine Sekretärin und ca. 30 studentische Hilfskräfte an (Stand: Februar 2009).

1. Das Institut für Informatik 4

Das Institut für Informatik der Universität Bonn ist in insgesamt sechs Abteilungen strukturiert. Der Abteilung 4 des Instituts, die sich mit Kommunikation und Verteilten Systemen befasst, gehören die Arbeitsgruppe „Kommunikationssysteme“ unter Leitung von Prof. Dr. Peter Martini und die Arbeitsgruppe „Sensornetze und Pervasive Computing“ unter Leitung des im Jahr 2007 nach Bonn berufenen Prof. Dr. Pedro José Marrón an. Gemeinsam decken die eng kooperierenden Gruppen in Forschung und Lehre ein breites Spektrum der praktischen und anwendungsorientierten Informatik ab.

Da in beiden Gruppen der Praxisbezug im Vordergrund steht, dieser aber nur mit starken Partnern sichergestellt werden kann, bestehen enge Verbindungen sowohl zur gewerblichen Wirtschaft als auch zu den im Bereich des Technologietransfers tätigen Großforschungseinrichtungen. Besondere Bedeutung haben hierbei das Fraunhofer Institut „Intelligente Analyse- und Informationssysteme“ (IAIS) in St. Augustin und das „Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie“ (FKIE) der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften (FGAN) in Wachtberg: Mit diesen beiden renommierten Instituten bestehen langfristig angelegte Kooperationsverträge, welche die Basis für die enge personelle Verknüpfung und die umfassenden gemeinsamen Lehr- und Forschungsaktivitäten darstellen. Auch mit dem Fraunhofer Institut Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen (SCAI), ebenfalls in St. Augustin, besteht seit vielen Jahren eine enge Kooperation.

Essentiell ist auch die enge Zusammenarbeit mit dem Bonn-Aachen International Center for Information Technology (B-IT). In mehreren international ausgerichteten Studiengängen sind dort die Studierenden stark in die Labore der beteiligten Einrichtungen (Universität Bonn, RWTH Aachen, mehrere Fraunhofer-Institute) eingebunden, was eine sowohl forschungsnahe als auch praxisorientierte Ausbildung sicherstellt. Darüber hinaus bietet das B-IT mit dem „International Program of Excellence in Computer Science“ (IPEC) besonders hoch begabten Studierenden die Möglichkeit, durch Blockveranstaltungen in der vorlesungsfreien Zeit ihr Studium signifikant zu verkürzen. Das Institut für Informatik 4 ist mit einem breiten Angebot von Praktika, Vorlesungen und Projektgruppen sehr stark an den Aktivitäten des B-IT beteiligt.

2. Forschung

Die Forschung der Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme gliedert sich in insgesamt vier Bereiche, die jeweils von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter geleitet werden.

- Sicherheit und Effizienz im Internet
- Taktische Multi-Hop-Netze
- Dynamische Ende-zu-Ende-Netzdienste
- Performance Engineering

Im Tagesgeschäft folgt aus der Praxisorientierung eine starke Ausrichtung auf Kooperationsmöglichkeiten und Projektchancen, wobei recht häufig Forschungsbedarfe

primär dadurch erkannt werden, dass sich prototypische Implementierungen im Rahmen eigener Projekte oder im Rahmen von Projekten der Kooperationspartner nicht wirklich als „proof of concept“ erweisen, sondern als „proof of need for further research“.

Der Schnellebigkeit dieses Tagesgeschäfts steht die Langfristigkeit der Ausrichtung der oben genannten Forschungsbereiche gegenüber: Sie bilden eine stabilisierende Struktur, in der Kompetenzen der Arbeitsgruppe über die Tätigkeit einzelner Personen und über die Bedarfe einzelner Projekte hinaus herangebildet, gepflegt und bewahrt werden. Auf diese Weise wird auch sichergestellt, dass die in der Arbeitsgruppe tätigen Studierenden stabile Arbeitsumgebungen vorfinden und ohne Umwege in kurzen Studienzeiten ihre Abschlüsse erzielen können.

2.1. Sicherheit und Effizienz im Internet

Der von dem Malware-Spezialisten Dipl.-Inform. Felix Leder geleitete Bereich umfasst Forschungsaktivitäten, die darauf abzielen, den Betrieb von Komponenten im Internet bzw. ans Internet angeschlossener Endgeräte sicherer und effizienter zu gestalten, indem Bedrohungen und Unzulänglichkeiten systematisch erkannt, klassifiziert und – nach Möglichkeit – behoben werden. Aufgrund der praxisorientierten Ausrichtung dieser Forschungsaktivitäten treten neben zahlreiche anspruchsvolle technische und mathematisch-theoretische Fragen auch Fragen nach rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten, die nur in strategischer Partnerschaft mit Behörden und gewerblicher Wirtschaft erfolgreich bearbeitet werden können.

2.1.1. Intrusion Detection und Honeypots

IT-Systeme im Internet sind ständigen Angriffen ausgesetzt. Zur Unterscheidung legitimer und bössartiger Zugriffe werden Angriffserkennungssysteme (Intrusion Detection Systems, IDS) eingesetzt, die Attacken anhand hinterlegter Muster oder anormaler Netzwerkdaten identifizieren und dann Alarm geben oder Schutzmaßnahmen ergreifen sollen. Zur Gewinnung dieser Muster und zur fundierten Beurteilung des jeweiligen Bedrohungspotentials erweisen sich „Honeypots“ als außerordentlich nützlich. Honeypots sind i.W. „Opfer-Systeme“, die in kontrollierter Weise Angriffe aufzeichnen und somit tiefe Einblicke in die Vorgehensweise der Hacker und in die Funktionsweise der verwendeten Schad-Software, der sog. Malware, zulassen.

Die Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme ist zwar schon seit über 10 Jahren in dem hier angesprochenen Bereich aktiv, doch wurden diese Aktivitäten seit 2007 aufgrund der wachsenden Bedeutung massiv intensiviert und mit Unterstützung durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) auf eine breitere Basis gestellt.

Als zentrale Komponente umfassender praxisorientierter Forschungsarbeiten betreibt die Arbeitsgruppe ein System verschiedener Honeypots mit Sensoren in den Bereichen verschiedener Internetprovider. Wichtige Informationen werden auch über Sensoren an diversen Messpunkten der Universität Bonn sowie durch die intensive Einbindung in die nationale und internationale „Honeynet-Community“ gewonnen. Einige Honeypot-Komponenten, die von Mitgliedern der Arbeitsgruppe entwickelt wurden, befinden sich weltweit im Einsatz.

Ein besonderes Highlight stellte im Jahr 2008 die Verleihung des AFCEA-Studienpreises an den damaligen Diplomanden und jetzigen wissenschaftlichen Mitarbeiter Tillmann Werner dar. Seine Arbeit zum Thema „Automatisches Generieren komplexer Intrusion-Detection-Signaturen“ zeigt neue Wege auf, wie aus aufgezeichneten Angriffsdaten automatisch Detektionsmuster berechnet werden können, die dann unmittelbar in Systemen zur Angriffserkennung einsetzbar sind und so auch Schutz vor bisher unbekanntem Attacken bieten können.

2.1.2. Analyse von Malware

Eng verknüpft mit dem Bereich Honeypots sind die Aktivitäten zur „tiefen“ Analyse der erfassten Malware. Dabei kommen Methoden zum Einsatz, die sich nicht auf das Beobachten des Verhaltens im Sinne eines Black Box – Ansatzes beschränken, sondern mittels Reverse Engineerings die Funktionalität von Malware extrahieren, mit Details des Laufzeit-Verhaltens kombinieren und so ein tiefes Verständnis des analysierten Schadprogramms ermöglichen. Hiermit wird auch eine Basis geschaffen für die Klassifikation von „polymorpher“ bzw. „metamorpher“ Malware, also von Schad-Code, der sich automatisch und zum Teil sehr schnell verändert, um der Entdeckung durch Intrusion Detection Systeme bzw. Viren-Scanner zu entgehen.

Das aus Sicht der Arbeitsgruppe wichtigste Einsatz-Szenario für die hier angesprochenen Methoden liegt im Bereich der Bekämpfung der inzwischen allgegenwärtigen „Botnetze“ mit zum Teil Millionen von Zombie-Rechnern. Derartige Systeme sind inzwischen ein Tummelplatz der organisierten Kriminalität und eine massive Bedrohung für die Allgemeinheit.

Einen besonders spektakulären Erfolg, der über Medienportale wie „Heise“ oder „The Register“ national wie international gemeldet wurde, konnte mit der Analyse des „Sturmwurm-Botnetzes“ (kurz: Storm) erzielt werden: In einer Live-Demonstration auf dem Chaos Communication Congress 2008 präsentierten Mitglieder der Arbeitsgruppe das Eindringen in die Kontrollstruktur des Storm Botnetzes, das wegen der eingesetzten Peer-to-Peer-Technik lange Zeit als unaufhaltsam galt. Die Analyse der von Storm eingesetzten Malware hatte es der Arbeitsgruppe in Kooperation mit Forschern an der RWTH Aachen aber ermöglicht, nicht nur die Funktionsweise komplett zu verstehen, sondern auch alle Software-Komponenten zu erstellen, die zur vollständigen Elimination von Storm mit zu diesem Zeitpunkt mehreren Zehntausend Zombies erforderlich gewesen wären. Der letzte Schritt, diese Software auch zu starten und damit eine internetweite Säuberung einzuleiten, wurde lediglich aus rechtlichen Gründen vermieden, da hiermit objektiv der Tatbestand der Computer-Sabotage erfüllt gewesen wäre.

2.1.3. Konsistentes Routing zwischen Domänen

Domänenübergreifendes Routing im Internet ist nur möglich, wenn Erreichbarkeitsinformationen über verschiedene autonome Systeme hinweg ausgetauscht werden. Das Border Gateway Protokoll hat sich hierbei als de Facto Standard in Produktivsystemen durchgesetzt. Allerdings hat sich insbesondere iBGP, die operative Betriebsart zur Verteilung externer Erreichbarkeitsinformationen innerhalb eines autonomen Systems, in der heute verwendeten Form als anomalieanfällig und leicht manipulierbar erwiesen. Dies kann in der Praxis beobachtet werden: Insbesondere in großen Autonomen Systemen treten zuweilen Anomalien in Form von nichtdeterministischen oder divergierenden Teilprozessen auf. Fehlkonfigurationen in einzelnen Systemen haben bereits zur zeitweisen Nichterreichbarkeit von You Tube und anderen politisch interessanten Zielen in großen Teilen des Internets geführt.

Die weite Verbreitung und der providerübergreifende Einsatz machen den Neuentwurf eines „robusteren Border Gateway Protokolls“ praktisch unmöglich. Die Projekte der Arbeitsgruppe fokussieren stattdessen auf eine sukzessive Härtung des Border Gateway Protokolls, welche lediglich auf lokale Architekturen angewiesen ist. Dies macht die Techniken zukunftssicher einsetzbar und damit in realen Systemen langfristig zuverlässig umsetzbar.

Der Schlüssel zum Erfolg liegt hierbei in formalen Analysen und dem daraus wachsenden Verständnis für die grundlegenden Designschwächen des Protokolls. So konnte die Arbeitsgruppe nachweisen, dass Oszillation in der Tat lediglich durch Informationsreduktionstechniken verursacht wird. Studien, die in Kooperation mit der Deutschen Telekom durchgeführt werden, zeigen, dass Routinganomalien inhärent durch eine geeignete lokale

Architektur nachweisbar ausgeschlossen werden können. Doch auch der Ausschluss von Anomalien stellt nur den ersten Teilschritt in Richtung eines robusten, konsistenten und korrekten Routings dar: Die schnelle und zuverlässige Erkennung von Manipulationen ist ein ebenso wichtiges Ziel, das in der Praxis hohe Relevanz hat. Durch Nutzung des erarbeiteten Know-hows und Fortsetzung der Aktivitäten in diesem Bereich sollen in den kommenden Jahren auch hier signifikante Ergebnisse und Ansätze zur Meisterung dieser Herausforderungen erarbeitet werden.

2.2. Taktische Multi-Hop-Netze

In dem von Dr. Nils Aschenbruck geleiteten Forschungsbereich der taktischen Multi-Hop-Netze stehen der Aufbau und der robuste Betrieb von drahtlosen Kommunikationssystemen in taktischen Szenarien im Mittelpunkt. Krisensituationen, in denen große Teile der Kommunikationsinfrastruktur zerstört sind, stellen wichtige Anwendungsszenarien für infrastruktur-unabhängige Multi-Hop-Netze dar: Die eingesetzten zivilen oder militärischen Einheiten benötigen in diesen Szenarien insbesondere zur (taktischen) Koordination robuste und ausfallsichere Kommunikationssysteme. Aus offensichtlichen Gründen pflegt die Arbeitsgruppe in diesem Bereich engste Kooperation mit dem wehrtechnisch orientierten Forschungsinstitut FGAN-FKIE.

2.2.1. Sicherheit

Zivile wie auch militärische Krisensituationen gehen im Allgemeinen mit konkurrierenden Interessen und sich daraus ergebenden hohen Gefährdungspotentialen einher. Angriffe auf das Multi-Hop Routing, wie „Blackholes“ oder „Wormholes“ sowie Jamming sind besonders wirksame und daher gefährliche Eingriffe in taktische Multi-Hop Netze. Daher stellt die Erforschung robuster Verfahren zur Erkennung von Angriffen sowie sinnvoller Gegenmaßnahmen einen Schwerpunkt der Aktivitäten der Arbeitsgruppe dar. Die in taktischen Szenarien vorhandene hierarchische Kommunikationsstruktur unterstützt den Einsatz spezifischer Verfahren. Daher werden vor dem Hintergrund dieser Randbedingungen in drahtgebundenen Netzen erfolgreich eingesetzte sowie für allgemeine Multi-Hop Szenarien entwickelte Verfahren evaluiert, adaptiert und optimiert sowie vollständig neuartige Verfahren entwickelt.

2.2.2. Realitätsnahe Szenario-Modellierung

Um die Robustheit der eingesetzten Kommunikationsmittel zu garantieren, müssen alle Komponenten vor ihrem Einsatz einer gründlichen Leistungsbewertung unterzogen werden. Diese erfolgt aufgrund der besseren Skalierbarkeit und Reproduzierbarkeit meist durch Simulation. Die Ergebnisse einer solchen simulativen Leistungsbewertung sind offenbar in extremer Weise abhängig von den verwendeten Modellen. Für taktische Szenarien gibt es aber bisher nur wenige realistische Modelle und somit auch nur wenig belastbare Ergebnisse. Daher erforscht die Arbeitsgruppe die realistische Modellierung sowohl für zivile wie auch für militärische Szenarien. Um einen starken Realitätsbezug zu gewährleisten, wird in diesem Bereich intensiv mit Feuerwehren, Katastrophenschutzeinheiten und den Streitkräften kooperiert. So können in Übungen und geplanten Einsätzen Rohdaten (Bewegungs- und Datenverkehrstraces) gewonnen werden, die, entsprechend aufbereitet, als Grundlage für die realistische Modellierung dienen. Die entwickelten Modelle werden bei der simulativen und emulativen Leistungsbewertung genutzt und ermöglichen so die Entwicklung von auf taktische Szenarien angepassten Algorithmen, Protokollen und Anwendungen.

2.2.3. Anwendungsentwicklung und Protokoll-Design

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt im Design und der Entwicklung von spezifischen Anwendungen und optimierten Protokollen für die in taktischen Szenarien eingesetzten

Einheiten. So sind beispielsweise Lagedarstellung und Führungsunterstützung in der Einsatzleitung wichtige Anwendungen. Für diese müssen heterogene Sensoren ausgelesen, die Sensordaten zur Einsatzleitung zuverlässig übertragen und vor der Darstellung geeignet fusioniert werden. Es müssen somit spezifische verteilte Anwendungen maßgeschneidert entworfen, implementiert und evaluiert werden, in denen auch Techniken der Sensordatenfusion (insbes. Tracking) berücksichtigt werden. Für den robusten und optimalen Betrieb der Anwendungen müssen die eingesetzten Protokolle entsprechend der Anwendung parametrisiert und optimiert werden. Um zu überprüfen, ob die entwickelten Anwendungen und Protokolle praxistauglich sind, werden in regelmäßigen Abständen Feldtests durchgeführt, z.B. im Rahmen von Katastrophenschutzübungen. Insgesamt werden in diesem Teilbereich maßgeschneiderte Anwendungen und Protokolle erforscht, die fortlaufend weiterentwickelt und optimiert werden.

2.3. Dynamische Ende-zu-Ende-Netzdienste

In dem hier angesprochenen Forschungsfeld werden unter Leitung von Dr. Matthias Frank seit mehr als 15 Jahren Verfahren zur Messung und Verbesserung der Ende-zu-Ende-Performance entworfen, implementiert und überwacht. Charakteristisch ist für dieses Forschungsfeld, dass von den viel erforschten netzinternen Charakteristika weitgehend abstrahiert und die wesentlich relevantere Endnutzer-Sicht („Look&Feel“) eingenommen wird.

2.3.1. Dienste mit garantierter Dienstgüte

Das heutige Internet bietet einen „Best Effort Service“ an, der für die breite Mehrzahl der Anwendungen vollkommen ausreichend ist, wenn es nicht zu signifikanten Überlastungen einzelner Netzkomponenten kommt. Für einige Anwendungen - z.B. bei der TV-Produktion mit Live-Übertragung oder auch bei bestimmten Varianten des Grid Computings – wird aber ein verlässlicher Dienst benötigt, für den Reservierungen vorgenommen werden können und bei dem eine effizienzoptimierte Zukunftsplanung ermöglicht wird. Die konkrete Umsetzung der hier angesprochenen Reservierungen kann grundsätzlich mit Verfahren wie MPLS oder GMPLS erfolgen. Zwischen grundsätzlicher Umsetzbarkeit und flexibler, praktischer Nutzbarkeit besteht aber immer noch eine große Lücke mit erheblichem Forschungsbedarf. In diesem Themenfeld ist die Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme seit vielen Jahren mit Unterstützung durch BMBF, EU und DFG mit großem Erfolg aktiv.

2.3.2. Gruppenorientierte Dienste

„Gruppenorientierte Dienste“ gewinnen zunehmend an Bedeutung für Bereiche, in denen ein Best Effort Service nicht ausreichend ist, in denen aber harte Dienstgütegarantien über das zugrunde liegende Netz nicht realisierbar sind oder nicht realisiert werden sollen. Für solche Szenarien sind Verfahren attraktiv, die kooperativ und explorativ sind: Explorativ in dem Sinne, dass die Endsysteme mit geeigneten Ende-zu-Ende-Mechanismen die tatsächlich verfügbare Bandbreite schätzen; kooperativ in dem Sinne, dass sich die Endsysteme über die Nutzung der verfügbaren Netzressourcen abstimmen. Auf Transportebene ist natürlich TCP ein „Klassiker“, der eine spezielle Ausprägung genau dieses Ansatzes darstellt. Da aber die Datenströme der betroffenen Anwendungen häufig viele TCP-Ströme umfassen, ist eine (anwendungsorientierte) Koordination auf höherer Ebene erforderlich, wenn aus Sicht der Anwendungen ein kooperatives und exploratives Verhalten realisiert werden soll.

Die Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme forscht seit vielen Jahren an unterschiedlichsten Facetten des hier angesprochenen Themenbereiches. Besondere Bedeutung hatten in der jüngeren Vergangenheit die von der DFG unterstützten Arbeiten im Bereich der Anbindung von Medien-Servern. Aktuell steht die Forschung für das Anwendungsgebiet der Kommando- und Kontroll-Systeme im Vordergrund, wobei der wehrtechnische Bereich offensichtlich von

besonderer Bedeutung ist. Natürlich wird auch hier eine enge Kooperation mit dem strategischen Partner FGAN-FKIE gepflegt.

2.3.3. Netzoptimierung

Die Analyse und die Verbesserung der Ende-zu-Ende-Performance von Netzdiensten stehen im Zentrum von Forschungsaktivitäten, bei denen in realen Systemen Messungen auf Ende-zu-Ende-Basis durchgeführt werden. Ziel ist es hierbei, aus darauf basierenden Simulationen und Emulationen wertvolle Hinweise zur Optimierung von Netzparametern und zur Verbesserung der Protokoll-Performance zu erhalten.

Im Fokus der hier angesprochenen Forschungsaktivitäten stehen Messungen in öffentlichen Mobilfunknetzen der aktuellen und zukünftiger Generationen. Da in Funknetzen die Bandbreite auch in Zukunft eine knappe Ressource darstellen wird und zudem die „User Experience“ massiv vom gewählten Endgerät („Handy“) abhängt, ist hier noch viel Raum für Innovation.

Nachdem die Aktivitäten in diesem Bereich über mehrere Jahre von der EU finanziert wurden, hat aktuell die Kooperation mit großen Netzbetreibern wie etwa T-Mobile oder T-Mobile International besondere Relevanz.

2.4. Performance Engineering

Im Bereich der Leistungsbewertung komplexer Systeme existiert zwar heute ein wertvoller Schatz wissenschaftlicher Erkenntnisse und verfügbarer Tools, doch wird in der Unternehmenspraxis häufig eine schier unüberwindbare Lücke beobachtet zwischen dem Einsatz des „Bauchgefühls“ erfahrener Mitarbeiter einerseits und dem praktischen Einsatz geeigneter Tools andererseits. Die Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme bemüht sich in dem von Dipl.-Inform. Patrick Peschlow geleiteten Forschungsfeld „Performance Engineering“ darum, die hier angesprochene Lücke für ausgewählte Anwendungen zumindest zu verringern. Im Vordergrund steht hier neben der Leistungsfähigkeit der zu bewertenden Systeme auch die Effizienz der Verfahren zur Leistungsbewertung selbst.

2.4.1. Leistungsaspekte in der domänenspezifischen Modellierung

Im Bereich der domänenspezifischen Modellierung hat die Arbeitsgruppe in enger Kooperation mit Firmen wie Nokia oder Capgemini zeigen können, dass nicht-funktionale Charakteristika und Anforderungen auf elegante Art in den formalen Design-Prozess von industrieller Hard- und/oder Software integriert werden können. Auf diese Art sind im Designprozess sehr frühzeitig fundierte Aussagen zu Leistungsaspekten möglich geworden, die ein Verständnis der zu erwartenden Leistungsfähigkeit der Systeme ermöglichen.

Im Bereich der Entwicklung komplexer Systeme haben sich unterschiedliche Modellierungsansätze zur Dokumentation von funktionalen Anforderungen und von Designentscheidungen etabliert. Insbesondere hat die „Unified Modeling Language“ (UML) hier Verbreitung gefunden.

Die von der Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme verfolgten Ansätze erweitern dieses Vorgehen in der Weise, dass Leistungsaspekte möglichst nahtlos als Annotationen in diese Modellierung integriert werden. Nur durch möglichst umfassende Transparenz kann sichergestellt werden, dass die Entwickler durch diese Erweiterungen nicht behindert werden und dass sie die neuen Verfahren akzeptieren.

2.4.2. Leistungsbewertung mit Performance-Modellen

Ausgehend von annotierten – um Leistungsaspekte erweiterten – Systemmodellen lassen sich Performance-Modelle erzeugen, die eine Bearbeitung mittels mathematischer Analyse oder Simulation ermöglichen und wertvolle Hinweise auf die zu erwartende Leistungsfähigkeit liefern: Recht allgemein gehaltene Modelle unterstützen den Design-Prozess bereits in frühen

Entwicklungsphasen durch erste grobe Abschätzungen der Leistungsfähigkeit, während spezifischere Modelle bei den späteren Entwicklungsphasen immer mehr Details der modellierten Hard- und Software erfassen und damit präzisere Vorhersagen zulassen.

Die Transformation eines Systemmodells in ein konkretes Performance-Modell geschieht bei den von der Arbeitsgruppe erforschten Ansätzen vollautomatisch und für den Entwickler transparent, so dass den Entwicklern Details der zugrundeliegenden Theorien nicht bekannt sein müssen. Dies erlaubt eine breite Anwendung von Performance-Engineering ohne große Hürden für die Anwender.

Für die Analyse von komplexen verteilten Software-Umgebungen werden erweiterte Queueing-Netze eingesetzt, die neben Parallelität auch das direkte Verarbeiten von Messdaten (Trace-Files) erlauben, so dass die Entwickler von bestehenden Systemen auf neue schließen können. Gemeinsam mit der Firma Nokia wurde ein Performance-Modell für ARM-Prozessor-basierte Embedded-Devices entwickelt, wie sie in Mobiltelefonen, DVD-Playern, und Fahrzeugen Verwendung finden. Mithilfe dieser Performance-Modelle ist es möglich, für konkrete Szenarien Hardware-Optimierungen vorzunehmen und zu testen, ohne sie prototypisch zu realisieren.

2.4.3. Neuartige Simulationstechniken

Obwohl in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte in der Simulationstechnik erzielt wurden, stößt die Simulation komplexer Systeme häufig an die Grenzen der praktischen Einsetzbarkeit, weil die Laufzeiten der Simulation inakzeptabel lang werden oder weil die Größe des sinnvoll nutzbaren schnellen Speichers überschritten wird.

Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft erforscht die Arbeitsgruppe neuartige Verfahren zur dynamischen Verteilung (Partitionierung) von Simulationsläufen auf mehrere CPUs bzw. mehrere Computer, wobei als Anwendungsszenario die Simulation von Mobil Ad-Hoc-Netzen im Mittelpunkt steht. Dabei wird eine geschickte Kombination von State-of-the-Art-Verfahren mit neuen Techniken verfolgt, die bereits vielversprechende erste Ergebnisse geliefert hat. So wird auf handelsüblichen Multicore-Computern in stark praxisrelevanten Simulationsszenarien ein nahezu optimaler (d.h. linearer) Speedup erreicht. Für die künftigen Arbeiten ist eine Erweiterung der Verfahren um Cloning-Techniken vorgesehen, die eine gezielte Untersuchung alternativer Simulationsverläufe ermöglichen, ohne die gemeinsamen Teile der Simulation mehrfach durchlaufen zu lassen. Dadurch können die Laufzeit und der Speicherplatzbedarf von Simulationsstudien drastisch reduziert werden. Große Bedeutung haben derartige Ansätze auch für die Behandlung von simultanen Ereignissen und für Simulationen mit bewusst vorgegebener Unschärfe hinsichtlich der Eintrittszeitpunkte von Ereignissen. Die hier angesprochenen Arbeiten werden mit Unterstützung durch die DFG und in enger Kooperation mit Forschern an der Florida International University durchgeführt.

3. Lehre

Durch die enge Verzahnung von Lehr- und Forschungsaktivitäten ist die Arbeitsgruppe Kommunikationssysteme in der Lage, weit mehr Lehrveranstaltungen anzubieten, als sich aus den Lehrverpflichtungen der Landesstelleninhaber ergibt.

Im Bachelor-Studiengang „Informatik“ bietet die Arbeitsgruppe jährlich im Sommersemester die 4-stündige Pflicht-Vorlesung „[Systemnahe Informatik](#)“ an. Die Vorlesung schlägt einen weiten Bogen von Kernkonzepten der Maschinensprachen über Grundzüge des Compilerbaus bis hin zu zentralen Komponenten gängiger Betriebssysteme. Enthalten ist auch eine Einführung in Grundzüge der Internet-Technologie.

Ebenfalls jährlich – allerdings im Wintersemester – bietet die Arbeitsgruppe die 2-stündige Pflicht-Vorlesung „[Systemnahe Programmierung](#)“ mit sehr umfassendem Praxisteil an. Hier erlernen die Studentinnen und Studenten den Umgang mit Netzwerkprogrammierung und die

verteilte Programmierung aus einer betont praxisorientierten Sicht. Da diese Veranstaltung im 3. Semester des Bachelor-Studiengangs liegt, sind die Studierenden schon wenig mehr als 1 Jahr nach Studienbeginn in der Lage, auch anspruchsvolle praktische Aufgaben aus dem Bereich Rechnernetze / Verteilte Systeme selbständig zu meistern. Daher können sie auch schon an einschlägigen Projektgruppen teilnehmen, wie sie von der Arbeitsgruppe zu Themen wie „Malware-Analyse“, „Ad-Hoc-Netze“, „Laser & Licht“ und „Tracking“ angeboten werden. Die Studierenden werden somit steil an die aktuellen Forschungsarbeiten herangeführt und zur aktiven Mitgestaltung in den Forschungsprojekten ermuntert.

Abgerundet wird das Angebot für den Bachelor-Studiengang durch die 2-stündige Wahlpflichtveranstaltung „[Kommunikation in Verteilten Systemen](#)“, die ab dem Wintersemester 2009/2010 jährlich angeboten wird und vertiefte Kenntnisse insbesondere in den Bereichen Adressierung/Routing und Flusskontrolle/Überlastabwehr vermittelt.

Im international ausgerichteten, englischsprachigen Master-Studiengang „Computer Science“ bietet die Arbeitsgruppe jährlich die 4-stündige Vorlesung „[High Performance Networking](#)“ an. Diese in Kooperation mit der Arbeitsgruppe von Prof. Marrón gestaltete Lehrveranstaltung konsolidiert zunächst die typischerweise in Bachelor-Studiengängen gewonnenen Grundkenntnisse und geht dann detailliert auf ausgewählte aktuelle Themen in den Bereichen „Netze“ und „Verteilte Systeme“ ein. Sie bildet die Basis für die jährlich angebotenen 2-stündigen Vorlesungen „[Network Security](#)“ und „[Mobile Communication](#)“, die – wie auch die High Performance Networking – im Bereich der Übungen in erheblichem Umfang Aufgaben enthalten, die sich an Problemen der Praxis orientieren und sowohl konzeptionell gelöst als auch praktisch umgesetzt werden müssen. Da der Master-Studiengang erst zum Wintersemester 2008/2009 angelaufen ist und sich mit dem zum 30.9.2014 auslaufenden Diplom-Studiengang erheblich überlappt, stellen aktuell die Studierenden im Diplom-Studiengang die zentrale Zielgruppe der genannten Master-Veranstaltungen dar. Darüber hinaus werden die genannten Lehrangebote auch von den Studierenden im Master-Studiengang „Media Informatics“ des Bonn-Aachen International Center for Information Technology (B-IT) genutzt; zum Teil werden die Vorlesungen im gleichen Semester auch mehrfach angeboten, um eine optimale Integration in die verschiedenen Studiengänge sicherzustellen.

Besondere Bedeutung haben auch die Angebote im Rahmen des „International Program of Excellence in Computer Science“ (IPEC), einer vom B-IT koordinierten Initiative zur gezielten Förderung besonders begabter Studentinnen und Studenten, denen durch Block-Kurse in der vorlesungsfreien Zeit eine Verkürzung des Studiums ermöglicht wird.

In den vergangenen Jahren konnte die Qualität der Lehre massiv mit den Mitteln verbessert werden, die durch die Einführung von Studienbeiträgen verfügbar wurden. In der Informatik wurde die Ausstattung der Labore deutlich verbessert und das Lehrangebot erheblich ausgeweitet. Vor allem wäre die ungewöhnlich starke Praxisorientierung ohne diese zusätzlichen Mittel nicht realisierbar.

Für weitere Informationen sei auf die Web-Darstellung verwiesen:

<http://net.cs.uni-bonn.de>