

**B**reitbandiger, drahtloser und flächendeckender Funkzugang z.B. als Alternative zu DSL ist seit Mitte der 90er Jahre verfügbar. Durchforscht man jedoch Marktanalysen nach dem Durchdringungsgrad dieser Technik, muss man DSL einen klaren Sieg attestieren. Die an sich attraktive Funkzugangstechnik sah sich einer Reihe von Randbedingungen gegenüber, die den Einsatz erschwerten oder unmöglich gemacht haben. Hierfür gab es mehrere Gründe, die wesentlichen sind jedoch regulatorischer und kommerzieller Natur; mangelnde Technik hat weniger eine Rolle gespielt. Die verfügbare Breitbandtechnik ist zwar technisch gesehen sehr leistungsfähig, aber weitgehend proprietär (also herstellerabhängig) und zu teuer und damit auf den mehr professionellen Teil des Marktes beschränkt. Keiner der Hersteller konnte die für einen breiten Einsatz erforderlichen „Stückzahlen-Effekte“ erreichen. Zudem erschwerte eine komplexe Regulierungslandschaft mit einer Vielzahl von länderspezifischen Randbedingungen für Frequenzbänder, erforderliche Bandbreiten und

# WiMAX – ein neuer Stern am Wireless-Himmel

**Gibt es endlich eine drahtlose Konkurrenz zu DSL?**

**WiMAX als Schlagwort für eine neue Funktechnik hat in letzter Zeit einige Aufmerksamkeit erlangt. Liegt hier der Schlüssel zu einem universellen, breitbandigen und mobilen Funkzugang, der bisherige Verfahren wie WLAN oder UMTS in den Schatten stellen kann? Dieser Artikel stellt den technischen und regulatorischen Zusammenhang her und beschreibt die möglichen Einsatzfälle und Leistungsmerkmale.**

Von Dr. Hans-Peter Petry und Prof. Dr. Bernd Friedrichs

Standard	Nutzer-Datenrate	Flächendeckung/ Reichweite
DECT	gering	gering
Bluetooth	hoch	sehr gering
GSM (2G; 2,5G)	gering	hoch
UMTS (3G)	mittel	mittel bis hoch
UMTS (HSDPA)	hoch	gering
WLAN	hoch	gering
DSL	sehr hoch	mittel

**Tabelle 1. Bandbreite und Flächendeckung einiger aktueller breitbandiger Funkstandards im Vergleich zu DSL**

sonstigen Einschränkungen den schnellen und effizienten „Roll out“. Trotzdem gibt es einige Beispiele für erfolgreiche Einsatzszenarien, die zumindest aus technischer Sicht die Konkurrenzfähigkeit der Funktechnik beweisen.

## ► Globale Standards öffnen dem Massenmarkt die Tür

Andere Zugangsverfahren wie WLAN und UMTS zeigen hier den Weg: Durch Schaffung globaler Standards können die Aufwendungen für Forschung und Entwicklung auf viele Schultern verteilt werden und somit sinken für den

einzelnen Hersteller die Risiken beträchtlich. Große Chip-Hersteller investieren in komplexe Schaltkreise, auch leistungsfähige Technik kann damit sehr kostengünstig hergestellt werden. Aus diesem Grunde wurden Ende der 90er Jahre von weltweiten Standardisierungsgremien wie ETSI und IEEE entsprechende Aktivitäten gestartet (*Bild 1*).

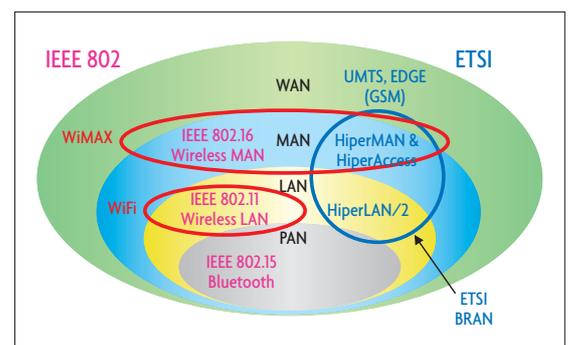
Globale Standardisierungsaktivitäten unterscheiden bei den Funkzugangsverfahren unterschiedliche Bereiche:

- mikro- und picozellulare Verfahren wie DECT, Bluetooth und WLAN, die für eine flächendeckende Anwendung nicht geeignet sind, sowie
- mobile Verfahren wie GSM, UMTS oder andere Mobilfunkstandards aus dem amerikanischen Raum, die zwar flächendeckend verfügbar, aber aufgrund der Anforderung an die Mobilität in ihrer Bandbreite begrenzt sind.

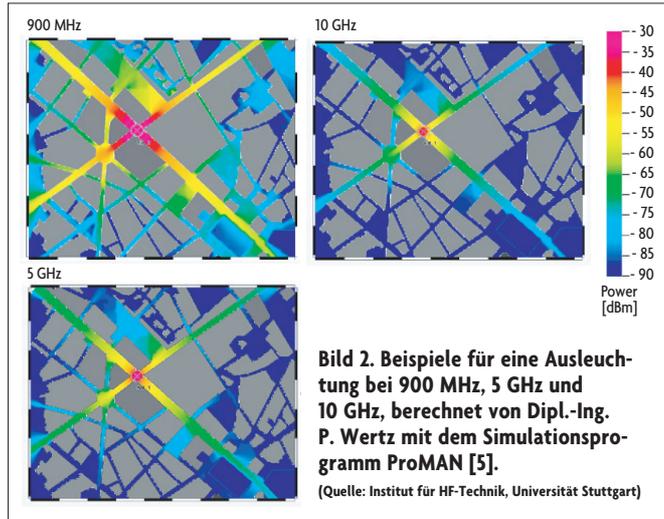
Es bestand also eine Lücke für Verfahren, die sowohl eine entsprechende Flächendeckung – vergleichbar mit der Leistungsfähigkeit heutiger Mobilfunksysteme – als auch entsprechende Bandbreiten innerhalb der Ausleuchtzonen bereitstellen (s.a. *Tabelle 1*). Bei

den Bandbreiten liegt die Orientierung an DSL nahe, bei der verlässliche Bandbreiten-Angebote mit einer entsprechenden Dienstgüte (QoS) zum Endteilnehmer im Bereich zumindest einiger Mbit/s bereitgestellt werden.

Für die Verbindung zum Endteilnehmer ist dabei ein besonders wichtiges Kriterium zu beachten: Die Technik muss in der Lage sein, auch bei nicht direkter Sicht vom Sender zum Empfänger (NLoS) die oben dargestellten Leistungsmerkmale aufzuweisen. Zusammen mit der besseren Abdeckung und gleichzeitig hoher Bandbreite und Übertragungsqualität stellt dies eine neue Herausforderung dar, der die Standardisierungsaktivitäten Rechnung zu tragen versuchen. Erfah-



**Bild 1. Übersicht über die Standardisierungsaktivitäten von IEEE und ETSI.** (Quelle: Marconi)



rungsgemäß stecken dahinter aber langwierige Prozesse und Einigungsversuche, bei denen nicht immer die beste Technik gewinnt, sondern eine Vielzahl politischer und kommerzieller Interessen zu berücksichtigen ist.

### Was steckt hinter WiMAX?

Um diese Prozesse zu beschleunigen und die entsprechende Technik früher am Markt zu platzieren, hat sich eine Reihe von Interessenverbänden etabliert. Ein erfolgreiches Beispiel ist die „WiFi Alliance“ [1], die entsprechende Aktivitäten im Bereich des WLAN-Stan-

dards IEEE 802.11 vertritt. Mit einem ähnlichen Hintergrund versucht das WiMAX-Forum [2], die Standardisierungsprozesse zu beschleunigen und für den Einsatz zu qualifizieren. Die von IEEE [3] oder ETSI [4] vorgegebenen Standards sind dabei mehr als ein Rahmenwerk zu betrachten, WiMAX setzt sich zum Ziel, über so genannte „Profiles“ interoperable Produkte auf den Markt zu bringen. Dies kann den Weg zu einem Massenmarkt zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt öffnen. Diese Strategie scheint zur Zeit aufzugehen, da fast alle namhaften Hersteller dem WiMAX-

Forum beigetreten sind. Netzbetreiber verhalten sich etwas zurückhaltender, die meisten verfolgen die Aktivitäten aber mit großem Interesse und haben damit begonnen, Vorversionen der Technik in Feldversuchen zu erproben. Das Interesse von Firmen wie Intel besteht jedoch darin, die neue Funktechnik in geeignete Endgeräte zu implementieren und hierfür die entsprechenden Chipsätze bereitzustellen.

Die angesprochenen Aktivitäten haben wohl auch zu teilweise übertriebenen Aussagen über die zu erwartende Leistungsfähigkeit der hinter WiMAX stehenden Technik geführt. Dies ist insofern kritisch, da dieser Ansatz nicht den ersten Versuch darstellt, breitbandige Funktechnik am Markt einzuführen.

### Kriterien für die Beurteilung der Verfahren

Die Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren sind verhältnismäßig einfach zu verstehen, wenn die dahinterliegenden wesentlichen physikalischen Zusammenhänge und einige weitere Randbedingungen verdeutlicht werden. Die Erfahrung zeigt auch hier, dass sich nicht alle Vorteile eines Verfahrens gleichzeitig nutzen lassen. Zu den wesentlichen Kriterien bei der Beurteilung eines Übertragungsverfahrens gehören die folgenden Aspekte:

- Fähigkeit, unter NLoS-Bedingungen eine gute Abdeckung zu ermöglichen,
- Beherrschung eines sehr dynamischen, zeitvarianten Übertragungskanal,

### Glossar

BRAN	Broadband Radio Access Networks (ETSI-Komitee)
DECT	Digitally Enhanced Cordless Telephony
DSL	Digital Subscriber Line
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LoS	Line of Sight
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NLoS	Non Line of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
TD-CDMA	Time Division CDMA
UMTS	Universal Mobile Telephony System
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

- Bereitstellung hoher Flächenkapazitäten bei beschränkten Frequenz-Ressourcen (Frequenzeffizienz),
- Bereitstellung hoher Nutzer-Datenraten bei gleichzeitig hohen Flächenkapazitäten und beschränkten Frequenz-Ressourcen sowie
- QoS unter all diesen Randbedingungen.

Darüber hinaus kann sich noch eine Reihe individueller und länderspezifischer, meist regulatorisch bedingter Randbedingungen ergeben, welche die Leistungsfähigkeit weiter einschränken können, wie z.B. eine Begrenzung der Leistungsflussdichte.

Dabei ist die Ausleuchtung von vornherein keine Frage des verwendeten Luftschnittstellen-Standards, sondern sie hängt im Wesentlichen von der Frequenz ab. Dies liegt an der Physik der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen und an den Dämpfungs- und Reflexionseigenschaften von Materialien, die z.B. bei der Berechnung der Gebäudedurchdringung zu berücksichtigen sind. Beispiele für typische urbane Ausbreitungsszenarien für 900 MHz, 5 GHz und 10 GHz zeigt *Bild 2*. Für gute oder sehr gute Abdeckungen sind möglichst niedrige Frequenzen zu bevorzugen, die in der Regel aber von einer Vielzahl von Diensten belegt oder nur mit begrenzten Bandbreiten verfügbar sind.

Innerhalb des vorgegebenen Ausleuchtungsbereiches wird in der Regel ein komplexer und zeitvarianter Übertragungskanal vorliegen. Im Gegensatz zur LoS-Übertragung muss ein Empfänger dabei eine Vielzahl von Signalen verarbeiten können. Diese kommen nicht nur aus unterschiedlichen Richtungen sondern weisen auch, je nach Übertragungspfad, unterschiedliche Laufzeiten auf; diese müssen im Empfänger konstruktiv verwertet werden. Diese Effekte sind besonders ausgeprägt, wenn zusätzlich eine Abdeckung innerhalb von Gebäuden gefordert ist. Diese Sachverhalte sind nicht neu, sondern aus dem Mobilfunk bestens bekannt. Die UMTS-Lösung für eine breitbandige Übertragung ist hier auf W-CDMA basierend, einem Luftschnittstellen-Standard, bei dem das Datensignal in ein relativ breites Frequenzband gespreizt wird. Dies wird

im Prinzip durch Multiplikation mit einer statistischen Folge von Daten erreicht, deren Korrelationseigenschaften (Codes) im Empfänger bekannt sind. Der Grundgedanke des Verfahrens beruht dabei, vereinfacht gesagt, auf der Tatsache, dass ein derart gespreiztes Signal auf schmalbandige Störungen weniger empfindlich reagiert als ein

zunächst rein theoretisch ein Vorteil für OFDM im Hinblick auf eine höhere Effizienz des Spektrums.

Die Frage ist aber, ob die höheren Modulationsstufen in der Praxis genutzt werden können. Dies hängt natürlich von der Qualität der individuellen Verbindung ab, die über den Signal-Störabstand messbar ist. In der Realität

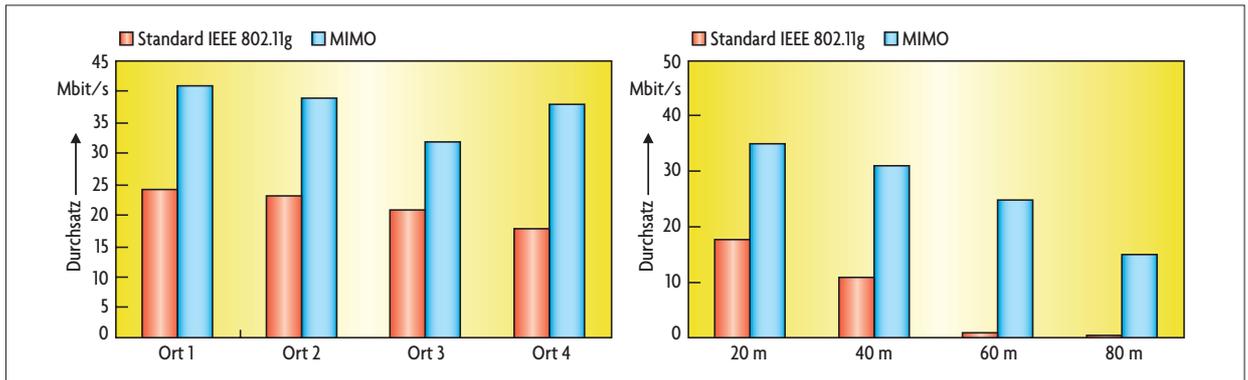
Standard	Frequenz	Medium	theoretisch erreichbare maximale Nutzer-Datenrate (Mbit/s)	reale Nutzer-Datenrate unter normal günstigen Bedingungen (Mbit/s)
WiFi (IEEE 802.11g)	2,4 GHz	Funk, NLoS	54	20 – 25
UMTS (W-CDMA)	1,9 GHz	Funk, NLoS	2,8	0,2 – 0,3
UMTS HSDPA	1,9 GHz	Funk, NLoS	14	1
UMTS TD-CDMA	2,6 GHz	Funk, NLoS	3	0,6 – 0,7
WiMAX (IEEE 802.16/2004)	3,5 GHz	Funk, LoS	50	10 – 20
WiMAX (IEEE 802.16/2004)	3,5 GHz	Funk, NLoS	20	2 – 4
ETSI BRAN	> 10 GHz	Funk, LoS	120	20 – 30
DSL (ADSL)		Kupfer	4 – 6	3 – 4

**Tabelle 2. Vergleich der Datenraten verschiedener Funkstandards mit DSL**

Einträger-Verfahren. Die Robustheit wird dabei durch einen höheren „Verbrauch“ von Bandbreite erkauft. OFDM – eine für WiFi und WiMAX genutzte Technik – geht von einem ähnlichen Gedanken aus: Das Datensignal wird in eine große Zahl von parallelen Teilströmen aufgeteilt und jeder einzelne auf einen schmalbandigen Träger aufmoduliert. Je nach Anzahl der Träger (übliche Werte in den Standards sind 256 und/oder 512 oder gar mehr) führt dies auch zu einem Mehrbedarf an Bandbreite gegenüber einem Einträger-Verfahren. Daher sind auch solche Spektren relativ robust gegen schmalbandige Störeffekte wie oben beschrieben. Der theoretische Vorteil gegenüber CDMA wird dadurch begründet, dass man über moderne Methoden der digitalen Signalverarbeitung direkten Zugriff auf die einzelnen Träger hat. Hiermit lässt sich z.B. jeder einzelne Träger individuell modulieren, im Gegensatz zu W-CDMA kommen höherstufige adaptive – d.h. im Betrieb veränderbare – Modulationsverfahren bis zu 64 QAM zum Einsatz. Da W-CDMA in der Regel auf 4 QAM beschränkt ist, ergibt sich

wird eine höherstufige Modulation für einen LoS-Link besser sein als für einen NLoS-Link. Daher ergeben sich in der Praxis deutliche Unterschiede zwischen diesen beiden Betriebsfällen – auch im Hinblick auf die Effizienz und nicht nur für die Ausleuchtung. Dies ist ein weiteres Beispiel dafür, dass sich das theoretisch Mögliche an den praktischen Gegebenheiten orientieren muss.

Im ungünstigsten Fall ist daher zu erwarten, dass ein OFDM-basiertes System nicht wesentlich besser abschneidet als ein W-CDMA-System. Die Verwendung höherstufiger Modulationsverfahren (16 QAM) auch bei W-CDMA (HSDPA) lässt die Grenzen



**Bild 3. Gemessener Durchsatz eines WLAN mit und ohne MIMO für eine typische, OFDM-basierte WLAN-Konfiguration nach IEEE 802.11 g.**

(Quelle: Marconi)

im NLoS-Fall weiter verwischen. W-CDMA, die so genannte TD-CDMA-Variante, wird neben den mobilen Anwendungen auch für den drahtlosen DSL-Ersatz verwendet und ist somit auch ein direkter Konkurrent von WiMAX. Die von WiMAX beanspruchten Datenraten und Reichweiten bei LoS-Betrieb sind aber eher mäßig und werden von klassischer Richtfunktechnik leicht übertroffen.

### ► Was kann erwartet werden?

In der Summe führen diese vereinfachten Überlegungen zu Abschätzungen der erzielbaren Bandbreite pro Nutzer (Tabelle 2). Wichtig dabei ist natürlich die Angabe der zur Verfügung stehenden HF-Bandbreite. Im Vergleich ist daher immer die HF-Frequenz mit angegeben. In erster Näherung können die Angaben auf andere Bandbreite-Werte skaliert werden. Darüber hinaus ist aber auch zu beachten, dass es sich in der Regel (wie im Mobilfunk) um zellulare Systeme handelt, bei denen die einzelnen Zellen aufgrund ihrer höheren Reichweite hinreichend entkoppelt werden müssen. Geschieht dies über die Frequenz (Stichwort: „Re Use“-Faktor), müssen weitere Abstriche an die Netto-Bandbreite gemacht werden. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu picozellularen Systemen (z.B. WLAN), bei denen die Frequenz aufgrund der geringen Reichweite leicht „wiederverwendet“ werden kann.

Darüber hinaus ist es, insbesondere für die Berechnung von Geschäftsmodellen, wichtig, wie viele Breitband-Nutzer mit welchen Qualitätsparametern in einer Funkzelle untergebracht werden können. Dies ist zunächst auch

eine Frage der zur Verfügung stehenden HF-Bandbreite, die über die resultierende Modulationseffizienz in Daten-Bandbreite umgerechnet werden kann. Im Falle eines Punkt-zu-Mehrpunkt-Systems (PMP) ist die Leistungsfähigkeit des Zugriffsprotokolls MAC-Protokoll entscheidend, da sich die Teilnehmer einer Funkzelle die zur Verfügung stehende Bandbreite teilen müssen. Hier bieten die Standards nach IEEE 802.16 oder ETSI BRAN deutlich mehr als z.B. das WLAN nach IEEE 802.11. Der Zugriff wird dabei nicht wie in einem LAN geregelt, sondern über sehr leistungsfähige MAC-Protokolle gesteuert. Hiermit gelingt eine viel bessere Kontrolle über den QoS als im Falle der reinen Kollisionsauflösung. Dies gilt sowohl für Systeme, die auf ATM basieren (ETSI BRAN HiperAccess), aber auch für rein IP-basierte Systeme wie IEEE 802.16 und IEEE 802.20. Die in rein IP-basierten Netzen übliche Strategie, QoS über den Umweg überschüssiger Bandbreite zu erreichen, ist bei funkbasierten Systemen aufgrund der immer vorhandenen Beschränkung der Bandbreite nicht tragfähig.

### ► Gibt es Verbesserungspotential?

Die bestimmenden Parameter für einen kommerziell attraktiven Breitband-Funkzugang sind die für den Nutzer verfügbare Bandbreite und die Abdeckung. Wie schon dargestellt, hängt dies von der effizienten Beherrschung und Nutzung des zur Verfügung stehenden Übertragungskanals ab. Genau hier liegt der Ansatz für weitere Verbesserungen. In den vergangenen Jahr-

zehnten hat man sich bei der Optimierung dieser Aufgabenstellung meist auf Modulation, Kanalcodierung und Zugriffsverfahren konzentriert, andere wichtige Bestandteile der Übertragungsstufen weniger im Vordergrund. Hierzu gehören insbesondere die Antennen auf beiden Seiten der Übertragungsstrecke. Diese sind beim heutigen Stand der Technik in der Regel einfach und passiv ausgelegt. Neuere Erkenntnisse zeigen jedoch, dass durch intelligente Mehrantennensysteme auf beiden Seiten der Übertragungsstrecke erhebliche Verbesserungen der vom Nutzer direkt erfassten Parameter erreicht werden. Diese so genannten MIMO-Verfahren verwenden mehrere unabhängige Übertragungswege zur Verbesserung der spektralen Effizienz bei gleichzeitiger Optimierung der Feldstärke. Dies funktioniert besonders gut in Szenarien mit erhöhtem Anteil von Umwegen durch Reflexion und Streuung oder Beugung. Darüber hinaus kann auch die Polarisation des elektromagnetischen Feldes konstruktiv genutzt werden. Die Bereitstellung einer entsprechenden Vielzahl von Antennen ist bei den Basisstationen leicht vorstellbar, bei kostengünstigen Endgeräten jedoch eine technische, mechanische und wirtschaftliche Herausforderung. Neueste Entwicklungen auf diesem Gebiet zeigen jedoch gute Ansätze für die Realisierbarkeit. Entsprechend klug dimensionierte Antennen lassen sich direkt in Endgeräte wie Laptops oder als PCMCIA-Einschubkarten integrieren, die in den ICs implementierten Signalverarbeitungs-Algorithmen werden mit steigender Rechenkapazität und Integrationsdichte immer leistungsfähiger, und damit wird auch die Komplexität beherrschbar.

Im Bereich der WLANs sind seit kurzem erste relativ kostengünstige Produkte dieser Art verfügbar. Eine Vielzahl von Tests hat bereits erstaunliche Verbesserungen schon bei einer geringen Anzahl von Antennen gezeigt. Bild 3 zeigt dies für eine typische WLAN-Konfiguration über kurze Entfernungen. Die Ergebnisse können teilweise auf andere Gegebenheiten übertragen werden, auch WiMAX wird davon profitieren können. Vergleichbar gerechnet, werden damit die Beschränkungen durch die endliche Bandbreite zumindest teilweise kompensiert werden können.

### ► Marconis Strategie und Produktportfolio

Der frische Wind im Funkzugangsbe- reich muss aber etablierten Verfahren nicht unbedingt schaden. Sicher möch- ten manche aus WiMAX eine Bedroh- ung für UMTS oder verwandte Mo- bilfunkstandards machen. Auch im Be- reich des breitbandigen Mobilfunks gibt es Verbesserungspotential und vor- teilhafte Weiterentwicklungen, insbe- sondere in Hinblick auf die Nutzer- Bandbreite wie HSDPA und „enhanced Uplink“. UMTS hat darüber hinaus deutliche Vorteile im Reifegrad, bei der Frequenzverfügbarkeit und im Be- reich der Mobilität.

WiMAX ist also eher eine Er- gänzung; dies betrifft insbesondere DSL-Erweiterungen in ländlichen Gebieten oder die Bereitstellung ei- nes breitbandigen Zugangs in Ge- genden ohne die erforderliche In- frastruktur. Mobilität, oder zumin- dest eine Teilmobilität, kann dabei natürlich von großem Vorteil sein. Die Standardisierungsaktivitäten haben in dieser Richtung bereits klare Zeichen gesetzt. Entsprechen- de Systeme sind aber erst in frü- hestens zwei bis drei Jahren zu er- warten. Die globale Frequenzver- fügbarkeit bleibt hier ein kritischer Parameter.

Für Systemhersteller ist es wich- tig, bei der Entwicklung neuer Technik einen möglichst breiten Markt abzudecken. Mit dem weite- ren Ausbau der Mobilfunknetze von der zweiten zur dritten Gene- ration ist dies derzeit der Fall. Mar-

coni hat daher ein System entwickelt, dass auf dem ETSI-BRAN-Standard auf- baut und in seiner ersten Version für die LoS-Übertragung bei hohen Fre- quenzen zum Einsatz kommt. Es ist da- mit der Nachfolger der klassischen Richtfunktechnik, verlässt aber den Be- reich der reinen Übertragung; das Sys- tem stellt eine universelle und flexible Zugangsplattform dar, die es gestattet, funkbasierte Netze mit verteilter Intel- ligenz auszustatten. Aufgrund des Ein- satzes bei höheren Frequenzen steht ausreichend Bandbreite zur Verfügung. In der ersten Phase wird das System zur Versorgung von 2G- und 3G-Mo- bilfunk-Basisstationen verwendet. In einer weiteren Ausbaustufe werden die Netzknoten mit einer zusätzlichen Luftschnittstelle nach WiMAX ausge- stattet. Dies erlaubt eine reibungslose Konvergenz aller genann- ten Funkübertragungsver- fahren. *jw*

#### Internet-Links

- [1] WiFi Alliance: [www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org)
- [2] WiMAX: [www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)
- [3] IEEE: [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
- [4] ETSI: [www.etsi.org](http://www.etsi.org)
- [5] AWE Communications – [www.awe-communications.com](http://www.awe-communications.com)



#### Dr. Hans-Peter Petry

promovierte als Doktorand der Physik und Elektrotechnik an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken. Nach einer Tätigkeit für die Deutsche Forschungsgemeinschaft kam er 1983 zu Marconi (ehemals Telefunken, ANT Nachrichtentechnik und Bosch Telekom), wo er in mehreren leitenden Positionen der Entwicklung tätig war. Derzeit ist er Leiter des Produktmanagements für Marconis „Fixed Wireless“ Produktportfolio.

► E-Mail: [hans-peter.petry@marconi.com](mailto:hans-peter.petry@marconi.com)



#### Prof. Dr. Bernd Friedrichs

studierte bis 1980 Mathematik und Informatik an der TU Braunschweig, promovierte 1990 extern in Elektrotechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg und wurde 2002 zum Honorarprofessor an der Universität Karlsruhe ernannt. Er ist seit 1980 in Backnang bei der Firma Marconi Communications beschäftigt, zunächst in der Vorentwicklung und seit einiger Zeit in der Richtfunk-Entwicklung. Sein Hauptarbeitsgebiet ist der Systementwurf von breitbandigen Punkt-zu-Mehr- punkt-Funksystemen mit Schwerpunkt auf dem „Data Link Control Layer“. Daneben ist er in der internationalen Standardisierung aktiv, u.a. seit 2002 als Chairman des ETSI Technical Committee BRAN (Broadband Radio Access Networks), in dem die Techno- logien HiperLAN, HiperAccess und HiperMAN in Kooperation mit IEEE 802.x und dem WiMAX- Forum entwickelt werden.

► E-Mail: [bernd.friedrichs@marconi.com](mailto:bernd.friedrichs@marconi.com)