

# Exzellenzcluster “Ultra High-Speed Mobile Information and Communication (UMIC)”: 4G Mobilfunk – Schlüsselthemen der Forschung

## Ultra High-Speed Mobile Information and Communication (UMIC) Research Centre: 4G Mobile Communication – Key Research Topics

Prof. Dr.-Ing. Gerd Ascheid, UMIC Research Centre, RWTH Aachen University, NRW, Deutschland  
gerd.ascheid@iss.rwth-aachen.de

### Kurzfassung

Das UMIC-Forschungszentrum wird als Exzellenzcluster im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder gefördert. Es ist das einzige Cluster im Bereich der Mobilkommunikation. Forschungsschwerpunkte sind Konzepte für zukünftige Mobilfunksysteme mit sehr schnellem Informationszugang und hohen Datenraten für die Kommunikation. Im Vortrag werden – ausgehend von den Anforderungen an Mobilfunksysteme der 4. Generation - Schlüsselthemen der Forschung dargelegt und einige aktuelle Lösungsansätze diskutiert.

### Abstract

The UMIC Research Centre is funded as a „cluster of excellence“ under the excellence initiative of the German Federal and State Governments. It is the sole research cluster in the area of mobile communication. Focal points of research are concepts for future mobile communication systems with ultra high-speed mobile access to information and communication. Based on a requirements analysis for 4 G mobile communication, key research topics will be highlighted and current research approaches will be discussed.

## 1 Einleitung

Die Weiterentwicklung des Mobilfunks der dritten Generation (3G) ist ein wichtiges Feld in der industriellen und wissenschaftlichen Forschung. Es ist ein nachvollziehbares Interesse der Netzbetreiber, die getätigten Investitionen längerfristig zu nutzen und umfangreiche Neuinvestitionen zu vermeiden. Unter diesen Randbedingungen müssen neue Konzepte kompatibel mit den bestehenden Systemen sein, was eine Beschränkung des „Suchraums“ bedeutet. Das sich dennoch erhebliche Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit der Systeme erzielen lassen, beweisen die unter dem Begriff „Long Term Evolution“ (LTE) laufenden derzeitigen Forschungs-, Standardisierungs- und Entwicklungsaktivitäten [1]. Mittelfristig (aus Forschungssicht) lässt LTE auch noch erheblichen Raum für weitere Systemverbesserungen [2].

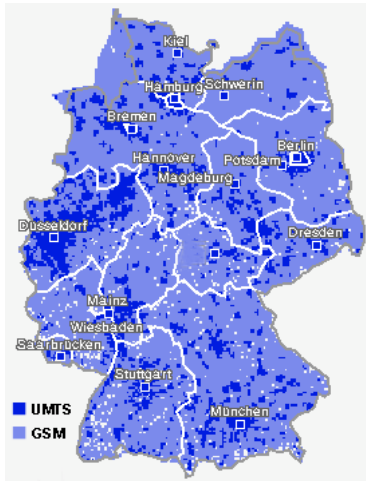
Um die langfristig erforderlichen, enormen Fortschritte zu ermöglichen, müssen aber auch neue Konzepte, frei von Kompatibilitätsbeschränkungen, untersucht werden. Wenn die erreichbaren Verbesserungen es rechtfertigen, werden auch diese Konzepte den Weg in die Anwendung finden, sei es durch Festlegung neuer Mobilfunkstandards oder durch Lösung etwaiger Kompatibilitätsprobleme. In diesem Sinn ist hier „4G Mobilfunk“ verstanden. Für die Identifikation von Schlüsselthemen der 4G Mobilfunkforschung ist es jedoch sehr wichtig, die Anforderungen an zukünftige Systeme zu berücksichtigen, da sie die erforderlichen Eigenschaften und damit die optimale Zielrichtung der Forschung bestimmen.

## 2 Anforderungen an 4G Mobilfunksysteme

Hauptanwendung der Mobilfunksysteme der 2. Generation war die Sprachkommunikation. In den Industrieländern hat die Verbreitung von Mobiltelefonen inzwischen ein sehr hohes Niveau erreicht. Die Nutzung des Mobilfunks für Sprachkommunikation wird zwar noch weiter steigen, die wesentlich größeren Steigerungen werden aber in der Datenkommunikation erwartet. Diese Entwicklung zeigt sich inzwischen auch tatsächlich in den Verkehrsdaten der Netzbetreiber. Aus diesem Grund liegt der Fokus der 3. Generation auf der Verbesserung der Datenkommunikation. Seit der Einführung von UMTS sind die maximal möglichen Datenraten ständig gestiegen. Messungen bestätigen heute eine großflächige Versorgung mit mindestens 1.5 Mb/s. Bereits verabschiedete sowie in Bearbeitung befindliche Erweiterungen der Mobilfunkstandards versprechen noch deutlich höhere maximale Datenraten. Experimentell wurden sogar schon Raten von 173 Mb/s erzielt [3].

Betrachtet man die Netzabdeckung mit 3G-Technologie, zeigt sich aber bereits eine problematische Entwicklung (Bild 1). Es wird zwar die Mehrzahl der möglichen Nutzer aber weniger als die Hälfte der Fläche versorgt. Dies führt

zu einer gegenläufigen Problematik: Einerseits ist eine flächendeckende Versorgung mit 3G bzw. 3G-LTE wegen der hohen Investitionskosten bei sinkenden Erlösen je bit bzw. bit/s nicht zu erwarten, andererseits werden in Ballungsgebieten viele Nutzer hohe Datenraten nutzen. Da die spektrale Effizienz bei begrenzter Sendeleistung (auch mittels MIMO-Verfahren) nicht beliebig weit gesteigert werden kann, erfordert letzteres eine wesentlich bessere Wiederverwendung (Reuse) des Spektrums über der Fläche.



**Bild 1** Typische UMTS- und GSM-Abdeckung in Deutschland (Quelle: <http://www.umts-netzabdeckung.de>)

Noch entscheidender als die Übertragungsrate ist die vom Benutzer wahrgenommene Qualität der Übertragung. Diese entspricht nicht unmittelbar der Übertragungsrate, sondern hängt von der tatsächlichen Nutzdatenrate oder sogar eher noch von der in der Anwendung empfundenen Übertragungsgeschwindigkeit ab. Ebenso wesentlich für die empfundene Qualität der Verbindung sind Faktoren wie die Latenz zwischen einer Anforderung und dem entsprechenden Service, die Unterbrechungsfreiheit („Funkloch“, Handover) oder die Verfügbarkeit der gewohnten „Nutzungsumgebung“ (Multi-homing) [4]. Da für den Nutzer letztendlich die Nutzungserfahrung von Bedeutung ist, müssen zukünftige mobile Anwendungen bei der Erforschung neuer Konzepte für den Mobilfunk mit einbezogen werden.

Ein weiterer Aspekt, der bei 4G Systemen eine Rolle spielen wird, ist die Weiterentwicklung der Halbleitertechnologie. Die Fortschritte der Siliziumtechnologie waren ganz entscheidend für die Fortschritte im Mobilfunk. Verkleinerung und längere Batteriebetriebszeiten der mobilen Terminals trotz Zunahme der Komplexität der Systeme waren nur durch die Verbesserungen insbesondere der Siliziumtechnologie möglich. Über lange Zeit bedeutete jeder Technologieschritt eine Verdopplung der Funktionalität je Fläche (genauer: der Transistorzahl je Fläche), bei gleichzeitiger Verkürzung der Schaltzeit (und damit der Erhöhung der möglichen Taktfrequenz) und bei gleichzeitiger Verringerung der Leistungsaufnahme. Nachdem zunächst die Geschwindigkeitszunahme abflachte, wurde bei den

Technologieschritten der letzten Jahre auch die Verbesserung der Leistungseffizienz schwieriger. Nicht zuletzt steigen der Designaufwand und die -schwierigkeit drastisch an.

### 3 Einige Schlüsselthemen der Forschung

Im Folgenden werden Schlüsselthemen der 4G Mobilfunkforschung angesprochen, mögliche Lösungsansätze werden im Vortrag vorgestellt und diskutiert. Wie schon in der Einleitung erläutert, sollen hier im Wesentlichen nicht die ebenso wichtigen evolutionären Ansätze weiter betrachtet werden, sondern grundlegende Verbesserungsmöglichkeiten. Ein vielversprechender Ansatz ist es, mögliche neue 4G Technologien aus Sicht der Nutzer und der Netzbetreiber zu untersuchen (siehe z.B. [4], [5]). Dabei stehen zwei Anforderungen besonders im Fokus: Die Erfahrung des Nutzers mit der Anwendung („Quality of Experience“, QoE) – idealerweise sollte sie bei einem mobilen Netz der beim stationären Netz entsprechen – und die Kosten sowohl durch Investitionen als auch durch den Betrieb des Netzes.

Neben Verbesserungen der Sprachkommunikation bis hin zur Multimediakommunikation ist sicher das mobile Internet ein Kernanwendungsbereich. Darüber hinaus wird es auch neue mobile Anwendungen geben - „die“ Killerapplikation ist jedoch nicht vorhersagbar. Daher muss der Mobilfunk möglichst flexibel verschiedenste Anwendungen unterstützen können. Sehr wesentlich ist dafür die Schnittstelle zwischen den Anwendungen und dem Mobilfunksystem. Zentrale Testfälle für diese Schnittstelle sind sicher Anwendungsarten wie mobile Multimedia-Nutzung und mobile Peer-to-Peer-Anwendungen (P2P). Hier liegt ein zentrales Schlüsselthema der 4G Mobilfunkforschung.

Weitere Schlüsselthema sind Netzwerkarchitekturen und Übertragungsverfahren („Wireless Transport Platform“). Zu lösende Kernprobleme sind die gleichzeitige Versorgung vieler Nutzer mit hohen Datenraten und geringer Latenz sowie ein möglichst stabiler Netzzugang. Eine wesentliche Erhöhung der Dichte der Basisstationen heutiger Bauart ist dabei aus Kosten- und Akzeptanzgründen nicht machbar. Vielmehr müssen neue Netzarchitekturen zur besseren Wiedernutzung der verfügbaren Spektren und deren intelligente Nutzung („Cognitive Radios“) sowie Optimierungen der spektralen und räumliche Effizienz über Zellgrenzen hinweg untersucht werden. Auch können die einzelnen Verbindungen durch intelligentere Signalverarbeitung noch effizienter und stabiler ausgelegt werden.

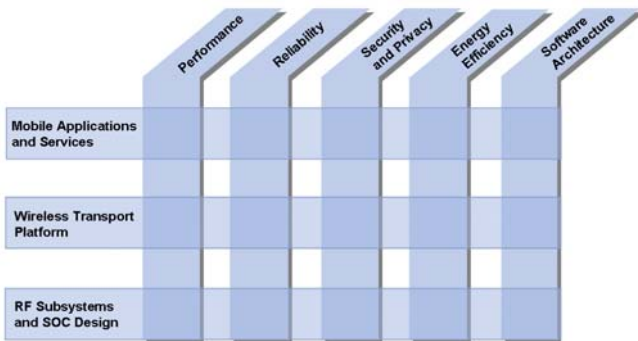
Eine weitere große Herausforderung ist die Implementierung solcher neuen Systemkonzepte. Die Komplexität steigt gegenüber heutigen Ansätzen deutlich an. Darüber hinaus werden die Systeme adaptiv und flexibel sein. Andererseits müssen die Eigenschaften zukünftiger Siliziumtechnologien berücksichtigt werden. Um die erforderliche

Rechenleistung zur Verfügung zu stellen, werden die Systeme eine steigende Zahl von Prozessoren enthalten (Multi-Processor Systems-on-Chip, MPSoC). Bei den integrierten Hochfrequenzbaugruppen führt die Skalierung zu steigenden Problemen. Hochintegrierte HF- und Anlogschaltungen sowie der System-on-Chip (SoC) Design ist daher ein weiteres Schlüsselthema.

Zusätzlich zu den bisher diskutierten Fragen gibt es einige Querschnittsthemen, die sich durch alle Ebenen des Mobilfunknetzes und seiner Nutzung ziehen (Bild 2). Durch die Komplexität und Adaptivität wird es zunehmend schwierig, die Leistung und Verfügbarkeit des Systems unter allen möglichen Betriebsbedingungen zu bestimmen und eine Mindestleistung und –verfügbarkeit zu garantieren bzw. sicherzustellen (Performance und Reliability). Da die Funktionalität des Mobilfunksystems und der Anwendungen zum weit überwiegenden Teil auf Software beruht, sind diese Fragestellungen eng mit der Entwicklung geeigneter Softwarearchitekturen verknüpft.

Mit der mobilen Nutzung des Internets werden sich die im festen Internet bereits bestehenden Sicherheits- und Datenschutzprobleme weiter verschärfen (Security and Privacy).

Nicht zuletzt ist die Energieeffizienz ein Schlüsselthema der Forschung. Während der Fokus lange auf einer langen Stand-by- und Betriebszeit der batteriegetriebenen mobilen Geräte lag, ist durch die steigenden Energiepreise auch die Untersuchung leistungseffizienterer Mobilfunkinfrastruktur in den Vordergrund gerückt.



**Bild 2** Zentrale Querschnittsthemen der 4G Mobilfunkforschung

## 4 Das UMIC Research Centre

Das UMIC Forschungscluster wird durch die Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder seit November 2006 gefördert. Zum Ende des Jahres wird das Cluster ein eigenes Gebäude, das UMIC Research Centre beziehen. Dort arbeiten vor allem Forschungsgruppen, die die Querschnittsthemen bearbeiten, in enger Zusammenarbeit mit den Forschungsgruppen an den beteiligten Lehrstühlen. Mit Hilfe der Fördermittel wurden inzwischen vier neue Juniorprofessuren in den Bereichen Mobile Multimedia, Mobile Network Performance, Information Theory und Mixed

Signal Design sowie eine neue Professur „Security“ eingerichtet, die ebenfalls im UMIC Research Centre angesiedelt sind. Neben diesen neuen Professuren haben sich zwölf Lehrstühle (Bild 3) zum Kern des Forschungsclusters zusammengeschlossen, insgesamt beteiligen sich mehr als zwanzig Lehrstühle an den Forschungsarbeiten.

UMIC Principal Investigators	
Prof. Dr.-Ing. Gerd Ascheid	Lehrstuhl für Integrierte Systeme der Signalverarbeitung
Prof. Dr.-Ing. Stefan Heinen	Lehrstuhl für Integrierte Anlogschaltungen
Prof. Dr. rer. Pol. Matthias Jarke	Lehrstuhl für Informationssysteme und Datenbanken (i 5)
Prof. Dr. rer. nat. Leif Kobbelt	Lehrstuhl für Computergraphik und Multimedia (i 8)
Prof. Dr.-Ing. Stefan Kowalewski	Lehrstuhl für Software für eingebettete Systeme (i 11)
Prof. Dr. Petri Mähönen	Ericsosn Lehrstuhl für Mobilfunknetze
Prof. Dr. rer. nat. Rudolf Mathar	Lehrstuhl für Theoretische Informationstechnik
Prof. Dr. sc. techn. Heinrich Meyr	Lehrstuhl für Integrierte Systeme der Signalverarbeitung
Prof. Dr.-Ing. Tobias Noll	Lehrstuhl für Allg. Elektrotechnik u. Datenverarbeitungssysteme
Prof. Dr. rer. nat. Otto Spaniol	Lehrstuhl für Kommunikation und verteilte Systeme (i 4)
Prof. Dr. rer. nat. W. Thomas	Lehrstuhl für Logik und Theorie diskreter Systeme (i 7)
Prof. Dr.-Ing. Peter Vary	Institut für Nachrichtengeräte und Datenverarbeitung
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke	Lehrstuhl für Kommunikationsnetze

**Bild 3** Kernlehrstühle des UMIC-Forschungsclusters

## 5 Literatur

- [1] Dahlmann, E.; Parkvall, S.; Sköld, J.; Beming, P.: 3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband. 2. Aufl., Elsevier Academic Press, 2008
- [2] Easy-C Projekt, [www.easy-c/EASY-C\\_Overview\\_2008.pdf](http://www.easy-c/EASY-C_Overview_2008.pdf), Jan. 2008
- [3] Pressemitteilung Nokia Siemens Networks / HHI Berlin, [www.hhi.fraunhofer.de/de/abteilungen/breitband-mobilfunknetze.html](http://www.hhi.fraunhofer.de/de/abteilungen/breitband-mobilfunknetze.html), Dez.2007
- [4] Moiin, H. (ed.): Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO – A White Paper by the NGMN Alliance. Version 3.0, [www.ngmn.org](http://www.ngmn.org), Dez. 2006
- [5] Frattasi, S.; Fathi, H.; Fitzek, F.H.P.; Prasad, R.; Katz, M.D.: Defining 4G Technology from the User’s Perspective. IEEE Network Magazine, S. 35-41, Jan/Feb. 2006