



Discover the Experience

Mehr als bloße Konformität:
Performance-Tests für LTE
Fortschrittliche Messtechnik für
den neuen LTE-Standard von 3GPP
White Paper



Mehr als bloße Konformität: Performance-Tests für LTE
Fortschrittliche Messtechnik für den neuen LTE-Standard von 3GPP
White Paper

Veröffentlicht am Juli 2009

Autoren: Tommi Jämsä (EB), Juha Ylitalo (EB), Janne Kolu (EB),
Petteri Heino (EB), Jonne Piisilä (EB), Sanna Mäkeläinen (EB),
Jussi Laakso (Upknowledge)

Deutsche Übersetzung: Christian Buck (Buckmedia Public Relations)

Copyright 2009 EB (Elektrobit). All rights reserved.

Änderungen vorbehalten. Alle Rechte an diesem Dokument
und seinen Inhalten liegen bei EB. Jede Vervielfältigung
oder Weitergabe an Dritte ohne vorheriges schriftliches
Einverständnis von EB wird untersagt.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. | ÜBERBLICK..... | 4 |
| 2. | EINFÜHRUNG..... | 5 |
| 2.1 | Zukunftsmarkt Mobile Datendienste..... | 5 |
| 2.2 | LTE - Die nächste Generation der mobilen Datendienste | 5 |
| 2.3 | Grundlagen der LTE-Technologie..... | 6 |
| 2.4 | Die Zukunft: LTE-Advanced | 8 |
| 3. | TESTSZENARIEN FÜR LTE..... | 9 |
| 3.1 | Feldtests | 9 |
| 3.2 | Funkkanal-Emulation | 9 |
| 3.3 | Konformitäts-Tests | 9 |
| 3.4 | Performance-Steigerung durch weitergehende Tests..... | 10 |
| 4. | MODELLE DES FUNKKANALS | 12 |
| 4.1 | Modelle für LTE-Konformitäts-Tests | 12 |
| 4.2 | Modelle für weitergehende Tests | 12 |
| 4.2.1 | Das SCM-Modell..... | 13 |
| 4.2.2 | Das SCME-Modell..... | 14 |
| 4.2.3 | Das LTE Evaluation-Modell | 14 |
| 4.2.4 | WINNER-Modelle..... | 15 |
| 4.2.5 | IMT-Advanced-Modelle | 15 |
| 4.2.6 | Vergleich der GSCM-Modelle | 16 |
| 5. | ZUSAMMENFASSUNG | 17 |
| 6. | LÖSUNGEN VON EB..... | 17 |
| 7. | QUELLEN | 18 |

1. ÜBERBLICK

Der Long Term Evolution-Standard (LTE) des 3rd Generation Partnership Projects (3GPP) wurde im März 2009 formell verabschiedet – dadurch werden die LTE-Produktentwicklung und -Tests beschleunigt. Dieses White Paper gibt eine Einführung in die LTE-Technologie von 3GPP und diskutiert wesentliche Aspekte der neuen Testverfahren, die die Konformität überprüfen und – darüber hinausgehend – auch die Performance optimieren helfen („Beyond Conformance“-Tests). Wir beschreiben, wie LTE-Produkte, -Systeme und -Anwendungen in einer realistischen Umgebung getestet werden können – und zwar im Labor, nicht im Feld.

Zudem erklären wir die Vorteile über die Normen hinausgehender Tests im Vergleich zur reinen Überprüfung der Konformität. Wir empfehlen sowohl den Herstellern von LTE-Endgeräten und -Basisstationen als auch den Netzbetreibern über bloße Konformitäts-Tests hinaus zu gehen und schon in einer frühen Phase der Produktentwicklung auch die Performance zu testen. Dieses White Paper erklärt die verschiedenen Test-Methoden und gibt eine Einführung in wesentliche Funkkanal-Modelle, die im Rahmen der Tests verwendet werden können.

ABKÜRZUNGEN

| | | | |
|--------------|--------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|
| 3GPP | 3 rd Generation Partnership Project | MIMO | Multiple-Input Multiple-Output (any multi-antenna system) |
| AoA | Angle of Arrival | NLoS | Non Line of Sight |
| AoD | Angle of Departure | OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing |
| B3G | Beyond 3G | OFDMA | Orthogonal Frequency Division Multiple Access |
| BER | Bit Error Rate | PAPR | Peak to Average Power Ratio |
| BLER | Block Error Rate | QoS | Quality of Service |
| CDL | Clustered Delay Line | RRM | Radio Resource Management |
| eNodeB | evolved Node B (LTE base station) | SAE | System Architecture Evolution |
| HSPA | High Speed Packet Access | SC-FDMA | Single Carrier Frequency Division Multiple Access |
| HSPA+ | HSPA evolution | SCM | Spatial Channel Model |
| GSCM | Geometry-based Stochastic Channel Model | SCME | SCM Extended |
| IMT-2000 | International Mobile Telecommunications (global 3G standard) | TDL | Tapped Delay Line |
| IMT-Advanced | IMT-Advanced (global 4G standard) | UE | User Equipment |
| IPTV | Internet Protocol Television | UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| ITU | International Telecommunication Union | WCDMA | Wideband Code Division Multiple Access |
| ITU-R | ITU Radiocommunication sector | WiMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| LoS | Line of Sight | WINNER | Wireless world Initiative NEW Radio (project name) |
| LSP | Large Scale Parameter | | |
| LTE | Long Term Evolution (3.9G) | | |
| LTE-Advanced | Long Term Evolution Advanced (4G) | | |

2. EINFÜHRUNG

Mobile Datendienste haben in den vergangenen Jahren bemerkenswerte Zuwachsraten verzeichnet: Handy-Nutzer greifen mit ihren Mobiltelefonen zunehmend auf das Internet und andere Datendienste zu, und dieser Trend zeigt keinerlei Anzeichen einer Verlangsamung. Abbildung 1 stellt eine Abschätzung über das künftige Datenaufkommen in mobilen Netzwerken dar. Und der ist gewaltig: Viele Netzbetreiber berichten von einem sechs- bis 14-fachen Anstieg des Datenverkehrs im Vergleich zum Jahr 2007. [Quelle: Rysavy Research, „EDGE, HSPA and LTE - Broadband Innovation“, November 2008].

2.1 Zukunftsmarkt Mobile Datendienste

Die jüngsten technischen Durchbrüche bei drahtlosen Breitbandtechnologien („broadband wireless access“) wie WLAN, UMTS/HSPA, LTE und WiMAX sind die wichtigsten Wachstumsfaktoren für den mobilen Zugriff auf Daten. Hinzu kommt der einfache und allgegenwärtige Zugriff auf Informationen via Notebooks mit USB-Dongle, aber auch mithilfe neuer Notebooks mit bereits eingebautem Mobilfunk-Modem. Der mobile Zugriff auf Daten wurde aber erst durch die neuen Flatrates attraktiv, die bei Kunden und Netzbetreibern immer beliebter werden. Die gestiegenen Datenraten ermöglichen zudem, viele neue und innovative Dienste einzuführen.

Obwohl der Trend zum drahtlosen Breitbandzugang den Internet-Providern viele neue Möglichkeiten eröffnet, ist er auch mit einigen ernststen Herausforderungen verbunden – die größte davon betrifft die Kosten pro Bit für die Anbieter von Flatrate-Tarifen: Mit der zunehmenden Datenrate wird immer offensichtlicher, dass diese Kosten bei den bestehenden Netzwerken der dritten Generation (3G) für einen flächendeckenden mobilen Zugriff auf Datendienste zu

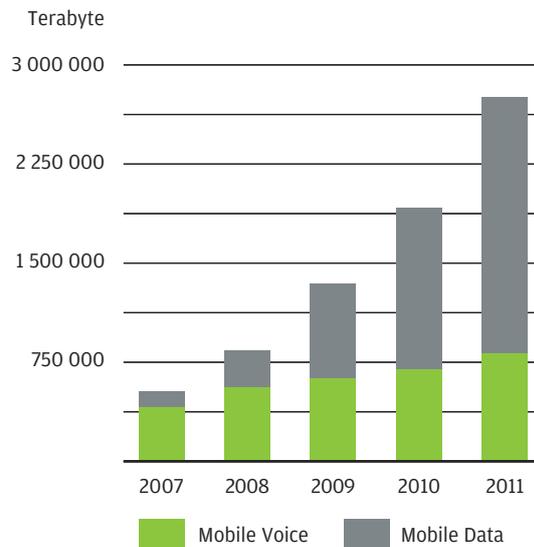


Abbildung 1: Abschätzung des Datenaufkommens in mobilen Netzwerken.

hoch sind. Ursachen dafür sind die komplexe Infrastruktur der bestehenden Netzwerke und die Begrenzungen durch die existierenden Funkverfahren. Um diese Hürden zu überwinden, bietet LTE den Netzbetreibern interessante Möglichkeiten für Anwendungen mit hohen Datenraten.

2.2 LTE – Die nächste Generation der mobilen Datendienste

Viele Netzbetreiber warten auf eine neue Technologie, mit deren Hilfe sie ihre Netzwerke weiterentwickeln können. Diese Technologie heißt „Long Term Evolution“ (LTE). LTE wurde vom 3rd Generation Partnership Project (3GPP) spezifiziert – der gleichen Organisation, die auch die Entwicklung weiterer Technologien aus der „3G-Familie“ betreut (sie sind in Abbildung 2 dargestellt).

3G LTE wurde in Release 8 der 3GPP-Spezifikationen beschrieben. LTE wurde so ausgelegt, dass es mit den

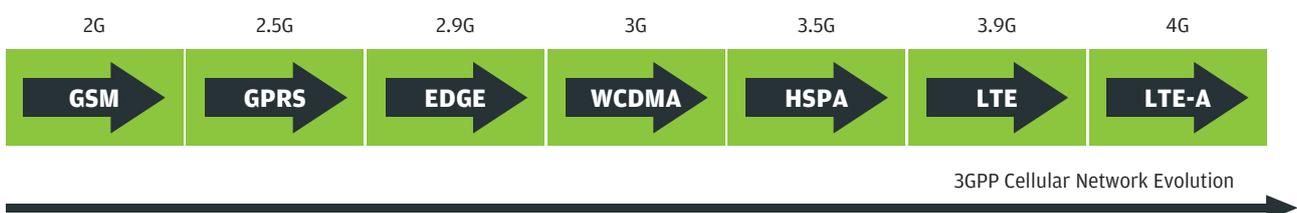


Abbildung 2: Die Technologien der „3G-Familie“.

anderen Technologien aus der 3G-Familie zusammenarbeiten kann. Darum ist es die logische Weiterentwicklung der bestehenden GSM- und WCDMA-Netze.

LTE enthält ein neues Funkverfahren und eine verbesserte Architektur des Kern-Netzwerkes (SAE), das vollständig auf dem Internet Protocol (IP) beruht. Es wird erwartet, dass LTE die Kapazität pro Zelle und die Datenrate pro Nutzer deutlich erhöht - zudem wird der Quality of Service (QoS) steigen und die Latenzzeiten für die Kunden deutlich abnehmen. Das wird die Akzeptanz bei den Nutzern erheblich steigern und dem mobilen Breitband-Zugriff endgültig zum Durchbruch verhelfen. LTE ist in der Lage, neue und anspruchsvolle Dienste wie Internet-TV (IPTV), Musik- und Video-Tausch, interaktive Spiele und andere Multimedia-Anwendungen zu unterstützen. Einige der wesentlichen Eigenschaften von LTE sind:

- Maximale Datenraten von mehr als 100 Mbps (Downlink) und ungefähr 50 Mbps (Uplink).
- Ein Funkinterface auf der Basis von OFDMA und SC-FDMA, das Modulationsschemata höherer Ordnung unterstützt (64-QAM).
- Die Möglichkeit, die Trägerbandbreiten zwischen 1,25 MHz und 20 MHz flexibel zu wählen.
- Die Unterstützung zahlreicher bestehender sowie neuer Bänder.
- Die Unterstützung von FDD und TDMA.
- Die Unterstützung für eine nahtlose Übergabe zu existierenden 3GPP-Netzwerken.
- Die Unterstützung von MIMO mit mehreren Antennen - im Endgerät und in der Basisstation.

LTE wird voraussichtlich zuerst in Ballungsräumen eingeführt werden, wo es bestehende 2G- und 3G-Netzwerke ergänzt.

2.3 Grundlagen der LTE-Technologie

Das Funkinterface von LTE transportiert Daten und Steuersignale zwischen dem Endgerät und der Basisstation, die bei LTE mit eNodeB (evolved Node B) bezeichnet wird. In GSM- und WCDMA-Netzwerken ist die Basisstation nur für die

Verarbeitung des Physical Layers zuständig, während Base Station Controller bzw. Radio Network Controller sich um alle Aufgabe kümmern, die mit den kritischen RRM-Aufgaben (Radio Resource Management) zusammenhängen. Bei LTE ist hingegen die Basisstation alleine für das gesamte Funkinterface verantwortlich.

Für den Downlink verwendet LTE Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). OFDM ist ein „Multicarrier“-Modulationsverfahren, bei dem der Funkkanal in mehrere Unterträger („Subcarrier“) unterteilt wird (Abbildung 3).

Jeder Unterträger wird individuell mit einem Teil des Bitstromes moduliert. OFDM bietet verschiedene Vorteile für die drahtlose Datenübertragung: OFDM-Empfänger sind weniger komplex als ihre WCDMA-Pendants, was direkten Einfluss auf die Entwicklungskosten der Endgeräte hat und OFDM zum idealen Kandidaten für den Downlink macht. OFDM ist robust gegen Intersymbol-Interferenz (ISI) und auch sonst wenig empfindlich gegenüber allen Arten von Schmalband-Interferenzen. Zudem lässt sich die flexible Kanal-Bandbreite relativ einfach mit einem OFDM-System umsetzen - die Bandbreite wird einfach verändert, indem die Anzahl der Unterträger verändert wird. OFDM wird auch für WLAN und WiMAX verwendet.

Der Unterschied zwischen OFDM und herkömmlichem Frequenzmultiplex besteht im Abstand der Unterträger: Durch die sorgfältige Auswahl der Parameter sind die Unterträger orthogonal zueinander, stören sich also nicht gegenseitig. Dadurch können sie noch enger gepackt werden, was die spektrale Effizienz der Übertragung erhöht.

LTE nutzt OFDM für den Down- und den Uplink auf unterschiedliche Weise. Beim Downlink wird die grundlegende Funktionalität von OFDM erweitert, um Mehrfachzugriff zu ermöglichen. Diese Variante von OFDM wird „Orthogonal

Frequency Division Multiple Access“ (OFDMA) genannt. OFDMA ermöglicht der LTE-Basisstation, verschiedene Nutzer über unterschiedliche Unterträger zu versorgen (Abbildung 4).

Die Zuordnung der einzelnen Unterträger kann schnell verändert werden - so passt sich LTE an die jeweiligen Bedingungen im Funkkanal an. Die LTE-Basisstation teilt die Ressourcen auf der Basis von RRM-Algorithmen zu. Dabei werden

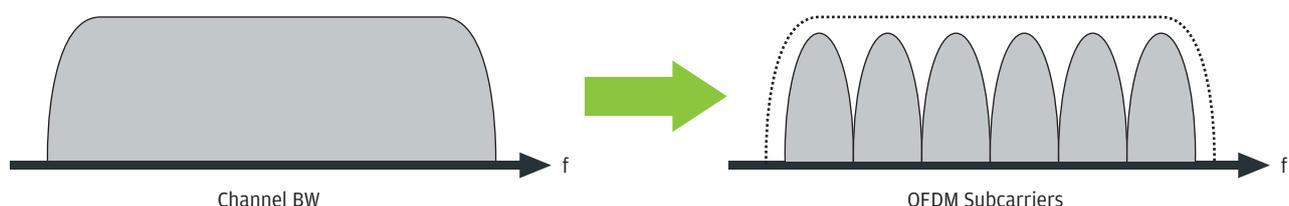


Abbildung 3: Das Prinzip von OFDM: Das Band wird in eng benachbarte, orthogonale Unterträger unterteilt.

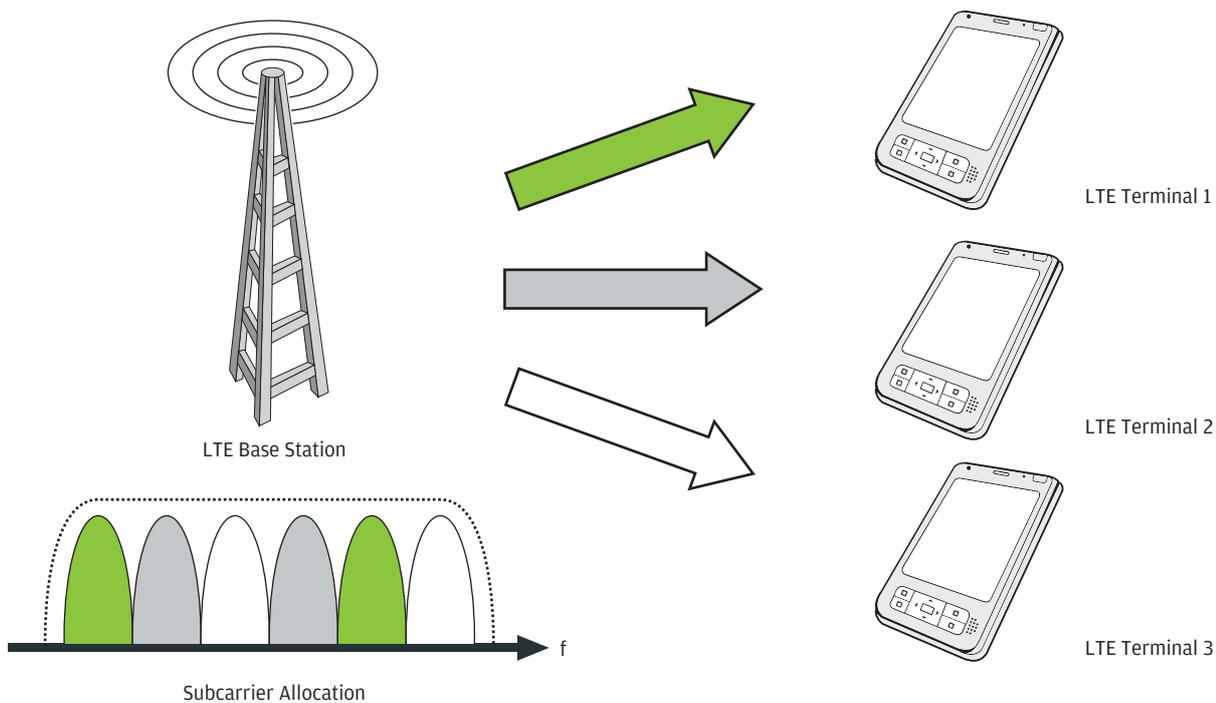


Abbildung 4: Mehrfachzugriff auf der Basis von OFDMA: Verschiedene Nutzer bekommen unterschiedliche Unterträger zugewiesen.

die Ressourcen für Up- und Downlink getrennt voneinander zugewiesen. Das genaue Kriterium für diese Zuteilung wurde von 3GPP nicht festgelegt, könnte aber beispielsweise aus den Kanalmessungen der Endgeräte abgeleitet werden.

Einer der Nachteile von OFDMA ist das relativ hohe Verhältnis von Spitzen- zu Durchschnittsleistung (Peak to Average Power Ratio, PAPR). Die OFDM-Symbole können hohe Spitzenamplituden erreichen, die hoch entwickelte lineare Leistungsverstärker erfordern und in der Praxis zu schlechter Leistungs-Effizienz führen. Darum wird OFDM nicht eingesetzt, um Daten vom Endgerät zur Basisstation zu übertragen. Statt dessen wurde eine energieeffizientere Technologie für den Uplink entwickelt: „Single Carrier Frequency Division Multiple Access“ (SC-FDMA). SC-FDMA ist im Prinzip ähnlich

zu OFDMA – der wesentliche Unterschied besteht darin, dass SC-FDMA die Daten auf einer Symbol-nach-Symbol-Basis versendet. Dieser Ansatz führt zu einem PAPR, das wesentlich kleiner ist als bei OFDMA.

Die MIMO-Technologie (Multiple-Input-Multiple-Output) erregte in den vergangenen Jahren viel Aufmerksamkeit, weil sie den Datendurchsatz drastisch erhöhen kann. Das Grundprinzip: Basisstation und Endgeräte nutzen mehrere Antennen zum Versenden und Empfangen der Daten. MIMO wird darum eine Schlüsselrolle spielen, wenn es darum geht, die spektrale Effizienz künftiger drahtloser Kommunikationsnetze zu verbessern. HSPA+, WiMAX und LTE nutzen die Vorteile von MIMO.

MIMO kann für verschiedene Zwecke eingesetzt

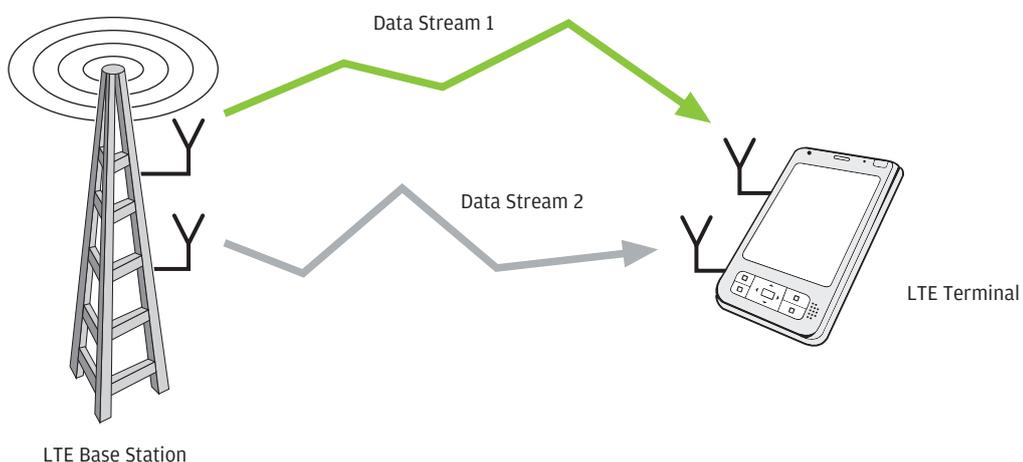


Abbildung 5: Beim räumlichen Multiplexing werden parallele Datenströme verwendet, um die Kapazität des Systems zu erhöhen.

werden, beispielsweise für räumliches Multiplexing. Dabei werden mehrere Datenströme mithilfe mehrerer Antennen gleichzeitig übertragen. Setzt man ideale MIMO-Funkkanäle voraus, lässt sich der Datendurchsatz des Systems theoretisch verdoppeln, wenn man die Zahl der Antennen von Sender und Empfänger verdoppelt. Das Prinzip des räumlichen Multiplexing ist in Abbildung 5 dargestellt.

Da sowohl die Sende- als auch die Empfangsantennen räumlich getrennt sind, wird das Signal an verschiedenen Antennen unterschiedlich beeinflusst. Der Empfänger kann diese „räumliche Signatur“ verwenden, um die verschiedenen Datenströme zu unterscheiden.

Dazu braucht der Empfänger vor der Datenübertragung Informationen über die Schwundeigenschaften jedes räumlichen Kanals – sie werden von Testsignalen geliefert, die separat von jeder Sendeantenne ausgesandt werden und dem Empfänger im Voraus bekannt sind. Der Schwund (engl. fading) dieses Testsignals enthält die „Signatur“ dieses speziellen Ausbreitungsweges. Da sich die Bedingungen in den Funkkanälen ständig ändern, muss dieses Testsignal regelmäßig ausgesandt werden, um den Empfänger immer auf dem neuesten Stand zu halten.

2.4 Die Zukunft: LTE-Advanced

LTE ist noch gar nicht in der Praxis angekommen – dennoch hat das 3GPP-Konsortium bereits begonnen, über seine Weiterentwicklung nachzudenken. Diese Evolution von LTE

wird im Moment als „LTE-Advanced“ bezeichnet.

Die International Telecommunication Union (ITU) ist dasjenige international anerkannte Gremium, das die offizielle Definition für Netzwerke der vierten Generation (4G) festlegen wird. Derzeit arbeitet der ITU Radiocommunication Sector (ITU-R) an einer weltweit akzeptierten Definition von 4G. Diese Initiative wird allgemein als IMT-Advanced bezeichnet – sie ist die logische Fortsetzung der Arbeit von IMT-2000, wo die Definition von sowie einige Anforderungen an 3G-Technologien erarbeitet worden sind.

Obwohl die endgültigen Spezifikationen noch nicht feststehen, sind die derzeit anvisierten Datenraten für IMT-Advanced sehr ambitioniert: 100 Mbps für mobile Nutzer und bis zu ein Gbps für langsam bewegte Nutzer, mit Kanal-Bandbreiten von bis zu 100 MHz. Die LTE-Datenraten erfüllen diese Anforderungen offensichtlich nicht – darum betrachten manche Experten aus der Telekommunikationsindustrie LTE auch eher als eine „3.9-Technologie“: besser als die heutigen 3.5G-Systeme, aber noch nicht ganz 4G.

Der wichtigste Treiber hinter der Entwicklung von LTE-Advanced ist der Wunsch, die Anforderungen von IMT-Advanced an ein 4G-System zu erfüllen oder sogar zu übertreffen. Die Bandbreite von LTE-Advanced wird wahrscheinlich ein Vielfaches von LTE-ähnlichen Slots von 20 MHz sein – beispielsweise 20, 40, 60, 80 und 100 MHz. Die Spezifikation für LTE-Advanced wird voraussichtlich in Release 10 der 3GPP enthalten sein. Eine ähnliche Weiterentwicklung gibt es auch für WiMAX: Der IEEE-Standard 802.16m wird die Grundlage für WiMAX 2.0 sein.

3. TESTSZENARIEN FÜR LTE

LTE-Produkte müssen in dreierlei Beziehung getestet werden: auf ihre Konformität, auf ihre Performance durch weitergehende Tests und ihr Verhalten im Feld. Die Funkkanalemulation kann dafür in den verschiedensten Phasen der Produktentwicklung sehr effektiv eingesetzt werden.

3.1 Feldtests

Um die Performance der Produkte im Alltagsbetrieb zu garantieren, sollten die Testmethoden die realen Verhältnisse so genau wie möglich abbilden. Die LTE-Ausrüstung kann durch Feldtests überprüft werden, die die vorgesehene Nutzung genau nachahmen - beispielsweise durch Testfahrten mit Messinstrumenten in einem Gebiet, das von einem echten Netzwerk abgedeckt wird. Solche Feldtests sind ein wesentlicher Teil der Produkt-, System- und Anwendungsentwicklung.

Traditionelle Feldtests von Funksystemen haben allerdings einige Nachteile: Sie sind im Allgemeinen aufwändig, kosten viel Zeit und sind darum teuer. Zudem muss die Ausrüstung in zahlreiche geographische Regionen transportiert werden. Die Ergebnisse hängen außerdem von der konkreten Umgebung, dem Standort und der Zeit ab. Sie können also selbst mit dem gleichen Versuchsaufbau nicht wiederholt werden. Das liegt daran, dass man bei Feldtests keine vollständige Kontrolle über die natürliche Umgebung und die Eigenschaften des Funkkanals hat. Denn während seiner Ausbreitung ist ein Funksignal zahlreichen Einflüssen ausgesetzt, zum Beispiel Wegedämpfung, Abschattung, Mehrwegeausbreitung, Delay Spread, Dopplerverschiebung, Angle Spread, Polarisierungseffekten und Interferenzen am Empfänger. Diese Einflüsse sind teilweise zufällig und hängen davon ab, wann und wo die Messungen durchgeführt werden.

3.2 Funkkanal-Emulation

Ein besserer Ansatz für LTE-Tests im Vergleich zu Feldversuchen ist es, den Funkkanal in einer kontrollierbaren Laborsituation zu emulieren. Bei diesem Verfahren wird der echte Funkkanal durch einen Funkkanal-Emulator ersetzt, der alle Einflüsse auf die Signalausbreitung berücksichtigen kann. Der Funkkanal-Emulator ist ein Messgerät, das zwischen Sender und Empfänger platziert wird. Das Signal durchläuft den Emulator, der beispielsweise die Wegedämpfung, die Abschattung,

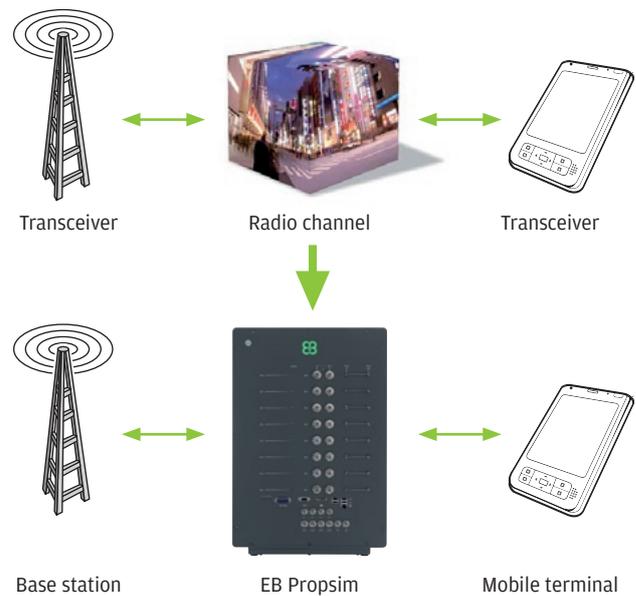


Abbildung 6: Das Prinzip der Funkkanal-Emulation: So können reale Ausbreitungsbedingungen im Labor emuliert werden.

die Mehrwegeausbreitung, den Delay Spread, die Dopplerverschiebung, den Angle Spread, die Effekte der Polarisierung und die Einflüsse von Rauschen und Interferenzen simuliert. Abbildung 6 zeigt das Prinzip der Funkkanal-Emulation.

Vorteil der Funkkanal-Emulation: Sie erlaubt präzise, kontrollierbare und jederzeit wiederholbare Testläufe im Labor. Solche Tests können eingesetzt werden, um Feldversuche zu ergänzen oder in manchen Fällen sogar ganz zu ersetzen. Funkkanal-Emulation kann helfen, Zeit und Kosten zu sparen - sowohl für Standard-Umgebungen als auch in Spezialfällen. Sie erlaubt es, die Produktperformance in jeder beliebigen Umgebung zu testen, zum Beispiel in Gebäuden, in der Innenstadt, auf Schnellstraße sowie in ländlichen und Bergregionen. Kürzere Testzyklen führen zu kürzeren Entwicklungszeiten, die wiederum die Time-to-Market für neue Produkte verkürzen.

3.3 Konformitäts-Tests

LTE-Konformitäts-Tests sollen überprüfen, ob LTE-Produkte alle Anforderungen des 3GPP-Standards erfüllen. Zudem wird dabei untersucht, ob Sender und Empfänger den Minimalanforderungen von 3GPP genügen. Konformitäts-Tests sind technologiespezifisch: Sie werden normalerweise von der gleichen Organisation vorgegeben, die auch die Technologie entwickelt hat. Demzufolge hat 3GPP Produkt-Konformitäts-Tests

für die bestehenden Technologien wie WCDMA und HSPA festgelegt. 3GPP hat auch entsprechende Konformitäts-Tests für LTE-Endgeräte und -Basisstationen spezifiziert [1]-[2]. Diese Konformitäts-Tests werden normalerweise von einer externen Organisation durchgeführt, etwa zertifizierten Test-Labors.

Zwar werden die LTE-Endgeräte und -Basisstationen gemäß den Vorgaben der 3GPP entwickelt, dennoch bleibt bei ihrer Interpretation ein gewisser Spielraum. So legen die LTE-Standards zum Beispiel nur die wesentlichen Funktionen und Aufgaben des RRM fest. Der eigentliche RRM-Algorithmus muss vom Hersteller entwickelt werden. Dasselbe gilt für die Algorithmen, die im Empfänger für den Physical Layer zuständig sind – das führt dazu, dass sich die Geräte verschiedener Hersteller in ihrer Performance voneinander unterscheiden. Konformitäts-Tests sind unverzichtbar, denn sie stellen sicher, dass die Unterschiede in der Implementierung nicht zu Problemen beim Endkunden führen.

Diese Konformitäts-Tests umfassen wesentliche Eigenschaften von Sender und Empfänger auf Seiten der Endgeräte und der Basisstationen sowie grundlegende Anforderungen an die Performance der Geräte (für den FDD- und den TDD-Betrieb). Dazu zählen folgende Messungen, die auch für die Funkkanal-Emulation wichtig sind:

- Diversity-Empfangeigenschaften
- Eingangsempfindlichkeit
- Leistungsmerkmale des Empfängers
 - Charakteristik eines einzelnen Antennenanschlusses
 - Empfang bei Send-Diversity
 - Eigenschaften bei Open-Loop Raummultiplex
 - Eigenschaften bei Closed-Loop Raummultiplex
- Vermessung des Funkkanals
 - Funkkanal mit weißem Rauschen
 - Frequenzselektiver Funkkanal
 - Nicht frequenzselektiver Funkkanal
- Ermittlung des Pre-Coding Matrix Indikators.

LTE-Konformitäts-Tests sind für jedes Endgerät und für

jede Basisstation vorgeschrieben. Sie überprüfen die Einhaltung der genormten Grenzwerte. Alle Produkte, die diese Konformitäts-Test bestehen, werden für den Einsatz in kommerziellen Netzwerken zugelassen.

Abbildung 7 zeigt den Aufbau eines Konformitäts-Tests für ein Endgerät mit einer 2x2 MIMO-Antennenkonfiguration. Das dabei verwendete Modell für den Funkkanal ist das „tapped delay line“-Modell (TDL) mit einer feststehenden kanalweisen Korrelations-Matrix (siehe Abschnitt 4.1.).

3.4 Performance-Steigerung durch weitergehende Tests

Es ist nicht die Aufgabe von Konformitäts-Tests, eine optimale Produkt-Performance zu erreichen – es geht vielmehr darum sicherzustellen, dass die verschiedenen Produkte im LTE-Netzwerk die grundlegenden Anforderungen erfüllen und keine unerwarteten Probleme verursachen. Da sie nur zwei mögliche Antworten liefern – „bestanden“ oder „durchgefallen –, messen sie nicht die wirkliche Leistungsfähigkeit eines Produktes. Sie geben allenfalls einen Hinweis darauf, ob die Leistungsfähigkeit eines Produktes eine bestimmte Schwelle überschreitet oder nicht.

Die Hersteller von LTE-Endgeräten und -Basisstationen benötigen darum eine Methode, um die wirkliche Leistungsfähigkeit ihrer Geräte unter realistischen Bedingungen für die Signalausbreitung zu messen. Nur durch solche präzisen und verlässlichen Performance-Daten kann sichergestellt werden, dass die Ziele für die Produktqualität tatsächlich erreicht werden. Um diese Daten zu erhalten, sind Tests notwendig, die über den Nachweis der reinen Konformität hinausgehen. Diese Art von Tests werden auch als „Performance-Tests“ bezeichnet. Performance-Tests setzen den Hersteller in die Lage, die Performance der Luftschnittstelle und die Leistungsfähigkeit des Systems zu optimieren, bevor die Produkte auf den Markt

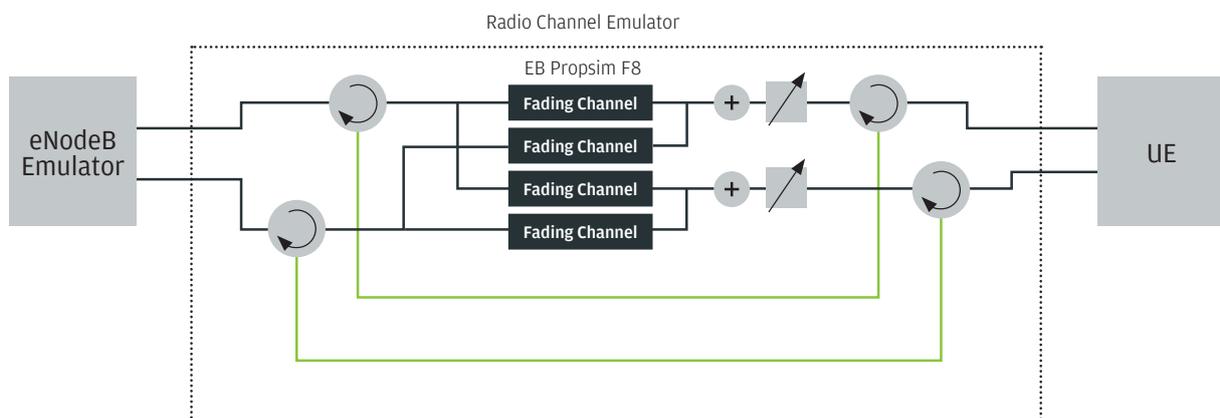


Abbildung 7: Aufbau eines Tests für die Downlink-Konformität eines Endgerätes mit einer 2x2 MIMO-Antennenkonfiguration.

gebracht werden. In den folgenden wichtigen Bereichen ist eine solche Optimierung beispielsweise möglich:

- Adaptive Modulation und Kodierung
- Kanalverzerrung
- Frequenzzuteilung
- Handover
- MIMO-Konfigurationen
- Anpassung für verschiedene MIMO-Modes
- Closed-Loop Pre-Coding MIMO
- Interferenz-Auslöschung
- RRM-Algorithmen (zum Beispiel für Multi-User-Szenarien)

Von fortschrittlichen Performance-Tests profitieren Marketing und Umsatz gleichermaßen. Der Wettbewerb unter den Herstellern von Produkten für drahtlose Netzwerke ist hart - darum suchen sie ständig nach Wegen, sich von der Konkurrenz abzuheben. Die Produkt-Performance ist eines der wesentlichen Alleinstellungsmerkmale. Aber weil die Ergebnisse der Konformitäts-Tests nicht die tatsächliche Performance der Geräte widerspiegeln, können sie nicht verwendet werden, um deren Leistungsfähigkeit zu beurteilen. Nur durch verlässliche Performance-Tests können die Hersteller und die Netzbetreiber auf dem hart umkämpften LTE-Markt einen Wettbewerbsvorteil erzielen.

Dies sind die wesentlichen Vorteile, die weitergehende Tests bieten:

- Verbesserte Leistungsfähigkeit des Netzwerkes und bessere Abdeckung
- Schnellere Marktfreigabe
- Das Produkt wird weder unter- noch überspezifiziert
 - optimierte Produkt-Performance und verringerte Entwicklungskosten
 - die Leistungsfähigkeit des Produktes kann in realistischen Szenarien demonstriert werden
- Weniger aufwändige Feldtests
- Realistische Leistungsdaten für den Physical Layer und den Durchsatz im System
 - zum Beispiel Bitfehlerrate (BER) und Blockfehlerrate (BLER)
- Besseres Risikomanagement

Abbildung 8 zeigt ein Beispiel für einen solchen weitergehenden Test - in diesem Fall für das Handover in einem 2x2 MIMO-Setup, das aus zwei eNodeB mit jeweils zwei Antennen und einem Endgerät mit ebenfalls zwei Antennen besteht. Uplink und Downlink können mit derselben oder mit verschiedenen Frequenzen arbeiten (TDD oder FDD). Das Funkkanal-Modell kann beispielsweise SCME oder WINNER sein (siehe Abschnitte 4.2.2. und 4.2.4.).

Der nächste Abschnitt definiert die Funkkanal-Modelle, die bei LTE für die Konformitäts- und Performance-Tests verwendet werden.

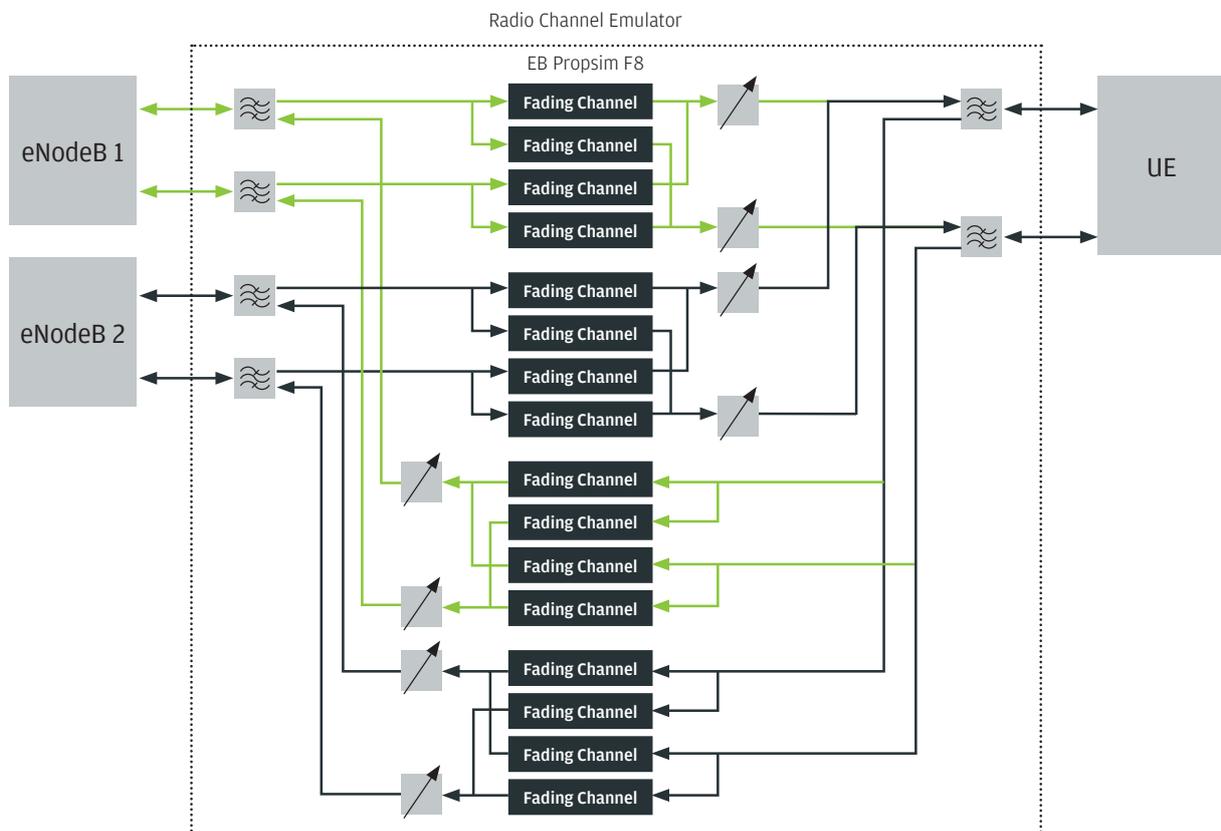


Abbildung 8: So könnte ein Handover-Test bei einer 2x2 MIMO-Antennenkonfiguration aussehen.

4. MODELLE DES FUNKKANALS

Nur mit möglichst realitätsnahen Tests können die Hersteller garantieren, dass ihre Produkte unter realen Bedingungen wie gewünscht funktionieren. Wenn solche Tests mithilfe von Emulatoren durchgeführt werden, benötigt der Funkkanal-Emulator Modelle, die möglichst nahe an der Realität liegen - denn die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse hängen direkt vom zu Grunde liegenden Modell ab. Je besser das Modell die tatsächlichen Verhältnisse widerspiegelt, desto zuverlässiger werden auch die Ergebnisse sein.

Allerdings genügt es nicht, wenn das Modell möglichst präzise die Wirklichkeit wiedergibt - es muss zugleich flexibel genug sein, so dass mit seiner Hilfe die unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen nachgebildet werden können. Denn von diesen Umgebungsbedingungen hängen die Eigenschaften des Funkkanals ganz entscheidend ab - das Zentrum eines Ballungsraumes beeinflusst das Funksignal völlig anders als beispielsweise eine ländliche Umgebung oder ein Besprechungsraum innerhalb eines Gebäudes. Jede dieser Umgebungen erfordert eine spezielle Anpassung des Messaufbaus. Durch Tests für eine große Anzahl von Umgebungsbedingungen kann sichergestellt werden, dass die Geräte nicht nur für einige wenige Szenarien optimiert sind.

Verschiedene Organisationen haben zahlreiche Modelle für den Funkkanal entwickelt, mit deren Hilfe die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Technologien getestet werden kann. Diese Modelle werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

4.1 Modelle für LTE-Konformitäts-Tests

3GPP hat die Konformitäts-Tests für LTE und die Parameter für die Funkkanal-Modelle in den Dokumenten TS 36.141 (eNodeB) und TS 36.521 (UE) definiert [2].

Die Funkkanal-Modelle für die Konformitäts-Tests sind relativ einfach, insbesondere für MIMO-Anwendungen. Es handelt sich dabei um erweiterte ITU-Modelle (Extended Pedestrian A, Extended Vehicular A, Extended Typical Urban), die jeweils sieben bis neun Fading-Pfade und die gleiche Korrelations-Matrix für alle Mehrwege-Komponenten aufweisen [3]. Jeder Fading-Pfad entspricht einem Ausbreitungsweg des Signals von der Sendeantenne zur Empfangsantenne, versehen mit einer spezifischen Verzögerungszeit. Die Korrelation zwischen den verschiedenen Antennensignalen wird grob definiert: als hoch, mittel oder niedrig. Das ist nicht detailliert genug, um die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Produkte zu bestimmen.

4.2 Modelle für weitergehende Tests

Es gibt grundsätzlich drei verschiedene Ansätze für die Modellierung von Funkkanälen: deterministisch, stochastisch oder Geometrie-basiert stochastisch.

Beim deterministischen Ansatz muss die komplette

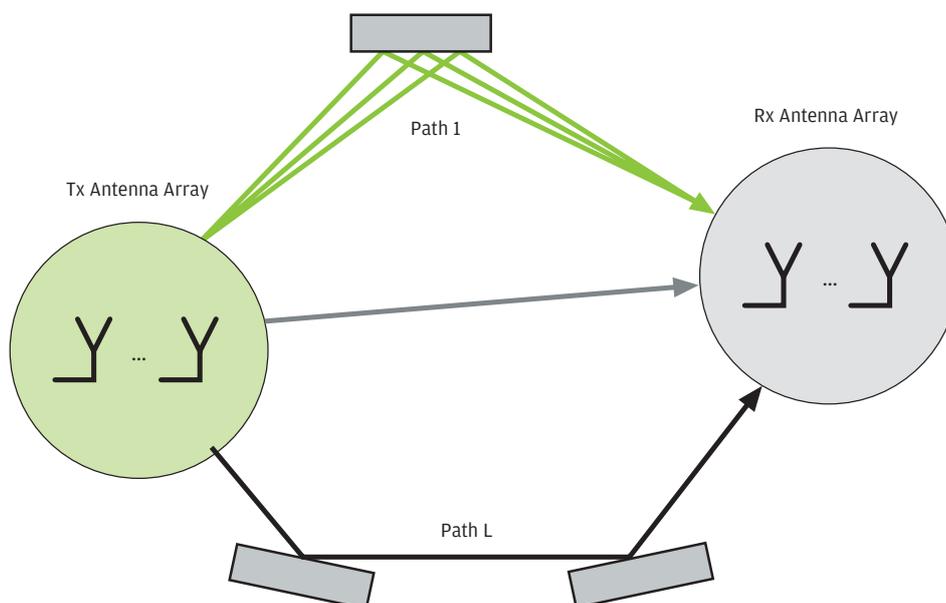


Abbildung 9: So wird ein einzelner Link im GSCM-Modell beschrieben. Man erkennt die Sende- und Empfangsantennen sowie die geometrischen Eigenschaften, die die Signalausbreitung beeinflussen.

Umgebung detailliert modelliert werden (Baumaterialien, Bäume, Abstand zur Erde mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern), da er direkt auf den Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik beruht, die die Ausbreitung der Funkwellen beschreiben. In der Praxis bedeutet das, dass man für jede Umgebung und jeden Zeitpunkt ein eigenes Modell benötigt. Jedes dieser Modelle würde Billionen von Rechenoperationen erfordern, um die Ausbreitung zu berechnen. Aus diesem Grund ist dieser Ansatz kaum umsetzbar.

Bei stochastischen Modellen werden die Kanal-Parameter mithilfe statistischer Verteilungen zufällig festgelegt. Ein typisches Beispiel für ein stochastisches Modell ist das bekannte „tapped delay line“-Modell (TDL), das dazu verwendet wurde, Schmalband-Systeme mit einer einzigen Antenne zu testen. TDL-Modelle eignen sich aber nicht, um die neuen zellulären MIMO-Systeme zu testen - das liegt daran, dass das Modell keine Richtungsinformationen für den Ausbreitungsweg liefert.

Für weitergehende Tests werden darum Modelle empfohlen, die zur Familie der Geometrie-basierten stochastischen Kanal-Modelle (GSCM) gehören. Dieser Ansatz kann die räumlichen Eigenschaften der MIMO-Kanäle akkurat nachbilden. Es handelt sich dabei um multidimensionale Modelle, die auf Messungen basieren und alle wesentlichen Dimensionen des Funkkanals erfassen (Zeit, Frequenz, Raum und Polarisation). Abbildung 9 zeigt das GSCM-Modell für einen einzigen Link, und Abbildung 10 zeigt die physikalische Interpretation des GSCM-Modells.

GSCM-Modelle legen bestimmte Variablen des Kanal-Modells aufgrund statistischer Verteilungen fest - dazu zählen unter anderem der Eintreffwinkel (Angle of Arrival, AoA) der

empfangenen und der Abstrahlwinkel (Angle of Departure, AoD) der gesendeten Signalkomponenten. Diese Modelle eignen sich für eine Vielzahl von Umgebungsbedingungen und für Systeme, die unterschiedliche MIMO-Technologien unterstützen, beispielsweise Strahlformung und räumliches Multiplexing. Aufgrund dieser Eigenschaften haben sich diese Modelle im Bereich des Mobilfunks sehr bewährt, und sie können verwendet werden, um weitergehende Tests durchzuführen. Die folgenden Abschnitte geben eine Einführung in die wesentlichen Kanal-Modelle, die auf GSCM beruhen.

4.2.1 Das SCM-Modell

Ursprünglich hatten 3GPP und 2GPP das Spatial Channel Model (SCM) als gemeinsamen Standard für die Untersuchung von 3G-Systemen spezifiziert [4]. Hauptbeweggrund dafür war der Wunsch, realistische Kanaleigenschaften für MIMO-Systeme zu definieren. Diese Eigenschaften waren erforderlich, um verschiedene MIMO-Schemata für die HSPA-Technologie zu evaluieren.

SCM enthält sowohl einfache TDL-Modelle für Kalibrationszwecke als auch ein GSCM-Modell für Simulationen auf der System-Ebene. Die Kanal-Parameter im SCM-Modell werden stochastisch festgelegt und dann dazu verwendet, die Ausbreitungsbedingungen für einen bestimmten Kanal zu beschreiben. Zu den Parametern, die im SCM-Modell verwendet werden, zählen beispielsweise Wegdämpfung, Leistungs-Verzögerungs-Profil (power delay profile), Abschattung, Verzögerungsverteilung, Winkelverteilung am Endgerät, Winkelverteilung an der Basisstation, Endgeräteschwindigkeit und Antennen-Richtdiagramme. SCM beinhaltet drei ver-

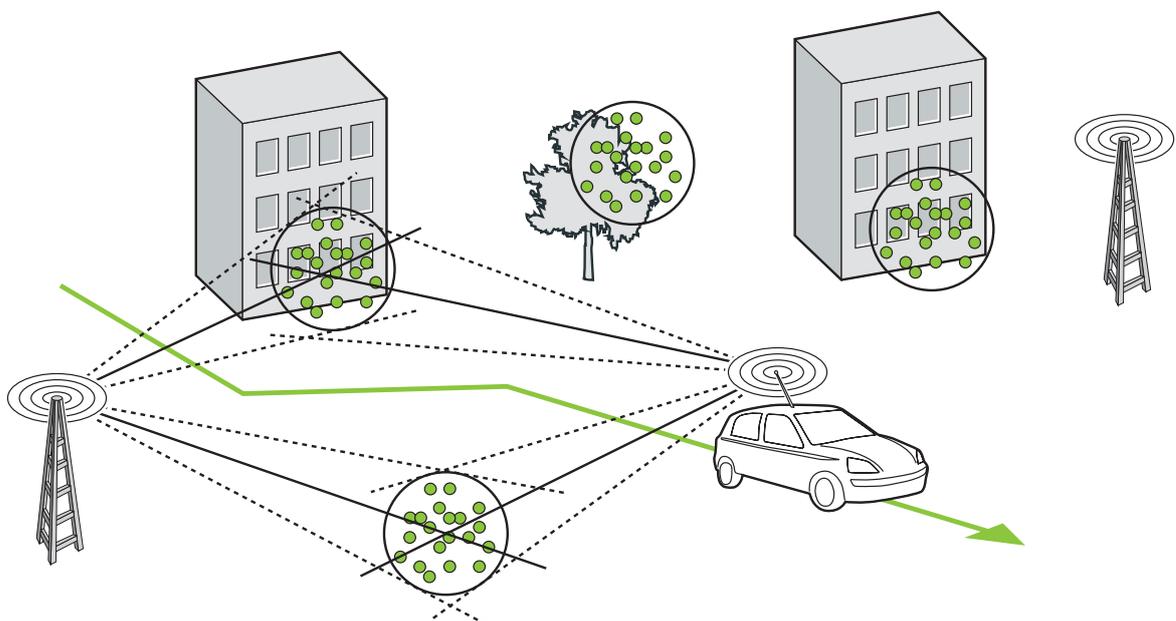


Abbildung 10: Physikalische Interpretation des GSCM-Modells.

schiedene Szenarien: suburban macro-cell, urban macro-cell und urban micro-cell. Jedes dieser Szenarien repräsentiert eine bestimmte Umgebung und einen bestimmten Satz von Randbedingungen für MIMO-Tests. Sie werden mithilfe desselben Ansatzes modelliert und unterscheiden sich lediglich in den Parameterwerten. Das Modell berücksichtigt den Abstand der Sende- und Empfangsantennen und legt dann die Eigenschaften der Ausbreitungswege fest, um die Schwundcharakteristik und die Korrelation der Signale für alle Antennen berechnen zu können.

Das SCM-Modell setzt auf der System-Ebene auf, um die Leistungsfähigkeit für einen weiten Bereich von Umgebungsbedingungen, wie sie bei Mobilfunknetzen auftreten, zu berechnen. Durch diesen Ansatz ist das Szenario vergleichbar mit den Bedingungen innerhalb eines realen Netzwerkes – inklusive zahlreicher Basisstationen und Endgeräte, die zur gleichen Zeit aktiv sind. Tests auf System-Ebene liefern realistischere Ergebnisse im Vergleich zu Tests auf Link-Ebene, bei denen lediglich die Verbindung zwischen einem einzigen Endgerät und einer einzigen Basisstation untersucht wird.

Diese SCM-Tests auf System-Ebene gestatten es, die Leistungsfähigkeit des Up- und des Downlinks gleichzeitig zu bestimmen. Solche Emulationen mithilfe des SCM-Modells können mehrere Basisstationen umfassen, von denen jede mehrere Sektoren abdeckt und dazu wiederum mehrere Antennen pro Sektor einsetzt. Jede Verbindung zwischen einem Endgerät und einer Basisstation wird mithilfe von sechs Ausbreitungswegen modelliert, wobei jeder Ausbreitungsweg ganz spezifische Eigenschaften haben kann. Um den Berechnungsaufwand trotz dieser komplexen Emulation in Grenzen zu halten, verwendet das SCM-Modell ein „Drop“-Konzept: Ein Endgerät wird in verschiedenen Positionen innerhalb des Netzwerkes platziert („dropped“), und die System-Performance wird dann für jede Position bestimmt. Jeder „Drop“ steht dabei für einen „Schnappschuss“ des Schwundkanals. Die Ergebnisse für alle „Drops“ liefern dann die Performance des Gesamtsystems.

Das SCM-Modell auf Systemebene liefert wesentlich realistischere Ergebnisse als das Modell für die LTE-Konformitäts-Tests. Darum ist es ein aussichtsreicher Kandidat für weitergehende Tests und wird heute für die Evaluation auf Systemebene sowie die Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Funksystemen eingesetzt, beispielsweise für WCDMA, HSPA, WiMAX und LTE. Allerdings hat das SCM-Modell auch seine Grenzen, weshalb es für bestimmte LTE-Testzenarien ungeeignet ist.

Ursprünglich wurde das SCM-Modell für Systeme spezifiziert, die im Bereich von 2 GHz arbeiten. LTE ist in Bezug auf das Frequenzband im Vergleich mit WCDMA beziehungsweise

HSPA allerdings sehr flexibel: Die gegenwärtige Spezifikation sieht den Einsatz in allen Frequenzbändern vor, die in IMT-2000 festgeschrieben sind – beginnend bei 700 MHz bis hin zu 2,7 GHz und darüber hinaus. LTE-Produkte müssen dabei in allen Frequenzbändern gleich leistungsfähig sein. Weil die Einflüsse auf die Signalausbreitung stark vom verwendeten Frequenzband abhängen, sollte das Modell für die weitergehenden Tests alle möglichen LTE-Frequenzen abdecken.

Das SCM-Modell wurde für Kanal-Bandbreiten von bis zu 5 MHz spezifiziert. LTE gestattet hingegen Kanal-Bandbreiten von bis zu 20 MHz. Mit dieser zunehmenden Bandbreite steigt der Einfluss des frequenzselektiven Schwunds. Aufgrund der oben erwähnten Eigenschaften kann das SCM-Modell keine präzisen Ergebnisse für LTE-Systeme liefern. Es gibt also gute Gründe, nach Alternativen für das SCM-Modell zu suchen.

4.2.2 Das SCME-Modell

Um einige der Begrenzungen des SCM-Modells zu überwinden, hat das europäische „Wireless World Initiative New Radio“-Projekt (WINNER) eine Erweiterung von SCM vorgeschlagen [5]. Dieses neue Modell heißt „SCM Extended“ (SCME). Es ist ausgelegt für System-Tests von „Beyond-3G“-Technologien (B3G).

SCME beruht im wesentlichen auf SCM, enthält allerdings einige Änderungen der Funkkanal-Eigenschaften, um für B3G-Systeme realistischere Ergebnisse zu liefern. Das Modell gestattet es, jeden SCM-Pfad in drei bis vier unterschiedliche „Mittelpfade“ aufzuspalten, mit jeweils unterschiedlicher Signalstärke und -verzögerung. Werden beispielsweise alle ursprünglichen sechs SCM-Pfade um solche Mittelpfade ergänzt, besteht das daraus resultierende Modell aus 18 Pfaden – sie liefern eine verbesserte Frequenz-Korrelation im Vergleich zum ursprünglichen SCM-Modell. Zu den weiteren Neuerungen im SCME-Modell zählen der erweiterte Frequenzbereich, der bis 6 GHz statt 2 GHz reicht, sowie erweiterte Kanal-Bandbreiten, die nun von 5 bis hin zu 100 MHz reichen. Diese Parameter stimmen nun wesentlich besser mit den Spezifikationen für LTE überein. Da das SCME-Modell eine gute Übereinstimmung mit realen Szenarien für LTE-Netzwerke liefert, eignet es sich gut für Performance-Tests, die die wahre Leistungsfähigkeit von LTE-Basisstationen und -Endgeräten ermitteln sollen.

4.2.3 Das LTE Evaluation-Modell

Während der Entwicklung von LTE wurde klar, dass man ein LTE-spezifisches Kanal-Modell benötigt – für Performance-

Tests von Basisstationen und Endgeräten, das Management der Frequenz-Ressourcen und anderer Eigenschaften des Systems. Dieses Modell heißt „LTE Evaluation Model“.

Für diesen Zweck war ursprünglich SCME vorgeschlagen worden. Später wurde allerdings entschieden, nicht SCME, sondern eine vereinfachte Version davon für die Evaluation von LTE einzusetzen. Als erste Vereinfachung wurde entschieden, das TDL-Modell – das ursprünglich nur für die Kalibration und zu Vergleichszwecken in SCME integriert worden war – auch für Emulationen auf Systemebene zu verwenden. Das präzisere und realistischere SCME-Modell, das auf dem stochastischen Drop-Konzept beruhte, wurde also verworfen. Außerdem wurde die Beschreibung von MIMO vereinfacht: Sie beruht nun auf Korrelations-Matrizen und nicht mehr den räumlichen Ausbreitungs-Parametern.

4.2.4 WINNER-Modelle

Die WINNER-Gruppe wurde gegründet, um wesentliche Konzepte für drahtlose B3G-Systeme zu entwickeln. WINNER betreibt zahlreiche Forschungsaktivitäten zu den unterschiedlichsten Themen im Zusammenhang mit B3G. Eine der wesentlichen Aufgaben von WINNER ist die Untersuchung von Ausbreitungsbedingungen und die Entwicklung fortschrittlicher Modelle für den Funkkanal. So hat WINNER nicht nur SCME entwickelt, sondern auch andere hoch entwickelte Modelle.

Die Entwicklung der Funkkanal-Modelle innerhalb von WINNER war dabei in drei Phasen unterteilt – jede dieser Phasen lieferte ein präziseres Modell als das vorherige. WINNER I, WINNER II und WINNER+ (derzeit noch in der Entwicklung). Die Geschichte der verschiedenen Funkkanal-Modelle von WINNER ist in Abbildung 11 dargestellt.

Eine wesentliche Eigenschaft der WINNER-Modelle ist, dass sie sowohl auf Funkkanal-Messungen als auch auf Daten aus der Literatur basieren. Während beispielsweise SCME die Kanal-Bandbreite künstlich auf 100 MHz erhöht, beruht das WINNER-Modell auf realen Messungen von Funkkanälen mit 100 MHz Bandbreite. Zudem sind die WINNER-Modelle flexibler als SCM und SCME, weil sie mehr unterschiedliche Szenarien zur Verfügung stellen. So beinhaltet das WINNER II-Modell beispielsweise 13 verschiedene Szenarien, die man durch Anpassung der Parameter des Kanal-Modells erhält. Das Modell berücksichtigt die Polarisation und unterstützt Multi-User-, Multi-Cell- und Multi-Hop-Netzwerke. Da die WINNER-Modelle derart detailliert ausgelegt sind, bilden sie den tatsächlichen Funkkanal mit bisher unbekannter Präzision nach. Jedes Szenario kann mithilfe von GSCM simuliert und mit „reduced-variability Clustered Delay Line“-Modellen (CDL) kalibriert werden – die meisten von ihnen unterstützen sowohl Line-of-Sight (LOS) als auch Non-Line-of-Sight (NLOS).

Die Arbeit an verbesserten Modellen für den Funkkanal dient nicht nur der Weiterentwicklung der WINNER-Projekte – die entwickelten Kanalmodelle sind allgemein genug für den Einsatz in anderen Projekten und Standardisierungs-Aktivitäten [6]-[7]. Beispielsweise hatte das WINNER II-Modell großen Einfluss auf die Definition der Kanalmodelle für IMT-Advanced. Zudem werden die WINNER-Modelle voraussichtlich auch eine Rolle für die Kanalmodelle für LTE-Advanced spielen.

4.2.5 IMT-Advanced-Modelle

Das Kanalmodell (primary module), um Kandidaten für Funktechnologien für IMT-Advanced zu evaluieren, basiert auf

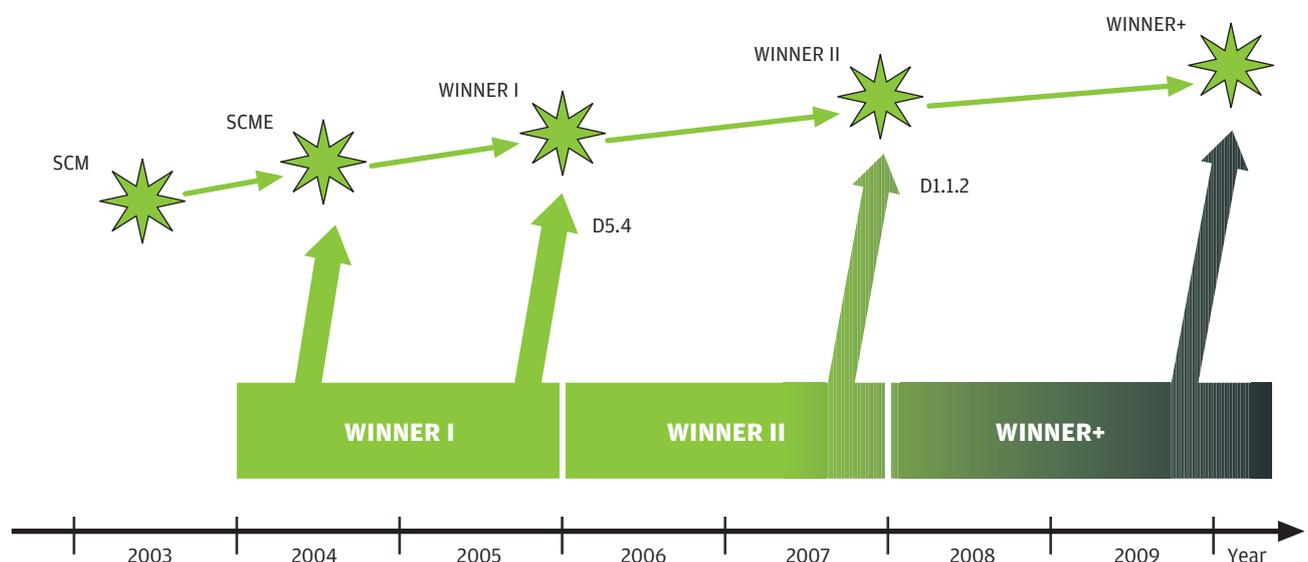


Abbildung 11: Geschichte des WINNER-Projektes.

Tabelle 1: Vergleich der Eigenschaften verschiedener GSCM-Modelle

| Feature | SCM | SCME | WINNER I | WINNER II | IMT-Advanced |
|------------------------------------------|-----|------|----------|-----------|--------------|
| Bandwidth \geq 100 MHz | No | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Indoor scenarios | No | No | Yes | Yes | Yes |
| Outdoor-to-indoor scenario | No | No | No | Yes | Yes |
| AoA/AoD elevation | No | No | Yes | Yes | No |
| Intra-cluster delay spread | No | Yes | No | Yes | Yes |
| TDL/CDL model based on the generic model | No | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Cross-correlation between LSPs | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Time evolution of model parameters | No | Yes | No | Yes | No |

Tabelle 2: Parameter verschiedener GSCM-Modelle

| Parameter | Unit | SCM | SCME | WINNER I | WINNER II | IMT-Advanced |
|----------------------------------|------|-----------|-----------|----------|-----------|--------------|
| Max. bandwidth | MHz | 5 | 100* | 100** | 100** | 100** |
| Frequency range | GHz | 2 | 2 - 5 | 2 - 6 | 2 - 6 | 2 - 6*** |
| No. of scenarios | | 3 | 3 | 7 | 12 | 5 |
| No. of clusters | | 6 | 6 | 8-24 | 8-20 | 10-20 |
| No. of mid-paths per cluster | | 1 | 3 - 4 | 1 | 1 - 3 | 1 - 3 |
| No. of sub-paths per cluster | | 20 | 20 | 10 | 20 | 20 |
| No. of taps | | 6 | 18 - 24 | 8 - 24 | 12 - 24 | 14 - 24 |
| eNodeB angle spread | ° | 5 - 19 | 5 - 18 | 3 - 38 | 3 - 58 | 6 - 42 |
| UE angle spread | ° | 68 | 62 - 68 | 10 - 53 | 16 - 55 | 30 - 74 |
| RMS delay spread | ns | 160 - 660 | 231 - 841 | 2 - 235 | 16 - 630 | 20 - 365 |
| Shadow fading standard deviation | dB | 4 - 10 | 4 - 10 | 1 - 8 | 3 - 8 | 3 - 8 |

* künstliche Erweiterung des 5 MHz-Modells ** beruht auf Messungen bei 100 MHz Bandbreite *** Rural macro cell 0,45 - 6 GHz.

dem Modell von WINNER II - allerdings wurden einige Parameter länderspezifisch angepasst. Außerdem wurden einige Vereinfachungen vorgenommen. Es gibt vier vorgeschriebene Kanalmodelle: urban macro-cell (UMa), urban micro-cell (UMi), indoor hotspot (InH) und rural macro-cell (RMA). Hinzu kommt das optionale Modell suburban macro-cell (SMa). Eine genauere Beschreibung dieser Modelle findet man auf der Website der ITU [8].

4.2.6 Vergleich der GSCM-Modelle

Einen Vergleich der Eigenschaften und Parameter der GSCM-Modelle, die in diesem White Paper vorgestellt wurden, zeigen

die Tabellen 1 und 2. Es zeigt sich, dass SCME, WINNER II und IMT-Advanced gut geeignet sind, um weitergehende Tests für LTE und LTE-Advanced durchzuführen.

Die Entwicklung der verschiedenen hier behandelten Modelle für den Funkkanal ist in Abbildung 12 dargestellt. SCM ist das erste GSCM-Modell, das breit angewendet wurde. SCME, WINNER I, WINNER II und WINNER+ beruhen auf den gleichen Prinzipien, bieten aber mehr Features und genauere Ergebnisse, da in ihre Entwicklung zahlreiche Kanal-Messungen und neue Forschungsergebnisse über die Signalausbreitung eingeflossen sind. Die standardisierten Modelle werden oft vereinfacht, um ihre Komplexität zu verringern und ihre Beschreibung im Rahmen der Spezifikation zu vereinfachen.

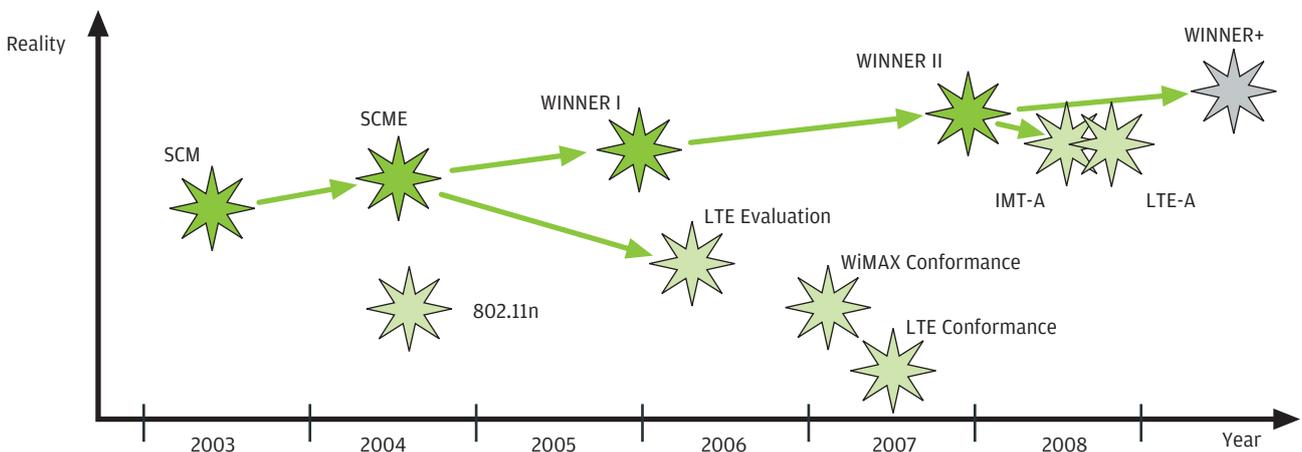


Abbildung 12: Die Entwicklung der Kanal-Modelle.

5. ZUSAMMENFASSUNG

LTE-Konformitäts-Tests sollen sicherstellen, dass Produkte konform zum Standard sind und im realen Betrieb keine Probleme im Netzwerk verursachen. Um ihre tatsächliche Qualität zu beurteilen, sind sie allerdings nicht ausreichend. Darum sollten die Hersteller weitergehende Tests durchführen, bevor sie ihre Produkte auf den Markt bringen. Nur so kann die Leistungsfähigkeit der Geräte präzise bestimmt werden.

Diejenigen Hersteller von LTE-Produkten, die Laboruntersuchungen mit fortschrittlichen Kanal-Modellen (zum Beispiel SCM, SCME oder WINNER) durchführen, werden im hart umkämpften Markt einen Wettbewerbsvorteil haben. Mithilfe der weitergehenden Tests können die Hersteller die Leistungsfähigkeit von Basisstationen und Endgeräten während der gesamten Produktentwicklung überwachen und die Netzbetreiber von den Fähigkeiten ihrer Geräte überzeugen.

Weitergehende Tests bringen aber auch den Netzbetreibern Vorteile. Denn von ihrer Service-Qualität hängt die Loyalität der Kunden ganz wesentlich ab - und dabei spielt die Effizienz der Funkschnittstelle eine entscheidende Rolle. Die Netzbetreiber können die besten Basisstationen und Endgeräte identifizieren, indem sie ihre eigenen detaillierten Test-Szenarien definieren. Das ist die Voraussetzung dafür, den Kunden einen optimalen Service zu bieten.

6. LÖSUNGEN VON EB

EB ist ein weltweiter Technologieführer bei Geräten für die Messung, Modellierung und Emulation von Funksystemen. EB beteiligt sich darüber hinaus aktiv an der Entwicklung und Definition von Industriestandards für drahtlose Kommunikationssysteme und nutzt dieses Wissen, indem es darauf aufbauend Konformitäts- und weitergehende Tests in seine Produkte integriert. Die EB Prosim™-Familie von Funkkanal-Emulatoren wird darum weltweit für den Test neuer drahtloser Produkte eingesetzt - und zwar während des gesamten Entwicklungszyklus.

In den vergangenen Jahren hat EB räumliche Kanal-Modelle für eine große Zahl verschiedener Standards wie ITU-R IMT-Advanced, 3GPP, IEEE 802.16m und für das WiMAX-Forum beigetragen. Im Rahmen des European Wireless World Initiative New Radio-Projektes (WINNER) hat das Unternehmen die Führung im Bereich der Funkkanal-Modelle übernommen, und es sitzt der Gruppe vor, die bei ITU-R IMT-EVAL Funkkanal-Modelle entwickelt. In jüngster Zeit wurden Modelle auf der Basis von WINNER von der ITU, 3GPP und IEEE übernommen.

Mithilfe der Funkkanal-Emulatoren aus der EB Prosim-Familie können extrem realitätsnahe Szenarien für die drahtlose Kommunikation entwickelt werden. Sie gestatten es, alle Eigenschaften des Funkkanals zu berücksichtigen und liefern darum Testergebnisse, die wesentlich näher an der Realität liegen. Die herausragenden Eigenschaften der Prosim-Produkte sind ihre weltweit einzigartige Performance so wie die 100prozentige Wiederholbarkeit der Test-Szenarien. Das garantiert die realistische Funkkanal-Emulation für alle Arten von Anwendungen im Bereich der drahtlosen Kommunikation.

Weitere Informationen erhalten Sie auf der Internetseite von EB: http://www.elektrobit.com/what_we_deliver/wireless_communications_tools/applications/spatial_channel_modeling und www.elektrobit.com/ebprosim.

7. QUELLEN

- [1] 3GPP TS 36.101, 36.104
- [2] 3GPP TS 36.141, 36.521, 36.508, 36.509, 36.523, 36.903
- [3] S. Sesia, I. Toufik, M. Baker (Editors), "LTE, The UMTS Long Term Evolution - From Theory to Practice", John Wiley & Sons, 2009.
- [4] 3GPP TR25.996 V6.1.0 (2003-09), "Spatial channel model for multiple input multiple output (MIMO) simulations," Release 6.
- [5] D. S. Baum, G. Del Galdo, J. Salo, P. Kyösti, T. Rautiainen, M. Milojevic, and J. Hansen, "An Interim Channel Model for Beyond-3G Systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference VTC'05-Spring, Stockholm, Sweden, May 2005.
- [6] D. S. Baum, H. El-Sallabi, T. Jämsä, et al., "Final report on link level and system level channel models", WINNER Deliverable D5.4, October 2005, (<http://www.ist-winner.org/>)
- [7] P. Kyösti, J. Meinilä, L. Hentilä et al., "WINNER II Channel Models", IST-4-027756 WINNER II Deliverable D1.1.2, V1.2, February 2008 (<http://www.istwinner.org/>).
- [8] Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced, ITU-R Report M.2135, 2008. Available online at <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=study-groups&rlink=rsg5-imt-advanced&lang=en>.

WEITERE INFORMATIONEN

EB

Konzernzentrale

Tutkijantie 8

FI-90570 Oulu, Finnland

Tel: +358 40 344 2000

Fax: +358 8 343 032

Email: rcpsales@elektrobit.com

Internet: www.elektrobit.com/ebpropsim

GIGACOMP GmbH

Richard-Wagner St. 31

82049 Pullach, Deutschland

Tel. +49 89 32208957

Fax: +49 89 32208958

Internet: www.gigacomp.de



www.elektrobit.com