

Geschäftsmodelle und aktuelle Entwicklungen im Markt für Broadband Wireless Access-Dienste

Autoren:
Franz Büllingen
Christin-Isabel Gries
Peter Stamm

Bad Honnef, März 2008

**WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH**

Rhöndorfer Str. 68, 53604 Bad Honnef

Postfach 20 00, 53588 Bad Honnef

Tel 02224-9225-0

Fax 02224-9225-63

Internet: <http://www.wik.org>

eMail info@wik.org

[Impressum](#)

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	V
Zusammenfassung	VII
Summary	VIII
1 Erwartungen an Broadband Wireless Access	1
2 Marktstruktur, Wettbewerb und Preisentwicklung im deutschen Breitbandmarkt	2
2.1 Markt für fixe Breitbandzugänge	2
2.2 Markt für mobile Breitbandzugänge	6
3 BWA-Standards und ihre technologischen Merkmale	8
3.1 IEEE 802.16-Standardfamilie	10
3.2 Technologische Merkmale	13
3.2.1 Physikalische Schicht	13
3.2.1.1 Betriebsfrequenzen	13
3.2.1.2 Übertragungsverfahren	15
3.2.1.3 Antennentechnologie	15
3.2.1.4 Reichweite und Datendurchsatz	18
3.2.2 MAC-Schicht	19
3.2.2.1 Quality of Service	20
3.2.2.2 Sicherheitsmaßnahmen	22
3.2.3 Mobilitätsunterstützung	23
3.2.4 WiMAX Netzstruktur	25
3.2.5 Verfügbarkeit von WiMAX-Komponenten	28
3.2.6 Zusammenfassung der wesentlichen technologischen Merkmale	30
4 Die Vergabe von BWA-Frequenzen für den deutschen Markt	31
4.1 Zuteilung der BWA-Frequenzen	31
4.1.1 Wahl des Vergabeverfahrens	31
4.1.2 Versteigerungsverfahren und Zuteilungsauflagen	32
4.2 Ergebnis des BWA-Versteigerungsverfahrens im 3,5 GHz-Bereich	35

4.3	Zuteilung von Restspektrum im 3,5 GHz-Bereich und weitere Frequenzbänder	37
5	Geschäftsmodelle im Markt für BWA	39
5.1	Wertschöpfungstiefe und Kooperationsmodelle	39
5.2	Wirtschaftliche Einflussfaktoren für WiMAX-Investitionsentscheidungen	41
5.2.1	Wettbewerbliches Umfeld	41
5.2.2	Verfügbarkeit und Kostenfaktoren von WiMAX-Netzelementen	44
5.2.3	Regionale Differenzierung	47
5.3	Wichtige Akteure im Markt für BWA in Deutschland	48
5.4	Dienste über die BWA-Plattform	54
6	Marktentwicklung von BWA in internationalen Vergleichsmärkten	57
6.1	Marktentwicklung von BWA in Belgien	57
6.1.1	Breitbandmarkt in Belgien	57
6.1.2	Regulatorische Vorgaben und Rahmenbedingungen	57
6.1.3	Anbieter	58
6.2	Marktentwicklung von BWA in Frankreich	61
6.2.1	Breitbandmarkt in Frankreich	61
6.2.2	Regulatorische Vorgaben und Rahmenbedingungen	62
6.2.2.1	Vergabe der regionalen WiMAX-Lizenzen	62
6.2.2.2	Weitere Frequenzbereiche für WiMAX	63
6.2.3	Anbieter	63
6.3	Marktentwicklung von BWA in den USA	66
6.3.1	Breitbandmarkt in den USA	66
6.3.2	Regulatorische Vorgaben und Rahmenbedingungen	68
6.3.3	Wettbewerb	69
6.3.4	Anbieter	69
7	Fazit	73
	Literaturverzeichnis	76
	Anhang: Detaillierte Ergebnisse der BWA-Auktion (Dezember 2006)	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Entwicklung der Endkundenpreise für den DSL-Zugang im Vergleich zur nachgefragten Bandbreite, Ende 2003 – Ende 2006	3
Abbildung 2-2:	Wettbewerbstechnologien für ortsfeste Breitbandanschlüsse und ihre Positionierungen	6
Abbildung 3-1:	IEEE 802.16-Standardfamilie im Überblick	12
Abbildung 3-2:	WiMAX-Frequenzbänder weltweit	14
Abbildung 3-3:	Beamforming mittels adaptiver Antennen	17
Abbildung 3-4:	Netzwerkelemente von Mobile WiMAX	25
Abbildung 3-5:	Netzstruktur bei Fixed WiMAX	26
Abbildung 3-6:	Netzstruktur bei Mobile WiMAX	27
Abbildung 3-7:	Verfügbarkeit von Mobile WiMAX-Komponenten	29
Abbildung 5-1:	BWA-Wertschöpfungskette	39
Abbildung 5-2:	Einordnung von Diensten hinsichtlich Bandbreitenbedarf und Empfindlichkeit gegenüber Latenz und Paketverlusten	55
Abbildung 6-1:	Anbietergruppen im französischen WiMAX-Markt	64
Abbildung 6-2:	Dienste-Verfügbarkeit und Kundenentwicklung von Clearwire 2004-2006	70
Abbildung 7-1:	WiMAX im Verlauf der Erwartungskurve	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Aktuelle Preise für Internetzugänge über Mobilfunk	7
Tabelle 3-1:	Technologische Merkmale von WiMAX im Überblick	30
Tabelle 4-1:	Frequenzpakete der Zuteilungsinhaber	36
Tabelle 6-1:	Angebotene Produktvarianten von Clearwire Belgien	60
Tabelle 6-2:	Überblick über WiMAX-Betreiber in Frankreich nach Regionen	65
Tabelle 6-3:	Breitbandige Internet-Anschlüsse in den USA nach Übertragungsraten	68
Tabelle 6-4:	Preisbeispiele für Breitband-Internet über Kabel und DSL in den USA	69
Tabelle 6-5:	Produktangebot von Clearwire in den USA	71

Abkürzungsverzeichnis

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization, Accounting
AAS	Adaptives Antennensystem
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes
ASN-GW	Access Service Network Gateway
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BRAN	Broadband Radio Access Network
BWA	Broadband Wireless Access
CAPEX	capital expenditure
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Europäische Konferenz der Verwaltung für Post und Telekommunikation
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DES	Data Encryption Standard
DFS	Dynamic Frequency Selection
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
E1	Primärmultiplexanschluss mit 2.048 kbit/s Bruttodatenrate
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EMVU	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit
ERC	European Radiocommunications Committee
ertPS	Extended Real-time Polling Service
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
FDD	Frequency Division Duplexing
FTTH	Fibre to the Home
FTTx	Fibre to the x
FWA	Fixed Wireless Access
GHz	Gigahertz
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Download Packet Access
HYTAS	Hybrides Teilnehmer-Anschluss-System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network

LLC	Logical Link Control
LOS	Line of Sight – Sichtverbindung zwischen Basisstation und Nutzerantenne
LTE	Long Time Evolution
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MHz	Megahertz
MIB	Management Information Base
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MVNO	Mobile Virtual Network Operator
NGN	Next Generation Network
NLOS	Non Line of Sight
NOC	Network Operations Center
nrtPS	Non-real-time Polling Service
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OPAL	Optische Anschlussleitung
OSI	Open Systems Interconnection
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PHY	Physikalische Schicht im OSI-Modell
PMP	Point-to-Multipoint
PoP	Point of Presence
PtP	Point-to-Point
QoS	Quality of Service
rtPS	Real-time Polling Service
SMS	Short Message Service
SNMP	Simple Network Management Protocol
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing with Multiple Access
SoHo	Small Office, Home Office
T1	Trunk 1 / Primärmultiplexanschluss mit 1.544 kbit/s Bruttodatenrate
TAL	Teilnehmeranschlussleitung
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TKG	Telekommunikationsgesetz
UGS	Unsolicited Grant Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAP	Wireless Application Protocol
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop

Zusammenfassung

Die Entwicklung des neuen Technologiestandards IEEE 802.16 (WiMAX) für BWA-Netze war mit hohen Erwartungen verbunden. Auch wenn die anfänglichen Versprechungen in der Praxis bei weitem nicht erfüllt werden können, so ist WiMAX doch eine interessante Technologie, um Orte preiswert mit Breitbandanschlüssen im einstelligen Mbit/s-Bereich zu versorgen. WiMAX beinhaltet zudem robuste Sicherheitsverfahren und unterstützt dienstspezifische Quality of Service.

Die seit 2007 verfügbaren Systeme der Standardvariante IEEE 802.16e für Mobile WiMAX setzen modernste Kodierungsverfahren und Antennentechnologie ein, wie sie auch für den künftigen Mobilfunkstandard LTE vorgesehen sind. Sie sind jedoch nicht mit der älteren Fixed WiMAX-Variante kompatibel. Noch im Jahr 2008 sollen Notebooks, kurz darauf auch Mobiltelefone mit integrierten WiMAX-Chips auf den Markt kommen. Als einer der Hauptunterstützer für WiMAX gilt der Prozessorenhersteller Intel, der künftig Notebooks serienmäßig mit WiMAX ausstatten will, um so den Markt für Mobile WiMAX-Dienste anzustoßen.

Noch vor der Marktreife von Mobile WiMAX entwickelte sich Fixed WiMAX zu einer Nischentechnologie für die Versorgung von „weißen Flecken“ auf der Breitbandlandkarte. In Deutschland wurden bereits hunderte von Inselnetzen auf dem Land und in den OPAL/Hytas-Gebieten errichtet, um Breitbandzugänge mit bis zu 4 Mbit/s sowie Telefonanschlüsse anzubieten. Das hierbei zugrunde liegende Geschäftsmodell adressiert die vorhandene Nachfrage nach Breitband und wird dort umgesetzt, wo DSL oder Kabelinternet fehlen und mindestens rund 50 bis 100 Kunden im Abdeckungsgebiet einer Basisstation erreicht werden können. Diese mindestoptimale Betriebsgröße eines lokalen Netzes ist stark abhängig von den örtlichen Kosten der Breitbandzuführung, der Topografie und den Kosten der eingesetzten WiMAX-Systeme.

Die Bundesnetzagentur hat 2006 BWA-Frequenzen im 3,5 GHz-Bereich an drei bundesweite und zwei regionale Zuteilungsinhaber vergeben. Darüber hinaus bestehen für Frequenzen im 5,8 GHz-Bereich Allgemeinzuweisungen. Von den fünf Zuteilungsinhabern sind gegenwärtig erst zwei mit dem Netzausbau tätig. Die Zurückhaltung beim Netzaufbau hat zum Großteil mit der späten Verfügbarkeit der neuen Standardgeneration 802.16e zu tun. Für 2008 wird mit einer deutlichen Beschleunigung gerechnet. Ob diese allerdings groß genug ausfällt, um für alle Frequenzzuteilungsinhaber die für Ende 2009 gesetzte Versorgungsverpflichtung von 15% der Gemeinden zu erreichen, muss derzeit bezweifelt werden.

Noch weitgehend unklar ist gegenwärtig auch, ob sich die BWA-Akteure dazu entschließen werden, das mit weit höheren Investitionen verbundene Geschäftsmodell Mobile WiMAX in Deutschland umzusetzen. Als kritische Einflussfaktoren gelten hierfür insbesondere die Entwicklung der Nachfrage nach mobilen Breitbanddiensten sowie das Investitions- und Wettbewerbsverhalten der Mobilfunknetzbetreiber.

Summary

During the last years, the development of IEEE 802.16 (WiMAX) as new technical standard for broadband wireless access networks aroused high expectations. Even if today's practical performance is well below these early expectations, WiMAX still is an interesting technology to supply areas with broadband access of more than 1 mbps at low cost. WiMAX contains quite robust security systems and supports quality of service.

Systems for Mobile WiMAX according to IEEE 802.16e which are available since 2007 use the latest modulation schemes and new antenna technology. Both very similar to those which are supposed to be used for the coming mobile communications standard LTE. Mobile WiMAX systems are not compatible with the previous Fixed WiMAX version. Later in 2008 notebooks with integrated WiMAX chip sets are expected. Next year also mobile phones with WiMAX should be available. One of the major supporter of WiMAX is the processor manufacturer Intel. Intel intends to start supplying notebooks serially with WiMAX to initiate a push from the demand side for Mobile WiMAX services.

Until the first network roll-outs for Mobile WiMAX services, Fixed WiMAX has become a viable niche technology for broadband in formerly unsupplied regions. There are already hundreds of local WiMAX networks in Germany in rural regions as well as in OPAL/Hytas areas. They offer wireless broadband access with up to 4 mbps and telephone connections. The underlying business model is to address the existing demand for broadband in regions without DSL or Cable Internet, where a minimum of 50 to 100 customers are within the reach of one WiMAX base station. The threshold for commercial successful networks very much depends on the respective costs of backbone connections, topographic circumstances and the cost of WiMAX equipments.

In 2006, the Federal Network Agency allocated a range of frequencies for broadband wireless access at 3.5 GHz to three nationwide and two regional assignment holders. Additionally there are general assignments for 5.8 GHz frequencies. Up to now, only two of the five assignment holders show activities in rolling-out wireless broadband access networks. Much of the reluctance in rolling-out networks can be explained by the late availability of the new standard generation 802.16e. Hence a noticeable acceleration of network activities is expected for this year. If these activities are large enough and if all assignment holders will reach the provisioning obligation of 15% of all communes until the end of 2009, must be very much doubted at the moment.

Still it is also quite uncertain if wireless broadband access players in Germany will decide to start with the Mobile WiMAX business model at all. This would involve major investments, much higher than for Fixed WiMAX. Contributing factors for this decision are the future demand for mobile broadband services and the behaviour of mobile network operators regarding investment and pricing in particular.

1 Erwartungen an Broadband Wireless Access

Neue technische Entwicklungen haben die Erwartung geweckt, durch Broadband Wireless Access (BWA)-Netze an jedem Ort einen preiswerten und leistungsfähigen Zugang zu Breitbandnetzen und Breitbanddiensten herzustellen. Vor zwei bis drei Jahren, als mit WiMAX ein neuer Standard für BWA-Systeme an den Markt trat, wurden insbesondere durch die Herstellerlobby sehr hohe Erwartungen geweckt. Zum Teil war sogar die Rede davon, dass BWA-Netze mit Reichweiten von 50 km und mehr sowie Datenraten über 50 Mbit/s den leitungsgebundenen Netzen ernsthafte Konkurrenz machen werden.

Es entstand ein hoher Druck auf den Frequenzregulierer, spektrale Ressourcen in hinreichendem Umfang bereitzustellen, damit BWA-Netze errichtet werden können und sich ihre wachstumssteigernde Wirkung voll entfalten kann. Die Bundesnetzagentur hat entsprechend reagiert und ein Verfahren zur Vergabe von Frequenzen im 3,5 GHz-Band durchgeführt. Für weitere Frequenzen in höheren Frequenzbändern wurden Allgemeinzuteilungen für BWA ausgesprochen.

Entgegen der anfänglich hohen Erwartungen hat sich seit dem Vergabeprozess im Jahre 2006 bis heute im deutschen Markt relativ wenig getan. BWA-Dienste werden bislang nur recht punktuell angeboten und der Netzausbau kann als insgesamt eher zögerlich bezeichnet werden.

Wie steht es nun um den Einsatz von BWA-Technologie in Deutschland? Welche Geschäftsmodelle und Entwicklungen sind heute zu beobachten und wie wird sich der Markt für BWA-Dienste künftig entwickeln? Das sind die Kernfragen dieser Studie, die eine realistische Bestandsaufnahme der Leistungsfähigkeit und der künftigen Marktchancen von Broadband Wireless Access-Diensten geben soll.

Hierfür erfolgt zunächst eine knappe Darstellung des deutschen Breitbandmarktes als das potenzielle Wettbewerbsumfeld für BWA-Dienste. Danach werden die wichtigsten technologischen Merkmale von BWA- und insbesondere von WiMAX-Netzen beschrieben. Des Weiteren wird die Vergabe der Frequenzen für BWA-Dienste durch die Bundesnetzagentur dargestellt. Auf Basis der technischen Leistungsfähigkeiten und vor dem Hintergrund des Wettbewerbsumfeldes sollen Aussagen zu erwarteten wirtschaftlichen Einsatzszenarien für WiMAX-Dienste getroffen und die wesentlichen Treiber hierfür benannt werden. Es werden weiterhin die aktuellen Aktivitäten der BWA-Frequenzzuteilungsinhaber beschrieben sowie einen Blick in die Vergleichsmärkte Belgien, Frankreich und die USA getätigt.

2 Marktstruktur, Wettbewerb und Preisentwicklung im deutschen Breitbandmarkt

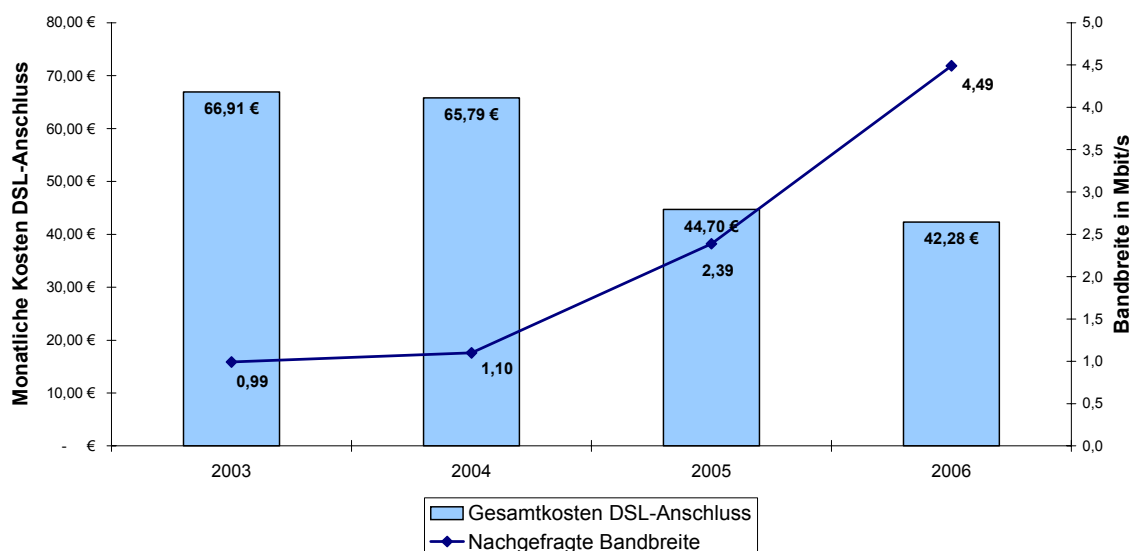
Um die Einsatzfelder und Marktchancen für neue BWA-Angebote abzuschätzen, soll zunächst das Marktumfeld betrachtet und analysiert werden. Welche wettbewerblichen Randbedingungen bestehen und was bedeutet dies für die Marktpositionierung von neuen BWA-Diensten? Hierzu ist es notwendig sowohl die Märkte für fixe als auch für mobile Breitbandzugänge zu betrachten, da BWA-Dienste je nach ihrer konkreten Ausgestaltung diesen beiden Märkten zugeordnet werden können.

Der Markt für fixe Breitbandzugänge wird in Deutschland bislang fast ausschließlich durch DSL-Zugänge bedient. Zudem gibt es immer mehr Angebote der Kabelnetzbetreiber sowie Breitbandzugänge mittels Powerline und Glasfasernetze. Die beiden Letzteren sind jedoch eher selten – Powerline gilt als wenig zukunftsfähig im Anschlussnetzbereich und Glasfasernetze bis zu den Wohngebäuden (FTTH) sind wegen ihrer hohen Investitionskosten heute noch selten und stellen nach Expertenerwartungen auch mittelfristig eher die Ausnahme dar. Weiterhin sind Internetzugänge über Satellit verfügbar. Entweder unidirektional für den Download in Kombination mit Modemverbindungen für den Upload oder bidirektional, dies jedoch zu relativ hohen Kosten. Auf dem Markt für mobile Breitbandzugänge konkurrieren bislang die vier Mobilfunknetzbetreiber mit UMTS-Diensten.

2.1 Markt für fixe Breitbandzugänge

Auf dem Markt für fixe Breitbandzugänge herrscht seit mehreren Jahren ein starker Wettbewerb, bei dem die Anbieter sowohl Preis als auch Qualität als Wettbewerbsparameter einsetzen. Bei den DSL-Breitbandzugängen stieg die durchschnittliche Bandbreite im Zeitraum 2003 bis 2006 von etwa 1 Mbit/s auf 4,5 Mbit/s an, während die monatlichen Kosten hierfür um 37% zurück gingen, wie eine WIK-Consult-Studie im Auftrag des VATM ergab (vgl. Abbildung 2-1). Dieser Trend lässt sich bis heute ungebrochen weiterverfolgen.

Abbildung 2-1: Entwicklung der Endkundenpreise für den DSL-Zugang im Vergleich zur nachgefragten Bandbreite, Ende 2003 – Ende 2006



Quelle: WIK-Consult, VATM

Bei DSL konkurrieren die Angebote des Incumbent Deutsche Telekom mit denen von Resellern und Wettbewerbern, die die entbündelte Teilnehmeranschlussleitung (TAL) nutzen. Dieser Wettbewerb hat nicht nur zu fallenden Anschlusspreisen und einer Vervielfachung der Bandbreite, sondern auch zur Bündelung mit Internet- und Telefonie-Flatrates geführt. Aktuell liegt das Preisniveau der Deutschen Telekom für einen 2 Mbit/s-ADSL-Anschluss mit Internet- und Telefonie-Flatrate für Telefonate ins nationale Festnetz bei rund 35 Euro pro Monat.¹ Bei wettbewerblichen Anbietern wird ein derartiges gebündeltes Angebot für rund 30 Euro pro Monat angeboten, z. T. auch mit Bitraten im Download von bis zu 16 Mbit/s.² ADSL-Anschlüsse werden gegenwärtig mit bis zu 6 Mbit/s angeboten. Darüber hinaus wird der Nachfolgestandard ADSL2+ eingesetzt, um Anschlüsse mit Übertragungsraten von bis zu 25 Mbit/s anzubieten.

Nicht alle Haushalte sind jedoch derzeit in der Lage, DSL-Anschlüsse zu nutzen. In manchen ländlichen Regionen mit sehr geringer Anschlussdichte werden DSL-Anschlüsse aus Wirtschaftlichkeitserwägungen nicht angeboten. Bei einem weiteren Teil der Haushalte in dünner besiedelten Gegenden sowie am Rande von Ortschaften überschreiten die Teilnehmeranschlussleitungen oftmals die maximale Entfernung, über

¹ Vgl. www.t-home.de; Stand Januar 2008.

² Vgl. beispielsweise www.arcor.de, www.1und1.de oder www.alice-dsl.de; Stand Januar 2008.

welche breitbandige DSL-Dienste angeboten werden können.³ Ein weiterer Grund für eine Nichtverfügbarkeit von DSL liegt in einem früheren Verbau von Glasfaserstrecken im Anschlussnetz nach den sog. OPAL- und Hytas-Konzepten. Diese Fälle treten vor allem innerhalb von Städten und insbesondere in Ostdeutschland auf, wo in den 1990er Jahren Ortsnetze mit dieser Technologie neu errichtet wurden. Exakte Zahlen darüber, wie hoch der Anteil der Haushalte ist, die keinen oder nur einen „schmalbandigen“ DSL-Zugang erhalten können, liegen nicht vor. Der Breitbandatlas des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie nennt 2007 7,5% Haushalte, die keinen DSL-Zugang bekommen können.⁴

In den Ballungsräumen werden die Anschlussnetze des Incumbent Deutsche Telekom gegenwärtig mit hohen Investitionen aufgerüstet, um VDSL-Dienste mit Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 50 Mbit/s anzubieten. Hierzu werden Glasfasernetze bis zum Kabelverzweiger und damit relativ nah zu den Teilnehmern verlegt. Dort erst erfolgt in einem sog. Outdoor-DSLAM die opto-elektrische Wandlung der Signale, so dass die VDSL-Übertragung über die bestehenden Kupferdoppeladerkabel durchschnittlich rund 500 Meter beträgt.⁵ Auch die wettbewerblichen Anbieter investieren in den Großstädten in Glasfasernetze und VDSL-Netze. In Köln, München und Hamburg sind beispielsweise bereits Anschlüsse mit Bitraten von 100 Mbit/s für Privatkunden verfügbar.

Im Vergleich zu ausländischen Märkten wurden in Deutschland Breitbandinternetdienste über Fernsehkabelnetze erst relativ spät für einen breiten Massenmarkt angeboten. Mehrere brancheninterne Gründe hemmten über Jahre hinweg eine Aufrüstung der Kabelnetze. In den letzten beiden Jahren forcierten die Kabelnetzbetreiber ihre Aufrüstungsinvestitionen deutlich und konnten zum Jahresende 2007 über 60% der an Kabelnetze anschließbaren Haushalte mit Breitbanddiensten versorgen. Das entspricht gut 41% aller Haushalte in Deutschland.⁶ Was die Übertragungsgeschwindigkeiten der Kabelinternetdienste betrifft, so liegt die vermarktete Standardgeschwindigkeit mittlerweile bei 10 Mbit/s im Download. Längerfristig besitzen die Kabelnetze das Potenzial, auch Bitraten über 100 Mbit/s zu realisieren. Die Verbreitungsgebiete der Kabelnetze konzentrieren sich hauptsächlich auf städtische Räume und kaum auf ländliche Gebiete, in denen kein DSL verfügbar ist. In der Konsequenz konkurriert Kabelinternet fast überall mit DSL-Diensten. Um auch als Spätstarter in dieser Konkurrenz mit DSL Marktanteile gewinnen zu können, lässt sich bei den Kabelnetzbetreibern eine preisaggressive Strategie bei gleichzeitig höheren Datenraten beobachten. Die beiden großen Kabelnetzbetreiber Unity Media und Kabel Deutschland vermarkten derzeit ein Standard-Produktbündel aus einem Internetanschluss mit 10 bzw. 20 Mbit/s im Download und Internet- und Telefonflatrates für rund 30 Euro pro Monat. Damit führen sie derzeit im zunehmenden Leistungswettbewerb mit den DSL-Anbietern.

³ Den Haushalten mit überlangen TAL steht mitunter auch nur ein „schmalbandiger“ DSL-Anschluss mit Übertragungsraten von unter 1 Mbit/s zur Verfügung.

⁴ Vgl. Deutscher Bundestag (2007), S. 3.

⁵ Vgl. Brinkmann/Ilic (2006), S. 9.

⁶ Vgl. Deutscher Bundestag (2007), S. 5.

Die Kabelnetzbetreiber erleben gegenwärtig hohe Wachstumsraten für ihre Kabelinternet- und Telefoniedienste, allerdings auf geringem absoluten Niveau. Aktuell besitzen rund eine Million Haushalte in Deutschland Kabelinternetzugänge, im Vergleich zu knapp 19 Mio. DSL-Zugängen.⁷ Wegen dieser quantitativen Vorherrschaft von DSL werden Breitbandzugänge in Deutschland mitunter mit DSL gleichgesetzt. Alternative Technologien tun sich in dieser Situation eher schwer, und das, obwohl der Markt für fixe Breitbandanschlüsse noch Wachstumspotenzial bietet. Die bestehenden Wechselhemmnisse sind selbst durch die sehr attraktiven Preise von Kabelinternet nur langsam zu überwinden.

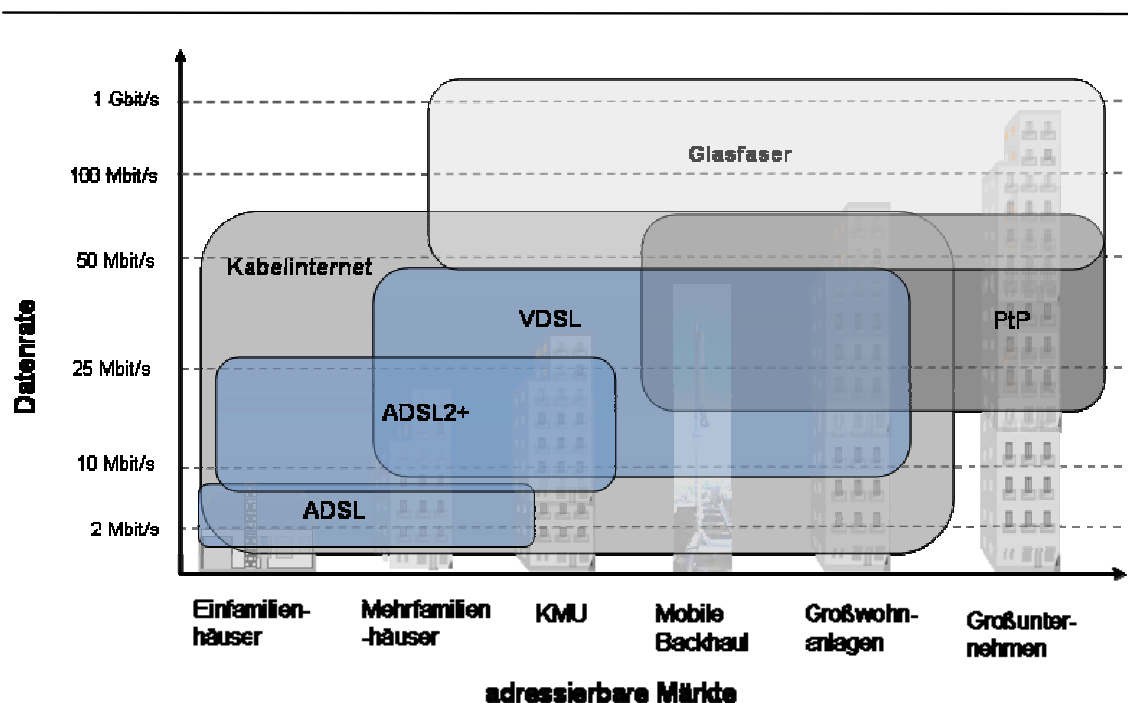
An vielen Orten, an denen keine leitungsgebundenen Breitbandzugänge verfügbar sind, wurden während der letzten Jahre kleine lokale Funknetze auf Basis der WLAN-Technologie installiert. Diese Netze entstanden oftmals durch Selbsthilfeinitiativen oder durch das Engagement kleiner örtlicher Unternehmen. Die genutzten Frequenzen entstammen dem 2,4 GHz-Bereich, für den eine Allgemeinzuteilung besteht. Auf Grund der geringen Reichweite von WLAN versorgen diese Netze jeweils nur wenige Haushalte. Die Anbieterlandschaft der von Experten auf mehrere Hundert geschätzten lokalen Funknetze ist sehr heterogen, ebenso deren Tarife und maximale Bitraten.

Überall dort, wo keine örtlichen Funknetze für den Breitbandzugang zur Verfügung stehen, können ortsfeste Breitbandzugänge über Satelliten realisiert werden. Satelliteninternet ist jedoch mit vergleichsweise hohen Kosten und Leistungseinschränkungen verbunden.

In Abbildung 2-2 sind die zu BWA konkurrierenden Technologien für fixe Breitbanddienste entsprechend ihrer potenziellen Leistungsfähigkeit und ihrer Marktpositionierung dargestellt.

⁷ Vgl. BNetzA (2007c), S. 14ff.

Abbildung 2-2: Wettbewerbstechnologien für ortsfeste Breitbandanschlüsse und ihre Positionierungen



Quelle: WIK

2.2 Markt für mobile Breitbandzugänge

Der Markt für mobile Internetzugänge wird in Deutschland von den vier Mobilfunknetzbetreibern mit GSM- und UMTS-Netzen bedient. Sie setzen hierfür in den GSM-Netzen den Datenübertragungsmodus GPRS sowie mehr und mehr auch die Erweiterung EDGE ein, mit denen Datengeschwindigkeiten von rund 40 kbit/s bzw. 53,6 kbit/s (Praxiswert/Maximalwert) bei GPRS sowie rund 200 kbit/s bzw. 473 kbit/s (Praxiswert/Maximalwert) bei EDGE erreicht werden. In UMTS-Netzen werden gegenwärtig Datenraten von rund 250 kbit/s bzw. 384 kbit/s (Praxiswert/Maximalwert) angeboten. Durch die Nachrüstung mit HSDPA wird die Download-Geschwindigkeit in einigen UMTS-Netzen auf 1,4 Mbit/s bzw. 1,8 Mbit/s erhöht. Mittelfristig sollen durch HSDPA in den UMTS-Netzen auch Datenraten von 3,6 Mbit/s, 7,2 Mbit/s, 14,4 Mbit/s und sogar 28,8 Mbit/s ermöglicht werden.

Von mobilen Breitbandzugängen kann somit erst in UMTS-Netzen mit HSDPA-Erweiterung gesprochen werden, da diese Datenraten von über 1 Mbit/s erreichen. De-

ren räumliche Verfügbarkeit ist derzeit jedoch auf die Ballungsräume beschränkt. Der schmalbandige mobile Internetdienst GPRS ist nahezu flächendeckend verfügbar und auch das nahezu breitbandige EDGE wird zunehmend in der Fläche angeboten.

Bei den Preismodellen im Mobilfunk ist ein Trend zu Flatrates zu erkennen. Dieser hatte sich zunächst in der mobilen Sprachtelefonie verbreitet und scheint nun auch auf mobile Datendienste überzuspringen. Um das Risiko lokaler Netzüberlastungen zu verringern, setzen drei der vier Mobilfunknetzbetreiber bislang aber auf Volumentarife bzw. Flatrates mit einer sog. Fair-Flat-Policy (vgl. Tabelle 2-1). Hintergrund des beträchtlichen Preisunterschiedes zwischen den Angeboten von T-Mobile und Vodafone einerseits und E-Plus und O2 andererseits sind die unterschiedlichen Ausbaustände der UMTS- und HSDPA-Netze und damit die stark variierenden Qualitäten der Dienste.

Tabelle 2-1: Aktuelle Preise für Internetzugänge über Mobilfunk

Netzbetreiber	Tarifname	Inklusivvolumen pro Monat	Netz	Preis pro Monat
T-Mobile	web'n'walk Large	5 GB + 200 h WLAN	UMTS-HSDPA + WLAN	50 € Folgepreis: 0,5€/MB
Vodafone	Fair Flat National	unbegrenzt (5 GB Fair Flat Policy*)	UMTS-HSDPA	49,95 € Folgepreis 0,59€/MB
E-Plus	Internet Flatrate	unbegrenzt	UMTS	25 €
O2	Internet Pack L (deutschland- weit)	5 GB	UMTS (HSDPA nur in Großstäd- ten)	25 € Folgepreis: 0,5 €/MB

* Vodafone Fair-Flat-Policy: Wenn das monatliche Inklusiv-Volumen von 5 GB für den nationalen ein- und abgehenden paketvermittelten Datenverkehr innerhalb des Zuhause-Bereichs in zwei aufeinander folgenden Abrechnungszeiträumen überschritten wird, wird das Volumen, das über die Inklusiv-Leistung hinausgeht, ab dem dritten Abrechnungszeitraum mit 0,25 Euro/MB berechnet.

Quelle: Angaben der Netzbetreiber

Auf dieses Marktumfeld von fixen und mobilen Breitbandzugangsdiensten in Deutschland treffen nun weitere Wettbewerber, die neue Funkstandards einsetzen, um Breitbandanschlüsse anzubieten. Im Folgenden soll zunächst der technologische Hintergrund dieser neuen BWA-Dienste analysiert werden, um deren Stärken und primäre Einsatzgebiete sowie die Leistungsfähigkeiten im Vergleich zu den Wettbewerbstechnologien einschätzen zu können.

3 BWA-Standards und ihre technologischen Merkmale

Der Begriff Broadband Wireless Access (BWA) umschreibt technologieneutral den breitbandigen drahtlosen Netzzugang sowohl für private als auch für geschäftliche Nutzer. Die International Telecommunication Union (ITU) definiert Wireless Access als "End-user radio connection(s) to core networks" sowie BWA als „Wireless access in which the connection(s) capabilities are higher than the primary rate”.⁸ Als Primary Rate werden Datenraten von 1.544 kbit/s (T1) bzw. 2.048 kbit/s (E1) betrachtet. Aufbauend darauf wird Broadband Wireless Access allgemein als Endnutzerzugang zu Kernnetzen mit Datenraten von mehr als 1,5 bzw. 2 Mbit/s definiert. Dass es sich bei BWA primär um den Zugang zu Datennetzen handelt, schließt nicht aus, dass auch der Sprachtelefoniedienst mittels Voice over Internet Protocol (VoIP) über diesen Zugang angeboten werden kann. Unter BWA lassen sich die Zugangstypen Fixed Wireless Access (FWA), Nomadic Wireless Access (NWA) und Mobile Wireless Access (MWA) subsumieren.

Während der letzten Jahre wurden zahlreiche Technologien entwickelt und auf den Markt gebracht, mit denen sich BWA-Funksysteme realisieren lassen. Diese, zum Teil auch bereits in der Praxis eingesetzten Technologien, unterscheiden sich in ihren Reichweiten, in der Erfordernis von Sichtverbindungen (Line of Sight (LOS) bzw. None Line of Sight (NLOS)), in den genutzten Frequenzbereichen und nicht zuletzt im Einsatz verschiedener Signalkodierungsverfahren. Zu den BWA-Technologien zählen sowohl proprietäre Lösungen wie beispielsweise Flash OFDM als auch standardisierte Technologien wie UMTS-TDD, UMTS HSDPA, IEEE 802.11 (WLAN) oder IEEE 802.16 (WiMAX).

Sowohl bei den Herstellern als auch bei den Netzbetreibern überwiegt das Interesse am Einsatz von standardisierten Systemen für BWA-Netze, um das Investitionsrisiko zu verringern. Zudem führt die Standardisierung zu erheblichen Kostendegressionen, die die Wirtschaftlichkeit der Geschäftsmodelle verbessern. Es lässt sich beobachten, dass proprietäre BWA-Lösungen mittlerweile nur dann eingesetzt werden, solange sich kein Standard etablieren konnte und trotzdem Dienste kurzfristig bereitgestellt werden sollen. Hierbei wird oftmals eine spätere Migration auf den Standard, beispielsweise beim Einsatz von sog. Pre-WiMAX-Technologien, angestrebt.

Die wichtigsten Standardisierungsorganisationen für BWA-Standards sind das European Telecommunications Standards Institute (ETSI) und das US-amerikanische IEEE. ETSI organisiert bereits seit 1997 das Broadband Radio Access Networks (BRAN)-Projekt zur Entwicklung von BWA-Standards. Innerhalb von ETSI BRAN wird mit HIPERACCESS ein Standard für FWA-Netze entwickelt. Das US-amerikanische Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) begann 2001 mit der Entwicklung der IEEE 802.16-Standardfamilie innerhalb der Projektgruppe 802, die sich mit der

⁸ Vgl. ITU-R F.1399, S. 3ff.

Standardisierung von LAN und MAN Standards beschäftigt. Bis heute wurden mehrere Versionen und Varianten des BWA-Standards IEEE 802.16 in Angriff genommen und zum Teil auch verabschiedet.

Nicht zuletzt auf Grund von mächtigen Industrievertretern, wie beispielsweise Intel, Cisco und Motorola, die sich für den Standard IEEE 802.16 einsetzen, entwickelte sich dieser mittlerweile zur dominierenden BWA-Technologie. Organisiert wird die Unterstützung im Worldwide Interoperable Microwave Access (WiMAX)-Forum, einem Industrieverband aus über 400 führenden Herstellern, der nach dem Vorbild der Wi-Fi Alliance gegründet wurde, um den Erfolg der WLAN-Standardfamilie IEEE 802.11 zu wiederholen.⁹

IEEE 802.16 bietet verschiedenste Optionen – Kanalbandbreiten, Duplexarten, Modulationsarten usw., um lokale Bedürfnisse weltweit abdecken zu können. Um diese Variantenvielfalt bei IEEE 802.16, die die Vorteile der Standardisierung zu relativieren droht, etwas einzugrenzen, wählt das WiMAX-Forum aus den vielen Optionen verschiedene Kombinationen aus und stellt sie als so genannte WiMAX-Profilen zur Verfügung. Für diese WiMAX-Profilen werden vom WiMAX-Forum die entsprechenden Test- und Interoperabilitätsroutinen angeboten und die Hersteller können ihre Geräte zertifizieren lassen. Genau genommen kann somit der Begriff WiMAX nicht mit der Standardfamilie IEEE 802.11 gleich gesetzt werden, sondern bezeichnet ein vom WiMAX-Forum definiertes konkretes Profil innerhalb der Grenzen des Standards.¹⁰

Als Reaktion auf die breite Unterstützung von WiMAX durch die Hersteller treibt ETSI eine Harmonisierung seines im Rahmen des BRAN-Projektes entwickelten HIPERACCESS-Standards mit IEEE 802.16 voran.¹¹ Unter dem Namen HiperMAN wird ein Standard geschaffen, der kompatibel mit den vom WiMAX-Forum aus dem IEEE 802.16 ausgewählten Profilen ist, so dass die Interoperabilität von jeweils zertifizierten Geräten garantiert werden kann.

Währenddessen konnten sich die Standards UMTS-TDD und WLAN am Markt nicht in großem Umfang für BWA-Anwendungen durchsetzen. Zwar werden UMTS-TDD-Netze in wenigen Gebieten, z. B. vom Unternehmen Airdata in Stuttgart, Bensberg und Berlin, für BWA-Dienste eingesetzt, ein weiterer Netzausbau hat jedoch nicht stattgefunden. Gründe hierfür sind zum einen gegenwärtig unsichere Frequenzuteilung der Firma Airdata im 2,6 GHz-Bereich und zum anderen nicht zuletzt das Aufkommen der leistungsfähigeren WiMAX-Technologie. WLAN nach der Standardfamilie IEEE 802.11 eignet sich auf Grund seiner geringen Reichweite nur sehr eingeschränkt für BWA-Netze und kommt auf der letzten Meile nur sehr kleinflächig zum Einsatz. Nur in wenigen Breitband-unversorgten Kommunen werden BWA-Netze auf WLAN-Basis betrie-

⁹ Vgl. <http://www.wimaxforum.org/home/>.

¹⁰ Vgl. Maucher/Furrer (2007), S. 4.

¹¹ Vgl. <http://portal.etsi.org/bran/Summary.asp>.

ben, meist von örtlichen Initiativen oder kleinen lokalen Netzbetreibern. Für private und öffentliche Netze innerhalb von Gebäuden entwickelte sich WLAN hingegen sehr erfolgreich, was nicht zuletzt auf die serienmäßige Ausstattung von Notebooks mit WLAN-Schnittstellen zurückzuführen ist.

Die Diskussion um BWA-Netze und auch die beobachtbare Marktentwicklung fokussiert sich somit zunehmend auf IEEE 802.16 bzw. die WiMAX-Profile. WiMAX hat mittlerweile ein Entwicklungsstadium erreicht, in dem die positiven Externalitäten der Standardisierung spürbar werden, beispielsweise durch die Verfügbarkeit von Systemkomponenten mehrerer Hersteller, was mit einer steigenden Nachfrage von Netzbetreibern nach zertifizierten Bauteilen einhergeht. Obwohl die Bedingungen der Zuteilungen von BWA-Frequenzen technologie-neutral formuliert sind, ist derzeit nicht zu erkennen, dass deren Inhaber eine andere Funktechnologie als die nach WiMAX-Profilen zertifizierte IEEE 802.16-Technologie einsetzen werden. Vor diesem Hintergrund wird sich die Studie im weiteren Verlauf ausschließlich auf die Standardfamilie IEEE 802.16 bzw. die WiMAX-Profile konzentrieren. Konsequenterweise werden im Folgenden WiMAX-Netze und BWA-Netze als synonyme Begriffe verwendet.

Mit dem weiteren Ausbau der Mobilfunknetze der dritten Generation im UMTS-HSDPA-Standard, werden zunehmen auch BWA-Dienste über Mobilfunknetze angeboten. Diese Angebote sind jedoch im Rahmen des Mobilfunkgeschäftsmodells zu sehen und erfolgen über Mobilfunktechnologie. Mobilfunktechnologie und Mobilfunkgeschäftsmodelle stehen außerhalb des Fokus dieser Studie. Sie spielen lediglich eine Rolle als wettbewerbliches Marktumfeld für die analysierten BWA-Geschäftsmodelle.

3.1 IEEE 802.16-Standardfamilie

Unter dem Namen WiMAX firmieren mittlerweile eine ganze Reihe von Varianten der IEEE 802.16-Standardfamilie, die für ein breites Spektrum von Anwendungsfällen eingesetzt werden können. Die derzeit wichtigsten Varianten sind IEEE 802.16 für Point to Point (PtP)-Richtfunkverbindungen, IEEE 802.16-2004 für ortsfeste Breitbandzugänge sowie IEEE 802.16e-2005 für mobile Datenkommunikation.¹²

Im Dezember 2001 wurde mit **IEEE 802.16** die erste Version des Standards verabschiedet. Mit seinem hohen Frequenzbereich zwischen 10 und 66 GHz eignet er sich insbesondere für PtP-Richtfunkverbindungen. Auf Grund der spezifischen Ausbreitungseigenschaften der hochfrequenten Wellen ist in diesem Frequenzbereich eine freie Sichtverbindung (LOS) erforderlich. Außerdem müssen fest installierte Außenantennen errichtet werden, um eine möglichst störungsfreie Verbindung zu gewährleisten. WiMAX-zertifizierte Funkssysteme nach IEEE 802.16 sind seit mehreren Jahren am Markt verfügbar und werden in erster Linie für Richtfunkstrecken z. B. zur Anbindung

¹² Vgl. im Folgenden nach Maucher/Furrer (2007), S. 5ff.

von Mobilfunkbasisstationen oder von Unternehmen mit hohem Datenverkehrsaufkommen eingesetzt.

IEEE 802.16c wurde im Januar 2003 verabschiedet und bietet Systemprofile, u. a. für konkrete Trägerfrequenzen und Kanalabstände.

Im April 2003 wurde der Standard **IEEE 802.16a** veröffentlicht, der auf Grund seiner geringeren Trägerfrequenzen zwischen 2 und 11 GHz auch NLOS-Anwendungen ermöglicht. Diese Standardvariante ist vornehmlich für Point-to-Multipoint (PMP)-Anwendungen vorgesehen, eignet sich aber auch für den Point-to-Point-Betrieb.

Die Version **IEEE 802.16b** wurde zeitgleich mit IEEE 802.16a veröffentlicht. Sie stellt eine Erweiterung von 16a um Mechanismen zur störungsfreien Koexistenz mit anderen Systemen in allgemein zugeteilten Bändern dar. Hierzu zählen z. B. eine erweiterte Leistungsmessung und -kontrolle sowie die dynamische Frequenzwahl (DFS). DFS erkennt, welche Frequenzen momentan von anderen Systemen genutzt werden und weicht auf ungenutzte Bänder aus. 16b besitzt zudem Erweiterungen für einen Betrieb in vermaschten Netzen.

Im Juni 2004 wurde **IEEE 802.16d**, auch bekannt unter **IEEE 802.16d-2004**-, „*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access*“, verabschiedet. IEEE 802.16d-2004 fasst die bisherigen Standardversionen zusammen und stellt den derzeit gültigen Basisstandard für Fixed WiMAX im Rahmen von PMP-Netzen dar. Seit etwa 2006 sind nach IEEE 802.16d-2004 zertifizierte Systeme mehrerer Hersteller am Markt verfügbar.

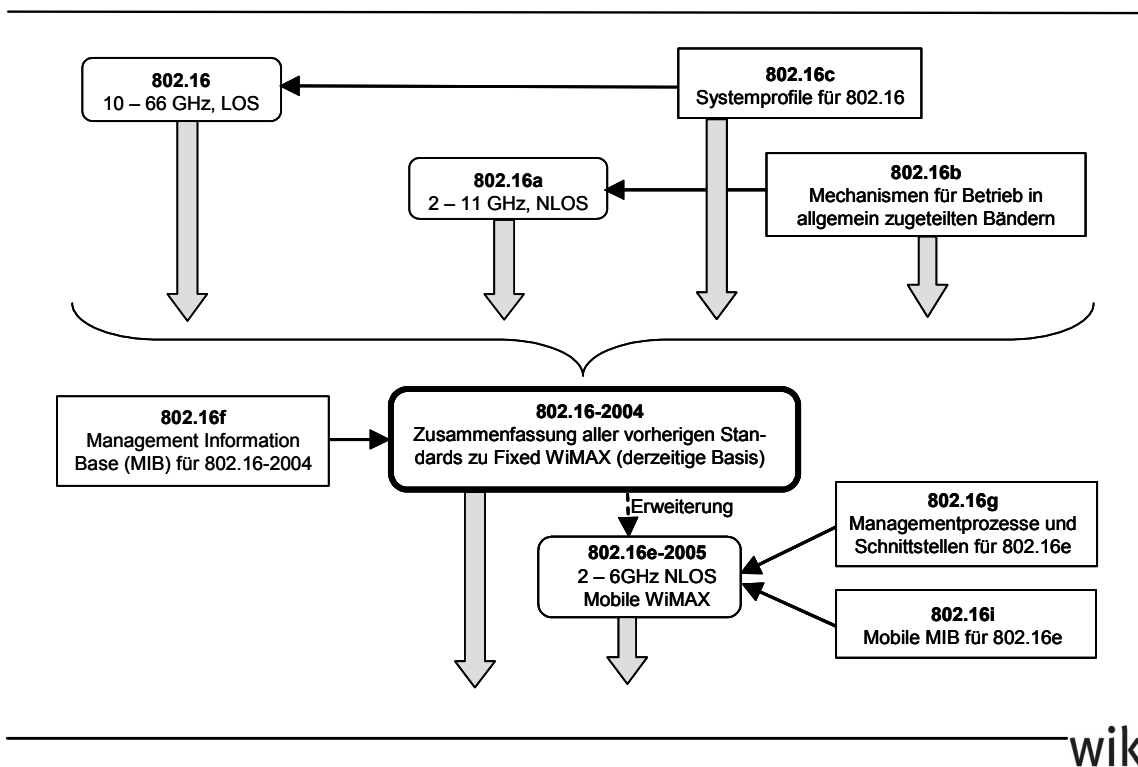
Um auch mobile Anwendungen zu unterstützen, wurde IEEE 802.16-2004 umfassend zur „Mobile WiMAX“ genannten Standardvariante **IEEE 802.16e-2005** erweitert. Diese enthält Mechanismen zur Unterstützung mobiler Stationen, wie das Handover zwischen Basisstationen. Zudem verfügt IEEE 802.16e-2005 über neue Übertragungsverfahren, die für die speziellen Eigenschaften des Mobilfunkkanals angepasst wurden. Die Trägerfrequenzen von 802.16e-2005 liegen zwischen 2 und 6 GHz. Die Mobile WiMAX-Standardvariante wurde im Dezember 2005 verabschiedet und im Frühjahr 2006 veröffentlicht. Seit 2007 werden Funksysteme angeboten, die nach Herstellerangaben die Anforderungen von IEEE 802.16e-2005 erfüllen. Im Laufe von 2008 sollen die ersten Systeme Zertifizierungen nach der Mobile WiMAX-Spezifikation erhalten. Wegen ihrer unterschiedlichen Übertragungsverfahren sind Fixed WiMAX und Mobile WiMAX nicht miteinander kompatibel (vgl. Abschnitt 3.2.1.2.). Im Herbst 2007 hat die ITU den Standard IEEE 802.16e-2005 in den Kreis ihrer IMT-2000 Mobilfunkstandards aufgenommen. Dies könnte weit reichende Konsequenzen für die Marktentwicklung von Mobile WiMAX haben, wenn nun auch WiMAX in vielen Ländern in für IMT-2000 reservierten Frequenzbändern (insbesondere 2,5 bis 2,69 GHz) eingesetzt werden darf.

Mit der Standarderweiterung **IEEE 802.16f** werden Mechanismen definiert, die eine Integration von IEEE 802.16d-2004-Komponenten unterschiedlicher Hersteller auf Netzwerkebene gewährleisten. Zentrales Element ist hierbei die sog. Management Informa-

tion Base (MIB), die konform ist zum häufig eingesetzten Simple Network Management Protocol Version 2 (SNMPv2).

IEEE 802.16g und **IEEE 802.16i** stellen zwei Erweiterungen für IEEE 802.16e dar, die den Austausch von Kontroll- und Managementdaten sowohl zwischen den Basisstationen als auch zwischen einem Mobile WiMAX Netz und übergeordneten Netzen ermöglichen.

Abbildung 3-1: IEEE 802.16-Standardfamilie im Überblick



Quelle: Maucher/Furrer

In Abbildung 3-1 werden die Beziehungen der IEEE 802.16-Standardvarianten skizziert. Im Folgenden werden die wichtigsten technologischen Merkmale der beiden bedeutendsten Standards Fixed WiMAX und Mobile WiMAX dargestellt.

Für die Zukunft sind weitere Standardvarianten mit verbesserten Leistungsfähigkeiten geplant. So wird beispielsweise beim IEEE an einer 802.16m genannten Standardgeneration gearbeitet, die Bitraten von bis zu 1 GBit/s übertragen kann und zu 802.16e abwärts kompatibel sein soll. Ein Release-Termin ist zunächst für Ende 2009 vorgese-

hen.¹³ Gegenwärtig sind Leistungsfähigkeit und Terminplan eher als Zielvorgabe zu betrachten, deren Erreichung noch ungewiss ist.

3.2 Technologische Merkmale

In Bezug auf das OSI-Referenzmodell fokussieren die IEEE 802.16-Standards jeweils lediglich auf die untersten zwei Schichten: auf die physikalische Signalübertragungsschicht (PHY) und die Data Link Schicht.¹⁴ Die Data Link Schicht wiederum wird im IEEE 802-Referenzmodell weiter unterteilt in die Media Access Control (MAC)-(Teil-)Schicht und die Logical Link Control (LLC)-(Teil-)Schicht. Die IEEE 802.16-Standards beziehen sich in der Data Link Schicht nur auf die MAC-(Teil-)Schicht für den Zugriff auf den Funkkanal.

3.2.1 Physikalische Schicht

Für die PHY-Schicht werden im IEEE 802.16 mehrere Übertragungsverfahren definiert, die in einem großen Frequenzbereich abhängig von den jeweiligen Ausbreitungsbedingungen eingesetzt werden können. Hierdurch soll eine hohe Flexibilität für unterschiedliche Anwendungsszenarien gewährleistet werden. Die Auswahl der PHY-Verfahren bleibt unabhängig von den höheren Schichten und die unterschiedlichen physikalischen Übertragungsverfahren können an das gleiche MAC-Protokoll angeschlossen werden.

3.2.1.1 Betriebsfrequenzen

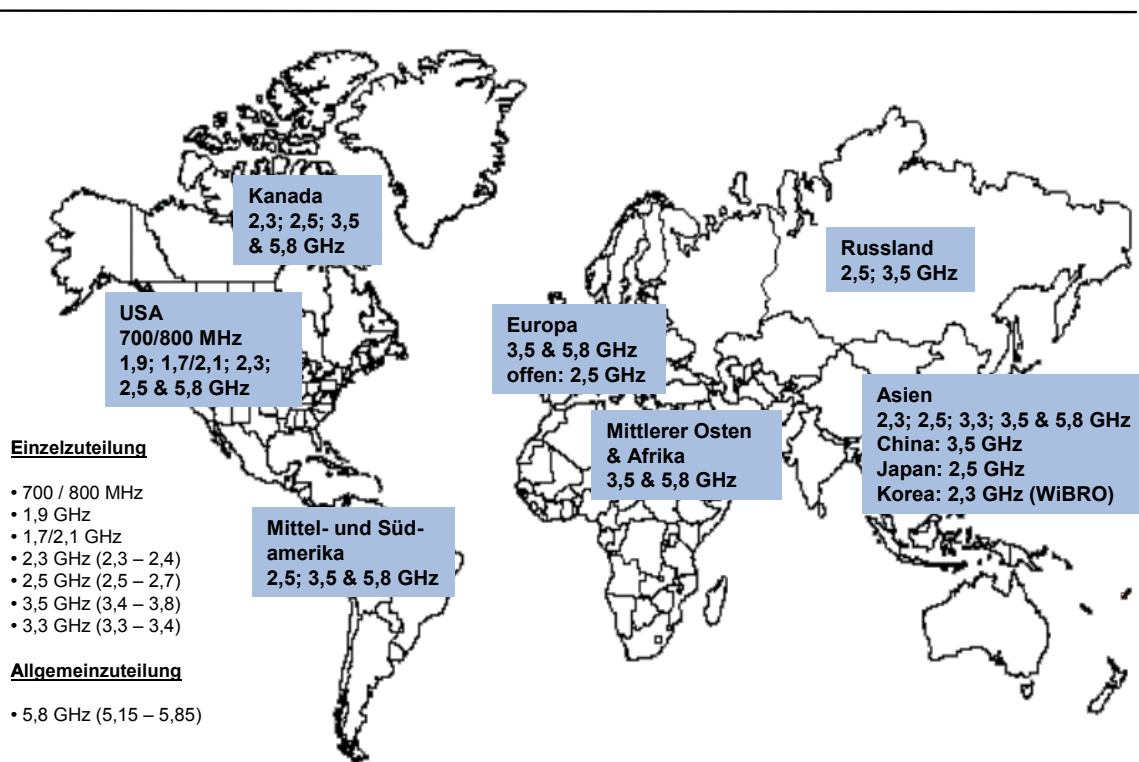
IEEE 802.16-Standards sehen eine Reihe unterschiedlicher Frequenzbänder als Betriebsfrequenzen vor. Am begehrtesten sind hierbei die Frequenzbereiche unterhalb von 6 GHz, um das Erfordernis von Sichtverbindungen und den Einsatz aufwändiger Antennen möglichst zu vermeiden. Um die größeren Skalenerträge bei der Produktion von Systemkomponenten zu erzielen und die Interoperabilität zu fördern, wäre es zwar vorteilhaft, sich auf wenige Frequenzbereiche zu beschränken. Da IEEE 802.16 aber von vorneherein als weltweit einsetzbarer Standard konzipiert wurde, musste auf die weltweit unterschiedlichen Frequenzbereiche, die für neue BWA-Anwendungen zur Verfügung stehen, Rücksicht genommen werden. In Abbildung 3-2 sind die wichtigsten Frequenzbänder für BWA weltweit dargestellt, die je nach regionaler Regulierung und Frequenz zuteilungspflichtig sind oder im Rahmen von Allgemeinzuteilungen genutzt werden können.

¹³ Vgl. „Standard für Gigabit-WiMAX in Arbeit“, Meldung auf heise-online vom 9.3.2007.

¹⁴ Vgl. zum OSI-Referenzmodell Haaß (1997), S. 115ff.

Innerhalb Europas wurden mehrere Bänder für BWA-Anwendungen vorgesehen.¹⁵ Von diesen besitzen die niedrigeren, wie beispielsweise das 3,5 GHz-Band, eine größere Attraktivität für Geschäftsmodelle, denn diese Frequenzen ermöglichen NLOS-Anwendungen und bei guter Netzabdeckung auch Indoor-Empfang. Die 3,5 GHz Frequenzen wurden in Deutschland, wie auch in vielen anderen europäischen Ländern mittels Einzelzuteilungen vergeben (vgl. hierzu Abschnitt 4).

Abbildung 3-2: WiMAX-Frequenzbänder weltweit



Quelle: Siemens

Darüber hinaus sind auch Frequenzen um 2,6 GHz in der Diskussion für WiMAX. Beim 2,6 GHz-Band handelt es sich um ein Band, das ursprünglich als UMTS-Erweiterungsband reserviert wurde.¹⁶ 1999 wurde dieses Band befristet bis Ende 2007 für BWA-Anwendungen zugeteilt, um danach für UMTS zur Verfügung zu stehen. Die Bundesnetzagentur beabsichtigt derzeit, die 2,6 GHz-Frequenzen im Frequenznutzungsplan für

¹⁵ Das European Radiocommunications Committee (ERC) empfahl 1998 die folgenden Frequenzbänder für FWA-Anwendungen: 3,400 – 3,600 GHz, 10,15 – 10,30 GHz/10,50 – 10,65 GHz, 24,5 – 26,5 GHz und 27,5 – 29,5 GHz. Vgl. CEPT (1998), S. 3.

¹⁶ Vgl. www.itu.int/newsarchive/wrc2000/IMT-2000/Res-COM5-24.html.

den digitalen zellularen Mobilfunk, ohne Beschränkung auf bestimmte Standards oder Systemtechniken, zu widmen.¹⁷ Damit eröffnen sich auch in diesem Frequenzbereich Möglichkeiten für WiMAX-Anwendungen. Die Zuteilungen erfolgen im Rahmen des Mobilfunk-Versteigerungsverfahrens voraussichtlich im Jahr 2008.

3.2.1.2 Übertragungsverfahren

Für die Weiterentwicklung der IEEE 802.16-Standards während der letzten Jahre hatten Fortschritte bei den Kodierungsverfahren eine gewichtige Bedeutung. Während noch der erste WiMAX-Standard IEEE 802.16 aus dem Jahr 2001 TDMA (Time Division Multiplexing Access) mit TDD (Time Division Duplexing) oder FDD (Frequency Division Duplexing) enthielt, sah der 2004 verabschiedete Standard IEEE 802.16-2004 das effizientere Übertragungsverfahren OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) vor.¹⁸ Der jüngste Standard für Mobile WiMAX IEEE 802.16e-2005 wiederum nutzt eine Weiterentwicklung, das sog. SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing with Multiple Access), um den besonderen Herausforderungen der mobilen Übertragung zu begegnen.

Trotz der Ähnlichkeit im Namen unterscheiden sich OFDM und SOFDMA so stark, dass unterschiedliche Hardware eingesetzt werden muss. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf den Netzausbau. Ein Upgrade eines nach IEEE 802.16-2004 errichteten Netzes, um nicht nur ortsfeste, sondern auch mobile Breitbandzugangsdienste anzubieten, setzt einen Austausch eines Großteils der Netzelemente voraus (hierzu mehr in Abschnitt „Geschäftsmodelle“).

Die in IEEE 802.16e-2005 eingesetzten Verfahren werden gegenwärtig ebenso für die nächste Generation von Mobilfunktechnologie unter den Stichworten Long Time Evolution (LTE) oder IMT-Advanced diskutiert.¹⁹ Dies kann bereits als Vorzeichen für die mittelfristig erwartete Konvergenz der funkbasierten IP-Netze mit den Mobilfunknetzen hin zum mobilen Next Generation Access Network angesehen werden.

3.2.1.3 Antennentechnologie

Wie für andere Funknetze, so gilt auch für WiMAX, dass je kleiner der Zuschnitt der Funkzellen und implizit je kürzer der Signalweg ist, desto besser ist die Signalqualität beim Empfänger. Zudem können über viele kleine Funkzellen in einem Netzgebiet mehr Nutzer gleichzeitig mit hohen Datenraten versorgt und die vorhandene Frequenzzuteilung effizienter genutzt werden. Denn das Frequenzband einer Zelle ist theoretisch ab

¹⁷ Vgl. BNetzA (2007), S. 19.

¹⁸ Vgl. Illmer (2006), S. 20.

¹⁹ Vgl. UMTS Forum (2006), S. 18.

der übernächsten Zelle störungsfrei wieder einzusetzen. Kleine Funkzellen bedeuten jedoch viele Basisstationen, die wiederum den Hauptkostenbestandteil der WiMAX-Netze ausmachen. Daher gilt es bei der Netzplanung für eine definierte Mindestsignalqualität die Anzahl der Funkzellen zu minimieren.

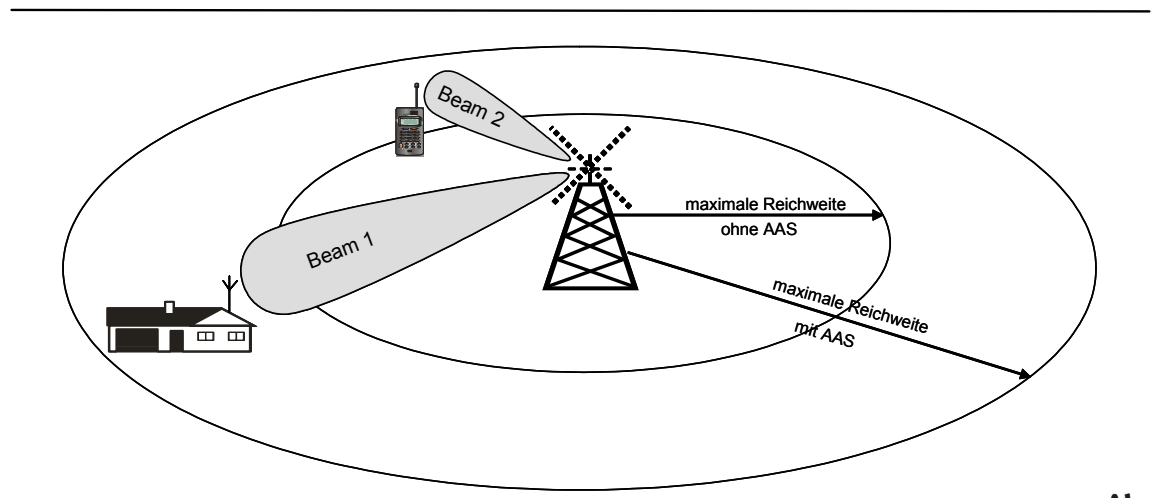
Die Ansprüche an die Versorgungsqualität sind beim Mobile WiMAX ungleich höher als bei der fixen Variante. Netze nach IEEE 802.16e-2005-Standard sollen nicht nur ganze Regionen flächendeckend versorgen und für portable und mobile Nutzer einen unterbrechungsfreien Handover einer Verbindung von einer Zelle zur nächsten gewährleisten. Sie sollen zudem auch den Einsatz von Notebooks, Handhelds und schließlich auch Mobiltelefonen mit integrierten Antennen ermöglichen. Gleichzeitig muss die Sendeleistung mobiler Endgeräte relativ gering gehalten werden, da diese Geräte zum einen nahe am Nutzer eingesetzt werden und sie zum anderen im batteriebetriebenen Modus nur wenig Energie verbrauchen dürfen.

Um diese Anforderungen zu erfüllen werden in den künftigen Mobile WiMAX-Netzen nach IEEE 802.16e innovative Antennentechnologien zum Einsatz kommen.²⁰ Insbesondere zwei Verfahren, das Beamforming- und das MIMO-Verfahren stehen hierzu zur Verfügung. Die optionale Spezifikation enthält allerdings keine genauen Vorgaben hinsichtlich der Antenne selbst, sondern bietet eine Anpassung der MAC- und PHY-Spezifikation zur Unterstützung dieser Antennentechnologien.

- Beim Beamforming richtet sich ein sog. Adaptives Antennensystem (AAS) der Basisstation nach dem Standort des Nutzerterminals und justiert den Sendestrahle in dessen Richtung (vgl. Abbildung 3-3). Die Sendeleistung wird in Richtung des adressierten Teilnehmers maximiert und gleichzeitig in andere Richtungen minimiert. Dies steigert die Effizienz der Aussendung deutlich, denn zum einen kann die maximale Sendeleistung durch das Beamforming in eine Richtung konzentriert werden, wodurch sich die Reichweite um bis zu 40 Prozent erhöht. Zum anderen treten außerhalb der Strahlrichtung keine Störungen durch das Signal auf und die Frequenz kann gegebenenfalls innerhalb der gleichen Funkzelle mehrfach genutzt werden. Mit einer adaptiven Beamformingantenne ausgerüstet erhöht sich der Datendurchsatz einer WiMAX-Basisstation um bis zu 40 Prozent. Wegen der erhöhten Reichweite von Beamformingantennen eignen sich diese insbesondere für die Versorgung in ländlichen Gebieten mit geringer Nutzerdichte.

²⁰ Vgl. Boettle/Holz (2007), S. 30f.

Abbildung 3-3: Beamforming mittels adaptiver Antennen



Quelle: Maucher/Furrer

- Beim Multiple Input Multiple Output (MIMO)-Verfahren werden die Signale über mehrere Antennen auf der Basisstation unabhängig voneinander über mehrere Datenkanäle, aber auf der selben Frequenz gesendet. Durch die räumlich verteilte Ausstrahlung in Verbindung mit Reflexionen an Gebäuden, kommt am Empfangsort ein komplexes Summensignal mit räumlichen Mustern an. Auf Seiten des Empfängers sind ebenfalls mehrere Antennen im Einsatz. Das empfangene Signal lässt sich maximieren durch Gewichtung und Addition der einzelnen Antennensignale (sog. Diversitätsgewinn). Da die unterschiedlichen Signale der einzelnen Senderantennen durch die Reflexionen charakteristische räumliche Fingerabdrücke besitzen, können mehrere Datenkanäle aufgebaut werden, die jeweils unterschiedliche Datenteile übertragen (sog. Multiplexgewinn). Je stärker in städtischer Umgebung Reflexionen auftreten, desto höher ist der Multiplexgewinn. Bei einer Sichtverbindung über freies Feld ist dieser hingegen gering. Im statistischen Mittel liegt der Multiplexgewinn bei einer Ver-0,7-fachung der Datenrate.²¹ Aus diesem Grund eignen sich MIMO-Verfahren vorrangig für den Einsatz in Ballungsräumen.

Für 2008 kündigen die Hersteller kombinierte Antennensysteme an, die beide Verfahren beherrschen und je nach den lokalen Bedingungen die beste Methode flexibel wählen, um einen Frequenzwiederholungsfaktor von 1 zu erreichen.²²

²¹ Vgl. Kaiser (2007), S. 4.

²² Vgl. Boettle/Holz (2007), S. 31.

3.2.1.4 Reichweite und Datendurchsatz

Seit die ersten WiMAX-Technologien vor ein paar Jahren entwickelt wurden, werden mitunter Leistungsfähigkeiten kommuniziert, die WiMAX im Vergleich zu bestehenden funk- und leitungsbasierten Netzen als deutlich überlegen darstellen. So wurde zum Teil der Eindruck erweckt – sei es gezielt oder aus Unkenntnis, dass WiMAX mit einem mobilen Endgerät über Entfernungen von 50 km eine individuelle Datenübertragungsrate von 20 Mbit/s und mehr ermöglichen könnte.

Bei derartigen Auslegungen der Leistungsfähigkeiten bleibt oftmals unberücksichtigt, dass nicht alle Parameter gleichzeitig ihr Maximum aufweisen können. Zudem werden theoretische Reichweiten und Bruttodatenraten herangezogen und es wird ferner unterschlagen, dass ein Trade-off zwischen Länge der Funkstrecke und Bitrate existiert. Hinzu kommt, dass ab einer gewissen Entfernung eine LOS-Verbindung mittels relativ großer, fest installierter Richtantennen, wie sie mobile Endgeräte gar nicht aufweisen können, notwendig wird und schließlich dass sich alle Nutzer innerhalb des Versorgungsgebietes einer Basisstation den Datendurchsatz teilen müssen.

Grundsätzlich gilt:

- Je größer das Versorgungsgebiet einer Basisstation ist, desto weniger Nutzer können bei gegebenem Mindestnettodatendurchsatz und gegebener Aktivitätsrate bedient werden.
- Je weiter die Entfernung von der Basisstation ist, desto größer ist die Dämpfung und desto schwächer ist das Signal. Zudem wird LOS und eine gerichtete Außenantenne umso erforderlicher.
- Die Topographie und Bebauung einer Region hat entscheidenden Einfluss auf die Reichweite. Streuungen, Beugungen, Reflexionen und Abschattungen wirken sich negativ auf die Reichweite aus. Bei größeren Entfernungen spielen auch Reflexionen durch die Erdkrümmung eine Rolle, wenn die Antenne nicht hoch genug installiert ist.

Um die Leistungsfähigkeit von WiMAX realistisch einzuschätzen, muss zwischen unterschiedlichen Anwendungsszenarien unterschieden werden:

- Ortsfeste Breitbandanschlüsse in ländlichen Gebieten

Beim ortsfesten breitbandigen Internetzugang mit WiMAX können Außenantennen an den Gebäuden angebracht werden, die die Signalreichweite deutlich erhöhen. Bei Außenantennen fällt die Dämpfung der Gebäudewand weg und sie kann in Richtung der Basisstation ausgerichtet werden und damit LOS bzw. nahezu LOS herstellen. Ihre Bauform kann für eine gerichtete LOS-Verbindung optimiert werden und nicht zuletzt sind höhere Sendeleistungen zugelassen. Mittels gerichteten Außenantennen können

im Standard IEEE 802.16-2004 zwar unter Laborbedingungen bis zu 50 km Reichweite erzielt werden, in der Praxis sind jedoch 12 bis 15 km realistische Maximalwerte. Der maximale Datendurchsatz von rund 70 Mbit/s wird jedoch nur in einem Radius von weniger als 1 km um die Basisstation erreicht.²³ Zudem muss der Datendurchsatz von allen aktiven Nutzern innerhalb der Funkzelle geteilt werden. Es liegt am Netzbetreiber, wie hoch er die maximale individuelle Nettodatenrate je Nutzer festlegt.

- Ortsfeste Breitbandanschlüsse im städtischen Bereich

Im städtischen Bereich, wo die (potenziellen) Nutzer dichter beieinander wohnen, spielt die maximale Reichweite eine geringere Rolle. Je nach Potenzialanalyse und Geschäftsmodell planen die Netzbetreiber kleinere Zellgrößen. Bei geringerer Entfernung zur Basisstation besteht die Möglichkeit das WiMAX-Modem der Nutzer über kostengünstigere Zimmerantennen anzuschließen. Diese können entweder hinter einem Fenster in Richtung der Basisstation oder bei kurzen Entfernungen auch direkt am PC-Standort platziert werden. Zimmerantennen besitzen derzeit etwa die Größe einer Zigarettenschachtel. Für dieses Einsatzszenario kann sowohl Technologie nach dem Standard IEEE 802.16-2004 als auch nach IEEE 802.16e eingesetzt werden, letzterer jedoch nur bis zu einer Reichweite von 4-5 km.

- Portable und mobile Nutzung

Für eine portable und mobile Nutzung mit entsprechenden Endgeräten sind Mobile WiMAX-Netze nach dem Standard IEEE 802.16e Voraussetzung. Um den flächendeckenden Empfang auch innerhalb von Gebäuden zu gewährleisten, ist ein sehr dichter Netzausbau mit vielen Basisstationen notwendig. Die typische Reichweite für die mobile Nutzung liegt im städtischen Bereich bei etwa 500 m bis 2 km. D. h. die Netze müssen in etwa so dicht wie klassische Mobilfunknetze geknüpft werden. Auch wenn derzeit bereits die ersten Netze für den mobilen Empfang errichtet werden, so werden mobile WiMAX-Dienste für den Massenmarkt erst mit einer breiten Verfügbarkeit von Endgeräten mit integrierten Mobile WiMAX-Komponenten (Modem und Empfangsantenne) verfügbar.

3.2.2 MAC-Schicht

Die Standardisierung der MAC-Schicht erfolgte bei IEEE 802.16 mit dem Ziel eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsszenarien zu unterstützen.²⁴ Bei der Entwicklung des IEEE 802.16-MAC-Protokolls wurde auf bewährte Verfahren aus dem DOCSIS-Standard für Kabelfernsehtnetze zurückgegriffen. Zentrale Aufgabe der MAC-Schicht ist es, den Zugang aller Teilnehmer auf den gemeinsam genutzten Funkkanal effizient zu

²³ Vgl. die Berechnungen bei Maucher/Furrer (2007), S. 70ff.

²⁴ Vgl. im Folgenden nach Maucher/Furrer (2007), S. 203ff.

regeln. Die Schwierigkeit besteht darin, die zur Verfügung stehenden Frequenzressourcen auch bei einer großen Anzahl von Teilnehmern mit verschiedenen Anforderungen hinsichtlich der Quality of Service (QoS) so effizient wie möglich zuzuweisen. Hierbei müssen so unterschiedliche Datenströme wie stoßweise anfallender Internetabruf, verzögerungsempfindlicher Sprachverkehr und Dienste mit gleichmäßig hohen Datenraten wie beispielsweise Videostreams parallel abgewickelt werden.

Grundsätzlich sind für Funknetze nach IEEE 802.16-Standard zwei Betriebsmodi möglich: der Punkt-zu-Mehrpunkt-(PMP)-Betrieb oder der Mesh-Betrieb. Beim PMP-Modus besteht eine klare Hierarchie von Basis- und Teilnehmerstationen, bei der die Basisstation den koordinierten Kanalzugriff sowohl im Down- als auch im Uplink steuert. Der Downlink operiert als Broadcast-Kanal bei dem die Basisstation der einzige Sender ist und die Downlink-Übertragungen von allen Teilnehmerstationen empfangen werden. Der Kanalzugriff muss daher für den Downlink nicht weiter zwischen mehreren Teilnehmern organisiert werden. Anders ist es im Uplink, hier muss der Kanalzugriff je nach Bandbreitenbedarf der einzelnen Teilnehmerstationen dynamisch alloziert werden. Ein Punkt-zu-Punkt-Betrieb stellt den Sonderfall des PMP-Betriebs dar, bei dem auch im Uplink kein Kanalzugriff zwischen mehreren Teilnehmern koordiniert werden muss.

Anders verhält es sich beim zweiten Modus, dem Mesh-Betrieb. In einem vermaschten Netz bestehen keine eindeutigen Hierarchien wie im PMP-Netz. Der Datenverkehr wird zwischen den Stationen ausgetauscht und auch an weitere Stationen weitergereicht. Grundsätzlich sind alle Geräte im Netz Knoten. Die Knoten, die den Verkehr in externe Backhaul-Netze übergeben, werden als Mesh-Basisstation bezeichnet. Mesh-Topologien kommt bei der derzeitigen Standardentwicklung keine große Bedeutung zu und auch das WiMAX-Forum adressiert mit seinen Zertifizierungsaktivitäten ausschließlich auf den PMP-Betrieb. Von daher sollen die Besonderheiten des Mesh-Betriebs nicht weiter ausgeführt werden.

3.2.2.1 Quality of Service

Mit der Bereitstellung von anwendungsspezifischer Dienstgüte bzw. Quality of Service unterscheidet sich WiMAX grundlegend von anderen IP-Funknetzen mit geteilter Kapazität wie WLAN, wo die Dienstgüte ausschließlich auf dem Best Effort-Prinzip beruht. Um die Quality of Service der unterschiedlichen Anwendungen sicherzustellen, wurden im IEEE 802.16-Standard sog. Service Flows spezifiziert. Unter einem Service Flow versteht man einen „unidirektionale[n] Fluss von Paketen, welche logisch zusammengehören und eine bestimmte, gemeinsame Dienstgüte benötigen.“²⁵ Der Service Flow ist mit festgelegten QoS-Parametern verbunden und spezifiziert hierdurch den MAC-

²⁵ Maucher/Furrer (2007), S. 294.

Transportdienst und die QoS-Eigenschaften der übertragenen Pakete. Auf diese Weise ist jeder Dienst in IEEE 802.16-Netzen verbindungsorientiert.

Der Allokationsprozess von verfügbarer Bandbreite auf die QoS-Anforderungen der Anwendungen wird auch als Scheduling bezeichnet. Der Scheduling-Algorithmus legt den Zeitplan fest, nach dem die verschiedenen Service Flows mit ihren unterschiedlichen Anforderungen an Datendurchsatz und Latenzzeit bedient werden. Damit das Bandbreitenmanagement die Kapazität des Funkkanals gleichzeitig so effizient wie möglich nutzt, wurde der Signalisierungs-Overhead für das Bandbreitenmanagement klein gehalten und es wird nur dann Bandbreite alloziert, wenn tatsächlich ein Bedarf besteht.

Eine Basisstation ist jederzeit über den tatsächlichen Bandbreitenbedarf der aktiven Teilnehmer für den Downlink informiert, während die Informationen über den jeweiligen Uplink-Bedarf bei den Teilnehmerstationen verteilt vorliegen. Damit die Basisstation, die für das zentrale Bandbreitenmanagement zuständig ist, diese Informationen erhält, müssen die Teilnehmerstationen ihren Uplink-Bedarf bei der Basisstation anmelden, um entsprechende Kapazitäten anzufordern. Die Bandbreitenanforderungen können sowohl inkrementeller als auch aggregierter Natur sein. Diese Anforderungen nach dem sog. Demand Assigned Multiple Access (DAMA)-Prinzip erfolgen auf der Basis von vier bzw. fünf definierten Uplink-Scheduling-Diensten:

- Der *Unsolicited Grant Service* (UGS) bietet die höchsten QoS-Garantien für Echtzeit-Applikationen, die periodisch Daten gleich bleibender Größe generieren. Mit UGS wird ein Service Flow mit konstanter Bitrate über das Funknetz transportiert. Typische UGS Service Flows sind ATM Constant Bit Rate, E1/T1 over ATM und Voice over IP (ohne Silence Suppression).
- Der *Real-time Polling Service* (rtPS) wird für Service Flows eingesetzt, die ebenso Echtzeit-Anforderungen besitzen, jedoch periodisch Daten variabler Größe generieren. Im Vergleich zu UGS benötigt rtPS einen etwas größeren Protokoll-Overhead, da der jeweilige Bandbreitenbedarf übermittelt werden muss und auch die Latenzzeit etwas höher ist. Die Bandbreite wird aber effizienter genutzt, da kein Leerlauf reserviert wird. rtPS eignet sich vor allem für Audio/Video-Streaming.
- Die Standarderweiterung IEEE 802.16e verfügt mit dem *Extended Real-Time Polling Service* (ertPS) über einen zusätzlichen Uplink Scheduling Dienst. ertPS unterstützt Voice over IP mit aktiver Silence Suppression. Trotz geringem Protokoll-Overhead und Latenzzeit wie bei UGS wird die allozierte Bandbreite dynamisch angepasst, um die Bandbreiteneffizienz zu steigern.
- Der *Non-real-time Polling Service* (nrtPS) ist für Service Flows ausgelegt, die aperiodisch Daten variabler Größe generieren und dabei eine gewisse Toleranz gegenüber Latenzzeit und Latenzzeit-Variationen aufweisen. Der nrtPS Scheduling

Dienst bietet eine minimale reservierte Datenrate, wobei er sich gewissermaßen komplementär zu den Real Time Service Flows verhält und deren jeweils nicht genutzten Bandbreiten nutzt, um seine Datenrate über das minimal reservierte Niveau hinaus zu erweitern. Typische nrtPS-Anwendungen sind Internet Access mit garantierter minimaler Datenrate oder ATM Guaranteed Frame Rate.

- Der *Best Effort* (BE) Scheduling Dienst stellt keine QoS-Garantien bereit und entspricht dem Dienst, wie er üblicherweise im öffentlichen Internet zur Verfügung steht. Die Übertragungsqualität ist abhängig von der momentanen Auslastung des Netzes. Damit eignet sich der BE-Scheduling Dienst für alle Anwendungen, die keine Mindestanforderungen an Datendurchsatz, Latenzzeit oder Latenzzeit-Variation besitzen, wie den regulären Internetverkehr ohne QoS-Garantien.

3.2.2.2 Sicherheitsmaßnahmen

Für Funknetze spielen Sicherheitsmaßnahmen eine besonders große Rolle, da es keines physischen Zugangs wie bei einem leitungsgebundenen Übertragungsmedium bedarf, um den Datenstrom abzugreifen. Funkwellen können jederzeit unerkannt von Dritten empfangen werden. Es kommt daher auf die Stärke der Verschlüsselung der Signale an und welcher Aufwand betrieben werden muss, um die transportierten Inhalte abzuhören bzw. mitzulesen. Die Erfahrungen aus der Kryptografie lehren, dass eine absolute Sicherheit nicht und eine nahezu absolute nur mit enorm hohem Aufwand zu gewährleisten ist. Je nach Schutzbedürftigkeit der Informationen und der realen Angriffsszenarien ist für die meisten Funkanwendungen ein skaliertes Schutzgrad ausreichend, der mit deutlich weniger Aufwand zu erreichen ist. Aus der Erfahrung mit IEEE 802.11 (WLAN) hat sich jedoch gezeigt, dass es nicht hinreichend ist, die Installation von Sicherheitsmaßnahmen in den oberen Schichten vorzusehen und sie somit faktisch den Nutzern zu überlassen. Ein Großteil der WLAN-Nutzer verzichtet auf Schutzmaßnahmen, sei es aus mangelndem Sicherheitsbewusstsein, fehlendem technischen Verständnis oder Bequemlichkeit. Der IEEE 802.16-Standard sieht daher bereits in der Data Link-Schicht robuste Sicherheitsverfahren vor.

Die grundsätzliche Anforderung nach Sicherheit in der elektronischen Kommunikation beinhaltet fünf grundlegende Aspekte:

- Authentifizierung – Bestätigung von Identität und Echtheit
- Autorisierung – Zuweisung und Überprüfung von Zugriffsrechten
- Vertraulichkeit – Schutz von Inhalten vor dem Mitlesen von Dritten
- Integrität – Schutz vor Veränderung der Daten durch Dritte
- Verfügbarkeit – Dienste und Daten stehen bei Bedarf zur Verfügung

Bis auf den Aspekt der Verfügbarkeit werden alle Sicherheitsanforderungen im IEEE 802.16-Standard adressiert. Bei der Ausarbeitung neuer Standardvarianten wurden jeweils Schwachstellen bei der Sicherheit verbessert. Während beispielsweise bei IEEE 802.16-2004 nur die Teilnehmerstationen gegenüber den Basisstationen authentifiziert werden und dies Angriffsmöglichkeiten durch sog. Man-in-the-Middle-Attacken offen lässt, erfolgt bei IEEE 802.16e eine Authentifizierung in beide Richtungen. Die Autorisierungen der Teilnehmerstationen muss regelmäßig erneuert werden. Hierbei findet auch eine regelmäßige Aktualisierung des Schlüsselmaterials für die Datenverschlüsselung statt. Als kryptografische Methoden zur Datenverschlüsselung sind sowohl der DES (Data Encryption Standard) als auch AES (Advanced Encryption Standard) vorgesehen. Da DES mittlerweile als theoretisch und praktisch gebrochen gilt, wird von Experten für WiMAX-Systeme der Einsatz von AES empfohlen.

3.2.3 Mobilitätsunterstützung

Um BWA-Dienste nicht nur ortsfest, nomadisch oder portabel sondern auch mobil einzusetzen, muss ein erheblich größerer technischer Aufwand betrieben werden. Zu den Anforderungen an ein mobiles System gehört, dass bestehende Verbindungen ohne eine merkbare Unterbrechung von einer Basisstation zur nächsten weitergereicht werden können, während sich der Teilnehmer mit bis zu 125 km/h bewegt. Schnelle Ortsveränderung stellen gleichzeitig erschwerte Bedingungen für den Funkkanal dar: Die Verbindung ist über die meiste Zeit NLOS, die Verhältnisse bezüglich Streuung, Beugung, Abschattung und Reflexion der Signale verändern sich permanent, bei hohen Geschwindigkeiten kommt es zu Dopplerverschiebungen und es treten immer wieder plötzliche Empfangsleistungseinbrüche auf. Hinzu kommt, dass mobile Endgeräte nur über beschränkte Energiespeicher und Rechenleistungen sowie kleine, ungerichtete Antennen verfügen. Schließlich muss das Netz immer über den Aufenthaltsort der WiMAX-Endgeräte informiert sein, um ankommende Verbindungsanfragen z. B. beim Telefoniedienst an die Basisstation der aktuellen Funkzelle zu leiten.

Um den besonderen Anforderungen an die Luftschnittstelle zu begegnen, wird, wie bereits in Abschnitt 3.2.1.2 erwähnt, mit Scalable OFDMA ein spezielles Übertragungsverfahren eingesetzt. Die Anforderungen an die Funktionalitäten eines mobiles Funknetzes betreffen nicht nur die Luftschnittstelle, sondern auch wesentliche Elemente des Kernnetzes. Der IEEE 802.16-Standard spezifiziert wiederum grundsätzlich nur die Luftschnittstelle. Um die bei mobilen Netzen besonders wichtige Interoperabilität der Endgeräte mit allen Netzen zu gewährleisten, ergänzte das WiMAX-Forum den IEEE 802.16e-Standard im Mobile WiMAX-Profil durch Spezifikationen für das Gesamtsystem aus Luftschnittstelle, Netzarchitektur und Protokolle. Mobile WiMAX-Systeme unterscheiden sich somit grundlegend von Fixed WiMAX-Systemen.

Netze nach der Mobile WiMAX-Spezifikation verfügen über komplexe Mechanismen zur Erkennung der jeweils stärksten Basisstation und zum dynamischen Wechsel zwischen

Basisstationen ohne Datenverlust und merklicher Dienstunterbrechung. Der Energieverbrauch wird durch dynamische Sendeleistungsanpassungs- und Standby-Verfahren gedrosselt. Der momentane Aufenthaltsort der Teilnehmer wird in netzseitigen Datenbanken vorgehalten. Auch für die systemübergreifende Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung beim Roaming wurden Mechanismen spezifiziert.

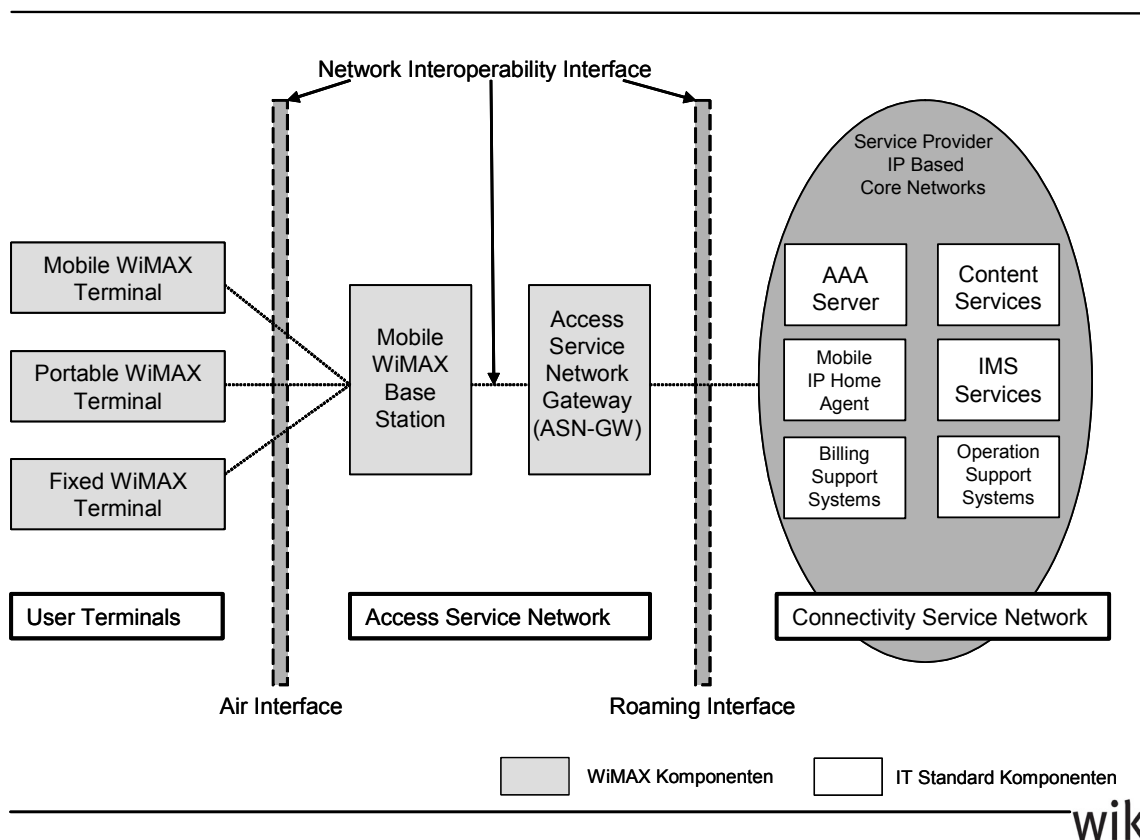
Wie beim herkömmlichen Mobilfunkstandard 3GPP/UMTS, werden bei Mobile WiMAX Netzwerkkomponenten und funktionale Einheiten für eine Bereitstellung kompletter End-to-End-Dienste definiert.²⁶ Der wesentliche Unterschied zu den Mobilfunkstandards besteht in einer durchgehenden IP-basierten Ende-zu-Ende-Architektur. Es müssen somit keine zwei parallele Systeme für leitungsvermittelte Sprach- und paketvermittelte Datenverkehre betrieben werden, was mit substantziellen Kostenersparnissen verbunden ist. Als All-IP-Netz bestehen Mobile WiMAX-Netze aus kostengünstigeren IP-Komponenten, deren Entwicklung schneller voranschreitet als die der leitungsvermittelten Komponenten und die stärker auf Software basieren und über besser zugängliche Schnittstellen verfügen. Hierin wird von einigen Experten der zentrale Kostenvorteil von WiMAX gegenüber UMTS gesehen. Es wird argumentiert, dass obwohl die Basisstationen vergleichbare Kosten erzeugen, die Mobile WiMAX Gesamtsysteme durch die deutlich kostengünstigeren Backhaul-Netze einen Wirtschaftlichkeitsvorteil gegenüber den 3GPP/UMTS-Netzen besitzen.²⁷

Weitere Anforderungen, die für die Spezifikation der Mobile WiMAX Ende-zu-Ende-Architektur zugrunde gelegt wurden, sind eine weitgehende Entkopplung des Zugangnetzes (Access Service Network) vom Kernnetz (Connectivity Service Network) (vgl. Abbildung 3-4), ein flexibler und modularer Aufbau für vielfältige Einsatzszenarien (Stadt/Land, verschiedene Frequenzbänder, flache und hierarchische Netztopologien, Paralleler Betrieb von ortsfesten, portablen und mobilen WiMAX-Endgeräten), Unterstützung einer breiten Palette von Anwendungen und Diensten (VoIP, Notrufe, Audio-/Videostreaming, IP-Broad- und Multicast, Internetzugang, Application Service Provision, SMS/MMS/WAP) sowie nicht zuletzt Roaming zwischen WiMAX-Netzen verschiedener Betreiber bis hin zu Roaming zwischen verschiedenen Netztypen (3GPP, 3GPP2, DSL, etc.).

²⁶ Vgl. Maucher/Furrer (2007), S. 358ff.

²⁷ Vgl. Harrowell (2007), S. 50.

Abbildung 3-4: Netzwerkelemente von Mobile WiMAX



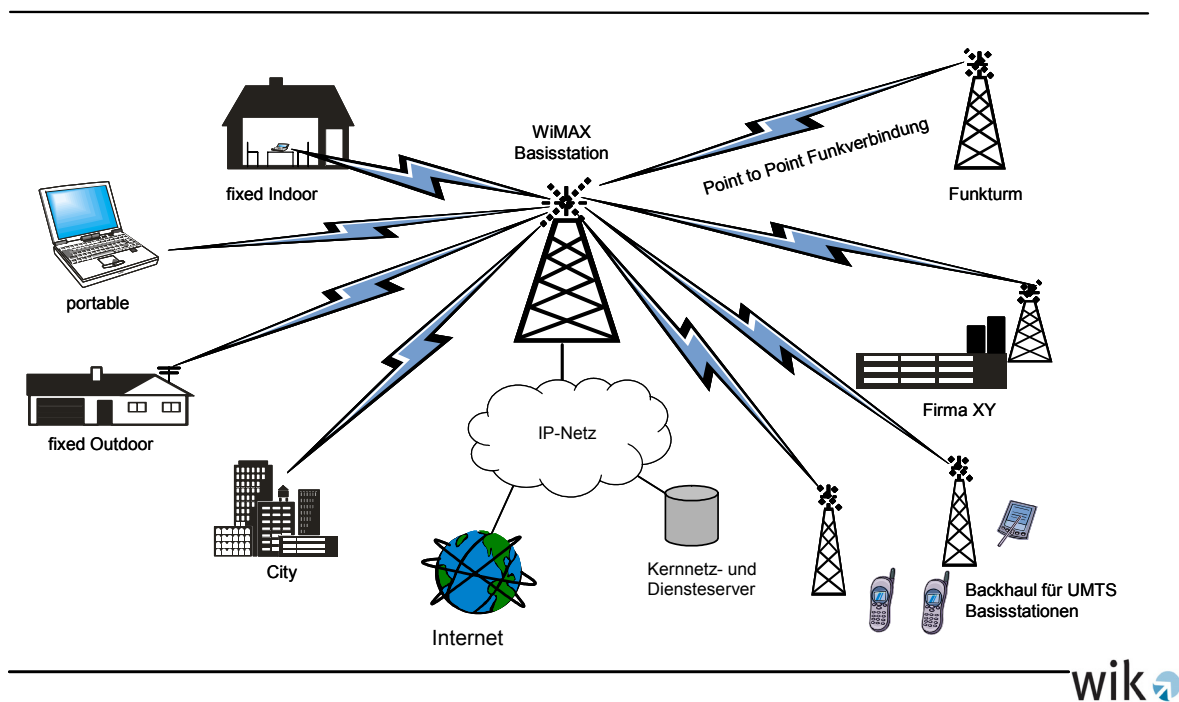
Quelle: Maucher/Furrer

3.2.4 WiMAX Netzstruktur

Dass es sich bei Fixed WiMAX- und Mobile WiMAX-Netzen um deutlich unterschiedliche Systeme handelt, zeigt sich auch bei den verschiedenen Netzstrukturen und Netzelementen. Gemeinsam ist beiden Systemen die Point-to-Multipoint-Topologie, bei der eine Basisstation in ihrer Reichweite viele Teilnehmerstationen bzw. WiMAX-Endgeräte bedient. Das Versorgungsgebiet einer Basisstation kann hierbei in mehrere Sektoren aufgeteilt sein, die jeweils mit einer anderen Frequenz bedient werden, um die Kapazität zu erhöhen.

Bei Fixed WiMAX-Netzen können die Basisstationen relativ unabhängig voneinander dort errichtet werden, wo ein hohes Nutzerpotenzial für funkbasierte ortsfeste Breitbandanschlüsse vorhanden ist. Je nach örtlicher Verfügbarkeit der Breitbandzuführung, werden die Basisstationen kabelgebunden oder durch Point-to-Point-Richtfunk in das IP-Backhaul-Netz des Betreibers eingebunden. Neben BWA-Diensten können WiMAX-Basisstationen auch in den Backhaul von UMTS-Basisstationen eingebunden werden (vgl. Abbildung 3-5).

Abbildung 3-5: Netzstruktur bei Fixed WiMAX



Quelle: brown iposs

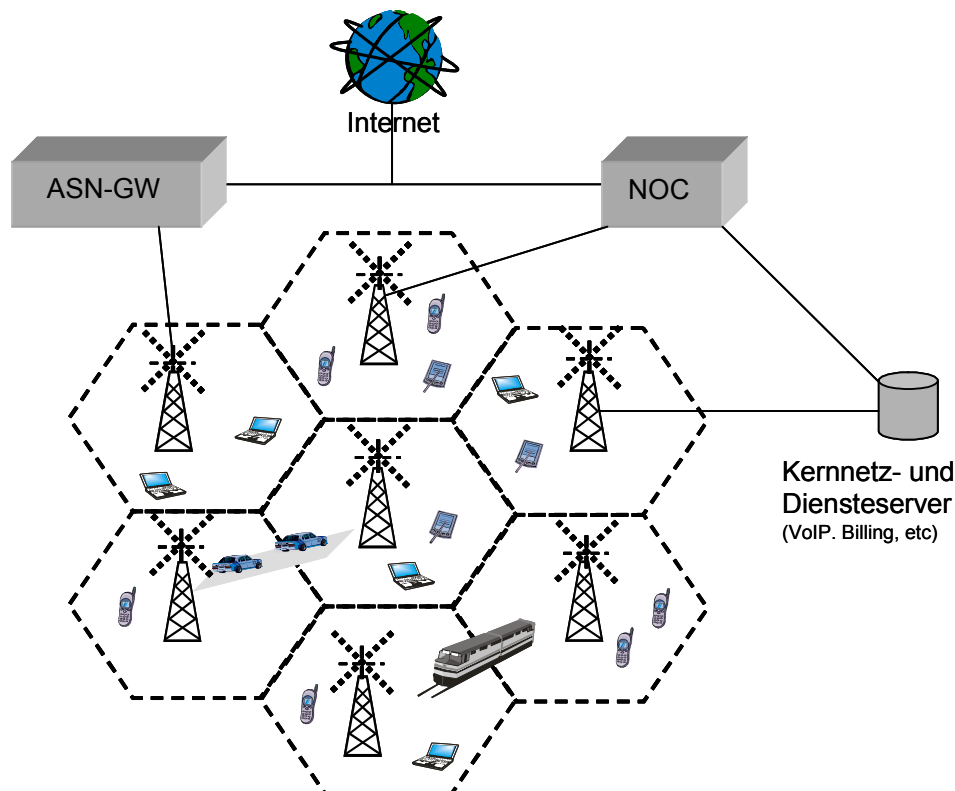
Um die Zugangsdienste und ggf. weitere Dienste zu administrieren wird ein zentraler Kernnetz- und Diensteserver benötigt, der unter anderem die Dienste bereitstellt sowie die Authentifizierung, die Autorisierung und das Accounting (AAA) organisiert. Die Ende-zu-Ende-Übertragung findet ausschließlich auf IP-Basis statt. Damit zählen WiMAX-Netze zur Gruppe der sog. Next-Generation-Networks (NGN) und können nahtlos in andere (leitungsgebundene) NGN integriert werden.

Die WiMAX-Nutzer werden je nach Serviceangebot des Netzbetreibers der jeweils nächstgelegenen Basisstation fest zugeordnet, was aber einer nomadischen Nutzung entgegensteht. Für die Netzbetreiber hat dies den Vorteil, dass sie alle Nutzer innerhalb der Reichweite einer Basisstation kennen und leichter Verkehrsschätzungen und Kapazitätsplanungen betreiben können. Die Systemarchitektur von IEEE 802.16d-2004-Netzen ist relativ einfach und enthält hauptsächlich gängige Ethernet- und IP-Systemtechnik. Dies hat den Vorteil, dass auch kleine Netzbetreiber mit relativ geringem Netzplanungs- und Netzbetriebsaufwand Fixed WiMAX-Netze betreiben können, beispielsweise als punktuelle Zugangnetze in Ortschaften ohne sonstige Breitbandversorgung.

Deutlich anders verhält es sich mit Netzen nach dem Mobile WiMAX-Profil und dem IEEE 802.16e-Standard. Voraussetzung für ein mobiles Dienstangebot sind Netze, die eine hinreichende Flächendeckung aufweisen - entsprechend den Bewegungsräumen

der potenziellen Nutzer. Das bedeutet, dass Netze für Mobile WiMAX ähnlich wie klassische Mobilfunknetze eine zellulare Struktur aufweisen (vgl. Abbildung 3-6).

Abbildung 3-6: Netzstruktur bei Mobile WiMAX



Quelle: brown-iposs

Die Zellen besitzen jeweils einen Radius von 500 m bis zu 3 km, um auch eine hinreichende Funkversorgung innerhalb der Gebäude und den Einsatz von mobilen Terminals zu gewährleisten. Nach Berechnungen des WiMAX-Forums werden etwa ein Drittel Basisstationen im Vergleich zu UMTS-HSPA benötigt, um die gleiche Datendichte (Kilobytes/Sekunde/Quadratkilometer) zu realisieren.²⁸ Soll jedoch mit WiMAX eine höhere Leistungsdichte zur Verfügung gestellt werden, um ein Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu UMTS zu generieren, sind Netze von gleicher oder sogar höherer Basisstationsdichte erforderlich.

Ein sog. WiMAX Access Service Network Gateway (ASN-GW) ermöglicht das Handover einer Funkverbindung von einer Zelle zur nächsten. Je nach Auslastung der Funk-

²⁸ Vgl. Gray (2006), S. 9.

zellen können die Nutzer dynamisch benachbarten Zellen zugeordnet werden. Der gesamte Netzüberwachungsaufwand ist erheblich größer als beim Fixed WiMAX, so dass erheblich größere Anforderungen an das Network Operations Center (NOC) gestellt werden.

3.2.5 Verfügbarkeit von WiMAX-Komponenten

Nachdem zunächst BWA-Netze mit sog. Pre-WiMAX Komponenten aufgebaut wurden, sind seit 2006 zertifizierte Fixed WiMAX Systemkomponenten verschiedener Hersteller verfügbar. Ende 2007 wurde mit den ersten Tests für die Zertifizierung von Mobile WiMAX Systemen begonnen. Nach Aussagen des WiMAX-Forums sollen im ersten Halbjahr 2008 die ersten Zertifikate vergeben werden.²⁹ Seit Ende 2007 werden die ersten kommerziellen WiMAX-Netze nach IEEE 802.16e aufgebaut.³⁰

Der Prozessorenhersteller Intel, einer der maßgeblichen Unterstützer des WiMAX-Forums, hat bereits vor längerer Zeit erklärt, WiMAX neben WLAN auf dem sog. „Centrino-Chip“ zu integrieren, damit Notebooks künftig serienmäßig mit diesen beiden Funkschnittstellen angeboten werden. Aktuell existieren Prototypen sowohl für ein derartiges Chip-Set, das zunächst unter dem Entwicklungsnamen „Rosedale“ und derzeit unter „Echo Peak“ geführt wird, als auch für nachrüstbare externe PCMCIA-Karten.³¹ Mit den integrierten Funkschnittstellen sollen je nach Verfügbarkeit und Netzstärke nahtlose Wechsel zwischen WLAN und WiMAX-Netzen möglich werden. Die Markteinführung dieser integrierten Chips wird von Experten für 2008 erwartet. Bis eine installierte Basis an Notebooks mit eingebauter WiMAX-Schnittstelle in signifikanter Größenordnung erreicht wird – dies wird frühestens ab 2009/2010 der Fall sein – werden voraussichtlich PCMCIA-Karten als Zwischenlösung eine gewichtige Rolle spielen.

Im Frühjahr 2007 wurden erste Prototypen für Mobile WiMAX-Handhelds bzw. WiMAX-Mobiltelefone vorgestellt.³² Mit der Verfügbarkeit erster Serienmodelle, beispielsweise von Nokia und Samsung, wird gegen Ende des Jahres 2008 gerechnet. Eine Massenmarktauglichkeit von WiMAX-Telefonen setzt voraus, dass sie ebenfalls UMTS und GSM integriert haben und alle Funktionalitäten wie heutige bzw. künftige Mobiltelefone bieten. Wie die Erfahrungen mit neuen Mobilfunktechnologien wie GPRS und UMTS zeigen, erfordern erfolgreiche Penetrationen auf dem Massenmarkt selbst bei aktiver Vermarktungsunterstützung der Netzbetreiber mehrere Jahre.

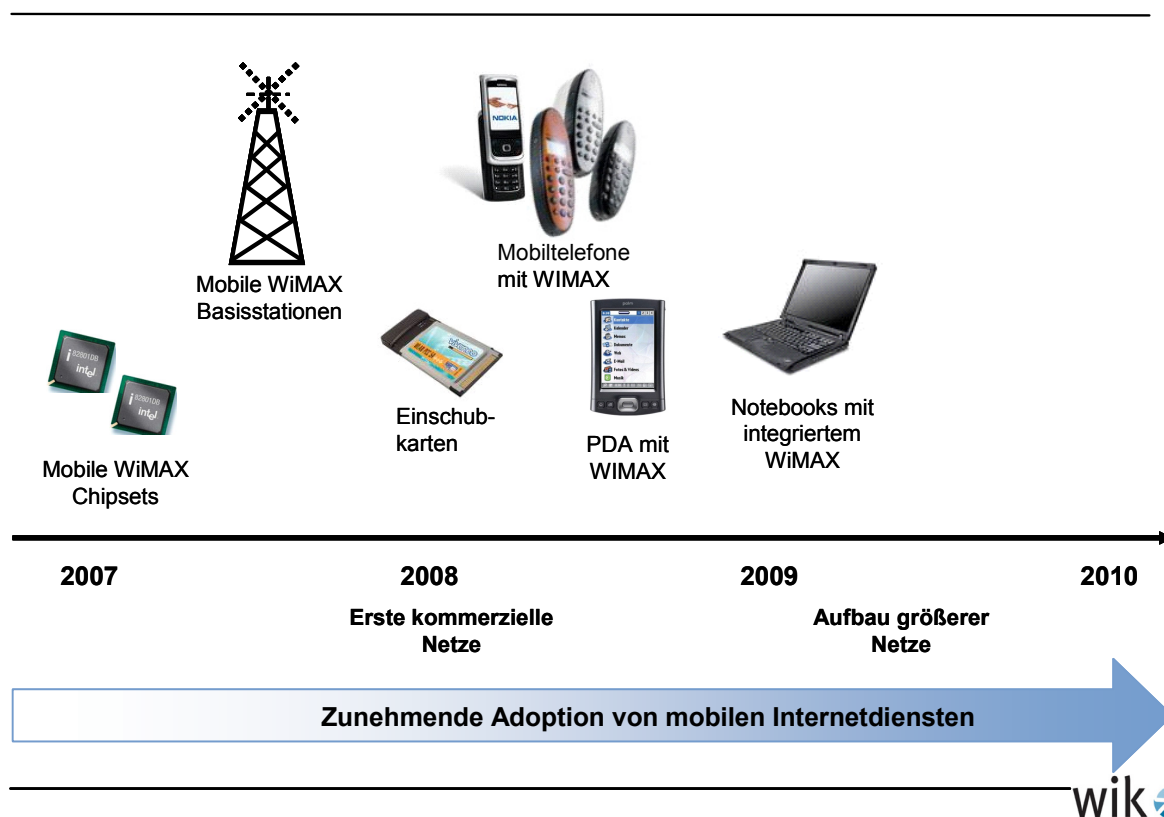
²⁹ Vgl. „WiMAX Forum Begins Certification Testing for Mobile WiMAX (TM) Products“, WiMAX Forum Press Release, 19.12.2007.

³⁰ Die ersten kommerziellen WiMAX-Netze nach IEEE 802.16e wurden in Deutschland durch den baden-württembergischen Regio-Carrier Neckarcom aufgebaut.

³¹ Vgl. „Intel arbeitet an kombiniertem WLAN/Wimax-Modul“, heise.de vom 31.5.2007.

³² Vgl. <http://de.internet.com/index.php?id=2047806>.

Abbildung 3-7: Verfügbarkeit von Mobile WiMAX-Komponenten



Quelle: Carbonne/Pujol (2006)

Da es sich bei den heute verfügbaren WiMAX-Systemen um die erste Generation von Netzkomponenten und Endgeräten handelt und noch relativ wenig Praxiserfahrungen mit hohen Nutzerzahlen bestehen, ist mittelfristig von einer anhaltend hohen Dynamik bei der technischen Weiterentwicklung auszugehen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Nachfrage nach WiMAX-Systemen weiterhin hoch bleibt. Die technologischen Möglichkeiten von WiMAX sind nach Experteneinschätzungen noch lange nicht ausgereizt und mit jeder neu auf den Markt kommenden Produktgeneration wird die Leistungsfähigkeit gesteigert.

Derzeit kommen beispielsweise zunehmend kompaktere Basisstationen auf den Markt, die am Standort geringeren Platzbedarf haben und somit zur Kostenersparnis und besseren Akzeptanz der Standortbesitzer beitragen. Durch die Unterteilung des Versorgungsbereichs in derzeit bis zu sechs Sektoren kann die Kapazität erhöht und beispielsweise über tausend aktive Verbindungen je Standort ermöglicht werden.

3.2.6 Zusammenfassung der wesentlichen technologischen Merkmale

In Tabelle 3-1 sind die wesentlichen technologischen Merkmale der aktuellen Standards IEEE 802.16, IEEE 802.16d-2004 und IEEE 802.16e-2005 zusammengefasst.³³

Tabelle 3-1: Technologische Merkmale von WiMAX im Überblick

	IEEE 802.16	IEEE 802.16d-2004 (Fixed WiMAX)	IEEE 802.16e-2005 (Mobile WiMAX)
Standard verabschiedet	Dezember 2001	Juli 2004	Dezember 2005
Betriebsfrequenz	10-66 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
Reichweite	LOS: bis 5 km	LOS: 12 bis 15 km NLOS: 1 bis 3 km	NLOS: 1 bis 5 km
Übertragungsverfahren	SCA/OFDM	OFDM 256	SOFDMA 2048
Topologie	Point to Point	Point to Multipoint; mehrere 100 Terminals möglich; Anzahl aktiver Nutzer beschränkt	Point to Multipoint
Anwendung	Breitbandzuführung, BWA einzelner Großkunden	BWA	BWA
Handover	nein	nein	ja
Kanalbandbreiten	20, 25, 28 MHz	flexibel von 1,5 bis 20 MHz	1,25 bis 20 MHz
Durchsatz (je nach Kanalbb.)	bis zu 134 Mbit/s	bis zu 70 Mbit/s	bis zu 35 Mbit/s

Quellen: Maucher/Furrer, verschiedene Hersteller, brown-iposs

³³ Der Standard IEEE 802.16 wird der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, im weiteren jedoch nicht näher beleuchtet, da er wegen seiner hohen Betriebsfrequenzen nicht für BWA-Anwendungen eingesetzt wird. Im Folgenden beschränkt sich die Darstellung auf die wesentlichen technischen Merkmale der beiden WiMAX-Standards IEEE 802.16-2004 und IEEE 802.16e.

4 Die Vergabe von BWA-Frequenzen für den deutschen Markt

Die Diskussion um die regulatorischen Rahmenbedingungen für den Aufbau von BWA-Netzen in Deutschland geht auf das Jahr 2004 zurück, als die Bundesnetzagentur Eckpunkte des geplanten Zuteilungsverfahrens für Frequenzen im Bereich 3400-3600 MHz veröffentlichte und eine Anhörung durchführte.³⁴ Dieser Frequenzbereich war zuvor für Wireless Local Loop (WLL) vorgesehen, wurde jedoch kaum für drahtlose Telefonanschlüsse genutzt. Nach Absprache mit der BNetzA wurden in der Zwischenzeit einige der WLL-Zuteilungen bereits für den Aufbau von Pre-WiMAX-Netzen eingesetzt.³⁵ Die BNetzA verfolgte bei der Vergabe der BWA-Frequenzen einen technologieutralen und sehr flexiblen Regulierungsansatz, der zu einer effizienten Frequenznutzung und einer dynamischen Entwicklung im Bereich neuer Funktechnologien und Geschäftsmodelle führen soll. WiMAX ist damit nur eine der Technologien, die im Frequenzbereich bei 3,5 GHz eingesetzt werden können. Der technologie neutrale flexible Regulierungsansatz ist als Teil der Gesamtkonzeption einer insgesamt flexibleren Frequenzregulierung zu sehen. In der Vergangenheit waren für bestimmte Nutzungen meist auch keine alternativen Technologien verfügbar, so dass sich die Definition und Abgrenzung verschiedener Nutzungszwecke in der Frequenzordnung an der eingesetzten Technik orientierte. Die flexiblere Frequenzregulierung wurde in Deutschland im Jahr 2003 mit der Erarbeitung erster Eckpunkte von „Strategischen Aspekten zur Frequenzregulierung“ eingeleitet.³⁶

4.1 Zuteilung der BWA-Frequenzen

4.1.1 Wahl des Vergabeverfahrens

Da das BWA-Frequenzspektrum aufgrund der Art der Nutzung und der technologischen Rahmenbedingungen eine nur begrenzt verfügbare Ressource darstellt, ist eine Frequenzregulierung erforderlich. Nach § 55 Abs. 9 TKG erfolgte zunächst eine Entscheidung der Präsidentenkammer über die Anordnung eines Vergabeverfahrens nach § 61 TKG. Im nächsten Schritt wurde nach § 61 Abs. 1 TKG eine Entscheidung über die Wahl des Vergabeverfahrens getroffen, das anschließend im Hinblick auf seine Regeln und Durchführungsmodalitäten konkretisiert wurde.

Für eine möglichst bedarfsgerechte Zuteilung der BWA-Frequenzen hatte die BNetzA zunächst ein zweistufiges Frequenzvergabeverfahren vorgesehen, bei dem der Frequenzzuteilung ein Registrierverfahren vorangestellt war. Das Registrierverfahren, das von Dezember 2005 bis Ende Februar 2006 durchgeführt wurde, hatte zum Ergebnis,

³⁴ Vgl. BNetzA (2005).

³⁵ Beispielsweise von DBD, vgl. hierzu Abschnitt 5.3.

³⁶ Vgl. BNetzA (2006d), S. 15.

dass die verfügbaren Frequenzen im Bereich 3.400 – 3.600 MHz nicht ausreichten, um die Nachfrage zu decken: 102 Unternehmen hatten insgesamt 1.221 Anträge auf Frequenzzuteilung eingereicht, von denen 9 auf eine bundesweite Frequenzzuteilung gerichtet waren.³⁷ Die Nachfrage übertraf das Angebot somit bei weitem. Von daher entschied die BNetzA am 26.09.2006, dass die Frequenzen im Bereich 3.400 – 3.600 MHz im Rahmen eines Versteigerungsverfahrens nach § 61 Abs. 4 und 5 TKG vergeben werden. Die Regeln des Versteigerungsverfahrens wurden nach einer öffentlichen Anhörung festgelegt.

4.1.2 Versteigerungsverfahren und Zuteilungsaufgaben

Frequenzen und Regionen

Aus Gründen der Funkverträglichkeit zu benachbarten Frequenznutzungen (insbesondere durch WLL) können aus dem Frequenzbereich 3.400 bis 3.600 MHz maximal 2 x 84 MHz genutzt werden. Dabei handelt es sich um die Frequenzbereiche 3.410 bis 3.494 MHz (Unterband) und 3.510 bis 3.594 MHz (Oberband).³⁸

Zur Versteigerung kamen in 28 Regionen je 4 Frequenzpakete (A, B, C, D), die jeweils 21 MHz (gepaart) umfassen. Bei den Frequenzpaketen C und D stand aufgrund der früheren WLL-Zuteilungen in einigen Regionen das vollständige Spektrum nicht flächendeckend bzw. nicht im vollen Umfang zur Verfügung. Bei der Abgrenzung der Versteigerungsregionen berücksichtigte die BNetzA zusammenhängende Wirtschaftsregionen und legte Wert auf eine Mischung aus städtischem und ländlichem Raum.

Nutzungszweck

Der Nutzungszweck der Frequenzen ist auf den breitbandigen drahtlosen Netzzugang (BWA) ausgerichtet und sieht keine Festlegung auf die einzusetzende Technologie vor. Zum Zeitpunkt der Versteigerung war die Nutzung noch auf den festen Funkdienst beschränkt, wobei die BNetzA bereits in den Vergabebestimmungen auf eine mögliche mobile Nutzung in der Zukunft hinweist.³⁹ In der Zwischenzeit hat der Regulierer gegenüber den Zuteilungsinhabern und der Öffentlichkeit die Absicht einer Öffnung für mobile Dienste im BWA-Frequenzbereich bestätigt.⁴⁰ Dies sorgte für Investitionssicherheit für Hersteller und Zuteilungsinhaber in Bezug auf Mobile WiMAX-Systeme.

Die formelle Freigabe ist derzeit in Vorbereitung. Hierzu muss der Frequenzbereichszuweisungsplan für den 3,5 GHz-Bereich angepasst werden. Da dies im Zuge einer

³⁷ Vgl. BNetzA (2006).

³⁸ Vgl. zur genauen Aufteilung der Frequenzen BNetzA (2006d), S. 2.

³⁹ Vgl. BNetzA (2006d), S. 14.

⁴⁰ Vgl. „Wimax-Lizenzinhaber bekommen Freigabe für mobilen Betrieb“, Meldung auf heise.de vom 28.06.2007.

allgemeinen Revision des Frequenzbereichszuweisungsplans geschieht, ist dies ein etwas aufwändigerer Prozess, der aber voraussichtlich im ersten Halbjahr 2008 abgeschlossen sein wird.

Mindestgebot

Zur Versteigerung wurde für jedes Frequenzpaket in jeder Region ein Mindestgebot und ein sog. „Lot Rating“ für die Festsetzung der Bietrechte definiert. Die Mindestgebote für die Frequenzpakete in den einzelnen Regionen lagen in Abhängigkeit von der Versorgungsfläche und Bevölkerungsdichte zwischen 103.000 Euro (Frequenzpakete C und D für die Region 7 Vorpommern) und 1,819 Mio. Euro (Region 8 Köln-Düsseldorf). Die Summe aller Mindestgebote für die angebotenen Frequenzpakete betrug knapp 60 Mio. Euro.⁴¹

Befristung

Die Frequenzzuteilungen sind bis zum 31. Dezember 2021 befristet.

Versorgungsverpflichtung

Als Konsequenz aus der Erfahrung mit den früheren WLL-Vergaben, wurde die BWA-Frequenzvergabe mit einer Versorgungsverpflichtung verbunden. In jeder Versteigerungsregion müssen bis zum Jahr 2009 15% und bis 2011 25% der Gemeinden mit einer BWA-Grundversorgung erschlossen sein.⁴² Bei der Festlegung des Maßstabs für die Versorgungsverpflichtung wurde berücksichtigt, dass in dicht besiedelten Regionen bereits konkurrierende Angebote zur Realisierung breitbandiger Internet-Zugänge vorhanden sind.

Über den Versorgungsgrad hinaus wurde eine Vorgabe zur Versorgung einer bestimmten Anzahl an Gemeinden formuliert, um die bessere Abdeckung weniger dicht besiedelter Gebiete zu erreichen. Dabei gilt eine Gemeinde mit 50 km² Fläche als versorgt, wenn mindestens eine Basisstation⁴³ zur Anbindung von Teilnehmern in Betrieb ist. Bei kleineren Gemeinden mit bis zu 30 km² Fläche ist es bereits ausreichend, wenn weniger als 3 km Entfernung zwischen der Gemeindegrenze bis zur nächsten in Betrieb befindlichen Basisstation bestehen. Damit können mehrere kleine Gemeinden durch den Betrieb einer einzigen Basisstation als versorgt gelten.⁴⁴ Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass dem Zuteilungsinhaber bei der Erfüllung der Versorgungsverpflichtung die Versorgung durch Dritte angerechnet wird.⁴⁵

⁴¹ Vgl. BNetzA (2006a) und zur Auflistung der Mindestgebote und des Lot Rating pro BWA-Region BNetzA (2006d), S. 8-9.

⁴² Vgl. BNetzA (2006b) und zur genauen Auflistung der der zu versorgenden Gemeinden pro BWA-Region BNetzA (2006d), S. 4-5.

⁴³ Die BNetzA verwendet für eine Basisstation den Begriff „Zentralstation“.

⁴⁴ Vgl. BNetzA (2006d), S. 57.

⁴⁵ Vgl. Marwinski (2007), Folie Nr. 6.

Die BNetzA führt seit Jahresende 2007 jährliche Abfragen der Aktivitäten durch. Auf diese Weise ist der Regulierer rechtzeitig über die Einhaltung der Versorgungsverpflichtungen unterrichtet. Sollten die Frequenzzuteilungsinhaber ihre Verpflichtungen jedoch nicht einhalten, so droht ihnen ein Widerruf der Zuteilungen.

Möglichkeiten der Kooperation und Unterlizenzierung

Bei der Nutzung der BWA-Frequenzen bestehen vielfältige Möglichkeiten zur Kooperation mit anderen Anbietern. Zunächst steht es jedem Zuteilungsinhaber offen, die Übertragungskapazitäten der zugewiesenen Frequenzen durch selbstständige Diensteanbieter oder Marketing-Partner (Reseller) zu vermarkten. In § 55 Abs. 7 TKG sind die rechtlichen Grundlagen für die Frequenzübertragung oder Frequenzüberlassung geschaffen:⁴⁶

- **Frequenzübertragung:** Ein Zuteilungsinhaber kann die erworbenen Frequenzen für die gesamte Region und das gesamte Frequenzspektrum oder für Teile der Region und des Frequenzspektrums auf andere Anbieter übertragen. Voraussetzung für die Übertragung ist ein Antrag auf Änderung der Frequenzzuteilung bei der BNetzA, die die Zuteilungsvoraussetzungen des Erwerbers prüft. Nach der Genehmigung durch die BNetzA wird der Erwerber zum Zuteilungsinhaber gemäß TKG. Die Versorgungsverpflichtung wird hierbei auf den neuen Zuteilungsinhaber übertragen.
- **Frequenzüberlassung:** Im Gegensatz zur Frequenzübertragung wird der andere Anbieter bei der Frequenzüberlassung nicht zum Zuteilungsinhaber, sondern erhält Zugriff auf die gesamte Region und das gesamte Frequenzspektrum oder auf Teile der Region und des Frequenzspektrums für eine zeitweilige Nutzung. Die Netze, die durch eine Nutzung der Frequenzüberlassung betrieben werden, werden dem Zuteilungsinhaber bei der Prüfung der Versorgungsverpflichtung angerechnet.

Durchführung der Auktion

Die Auktion war als mehrstufiges simultanes Verfahren angelegt. Jeder Bieter konnte pro Region nur ein Frequenzpaket ersteigern. Dabei war es den Bietern gestattet, während der Auktion bei der Gebotsabgabe zwischen den einzelnen Frequenzpaketen innerhalb einer Region zu wechseln. Der Gebotsbetrag konnte nicht frei festgesetzt werden, sondern musste aus einer Liste mit validen Geboten gewählt werden (sog. „Click-Box-Bidding“). Während der Auktion wurde vom Bieter ein „Mindestaktivitätsniveau“ gefordert, wobei die Aktivität eines Bieters als die Summe der „Lot Ratings“ der Frequenzpakete ermittelt wurde, für die der Bieter ein aktives Gebot abgegeben hat.

⁴⁶ Vgl. Marwinski (2007).

4.2 Ergebnis des BWA-Versteigerungsverfahrens im 3,5 GHz-Bereich

Die Versteigerung der BWA-Frequenzen fand zwischen dem 12. und 15. Dezember 2006 statt. Das ein Jahr zuvor im Zuge des Registrierungsverfahrens festgestellte Interesse an den Frequenzen war bis zu diesem Zeitpunkt deutlich zurückgegangen. Ein wesentlicher Grund dafür mag darin liegen, dass viele Regionen deutlich größer zugeschnitten sind als von vielen Interessenten (insbesondere den City Carriern und anderen regionalen Anbietern) gewünscht wurde. Es bleibt diesen Interessenten darüber hinaus aber unbenommen, ohne den Erwerb von Frequenzen über Kooperationen mit den erfolgreichen Bietern WiMAX zu nutzen. Nach Einschätzung einiger Experten blieben manche Unternehmen dem Versteigerungsverfahren auch fern, weil sie mit einer künftigen Vergabe von Frequenzen im Bereich 2,6 GHz rechnen, den sie aufgrund der Ausbreitungseigenschaften für wesentlich attraktiver für die Etablierung von WiMAX halten.⁴⁷

Um die Zulassung zur Versteigerung bewarben sich schließlich sechs Unternehmen:

- Clearwire Europe
- DBD Deutsche Breitband Dienste GmbH
- EWE TEL GmbH
- Inquam Broadband GmbH
- MGM Productions Group und
- Televersa Online GmbH

Bei Clearwire, Inquam und MGM handelt es sich um neue Anbieter, die bis zum Auktionszeitpunkt noch nicht im deutschen Breitbandmarkt tätig waren.

Im Rahmen der BWA-Auktion wurden die Frequenzen nach 35 Runden für insgesamt 56 Mio. Euro an fünf Unternehmen versteigert, wobei einige Frequenzen mangels Nachfrage nicht zugeteilt wurden.⁴⁸ Das Mindestgebot für alle 112 Frequenzpakete in den 28 Regionen hatte bei knapp 60 Mio. Euro gelegen. Das Frequenzpaket D fand nur in den Regionen 13 (Saarland/Pfalz), 25 (Oberpfalz), 27 (Oberbayern) und 28 (Niederbayern) einen Käufer. Insgesamt blieben daher 25 Frequenzpakete (24 Frequenzpakete D, Frequenzpaket C in der Region 14 (Saarland/Pfalz)) ohne Zuteilung. Von den zur Auktion zugelassenen Bietern haben mit Ausnahme der EWE TEL GmbH alle Unternehmen Frequenzen erhalten. Der in Oldenburg ansässige Regionalcarrier EWE TEL, der in der Wirtschaftsregion zwischen Ems und Elbe tätig ist, hatte für verschiedene Frequenzpakete in den Regionen 3 bis 5 mit geboten und schied nach der 7. Runde aus. Clearwire, Inquam und die Deutsche Breitband Dienste GmbH (DBD) erwarben

⁴⁷ Vgl. auch BNetzA (2007), S. 14.

⁴⁸ Vgl. BNetzA (2006c).

Frequenzen zur Abdeckung des gesamten Bundesgebietes, während Televersa und MGM regionale Zuteilungen erhielten (vgl. Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Frequenzpakete der Zuteilungsinhaber

Zuteilungsinhaber	Erworbene Frequenzen	Preis für die Frequenzen
Clearwire Europe S.á.r.l., Luxemburg	Frequenzpaket A für alle 28 Regionen	19,69 Mio. Euro
Inquam Broadband GmbH	Frequenzpaket B für alle 28 Regionen	17,59 Mio. Euro
Deutsche Breitband Dienste GmbH	Frequenzpaket C in allen Regionen mit Ausnahme der Region 14 (Saarland/Pfalz), Frequenzpaket D in der Region 14	17,23 Mio. Euro
Televersa Online GmbH	Frequenzpaket D in den Regionen 25 (Oberpfalz) und 28 (Niederbayern)	0,348 Mio. Euro
MGM Productions Group S.R.L., Italien	Frequenzpaket D in Region 27 (Oberbayern)	1,2 Mio. Euro

Quelle: Bundesnetzagentur

Clearwire ersteigerte das Frequenzpaket A für alle angebotenen Regionen und zahlte dafür mit 19,69 Mio. Euro im Rahmen der Auktion den höchsten Preis für eine bundesweite Abdeckung. Das Frequenzpaket A wurde in keiner Region nur zum Mindestgebot versteigert. Das Frequenzpaket B hingegen, das von Inquam erworben wurde, ist in 24 von 28 Regionen zum Mindestgebot verkauft worden. Der Gesamtpreis lag mit 17,59 Mio. Euro deutlich unter dem Preis für das Frequenzpaket A. Die DBD, die das Frequenzpaket C für 17,23 Mio. erwarb, besaß bereits WLL-Zuteilungen, die sie im Jahr 2003 von der insolventen Star 21 Networks übernommen hatte. Mit diesen WLL-Frequenzen können die Lücken des erworbenen Frequenzpaketes im Hinblick auf das Spektrum und die Regionen geschlossen werden.

Das größte Interesse im Rahmen der Auktion bestand an den vier Frequenzpaketen für die Region 27 (Oberbayern), zu der München und die umliegenden Städte und Landkreise gehören. Für diese Region hat Clearwire mit 2,59 Mio. Euro für das Frequenzpaket A den höchsten Preis bezahlt. Auch das Frequenzpaket D wurde für diese Region versteigert und fand in der MGM Group mit 1,2 Mio. den Höchstbieter. Als zweitattraktivste Region aus Sicht der Bieter stellt sich nach den Auktionsergebnissen die Region Köln/Düsseldorf dar.

4.3 Zuteilung von Restspektrum im 3,5 GHz-Bereich und weitere Frequenzbänder

Restspektrum

Im Rahmen der Versteigerung der BWA-Frequenzen im Dezember 2005 sind nicht alle Frequenzen zugeteilt worden. In 25 von 28 Regionen wurde jeweils ein Frequenzpaket nicht vergeben. Dabei handelt es sich ausschließlich um Frequenzpakete der Kategorien C und D, die aufgrund vorhandener WLL-Belegungen nicht flächendeckend oder nicht im vollen Umfang zur Nutzung zur Verfügung stehen können:

- Frequenzpaket D in 24 Regionen: Regionen 1-13, 15-24, 26
- Frequenzpaket C in der Region 14

Diese Frequenzen sollen bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden. Die BNetzA führte im Frühjahr 2007 eine Anhörung zur Vergabe dieses Restspektrums durch.⁴⁹ Noch im ersten Quartal 2008 ist mit der Veröffentlichung von Vergaberichtlinien für diese Frequenzen zur öffentlichen Anhörung zu rechnen.

Weitere Frequenzbänder

WiMAX ist nicht nur im Frequenzbereich von 3400 bis 3600 MHz realisierbar. Eine Empfehlung der European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) geht bereits im Jahr 1998 auf die möglichen Frequenzbereiche für BWA (damals noch als FWA bezeichnet) ein.⁵⁰

In Deutschland wird derzeit auch der zum 3,5 GHz-Band benachbarte Frequenzbereich 3600 – 3800 MHz für BWA in Betracht gezogen. Da in diesem Band auch Satelliten-Erdfunkstellen betrieben werden, die relativ stöempfindlich sind, müssen adäquate Schutzmaßnahmen eingeplant werden. Experten rechnen mit einer Frequenzzuteilung für BWA in diesem Bereich nur unter Einhaltung von größeren räumlichen Schutzbereichen rund um die Erdfunkstellen. Nähere Vergaberichtlinien wurden für diesen Frequenzbereich jedoch noch nicht veröffentlicht.

Der Frequenzbereich 5755 – 5875 MHz, der sich direkt oberhalb des allgemein zuge teilten WLAN-Bandes befindet, wurde ebenfalls für BWA zugeteilt. Aufgrund der kurzen Reichweite dieser hohen Frequenzen und der damit einhergehenden kleinräumlichen Nutzung ist die Wahrscheinlichkeit für sich gegenseitig störende Funknutzungen geringer. Die Bundesnetzagentur sprach daher im Dezember 2007 eine Allgemeinzuteilung für gewerbliche, öffentliche, breitbandige ortsfeste BWA-Systeme aus.⁵¹ Im Unterschied zu den für WLAN-Nutzungen ausgesprochenen Allgemeinzuteilungen besteht für die-

⁴⁹ Vgl. BNetzA (2007a).

⁵⁰ Vgl. CEPT (1998).

⁵¹ Vgl. BNetzA (2007b).

sen Frequenzbereich eine Meldepflicht bei der Bundesnetzagentur, die sich aus dem gewerblichen Betrieb für die Öffentlichkeit ergibt. Dies ist insbesondere auch deshalb erforderlich, weil innerhalb des Frequenzbereichs auch andere Funkanwendungen, wie militärische Radare und Satellitenfunk, dieses Spektrum nutzen und nicht gestört werden dürfen.

Darüber hinaus könnten im Rahmen der technologieneutralen flexiblen Frequenzpolitik auch Frequenzen aus dem digitalen zellularen Mobilfunk für WiMAX nutzbar gemacht werden. Die Bundesnetzagentur beabsichtigt, möglichst das gesamte für den digitalen Mobilfunk verfügbare Spektrum zu vergeben und strebt im Rahmen der Vergabe an, die noch zur Verfügung stehenden Frequenzbereiche zuzuteilen. Am 4. April 2007 hat die BNetzA eine Entscheidung über die Anordnung und die Wahl eines Vergabeverfahrens zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 1,8 GHz, 2GHz und 2,6 GHz für den digitalen zellularen Mobilfunk getroffen.⁵² Bereits im Mai 2005 führte die BNetzA eine Anhörung durch, in deren Rahmen über zukünftigen Frequenzbedarf diskutiert wurde. Nach deren Auswertung fand am 27.10.2005 eine weitere Anhörung statt, bei der auch potenzielle WiMAX-Betreiber ihr Interesse an der Nutzung von Frequenzen im 2,6 GHz-Bereich bekundeten.

Aktuell sind einige der im 2,6 GHz-Band zur Vergabe vorgesehenen Frequenzen streitbefangen und es ist noch unklar, ob dies die Vergabe insgesamt verzögern wird. Die Firma Airdata hatte gegen die Befristung bis Ende 2007 ihrer Frequenzzuteilungen vor dem Verwaltungsgericht Köln geklagt und das Gericht hat die BNetzA verpflichtet, die Frequenzzuteilungen bis zum Jahr 2016 zu verlängern.⁵³ Hiergegen hat die BNetzA Berufung beim Oberverwaltungsgericht Münster eingelegt, der bereits stattgegeben wurde. Bis zur nächstinstanzlichen Entscheidung herrscht weiterhin Unklarheit darüber, wie mit dem betroffenen Spektrum verfahren werden kann.

⁵² Vgl. BNetzA (2007), auf S. 6-7 wird ausgeführt, durch welche Entwicklungen die Frequenzbereiche nun verfügbar sind.

⁵³ Vgl. „Airdata AG darf Funkfrequenzen behalten“, Pressemitteilung des Verwaltungsgerichts Köln vom 6. Juli 2007.

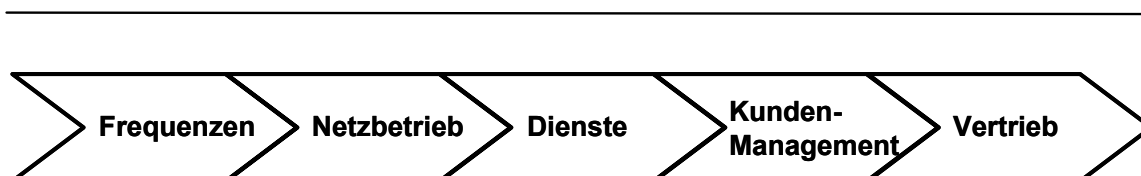
5 Geschäftsmodelle im Markt für BWA

5.1 Wertschöpfungstiefe und Kooperationsmodelle

Die Inhaber der BWA-Frequenzen in Deutschland sind gegenwärtig unterschiedlich aktiv was den Netzaufbau betrifft und die Strategien aller Akteure sind noch nicht genau erkennbar (zu den Aktivitäten der Zuteilungsinhaber im Einzelnen mehr in Abschnitt 5.3). Was sich jedoch bereits deutlich abzeichnet ist, dass das Angebot von BWA-Diensten im Rahmen von Geschäftsmodellen mit unterschiedlichen Wertschöpfungstiefen stattfinden wird. Während Deutsche Breitbanddienste und Televersa Online als Komplettanbieter auftreten, reicht Inquam Broadband erste regionale Frequenzen an TK-Unternehmen weiter, die ihre eigenen WiMAX-Netze aufbauen.

Grundsätzlich sind - ausgehend vom Frequenzinhaber - zahlreiche Kooperationsmodelle möglich, die sich in dessen Wertschöpfungstiefe unterscheiden. Die Wertschöpfungskette für das Angebot von BWA-Breitbanddiensten enthält die wesentlichen Stufen Bewerbung um Frequenzzuteilung, Netzbetrieb, Dienste, Kundenmanagement und Vertrieb (vgl. Abbildung 5-1). Jede Wertschöpfungsstufe erfordert unterschiedliches Know-how und spezifische Ressourcen.

Abbildung 5-1: BWA-Wertschöpfungskette



Quelle: WIK

Im Rahmen einer klassischen „Make or Buy“-Entscheidung müssen die Inhaber der Frequenzzuteilungen zunächst ihre eigenen Ressourcen prüfen und daraufhin festlegen, ob sie die gesamte Wertschöpfung im Unternehmen integrieren können oder ob es wirtschaftlicher erscheint, die Wertschöpfung auf Basis von Kooperationsvereinbarungen gemeinsam mit anderen Unternehmen zu organisieren. Je nach Integrationsgrad der Wertschöpfungsstufen lassen sich die folgenden generischen Geschäfts- bzw. Kooperationsmodelle unterscheiden:

- **Komplettanbieter-Modell**

Ein Komplettanbieter integriert alle Wertschöpfungsstufen vom Lizenzbesitz, über den Netzaufbau und –betrieb, die Dienstentwicklung und den Dienst-

betrieb, das Customer Management bis hin zum Vertrieb im Rahmen des eigenen Unternehmens.

– **Vertriebspartner-Modell**

Im Unterschied zum Komplettanbieter wird der Vertrieb durch Kooperationspartner durchgeführt. Alle vorgelagerten Wertschöpfungsstufen werden durch den Frequenzinhaber selbst betrieben. Wie beim Komplettanbieter besteht die Vertragsbindung zwischen Endkunden und dem Frequenzinhaber. Die Vertriebspartner – beispielsweise örtliche Computerunternehmen, die auch als Installationspartner fungieren – dienen lediglich als Vertragsvermittler auf Provisionsbasis.

– **Service-Provider-Modell**

In diesem Modell errichtet und betreibt der Zuteilungsinhaber Netze und Dienste, während die Kundenverwaltung und der Vertrieb von einem Service-Provider übernommen wird. Wie es im Mobilfunk seit Jahren praktiziert wird, kann ein Service-Provider-Modell parallel zum Komplettanbieter-Modell gefahren werden. Für potenzielle WiMAX-Service Provider wird eine derartige Kooperation jedoch dann erst interessant, wenn die Netze eine Mindestflächendeckung erreicht haben.

– **Access Carrier-Modell (MVNO-/ISP-Modell)**

Beim Access Carrier-Modell errichtet und betreibt der Frequenzzuteilungsinhaber WiMAX-Netze und stellt deren Kapazität als Vorleistung einem Kooperationspartner zur Verfügung, der über diese Netzkapazitäten seine eigenen Dienste anbietet. Dieses Modell könnte eventuell für City- und Regiocarrier sowie für weitere Diensteanbieter, die nicht in eigene Netze investieren möchten bzw. Nutzer einer bestimmten Region nicht über eigene Netze erreichen können, interessant werden. Ein Access Carrier-Modell könnte auch als Joint Venture zwischen dem Zuteilungsinhaber und einem Diensteanbieter organisiert sein.

– **Konsortial-Modell**

Beim Konsortial-Modell baut der Zuteilungsinhaber keine eigenen Netze auf, sondern bringt seine Frequenzen in ein Konsortium mit anderen TK-Unternehmen ein. Dieses Joint Venture wiederum übernimmt den Netzaufbau und die weiteren nachfolgenden Wertschöpfungsstufen. Denkbar sind hier auch regional agierende Konsortien.

– **Sublizenzierungs-Modell/Verkauf der Zuteilungen**

In diesem Modell beschränkt sich das Interesse des Zuteilungsinhabers darauf, seine Frequenzzuteilung wirtschaftlich zu verwerten. Eigene Aktivitäten als WiMAX-Netzbetreiber werden nicht (mehr) verfolgt. Die Verwertung der Zuteilung kann in Form einer Frequenzüberlassung, d. h. der zeitlich befristeten Vermietung der Frequenzen oder einer Frequenzübertragung, d. h. einem Verkauf der

Frequenznutzungsrechte an einen Dritten geschehen. Im letzteren Fall bedarf es gemäß den Vergabebedingungen einer Zustimmung durch die Bundesnetzagentur, die zunächst die Zuteilungsvoraussetzungen des Erwerbers überprüfen muss.

Gegenwärtig ist noch nicht abzuschätzen, welche dieser Kooperationsmodelle sich im deutschen Markt auf längere Sicht etablieren werden. Für die Frequenzinhaber DBD und Televersa, die heute zunächst als WiMAX-Komplettanbieter antreten, könnte es möglicherweise in einer späteren Entwicklungsphase attraktiv sein, sowohl mit Service Providern zu kooperieren, als auch Netzkapazitäten in Form von Vorleistungen an Access Carrier abzutreten. Inquam Broadband betätigt sich zunächst ausschließlich als Sublizenzierer der Frequenzen. So wurden beispielsweise Frequenzen an den Regio-Carrier VSE-Net im Saarland überlassen. Über die künftige Wertschöpfungstiefe bzw. Kooperationsmodelle der Frequenzinhaber Clearwire und MGM Production Group, die seit der Frequenzzuteilung noch keine öffentlichen Aktivitäten unternommen haben, lässt sich derzeit nur spekulieren.

5.2 Wirtschaftliche Einflussfaktoren für WiMAX-Investitionsentscheidungen

5.2.1 Wettbewerbliches Umfeld

Ortsfester Breitbandzugang

Von zentraler Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in das Angebot von WiMAX-Diensten ist das wettbewerbliche Umfeld. Wie in Abschnitt 2.1 dargestellt, herrscht dort wo leitungsbasierte Breitbandzugänge, wie DSL- oder Kabelinternetdienste verfügbar sind ein ausgeprägter Wettbewerb, der sich sowohl in den Wettbewerbsparametern Preis als auch Qualität und Leistung niederschlägt.

Nach allem was die technischen Merkmale der IEEE 802.16-Standards erkennen lassen, können ortsfeste BWA-Dienste auf Basis von WiMAX bezüglich der Qualität der angebotenen Breitbandzugängen bei weitem nicht mit leitungsbasierten Breitbandanschlüssen konkurrieren. Nicht nur was die Nutzdatenrate je Anschluss betrifft, haben DSL und Kabelinternet einen deutlichen Vorsprung. Auch bei der zunehmenden Vermarktung von Triple Play können BWA-Anbieter nicht mithalten, denn PMP-WiMAX-Netze sind mittelfristig nicht in der Lage IPTV-Dienste zu übertragen.

Wenn WiMAX-Dienste im Bereich der fixen Anschlüsse in der Leistung nicht mit leitungsgebundenen Breitbandanschlüssen konkurrieren können, dann müsste zumindest der Preis deutlich günstiger sein oder es müsste ein Alleinstellungsmerkmal erkennbar sein. Beides ist – zumindest bei ortsfesten WiMAX-Diensten – nicht der Fall.

Als Konsequenz daraus, ist nicht damit zu rechnen, dass Fixed WiMAX-Netze im nennenswerten Ausmaß an Orten mit guter Versorgung mit leitungsbasierten Breitbandzugängen errichtet werden. Nach Experteneinschätzungen ist für diese Orte ein profitables Fixed WiMAX-Geschäftsmodell kaum darstellbar.

Ein weiterer wettbewerblicher Faktor von hoher Relevanz für WiMAX-Geschäftsmodelle ist die gegenwärtige Produkt- und Preisgestaltung der leitungsgebundenen Breitbandanbieter. Seit einiger Zeit enthalten die Standardangebote Daten-Flatrates. Für Funknetze mit geteiltem Zugriff auf die knappen Kapazitäten können Flatrates jedoch falsche Anreize setzen. Einige sog. Power-User mit permanent hohen Datenraten verknappen die verfügbare Bitrate anderer Nutzer in der gleichen Zelle. Diese negativen externen Effekte werden im Falle von Flatrates nicht im Pricing dargestellt.

Da allerdings die Nutzer mittlerweile Flatrates erwarten, nicht zuletzt wegen der allgegenwärtigen Werbung für DSL- und Kabelinternetanschlüsse, sind die WiMAX-Diansteanbieter gezwungen ähnliche Tarife anzubieten. Um das Risiko von Netzüberlastungen zu verringern, sind bei WiMAX Flatrates mit Einschränkungen, wie beispielsweise Volumenobergrenzen oder sog. Fair-Flat-Vereinbarungen naheliegend.

Aus Kundensicht sind Fixed WiMAX-Dienste vergleichbar mit DSL. Daher ist mittelfristig auch kein Premiumpreis gegenüber DSL durchsetzbar. Aufrechtzuerhalten ist allenfalls eine Preisdifferenzierung zwischen Breitband-unterversorgten Regionen und städtischen Regionen in denen BWA-Dienste im direkten Wettbewerb stehen. Ein WiMAX-Netzbetreiber, der Netze in beiden Regionen besitzt, kann eine Preisdifferenzierung beispielsweise durch eine Mehrmarkenstrategie aufrecht erhalten.

Vor dem Hintergrund des wettbewerblichen Umfelds liegen die wirtschaftlichen Potenziale für Fixed WiMAX-Netze hauptsächlich in der Breitbanderschließung bisheriger weißer Flecken auf der Breitbandlandkarte. Auch Orte, an denen lediglich sog. DSL-Light-Dienste verfügbar sind oder die ein lokales Funknetz auf WLAN-Basis besitzen, können für das Angebot von Fixed WiMAX-Diensten attraktiv sein. Mit Datenraten der WiMAX-Dienste von 1 Mbit/s und mehr besitzen die Angebote an diesen Orten Alleinstellungsmerkmale, die ihnen einen gewichtigen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Nach Angaben aus dem aktuellen BMWi-Breitbandatlas können heute lediglich rund 3% der Haushalte in Deutschland nicht mit Breitbandanschlüssen, die Übertragungsraten von größer 128 kbit/s erreichen, versorgt werden.⁵⁴ Experten schätzen, dass weitere rund 10-15% der Haushalte nur mit Datenraten von unter 1 Mbit/s versorgt sind.

Es zeigt sich, dass sich die wirtschaftlichen Marktsegmente von Fixed WiMAX-Diensten mittelfristig auf einen Nischenmarkt beschränken, der gegenwärtig knapp 20% der

⁵⁴ Hierbei unberücksichtigt ist Satelliten-Internet, das praktisch flächendeckend zur Verfügung steht. Vgl. Deutscher Bundestag (2007), S. 2.

deutschen Haushalte umfasst. Durch einen weiteren Ausbau der DSL- und Kabelinternetversorgung ist dieser Nischenmarkt allerdings tendenziell weiter am Schrumpfen.

Nomadischer und Mobiler Breitbandzugang

Ein weit größerer wettbewerblicher Spielraum besteht für WiMAX auf dem Markt für nomadisch und mobil nutzbare BWA-Dienste. Zum einen ist dieser Markt bislang noch nicht so weit entwickelt wie der Markt für ortsfeste Breitbandanschlüsse. Experten prognostizieren jedoch ein stetiges Wachstum. Für die WiMAX-Anbieter bestehen Potenziale neben den Mobilfunknetzbetreibern an diesem Wachstum zu partizipieren. Zum anderen konkurriert WiMAX auf dem Markt für nomadische und mobile Breitbanddienste nicht mit leitungsgebundenen Anschlüssen, sondern mit anderen Funksystemen, die ähnliche Leistungs- und Kostenmerkmale aufweisen.

WiMAX-Anbieter, die in den Markt für mobile Breitbanddienste einsteigen wollen, müssen die Bereitschaft zu wesentlich höheren Investitionen mitbringen, als sie bei Fixed WiMAX-Diensten notwendig sind. Selbst wenn sie kein deutschlandweit flächendeckendes Netz anstreben, so ist auch bereits der Netzaufbau mit engmaschigen Funkzellen in einer Großstadt ein sehr aufwändiges Vorhaben.

Im Wesentlichen besteht das Wettbewerbsumfeld auf dem Markt für mobile Breitbanddienste aus den Breitbandangeboten der Mobilfunknetzbetreiber wie sie bereits in Abschnitt 2.2 dargestellt wurden. Die Mobilfunkunternehmen besitzen ihrerseits Wettbewerbsvorteile durch bestehende Kundenbeziehungen sowie durch die vorhandene Netzabdeckung mit UMTS-HSDPA in den Ballungsräumen. Mobile WiMAX-Netzbetreibern stehen vor diesem Hintergrund kurz- bis mittelfristig vor allem drei Wettbewerbsparameter offen, die prinzipiell miteinander kombinierbar sind:

- Zum einen die Versorgung jener Regionen, die keine UMTS-HSDPA-Netze besitzen (**räumliche Differenzierung**),
- zum zweiten ein Dienstangebot mit spürbar höheren Datenraten (**qualitative Differenzierung**) sowie
- drittens Angebote zu günstigeren Preisen (**Preisdifferenzierung**).

Im Abschnitt 3.2.3 wurde dargestellt, dass Mobile WiMAX-Netze mit ihrer durchgehenden IP-basierten Ende-zu-Ende-Architektur einen relativen Kostenvorteil zu klassischen Mobilfunknetzen besitzen. Dies gibt den Mobile WiMAX-Anbietern einen Wettbewerbspielraum, der sich gegebenenfalls für eine Preisdifferenzierung nutzen lässt. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass dieser Kostenvorteil die Vorteile der etablierten Mobilfunkunternehmen hinsichtlich der existierenden Netzplattformen (Antennenstandorte, Mobilitätsmanagement, Abrechnungssysteme, etc.) übersteigen kann.

Mittel- bis langfristig könnten für Mobile WiMAX-Anbieter Wettbewerbsvorteile gegenüber den Mobilfunknetzbetreibern dadurch entstehen, dass alle Notebooks serienmäßig

mit WiMAX-Komponenten ausgestattet werden, während die Mobilfunknetzbetreiber UMTS-Karten hoch subventionieren müssen. Dies unter der Voraussetzung, dass die Prozessorenhersteller und insbesondere Intel seine Ankündigungen umsetzen werden und die erfolgreiche Marktpenetration von WLAN-Komponenten wiederholt werden kann. Eine hohe Penetration von WiMAX-fähigen Notebooks eröffnet eine millionenfache Basis an potenziellen Kunden, die nicht nur für Laufzeitverträge angesprochen werden können, sondern auch für sporadische Nutzungen, beispielsweise tageweise oder stundenweise auf Mobile WiMAX-Netze zurückgreifen können.

Je nachdem wie gut sich der Markt für mobile Datendienste künftig entwickelt, ist es auch vorstellbar, dass die Mobilfunknetze an ihre Kapazitätsgrenzen geraten. Noch bevor die nächste Mobilfunkgeneration LTE für größere Kapazitäten sorgen kann, stünden Mobile WiMAX-Netze mit ihren zusätzlichen Kapazitäten bereit. Experten rechnen gegenwärtig damit, dass LTE nicht vor den Jahren 2011/2012 in öffentlich nutzbaren Netzen zum Einsatz kommen wird.⁵⁵ Vorausgesetzt die Nachfrage nach mobilen Datendiensten nimmt wie prognostiziert deutlich zu, ergibt sich für Mobile WiMAX-Anbieter ein günstiges Zeitfenster von rund drei bis vier Jahren, sich mit entsprechenden Angeboten am Markt zu etablieren.

Mittelfristig werden neben den leitungsbasierten Breitbandanbietern und den Mobilfunknetzbetreibern auch andere BWA-Anbieter zum wettbewerblichen Umfeld zählen, wenn es um die Wirtschaftlichkeit von WiMAX-Investitionen geht. In Bezug auf ländliche Regionen sind sich die Experten weitgehend darüber einig, dass es mittelfristig wenig Spielraum für mehrere konkurrierende WiMAX-Netze geben wird. Hier sind First-Mover-Advantages besonders deutlich zu identifizieren. Unklar ist hingegen bislang, ob dies auch für dichter besiedelte Regionen und für die Städte zutrifft. Eine realistische Einschätzung darüber, ob hier neben den anderen Breitbandnetzen auch mehrere BWA-Netze wirtschaftlich betrieben werden können, kann angesichts zahlreicher Unsicherheiten sowohl auf Nachfrage- als auch auf Angebotsseite nicht gegeben werden.

5.2.2 Verfügbarkeit und Kostenfaktoren von WiMAX-Netzelementen

Bei innovativen Technologien stellt die Verfügbarkeit von standardkonformen und zertifizierten Netzelementen einen oftmals besonderen Engpassfaktor dar und kann einen gewichtigen Einfluss auf Investitionsentscheidungen ausüben. Im Falle von WiMAX spielt insbesondere die Inkompatibilität von Fixed WiMAX (IEEE 802.16-2004) und Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) eine große Rolle. Viele Experten gehen davon aus, dass potenzielle WiMAX-Netzbetreiber ihre Investitionen aufgeschoben haben, um direkt in Netze nach Mobile WiMAX-Standard zu investieren und auf diese Weise zu vermeiden, Fixed WiMAX-Technologie vorzeitig abschreiben zu müssen.

⁵⁵ Vgl. „Mobile Daten-Verbindungen werden noch schneller“, Artikel auf onlinekosten.de vom 25.01.2008.

Sollte sich diese Einschätzung bewahrheiten, so ist im Umkehrschluss damit zu rechnen, dass sich im Laufe des Jahres 2008 der WiMAX-Netzaufbau merklich beschleunigen wird, nachdem nun erste standardkonforme und zertifizierte Mobile WiMAX-Systeme verfügbar werden.

Im Markt für mobile Datendienste werden für WiMAX weit höhere Marktanteile und Umsätze erwartet, als im Markt für ortsfeste Breitbandanschlüsse. Dies ist jedoch auch notwendig, um die höheren Investitionen in die aufwändigeren Mobile WiMAX-Systeme zu amortisieren. Hier muss jedoch differenziert werden, ob

- (a) ein Netzbetreiber lediglich Funkschnittstellen nach dem Mobile WiMAX-Standard IEEE 802.16e einsetzt, um ortsfeste Breitbandanschlüsse anzubieten oder
- (b) zusätzlich auch in alle weiteren notwendigen Netzelemente für eine Mobilitätsunterstützung (vgl. Abschnitt 3.2.3) investiert wird, um mobile Breitbanddienste anzubieten.

Auch für WiMAX-Netzbetreiber, die (zunächst) gar keine mobilen Dienste anbieten möchten, kann es durchaus rational sein, entsprechend Variante (a) auf WiMAX-Systeme nach IEEE 802.16e zu warten. Mittel- bis längerfristig ist damit zu rechnen, dass IEEE 802.16e sich als der dominierende WiMAX-Standard durchsetzen wird und bei Weiterentwicklungen auf Abwärtskompatibilität zu 802.16e geachtet wird. Zudem lassen künftig höhere Stückzahlen einen Kostenvorteil erwarten. Dies gilt insbesondere für die Endgeräte, wenn Mobile WiMAX-Chipsets künftig eine ähnliche Massenverbreitung erreichen wie heute WLAN-Chips. Schließlich erleichtern vorhandene IEEE 802.16e-Luftschnittstellen es den Netzbetreibern zu einem späteren Zeitpunkt ihr Netz entsprechend Variante (b) nachzurüsten.

Die Kosten der WiMAX-Netzelemente erleben gegenwärtig marktphasenbedingt einen deutlichen Rückgang. Der Preis einer Basisstation wurde in Expertendiskussionen Anfang 2007 noch mit rund 100.000 Euro beziffert, Anfang 2008 bewegt er sich bereits in Regionen unter 50.000 Euro.⁵⁶ Ein ähnlicher Preisrückgang wird auch bei den nutzerseitigen Elementen erwartet. Die Schritte von ersten Empfangsmodulen zu massengefertigten PC-Karten und weiter zu integrierten WiMAX-Chipsets in Notebooks sind jeweils mit sprunghaften Preisrückgängen verbunden, die bis zu über 90% betragen können.

Für investitionsbereite Netzbetreiber sind Investitionsentscheidungen in einer derartigen Situation mit hohen Unsicherheiten behaftet. Wird früh investiert, so schlägt sich das im

⁵⁶ Die Angaben zu Kosten einer Basisstation sollen hier rein indikativ erfolgen. Die Hersteller und WiMAX-Netzbetreiber halten sich weitgehend bedeckt und kommunizieren lediglich ungefähre Werte. Bei einer genaueren Kostenanalyse müssten die Preise für die jeweiligen Elemente von Basisstationen (Rechner, Rundstrahler, Antennenmast, Verkabelung, Klimaanlage, Zuführung, Standortakquisitionskosten, etc.) näher differenziert werden.

höheren Capex nieder, während ein später investierender Wettbewerber gegebenenfalls geringere Kosten zu tragen hat. Diese höheren Capex sind gegen First Mover Advantages abzuwägen. Um den Netzbetreibern die Investitionsentscheidung zu erleichtern und um Economies of Scale zu fördern, gehen die Hersteller der WiMAX-Technologie zum Teil dazu über, selbst in Netze zu investieren und diese an die Netzbetreiber zu vermieten. Auf diese Weise soll zudem die Praxistauglichkeit der neuen Technologie demonstriert werden.

Da die Netzbetreiber zum einen eine substanzielle Kostendegression bei den Netzelementen, insbesondere bei den Basisstationen, den Antennen und den kundenseitigen Geräten erwarten und zum anderen die Risiken von allzu großen Vorabinvestitionen minimieren möchten, sind sie daran interessiert, ihre WiMAX-Netze zunächst hinsichtlich der Flächenabdeckung zu optimieren. Erst in einem zweiten Schritt sind spätere Investitionen zur Netznachverdichtung geplant. Vorausgesetzt die Dienstenachfrage hat sich bis dahin hinreichend entwickelt und macht höhere Netzkapazitäten erforderlich. Die Hersteller von Mobile WiMAX-Systemen betonen, dass die Netze nachfragegetrieben nachverdichtet werden können, um eine derartige Investitionsstrategie zu unterstützen.

Je weiter künftig die Kosten für die Netzhard- und Software abnehmen, desto stärker fallen die Kosten für Funkstandorte ins Gewicht. Die Erfahrungen aus dem Mobilfunk zeigen, dass die Mietkosten für Standorte insbesondere in den Innenstädten mit zunehmender Standortdichte deutlich ansteigen. Der Zugang zu kostengünstigen Standorten kann sich mittelfristig für WiMAX-Netzbetreiber zu kritischen Engpassfaktoren entwickeln. Dies ist weniger bei Netzen in ländlichen Regionen der Fall, wo mit Hilfe von WiMAX Breitbandversorgungslücken geschlossen werden. Hier stehen vielfach kommunale Standorte zur kostengünstigen Nutzung bereit. Beim Aufbau von Mobile WiMAX-Netzen in den Städten zeigt sich die Standortknappheit aber umso deutlicher.

Genau umgekehrt verhält es sich grundsätzlich mit den Kosten für die Breitbandzuführung zu den Basisstationen. In den Städten kann in der Regel zu vertretbaren Kosten auf vorhandene leistungsfähige Glasfasernetze zurückgegriffen werden. Die im Abstand von wenigen Kilometern platzierten Basisstationen können zudem kostengünstig per Richtfunk untereinander vernetzt werden.

Die Breitbandzuführung zu Funkstandorten im ländlichen Raum ist hingegen oftmals der größte Kostenbestandteil und damit ausschlaggebender Faktor für lokale Investitionsentscheidungen. Nicht zu vernachlässigen sind bei Fixed WiMAX-Netzen in ländlichen Regionen auch die Kosten für Außenantennen an den Gebäuden der Nutzer soweit die Netzkonfiguration eine Sichtverbindung zur Basisstation erfordert. Die Installationsarbeiten dieser Außenantennen inklusive ihrer Verkabelung verursachen zusätzliche Kosten je angeschlossenen Nutzer.

5.2.3 Regionale Differenzierung

Im Vorfeld eines WiMAX-Netz-Roll-Outs sind räumliche Analysen hinsichtlich des Wettbewerbsangebots, der Nachfrage, der Verfügbarkeit von Vorleistungen und der Topografie unerlässlich, um den Ausbauplan entsprechend daraufhin anzupassen. Im Folgenden sind die wichtigsten regionalen Faktoren aufgeführt, die ein WiMAX-Engagement positiv beeinflussen.

Örtliche Wettbewerbsfaktoren

- „Weißen Flecken“ ohne Breitbandversorgung
- Regionen mit suboptimaler Breitbandversorgung
- Regionen ohne UMTS-Versorgung

Örtliche Nachfragefaktoren

- Regionen mit überdurchschnittlicher Kaufkraft
- Orts- und Stadtteile mit überdurchschnittlicher Quote an Selbstständigen, SoHo, Studenten, etc.
- Akzeptanz der Bevölkerung für Funkanwendungen (EMVU-Problematik)

Örtliche Vorleistungsfaktoren

- Verfügbarkeit und Kosten der Breitbandzuführung
- Verfügbarkeit und Kosten von Standorten für Basisstationen
- Benachbarte eigene WiMAX-Netze in Richtfunkreichweite

Topografische Faktoren

- Günstiges Oberflächenrelief
- Keine engen Täler
- Wenig Beschattung durch hohe Gebäude

Insbesondere die Besiedlungsdichte (Land/Kleinstadt/Vorort/Großstadt/Städteagglomeration) der Regionen mit hoher Attraktivität für WiMAX ist ausschlaggebend dafür, welches WiMAX-Geschäftsmodell angestrebt wird: das Angebot ortsfester oder mobiler Breitbanddienste.

Wie bei allen Funknetzen liegt ein Trade-off zwischen Netzkosten und Versorgungsqualität vor. Die WiMAX-Netzbetreiber müssen sich entscheiden, wo sie mobile Dienste mit Inhausversorgung anbieten möchten und wo sie lediglich eine Minimalabdeckung zum Angebot von fixen, mit Außenantennen nutzbaren Breitbandanschlüssen realisieren. Um die mit der Frequenzvergabe verbundenen regulatorischen Auflagen einer Mindestversorgung zu erfüllen, wäre letzteres durchaus ausreichend. Um jedoch Alleinstellungsmerkmale gegenüber den leitungsgebundenen Breitbandnetzen herauszubilden

oder gar mit den Mobilfunknetzen zu konkurrieren, sind relativ dichte und großflächige Netze notwendig.

5.3 Wichtige Akteure im Markt für BWA in Deutschland

Zu den wichtigsten Akteuren im BWA-Markt zählen in der gegenwärtig frühen Marktphase die Hersteller von WiMAX-Technologie, die Kapitalgeber sowie die Zuteilungsinhaber von Frequenzressourcen. Sobald Netze in größerem Umfang aufgebaut sind, werden Akteure mit bestehenden Vertriebsstrukturen und Kundenbeziehungen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Hersteller

Einer der einflussreichsten Hersteller von WiMAX-Technologie, insbesondere WiMAX-Chips ist der Marktführer bei Computerprozessoren Intel. Das Unternehmen zählt zu den maßgeblichen Initiatoren und Unterstützern des Standards und engagiert sich hierfür unter anderem innerhalb des WiMAX-Forums. Seit 2004 wird das Amt des Präsidenten und Vorsitzenden des „Board of Directors“ des Forums von einem Intel Geschäftsführer begleitet.⁵⁷ Intel verfolgt die Absicht künftig WiMAX in der mobilen Standardvariante IEEE 802.16e mit WLAN (IEEE 802.11a/b/g) direkt in einem Chip zu integrieren. Dieses Ein-Chip-Modul, das früher als „Rosedale“ bezeichnet wurde und derzeit als „Echo Peak“ firmiert, soll ab Sommer 2008 gemeinsam mit einer neuen Prozessorgeneration unter dem Markennamen „Centrino 2“ auf den Markt kommen.⁵⁸ Experten erwarten sich von dieser effizienten Integration von Mobile WiMAX in Notebooks, in Verbindung mit hohen Produktionsstückzahlen, stark fallende Preise für WiMAX-fähige Endgeräte. Mittelfristig ist es das Ziel von Intel, dass alle Notebooks bereits serienmäßig mit WiMAX-Modulen ausgerüstet werden. Vor dem Hintergrund von Intels Marktstellung und der Erfahrung mit Centrino-Chip-Sets mit integriertem WLAN ist dieses Ziel als durchaus realistisch anzusehen.

Zu den Marktführern unter den Systemherstellern von WiMAX-Komponenten nach dem Standard 802.16-2004 zählen relativ kleine Unternehmen, wie Alvarion (Israel), Aperto (USA), Airspan (USA), Proxim (USA) und Redline (Kanada), die sich bereits früh auf BWA und WiMAX spezialisiert haben. Daneben bieten mittlerweile aber auch die großen Systemhersteller wie Motorola (USA), Nokia Siemens Networks (D/FIN), Nortel (Kanada) und Samsung (Korea) WiMAX-Systeme an. Der französisch-amerikanische Hersteller Alcatel-Lucent hat sich besonders auf den Mobile WiMAX-Standard IEEE 802.16e-2005 fokussiert und gilt gegenwärtig mit 15 Verträgen über den Aufbau kommerzieller Netze sowie über 70 Pilotnetzen als Marktführer für Mobile WiMAX.⁵⁹ Nach

⁵⁷ Vgl. www.wimaxforum.org/about/board/.

⁵⁸ Vgl. „Intels Montevina heißt künftig Centrino 2“, Meldung von ZDNet.de vom 18.02.2008.

⁵⁹ Vgl. „Alcatel-Lucent leading the WiMAX Market“, WiMAX News Issue 17, 12.10.2007.

Ansicht von Marktanalysten spielen die großen Systemhersteller eine immer bedeutendere Rolle und die kleinen WiMAX-Pioniere werden ihre bisherige Marktführerschaft über kurz oder lang einbüßen.⁶⁰

Kapitalgeber

Zu den wichtigsten Kapitalgebern für den Aufbau von WiMAX-Netzen zählen einerseits Venture Capital Unternehmen und andererseits Systemhersteller, bzw. Venture Capital Tochterunternehmen von Herstellern. Venture Capital Unternehmen, wie Polytechnos, die sich bei DBD engagieren, sind auf die Finanzierung junger Start-up-Unternehmen spezialisiert, bei denen hohe Risiken großen Renditechancen gegenüberstehen. Hersteller, wie Intel engagieren sich in der Finanzierung von WiMAX-Unternehmen, um die Markteinführung der Technologie voranzubringen und damit einen potenziell großen Absatzmarkt für ihre Produkte anzustoßen. Intels Venture Capital Tochter Intel Capital ist derzeit sowohl bei den bundesweiten Frequenzzuteilungsinhabern DBD als auch bei Clearwire finanziell engagiert.

Frequenzzuteilungsinhaber

Die drei Zuteilungsinhaber von bundesweiten BWA-Frequenzpaketen Clearwire Europe, Inquam Broadband und DBD Deutsche Breitbanddienste sind mehr oder weniger Neueinsteiger in den deutschen Telekommunikationsmarkt, die bislang auch nicht über andere Geschäftsfelder nennenswerte Kundenbeziehungen aufgebaut haben.

- Clearwire Europe

Das Unternehmen Clearwire ist bislang mit BWA-Diensten in den USA, Mexiko, Belgien, Irland, Spanien und Dänemark aktiv. In Deutschland sind seit der Versteigerung der BWA-Frequenzen im Dezember 2006 noch keine Aktivitäten von Clearwire erkennbar.

- Inquam Broadband

Inquam zeigt trotz bundesweiter Ersteigerung von BWA-Frequenzen bislang wenig Aktivitäten in Richtung eines eigenen Netzausbaus. Allerdings gibt es erste Hinweise darauf, dass das Unternehmen primär das Sublizenzierungs-Modell verfolgt. Im Saarland hat Inquam Frequenzzuteilungen dem Regio-Carrier VSE NET überlassen, der gemeinsam mit Alcatel-Lucent ein Mobile WiMAX-Netz bauen und betreiben wird.⁶¹ Aus Branchenkreisen wird zudem über Verhandlungen mit weiteren Partnern mit dem Ziel der (regionalen) Frequenzüberlassung berichtet.

⁶⁰ Vgl. „Original WiMAX Entrants Still Lead Market“, WirelessWeek, 30.5.2007.

⁶¹ Vgl. „VSE NET startet erstes kommerzielles mobiles WiMAX-Netz“, VSE NET Pressemitteilung vom 30. November 2007.

Als Investoren stehen hinter Inquam sowohl der Systemhersteller Nextwave als auch Finanzinvestoren, wie die südafrikanische Omnia Holdings Limited.⁶²

Außerhalb Deutschlands verfügt Inquam bzw. seine Gesellschafter über BWA-Frequenzuteilungen im 3,5 GHz-Band in der Schweiz, in Österreich, in der Slowakei und in Kroatien. Inquams Gesellschafter Omnia kontrolliert zudem das Unternehmen Zapp, das in Rumänien ein CDMA-Mobilfunknetz und in Portugal ein BWA-Netz auf Basis der Flash-OFDM-Technologie im 450 MHz-Bereich betreibt.

- DBD Deutsche Breitband Dienste GmbH

Die 2003 gegründete Deutsche Breitband Dienste GmbH (DBD) bietet gegenwärtig als einziger der drei bundesweiten Zuteilungsinhaber BWA-Dienste an. DBD betreibt sowohl Point-to-Point als auch Point-to-Multipoint Funknetze für breitbandigen Internetzugang im Rahmen eines Komplettanbietermodells. Adressiert wird sowohl der Privat- als auch der Geschäftskundenmarkt. Vor der Frequenzuteilung im Dezember 2006 wurden bereits ehemalige WLL-Frequenzen im 3,5 GHz-Band genutzt, die DBD aus der Insolvenzmasse von Star-21 übernommen hatte. Zunächst setzte DBD Pre-WiMAX-Systeme ein, seit Sommer 2005 dann verstärkt zertifizierte WiMAX-Systeme nach dem Standard IEEE 802.16d.

Beim Netzaufbau fokussiert DBD gegenwärtig auf Gebiete ohne Breitbandversorgung, überwiegend im ländlichen Raum. Daneben wurden auch „weiße Flecken“ in Großstädten wie Berlin, Dresden, Halle, Leipzig und Magdeburg erschlossen. In Berlin betreibt DBD mittlerweile ein Netz mit über 100 Basisstationen und rund 5.000 Breitbandkunden. Der Schwerpunkt liegt derzeit auch innerhalb der Städte auf Gebieten ohne Breitbandversorgung, wie Berlin-Pankow. Über die Anzahl ihrer BWA-Funknetze in Deutschland insgesamt, der erreichbaren Haushalte sowie der angeschlossenen Kunden veröffentlicht DBD gegenwärtig keine Daten.

Die Funkzellen von DBD sind im ländlichen Bereich auf eine Reichweite von bis zu 4 km ausgelegt. 90% der Nutzer benötigen in diesen Netzen eine Außenantenne. Im städtischen Bereich werden die Netze enger geknüpft. Hier versorgt eine Basisstation einen Radius von 500 bis 900m. In diesen dichteren städtischen Netzen benötigt nur rund die Hälfte der Nutzer eine Außenantenne, während die andere Hälfte die Verbindung mittels einer Antenne im Raum oder auf der Fensterbank herstellen kann.

DBD lässt die zu subventionierten Preisen abgegebene Endgeräte vor Ort von Technikern installieren und die Verbindung zur Basisstation einmessen. Auch wenn dies deutlich aufwändiger ist als ein Plug and Play-Angebot, so dient dies

⁶² Vgl. www.inquam-broadband.de/.

der Optimierung der Qualität der BWA-Dienste. DBD erhält zudem einen genauen Überblick über die lokale Netzversorgung. Die Installation beim Nutzer wird von DBD über lokale Partner organisiert.

Die Breitbandzuführung zu den Basisstation erfolgt innerhalb der Netzgebiete überwiegend mittels Richtfunkstrecken. Darüber hinaus nutzt DBD angemietete Glasfaserleitungen zur Vernetzung der Netzgebiete untereinander und mit dem Rechenzentrum in Heidelberg sowie dem Internetknoten in Frankfurt. Das gesamte Netz ist rein IP-basiert. Am Internetknoten DE-CIX in Frankfurt betreibt DBD Peering mit anderen IP-Carriern.

DBD tritt am Markt gegenüber den Endkunden mit einer Zwei-Marken-Strategie auf. Diese eröffnet DBD die Möglichkeit zu Preisdifferenzierungen zwischen städtischen und ländlichen Räumen. Über die Marke „MAXXonair“ bietet das Unternehmen in städtischen Netzen Breitbandzugänge mit bis zu 2 Mbit/s an. In unterschiedlichen Angebotspaketen sind auch vollwertige Telefonanschlüsse und Daten- und Sprachtelefonieflattrates erhältlich. Die Endkundenpreise orientieren sich an den Preisführern unter den Wettbewerbern.

In den ländlichen Netzen von DBD werden die Dienste mit der zweiten Marke unter dem Namen „DSLonair“ vermarktet. Die Preise für die Breitbandprodukte orientieren sich dort stärker an den jeweils anfallenden Kosten. Es wird daher keine allgemeine Preisliste veröffentlicht, sondern die Preise werden für jeden Ort individuell kalkuliert. Durchschnittlich liegen die Preise der Breitbandpakete von DSLonair um rund 5 Euro pro Monat höher als bei MAXXonair.

Für die Zukunft ist es denkbar, dass DBD sein regional differenziertes Geschäftsmodell dahingehend ausbaut, dass MAXXonair durch eine Umrüstung der Netze auf IEEE 802.16e und eine zu schaffende flächendeckende Abdeckung in den Städten auch mobile Dienste anbieten wird, während DSLonair weiterhin in ländlichen Regionen lediglich ortsfeste Breitbandanschlüsse offeriert.

Branchenbeobachter erwarten zudem, dass sobald der Netzausbau weiter vorangeschritten ist, DBD sein reines Komplettanbietermodell verlassen und sich gegenüber Vertriebspartner- ISP- und MVNO-Modellen öffnen wird.

- Televersa Online GmbH

Der bayerische Regio-Carrier Televersa ersteigerte Zuteilungen in den Regionen Oberpfalz und Niederbayern. Für Teile Oberbayerns verfügt das Unternehmen auch über Frequenzen aus früheren WLL-Zuteilungen. Ebenso wie DBD hat auch Televersa bereits vor dieser Zuteilung BWA-Dienste angeboten. Seit mehreren Jahren baut Televersa BWA-Netze in Breitband-unversorgten Ortschaften auf. Zudem werden auch allgemein zugeteilte Frequenzen im 5,5 GHz-Bereich genutzt.

Wie DBD verfolgt auch Televersa das in dieser frühen Marktphase typische Komplettanbieter-Modell. Über künftig geplante Öffnungen hinsichtlich Vertriebskooperationen oder ISP/MVNO-Modellen ist derzeit nichts bekannt.

Nach Auskunft des Unternehmens werden aktuell rund 100 Senderstandorte betrieben, um in über 500 Ortschaften und Ortsteilen Breitbandinternetzugänge und Telefoniedienste anzubieten. Zum Einsatz kommen nicht-standardisierte BWA-Technologien, die Frequenzen im 3,5 GHz- und im 5,5 GHz-Bereich nutzen. Im Fokus von Televersa liegen Gebiete ohne Breitbandversorgung, um ortsfeste BWA-Anschlüsse zu realisieren. Die Netze werden für Sichtverbindungen mit gerichteten Außenantennen ausgelegt.

Bislang setzt Televersa WiMAX-Technologie nur im Rahmen von Feldversuchen ein. Ein kommerzieller Einsatz von WiMAX-Netzen ist für die Zukunft geplant. Von Seiten des Unternehmens werden gegenwärtig keine Aussagen über den genauen Zeitpunkt gemacht.

Mittelfristig könnte Televersa den Fokus weiten und nicht nur in unversorgten Gebieten, sondern im gesamten Zuteilungsgebiet BWA-Dienste weitgehend flächendeckend anbieten und sich damit im Wettbewerb zu anderen Breitbandnetzen begeben.

Das Dienstangebot von Televersa umfasst Komplettanschlüsse für Privat- und Geschäftskunden mit Flatrates für Sprachtelefonie und Internet zu wettbewerbsfähigen Preisen und der Möglichkeit zur Portierung der Telefonnummer. Als Bandbreiten werden 1 bis 6 Mbit/s angeboten – für Geschäftskunden auch als symmetrischer Dienst. Mit diesem BWA-Dienstangebot stößt das Unternehmen bislang in den Breitband-unterversorgten Regionen auf eine starke Nachfrage. In einigen Orten mussten die Sendestationen bereits verstärkt werden, um die Nachfrage zu bedienen.

- **MGM Productions Group S.R.L.**

Das italienische Unternehmen MGM ersteigerte Zuteilungen in der Region Oberbayern, die unter anderem den Großraum München umfasst. MGM war bislang in Deutschland noch nicht tätig.

Seit der Versteigerung der BWA-Frequenzen sind keinerlei Aktivitäten der MGM Productions Group für einen Netzaufbau erkennbar.

Weitere BWA-Netzbetreiber

Neben den Zuteilungsinhabern für 3,5 GHz-BWA-Frequenzen engagieren sich zahlreiche weitere Unternehmen in Deutschland als BWA-Netzbetreiber. Bei der überwiegenden Mehrheit dieser Unternehmen handelt es sich um kleine Netzbetreiber, die BWA-

Netze mit WLAN-Technologie realisieren und hierzu die allgemeinzugewiesenen Frequenzbänder um 2,4 GHz und 5,5 GHz nutzen.⁶³ Darüber hinaus setzen aber auch einige Unternehmen bereits WiMAX-Technologie ein. Zu ihnen zählen die Neckarcom, die VSE Net und die mvox AG.

- NeckarCom Telekommunikation GmbH

Der baden-württembergische Regio-Carrier Neckarcom, eine Tochter des Energieunternehmens EnBW, betreibt in der Region südlich von Ulm derzeit an mehr als 20 Orten BWA-Netze auf Basis der WiMAX-Technologie nach dem 802.16e-Standard. Die Netze sind für das Angebot ortsfester Breitbandanschlüsse ausgelegt. Abhängig von der lokalen Topografie beträgt die Reichweite rund 4 bis 5 km. In der Regel werden Zimmerantennen eingesetzt. Bei schlechter Empfangslage kommen aber auch Außenantennen zum Einsatz.

Für Privatkunden werden asymmetrische Breitbanddienste mit Datenraten von 3 Mbit/s down- und 384 kbit/s upstream sowie vollwertige Telefonanschlüsse angeboten. Für Geschäftskunden stehen symmetrische und asymmetrische Breitbandanschlüsse mit bis zu 4 Mbit/s bereit.

Für die Breitbandzuführung zu den Basisstationen setzt Neckarcom weitgehend bereits vorhandene Glasfasernetze entlang der Elektrizitätsnetze des Mutterunternehmens sowie ergänzend Richtfunk ein. Die von Motorola stammenden WiMAX-Systeme nutzen das 3,5 GHz-Frequenzband. Die Frequenzen werden Neckarcom durch einen der Zuteilungsinhaber überlassen.

Ein weiterer Ausbau der BWA-Netze wird derzeit überprüft. Ebenfalls geprüft wird ein künftiges Angebot nomadischer und mobiler Breitbanddienste. Als Voraussetzung wird hierfür unter anderem die Verfügbarkeit entsprechender Endgeräte angeführt.

- VSE NET GmbH

Der Regio-Carrier VSE NET, ein Tochterunternehmen des von RWE dominierten regionalen Energieunternehmens VSE, ist hauptsächlich im Saarland und in Luxemburg aktiv. VSE NET testet seit Ende 2007 in einem Pilotnetz die technischen und wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten von WiMAX in bislang unversorgten Gebieten. Das Pilotnetz wird durch den Technologiepartner Alcatel-Lucent mit Systemen nach dem 802.16e-Standard errichtet. Die Frequenzen für dessen Betrieb im 3,5 GHz-Band wurden durch den Zuteilungsinhaber Inquam überlassen.

⁶³ Beispiele für kleine BWA-Netzbetreiber auf WLAN-Basis sind Country-DSL, Disquom, DSLmobil, Ganag, Net.Art/Funkitown, Paracom, TGNET, Wireless-DSL sowie über 100 weitere, zum Teil auf einen Ort beschränkte Anbieter.

Das BWA-Pilotnetz von VSE NET wird für den Empfang durch am Fenster platzierte Innenantennen ausgelegt. Es sollen Breitbanddienste mit 4 Mbit/s down- und 1 Mbit/s upstream sowie vollwertige Telefonanschlüsse mit einem oder zwei Sprachkanälen angeboten werden.

Ob VSE künftig noch weitere mit Breitband unversorgte Orte durch BWA-Netze erschließen wird, hängt vom Erfolg des Pilotnetzes ab.

- mvox AG

Einen Sonderweg unter den WiMAX-Netzbetreibern schlägt das auf BWA spezialisierte Unternehmen Mvox ein. Das Unternehmen, das bislang rund 150 Orte in Bayern, Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein und Brandenburg mit breitbandigen Anschlüssen versorgt, setzt auf eigenentwickelte WiMAX-Systeme. Die Systeme entsprechen dem Standard 802.16d. Im Unterschied zu den anderen WiMAX-Akteuren setzt Mvox ausschließlich auf die allgemeinzugeteilten Frequenzen zwischen 5,4 und 5,8 GHz. Wegen der Ausbreitungseigenschaften dieser hohen Frequenzen werden die Netze ausschließlich für Line-of-Sight-Empfang mit Außenantennen konzipiert.

Die Außenantennen werden mit Hilfe eines Peilgerätes von 80% der Nutzer selbst montiert, was dem Unternehmen deutliche Kostenersparnis bei der Kundenanschaltung bringt. Die Breitbandzuleitung der Basisstationen erfolgt in der Regel per Richtfunk. Bei den Vorleistungen im Backbone-Bereich kooperiert Mvox mit der Deutschen Telekom.

Privatkunden werden asymmetrische Anschlüsse mit 1-3 Mbit/s down- und 384 kbit/s upstream angeboten. Für Geschäftskunden stehen symmetrische Anschlüsse mit 1 oder 2 Mbit/s zur Verfügung.

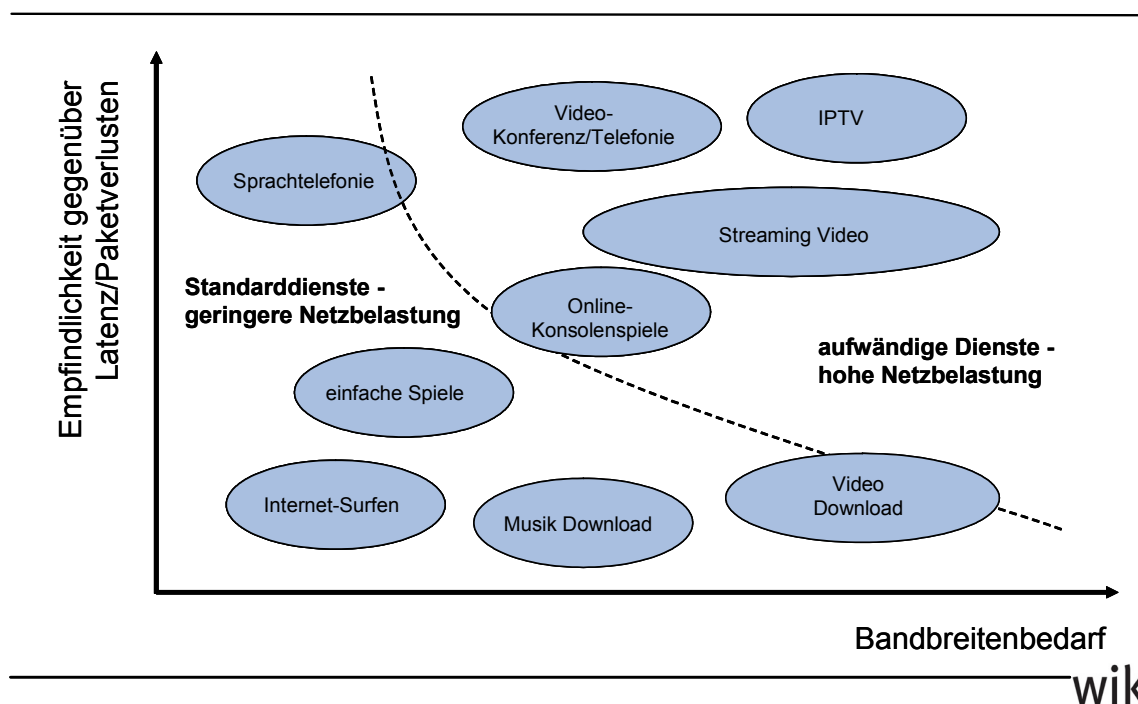
Mvox plant kontinuierlich weitere Netze an Orten ohne Breitbandversorgung aufzubauen. Der derzeitige Ausbauplan sieht 150 Regionen in ganz Deutschland vor.

5.4 Dienste über die BWA-Plattform

BWA-Netze werden heutzutage als All-IP-Netze konzipiert. In Verbindung mit den Möglichkeiten der WiMAX-Funkschnittstellen, Quality-of-Service entsprechend den dienstespezifischen Anforderungen bereitzustellen (vgl. Abschnitt 3.2.2.1), besteht die Ausgangsbasis für das Angebot grundsätzlich für alle Arten elektronischer Kommunikationsdienste. Beschränkungen liegen nur in der maximalen Datenübertragungskapazität der Netze. Die BWA-Netzbetreiber müssen bei ihrem Dienstangebot die geteilte Nutzung der Netzressourcen innerhalb einer Funkzelle berücksichtigen und können nur Dienste anbieten, die nicht zu gegenseitigen Nutzungsstörungen führen. Um die Netz-

belastung gering zu halten kommen eher Standarddienste in Betracht (vgl. Abbildung 5-2).

Abbildung 5-2: Einordnung von Diensten hinsichtlich Bandbreitenbedarf und Empfindlichkeit gegenüber Latenz und Paketverlusten



Quelle: WIK

Zu den unverzichtbaren Dienstangeboten über BWA-Plattformen zählen der breitbandige Internetzugang und die Sprachtelefonie. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist vor allem das Angebot eines vollwertigen Telefonanschlusses inklusive einer Nummernportierung wichtig. Kunden mit BWA-Breitbandzugängen können damit ihren Festnetztelefonanschluss substituieren und das monatliche Budget für den Telefonanschluss nun für den BWA-Dienst ausgeben. Durch diese Dienstebündelung wird außerdem die Kundenbindung erhöht. Die Telefonie steigert den Umsatz je Nutzer deutlich, ohne durch die VoIP-Datenpakete viel Netzkapazität zu beanspruchen.

Mit der Einführung von Mobile WiMAX können nomadische und mobile Breitbanddienste über BWA-Plattformen angeboten werden. Dies stellt ein gewichtiges Differenzierungsmerkmal gegenüber den leitungsgebundenen Breitbandnetzen dar. Im direkten Wettbewerb mit DSL- und Kabelnetzen könnte Mobilität für WiMAX-Anbieter zum entscheidenden Faktor werden. Zumal IPTV und damit Triple-Play, wie es die leitungsgebundenen Breitbandnetze bieten, aus Kapazitätsgründen auf absehbare Zeit nicht über BWA möglich ist. Gegenwärtig finden zwar auch die ersten IPTV over WiMAX-Versuche statt. Hierbei handelt es sich jedoch lediglich um Tests des Institut für Rundfunktechnik,

mit denen erprobt werden soll, ob künftig Fernsehreporter Live-Übertragungen über WiMAX-Netze zur Sendezentrale schicken können.⁶⁴ An eine parallele IPTV-Übertragung vieler Nutzer wird hierbei nicht gedacht.

Neben diesen klassischen Diensten Breitbandzugang und Sprachtelefonie sind Mobile WiMAX-Netze grundsätzlich in der Lage, alle Arten mobiler Kommunikationsdienste bereitzustellen, die auch von den Mobilfunknetzen angeboten werden. Gerade in diesem Bereich ist in den nächsten Jahren mit einem verstärkten Wachstum sowie dem Entstehen neuer und immer ausdifferenzierter Dienste zu rechnen.

⁶⁴ Vgl. „Alcatel-Lucent und IRT testen erstmalig TV-Übertragung per WIMAX“, Meldung von Portel.de vom 8.2.2008.

6 Marktentwicklung von BWA in internationalen Vergleichsmärkten

6.1 Marktentwicklung von BWA in Belgien

6.1.1 Breitbandmarkt in Belgien

Der belgische Breitbandmarkt war in den vergangenen Jahren durch eine fast vollständige Migration von schmalbandigen zu breitbandigen Internet-Zugängen geprägt: 89% aller Haushalte mit Internet-Anschluss verfügen bereits über einen breitbandigen Zugang. Die Penetration von breitbandigen Internet-Anschlüssen bezogen auf die Einwohnerzahl lag Ende 2006 bei 21,8%. Zu regelmässigen Internet-Nutzern werden 58,3% der belgischen Bevölkerung gerechnet.⁶⁵ DSL spielt für die Realisierung von Breitband-Anschlüssen die wichtigste Rolle, wobei jedoch in den letzten Jahren zunehmender Wettbewerb durch Breitbandkabel entstanden ist. Ende 2005 lag der Anteil von ADSL an den etwa 2 Mio. Breitband-Anschlüssen bei 62%, während über Kabel 38% der Breitband-Anschlüsse realisiert wurden.⁶⁶ Sonstige Technologien haben im belgischen Markt für breitbandigen Internet-Zugang laut BIPT (noch) keine Relevanz. DSL ist in Belgien flächendeckend ausgebaut und deckt laut i2010 Jahresbericht bereits im Jahr 2005 auch alle ländlichen Gebiete ab. Die DSL-Penetration lag Ende 2006 bei 13,6%.⁶⁷

6.1.2 Regulatorische Vorgaben und Rahmenbedingungen

Die belgische Regulierungsbehörde BIPT (Belgian Institute for Postal services and Telecommunications) hat WLL-Lizenzen in mehreren Frequenzbereichen vergeben. Sie verfolgt dabei einen technologieneutralen Ansatz und versieht die Lizenzen kaum mit Restriktionen. Bisher war die Nutzung der Lizenzen für mobile Internet-Zugänge grundsätzlich erlaubt. Derzeit läuft jedoch ein Konsultationsverfahren, das eine mögliche Begrenzung der 3,5 und 10,5 GHz-Frequenzen auf festnetzgestützte und nomadische Nutzung betrifft. Dieser Trend steht im Widerspruch zu dem Ansatz der Europäischen Kommission, eine möglichst flexible Nutzung des Frequenzspektrums zu erreichen. Die von der belgischen Regulierungsbehörde vergebenen WLL-Lizenzen haben grundsätzlich eine unbefristete Laufzeit und sind für den Fall, dass das Frequenzspektrum ungenutzt bleibt, an die Regulierungsbehörde zurückzugeben.

- 3,4-3,6 GHz-Bereich: Lizenzen wurden zwei Betreibern pro Region mit Kapazitäten von bis zu 25 MHz duplex zugeteilt. Der Einsatz von FDD- und TDD-

⁶⁵ Vgl. EU-Kommission (2007).

⁶⁶ Vgl. BIPT (2006), S. 119.

⁶⁷ Vgl. EU-Kommission (2007).

Technologien ist erlaubt. Die Lizenzgebühr wird auf Basis der eingesetzten Basisstationen und MHz berechnet und liegt im Jahr 2007 bei 349 Euro pro MHz. Dieser Betrag wird jährlich angepasst auf der Basis des Consumer Price Index. Im April 2004 wurden zwei Lizenzen an Clearwire und Mac Telecom vergeben.

- 10,15-10,65 GHz-Bereich: Lizenzen wurden an zwei Betreiber pro Region mit Kapazitäten von bis zu 56 MHz duplex vergeben. Zwischen beiden Betreibern besteht ein Schutzabstand von 28 MHz, der von den Betreibern auf Basis einer bilateralen Vereinbarung genutzt werden kann. FDD- und TDD-Technologien dürfen genutzt werden. Die Lizenzgebühr wird auf Basis der eingesetzten Basisstationen und MHz berechnet und liegt im Jahr 2007 bei 159 Euro pro MHz. Die Gebühr wird jährlich entsprechend der Entwicklung des Consumer Price Index angepasst. Die Lizenzen wurden vergeben an MAC Telecom (22. November 2004), EVONET (30. März 2006) und Clearwire (30. März 2006).
- 27,5-29,5 GHz-Bereich: Lizenzen wurden an zwei Betreiber pro Region mit Kapazitäten bis zu 56 MHz duplex vergeben. Zwischen beiden Betreibern besteht ein Schutzabstand von 28 MHz, der von den Betreibern auf Basis einer bilateralen Vereinbarung genutzt werden kann. FDD- und TDD-Technologien dürfen genutzt werden. Die Lizenzgebühr wird auf Basis der eingesetzten Basisstationen und MHz berechnet und liegt im Jahr 2007 bei 86 Euro pro MHz. Die Gebühr wird jährlich entsprechend der Entwicklung des Consumer Price Index angepasst. MAC Telecom wurde am 17. Dezember 2001 eine Lizenz im 27,5-29,5 GHz-Bereich zugeteilt. Weiteres Spektrum ist noch verfügbar für zwei nationale Lizenzen.

Die Regulierungsbehörde hat entschieden Frequenzen im 24,5-26,5 GHz-Bereich erst dann zu vergeben, wenn im 27,5-29,5 GHz-Bereich kein Spektrum mehr verfügbar ist. Für den 2,6 GHz-Bereich wurde ein Konsultationsverfahren gestartet, das eine technologie neutrale Nutzung des Frequenzspektrums betrifft.

Der Handel mit Frequenzspektrum ist im belgischen Telekommunikationsgesetz grundsätzlich erlaubt. Bezüglich der WLL-Lizenzen wurden jedoch keine Regulierungsentscheidungen getroffen und Frequenzübertragungen spielen im Markt bisher keine Rolle.

6.1.3 Anbieter

Die WiMAX-Anbieter in Belgien agieren im Vergleich zu anderen Märkten in einem weit entwickelten Breitbandmarkt, der aufgrund seiner hohen DSL-Verfügbarkeit und einem funktionierenden Plattform-Wettbewerb zwischen DSL und Kabel nicht das für WiMAX interessante Marktpotenzial nicht breitbandig angeschlossener Gebiete aufweist.

Auch wenn der WiMAX-Markt in Belgien bereits im Jahr 2005 entstanden ist, ist bisher nur eine sehr begrenzte Infrastruktur durch zwei Anbieter, MAC Telecom und Clearwire, aufgebaut worden. In sehr geringem Umfang engagiert sich noch der ISP Evonet im WiMAX-Markt. Alle Anbieter nutzten zunächst nicht zertifizierte sog. „Pre-WiMAX“-Technologien.

MAC Telecom und Clearwire verfolgen unterschiedliche Geschäftsmodelle und kooperieren miteinander. Während MAC Telecom sich auf breitbandige Funkanbindungen und IT-Dienste für Unternehmen konzentriert, fokussiert sich Clearwire auf die Vermarktung von Internet-Zugängen vorwiegend für Privatkunden und kleinere Unternehmen. Die Anbieter sind zwar schon seit längerer Zeit im belgischen Markt aktiv, aber spielen im gesamten Breitband-Markt bisher nur eine untergeordnete Rolle. Es liegen keine Informationen über die Entwicklung von Kundenzahlen vor.

- MAC Telecom

MAC Telecom ist spezialisiert auf Geschäftskundenanschlüsse über Funk einschließlich ergänzender IT-Dienste. Das Unternehmen wurde im Jahr 2002 gegründet. MAC Telecom begann mit dem Aufbau seiner Netzinfrastruktur in Brüssel und verfügt nach eigenen Angaben inzwischen über ein nationales Netz. Expertenaussagen zufolge ist dieses Netz jedoch nicht wirklich flächendeckend ausgebaut, sondern konzentriert sich auf eingeschränkte Gebiete, in denen MAC Telecom ein hohes Marktpotenzial für die Anbindung von Geschäftskunden sieht. Das Unternehmen besitzt WLL-Lizenzen für den 3,4-3,6 GHz-Bereich (seit dem 15. April 2004), den 10,15-10,65 GHz-Bereich (seit dem 22. November 2004) und den 27,5-29,5 GHz-Bereich (seit dem 17. Dezember 2001). MAC Telecom vermarktet Daten- und Telefonie-Dienste an größere Unternehmen. Die Daten-Dienste umfassen den breitbandigen Internet-Zugang, Leased Lines, Housing und Hosting. Telefonie-Angebote konzentrieren sich auf IP-Telefonie und Videoconferencing.

- Clearwire Belgium

Clearwire Belgium ist ein Tochterunternehmen des gleichnamigen US-Unternehmens. Außerhalb der USA ist Clearwire bisher neben Belgien auch in Dänemark, Irland, Mexiko und Spanien tätig. Das Unternehmen plant für weitere Länder den Markteintritt auf der Basis bereits erworbener BWA-Frequenzen (in Deutschland, Rumänien, Polen). Im Gegensatz zu den Geschäftsmodellen der meisten anderen WiMAX-Anbieter, ist Clearwire rein auf Retail ausgerichtet und konzentriert sich auf die Vermarktung von Internet-Zugängen an Privatkunden.

Bereits seit Mitte 2005 bietet die Firma Clearwire breitbandige Internet-Zugänge in Belgien an. Clearwire verfügt über Lizenzen im 3,5 GHz-Bereich (seit April 2004), Zunächst baute Clearwire sein Netz in Brüssel auf und expandierte im nächsten Schritt nach Leuven und Ghent. In diesen drei belgischen Städten leben insgesamt etwa 470.000 Einwohner. Die Dienste von Clearwire sind jedoch in allen drei Städten nicht flächendeckend.

ckend verfügbar. Experteneinschätzungen zufolge beläuft sich der Kundenstamm von Clearwire in Belgien auf rund 10-15.000 Kunden.

Clearwire bietet Internet-Zugänge in zwei Produktvarianten an. Die Bandbreite beträgt maximal 3 Mbit/s download und 256 kbit/s upload in der Produktvariante „Freedom Premium“, die für eine Monatsgebühr in Höhe von 38,99 Euro bereitgestellt wird. Wesentlich weniger Bandbreite bietet der Dienst „Freedom Light“ mit lediglich 1 Mbit/s downstream und 128 kbit/s upstream für 28,99 Euro pro Monat. Im Vergleich zu konkurrierenden DSL-Internet-Zugängen sind die Übertragungsraten der Clearwire-Produkte unterdurchschnittlich und der Preis wenig wettbewerbsfähig. Während Clearwire in den USA auch Telefonie anbietet, ist dieser Dienst in Belgien bisher nicht verfügbar. Somit können die BWA-Zugänge von Clearwire nicht als vollwertige Substitute für DSL- oder Kabelanschlüsse gelten.

Der wesentliche Wettbewerbsvorteil des Clearwire-Dienstes besteht darin, dass der Internet-Zugang sowohl beim Kunden zu Hause als auch überall im Verbreitungsgebiet von Clearwire erfolgen kann (wobei das Verbreitungsgebiet noch recht begrenzt ist). Als Zielgruppe adressiert Clearwire damit Kunden, die einen portablen Zweitbreitbandzugang wünschen sowie Nutzer, die ausschließlich mit Mobilfunk telefonieren.

Das mit Freedom Light vergleichbare Produkt Belgacom ADSL Light stellt 2 Mbit/s downstream und 256 kbit/s upstream für 31,55 Euro pro Monat zur Verfügung. Das Belgacom Standardprodukt ADSL Go bietet 4 Mbit/s downstream und 400 kbit/s upstream für 41,75 Euro pro Monat an. Dieses Angebot enthält den Download einiger Spiele und Musikstücke und einen vergünstigten Zugang an Hotspots. Belgacom setzt sehr stark auf die Vermarktung von Produktbündeln zur Kundenbindung und bietet bereits Festnetz, ADSL, TV und Mobilfunk als Produktpaket an.

Tabelle 6-1: Angebotene Produktvarianten von Clearwire Belgien

Produktname	Freedom Light	Freedom Premium
Entgelte pro Monat	€ 28,99	€ 38,99
Aktivierungsentgelte	€ 25,00 (12-Monatsvertrag) € 0,00 (24-Monatsvertrag)	€ 25,00 (12-Monatsvertrag) € 0,00 (24-Monatsvertrag)
Bandbreite download	1 Mbit/s	3 Mbit/s
Bandbreite upload	128 kbit/s	256 kbit/s
monatliches Inklusivvolumen	2 GB	10 GB
Mailbox	1 x 50 MB	2 x 50 MB

Quelle: Unternehmensangaben; Stand: Januar 2008

- Evonet

Evonet ist ein im Jahr 1995 gegründeter belgischer ISP, der am 30. März 2006 WLL-Lizenzen im 10,15-10,65 GHz-Bereich erhalten hat. Das Unternehmen vermarktet DSL-Anschlüsse, Leased Lines, Dedicated Hosting und Data Center-Dienste an Privat- und Geschäftskunden über einen eigenen Direktvertrieb und über Reseller. BWA-Dienste werden hingegen gegenwärtig nicht vermarktet.

6.2 Marktentwicklung von BWA in Frankreich

6.2.1 Breitbandmarkt in Frankreich

Infolge einer dynamischen Entwicklung des Breitbandmarktes in Frankreich in den vergangenen Jahren verfügten Ende 2006 19,0% der Einwohner über einen breitbandigen Internet-Anschluss.⁶⁸ Die Internet-Nutzung ist in Frankreich jedoch vergleichsweise gering entwickelt: Der Anteil der Internet-Nutzer an der Gesamtbevölkerung lag mit 39% Ende 2006 deutlich unter dem EU25-Durchschnitt (46,7%).⁶⁹ Für Ende 2006 weist die Regulierungsbehörde ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes) 15,3 Mio. Internetanschlüsse aus, was gegenüber dem Vorjahr einen Zuwachs von 15,1% bedeutet. Mit einer jährlichen Wachstumsrate von 34,4% gewinnen breitbandige Internet-Anschlüsse zunehmend an Bedeutung. Ende 2006 entfielen auf breitbandige Internet-Zugänge mit 12,7 Millionen bereits 83% aller Internet-Zugänge. Ebenso wie in Deutschland dominiert im französischen Breitband-Markt die DSL-Technologie mit einem Marktanteil von 94% an allen Breitbandanschlüssen (Ende 2006). DSL-Anschlüsse waren der Europäischen Kommission zufolge Ende 2005 für 96,4% der französischen Bevölkerung verfügbar, wobei die Verfügbarkeit in ländlichen Gebieten bei 87,9% lag.⁷⁰ Für eine künftig stärkere Verbreitung von Breitband in weniger dicht besiedelten Regionen wird WiMAX in Frankreich eine bedeutende Rolle beigemessen. Das zeigt u. a. das Engagement der Kommunen, die stark unter den WiMAX-Lizenznehmern vertreten sind. Insgesamt 14 Kommunen bewarben sich um WiMAX-Frequenzen, von denen sechs Bewerber von der ARCEP aufgrund ihrer Ausbaupläne ausgewählt wurden. Den anderen Kommunen steht nun noch die Möglichkeit offen, über Public Private Partnerships die Breitband-Versorgung in ihren Regionen zu verbessern.

⁶⁸ Vgl. EU-Kommission (2007a).

⁶⁹ Vgl. EU-Kommission (2007a).

⁷⁰ Vgl. EU-Kommission (2007a).

6.2.2 Regulatorische Vorgaben und Rahmenbedingungen

6.2.2.1 Vergabe der regionalen WiMAX-Lizenzen

Die Vergabe regionaler WiMAX-Lizenzen im 3,4-3,6 GHz-Bereich begann mit der Ausschreibung am 6. August 2006, auf die bis zum 14. Oktober 2005 mit 175 Letters of Intent reagiert wurde. Für 22 französische Regionen wurden jeweils zwei Lizenzen ausgeschrieben, darüber hinaus zwei für Guyana und drei für Mayotte. Bis zum 10. Januar 2006 wurden 45 formelle Lizenzanträge eingereicht. Die Regulierungsbehörde ARCEP stellte daraufhin mit Ausnahme von zwei Regionen (Saint-Pierre und Miquelon) für alle ausgeschriebenen Gebiete Frequenzknappheit fest. Sie vergab die Frequenzen daher nach einem in der Ausschreibung festgelegten Bewertungsverfahren. Dieses Verfahren umfasste drei Bewertungsaspekte:

1. Flächendeckung: Dieser Aspekt misst zunächst die angestrebte Verfügbarkeit von WiMAX im Juni 2008, 2010 und 2012 anhand der Anzahl der Basisstationen. Darüber hinaus wird in die Bewertung mit einbezogen, inwieweit der Antragsteller bisher nicht breitbandig angeschlossene Gebiete abdecken will. Weitere Bewertungsaspekte bestehen in den angebotenen Diensten.
2. Beitrag zum Breitbandwettbewerb: Dieser Aspekt berücksichtigt, ob ein Bewerber bereits im Breitbandmarkt aktiv ist und ob er ein Resale-Angebot für Wettbewerber plant.
3. Finanzielle Aspekte: Dieser Bewertungspunkt bezieht sich auf die Höhe des Angebots, das der Bieter für eine Region unterbreitet. ARCEP kalkuliert 4,3 Euro pro Einwohner als angemessene Lizenzgebühr und vergleicht die eingegangenen Angebote anhand dieses Maßstabs.

Unter Wettbewerbsgesichtspunkten wurden die kommunalen Bewerber von der ARCEP besonders gut bewertet, während sie bei finanziellen Aspekten meist schlechter als die Mitbewerber abschnitten.⁷¹ Darüber hinaus weisen die kommunalen Bewerber z. B. Schwächen dahingehend auf, dass sie über keine Erfahrungen im Netzbetrieb verfügen und die Pläne zur technischen Umsetzung Schwächen aufweisen.⁷²

⁷¹ Einen Überblick über die Bewertungen der eingereichten Anträge nach Regionen und Antragstellern gibt http://www.avicca.org/IMG/pdf/06_07_WIM_AttribWimax_TabRecap.pdf.

⁷² Detaillierte Bewertungen pro Region sind veröffentlicht, s. z. B. Elsaß, http://www.arcep.fr/uploads/tx_gsavis/06-0645.pdf.

6.2.2.2 Weitere Frequenzbereiche für WiMAX

Auch in Frankreich kann WiMAX über den Frequenzbereich 3,4-3,6 GHz hinaus in weiteren Frequenzbereichen eingesetzt werden: Der Frequenzbereich 5,4-5,7 GHz steht bereits seit Anfang 2006 für den Einsatz von WiMAX offen und muss für einige Anwendungsbereiche ggf. angepasst werden. Darüber hinaus wird derzeit diskutiert, inwieweit Frequenzen aus dem Bereich 3,4-3,8 GHz für WiMAX zugänglich gemacht werden können.

Die Regulierungsbehörde hat für die bereits vergebenen Frequenzen im Januar 2007 die Rahmenbedingungen für den Transfer von Frequenzen bzw. für die gänzliche oder teilweise Nutzung der Frequenzen durch Dritte festgelegt.⁷³ Durch diese Möglichkeiten soll der Zugang zu dem zur Verfügung stehenden Frequenzspektrum für eine große Anbieterzahl erleichtert werden.

6.2.3 Anbieter

Im Juli 2000 wurden in Frankreich zwei nationale Lizenzen im 3,5 GHz-Bereich und jeweils 2 Lizenzen in 22 Regionen im 26 GHz-Bereich vergeben, deren Nutzungsschwerpunkt zunächst auf WLL lag. Aufgrund von Schwierigkeiten beim Netzaufbau und wirtschaftlicher Probleme haben die meisten Lizenzinhaber ihre Lizenzen zurückgegeben, so dass im Jahr 2005 nur noch Altitude Télécom (nationale Lizenz) und Neuf Cegetel (18 regionale Lizenzen) ihre Lizenzen besaßen. Am 6. April 2006 kündigte das Iliad-Tochterunternehmen Free, ein Tochterunternehmen der Iliad Gruppe, an, seinen Internet-Kunden über die Iliad-Tochter IFW (Iliad Free WiMAX), die nach dem Kauf von Altitude Télécom in den Besitz derer WLL-Lizenzen gelangt war, demnächst drahtlosen Breitband-Zugang über WiMAX anzubieten. Das Unternehmen Neuf Cegetel hatte eine ähnliche Nutzung seiner WLL-Lizenzen bei der ARCEP beantragt, die jedoch nicht genehmigt wurde. Daraufhin ging Neuf Cegetel beim Conseil d'État gegen die Lizenzverwendung der IFW vor, jedoch ohne Erfolg.

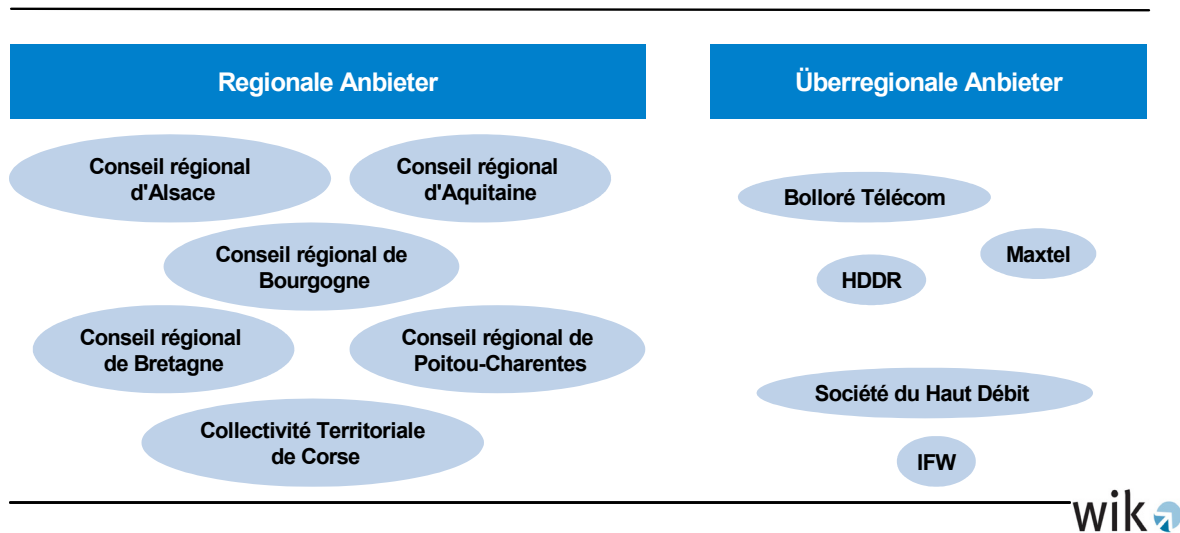
Die im Juli 2006 vergebenen regionalen BWA-Frequenzen wurden insgesamt 15 Bewerbern zugeteilt.⁷⁴ Die Mehrzahl der französischen WiMAX-Anbieter haben einen regionalen Fokus, da sie von Kommunen getragen werden. Sechs Anbieter sind aus kommunalen Engagements hervorgegangen (z. B. Conseil régional d'Alsace), die teilweise umfangreiche Projekte für den Ausbau der Breitbandinfrastruktur in ländlichen Gebieten initiiert haben. Insgesamt hatten sich 14 kommunale Zusammenschlüsse für die WiMAX-Lizenzen beworben. Zu den WiMAX-Betreibern, die einen überregionalen Fokus haben, gehören Bolloré Télécom, HDRR Multi-Régions und Maxtel. In den Regi-

⁷³ Vgl. ARCEP (2007a).

⁷⁴ In den Überseedépartments, auf die im Folgenden nicht weiter eingegangen wird, sind die Frequenzen an France Télécom, Guét@li Haut Débit, Guyatel und STOI Internet vergeben worden.

onen Ile-de-France und Provence-Alpes-Côte d'Azur ist die Société du Haut Débit (SHD) tätig. Das Unternehmen Clearwire, das sich auch um die WiMAX-Lizenzen beworben hatte, hat in Frankreich keine Lizenzen erhalten.

Abbildung 6-1: Anbietergruppen im französischen WiMAX-Markt



Quelle: ARCEP

HDRR France hat 11 Lizenzen für insgesamt 5,31 Millionen Euro erworben. HDRR gehört TDF (90,2%), LD Collectivités (4,9%) und Axione (4,9%). HDRR hat zwei Tochtergesellschaften - HDRR Multi-Régions und HDRR Centre Est - gegründet. An der Gesellschaft HDRR Centre Est ist als weiterer Aktionär der Carriers Carrier Naxos beteiligt. Das WiMAX-Geschäftsmodell von HDRR basiert auf Wholesale und fokussiert Internetprovider ohne eigene Infrastruktur. HDRR konzentriert sich beim Netzaufbau auf die nicht ans Breitband angeschlossenen Gegenden. In den Gebieten, für die HDRR WiMAX-Frequenzen erhalten hat, haben 870.000 Einwohner keinen Zugang zum breitbandigen Internet. HDRR beabsichtigt, 80% der nicht angeschlossenen Einwohner über WiMAX an das breitbandige Internet anzuschließen. HDRR kann beim Netzaufbau für den Aufbau von Basisstationen die Gebäude von TDF nutzen. Ende 2006 nahm HDRR mit seinem WiMAX-Netz im Loire-Gebiet den Betrieb auf, das 10 Basisstationen umfasste.

Der WiMAX-Betreiber Bolloré Telecom, ein Tochterunternehmen der Gruppe Bolloré (85%), an dem auch Hub Télécom (10%) und Antalis TV (5%) beteiligt sind, hat 12 Lizenzen für insgesamt 78,34 Mio. Euro erworben. Damit hat Bolloré am stärksten von allen französischen WiMAX-Anbietern in den Lizenzerwerb investiert. Das Unternehmen, das bis Anfang 2007 im wesentlichen aus einer Gruppe von Consultants von Polyconseil bestand, hat im Januar 2007 eine neue Führung erhalten. Bollore plant die

Einführung von breitbandigen Internet-Diensten im Laufe des Jahres 2007. Das Unternehmen hat im Sommer 2006 eine 45%-Beteiligung am Wifi-Anbieter Wifirst erworben.

Maxtel hat in 13 Regionen für 8,7 Mio. Euro WiMAX-Lizenzen erworben. Das Unternehmen ist mit dem bereits im WiMAX-Markt aktiven Breitband-Anbieter Iliad verbunden: Die Gesellschafter von Maxtel sind mit je hälftigen Anteilen Altitude Telecom (eine 100%ige Tochter von Iliad) und der Autobahnbetreiber APRR. Maxtel wird WiMAX nutzen, um die bestehende und geplante Infrastruktur basierend auf Glasfaser und xDSL, auszubauen.

Der WiMAX-Anbieter SHD (Société du Haut Débit) ist ein Joint Venture von SFR (60%) und Neuf Cegetel (34%), das für 34 Mio. Euro zwei WiMAX-Lizenzen in den dicht besiedelten Regionen Ile-de-France und Provence-Alpes-Côte d'Azur erworben hat. Ende 2006 hat SHD seine ersten Basisstationen in Betrieb genommen.

Bei der Umsetzung kommunaler WiMAX-Strategien spielen Kooperationen mit erfahrenen Netzbetreibern eine wesentliche Rolle. So wurde z. B. in der Region Haut-Rhin, die zur Region Alsace gehört, für den WiMAX-Ausbau der Netzbetreiber Haut-Rhin Télécom gegründet, bei dem der Netzaufbau durch LD Collectivités und Est Vidéo-communication erfolgen soll. LD Collectivités ist am WiMAX-Betreiber HDRR beteiligt und wird durch Neuf Cégétel kontrolliert, das wiederum an dem WiMAX-Anbieter SHD beteiligt ist. 60% des Projektes werden aus kommunalen Mitteln finanziert. Das Glasfasernetz des regionalen Carriers Carrier Alsace Connexia wird zur Übertragung des WiMAX-Verkehrs auf die nationalen Netze genutzt.

Tabelle 6-2: Überblick über WiMAX-Betreiber in Frankreich nach Regionen

Unternehmen (Frequenz-inhaber)	Regionen
Bolloré Télécom	Aquitaine, Auvergne, Bretagne, Corse, Franche-Comté, Ile-de-France, Languedoc-Roussillon, Limousin, Midi-Pyrénées, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Picardie, Rhône-Alpes
Collectivité Territoriale de Corse	Corse
Conseil régional d'Alsace	Alsace
Conseil régional d'Aquitaine	Aquitaine
Conseil régional de Bretagne	Bretagne
Conseil régional de Bourgogne	Bourgogne
Conseil régional de Poitou-Charentes	Poitou-Charentes
France Télécom	Guyane, Mayotte
Guét@li Haut Débit	Mayotte

Unternehmen (Frequenzinhaber)	Regionen
Guyatel	Guyane
HDRR Multi-Régions	Basse-Normandie, Champagne-Ardenne, Haute-Normandie, Languedoc-Roussillon, Limousin, Lorraine, Nord-Pas de Calais, Pays de la Loire, Picardie, Poitou-Charentes
HDRR Centre est	Centre
Maxtel	Alsace, Auvergne, Basse-Normandie, Bourgogne, Centre, Champagne-Ardenne, Franche-Comté, Haute-Normandie, Lorraine, Midi-Pyrénées, Nord-Pas de Calais, Pays de la Loire, Rhône-Alpes
Société du Haut Débit	Ile-de-France, Provence-Alpes-Côte d'Azur
STOI Internet	Mayotte

Quelle: ARCEP (2006).

6.3 Marktentwicklung von BWA in den USA

6.3.1 Breitbandmarkt in den USA

Die Entwicklung des Breitbandmarktes in den USA ist durch günstige Rahmenbedingungen geprägt: Traditionell sind die USA durch eine hohe Penetration von PCc und eine intensive PC-Nutzung gekennzeichnet, die die Marktdurchdringung von schmalbandigen Internet-Zugängen erleichterte. Bereits im Jahr 2001 nutzten 50% der US-amerikanischen Bevölkerung das Internet. In den letzten drei Jahren hat sich die Internet-Penetration bei knapp 70% stabilisiert (2007: 69,2%).⁷⁵ Darüber hinaus wurde die Migration von Schmalband zu Breitband durch den Plattform-Wettbewerb zwischen Kabel und DSL begünstigt. Mitte 2006 waren der FCC zufolge für 73% der Einwohner DSL-Zugänge und für 93% breitbandige Internetzugänge über Kabel verfügbar.⁷⁶ Trotz dieses hohen Ausbaustandes beider Infrastrukturen besteht in den USA eine Unterversorgung in ländlichen Regionen, der von politischer Seite mit zahlreichen Initiativen begegnet wird. In diesem Zusammenhang wird insbesondere BWA-Lösungen eine bedeutende Rolle zugewiesen.

Über die Breitbandpenetration liegen unterschiedliche Datenquellen vor, die aufgrund ihrer methodischen Ansätze und Abgrenzungen zu abweichenden Erkenntnissen kommen. Alle Quellen stellen einen Trend zur Breitband-Migration und zur steigenden Online-Nutzung fest, wobei der Anteil der breitbandigen Haushalte unter den Internet-Nutzern teilweise um bis zu 10 Prozentpunkte abweicht. Die Quellen weisen darauf hin, dass die Breitband-Penetration Anfang 2007 bei etwa 50% liegt. In Untersuchungen,

⁷⁵ Vgl. <http://www.internetworldstats.com/am/us.htm>, abgerufen am 11.07.2007.

⁷⁶ Vgl. FCC (2007a).

die auch die ländliche Breitband-Penetration zum Gegenstand haben, zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Stadt und Land (z. B. PEW Internet: Breitband-Penetration in urbanem Gebiet: 52%, suburban: 49%, ländlich: 31%).⁷⁷

- PEW Internet ermittelt Anfang 2007 aufgrund einer Befragung von 2.200 Personen, dass 47% aller Amerikaner zu Hause einen Breitband-Zugang haben und dass die Penetration gegenüber dem Vorjahr um 5 Prozentpunkte gestiegen ist. Der Anteil der Breitbandnutzer an den Internet-Nutzern liegt bei 70%.⁷⁸ Pew Internet gibt den Anteil der Internet-Nutzer, die zu Hause, bei der Arbeit oder an anderen Orten drahtlose Zugänge nutzen, mit 34% an.⁷⁹
- Nielsen NetRatings zufolge verfügten von den US-amerikanischen Internet-Nutzern Ende 2006 78% über einen breitbandigen Anschluss.⁸⁰ Dies entspricht einen Zuwachs um 13 Prozentpunkte gegenüber dem Vorjahr. Die breitbandig angeschlossenen Internet-Kunden nutzten im November 2006 durchschnittlich 34 Stunden und 50 Minuten pro Woche das Internet und liegen damit um 33% höher als schmalbandig angeschlossene Nutzer.⁸¹
- Leichtman Research kommt in seiner Befragung zum Ergebnis, dass der Anteil der Breitband-Haushalte an den Internet-Nutzern Mitte 2007 72% beträgt (Mitte 2006: 60%).⁸²

In den USA wird die Definition von Breitband derzeit intensiv diskutiert, da die FCC bisher Internet-Anschlüsse schon dann als breitbandig definiert, wenn sie 200 kbit/s down- oder upload zur Verfügung stellen. Im Hinblick auf die Breitbandigkeit sind die USA zahlreichen Kritikern zufolge weniger weit entwickelt als vergleichbare Industrieländer. 19% der ADSL-Anschlüsse stellten Mitte 2006 nur 200 kbit/s im Upload oder Download bereit. Der Schwerpunkt des DSL-Angebotes (97% aller Kunden) lag auf Internet-Anschlüssen, die mehr als 200 kbit/s upload und bis zu 2,5 Mbit/s download anboten. Der Schwerpunkt der breitbandigen Internet-Anschlüsse über Kabel (81% aller Kunden) lag im Bereich 12,5 Mbit/s bis 10 Mbit/s.⁸³

⁷⁷ Vgl. Pew (2007).

⁷⁸ Vgl. Pew (2007).

⁷⁹ Vgl. Pew (2007a).

⁸⁰ Vgl. Nielsen Net Ratings (2006).

⁸¹ Vgl. Nielsen Net Ratings (2006).

⁸² Vgl. Leichtman (2007).

⁸³ Vgl. FCC (2007), S. 2-7.

Tabelle 6-3: Breitbandige Internet-Anschlüsse in den USA nach Übertragungsraten

	über 200 kbit/s up- oder download	über 200 kbit/s up- und download und in der schnelleren Richtung:				
		200 kbit/s - 2,5 Mbit/s	2,5 Mbit/s - 10 Mbit/s	10 Mbit/s - 25 Mbit/s	25 Mbit/s - 100 Mbit/s	über 100 Mbit/s
ADSL	4.273.080	12.176.742	6.111.807	11.255	n.a.	n.a.
SDSL	826	327.370	9.223	11	n.a.	n.a.
Mietleitungen	434	583.221	10.363	891	12.270	3.543
Kabel	292.937	3.053.382	23.039.748	2.099.654	27.779	0
Glasfaser	1.093	221.227	315.266	133.339	15.778	13.380
Satellit	467.876	n.a.	n.a.	0	0	0
Fixed Wireless	27.904	313.011	17.220	2.580	207	54
Mobile Wireless	9.102.064	n.a.	n.a.	0	0	0
Powerline u.a.	-	n.a.	n.a.	0	0	0
Summe	14.166.214	16.674.953	29.503.627	2.247.730	56.034	16.977

Quelle: FCC (2007), S. 2-7; Stand: Juni 2006)

6.3.2 Regulatorische Vorgaben und Rahmenbedingungen

In den USA stellt die Bereitstellung von lizenziertem Frequenzspektrum für BWA eine große Herausforderung dar. Anders als in Europa ist in den USA der 3,5 GHz-Frequenzbereich nicht für WiMAX verfügbar, da er für militärische Anwendungen reserviert ist. Im benachbarten Frequenzbereich hat die FCC bei 3,65 GHz Frequenzen für lizenzfreie Nutzung zur Verfügung gestellt.

Für BWA hat sich daher der Frequenzbereich bei 2,5 GHz zum wichtigsten lizenzierten Frequenzspektrum entwickelt. Dieses Frequenzspektrum ist jedoch stark beschränkt und befindet sich derzeit im Besitz von Sprint/Nextel (70%) und Clearwire (15)% sowie im Besitz zahlreicher kleinerer Frequenzinhaber.⁸⁴

Darüber hinaus ist in den USA lizenziertes Spektrum in den Bereichen 2,3 GHz, 1,9 GHz und 700 MHz für BWA nutzbar.

⁸⁴ Vgl. WiMAX.com (2007).

Im 2,3 GHz-Bereich besitzt BellSouth Lizenzen, die für den Aufbau von WiMAX genutzt werden.

6.3.3 Wettbewerb

Der Preisvergleich mit Breitband-Anschlüssen, die von Kabel- und DSL-Anbieter vermarktet werden, gestaltet sich aufgrund der zunehmenden Produktbündelung, zahlreicher Sonderangebote und regionaler Differenzierung schwierig. Tendenziell sind WiMAX-Angebote im Vergleich zu DSL- und Kabel-Angeboten mit entsprechenden Bandbreiten wesentlich teurer. Darüber hinaus werden über Kabel und DSL Produktvarianten mit deutlich höheren Übertragungsraten angeboten.

Tabelle 6-4: Preisbeispiele für Breitband-Internet über Kabel und DSL in den USA

	Kabel (Cox)	Kabel (Cox)	Kabel (Cox)	DSL (Verizon)	DSL (Verizon)
Preis (pro Monat)	16,99 US\$	41,95 US\$	56,95 US\$	14,99 US\$	29,99 US\$
Download	768 kbit/s	7 Mbit/s	12 Mbit/s	768 kbit/s	3 Mbit/s
Upload	256 kbit/s	512 kbit/s	1 Mbit/s	128 kbit/s	768 kbit/s
E-Mail-Adressen	7	7	7	9	9
Web Account		70 MB	70 MB	10 MB	10 MB

Quelle: Unternehmensangaben; Stand: Juli 2007

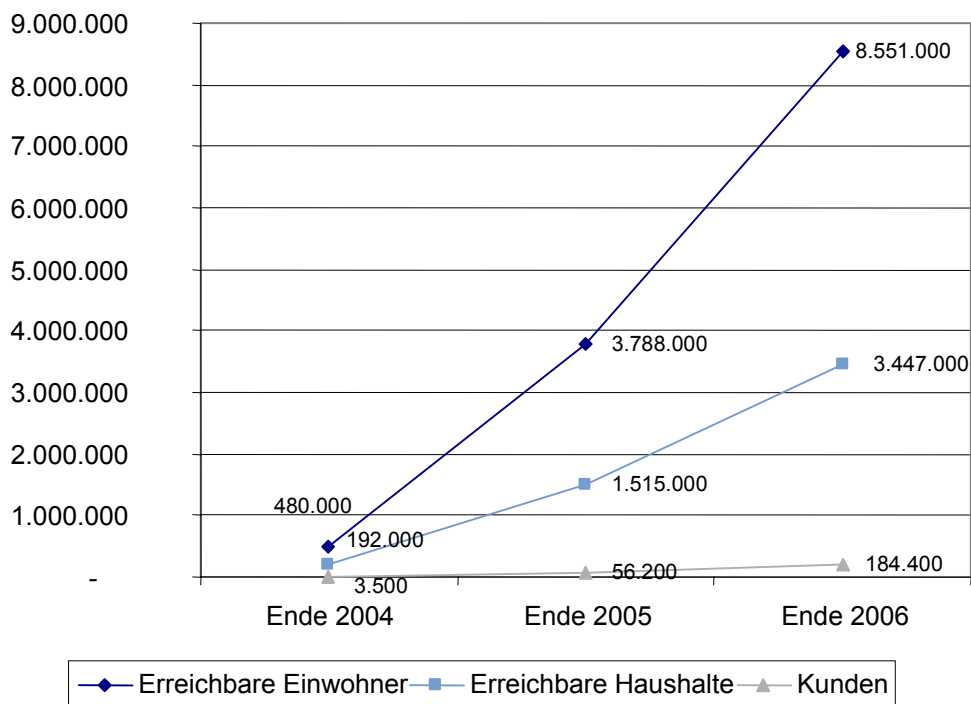
6.3.4 Anbieter

- Clearwire

Clearwire wurde im Oktober 2003 von Craig McCaw in Kirkland (Washington) gegründet und hat im August 2004 mit der Vermarktung seiner Dienste in den USA (Jacksonville, Florida) begonnen. Am Ende des dritten Quartals 2007 hatte Clearwire in 48 US-amerikanischen und internationalen Märkten insgesamt 348.000 WiMAX-Kunden. Dabei konzentriert sich Clearwire nicht auf Märkte, die mit DSL und Kabel unterversorgt sind. Das Absatzgebiet von Clearwire umfasst sowohl ländliche als auch suburbane und urbane Gegenden.

Bei Umsätzen in Höhe von 100 Mio. US\$ im Jahr 2006 hat Clearwire Verluste in Höhe von 284,2 Mio. Euro erwirtschaftet.⁸⁵ Die Umsätze von Clearwire sind zwischen 2005 und 2006 um 33 % gestiegen.

Abbildung 6-2: Dienste-Verfügbarkeit und Kundenentwicklung von Clearwire 2004-2006



Quelle: Clearwire (2007), S. 9.

Clearwire verfügt in den USA über lizenziertes Frequenzspektrum im 2,5 GHz-Bereich (2495-2690 MHz). Durch den Kauf von weiteren Frequenzen im 2,5 GHz-Bereich, die bis Februar 2007 im Besitz von AT&T waren, hat Clearwire sein Frequenzspektrum ausgeweitet.

Clearwire hat strategische Partnerschaften mit Intel, Motorola und Bell Canada gebildet, die insgesamt 1,1 Mrd. US\$ in Clearwire investiert haben. Beim Netzaufbau setzt Clearwire die Expedience Technologie von Motorola ein, die eine standardbasierte BWA-Plattform zur Übertragung IP-basierter Breitbandapplikationen bietet. Zur Entwicklung und Vermarktung von Mobile WiMAX-Diensten ist Clearwire im Juni 2006 eine Kooperation mit Intel eingegangen. Clearwire ver-

⁸⁵ Vgl. Clearwire (2007), S. 31.

treibt seine Produkte zum einen über das Internet und zum anderen über eigene Shops („Instant Internet Store“) und Kooperationen mit Händlern.

Clearwire bietet breitbandige Internet-Zugänge in drei Produktvarianten an, von denen zwei auf Privatkunden und einer auf Geschäftskunden ausgerichtet sind. Im Jahr 2006 hat Clearwire VoIP-Dienste in 13 US-amerikanischen Märkten eingeführt. Die angebotenen Bandbreiten der Internet-Zugänge belaufen sich auf 768 kbit/s download und 256 kbit/s upload beim Standardprodukt für Privatkunden, das für eine monatliche Grundgebühr in Höhe von 29,99 US\$ offeriert wird. Der Premium-Zugang für Privatkunden und der Business-Zugang erreichen Download-Bandbreiten von bis zu 1,5 Mbit/s und upload-Raten von bis zu 256 kbit/s. Die Laufzeit der Verträge beträgt zwei Jahre. Clearwire bietet regional leicht differenzierte Preise an.

Clearwire hat zahlreiche Marketingmaßnahmen und Rabattaktionen gestartet, die z. B. die ersten drei Monate zu einem reduzierten Preis anbieten. Zudem werden auch Produktbündel angeboten, die Sprachdienste (Voice over IP) beinhalten. So erhält z. B. ein ClearPremium-Kunde für insgesamt 71,98 US\$ zusätzlich zum Internet-Anschluss Sprachdienste, die alle nationalen und lokalen Gespräche abdecken – d.h. der Aufpreis für Sprachdienste beträgt 34,99 US\$.

Tabelle 6-5: Produktangebot von Clearwire in den USA*

	ClearValue	ClearPremium	ClearBusiness
Preis (pro Monat)	29,99 US\$	36,99 US\$	49,99 US\$
Download	up to 768 kbit/s	up to 1,5 Mbit/s	Up to 1,5 Mbit/s
Upload	up to 256 kbit/s	up to 256 kbit/s	Up to 256 kbit/s
E-Mail-Adressen	3	5	8
Web Account	-	10 MB	25 MB
Einmalige Anschlussgebühr	50 US\$	50 US\$	50 US\$

* Produkte, die in Aberdeen verfügbar sind

Quelle: Unternehmensangaben; Stand: Juli 2007

Zur zügigeren Markterschließung ist Clearwire Vertriebskooperationen eingegangen. Seit Mai 2007 vertreibt AOL die Breitband-Zugänge von Clearwire an AOL-Kunden, die bisher noch keine schnellen Internetverbindungen haben.

Seit Sommer 2007 kooperiert Clearwire mit den Satellitenanbieter DIRECTV und DISH Network, die WiMAX-Dienste ihren Satelliten TV-Kunden anbieten werden und Clearwire im Gegenzug die Vermarktung von TV-Diensten ermöglichen. Clearwire hatte sich bis zu diesem Zeitpunkt ausschließlich auf die Vermarktung von BWA-Diensten konzentriert. Durch die Kooperation mit den Satellitenbetreibern kann Clearwire in Konkurrenz zu lokalen Kabelnetzbetreibern treten, die sich bisher v. a. durch Produktbündelung Wettbewerbsvorteile verschaffen.

- Kooperation von Clearwire und Sprint Nextel

Im Juli 2007 verkündete Clearwire künftig mit Sprint Nextel für den Aufbau eines USA-weiten WiMAX-Netzes zu kooperieren. Es sollten dicht besiedelte Regionen mit insgesamt 100 Einwohnern mit WiMAX-Netzen überzogen werden. Diese Kooperation wurde jedoch im November 2007 wieder abgesagt.⁸⁶ Anfang 2008 wurde dennoch spekuliert, ob es zu einer Wiederaufnahme der Kooperationsgespräche kommen wird, ausgelöst durch eine größere Investitionsbereitschaft von Intel in ein derartiges Unternehmen.⁸⁷

- Sprint Nextel

Die WiMAX-Aktivitäten von Sprint Nextel sind nach dem (vorläufigen) Scheitern der Kooperation mit Clearwire in Frage gestellt. Vorerst sollen im April zwei erste kommerzielle Netze gestartet werden. Sprint Nextel besitzt derzeit etwa 15% des 2,5 GHz-Frequenzspektrums in den USA und hat etwa 160.000 Breitbandkunden.

Für die WiMAX-Branche insgesamt haben die Aktivitäten von Sprint Nextel und Clearwire einen bedeutenden Signaleffekt. Gelingt es trotz hoher Investitionszusagen von Intel und anderen Herstellern sowie unabhängigen Kapitalgebern nicht, ein tragfähiges Geschäftsmodell zu etablieren, wird sich WiMAX weiter in Richtung einer Nischentechnologie entwickeln. Haben sie hingegen auch mit mobilen Breitbanddiensten Erfolg, so wird dies auch positive externe Effekte für die Verfügbarkeit kostengünstiger WiMAX-Systeme und Endgeräte in Europa und Deutschland haben.

⁸⁶ Vgl. „US-Carrier Sprint Nextel und Clearwire legen WiMAX-Kooperation auf Eis“, Meldung auf heise.de vom 9.11.2007.

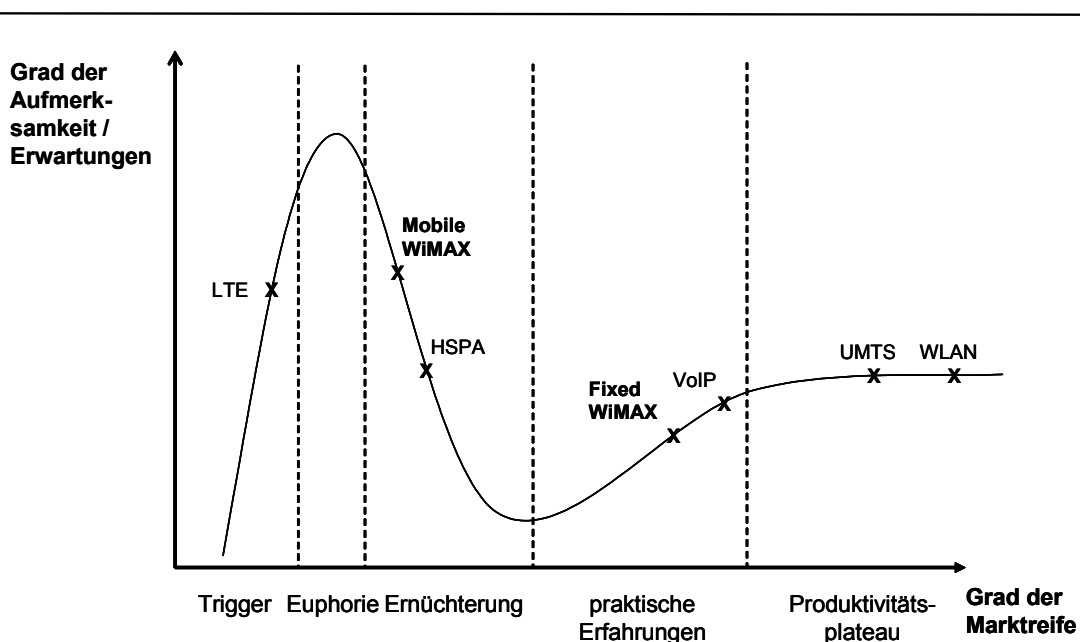
⁸⁷ Vgl. „Sprint Nextel und Clearwire wagen neuen Anlauf für gemeinsames landesweites WiMAX-Netz“, Meldung auf de.internet.com vom 31.01.2008.

7 Fazit

Die noch vor zwei bis drei Jahren vorherrschende Euphorie bezüglich neuer BWA-Technologien, die zum Teil sogar mit einem Abgesang auf leitungsgebundene Breitbandnetze verbunden war, ist heute einer deutlich zurückgenommenen und realistischeren Einschätzung gewichen. Anfangs kommunizierte Reichweiten von 50 km und Datenraten je Nutzer im zweistelligen Megabit-Bereich werden in den ersten kommerziellen BWA-Netzen bei weitem nicht erreicht. Auch einige zu ambitionierte Businesspläne, die in der frühen Phase ausgearbeitet wurden, mussten mittlerweile aufgegeben werden.

Übertriebene Erwartungen sind in der Anfangsphase einer neuen Technologie durchaus häufig zu beobachten und kein Spezifikum von BWA. Auch auf dem Weg zur Marktreife von UMTS, WLAN oder VoIP kam es zu ähnlichen Verläufen bei den Erwartungen (vgl. Abbildung 7-1).

Abbildung 7-1: WiMAX im Verlauf der Erwartungskurve



Quelle: Hype-Cycle nach Gartner, eigene Modifikationen

Auf Basis einer realistischen Einschätzung und erster praktischer Erfahrungen lassen sich durchaus Erfolg versprechende BWA-Geschäftsmodelle aufsetzen. Ein Abgesang auf BWA wäre voreilig. Auch wenn die Technologie nicht, wie zunächst vielfach be-

hauptet, eine Art „Eierlegende Wollmilchsau“ hergibt, so eignet sie sich sehr gut für den Einsatz in Nischen.

Es zeigt sich in der internationalen Betrachtung, dass in Ländern, die früher als Deutschland Frequenzuteilungen für BWA-Dienste vorgenommen haben, kein erkennbar nachhaltiger Vorsprung erzielt worden ist. Wie aktuelle Beispiele aus Österreich und der Schweiz zeigen, bringen frühe Frequenzuteilungen mit entsprechend frühen Netzaufbauverpflichtungen die Unternehmen in Zeitnot und können bei einigen Akteuren gar einen Ausstieg aus der BWA-Technologie forcieren.

Weitgehend Konsens besteht darüber, dass sich WiMAX als Standard für BWA-Systeme etablieren konnte. Dabei werden die bisherigen WiMAX-Profile nach IEEE 802.16d, die ausschließlich ortsfeste Dienste unterstützen, mehr und mehr durch Mobile WiMAX-Profile nach IEEE 802.16e abgelöst. Letztere können sowohl für ortsfeste als auch für mobile Breitbanddatendienste eingesetzt werden. Bei Mobile WiMAX kommt die neueste Technologie, sowohl was das Kodierungsverfahren als auch die Antennen betrifft, zum Einsatz. Entsprechend sind noch technische Optimierungen und Kostendegressionen zu erwarten.

Ein Großteil der Verzögerungen beim Roll-out von BWA-Netzen kann dem Umstand zugeschrieben werden, dass Systeme nach 802.16d und 802.16e nicht miteinander kompatibel und letztere erst seit kurzem am Markt verfügbar sind. Die Investoren und Netzbetreiber sehen Vorteile darin, direkt in 802.16e-Netze zu investieren. Wenn im Lauf des Jahres 2008 und 2009 vermehrt Endgeräte mit diesem Standard, insbesondere auch Intels „Montevina“ Chip-Sets, auf den Markt kommen, ist mit einem deutlich beschleunigten Netzaufbau zu rechnen. Hier werden künftig vermehrt positive Netzwerkeffekte zu beobachten sein.

Vorrangig werden BWA-Netze in Gebieten errichtet, die bislang keine Breitbandversorgung („weiße Flecken“) oder eine für künftige Bedarfe unzureichende Netze mit Angeboten unter 1 Mbit/s („graue Flecken“) aufweisen. Es ist durchaus vorstellbar, dass innerhalb weniger Jahre nahezu alle unversorgten Gebiete in Deutschland mit BWA-Netzen ausgestattet werden können. Mit der bevorstehenden Standardisierung von „WiMAX 700“, wird sicherlich die Debatte um die Nutzung von vormaligen Rundfunkfrequenzen („Digitale Dividende“) für BWA in bevölkerungsarmen Regionen neue Nahrung erhalten. Längerfristig wird anstatt eines flächendeckenden BWA-Netzes für den fixen Breitbandzugang, ein Flickenteppich zahlreicher Inselnetze entstehen. Städtische Gebiete mit stark ausgeprägtem Wettbewerb durch leitungsgebundene Netze (DSL, Kabel und FTTx) bleiben für Fixed WiMAX uninteressant. In ländlichen Regionen wird die Nachfrage nach Breitbandanschlüssen als nicht ausreichend für mehrere wettbewerbliche BWA-Netze eingeschätzt. Für die ersten Netzbetreiber werden daher regionale First Mover-Vorteile erwartet.

Bedeutendster Kostenfaktor für die Errichtung von BWA-Netzen in kleinen Ortschaften, stellt die Zuführung zum nächsten Breitband-PoP dar. Soweit es geht, greifen die BWA-Netzbetreiber auf vorhandene Glasfaseranbindungen, beispielsweise entlang der Elektrizitätsnetze zurück. Bevor jedoch kostenaufwändig neue Erdkabel zur Breitbandzuführung verlegt werden müssten, kommen Richtfunkstrecken zum Einsatz.

Kommunen, die noch keine Breitbandversorgung besitzen, können auf vielfältige Weise die Ansiedelung von BWA-Netzen unterstützen. Sie können beispielsweise den aktiven Kontakt mit den Netzbetreibern suchen, die Nachfrage bei den Bewohnern vor Ort abfragen und sie gebündelt an potenzielle Netzbetreiber kommunizieren. Aber auch die Bereitstellung von kommunaler Infrastruktur, wie beispielsweise Gebäude als Antennenstandorte kann die Wirtschaftlichkeit von BWA-Netzen verbessern und damit die Investitionsbereitschaft verstärken.

Je nach technischem Konzept, den Kosten für die Zuführung und den topologischen Bedingungen für die Netzplanung, erfordert ein positiver Business-Case mindestens 50 bis 100 BWA-Kunden an einem Standort. Experten rechnen damit, dass es künftig zudem vermehrt Preisdifferenzierungen zwischen städtischen und ländlichen Netzen geben wird, um die höheren Kosten pro ländlichem Nutzer darzustellen.

Während der Ausbau von BWA-Netzen für das Angebot von ortsfesten Breitbandzugängen einschließlich Telefonanschlüsse voranschreitet, sind Investitionen in künftige BWA-Netze für mobile Breitbanddienste noch äußerst ungewiss. Wesentliche Unsicherheitsfaktoren stellen hier die weitere Nachfrageentwicklung nach dem mobilen Internet, die Verfügbarkeit und Praxistauglichkeit von mobilen WiMAX-Endgeräten, die Allokation der weiteren Mobilfunkfrequenzen, insbesondere im 2,6 MHz-Band sowie die Standardisierung und Marktreife der kommenden Mobilfunktechnologie LTE und schließlich das Investitionsverhalten der Mobilfunknetzbetreiber dar. Man wird wahrscheinlich erst in ein bis zwei Jahren erkennen können, inwieweit sich eine positive Investitionsbereitschaft hinsichtlich städtischer BWA-Netze für mobile Dienste entwickelt.

Angesichts des gegenwärtig zögerlichen bis gar nicht stattfindenden Netzausbau durch einige der Zuteilungsinhaber von 3,5 GHz-Frequenzen, ist es zu erwarten, dass die mit der Zuteilung verbundenen Versorgungsverpflichtungen in ihrer ersten Stufe Ende 2009 nicht oder nur zum Teil eingehalten werden.

Literaturverzeichnis

- ARCEP (2006): The Authority publishes bidding procedure results, Pressemitteilung vom 7. Juli 2006,
[http://www.arcep.fr/index.php?id=8571&L=1&tx_gsactualite_pi1\[uid\]=871&tx_gsactualite_pi1\[annee\]=&tx_gsactualite_pi1\[theme\]=&tx_gsactualite_pi1\[motscle\]=&tx_gsactualite_pi1\[backID\]=26&cHash=9ad5cfe8ad](http://www.arcep.fr/index.php?id=8571&L=1&tx_gsactualite_pi1[uid]=871&tx_gsactualite_pi1[annee]=&tx_gsactualite_pi1[theme]=&tx_gsactualite_pi1[motscle]=&tx_gsactualite_pi1[backID]=26&cHash=9ad5cfe8ad)
- ARCEP (2007): The electronic communications services market in France in the 4th quarter 2006, Paris, <http://www.arcep.fr/index.php?id=9253&L=1#>
- ARCEP (2007a): ARCEP publishes a legal report on the mechanisms for implementing the "secondary frequency market" and their articulation with the competences of regional governments. Pressemeldung vom 29. Januar 2007, Paris,
[http://www.arcep.fr/index.php?id=8571&L=1&tx_gsactualite_pi1\[uid\]=915&tx_gsactualite_pi1\[annee\]=&tx_gsactualite_pi1\[theme\]=&tx_gsactualite_pi1\[motscle\]=&tx_gsactualite_pi1\[backID\]=26&cHash=82a006a31c](http://www.arcep.fr/index.php?id=8571&L=1&tx_gsactualite_pi1[uid]=915&tx_gsactualite_pi1[annee]=&tx_gsactualite_pi1[theme]=&tx_gsactualite_pi1[motscle]=&tx_gsactualite_pi1[backID]=26&cHash=82a006a31c)
- BIPT (2006): Douzième Rapport annuel du Comité consultatif pour les télécommunications, 1er janvier – 31 décembre 2005, Brüssel
- BNetzA (2005): Bereitstellen von Frequenzen für Funkanwendungen im Rahmen des Fixed Wireless Access (FWA): Eckpunkte für die Zuteilung von Frequenzen im Bereich 3400-3600 MHz und Anhörung zum geplanten Zuteilungsverfahren, Bonn
- BNetzA (2006): Entwurf zur Anhörung §§ 55 Abs. 9, 61 Abs. 1, Abs. 2, Abs. 4 und 5, 132 Abs. 1 und 3 TKG; Eckpunkte einer Entscheidung der Präsidentenkammer über die Anordnung und die Wahl des Vergabeverfahrens zur Vergabe von Frequenzen im Bereich 3,5 GHz für den breitbandigen drahtlosen Netzzugang – Broadband Wireless Access (BWA) sowie die Festlegungen und Regelungen für die Durchführung des Verfahrens, Veröffentlichung im Amtsblatt Nr. 13 der BNetzA, 31. Mai 2006, Bonn
- BNetzA (2006a): Bundesnetzagentur startet Zulassung zur Frequenzversteigerung für Broadband Wireless Access, Pressemitteilung vom 11. Oktober 2006, Bonn
- BNetzA (2006b): Startschuss zur Versteigerung der BWA-Frequenzen, Pressemitteilung vom 12. Dezember 2006, Bonn
- BNetzA (2006c): Drei neue bundesweite Breitband-Dienstleister, Pressemitteilung vom 15. Dezember 2006
- BNetzA (2006d): Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen über die Anordnung und die Wahl des Vergabeverfahrens zur Vergabe von Frequenzen im Bereich 3,5 GHz für den breitbandigen drahtlosen Netzzugang (Broadband Wireless Access, BWA) sowie die Festlegungen und Regelungen für die Durchführung des Verfahrens; Entscheidung nach §§ 55 Abs. 9, 61 Abs. 1, Abs. 2, Abs. 4 und 5, 132 Abs. 1 und 3 TKG, veröffentlicht im Amtsblatt Nr. 20 vom 11.10.06, Verfügung Nr. 42/2006, Bonn
- BNetzA (2007): Entwurf einer Entscheidung der Präsidentenkammer über die Anordnung und die Wahl des Vergabeverfahrens zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 1,8 GHz, 2 GHz, und 2,6 GHz für den digitalen zellularen Mobilfunk nach §§ 55 Abs. 9, 61 Abs. 1 und 2, 132 Abs. 1 und 3 TKG; Anhörung nach §§ 55 Abs. 9 Satz 2, 61 Abs. 1 TKG, Mitteilung 219/2007, veröffentlicht am 4.4.2007, Bonn

- BNetzA (2007a): Vergabe von Frequenzen im Bereich 3,5 GHz für den breitbandigen drahtlosen Netzzugang (Broadband Wireless Access, BWA); Anhörung, Mitteilung 103/2007, Bonn
- BNetzA (2007b): Allgemeinzuteilung der Frequenzen im Frequenzbereich 5755 MHz – 5875 MHz für gewerblich öffentliche, breitbandige, ortsfeste Verteilsysteme; Broadband Fixed Wireless Access (BFWA), Verfügung 47/2007, Bonn
- BNetzA (2007c): Tätigkeitsbericht 2006 / 2007 für den Bereich Telekommunikation, Dezember, Bonn
- Boettle, Dietrich und Wolfgang Holz (2007): Antennentechnologie für Wimax, in: Funkschau 5/2007, S. 30-31
- Brinkmann, Michael und Dragan Ilic (2006): Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus, WIK Diskussionsbeiträge Nr. 281, Oktober, Bad Honnef
- Büllingen, Franz und Peter Stamm (2006): Potenziale alternativer Techniken zur bedarfsgerechten Versorgung mit Breitbandzugängen, WIK Diskussionsbeiträge Nr. 280, September, Bad Honnef
- Carbonne, Pierre und Frédéric Pujol (2006): Broadband Wireless Access. Potential for Mobile WiMAX and Alternative BWA Technologies, Communications & Strategies, No. 64, 4th Quarter 2006, p. 161 – 167
- CEPT (1998): CEPT/ERC/Recommendation 13-04 E (Tallin 1998), Preferred Frequency Bands for Fixed Wireless Access in the Frequency Range Between 3 and 29,5 GHz
- Clearwire (2007): Clearwire Corporation, Prospectus, 7. März 2007
- Deutscher Bundestag (2007): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Grietje Bettin, Kerstin Andreae, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Breitbandversorgung flächendeckend sicherstellen, Bundestag Drucksache 16/7291, Berlin, 28.11.2007
- EU-Kommission (2007): i2010 Annual Report 2007, Press Pact, Country Factsheet Belgium
- EU-Kommission (2007a): i2010 Annual Report 2007, Press Pact, Country Factsheet France, http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/itemlongdetail.cfm?item_id=3303
- FCC Federal Communications Commission (2007): Trends in Telephone Service, February 2007, Washington DC
- FCC Federal Communications Commission (2007a): High-Speed Services for Internet Access. Summary statistics of subscribership data. 1/07 Release as of 6/30/06. www.fcc.gov/Bureaus/Common_Carrier/Reports/FCC-State_Link/IAD/hspd0107.xls
- Gray, Doug (2006): Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary, WiMAX Forum, September
- Haaß, Wolf-Dieter (1997): Handbuch der Kommunikationsnetze, Berlin u. a. O.
- Harrowell, Alexander (2007): Deploying WiMAX: The First Results, in: Mobile Communications International, Nr. 142, Juni 2007, S. 46-50
- Illmer, Christian (2006): Den Breitbandhunger stillen – WiMAX: Erste Anwendungen und Pilotprojekte bestätigen Potential, in: NET 1-2/2006, S. 20-22

- Kaiser, Thomas (2007): Funkbündel – Funkverbindungen durch Antennengruppen verbessern, 14.2.2007, abrufbar unter: www.heise.de/netze/artikel/print/84951
- Leichtman Research Group (2007): Over half of U.S. households subscribe to broadband internet, Pressemitteilung, 7. Juni 2007, Durham/NH
- Marwinski, Klaus-Udo (2007): Broadband Wireless Access (BWA) – Strategien für regionale Carrier, Vortrag am 25. Januar 2007 im Rahmen der Konferenz Strategien für regionale Carrier - Broadband Wireless Access, 25.-26. Januar 2007, Bonn
- Maucher, Johannes und Jörg Furrer (2007): WiMAX. Der IEEE-802.16-Standard: Technik, Anwendung und Potenzial, Hannover
- Nielsen NetRatings (2006): Over three-fourths of U.S. active internet users connect via broadband at home in November, according to Nielsen/Natratings, Pressemitteilung, 12. Dezember 2006, http://www.netratings.com/pr/pr_061212.pdf
- Pew Internet (2007): Home Broadband Adoption 2007, Juni 2007, www.pewinternet.org/pdfs/PIP_Broadband%202007.pdf
- Pew Internet (2007a): Wireless Internet Access, Februar 2007, http://www.pewinternet.org/pdfs/PIP_Wireless.Use.pdf
- UMTS Forum (2006): 3G/UMTS Evolution: Towards a New Generation of Broadband Mobile Services; White Paper, December
- WiMAX Forum (2006): Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, August
- Wimax.com (2007): FAQ, <http://feeds.feedburner.com/Wimax-WimaxFaq>

Anhang: Detaillierte Ergebnisse der BWA-Auktion (Dezember 2006)

	Frequenz- paket A	Betrag € in Tsd	Frequenz- paket B	Betrag € in Tsd	Frequenz- paket C	Betrag € in Tsd	Frequenz- paket D	Betrag € in Tsd
Region 01: Schleswig	Clearwire	326	Inquam	287	DBD	292		0
Region 02: Hamburg	Clearwire	737	Inquam	660	DBD	665		0
Region 03: Weser-Ems	Clearwire	666	Inquam	571	DBD	622		0
Region 04: Bremen/Lüneb.	Clearwire	617	Inquam	526	DBD	575		0
Region 05: Hannover/B,	Clearwire	923	Inquam	805	DBD	854		0
Region 06: Mecklenburg	Clearwire	222	Inquam	192	DBD	194		0
Region 07: Vorpommern	Clearwire	177	Inquam	151	DBD	108		0
Region 08: Köln/Düsseldorf	Clearwire	2.011	Inquam	1.819	DBD	1.824		0
Region 09: Detmold/Arnsb.	Clearwire	750	Inquam	672	DBD	677		0
Region 10: Münster	Clearwire	1.038	Inquam	934	DBD	939		0
Region 11: Sachsen-Anhalt	Clearwire	315	Inquam	277	DBD	282		0
Region 12: Berlin/Branden.	Clearwire	1.128	Inquam	1.016	DBD	1.021		0
Region 13 Trier/Koblenz	Clearwire	385	Inquam	340	DBD	345		0
Region 14: Saarland/Pfalz	Clearwire	511	Inquam	455		0	DBD	441
Region 15: Rhein/Main	Clearwire	955	Inquam	859	DBD	864		0
Region 16: Kassel/Gießen	Clearwire	495	Inquam	440	DBD	445		0
Region 17: Thüringen	Clearwire	432	Inquam	383	DBD	388		0
Region 18: Halle/Leipzig	Clearwire	449	Inquam	399	DBD	404		0
Region 19: Dresden/Lausitz	Clearwire	463	Inquam	411	DBD	416		0
Region 20: Chemnitz	Clearwire	403	Inquam	357	DBD	362		0
Region 21: Stuttgart/Karlsru.	Clearwire	1.499	Inquam	1.353	DBD	1.245		0
Region 22: Freiburg	Clearwire	491	Inquam	437	DBD	442		0
Region 23: Tübingen	Clearwire	402	Inquam	356	DBD	361		0
Region 24: Franken	Clearwire	799	Inquam	717	DBD	722		0
Region 25: Oberpalz	Clearwire	238	Inquam	207	DBD	212	Televersa	207
Region 26: Schwaben	Clearwire	435	Inquam	386	DBD	391		0
Region 27: Oberbayern	Clearwire	2.590	Inquam	2.374	DBD	1.932	MGM Group	1.203
Region 28: Niederbayern	Clearwire	236	Inquam	205	DBD	210	Televersa	141

Quelle: Bundesnetzagentur

Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 228: Astrid Höckels:
Internationaler Vergleich der Wettbewerbsentwicklung im Local Loop, Dezember 2001
- Nr. 229: Anette Metzler:
Preispolitik und Möglichkeiten der Umsatzgenerierung von Internet Service Providern, Dezember 2001
- Nr. 230: Karl-Heinz Neumann:
Volkswirtschaftliche Bedeutung von Resale, Januar 2002
- Nr. 231: Ingo Vogelsang:
Theorie und Praxis des Resale-Prinzips in der amerikanischen Telekommunikationsregulierung, Januar 2002
- Nr. 232: Ulrich Stumpf:
Prospects for Improving Competition in Mobile Roaming, März 2002
- Nr. 233: Wolfgang Kiesewetter:
Mobile Virtual Network Operators – Ökonomische Perspektiven und regulatorische Probleme, März 2002
- Nr. 234: Hasan Alkas:
Die Neue Investitionstheorie der Realoptionen und ihre Auswirkungen auf die Regulierung im Telekommunikationssektor, März 2002
- Nr. 235: Karl-Heinz Neumann:
Resale im deutschen Festnetz, Mai 2002
- Nr. 236: Wolfgang Kiesewetter, Lorenz Nett und Ulrich Stumpf:
Regulierung und Wettbewerb auf europäischen Mobilfunkmärkten, Juni 2002
- Nr. 237: Hilke Smit:
Auswirkungen des e-Commerce auf den Postmarkt, Juni 2002
- Nr. 238: Hilke Smit:
Reform des UPU-Endvergütungssystems in sich wandelnden Postmärkten, Juni 2002
- Nr. 239: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Kabelfernsehen im Wettbewerb der Plattformen für Rundfunkübertragung - Eine Abschätzung der Substitutionspotenziale, November 2002
- Nr. 240: Dieter Elixmann, Cornelia Stappen unter Mitarbeit von Anette Metzler:
Regulierungs- und wettbewerbspolitische Aspekte von Billing- und Abrechnungsprozessen im Festnetz, Januar 2003
- Nr. 241: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf unter Mitarbeit von Ulrich Ellinghaus, Joachim Scherer, Sonia Strube Martins, Ingo Vogelsang:
Eckpunkte zur Ausgestaltung eines möglichen Handels mit Frequenzen, Februar 2003
- Nr. 242: Christin-Isabel Gries:
Die Entwicklung der Nachfrage nach breitbandigem Internet-Zugang, April 2003
- Nr. 243: Wolfgang Briglauer:
Generisches Referenzmodell für die Analyse relevanter Kommunikationsmärkte – Wettbewerbsökonomische Grundfragen, Mai 2003
- Nr. 244: Peter Stamm, Martin Wörter:
Mobile Portale – Merkmale, Marktstruktur und Unternehmensstrategien, Juli 2003
- Nr. 245: Franz Büllingen, Annette Hillebrand:
Sicherstellung der Überwachbarkeit der Telekommunikation: Ein Vergleich der Regelungen in den G7-Staaten, Juli 2003
- Nr. 246: Franz Büllingen, Annette Hillebrand:
Gesundheitliche und ökologische Aspekte mobiler Telekommunikation – Wissenschaftlicher Diskurs, Regulierung und öffentliche Debatte, Juli 2003
- Nr. 247: Anette Metzler, Cornelia Stappen unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Aktuelle Marktstruktur der Anbieter von TK-Diensten im Festnetz sowie Faktoren für den Erfolg von Geschäftsmodellen, September 2003

- Nr. 248: Dieter Elixmann, Ulrike Schimmel
with contributions of Anette Metzler:
"Next Generation Networks" and Challenges for Future Regulatory Policy, November 2003
- Nr. 249: Martin O. Wengler, Ralf G. Schäfer:
Substitutionsbeziehungen zwischen Festnetz und Mobilfunk: Empirische Evidenz für Deutschland und ein Survey internationaler Studien, Dezember 2003
- Nr. 250: Ralf G. Schäfer:
Das Verhalten der Nachfrager im deutschen Telekommunikationsmarkt unter wettbewerblichen Aspekten, Dezember 2003
- Nr. 251: Dieter Elixmann, Anette Metzler, Ralf G. Schäfer:
Kapitalmarktinduzierte Veränderungen von Unternehmensstrategien und Marktstrukturen im TK-Markt, März 2004
- Nr. 252: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Der Markt für Public Wireless LAN in Deutschland, Mai 2004
- Nr. 253: Dieter Elixmann, Annette Hillebrand, Ralf G. Schäfer, Martin O. Wengler:
Zusammenwachsen von Telefonie und Internet – Marktentwicklungen und Herausforderungen der Implementierung von ENUM, Juni 2004
- Nr. 254: Andreas Hense, Daniel Schäffner:
Regulatorische Aufgaben im Energiebereich – ein europäischer Vergleich, Juni 2004
- Nr. 255: Andreas Hense:
Qualitätsregulierung und wettbewerbspolitische Implikationen auf Postmärkten, September 2004
- Nr. 256: Peter Stamm:
Hybridnetze im Mobilfunk – technische Konzepte, Pilotprojekte und regulatorische Fragestellungen, Oktober 2004
- Nr. 257: Christin-Isabel Gries:
Entwicklung der DSL-Märkte im internationalen Vergleich, Oktober 2004
- Nr. 258: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Diana Rätz:
Alternative Streitbeilegung in der aktuellen EMVU-Debatte, November 2004
- Nr. 259: Daniel Schäffner:
Regulierungsökonomische Aspekte des informatorischen Unbundling im Energiebereich, Dezember 2004
- Nr. 260: Sonja Schölermann:
Das Produktangebot von Universaldienstleistern und deren Vergleichbarkeit, Dezember 2004
- Nr. 261: Franz Büllingen, Aurélie Gillet, Christin-Isabel Gries, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Stand und Perspektiven der Vorratsdatenspeicherung im internationalen Vergleich, Februar 2005
- Nr. 262: Oliver Franz, Marcus Stronzik:
Benchmarking-Ansätze zum Vergleich der Effizienz von Energieunternehmen, Februar 2005
- Nr. 263: Andreas Hense:
Gasmarktregulierung in Europa: Ansätze, Erfahrungen und mögliche Implikationen für das deutsche Regulierungsmodell, März 2005
- Nr. 264: Franz Büllingen, Diana Rätz:
VoIP – Marktentwicklungen und regulatorische Herausforderungen, Mai 2005
- Nr. 265: Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Stand der Backbone-Infrastruktur in Deutschland – Eine Markt- und Wettbewerbsanalyse, Juli 2005
- Nr. 266: Annette Hillebrand, Alexander Kohlstedt, Sonia Strube Martins:
Selbstregulierung bei Standardisierungsprozessen am Beispiel von Mobile Number Portability, Juli 2005
- Nr. 267: Oliver Franz, Daniel Schäffner, Bastian Trage:
Grundformen der Entgeltregulierung: Vor- und Nachteile von Price-Cap, Revenue-Cap und hybriden Ansätzen, August 2005

- Nr. 268: Andreas Hense, Marcus Stronzik:
Produktivitätsentwicklung der deutschen Strom- und Gasnetzbetreiber – Untersuchungsmethodik und empirische Ergebnisse, September 2005
- Nr. 269: Ingo Vogelsang:
Resale und konsistente Entgeltregulierung, Oktober 2005
- Nr. 270: Nicole Angenendt, Daniel Schäffner:
Regulierungsökonomische Aspekte des Unbundling bei Versorgungsunternehmen unter besonderer Berücksichtigung von Pacht- und Dienstleistungsmodellen, November 2005
- Nr. 271: Sonja Schölermann:
Vertikale Integration bei Postnetzbetreibern – Geschäftsstrategien und Wettbewerbsrisiken, Dezember 2005
- Nr. 272: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:
Transaktionskosten der Nutzung des Internet durch Missbrauch (Spamming) und Regulierungsmöglichkeiten, Januar 2006
- Nr. 273: Gernot Müller, Daniel Schäffner, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Indikatoren zur Messung von Qualität und Zuverlässigkeit in Strom- und Gasversorgungsnetzen, April 2006
- Nr. 274: J. Scott Marcus:
Interconnection in an NGN Environment, Mai 2006
- Nr. 275: Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Incumbents und ihre Preisstrategien im Telefondienst – ein internationaler Vergleich, Juni 2006
- Nr. 276: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:
Wettbewerbspolitische Bedeutung des Postleitzahlensystems, Juni 2006
- Nr. 277: Marcus Stronzik, Oliver Franz:
Berechnungen zum generellen X-Faktor für deutsche Strom- und Gasnetze: Produktivitäts- und Inputpreisdifferential, Juli 2006
- Nr. 278: Alexander Kohlstedt:
Neuere Theoriebeiträge zur Netzökonomie: Zweiseitige Märkte und On-net/Off-net-Tariffdifferenzierung, August 2006
- Nr. 279: Gernot Müller:
Zur Ökonomie von Trassenpreissystemen, August 2006
- Nr. 280: Franz Büllingen, Peter Stamm in Kooperation mit Prof. Dr.-Ing. Peter Vary, Helge E. Lüders und Marc Werner (RWTH Aachen):
Potenziale alternativer Techniken zur bedarfsgerechten Versorgung mit Breitbandzugängen, September 2006
- Nr. 281: Michael Brinkmann, Dragan Ilic:
Technische und ökonomische Aspekte des VDSL-Ausbaus, Glasfaser als Alternative auf der (vor-) letzten Meile, Oktober 2006
- Nr. 282: Franz Büllingen:
Mobile Enterprise-Solutions – Stand und Perspektiven mobiler Kommunikationslösungen in kleinen und mittleren Unternehmen, November 2006
- Nr. 283: Franz Büllingen, Peter Stamm:
Triple Play im Mobilfunk: Mobiles Fernsehen über konvergente Hybridnetze, Dezember 2006
- Nr. 284: Mark Oelmann, Sonja Schölermann:
Die Anwendbarkeit von Vergleichsmarktanalysen bei Regulierungsentscheidungen im Postsektor, Dezember 2006
- Nr. 285: Iris Bösch:
VoIP im Privatkundenmarkt – Marktstrukturen und Geschäftsmodelle, Dezember 2006
- Nr. 286: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Stand und Perspektiven der Telekommunikationsnutzung in den Breitbandkabelnetzen, Januar 2007
- Nr. 287: Konrad Zoz:
Modellgestützte Evaluierung von Geschäftsmodellen alternativer Teilnehmernetzbetreiber in Deutschland, Januar 2007

- Nr. 288: Wolfgang Kiesewetter:
Marktanalyse und Abhilfemaßnahmen nach dem EU-Regulierungsrahmen im Ländervergleich, Februar 2007
- Nr. 289: Dieter Elixmann, Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Internationaler Vergleich der Sektorperformance in der Telekommunikation und ihrer Bestimmungsgründe, Februar 2007
- Nr. 290: Ulrich Stumpf:
Regulatory Approach to Fixed-Mobile Substitution, Bundling and Integration, März 2007
- Nr. 291: Mark Oelmann:
Regulatorische Marktzutrittsbedingungen und ihre Auswirkungen auf den Wettbewerb: Erfahrungen aus ausgewählten Briefmärkten Europas, März 2007
- Nr. 292: Patrick Anell, Dieter Elixmann:
"Triple Play"-Angebote von Festnetzbetreibern: Implikationen für Unternehmensstrategien, Wettbewerb(s)politik und Regulierung, März 2007
- Nr. 293: Daniel Schäffner:
Bestimmung des Ausgangsniveaus der Kosten und des kalkulatorischen Eigenkapitalzinssatzes für eine Anreizregulierung des Energiesektors, April 2007
- Nr. 294: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:
Ex-ante-Preisregulierung nach vollständiger Marktöffnung der Briefmärkte, April 2007
- Nr. 295: Alex Kalevi Dieke, Martin Zauner:
Arbeitsbedingungen im Briefmarkt, Mai 2007
- Nr. 296: Antonia Niederprüm:
Geschäftsstrategien von Postunternehmen in Europa, Juli 2007
- Nr. 297: Nicole Angenendt, Gernot Müller, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Stromerzeugung und Stromvertrieb – eine wettbewerbsökonomische Analyse, August 2007
- Nr. 298: Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Die Liberalisierung des Zähl- und Messwesens, September 2007
- Nr. 299: Stephan Jay:
Bedeutung von Bitstrom in europäischen Breitbandvorleistungsmärkten, September 2007
- Nr. 300: Christian Growitsch, Gernot Müller, Margarethe Rammerstorfer, Prof. Dr. Christoph Weber (Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Universität Duisburg-Essen):
Determinanten der Preisentwicklung auf dem deutschen Minutenreservemarkt, Oktober 2007
- Nr. 301: Gernot Müller:
Zur kostenbasierten Regulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten – Eine ökonomische Analyse von Kostenkonzepten und Kostentreibern, Dezember 2007
- Nr. 302: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückerbaum:
Nachfrage nach Internetdiensten – Diensteararten, Verkehrseigenschaften und Quality of Service, Dezember 2007
- Nr. 303: Christian Growitsch, Margarethe Rammerstorfer:
Zur wettbewerblichen Wirkung des Zweivertragsmodells im deutschen Gasmarkt, Februar 2008
- Nr. 304: Patrick Anell, Konrad Zoz:
Die Auswirkungen der Festnetzmobilfunksubstitution auf die Kosten des leitungsvermittelten Festnetzes, Februar 2008
- Nr. 305: Marcus Stronzik, Margarethe Rammerstorfer, Anne Neumann:
Wettbewerb im Markt für Erdgasspeicher, März 2008
- Nr. 306: Martin Zauner:
Wettbewerbspolitische Beurteilung von Rabattsystemen im Postmarkt, März 2008
- Nr. 307: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Geschäftsmodelle und aktuelle Entwicklungen im Markt für Broadband Wireless Access-Dienste, März 2008

ISSN 1865-8997