

# BMBF-Projekt EASY-C: Enablers for Ambient Services and Systems/Teil C; Analyse und Bewertung künftiger Mobilfunksysteme

Dipl.-Ing. Heinrich Droste et al., Deutsche Telekom Laboratories, Darmstadt, Germany

## Kurzfassung / Abstract

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt EASY-C beschäftigt sich mit der Verbesserung von spektraler Effizienz und Fairness in zukünftigen Mobilfunknetzen. Der vorliegende Beitrag beschreibt Ziele und Vorgehensweise der Deutschen Telekom, die im Projektverlauf an der Analyse und Bewertung zukunftsfähiger Mobilfunkverfahren arbeitet.

## BMBF-Projekt EASY-C: Enablers for Ambient Services and Systems/Part C: Analysis and Assessment of future Mobile Communication Systems

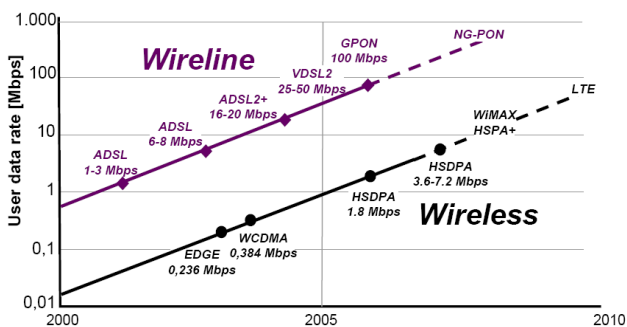
The research project EASY-C is founded by the German government and is dealing with the improvement of spectral efficiency and fairness in future mobile wireless networks. This paper describes the objectives and approach of Deutsche Telekom who is working within the project scope on the analysis and assessment of sustainable mobile communication concepts.

## 1 EASY-C Projektbeschreibung

### 1.1 Technologie-Evolution im Bereich des zellularen Mobilfunks

Breitbandige mobile Internet Services haben ein großes Wachstumspotential. Laut einer Studie von Nokia Siemens Networks verdoppeln sich die realisierbaren Datenraten alle 18 Monate [1].

Mobilfunkkunden wünschen in zunehmenden Maß einen unbeschränkten und unterbrechungsfreien mobilen Zugriff auf alle Internet-basierten Dienste. Insbesondere Echtzeitanwendungen wie Streaming, Video Conferencing und Mobile Gaming stellen hohe Anforderungen in Bezug auf Übertragungsgeschwindigkeit und Latenzzeiten. Sowohl drahtgebundene wie auch drahtlose Übertragungsverfahren sind in den letzten Jahren ständig verbessert worden, um den wachsenden Anforderungen gerecht zu werden (**Bild 1**). Nach High Speed Packet Access (HSPA) und HSPA<sup>+</sup> ermöglichen vor allem auf orthogonalem Frequenzmultiplex (OFDM) basierte Technologien wie WiMAX und die Long Term Evolution (LTE) von 3GPP die aktuellen Innovationsschritte zur Erhöhung der Nutzerdatenraten.



**Bild 1** Entwicklung der Benutzer Datenraten (Quelle Nokia Siemens Networks)

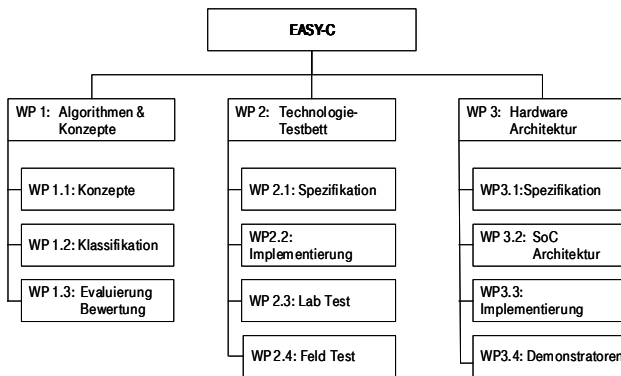
Wenn man die rasante Entwicklung der letzten Jahre in die Zukunft projiziert, ist allerdings schon abzusehen, dass auch die heute in der Spezifikationsphase befindlichen Systeme weiterer Verbesserungen bedürfen, um den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Internationale Telecommunication Union (ITU) vor allem aber auch die Mobilfunkbetreiber haben daher zum Jahresbeginn 2008 mit „IMT-Advanced“ eine Initiative gestartet, die die nächste Generation der Mobilkommunikation vorbereiten soll. Als Reaktion wurde im Frühjahr 2008 im Rahmen der Standardisierungsaktivitäten von 3GPP ein Study Item zu „LTE-Advanced (LTE-A)“ eröffnet. Ziel ist es, Anforderungen an künftige Mobilfunknetze festzulegen und die Schlüsseltechnologien für LTE-A zu identifizieren.

### 1.2 Projektziele und Struktur

Das Projekt EASY-C - Enablers for Ambient Services and sYstems - Zellularer Mobilfunk – ist ein vom BMBF gefördertes Forschungsprojekt. Insgesamt 16 Partner aus Industrie und Forschung untersuchen die Einsatz- und Zukunftsfähigkeit innovativer Mobilfunkverfahren und konzentrieren sich dabei auf Lösungsansätze für LTE-A. Hierbei steht die Erhöhung der erzielbaren Datenraten und der spektralen Effizienz auf der Bitübertragungsschicht im Vordergrund. Darüber hinaus wird ebenfalls eine Verbesserung der Fairness bei der Ressourcenverteilung als wichtiges Ziel betrachtet, damit auch Kunden am Zellrand mit ausreichender Qualität bedient werden können. Die Untersuchungen umfassen sowohl Computersimulationen wie auch Feld- und Labortests. Die Projektstruktur gliedert die Aktivitäten in drei Arbeitsgruppen (**Bild 2**). Im Arbeitspaket WP1 werden Algorithmen und Konzepte identifiziert, untersucht und bewertet.

Hierbei ist es wichtig, die Verfahren so zu klassifizieren, dass man zwischen solchen, die miteinander konkurrieren und alternativ eingesetzt werden können, und solchen, die komplementäre Eigenschaften besitzen



**Bild 2** EASY-C Projektstruktur

und damit in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation fallweise eingesetzt werden können, unterscheidet.

Das Arbeitspaket WP2 beschäftigt sich mit der praktischen Erprobung der als aussichtsreich identifizierten Konzepte. Es werden Feld- und Labortests durchgeführt, die sich gegenseitig ergänzen sollen. Die Feldtests finden in Dresden und Berlin statt. Der Dresdener Feldtest umfasst 10 Standorte mit insgesamt 28 Sektoren und in Berlin werden 3 Standorte mit 6 Sektoren realisiert.

Im Arbeitspaket WP3 stehen die Implementierung der Algorithmen in integrierte Systemlösungen sowie der Entwurf entsprechender Hardwarearchitekturen im Vordergrund. Damit wird sichergestellt, dass die Algorithmen nicht nur in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit sondern auch in Bezug auf ihre Implementierungskomplexität bewertet werden können. Die fertigen Komponenten können fallweise im Rahmen der Feld- und Labortests erprobt werden.

### 1.3 Die Netzbetreiber-Perspektive

Das EASY-C Konsortium bildet mit Halbleiter-, System- und Endgeräteherstellern sowie auch Netzbetreibern und Forschungseinrichtungen eine ausgewogene Mischung, so dass die betrachteten Problemstellungen und entwickelten Lösungsansätze von den unterschiedlichsten Blickwinkeln aus beurteilt werden können.

Bei den oben erwähnten Entwicklungstendenzen hin zu immer höheren Datenraten ergeben sich insbesondere für Netzbetreiber große Herausforderungen, da die zur Verfügung stehenden Frequenzressourcen sehr begrenzt sind. Im Bereich des Mobilfunks muss daher eine Erhöhung der Datenraten einhergehen mit der Verbesserung der spektralen Effizienz, d.h. die pro Spektrumseinheit übertragbare Datenmenge muss gesteigert werden. Aus den Kundenanforderungen nach unbeschränktem Netzzugang und ortsunabhängiger hoher Übertragungsqualität ergibt sich weiterhin eine hohe Motivation zur Verbesserung der „Fairness“. Da die Gebühren nicht linear mit der angebotenen Datenrate steigen können, muss außerdem mit der Erhöhung der Datenraten eine signifikante Reduzierung der bandbreitebezogenen Kosten („Cost per Bit“) einhergehen. Ziele und Herangehensweise von EASY-C sind also in idealer Weise geeignet, den Herausforderungen aus Netzbetreibersicht zu begegnen.

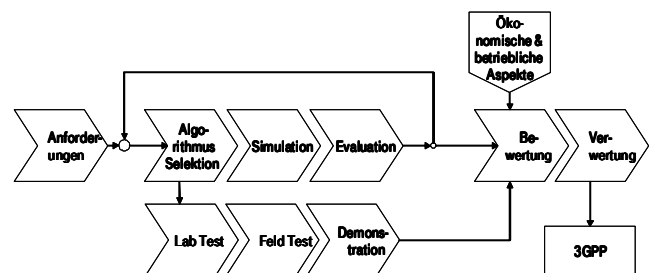
Das Vorgehensmodell der Deutschen Telekom ist im **Bild 3** dargestellt. Ausgehend von den zuvor bereits kurz

erläuterten Anforderungen wurden zunächst verschiedene Konzepte identifiziert, die sowohl im Hinblick auf eine evolutionäre Weiterentwicklung des bestehenden Standards (3GPP Rel. 8) als auch im Hinblick auf eine kurzfristige Umsetzbarkeit das größte Verbesserungspotential versprechen. Für die Analyse werden die im Projekt vorgesehenen Methoden der Simulationen auf Systemebene sowie von Feld- und Labortests genutzt, wobei dabei besonderer Wert darauf gelegt wird, dass die mit den unterschiedlichen Evaluierungsverfahren gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen werden können.

Durch diesen Abgleich wird es möglich, zum einen die Gültigkeit der Simulationen durch direkten Vergleich mit Feldtestergebnissen zu überprüfen und zum anderen die Beschränkungen hinsichtlich der geringen Anzahl von Basisstationssektoren und Endgeräten im Feldtest zu überwinden, indem das Feldtestszenario im Simulator zu einem Netz mit realistischer Größe erweitert wird.

In die abschließende Bewertung der untersuchten Konzepte fließen neben den die Leistungsfähigkeit beurteilenden Parametern wie Datenrate und spektrale Effizienz auch ökonomische und betriebliche sowie Implementierungsaspekte ein, die sich im Wesentlichen in den bandbreitebezogenen Kosten widerspiegeln.

Ein primäres Ziel der Deutschen Telekom ist es, im Rahmen des Projektes gewonnene Ergebnisse in die Standardisierungsgremien von 3GPP einzubringen und auf diese Weise aktiv an der Ausgestaltung der nächsten Mobilfunkgeneration mitzuwirken. Hier können im Rahmen des bereits erwähnten Study Items Schlüsseltechnologien identifiziert und mit kalibrierten, validierten Leistungskenngrößen hinterlegt werden. Außerdem können die im Projektverlauf erkannten standardisierungsrelevanten Themen zeitnah in den Standardisierungsgremien diskutiert und damit konkrete Lösungen entwickelt werden.



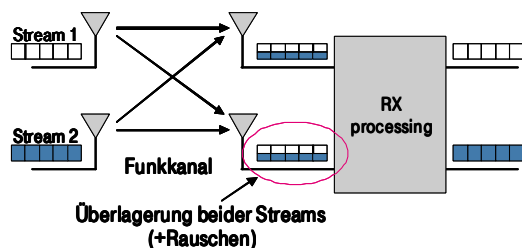
**Bild 3** DTAG Vorgehensmodell in EASY-C

## 2 Schlüsseltechnologien für die Verbesserung der spektralen Effizienz

### 2.1 Status der LTE Standardisierung

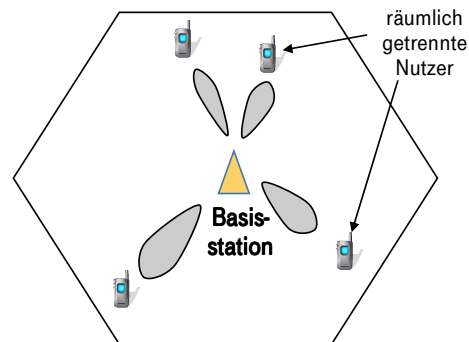
Die Spezifikationen der Bitübertragungsschicht von 3GPP Release 8 haben bereits Anfang 2008 einen relativ stabilen Zustand erreicht und werden voraussichtlich nur noch inkrementell vor der eigentlichen Verabschiedung des Standards verändert. Wichtige Beiträge zur Verbesserung der spektralen Effizienz im Vergleich zu HSPA erzielt

LTE insbesondere durch die Verwendung von OFDMA (engl.: Orthogonal frequency division multiple access). Mit OFDMA lassen sich einerseits auch bei großen Bandbreiten leistungsfähige Mehrantennenverfahren effizient einsetzen, zum anderen bieten solche Systeme mehr Freiheitsgrade bei der Ressourcenzuweisung. Durch so genanntes „Frequency Domain Scheduling“ können bei LTE beispielsweise sowohl im Zeit- als auch Frequenzbereich optimale Ressourcenzuweisungen durchgeführt werden. Mit jeweils mindestens zwei Antennenelementen bei der Basisstation und beim mobilen Endgerät ermöglicht LTE darüber hinaus im Downlink die Übertragung zweier paralleler Datenströme auf den gleichen Frequenz-Zeitressourcen, wodurch die spektrale Effizienz theoretisch im Vergleich zu Einantennensystemen verdoppelt werden kann (Bild 4). Bei diesem räumlichen Multiplexen werden die auf der Empfängerseite auftretenden Interkanalinterferenzen, die durch die Überlagerung der beiden gleichzeitig gesendeten Datenströme entstehen, mit Hilfe geeigneter Signalverarbeitungsalgorithmen unterdrückt, so dass die ursprünglichen Datenströme wieder gewonnen werden können. Dieses Verfahren funktioniert aber nur, wenn der Störabstand beim Empfänger ausreichend ist und die beiden Antennen hinreichend dekorrelierte Signale empfangen. Da diese Voraussetzungen nicht immer erfüllt sind, ist es erforderlich, adaptiv zwischen verschiedenen Mehrantennentechniken umzuschalten. So lässt sich das Link Budget bei kleinen Störabständen mit Hilfe von räumlichen Diversitätsverfahren aufbessern, bei denen nur ein einzelner Datenstrom übertragen wird. Das Endgerät wählt hierbei aus einer bekannten Menge von spezifizierten Vorkodierungsvektoren den für ihn günstigsten Vektor aus und teilt diesen Wunsch der Basisstation mit. Die Basisstation kann dann einen so genannten „Beam“ in Richtung des Benutzers ausformen und auf diese Weise die Sendeleistung bündeln. Bei höheren Geschwindigkeiten, bei denen sich der Übertragungskanal während der eigentlichen Datenübertragung oftmals signifikant vom Kanal während der Bestimmung des optimalen Vorkodierungsvektors beim Endgerät unterscheidet, funktioniert dies im allgemeinen jedoch nicht mehr wie gewünscht. In so einem Fall ist es daher besser, auf ein Diversitätsverfahren ohne Rückkopplung vom Endgerät umzuschalten. In LTE sind hierfür so genannte Raum-Frequenz Block-Codes (engl.: space-frequency block codes, SFBC) vorgesehen, die somit auch bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten die Leistungsfähigkeit signifikant verbessern können. Im Uplink muss vor allem auf die Vermeidung hoher Komplexität beim Endgerät geachtet werden.



**Bild 4** Prinzip des räumlichen Multiplexing (Single User MIMO)

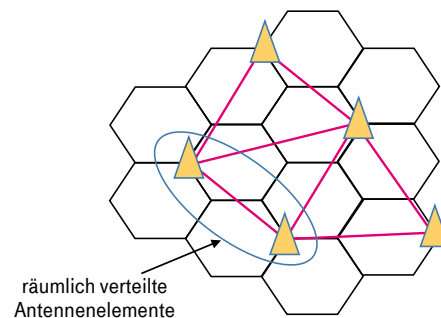
Deswegen ist im Standard bisher lediglich ein sogenannter Single Input Multiple Output Betrieb (SIMO) vorgesehen, d.h. Endgeräte senden mit einer Antenne und Basisstationen empfangen in der Regel mit zwei oder mehr Antennenelementen. Selbst, wenn beim Endgerät nur eine Sendeantenne aktiv ist, lässt sich im Uplink ein sogenanntes Spatial Division Multiple Access (SDMA) realisieren, bei dem mehrere räumlich getrennte Benutzer auf den gleichen Frequenz-Zeitressourcen gleichzeitig zu einer Basisstation Daten übertragen können. Interferenzen werden dabei – ähnlich wie bei dem oben beschriebenen räumlichen Multiplexen – durch geeignete Signalverarbeitungsverfahren unterdrückt. (Bild 5).



**Bild 5** Spatial Division Multiple Access im Uplink

## 2.2 Network MIMO

Das größte Potenzial sowohl im Hinblick auf die Verbesserung der spektralen Effizienz als auch im Hinblick auf die Verbesserung der Fairness wird bei einer Klasse von unter dem Begriff „Network MIMO“ zusammengefassten Verfahren gesehen. Bei diesem Ansatz findet insofern ein Paradigmenwechsel bei der Weiterentwicklung von Funk-systemen statt, als durch geeignete Koordinierungsmaßnahmen zwischen benachbarten Basisstationen Interferenzen nicht nur unterdrückt, sondern theoretisch sogar gänzlich vermieden werden können. Im Bild 6 ist ein „Network MIMO“ Szenario dargestellt. Die Dreiecke kennzeichnen Basisstationsstandorte, die über leistungsfähige Übertragungsstecken miteinander vernetzt sind. Bei „Network MIMO“ bilden benachbarte Basisstationen ein räumlich verteiltes Antennensystem, mit Hilfe dessen die Benutzer in den betroffenen Zellen gemeinsam bedient werden können und mit Hilfe dessen beispielsweise Makrodiversität ausgenutzt werden kann



**Bild 6** Network MIMO

Auf diese Weise ist es möglich, die Leistungsfähigkeit insbesondere an den Zellgrenzen erheblich zu verbessern, da die Benutzer am Zellrand üblicherweise vergleichbare Störabstände zu den benachbarten Basisstationen haben. Voraussetzung bei den meisten „Network MIMO“-Verfahren ist allerdings eine nahezu perfekte Kenntnis der Kanäle aller beteiligten Endgeräte, die zeitnah an den unterschiedlichen Standorten verfügbar sein muss. Insbesondere beim Einsatz von „Frequency Division Duplex (FDD)“ Systemen ergeben sich hierbei im Downlink besondere Herausforderungen, da die Kanaleigenschaften nur beim Endgerät bekannt sind und für einen effizienten Einsatz von Network MIMO somit über die Luftschnittstelle möglichst verzögerungsarm zur Signalverarbeitungsinstanz im Netz übertragen werden müssen.

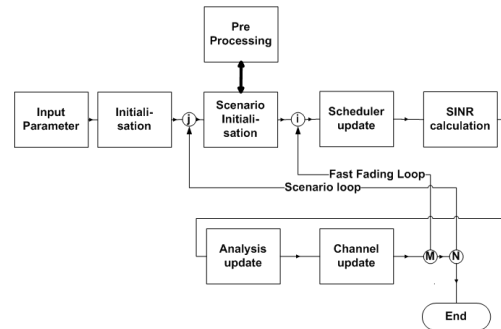
Im Uplink ergeben sich bei der Einführung von Network MIMO besonders interessante Aspekte, da die technische Machbarkeit wegen der bekannten Kanaleigenschaften lediglich mit der Verfügbarkeit einer extrem breitbandigen Vernetzung zwischen den Basisstationsstandorten („Backhaul“) verknüpft ist. Außerdem können viele „Network MIMO“-Verfahren für den Uplink ohne jegliche Änderungen an bestehenden Endgeräten eingesetzt werden, so dass eine allmähliche Aufrüstung der Netze möglich ist. Äußerst wichtig ist allerdings die Beantwortung der Frage nach der ökonomischen Machbarkeit, d.h. in wie weit Bandbreite- und Latenzanforderungen im sogenannten Backhaul zurückgenommen werden können, ohne dass der Performancegewinn zu stark reduziert wird.

### 3 Analyse der Leistungsfähigkeit

#### 3.1 System-Level Simulationen

Bei „System-Level“ Simulationen wird der Betrieb des gesamten Funkzugangsnetzes auf der Systemebene nachgestellt. System-Level Simulationen spielen im Rahmen von EASY-C eine äußerst wichtige Rolle, da im Unterschied zu den Labor- und Feldtests in der Computersimulation das Zusammenspiel einer realistischen Anzahl von Basisstationen und Endgeräten untersucht werden kann. Um die Ergebnisse der Simulationen von EASY-C mit den Ergebnissen vergleichen zu können, die in der Standardisierung bei 3GPP durchgeführt wurden bzw. werden, hat man als Grundlage zur Entwicklung der Simulationsumgebungen die Anforderungen des 3GPP „Performance Verification Framework“ herangezogen [2]. Die dort festgehaltene Forderung nach Verwendung von räumlichen Simulationsmodellen für den schnellen Schwund [3] hat zur Folge, dass der schnelle Schwund realitätsgetreu für alle Nutzkanäle sowie für die stärksten Interferenzkanäle nachgebildet werden muss. Damit verbunden sind ein hoher Rechenaufwand und kleine zeitliche Abtastintervalle. Wegen der geringen Echtzeit, die in akzeptablen Simulationszeiten nachgebildet werden kann (etwa 2-4 sec), muss zunächst auf den Einsatz realistischer Verkehrsmodelle verzichtet werden. Die Partner haben sich daher auf die Durchführung von sogenannten „Full Buffer“ Simulationen in voll ausgelasteten Systemen geeinigt, d.h. es befinden sich für jeden aktiven Benutzer zu jedem Zeitpunkt

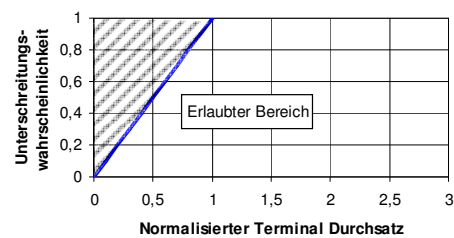
Daten in der Warteschleife und in den Basisstationssektoren werden stets alle verfügbaren Ressourcen zugewiesen. Um bei einem „Frequency Reuse“ von 1 (alle Zellen arbeiten im gleichen Frequenzband und nutzen alle Frequenzen) die Interferenzsituationen wirklichkeitsnah zu modellieren, muss ein multizelluläres Netz nachgebildet werden. Der Simulator verwendet dafür eine Simulationsfläche mit hexagonalen Zellstrukturen. Die mobilen Endgeräte werden bei jedem Simulationslauf zufällig positioniert, bleiben aber während der Simulation ortsfest, was wegen der zuvor bereits erwähnten geringen Simulationszeiten toleriert werden kann. Das prinzipielle Blockschaltbild des Simulators der Deutschen Telekom ist in **Bild 7** dargestellt.



**Bild 7** Blockschaubild des System-Level Simulators

Bei den Simulationen werden zwei geschachtelte Schleifen durchlaufen. In der äußeren Schleife wird durch zufällige Positionierung der Endgeräte jeweils ein sogenanntes Szenario erzeugt. Die innere Schleife realisiert dann den zeitlichen Verlauf für ein bestimmtes Szenario, wobei insbesondere der schnelle Schwund nachgebildet und die Leistungsfähigkeit des Systems unter Verwendung von realitätsnahem „Frequency Domain Scheduling“ und einer exakten Störabstandsberechnung analysiert wird. Zur Erreichung einer ausreichenden Ergebnisstabilität muss sowohl die Anzahl der Szenarien wie auch die Anzahl Fast Fading Schritte hinreichend groß gewählt werden. Im Rahmen der Analyse werden kumulative Verteilungsfunktionen (engl.: cumulative distribution function, CDF) der erzielten Benutzerdatenraten und des Sektordurchsatzes erstellt. Der auf die mittlere Nutzerdatenrate normierte Nutzerdurchsatz kann dabei zur Beurteilung der „Fairness“ des Systems herangezogen werden.

Ein System wird demgemäß als fair erachtet, wenn die CDF des normierten Nutzerdurchsatzes rechts von dem in **Bild 8** schraffierten Bereich liegt, der durch die Linie von (0,0) nach (1,1) abgegrenzt wird.



**Bild 8** Fairness Kriterium

Damit wird z.B. sichergestellt, dass in nicht mehr als 5% der Fälle ein Endgerät einen Durchsatz hinnehmen muss, der unterhalb von 5% des mittleren Durchsatzes liegt. Neben dem mittleren Nutzerdurchsatz werden in Downlink und Uplink als Schlüsselkenngrößen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit die 5% und die 95% Perzentile der entsprechenden kumulierten Verteilungsfunktion herangezogen. Das 5% Perzentil spiegelt hierbei die Leistungsfähigkeit des Netzes für Benutzer am Zellrand wieder. Die spektrale Effizienz berechnet sich als Quotient aus dem mittleren Sektordurchsatz und der insgesamt verfügbaren Systembandbreite. Durch diese Vereinbarung wird der Frequency Reuse im Netz berücksichtigt und somit ein vom Durchsatz unabhängiger Bewertungsparameter geschaffen.

Bei dem in Bild 7 als Pre-Processing beschriebenen Simulationsschritt werden vor dem eigentlichen Simulationslauf wichtige Parameter wie z.B. Pfadverlust, Slow Fading und Fast Fading-Kenngrößen ortsabhängig berechnet und gespeichert. Die Pre-Processing Schnittstelle erlaubt damit eine exakte Beschreibung des gesamten Szenarios und ermöglicht insbesondere auch die Einbindung von gemessenen Daten, die z.B. während einer Feldtestmessung aufgezeichnet werden können. Auf dieser Basis können relativ einfach Vergleiche zwischen Simulations- und Feldtestergebnissen durchgeführt werden.

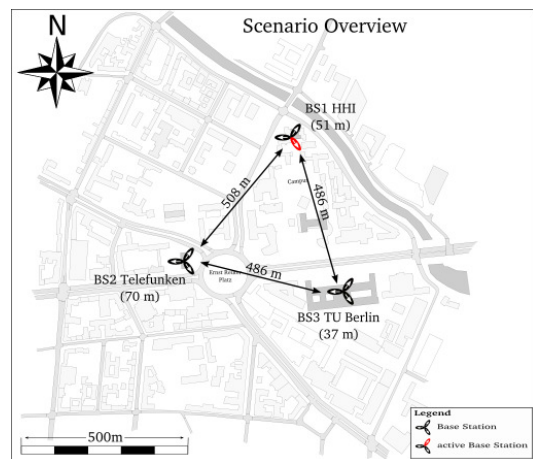
Um die Simulationsergebnisse unterschiedlicher Partner miteinander vergleichen zu können, führen die EASY-C Partner eine Kalibration der Simulatoren durch, die die Abstimmung der Simulationsparameter und zumindest teilweise auch der Simulationsmethoden umfasst. Hierbei ist zunächst sicherzustellen, dass die Interferenzsituationen der Endgeräte statistisch vergleichbar sind. Dies geschieht durch Vergleich der sogenannten Benutzergeometrie (engl.: user geometry), die eine obere Grenze für den mittleren Störabstand in einer Zelle darstellt und mit Hilfe derer sich relativ einfach überprüfen lässt, ob Effekte wie der Pfadverlust, Schattenfading, etc. richtig implementiert worden sind (**Bild 10**). Um die Gründe für Abweichungen besser lokalisieren zu können, werden die Verteilungen des Endgeräte- und Basisstationsdurchsatzes für unterschiedliche Komplexitätsstufen der Simulatoren miteinander verglichen. Simulationen mit einer Single Input Multiple Output (SIMO) Konfiguration im Downlink und einem einfachen „Round Robin“ Scheduler, der die Ressourcen der Reihe nach an alle aktiven Endgeräte vergibt, erlauben zunächst das Grundgerüst des Simulators auf Vergleichbarkeit zu überprüfen. Da der Scheduler bzgl. der resultierenden Leistungsfähigkeit eine entscheidende Rolle spielt, ist es jedoch äußerst wichtig, hier Absprachen bzgl. des verwendeten Algorithmus zu treffen. In EASY-C hat man sich daher für die Verwendung eines Frequency Domain Schedulers nach R1-060877 [4] entschieden, der es gestattet sowohl im Frequenz- wie auch im Zeitbereich eine proportionale Fairness herzustellen. „Proportional Fair (PF)“ bedeutet hierbei, dass ein Benutzer immer dann bedient wird, wenn der momentane Zustand seines Übertragungskanals deutlich besser ist als im Durchschnitt. Um eine Vergleichbarkeit der implementierten Scheduler sicherzustellen, wurde auch bei diesem Kalibrationsschritt zunächst mit einer SIMO Konfiguration

simuliert. Ein weiterer Punkt, der in hohem Maße für die erzielbare Leistungsfähigkeit eines LTE-Systems verantwortlich ist, ist der Algorithmus zur Umschaltung zwischen den verschiedenen Mehrantennenverfahren. In der sogenannten „Baseline“ Simulation, in der die Bezugsperspektive für 3GPP Rel. 8 ermittelt wird, wird hierbei dynamisch zwischen Closed Loop TX Diversity (Beamforming) und räumlichen Multiplexen umgeschaltet.

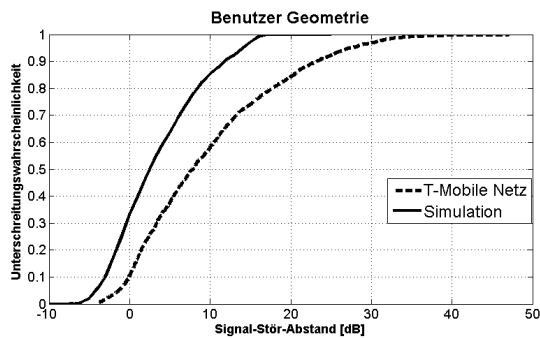
## 3.2 Feldtests

Im Rahmen der Feldtests soll die Leistungsfähigkeit der implementierten Algorithmen in realen Szenarien überprüft werden. Die Deutsche Telekom unterstützt sowohl das Berliner wie auch das Dresdener Testbett. Eine fachliche Mitarbeit erfolgt allerdings ausschließlich beim Feldtest in Berlin. Das Testbett umfasst 3 Basisstationsstandorte und 6 Sektoren, die über Glasfaser und sog. „Airlaser“ Strecken breitbandig miteinander vernetzt sind (**Bild 9**). Das Testbett ist durch Funkprognosen und Channel-sounder-Messungen sehr gut dokumentiert und bietet insbesondere wegen der Glasfaservernetzung zwischen den Standorten beste Voraussetzungen für Tests von kooperativen zellübergreifenden Verfahren. Dementsprechend werden das Heinrich Hertz Institut (HHI) und die Deutsche Telekom in enger Zusammenarbeit die Leistungsfähigkeit zellübergreifender Algorithmen ermitteln und bewerten.

Da das Testbett Berlin verhältnismäßig wenige Basisstationsstandorte umfasst, wurde mit Hilfe von Feldstärkeprognosen für die Testreihen, bei denen wirklichkeitsnahe Interferenzverhältnisse von Bedeutung sind, die Benutzergeometrie des realen 3G Netzes der T-Mobile im Feldtestgebiet ermittelt. Bild 10 zeigt einen Vergleich der Benutzergeometrien des Simulators mit der des T-Mobile Netzes. Wie dort zu erkennen ist, sind die Interferenzverhältnisse in diesem realen Netz deutlich günstiger, als bei den Simulationen vorausgesetzt wird. Offensichtlich sind die Wellenausbreitungsverhältnisse im Feldtestgebiet schlechter als das Ausbreitungsmodell dies in den Simulationen unterstellt. Im Rahmen der Feldtestaktivitäten ist vorgesehen, Messungen durch eine gezielte Auswahl der Messpunkte so zu gestalten, dass sich die im Bild 10 dargestellte Verteilung des realen Netzes ergibt.



**Bild 9** Feldtestgebiet in Berlin (Quelle HHI)



**Bild 10** Vergleich der Störabstandsstatistik der Simulation mit der des realen 3G Netzes im Feldtestgebiet Berlin

Die während der Feldtests aufgezeichneten Messdaten (Pfadverluste, gespeicherte Kanäle...) können über die Pre-Processing Schnittstelle in den System-Level Simulator eingespeist werden. Auf diese Weise kann eine Simulation mit einer realistischen Anzahl von Endgeräten durchgeführt und sowohl die Leistungsfähigkeit des Systems in einer realen Umgebung ermittelt als auch ein Vergleich zwischen Feldtest- und Simulationsergebnissen erzielt werden.

### 3.3 Labortests

Labortests ermöglichen es, die Feldtestkomponenten vor der Integration in das Testbett unter nachvollziehbaren Bedingungen zu testen. Außerdem erlaubt der Einsatz eines MIMO Funkkanalsimulators, reale Ausbreitungssituationen, die z.B. durch Aufzeichnung von Impulsantwortsequenzen während den Feldtestmessungen dokumentiert werden, im Labor nachzustellen und damit im Feldtest auftretende Fragen im Labor tiefergehend zu untersuchen. Weiterhin wurden sogenannte Standard-Labortests definiert, die die Entwicklung der Firmware des HHI begleiten und eine schnelle Überprüfung der ordnungsgemäßen Funktion der Feldtestkomponenten nach Aufspielen neuer Soft- und Firmwareversionen ermöglichen.

## 4 EASY-C Performance-Ziele

Bei der abschließenden Bewertung der untersuchten Konzepte werden sowohl technische als auch ökonomische Bewertungsaspekte einfließen. Damit die Bewertung der unterschiedlichen Kenngrößen auf ein einheitliches Schema zurückgeführt werden kann, wurden sogenannte „Figures of Merit (FoM)“ eingeführt. Die FoM erstrecken sich über einen Bereich von 1-6, wobei 1 einer sehr schlechten und 6 einer sehr guten Bewertung entspricht. Aus technischer Sicht lässt sich die Leistungsfähigkeit eines Funknetzes im Wesentlichen durch den Endgeräte Durchsatz und die spektrale Effizienz charakterisieren. Für beide Kenngrößen sind sowohl Mittelwerte wie auch Zellrandwerte von Interesse.

Da es sich bei EASY-C um ein Forschungsprojekt handelt, wird beim Vergleich der Innovationspotentiale verschiedener Algorithmen den absoluten Zahlen weniger Bedeutung zugemessen als relativen Performancezuwächsen. Bezüglich der Bewertung der Ergebnisse von System-Level Simulationen wurde zwischen den Projektpart-

nern vereinbart, dass alle Performanceverbesserungen auf die im Projektverlauf gewonnenen Kalibrierungsergebnisse der Simulatoren bezogen werden sollen. Für die Bewertungsparameter "Endgerätedurchsatz" und "spektrale Effizienz" wurden die in **Tabelle 1** zusammengestellten Zielwerte festgelegt. Hiernach ergibt sich an den Zellrändern im Uplink das größte Verbesserungspotential. Bei Vergleich der technischen mit den anderen Kenngrößen erhalten Endgerätedurchsatz spektrale Effizienz die Figure of Merit 5, wenn sie die angegebenen Performance-Ziele erreichen.

Kenngröße		Steigerungsfaktor
DL	Mittlerer Endgerätedurchsatz / spektrale Effizienz	1,5
	Zellrand Endgerätedurchsatz / spektrale Effizienz	2,0
UL	Mittlerer Endgerätedurchsatz / spektrale Effizienz	2,0
	Zellrand Endgerätedurchsatz / spektrale Effizienz	3,0

**Tabelle 1** Zusammenstellung der relativ zur Baseline Performance definierten EASY-C Performance-Ziele

## 5 Zusammenfassung

Das Projekt EASY-C zielt auf die Verbesserung der spektralen Effizienz und Fairness in künftigen Mobilfunkgenerationen. Beide Ziele können aus heutiger Sicht am besten durch zellübergreifende kooperative Mobilfunkverfahren erreicht werden. Es gilt, die technische und ökonomische Machbarkeit der als aussichtsreich identifizierten Verfahren zu untersuchen und tragbare Kompromisse zwischen Performancegewinn und technisch-ökonomischem Aufwand zu finden. Die Deutsche Telekom wird sich im Rahmen von EASY-C auf die Untersuchung von „Network MIMO“ Verfahren zunächst für den Uplink und später für den Downlink konzentrieren. Hierbei werden die Computersimulationen durch praktische Experimente in Feldtest und Labor ergänzt.

Das Projekt EASY-C wird mit seinen Ergebnissen durch Standardisierungsbeiträge seiner Projektpartner in den nächsten Jahren zur Weiterentwicklung des Mobilfunkstandards LTE wesentlich beitragen. Weitere Informationen zum Projekt und zu den Aktivitäten anderer Partner befinden sich im Internet [5].

## 6 Literatur

- [1] Holma, H.: UTRAN Long Term Evolution (LTE) – Technology, Performance and Benchmarking, April 17th, 2008
- [2] R1-070674, LTE physical layer framework for performance verification, 3GPP TSG RAN1#48, 12th-16th February, 2007
- [3] 3GPP RAN TR25.996: "Spatial Channel Model for MIMO simulations", v6.1.0, September 2003.
- [4] R1-060877, Frequency Domain Scheduling for E-UTRA, 3GPP TSG RAN1#44, March 27-31, 2006
- [5] www.easy-c.de