

Stamm, Peter; Stetter, Anne

Working Paper

Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen

WIK Diskussionsbeitrag, No. 351

Provided in Cooperation with:

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef

Suggested Citation: Stamm, Peter; Stetter, Anne (2011) : Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, WIK Diskussionsbeitrag, No. 351, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/226964>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen

Peter Stamm
Anne Stetter

unter Mitarbeit von
Mario Erwig

Bad Honnef, Februar 2011

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzende des Aufsichtsrates	Dr. Daniela Brönstrup
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

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
Zusammenfassung	VII
Summary	VIII
1 Einführung	1
1.1 Stand der Breitbandversorgung in Deutschland	1
1.2 Breitbandziele vor dem Hintergrund der Nachfrageentwicklung	4
1.3 Untersuchungsfragen und Methodik	7
2 Breitband über Mobilfunknetze (HSPA+, LTE)	9
2.1 Technische Merkmale der Mobilfunklösungen	9
2.1.1 Leistungsfähigkeit heute	9
2.1.2 Künftige Leistungsfähigkeit	12
2.2 Angebote und Anbieter von Breitband per Mobilfunk	18
2.2.1 Technische Merkmale von Mobilfunk-Breitbandzugängen	18
2.2.2 Anbieter	19
2.2.3 Ausbau- und Angebotsstrategien der Mobilfunknetzbetreiber	21
2.3 Bedeutung von Mobilfunklösungen	24
3 Lokale und regionale Funknetze	27
3.1 WLAN - Funklösungen	27
3.1.1 Technische Merkmale von WLAN-Breitbandzugängen	27
3.1.2 Anbieter von WLAN-Anschlüssen	29
3.1.3 Bedeutung von WLAN-Lösungen	32
3.2 WiMAX - Funklösungen	33
3.2.1 Technische Merkmale von WiMAX-Breitbandzugängen	33
3.2.2 Anbieter von WiMAX-Anschlüssen	38
3.2.3 Bedeutung von WiMAX-Lösungen	42
3.3 Weitere stationäre Funklösungen	42
3.3.1 UMTS-TDD	42
3.3.2 Flash-OFDM	43

3.3.3 CDMA	43
3.3.4 Canopy	44
3.4 Fazit lokale und regionale Funknetze	44
4 Funk in der Breitbandzuführung	47
4.1 Technische Merkmale der Richtfunkzuführung	47
4.2 Anbieter und Nachfrager von Richtfunkdiensten	48
4.3 Wirtschaftlichkeit von Richtfunkzuführung	50
4.4 Bedeutung von Richtfunkzuführung	50
5 Fazit	52
Literaturverzeichnis	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Verfügbarkeit von Breitbandanschlüssen mit mindestens 1/2/50 Mbit/s in Prozent, Mitte 2010	3
Abbildung 1-2:	Übertragungsgeschwindigkeit bei DSL-Anschlüssen, 2005-2010	5
Abbildung 2-1:	Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland, 2005-2010	9
Abbildung 2-2:	Anzahl der regelmäßigen UMTS-Nutzer in Deutschland, 2005-2009	10
Abbildung 2-3:	UMTS/HSPA(+)-Mobilfunknetze der Deutschen Telekom, Januar 2011	11
Abbildung 2-4:	Bandbreitenentwicklung in den Mobilfunknetzen	14
Abbildung 2-5:	Ergebnisse der Frequenzauktion 2010	15
Abbildung 3-1:	Anbieter von Funkanbindungen in Relation zu den Haushalten in den Bundesländern, 2010	45
Abbildung 4-1:	Richtfunkstrecken in Deutschland	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Leistungsparameter von Mobilfunk-Internet	16
Tabelle 2-2:	Prioritätsstufen der Versorgungsverpflichtung bei 800 MHz-Zuteilungen	17
Tabelle 2-3:	Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland	19
Tabelle 2-4:	Mobilfunk-Datentarife für PC-Nutzung, Januar 2011	20
Tabelle 2-5:	Vodafone-Preismodell für LTE-Breitbandanschlüsse	23
Tabelle 3-1:	WLAN-Systeme im Überblick	28
Tabelle 3-2:	Leistungsparameter von WLAN	29
Tabelle 3-3:	Aktuelle Leistungsparameter von WiMAX-Funknetzen	35
Tabelle 3-4:	Zukünftige Leistungsparameter von WiMAX-Funknetzen	36

Abkürzungsverzeichnis

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
BB	Brandenburg
BE	Berlin
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BW	Baden-Württemberg
BWA	Broadband Wireless Access
BY	Bayern
CDMA	Code Division Multiple Access
DBD	Deutsche Breitbanddienste GmbH
DE	Deutschland
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FDD	Frequency Division Duplex
GB	Gigabyte
Gbit/s	Gigabit pro Sekunde
GHz	Gigahertz
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System of Mobile Communications
HB	Bremen
HE	Hessen
HH	Hamburg
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access Plus
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM-Band	Industrial, Scientific and Medical (Frequenz-)Band
kbit/s	Kilobit pro Sekunde
km	Kilometer
LTE	Long Term Evolution
MB	Megabyte
Mbit/s	Megabit pro Sekunde
MHz	Megahertz
MIMO	Multiple Input Multiple Output
ms	Millisekunde
MV	Mecklenburg-Vorpommern
NI	Niedersachsen

NW	Nordrhein-Westfalen
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
Pop	Point of Presence
Pre-WiMAX	Proprietäre Technik, die ähnliche Eigenschaften wie WiMAX aufweist
RP	Rheinland-Pfalz
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TDD	Time Division Duplex
TH	Thüringen
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VATM	Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Standard IEEE 802.16)
WLAN	Wireless Local Area Network (Standard IEEE 802.11)

Zusammenfassung

Eine flächendeckende Breitbandversorgung aller Haushalte zählt zu den vordringlichsten infrastrukturpolitischen Zielsetzungen in Deutschland. Noch immer gibt es in dünn besiedelten ländlichen Regionen Haushalte und Unternehmen ohne eine adäquate Zugangsmöglichkeit zu Breitbandinternet. Angesichts ungebrochen steigender Nachfrage nach höheren Datenraten, die in den Ballungsräumen durch die hochbitratigen Kabel- und VDSL-Netze bedient wird, bleiben im ländlichen Raum auch bei einer bestehenden Grundversorgung intelligente Lösungen weiterhin gefragt, die Breitbandinfrastrukturen wirtschaftlich für höhere Leistungen auszubauen.

Im Rahmen dieser Studie wird analysiert, welche Bedeutung der Funk sowohl heute bei der kurzfristigen Schließung von Breitbandlücken hat als auch mittel- bis langfristig beim weiteren Kapazitätsausbau der Breitbandnetze in peripheren Regionen haben wird. In die Analyse werden die drei grundlegenden Einsatzfelder von Funktechnologie zur Breitbandanbindung einbezogen: Mobilfunk, lokale Funknetze sowie Funk in der Breitbandzuführung.

Bei der kurzfristigen Versorgung mit Breitbandzugängen von 1 Mbit/s und mehr leistet der Mobilfunk heute vorrangig in Städten und Ballungsgebieten seinen Beitrag, wo UMTS-Netze bereits mit HSPA und HSPA+ ausgebaut sind. Auf Basis der im Jahr 2010 neu zugeteilten Frequenzen aus der Digitalen Dividende im reichweitenstarken 800-MHz-Band findet zudem gegenwärtig ein Netzausbau mit Mobilfunknetzen im neuen LTE-Standard gezielt in weißen Flecken statt. In dünn besiedelten Orten tragen weiterhin bereits seit mehreren Jahren lokale Funknetze auf Basis von WLAN- und weiterer Funktechnologien einen gewissen Anteil zur Netzanbindung bei. Rund 150, meist kleinere Anbieter haben eine variantenreiche Landschaft lokaler und regionaler Funklösungen geschaffen. Richtfunk ist die dritte wichtige Funktechnologie zur Breitbandanbindung. Die überwiegende Mehrheit der knapp 70.000 Richtfunkstrecken in Deutschland werden in der Breitbandzuführung zu den Mobilfunkbasisstationen eingesetzt.

In der längeren Perspektive werden sich kleine lokale Funknetze als Übergangstechnologie erweisen, die angesichts der steigenden Datenverkehrsnachfrage bald an ihre Leistungsfähigkeitsgrenzen stoßen. Den LTE-Mobilfunknetzen wird hingegen auch langfristig eine gewichtige Rolle beim Breitbandzugang zugesprochen – zunächst mit dem Schwerpunkt auf stationären Breitbandzugängen und später mehr und mehr bei mobilen Anwendungen. Innerhalb der nächsten 2-3 Jahre ist mit einem bundesweiten Ausbau der LTE-Mobilfunknetze zu rechnen. Auch die Bedeutung des Richtfunks bei der Breitbandzuführung wird angesichts des Ausbaus der Mobilfunknetze sowie der zunehmend in kleineren Ortschaften anzutreffenden VDSL-Netze ab dem Schaltverteiler mit Funkzuführung eher zunehmen. Trotz künftiger Investitionen in Glasfaser auch in ländlichen Regionen wird somit Funk seine hohe Bedeutung für Breitband beibehalten und sogar festigen.

Summary

One of the main objective of infrastructural policy is a complete coverage with broadband access for all households in Germany. There are still households and businesses without an adequate access to broadband Internet in sparsely populated rural areas. The demand for higher broadband speeds is constantly rising and in conurbations it is well served by high speed cable and VDSL access. In rural areas however, intelligent alternative solutions are needed to economically extend broadband infrastructures for higher speeds.

Within this study the significance of wireless network solutions in remote regions is analysed with regard to the coverage of remaining underserved areas at short notice as well as to further increases of broadband capacity at the medium and long run. The analysis comprises the three basic use cases of radio technology for broadband access: mobile communication networks, local wireless networks and radio in broadband feeding lines.

With regard to the short term objectives of broadband with 1 mbps and above there are mainly UMTS networks with HSPA and HSPA+ in urban areas contributing to broadband coverage. Based on long-range 800 MHz frequencies from the Digital Dividend, allocated in 2010, new LTE networks are currently installed, starting in underserved areas.

In some rural areas there are also local wireless networks with Wi-Fi and other radio technologies contributing to broadband coverage. About 150, mainly small providers have created a quite diverse landscape of local and regional networks.

The third important wireless technology for broadband access is directional radio. About 70.000 directional radio lines are installed in Germany with their majority being used as feeding lines to mobile network base stations.

In the medium and long run, local wireless networks are considered as temporary solutions which will reach their technical limit due to increasing demand for higher speeds. An important role in the broadband access is awarded in the long term, however, the LTE networks – first focusing on fixed broadband access and later more and more on mobile applications. Within the next 2-3 years a nationwide expansion of LTE mobile networks is expected. Also the importance of directional radio as broadband feeding lines will rather increase given the extension of mobile networks and the increasingly established VDSL networks in smaller villages.

Despite investments in fibre networks also in rural areas, wireless technologies will overall retain and even strengthen their importance for broadband networks.

1 Einführung

1.1 Stand der Breitbandversorgung in Deutschland

1.1.1 Rahmenbedingungen

Eine flächendeckende Breitbandversorgung aller Haushalte gehört zu den wesentlichen infrastrukturpolitischen Zielsetzungen in Deutschland. Nach der Breitbandstrategie der Bundesregierung, die im Frühjahr 2009 veröffentlicht wurde, sollen

- bis spätestens Ende 2010 flächendeckend leistungsfähige Breitbandanschlüsse verfügbar sein,
- bis 2014 bereits für 75% der Haushalte Anschlüsse mit Übertragungsraten von mindestens 50 Megabit pro Sekunde (Mbit/s) zur Verfügung stehen und
- zudem wurde 2009 das Ziel formuliert, solche hochleistungsfähigen Breitbandanschlüsse möglichst bald flächendeckend verfügbar zu haben.¹

Zur Erreichung ihrer Ziele hat die Bundesregierung im Jahr 2009 eine mehrstufige Breitbandstrategie formuliert, die Maßnahmen von Bund, Länder, Kommunen und Wirtschaft umfasst. Diese Strategie fußt im Wesentlichen auf vier Säulen: Nutzung von Synergien beim Infrastrukturaufbau, unterstützende Frequenzpolitik, wachstumsfreundliche Regulierung und finanzielle Fördermaßnahmen.² Zu den konkreten Maßnahmen zählen insbesondere Maßnahmen zur Information und Schaffung von Markttransparenz wie Breitbandportale, der Breitband- und der Infrastrukturatlas, Best-Practice-Beispiele, Kompetenzzentren, Regionalveranstaltungen und regionale Breitbandinitiativen. Weiterhin wurden zusätzliche Funkfrequenzen bereitgestellt sowie finanzielle Fördermaßnahmen einschließlich optimierter Beihilferegulungen gewährt.

Zum Ende des Jahres 2010 sieht die Bundesregierung ihr Ziel der flächendeckenden Breitbandversorgung der Haushalte als fast erreicht an. Der Bundesminister für Wirtschaft und Technologie erwartete im Oktober 2010 für das Jahresende eine Versorgung von 98,5% der Haushalte mit mindestens 1 Mbit/s.³ Anfang Dezember verkündete die Bundeskanzlerin darüber hinaus das Ziel einer flächendeckenden Versorgung der Haushalte mit 50 Mbit/s bis zum Jahr 2018.⁴

¹ Vgl. BMWi (2009), S. 8.

² Vgl. <http://www.zukunft-breitband.de/BBA/Navigation/breitbandstrategie.html> (Stand: 10.2.2011).

³ Vgl. BMWi-Pressemitteilung „Breitband-Informationsoffensive und neuer Breitbandatlas – Bundeswirtschaftsminister Brüderle: „1,4 Millionen Haushalte zusätzlich mit Breitbandanschlüssen versorgt!““, Pressemitteilung vom 6.10.2010

⁴ Vgl. die Rede der Bundeskanzlerin beim Nationalen IT-Gipfel in Dresden am 7. Dezember 2010, abrufbar unter http://www.bundestkanzlerin.de/nn_683608/Content/DE/Rede/2010/12/2010-12-07-merkel-it-gipfel.html (Stand: 10.2.2011).

Erweiternd zum Breitbandziel des Bundes, welches auf eine flächendeckende Versorgung mit zunächst mindestens 1 Mbit/s aller bundesdeutschen Haushalte abzielt,⁵ fokussieren die Förderrichtlinien der Länder direkt auf eine flächendeckende Versorgung der Haushalte mit mindestens 2 Mbit/s.⁶ Die Länder orientieren sich damit an aktuellen Entscheidungen der EU-Kommission entsprechend ihrer Förderrichtlinien zum Breitbandausbau in ländlichen Gebieten.⁷

Die Europäische Union benennt im Jahr 2010 folgende Ziele ihrer Breitbandpolitik: Bis zum Jahr 2020 sollen alle Europäer über einen Internetzugang mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von mehr als 30 Mbit/s verfügen und in mindestens 50% der europäischen Haushalte sollte Übertragungsgeschwindigkeit über 100 Mbit/s liegen.⁸

In den Ballungszentren Deutschlands werden bereits heute verbreitet Breitbandanbindungen von 100 Mbit/s und mehr angeboten. Demgegenüber bestehen in vielen ländlichen Regionen Deutschlands noch immer Lücken in der Breitbandversorgung mit 1 oder 2 Mbit/s für die private Nutzung.

1.1.2 Aktueller Versorgungsstand

Die derzeit aktuellste Bestandsaufnahme des Breitband-Versorgungsstandes bietet der vom TÜV Rheinland erstellte Breitbandatlas mit Datenstand von Mitte 2010. Im Unterschied zu seinen Vorgängern wurde dieser Breitbandatlas auf Basis eines neuen Versorgungsrasters erstellt, das die Breitbandverfügbarkeit mit einer deutlich verbesserten räumlichen Auflösung von 250 Metern erfasst und auf im Internet abrufbaren Karten darstellt. Dies erlaubt die Identifikation unterversorgter Bereiche sowie eine räumlich sehr detaillierte Unterscheidung der Breitbandversorgung mit leitungsgebundenen (DSL, FTTx, Kabel, Powerline) bzw. drahtlosen Techniken (UMTS/HSPA, LTE, WLAN/WiFi, WiMAX). Zusätzlich verfügt der Breitbandatlas über eine Unterteilung in fünf Bandbreitenklassen von möglichen Downloadgeschwindigkeiten (1 Mbit/s bis 50 Mbit/s).

Bislang ist zu diesem Breitbandatlas noch keine Studie mit aggregierten Daten und Auswertungen nach städtischen und ländlichen Regionen erschienen. Einer Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage im Deutschen Bundestag sind jedoch die wichtigsten Daten dieses Breitbandatlases zum aktuellen Versorgungsstand zu ent-

⁵ Vgl. die Rede des Parlamentarischen Staatssekretärs Hans-Joachim Otto bei der Veranstaltung der Deutschen Breitbandinitiative "Breitband der Zukunft" am 15. September 2010, abrufbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Presse/reden,did=363670.html> (Stand: 10.2.2011) sowie Deutscher Bundestag (2010): Drucksache 17/935, S. 2.

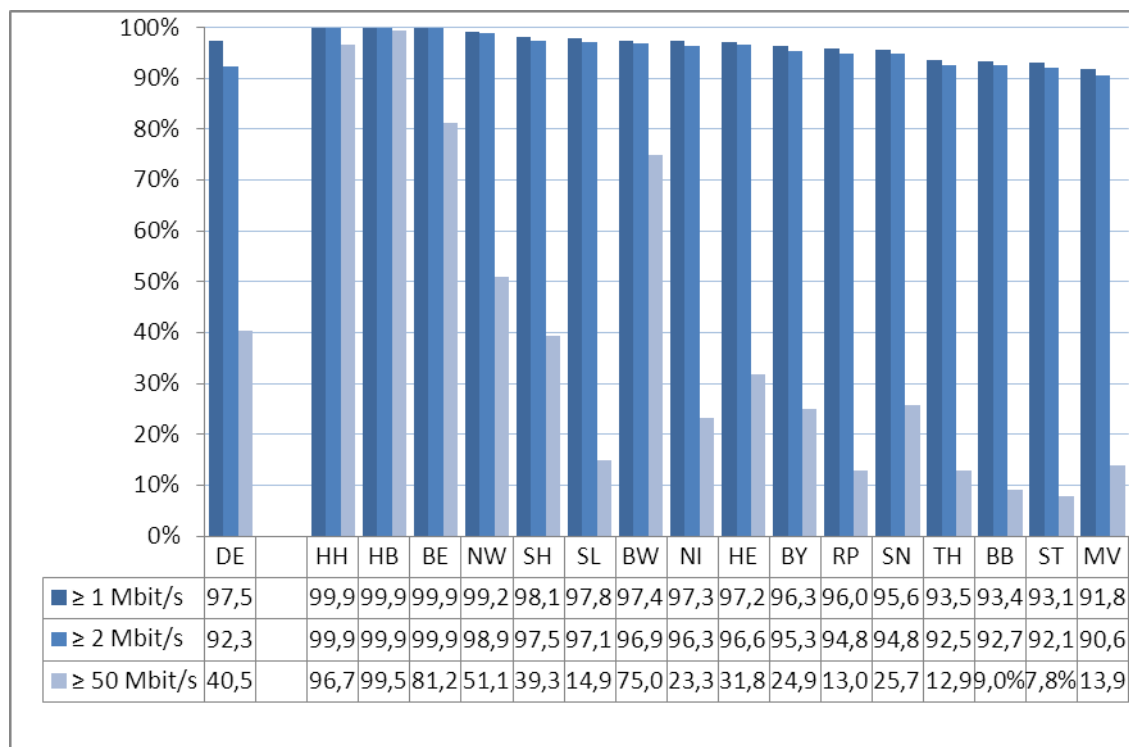
⁶ Beispielhaft sind hier die Förderrichtlinien von Niedersachsen (abrufbar unter <http://www.recht-niedersachsen.de/78350/306,60119,4.htm> (Stand: 10.2.2011)) und Schleswig-Holstein (abrufbar unter <http://www.schleswig-holstein.de/MWV/DE/Technologie/Breitband/BreitbandFoerderung/Foerderung-0409.html> (Stand: 10.2.2011)) zu nennen.

⁷ Vgl. Europäische Kommission (2009), FN 48.

⁸ Vgl. Europäische Kommission (2010), S. 22.

nehmen.⁹ Danach waren zur Jahresmitte 2010 rund 97,5% der Haushalte in Deutschland mit Breitbandanschlüssen von mindestens 1 Mbit/s versorgt. Für Breitband mit mindestens 2 Mbit/s ergibt diese Erhebung einen Versorgungsstand von rund 92,3% und für mindestens 50 Mbit/s einen Versorgungsstand von rund 40,5% - jeweils Stand Mitte 2010. Die Aufteilung auf die Bundesländer ist Abbildung 1-1 zu entnehmen.

Abbildung 1-1: Verfügbarkeit von Breitbandanschlüssen mit mindestens 1/2/50 Mbit/s in Prozent, Mitte 2010



Quelle: Deutscher Bundestag (2010a)

Neben dem Breitbandatlas findet sich als eine weitere offizielle Datenquelle zur aggregierten Quantifizierung der Breitbandunterversorgung die im Zuge der Vorbereitungen der Frequenzvergabe 2010 von den Ländern erstellte Liste der unterversorgten Gemeinden. Aus dieser umfangreichen Liste geht hervor, dass Anfang 2010 alleine in den kleinen und mittleren Gemeinden 2,3 Mio. Haushalte unversorgt waren.¹⁰ Dies entspricht einer Quote von ca. 6%. Zählt man hierzu noch weitere unversorgte Haushalte in den größeren Städten, die bei dieser Erhebung nicht erfasst wurden, hinzu, so ist

⁹ Vgl. Deutscher Bundestag (2010a).

¹⁰ Vgl. Bundesnetzagentur (2010).

eine Quote von mehr als 6% an Haushalten ohne Zugang zu Breitband mit mindestens 1 Mbit/s anzunehmen.

Die im Rahmen der Studie im Sommer 2010 befragten Experten aus den Breitbandzentren der Flächenländer gehen auf Basis ihrer Erfahrungen sogar von einer noch größeren Quote an unversorgten Haushalten aus. In den von ihnen betreuten Regionen schätzen sie die Quote der Haushalte ohne terrestrischen Zugang zu Breitbandinternet mit mindestens 1 Mbit/s teilweise sogar auf mehr als 10% ein.

Je nachdem, welche Erhebungen und Einschätzungen man als realistischer beurteilt, bleibt ein mehr oder minder großer Bedarf für zusätzliche Breitbandanschlüsse vorhanden, der schwerpunktmäßig den ländlichen Raum betrifft. Sowohl Zeit- als auch Wirtschaftlichkeitsgründe sprechen dafür, dass Funktechnologien bei der Schließung dieser Breitbandlücken eine wesentliche Rolle spielen.

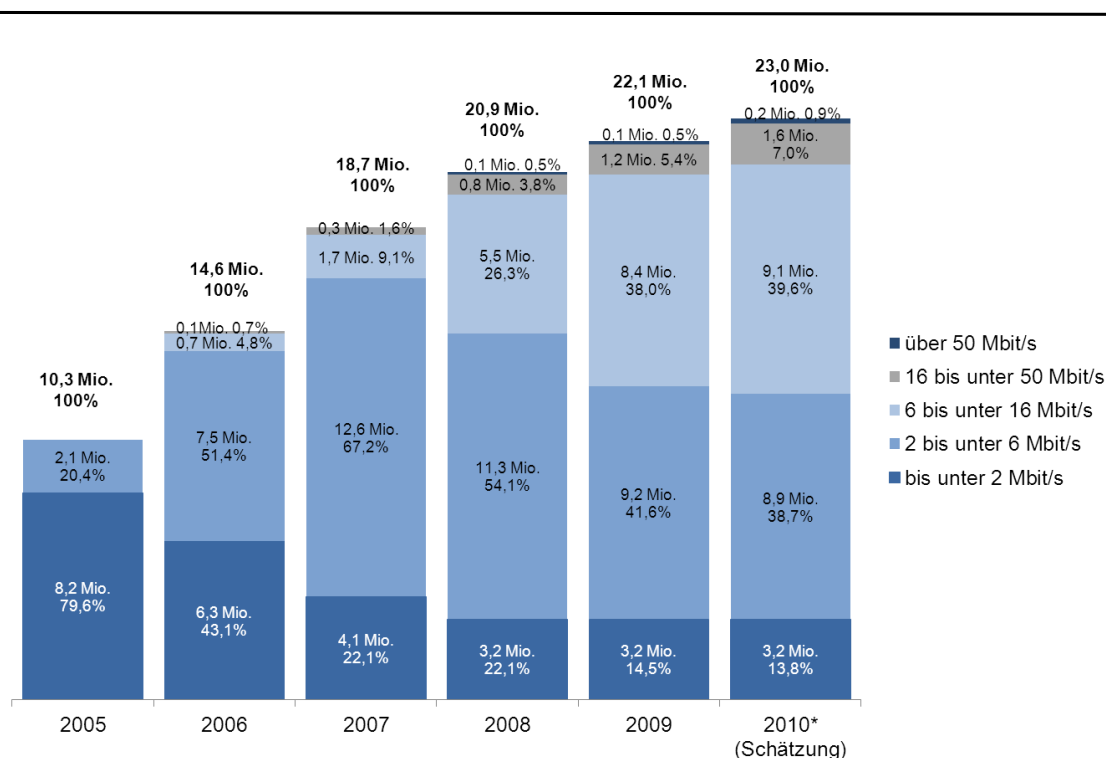
1.2 Breitbandziele vor dem Hintergrund der Nachfrageentwicklung

Die eingeschränkte bzw. nicht verfügbare Breitbandversorgung in ländlichen Regionen wirkt sich als ein gewichtiger Standortnachteil für die betroffenen Orte aus. Vor dem Hintergrund der bundes- und landespolitischen Breitbandziele stellt sich die Frage, wie nachhaltig diese Situation durch eine flächendeckende Breitbandversorgung mit 1-2 Mbit/s verbessert werden kann, während sich gleichzeitig die Maßstäbe für Breitbandigkeit zügig in Richtung zweistelliger Megabitraten verschieben. Der Ausbau von ultraschnellen Anschlussnetzen in den Städten mit mehr als 50 oder 100 Mbit/s gibt den Takt vor und die Entwickler von Breitbanddiensten orientieren sich schon seit Jahren vor allem an den Bitraten, die der Mehrheit der Breitbandnutzer zur Verfügung stehen.

Einige Experten wenden jedoch ein, dass die privaten Nutzer gegenwärtig wenig Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen ausüben. Erkennbar ist dies vor allem daran, dass eine höhere Zahlungsbereitschaft für schnellere DSL-Varianten fehlt. Entsprechend beträgt der Anteil der DSL-Anschlussvarianten mit mehr als 16 Mbit/s noch weniger als 10% aller DSL-Anschlüsse (vgl. Abbildung 1-2).

Diesem Argument kann jedoch entgegen gehalten werden, dass angesichts der preisaggressiven Angeboten von wettbewerblichen Kabelnetzbetreibern, die Nutzer in den Kabelregionen zum Großteil auf das hochbitratige Kabelinternet ausweichen und daher die teureren VDSL-Produkte wenig Nachfrage erfahren. Rund die Hälfte der bundesweiten Breitbandneukunden entscheidet sich für die Breitbandanschlüsse der Kabelnetzbetreiber. Deren Standardangebote, die für durchschnittlich monatlich 25 € Internet- und Telefonflatrate beinhalten, haben Datenraten von bereits bis zu 32 Mbit/s im Downstream und können damit als hochbitratig betrachtet werden.

Abbildung 1-2: Übertragungsgeschwindigkeit bei DSL-Anschlüssen, 2005-2010



Quelle: Dialog Consult/VATM (2010)

Eine Marktsättigung, was die Bandbreitennachfrage betrifft, ist zudem keinesfalls zu erkennen. Die Betreiber des deutschen Internetknotens DE-CIX prognostizieren bis zum Jahr 2015 eine Verzwanzigfachung des gegenwärtigen Internetverkehrs.¹¹ Gegenwärtiger Haupttreiber dieser Zunahme sind Videoanwendungen in immer hochwertigerer Auflösung. Die steigende Penetration von hybriden Fernsehgeräten, die auf IP-Videoinhalte, beispielsweise aus Online-Videotheken oder den Mediatheken der Sender zugreifen können, wird diese Entwicklung weiter beschleunigen.

Ein sich verfestigender Trend bei der privaten Nutzung des Internets, der steigende Datenverkehre generiert, ist die zunehmende Vernetzung über soziale Plattformen. Es werden über Internet deutlich mehr Kontakte gepflegt als früher und hierbei findet ein reger Austausch von Bildern und Videoinhalten statt.

Um die ländlichen Räume auch in Zukunft als Wohnort für hochqualifizierte Personen attraktiv zu halten, müssen leistungsfähige Breitbandanschlüsse für die Telearbeit vorhanden sein. Gerade im ländlichen Raum bietet Breitband zudem vielfältige Möglichkeiten und Chancen, die vorhandene räumliche Distanz zu den Ballungsräumen zu relati-

¹¹ Vgl. „DE-CIX: Internet-Verkehr wächst bis 2015 um den Faktor 20“, Meldung auf heise.de vom 28.1.2011.

vieren und insbesondere Tätigkeiten wie Einkaufen, Aus- und Weiterbildung oder die Konsultation von Spezialisten ohne Anfahrtkosten über das Netz zu nutzen.

Weitere Determinanten der Nachfrageentwicklung zeigen sich mit Blick auf die soziale Infrastruktur und die demographische Entwicklung ländlicher Gemeinden. Experten sind sich darin einig, dass die Telemedizin zukünftig eine große Bedeutung bei der medizinischen Versorgung des ländlichen Raums einnehmen wird. Telemedizinische Versorgungen und Dienstleistungen verlangen den Austausch großer Datenmengen über Breitbandnetze.

Auch bei der Bandbreitennachfrage der Unternehmen ist ungebrochen mit einer weiteren Steigerung zu rechnen. Treiber ist hierbei der Einsatz von Cloud Computing, wie Software as a Service oder Storage as a Service, bei dem vor allem kleine und mittelgroße Unternehmen spürbare Kosteneinsparungen realisieren können. Die freien Berufe wie Architekten, Grafiker, Steuerberater, aber auch medizinische Praxen sind ohne leistungsfähige Breitbandanschlüsse heute nicht mehr überlebensfähig und auch hier steigen die übertragenen Datenmengen weiterhin an. Im Vergleich zu den Privatan schlüssen spielen längere und konstante Nutzungszeiten sowie kontinuierliche Verfügbarkeit eine gewichtigere Rolle. Eine Drosselung der Geschwindigkeit ab einem bestimmten Datenverbrauch ist hier nicht akzeptabel und würden zu Kosten durch Betriebsausfälle oder Leerlaufzeiten führen.

Im Vergleich zu Privathaushalten sind die Verkehrsströme von geschäftlichen Anwendern tendenziell eher symmetrisch, was sich auch in den typischen Breitbandangeboten mit höheren Upstream-Geschwindigkeiten für Geschäftskunden widerspiegelt. Beispiele für Anwendungen mit erhöhtem Uploadbedarf sind: Grafikdateien von Architekten und Bauingenieuren, gemeinsame Entwicklungen und Telekooperationen, Beteiligungen an elektronischen Ausschreibungen, Videokonferenzen usw.

Zukünftige Treiber für den Breitbandbedarf im ländlichen Raum sind darüber hinaus neue Kommunikationsschnittstellen zwischen Unternehmen und Behörden. Verwaltungsmodernisierungsprozesse im Rahmen des E-Government machen sowohl eine breitbandige Anbindung von Bürgermeistern, Kämmerern und Verwaltungsangestellten als auch aller Unternehmen im ländlichen Raum notwendig. In den nächsten Jahren wird sich der Einsatz des Internets für „E-Government“, „E-Vergabe“ und „E-Logistik“ deutlich erhöhen. Auch für die Bereiche „Kundenservice“ und „Mobile Business“ wird von Experten ein erheblicher Zuwachs prognostiziert.

Auch Schulen werden zukünftig höhere und zunehmend symmetrische Bandbreiten benötigen. Beobachtbar ist eine zunehmende Verlagerung von Informations- und Wissensressourcen ins Internet, die Nutzung von web-basierte Unterrichts Anwendungen oder interaktive E-Learning-Angebote und Blended Learning setzt eine breitbandige bidirektionale Anbindung von Schulen und Weiterbildungseinrichtungen voraus.

Resümiert man diese zahlreichen Nachfragedeterminanten, so lässt sich mit hoher Sicherheit prognostizieren, dass auch auf dem Land die Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandzugängen vorhanden ist und weiter zunehmen wird. Eine Anbindung mit 1 oder 2 Mbit/s wird bereits mittelfristig nicht mehr als hinreichende Breitbandversorgung betrachtet werden, wenn sich die Breitbandmaßstäbe in Richtung 50 Mbit/s und mehr verschoben haben.

1.3 Untersuchungsfragen und Methodik

Die digitale Kluft zwischen Stadt und Land droht weiter zuzunehmen. Aufgrund der geringeren Bevölkerungsdichte ist es aus Sicht der Telekommunikationsunternehmen betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll, ihr Angebot an leistungsgebundenem breitbandigem Internet räumlich weiter auszudehnen.¹² Statt dessen wird auf Funknetze verwiesen, die schneller und kostengünstiger zu errichten seien und die die Versorgung der für leitungsgebundenen Netze unrentablen Gebiete übernehmen könnten. Mit der Versteigerung der Frequenzen aus der Digitalen Dividende im Frühjahr 2010 wurden die hohen Erwartungen an die Breitbandversorgung ländlicher Räume mit Funklösungen weiter gespeist. Vor diesem Hintergrund ergeben sich folgende Untersuchungsfragen:

- Welche Funklösungen stehen aus technischer Sicht für die Breitbandanbindung von Haushalten und Unternehmen im schwach besiedelten ländlichen Raum zur Verfügung?
- Auf Basis welcher typischen Geschäftsmodelle werden diese Funkanbindungen angeboten?
- Welche Preispolitik verfolgen die Anbieter?
- Welche Kapazitäten werden heute durchschnittlich zur Verfügung gestellt und welche technischen Potenziale bietet die jeweilige Technologie für die Zukunft?
- Welche Rolle übernehmen die Anbieter stationärer Funklösungen auf Basis von Technologien wie WLAN?
- Welche Rolle spielen die Unternehmen mit Frequenzuteilungen aus der BWA-Versteigerung von 2006?
- Wie gestaltet sich das Wettbewerbsverhältnis zwischen ortsfesten Funkbreitbandlösungen und Breitbandzugängen über Mobilfunknetze?
- Führt die Vergabe der Frequenzen aus der digitalen Dividende kurzfristig zu flächendeckenden Breitbandzugängen über Mobilfunk?
- Sind lokale Funkssysteme in der zukünftigen Breitbandanbindung ländlicher Regionen eher Übergangslösungen oder nachhaltige Versorgungsmodelle?

¹² Vgl. Holznagel/Picot (2010).

Bei der Analyse dieser Fragestellungen und um den heutigen und künftigen Beitrag von Funkanwendungen bei der Versorgung ländlicher Räume mit Breitband abzuschätzen, wird zwischen den drei gewichtigsten Funk-Systemansätzen unterschieden:

1. Mobilfunk (UMTS/HSPA(+)) und LTE)
2. Stationäre Funklösungen (WLAN; WiMAX, alternative stationäre Technologien)
3. Richtfunk in der Zuführung lokaler Breitbandnetze

Die vorliegende Untersuchung bietet eine fokussierte Darstellung der heutigen und künftigen Leistungsfähigkeiten von Breitbandanschlüssen über Mobilfunknetze, über lokale und regionale Funknetze sowie unter Einsatz von Funk in der Breitbandzuführung. Es werden Produkte und Geschäftsmodelle verschiedener Anbietertypen vorgestellt. Soweit verfügbar, werden auch Einschätzungen zu aktuellen Nutzerzahlen gegeben.

Auf Bundesebene ist bisher keine einheitliche Angebotserhebung verfügbar, die empirische Aussagen über den Versorgungsbeitrag von Funk ermöglichen würde. Lediglich einige Breitbandkompetenzzentren der Länder haben mit einer entsprechenden Erhebung begonnen.

Die empirische Anbietermarktanalyse basiert im Rahmen dieser Studie insbesondere auf Expertengesprächen, die mit Breitbandexperten der Länder sowie Unternehmensvertretern geführt wurden. Die Einschätzungen der Breitbandexperten wurden zudem durch Gespräche auf der Anbieterseite verifiziert. In Gesprächen mit Unternehmensvertretern sowie über die Auswertung von öffentlich zugänglichen Unternehmens- und Brancheninformationen wurden Marktdaten wie Preise, typische Bandbreiten zusammengetragen. Die betrachteten Unternehmen wurden insbesondere nach dem Kriterium der Marktpräsenz und ihrer Repräsentativität für ihren jeweiligen Anbietertypus ausgewählt.

Basierend auf einer eingehenden Literaturrecherche und der Auswertung von externen Erhebungen sowie den Gesprächen mit Unternehmensvertretern, den Breitbandbeauftragten und weiteren Experten, erfolgte abschließend eine Beurteilung zum künftigen Beitrag der Funktechnologien zur Breitbandversorgung.

Keiner Betrachtung wurde die funkbasierte Breitbandanbindung über Satellitentechnik unterzogen. Per Satelliteninternet kann theoretisch jeder Haushalt versorgt werden. Diese Zugangsart weist jedoch hohe systembedingte Nachteile auf, zu denen insbesondere Zeitverzögerungen durch die Signallaufzeit von und zum Satelliten sowie hohe Kosten für Ausrüstung und Verkehrsvolumen zählen.

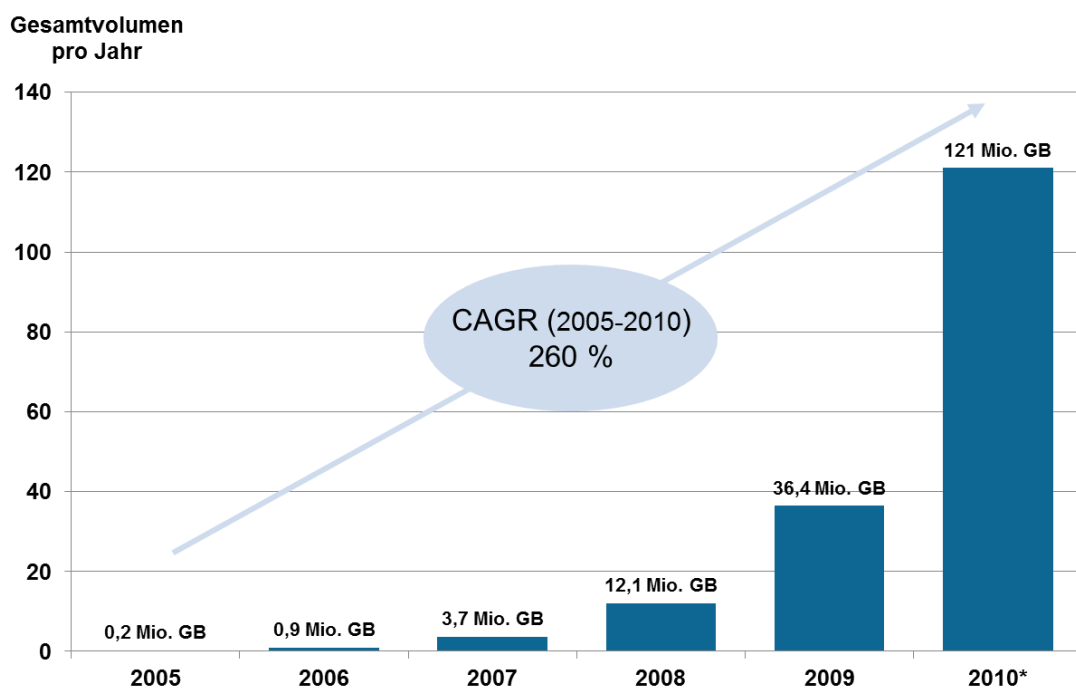
2 Breitband über Mobilfunknetze (HSPA+, LTE)

2.1 Technische Merkmale der Mobilfunklösungen

2.1.1 Leistungsfähigkeit heute

Die vier Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland haben in den vergangenen Jahren hohe Summen in den Ausbau ihrer jeweiligen Netze investiert, um der steigenden Nachfrage nach mobilen Datendiensten gerecht zu werden. Das Datenverkehrsvolumen, das die Mobilfunknetze zu transportieren haben, ist während der letzten fünf Jahre um durchschnittlich 260% pro Jahr gewachsen (vgl. Abbildung 2-1). Mit rund 120 Mio. GB mobilem Datenvolumen im Jahr 2010 sind noch lange keine Sättigungseffekte zu erkennen. Ganz im Gegenteil – Experten erwarten auch für die kommenden Jahre, dass Deutschland im weltweiten Trend zu dreistelligen Wachstumsraten beim mobilen Datenverkehr liegen wird.¹³

Abbildung 2-1: Datenvolumen im Mobilfunk in Deutschland, 2005-2010



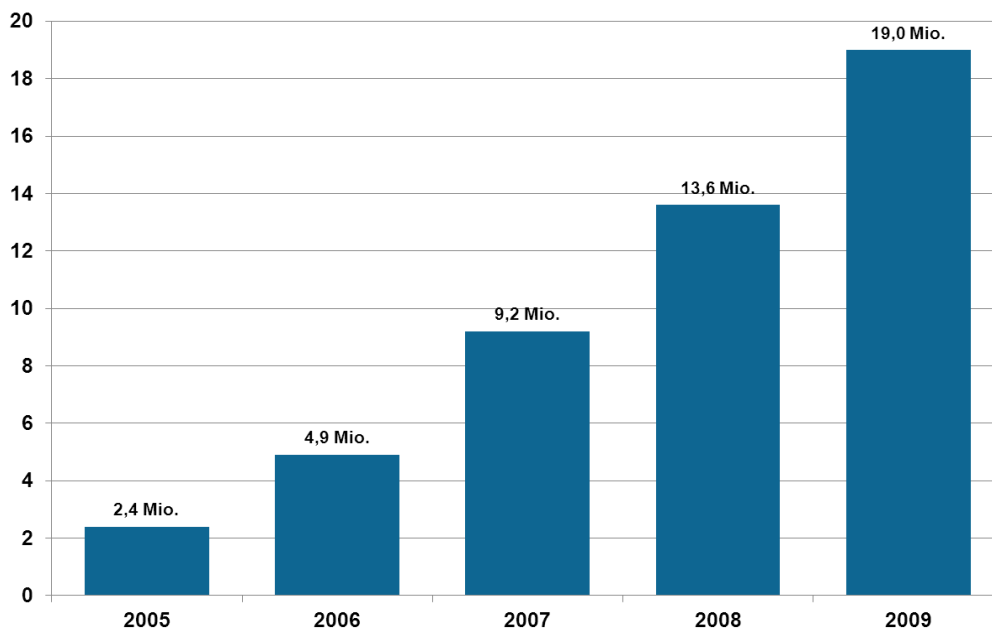
*Schätzung
Quelle: Dialog Consult/VATM (2010)

¹³ Vgl. CISCO (2010), S. 2.

Um der enorm wachsenden Nachfrage nach mobilen Datendiensten gewachsen zu sein, werden die UMTS-Netze sukzessive mit der sog. High Speed Packet Access (HSPA) und HSPA+ Technologie aufgerüstet. Mit deren Hilfe werden gegenwärtig im Downstream Datenraten von bis zu 21 Mbit/s für alle Nutzer innerhalb einer Zelle bereitgestellt. Mit HSPA+ ist theoretisch eine Geschwindigkeit von bis zu 84 Mbit/s im Down- und 11 Mbit/s im Upstream erreichbar. Heutige Endgeräte unterstützen Downstreamraten von bis maximal 10 Mbit/s. Mit diesen Übertragungsraten ist der Mobilfunk prinzipiell in der Lage, breitbandige Anschlüsse bereitzustellen, die mit DSL-Geschwindigkeiten vergleichbar sind.

In der Praxis ist jedoch zu berücksichtigen, dass die genannten Leistungen im Gegensatz zu DSL Summendatenraten je Funkzelle darstellen und auch nur unter optimalen Empfangsbedingungen gelten. Sobald innerhalb einer Funkzelle mehrere Nutzer Datendienste aktiv nutzen, geht die individuelle Datenrate deutlich zurück. Mit wachsender Anzahl der regelmäßigen UMTS-Nutzer (vgl. Abbildung 2-2) sinkt für den einzelnen Nutzer die Wahrscheinlichkeit, eine hohe individuelle Datenrate zu erzielen.

Abbildung 2-2: Anzahl der regelmäßigen UMTS-Nutzer in Deutschland, 2005-2009



Quelle: Bundesnetzagentur (2010b)

Als weiterer limitierender Faktor kommt beim Mobilfunk die Signaldämpfung durch die Entfernung von der jeweiligen Basisstation sowie durch Gebäude und topografische Hindernisse hinzu. Insbesondere die gegenwärtig für UMTS genutzten Frequenzen im 2-GHz-Bereich weisen eine Reichweite von lediglich wenigen Kilometern sowie eine

schwache Durchdringung von Gebäuden auf. Soll nun UMTS als Breitbandanbindung innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden, so ist oftmals eine Außenantenne notwendig, um die Leistungsverluste aufgrund enger Bebauung oder größerer Entfernung zur Basisstation zu kompensieren.

In Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte ist die UMTS-Netzabdeckung oftmals lückenhaft, so dass gerade dort, wo breitbandiges DSL und Kabelinternet fehlen, UMTS-Netze auch keine hinreichende Alternative darstellen. Beispielhaft ist in Abbildung 2-3 die Verbreitung der mit HSPA(+) aufgerüsteten UMTS-Netze der Deutschen Telekom dargestellt, in der die gegenwärtige Konzentration auf die Ballungsräume ersichtlich ist. Die HSPA(+)-Netze der weiteren Mobilfunknetzbetreiber weisen ähnliche räumliche Verteilungen auf.

Abbildung 2-3: UMTS/HSPA(+)-Mobilfunknetze der Deutschen Telekom, Januar 2011



Quelle: Deutsche Telekom

Die im ländlichen Raum weit flächendeckender verfügbaren GSM-Netze bieten mit EDGE-Erweiterung lediglich Datenraten im Downstream von bis zu 220 kbit/s, was angesichts einer Mindestdefinition für Breitband von 1 Mbit/s nicht als Breitbandalternative zu betrachten ist.

Ein weiterer Engpass der heutigen Mobilfunknetze hinsichtlich ihrer Nutzung für breitbandige Anschlüsse liegt in der Anbindung der Basisstationen. Die ursprünglich auf die Anforderungen der Mobiltelefonie hin ausgelegten Zuführungen besitzen vor allem im ländlichen Raum noch vielfach lediglich eine Kapazität von wenigen Mbit/s, so dass erst nach weiteren Investitionen der Netzbetreiber in die Standortanbindung mit hinreichender Breitbandqualität gerechnet werden kann.

2.1.2 Künftige Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit des Mobilfunks hat sich bislang stets rasant entwickelt und auch für die nächsten Jahre ist dies weiterhin zu erwarten. Die entscheidenden Faktoren hierfür sind eine weitere Verdichtung der Basisstationen, deren Aufrüstung mit neuer Funktechnologie, eine leistungsfähigere Zuführung dieser Standorte sowie die Ausweitung des genutzten Frequenzspektrums.

Bei den Mobilfunknetzbetreibern ist eine kontinuierliche Optimierung der UMTS-Netze durch zusätzliche Basisstationen sowie durch einen weiteren Flächenausbau zu beobachten. Die UMTS-Basisstationen werden zudem mit HSPA+ aufgerüstet, so dass sich die verfügbaren Datenraten in der Luftschnittstelle vervielfachen. Komplementär müssen die jeweiligen Zuführungen für hohe Datenraten ertüchtigt werden. Dies wird je nach örtlicher Situation mittels Richtfunk oder durch neue Glasfaseranbindungen realisiert.

Motiviert und beschleunigt wird der Austausch der Mobilfunk-Netzelemente nicht nur durch die damit erzielte Leistungssteigerung, sondern auch durch eine spürbare Reduktion des Energieverbrauchs mit Hilfe der neuen Bauteile. Die höhere Energieeffizienz moderner Netzelemente trägt somit zur Refinanzierung der Investitionen der Mobilfunknetzbetreiber bei.

Die Fortschritte bei den Funk-Modulationsverfahren fließen in die Entwicklung des neuen Mobilfunkstandards Long Term Evolution (LTE), der derzeit seine Marktreife erreicht. Bei LTE handelt es sich um einen 3G-Standard, der neben weiteren technischen Optimierungen insbesondere Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing-(OFDM)-Techniken sowie Multiple-Input-Multiple-Output-(MIMO)-Antennentechnologie einsetzt.¹⁴

Als Mitglied der 3G-Standardfamilie besitzt LTE eine vergleichbare Netztopologie wie UMTS, so dass die LTE-Basisstationen mit GSM- und UMTS-Basisstationen kombiniert werden können. Erste Hardwareinstallationen und Pilotnetze sind bereits realisiert worden. Nach Expertenaussagen wird es aber noch bis mindestens Mitte 2011 dauern, bis

¹⁴ Die Mobilfunknetzbetreiber und Endgerätehersteller sprechen im Zusammenhang mit LTE bisweilen auch von 4G. LTE entspricht jedoch nicht den Kriterien der ITU für 4G-Standards und wird daher auch als 3.9G bezeichnet. Vgl. „ITU wählt Kandidaten für 4G-Mobilfunkstandard“, Meldung auf computerwoche.de vom 25.10.2010.

durch Softwareoptimierungen der volle Leistungsumfang der LTE-Netze zur Verfügung stehen wird.

Die künftigen LTE-Netze werden zu einer deutlichen Leistungssteigerung bei mobilen Breitbandzugängen führen. Mit LTE sollen maximale Summendatenraten von bis zu rund 330 Mbit/s im Downstream realisierbar sein.¹⁵ Darüber hinaus wird sich auch die Verbesserung der Latenzzeit von LTE-Diensten bei den Nutzern bemerkbar machen. Während die Latenz bei UMTS noch bei ca. 150 Millisekunden (ms) und bei HSPA bei 75 bis 150 ms liegt, war bei der Entwicklung von LTE eine Ende-zu-Ende-Antwortzeit von 20-30 ms das Ziel. Dies wird sich gerade bei Nutzung von Anwendungen, deren Qualität von einer schnellen Reaktionszeit maßgeblich bestimmt wird, positiv auswirken.¹⁶ Höhere Bandbreite und schnellere Reaktionszeit erhöhen gemeinsam die vom Endnutzer wahrgenommene Geschwindigkeit der mobilen Datendienste.

Die neue Übertragungstechnik von LTE nutzt die begrenzten Frequenzressourcen effizienter aus, als dies die bisherigen Standards können. Durch das OFDM-Verfahren wird eine Aufteilung des Spektrums auf mehrere Trägersignale erreicht. Daher wirkt sich eine Störung einzelner Signalträger deutlich weniger negativ auf die gesamte Übertragungsleistung aus. Durch den Einsatz der MIMO-Antennentechnologie können im Verbund mit Kanalbandbreiten von 20 MHz erhebliche Steigerungen der Übertragungskapazität erreicht werden. Bei mobilen Endgeräten werden jedoch mit Rücksicht auf Bauform und Größe maximal zwei Antennen eingesetzt und somit das theoretische Potenzial der Mehrfachantennen nicht voll genutzt.

Darüber hinaus bietet LTE den Mobilfunknetzbetreibern eine sehr hohe Flexibilität hinsichtlich des Frequenzspektrums. LTE kann in unterschiedlichen Frequenzbändern, in verschiedenen Kanalbandbreiten sowie mit gepaartem oder ungepaartem Spektrum betrieben werden. Von daher ist LTE auch bestens für künftige Migrationen des heute noch mit GSM und UMTS genutzten Spektrums, das sog. Spektrum-Reforming geeignet. Insgesamt gehen Experten davon aus, dass sich durch den Einsatz von LTE die spektrale Effizienz, d. h. die pro Hertz Spektrum übertragene Bitrate an Daten, im Vergleich zu HSPA um den Faktor 2 bis 3 steigern lassen wird.

Eines der ersten kommerziellen LTE-Netze im städtischen Umfeld wurde bereits Ende 2009 in Stockholm durch Telia Sonera in Betrieb genommen. Dort wurden unter Verwendung des 2,6 GHz Frequenzbandes mittlere Datenraten im Downstream von 30 bis 60 Mbit/s sowie eine Spitzendatenrate von bis zu 100 Mbit/s erreicht.¹⁷ Bei Pilotversuchen mit einer LTE-Vorläufertechnologie im ländlichen Brandenburgischen Wittstock mit rund 100 Pilotkunden unter Verwendung der Frequenzbänder 470-790 MHz sowie 790-862 MHz wurden 1,8 Mbit/s im Down- und 0,8 Mbit/s im Upstream erreicht.¹⁸ Experten

¹⁵ Dies ist ein theoretischer Wert bei Nutzung einer Frequenzbandbreite von 60 MHz. Vgl. Meyer (2010), S. 200.

¹⁶ Vgl. Motorola, 2009, S.7

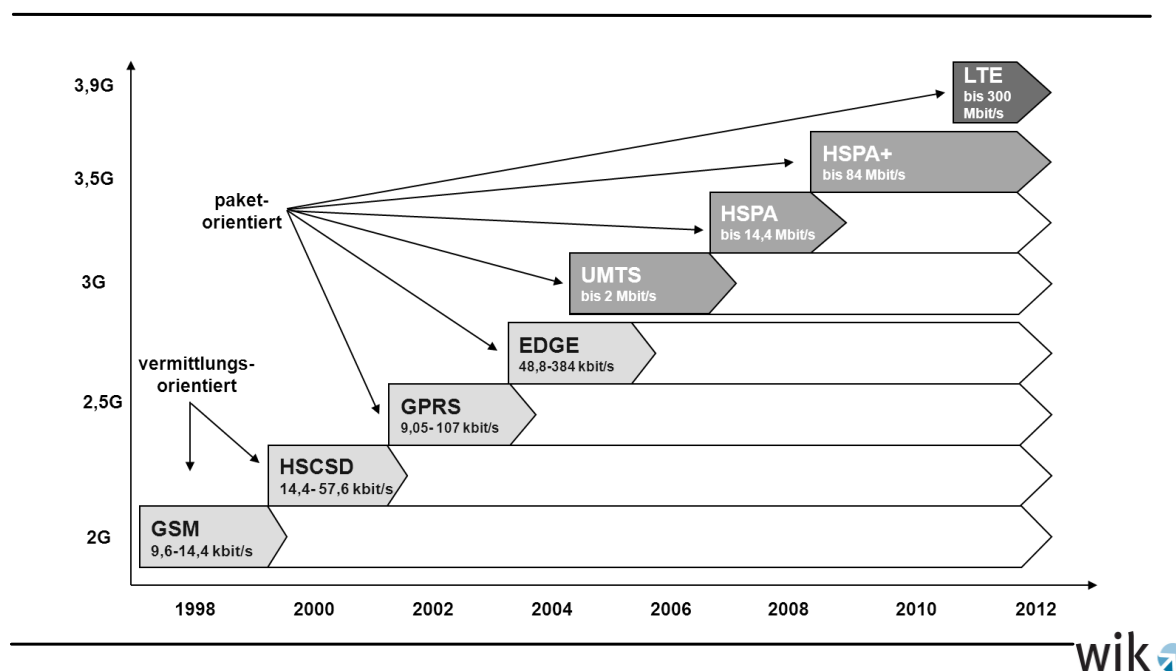
¹⁷ Vgl. Meyer (2010), S. 200.

¹⁸ Vgl. Landtag Brandenburg (2009), S. 7.

gehen davon aus, dass durch weitere Software-Optimierungen diese Werte noch deutlich gesteigert werden können.

Die kontinuierliche Erhöhung der Leistungsfähigkeiten und insbesondere der Datenraten in den Mobilfunknetzen, wie sie durch die Weiterentwicklung der Mobilfunkstandards während der letzten Jahre erzielt wurde, wird in Abbildung 2-4 schematisch zusammengefasst. Die Mobilfunkforschungsinstitute und -hersteller sind zudem bereits dabei, ihre nächsten technischen Neuentwicklungen in die Formulierung der künftigen Standards „LTE Advanced“ und „Long Term HSPA Evolution“ einfließen zu lassen.

Abbildung 2-4: Bandbreitenentwicklung in den Mobilfunknetzen



Quelle: WIK

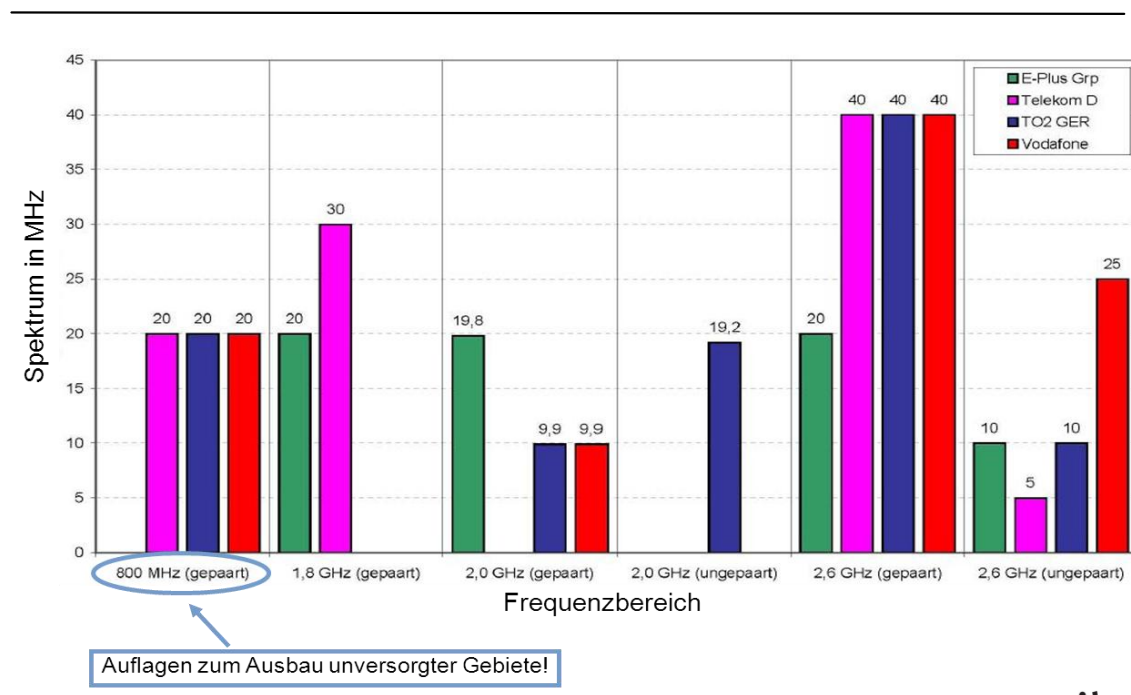
Neben dem Einsatz immer leistungsfähigerer und effizienterer Mobilfunksysteme ist die Ausweitung des genutzten Frequenzspektrums ein weiterer wichtiger Faktor für eine künftige Leistungssteigerung der mobilen Datenübertragung. Im Frühjahr 2010 wurden durch die Bundesnetzagentur Frequenzressourcen im Umfang von 358,8 MHz an die vier Mobilfunknetzbetreiber im Zuge eines Versteigerungsverfahrens vergeben. Mit dieser bislang größten Frequenzauktion, die einen Versteigerungserlös von 4,4 Mrd. Euro generierte, wurden die Frequenzressourcen für den Mobilfunk mehr als verdoppelt.

Versteigert wurden spektrale Ressourcen in unterschiedlichen Frequenzbändern. Zum einen knapp 300 MHz aus den 1,8 GHz-, 2 GHz- und 2,6 GHz-Bändern, die sich besonders für den weiteren Kapazitätsausbau in Ballungszentren eignen. Zum anderen 60 MHz aus dem 800 MHz-Band, die auch als sog. Digitalen Dividende bezeichnet wer-

den, da sie aus dem Effizienzgewinn durch die Digitalisierung des terrestrischen Fernschrundfunks entstammen. Dieses niedrigere Frequenzband eignet sich durch seine hohe Reichweite insbesondere zur Flächenerschließung im ländlichen Raum.

Alle vier Mobilfunknetzbetreiber ersteigerten Frequenzressourcen in unterschiedlichem Umfang, wobei die für die Flächenversorgung besonders geeigneten Frequenzen im 800 MHz-Band ausschließlich von den drei Unternehmen Telekom, Vodafone und Telefónica O₂ erworben wurden (Vgl. Abbildung 2-5).

Abbildung 2-5: Ergebnisse der Frequenzauktion 2010



Quelle: Bundesnetzagentur

Die Kombination von innovativen Mobilfunktechnologien, die gegenüber ihren Vorgängern eine Vervielfachung der spektralen Effizienz versprechen, mit einer Verdopplung des für Mobilfunk zur Verfügung stehenden Frequenzspektrums durch die Frequenzvergabe 2010, schafft aus technischer Sicht die Voraussetzungen, die enorm steigende Nachfrage nach mobiler Datenübertragung zu bedienen.

In Tabelle 2-1 werden die Leistungsparameter der heute und in naher Zukunft durch Mobilfunktechnologien verfügbaren Breitbandinternetzugänge knapp zusammengefasst.

Tabelle 2-1: Leistungsparameter von Mobilfunk-Internet

Mobilfunk-Breitbandinternet	
Relevante Spezifikationen	HSPA, HSPA+, LTE
Reichweite	10 bis 30 km (je nach Frequenzband)
Frequenzbereiche	800 MHz, 1,8 GHz, 2 GHz, 2,6 GHz
Maximale (Summen-) Bitraten	
Bitrate heute (Downstream / Upstream)	14,4 / 5,8 Mbit/s (HSPA), 84 / 11 Mbit/s (HSPA+)
Bitrate künftig (Down-/Upstream)	300 / 75 Mbit/s (LTE)
Kapazitätsallokation	Bitrate muss von Nutzern geteilt werden
Gründe für Nichtverfügbarkeit	Ausbau von Mobilfunknetzen im 2 GHz-Spektrum im ländlichen Raum nicht wirtschaftlich
Treiber für Ausbau	Zuteilung der 800-MHz-Frequenzen für Mobilfunk, Ausbaupflichtungen für 800 MHz, Spektrumsmigration der 900 MHz-Frequenzen von GSM zu HSPA/LTE

2.1.2. Regulatorische Rahmenbedingungen

Die regulatorischen Auflagen, die mit der Vergabe der knappen Frequenzressourcen verbunden sind, haben einen gewichtigen Einfluss auf das Tempo und die regionalen Schwerpunkte beim Netzaufbau.

Aus dem ersten großen Frequenzversteigerungsverfahren im Jahr 2000 gingen Zuteilungen von Frequenzbändern um 2 GHz für UMTS-Dienste mit einer Laufzeit von 20 Jahren hervor. Ersteigert wurden diese von den damaligen GSM-Netzbetreibern T-Mobile (Deutsche Telekom), Vodafone D2, E-Plus (KPN) und Viag Interkom (BT) sowie den Neueinsteigern Group 3G (Telefonica und Sonera) und der MobilCom Multimedia (Mobilcom und France Telecom). Die Zuteilungen waren mit Versorgungsaufgaben verbunden. Die Zuteilungsinhaber mussten bis Ende 2003 25% und bis Ende 2005 50% der Bevölkerung in Deutschland mit UMTS-Diensten erreicht haben.¹⁹ Den beiden Neueinsteigern gelang es jedoch nicht, diese regulatorischen Versorgungsaufgaben zu erfüllen, so dass sie ihre Zuteilungen wieder zurückgeben und das im Versteigerungsverfahren angefallene Zuteilungsentgelt in Höhe von jeweils rund 8,4 Mrd. € abschreiben mussten. Die vier weiteren Zuteilungsinhaber bauten ihre UMTS-Netze primär entlang der Ballungsräume auf, so dass sie auch bereits mit relativ geringer Flächendeckung die Versorgungsaufgaben erfüllen konnten.

Auch die Frequenzzuteilungen aus der Versteigerung von 2010 sind mit Versorgungsverpflichtungen versehen. Diese betreffen die 800 MHz-Blöcke und fokussieren auf den Netzausbau in ländlichen Räumen. Hierfür hat die Bundesnetzagentur die Länder nach den mit Breitbandzugängen unterversorgten Regionen entsprechend den Prioritätsstufen 1 bis 4 aus Tabelle 2-2 abgefragt.

¹⁹ Vgl. Büllingen/Stamm (2001), S. 34.

Tabelle 2-2: Prioritätsstufen der Versorgungsverpflichtung bei 800 MHz-Zuteilungen

- Prioritätsstufe 1: Unversorgte Regionen (Städte, Gemeinden oder zusammenhängend bebaute Ortsteile mit einer Einwohnerzahl bis zu 5000)
- Prioritätsstufe 2: Als grundsätzlich unversorgt geltende Regionen (Städte, Gemeinden oder zusammenhängende bebaute Ortsteile mit einer Einwohnerzahl von mehr als 5000 und bis zu 20.000)
- Prioritätsstufe 3: Als grundsätzlich versorgt geltende Regionen (Städte, Gemeinden oder zusammenhängende bebaute Ortsteile mit einer Einwohnerzahl von mehr als 20.000 und bis zu 50.000)
- Prioritätsstufe 4: Als grundsätzlich flächendeckend versorgt geltende Regionen (Städte, Gemeinden oder zusammenhängende bebaute Ortsteile mit einer Einwohnerzahl von mehr als 50.000)

Quelle: Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur vom 12.10.2009

Die Zuteilungsinhaber der 800 MHz-Frequenzblöcke müssen nun bis zum Jahr 2016 vorrangig die Regionen von Prioritätsstufe 1 beginnend ausbauen und dürfen hierbei erst bei einer Versorgung von 90% zum Netzaufbau in der jeweilig nächsten Prioritätsstufe voranschreiten.²⁰ Es wird davon ausgegangen, dass die Zuteilungsinhaber ein wirtschaftliches Interesse daran haben, die 800 MHz-Frequenzen auch in städtischen Regionen zu nutzen und daher die Versorgungsverpflichtungen in den ländlichen Gebieten deutlich vor 2016 erfüllen werden. Die Verpflichtung gilt in einem Gebiet jedoch auch dann als erfüllt, wenn die 90%ige Versorgung durch eine andere Breitbandtechnologie oder durch das Mobilfunknetz eines Wettbewerbers realisiert wird.

Die Frequenzzuteilung erfolgte technologie-neutral, d. h. es wurde durch die Bundesnetzagentur nicht vorgeschrieben, mit welcher Technologie die Mobilfunkanbieter den mobilen Breitbandzugang ermöglichen sollen. Die drei Mobilfunkanbieter mit 800 MHz-Zuteilungen fokussieren sich auf LTE-Technologie in diesem Frequenzband, da dieser jüngste Mobilfunkstandard die größte Spektraleffizienz aufweist und die größte Leistungsfähigkeit verspricht.

Die Technologie-neutralität bei der Frequenzzuteilung setzt die Bundesnetzagentur konsequent auch beim Spektrum durch, das in früheren Zuteilungsverfahren vergeben wurde. So wurde beispielsweise dem Netzbetreiber E-Plus im Dezember 2010 auf Antrag hin gestattet, Frequenzzuteilungen im 900 MHz-Band, die bislang für GSM genutzt wurden, auf UMTS/HSPA-Technologie zur schnelleren Datenübertragung zu migrieren.²¹

²⁰ Vgl. Bundesnetzagentur (2009), S. 5f.

²¹ Vgl. „Regulierer erlaubt E-Plus UMTS-Nutzung der GSM-Frequenzen“, Meldung von heise.de vom 18.12.2010.

2.2 Angebote und Anbieter von Breitband per Mobilfunk

2.2.1 Technische Merkmale von Mobilfunk-Breitbandzugängen

Datendienste über Mobilfunknetze werden primär für eine mobile Nutzung mit entsprechend ausgerüsteten Endgeräten angeboten. Mobile Datendienste wurden zunächst überwiegend mit sog. UMTS-Sticks für Notebooks genutzt. Spätestens aber seit der Einführung des bedienungsfreundlichen iPhone im Jahr 2007, begann ein Boom der mobilen Datennutzung mittels sog. Smartphones.

Insbesondere durch die Nutzung von Videoinhalten, für die die Smartphones im Unterschied zu früheren Mobiltelefonen einen ausreichend großen Bildschirm besitzen, erzeugen Smartphone-Nutzer derzeit ein durchschnittliches Datenvolumen in der Größenordnung von 300 MB pro Monat. Um die Datenverkehrsnachfrage der wachsenden Anzahl von mobilen Notebook- und Smartphone-Nutzern bedienen zu können, sind breitbandige Mobilfunknetze heute unerlässlich.

Der stationäre Netzzugang über Mobilfunknetze, beispielsweise an Orten ohne festnetz-basierte Breitbandanbindung oder durch spezifische Nutzergruppen wie Studenten, die die Fixkosten und Vertragslaufzeiten von DSL- oder Kabelinternetverträgen scheuen, stellt aus Sicht der Netzbetreiber eher eine Sondernutzung dar. Entsprechend sind die Preismodelle in erster Linie an den Anforderungen eines mobilen und nomadischen Breitbandzugangs ausgerichtet. Es werden zwar Flatrates angeboten, diese sind aber mit einem maximalen monatlichen Verkehrsvolumen von in der Regel 300 MB bzw. 5 GB verbunden. Nach Verbrauch dieses Verkehrsvolumens wird der Zugang nicht gesperrt, aber erheblich auf GPRS-Geschwindigkeit von 64 kbit/s gedrosselt und entspricht damit keinesfalls mehr den Breitbanddefinitionen.

Mit dieser Deckelung wollen die Mobilfunknetzbetreiber die übermäßige Intensivnutzung durch einige Kunden einschränken, die sich im geteilten Medium Mobilfunk zu Lasten der Servicequalität für die Mehrheit der Nutzer auswirken würde. Während die Drosselung ab beispielsweise 5 GB für die meisten mobilen Nutzer nur eine geringe Einschränkung darstellt, liegt dieses Volumen deutlich unterhalb des Datenvolumens eines durchschnittlichen fixen Breitbandnutzers von zurzeit rund 12 bis 13 GB/Monat.²²

Für einen Haushalt, der ausschließlich auf den Mobilfunk als Breitbandzugang setzt, bedeutet dies, dass nach dem Herunterladen der Datenmenge einer einlagigen DVD für den restlichen Monat kein adäquater Breitbandzugang mehr zur Verfügung steht. Gerade bei Mehrpersonenhaushalten ist im Verlauf jedes Monats mit dem Erreichen der Drosselungsgrenze zu rechnen, so dass gegen Ende des Monats keine Breitbandigkeit mehr gegeben ist.

²² Im Jahr 2010 lag das durchschnittliche Datenvolumen pro Breitbandanschluss nach Angaben von VATM bereits bei 11,3 GB/Monat. Vgl. Dialog Consult/VATM (2010), S. 20.





Datendienste werden bei den Mobilfunkanbietern sowohl im Rahmen eines festen Vertrages als auch in der Prepaid-Variante angeboten. Bei den Prepaid-Varianten sind neben Monats-Flatrates auch Stunden-, Tages- und Wochen-Flatrates erhältlich.

Soweit Notebooks noch keine UMTS-Karte eingebaut haben, ist für die Nutzung von Breitbandzugängen per Mobilfunk ein Modem notwendig. Die Mobilfunkanbieter bieten diese Hardware als PCMCIA-Datenkarte, USB-Stick und in weiteren Gehäusevarianten an – in Verbindung mit Laufzeitverträgen auch zu subventionierten Preisen.

2.2.2 Anbieter

In Deutschland treten die vier Netzbetreiber Deutsche Telekom, Vodafone, Telefónica O₂ und E-Plus jeweils mit eigenen Marken am Mobilfunkmarkt auf. Dabei bieten alle vier mobile Breitbandlösungen mittels UMTS bzw. HSPA in ihrem Produktportfolio an. In Tabelle 2-3 sind die Kenndaten (Jahresende 2009), die aktuelle Frequenzausstattungen sowie die Angebotsstrategien der vier Mobilfunknetzbetreiber zusammengefasst.

Tabelle 2-3: Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland

Unternehmen	Kenndaten	Frequenzausstattung	Strategie
	Kunden: 38,5 Mio. Umsatz: > 8 Mrd. Euro	800 MHz: 2 x 10 MHz 900 MHz: 2 x 12,4 MHz 1,8 GHz: 2 x 20 MHz 2,0 GHz: 2 x 9,9 + 5 MHz 2,6 GHz: 2 x 20 + 5 MHz	Komplettanbieter (Festnetz, DSL und Mobilfunk) Start des LTE-Ausbaus mit Digitaler Dividende
	Kunden: 34,5 Mio. Umsatz: > 9 Mrd. Euro	800 MHz: 2 x 10 MHz 900 MHz: 2 x 12,4 MHz 1,8 GHz: 2 x 5 MHz 2,0 GHz: 2 x 14,85 + 5 MHz 2,6 GHz: 2 x 20 + 25 MHz	Komplettanbieter (Festnetz, DSL und Mobilfunk) Start des LTE-Ausbaus mit Digitaler Dividende
	Kunden: 19,2 Mio. Umsatz: 3,2 Mrd. Euro	800 MHz: - 900 MHz: 2 x 5 MHz 1,8 GHz: 2 x 27,4 MHz 2,0 GHz: 2 x 19,9 + 5 MHz 2,6 GHz: 2 x 10 + 10 MHz	Mobilfunkanbieter mit Fokus auf innovative Tarife HSPA-Ausbau (später LTE) primär in Ballungsgebieten
	Kunden: 16,3 Millionen Umsatz: 3,7 Mrd. Euro	800 MHz: 2 x 10 MHz 900 MHz: 2 x 5 MHz 1,8 GHz: 2 x 17,4 MHz 2,0 GHz: 2 x 14,85 + 19,2 MHz 2,6 GHz: 2 x 20 + 10 MHz	Komplettanbieter (Festnetz, DSL und Mobilfunk) Start LTE-Pilot im 2,6 GHz-Band

Quellen: Unternehmensangaben, Bundesnetzagentur





Zwischen den vier Mobilfunknetzen bestehen spürbare Unterschiede in Ausbaudichte und Netzqualität. Im Test der Mobilfunknetze durch die Zeitschrift „connect“ ging im Jahr 2010 das Vodafone-Netz als Testsieger hervor, gefolgt von Telefónica O₂ und Telekom und mit etwas Abstand E-Plus.²³ Dieser Querschnittstest der vier Netze gibt jedoch für einen bestimmten Ort im ländlichen Raum allenfalls eine Tendenzaussage. Im konkreten Fall kommt es auf den Abstand und die Sichtverbindung zum jeweils nächs-

²³ Vgl. Theiss (2010), S. 14 ff.

ten Mobilfunkstandort, dessen funktechnische Ausstattung und Anbindung zum Kernnetz an. Im Einzelfall kann also auch ein insgesamt schlechter getestetes Mobilfunknetz den besten Anschluss bieten.

Die gegenwärtigen Preise der Mobilfunknetzbetreiber für Datendienste bei PC-Nutzung sind in Tabelle 2-4 beispielhaft zusammengefasst. Im Vergleich zu den aktuellen Preisen für festnetzbasierende Breitbandzugänge sind die Datentarife der Mobilfunkanbieter mit 22-32 €/Monat durchaus vergleichbar, bzw. nur leicht teurer. Allerdings sind die Leistungen bei DSL- und Kabelinternetangeboten in Hinblick auf Datenrate, Datenvolumen pro Monat, Latenzzeit, Verbindungsstabilität deutlich höher und sie umfassen in der Regel zudem einen Telefonanschluss mit Festnetzflatrate.

Tabelle 2-4: Mobilfunk-Datentarife für PC-Nutzung, Januar 2011

Anbieter	Produkt	Volumen (Monat)	Preis (Monat)	Preis für Hardware + Bereitstellung	Ø Kosten (pro Monat bei 24 Monaten Vertragslaufzeit)
	web'n'walk Connect L Basic	3 GB	29,95 €	4,95 € + 24,95 €	31,20 €
	Mobile Internet Flat 7,2	5 GB	29,99 €	19,90 € + 24,99 €	31,86 €
	Base Laptop Internet Flat	5 GB	20,00 €	49,00 € + 0 €	22,04 €
	Active Data mit Internet Pack L	5 GB	21,25 €	30,00 € + 25,00 €	23,54 €

Quellen: Unternehmensangaben

Neben den Netzbetreibern bieten auch Reseller mobile Breitbandzugänge unter Zugriff auf die Netze der vier Netzbetreiber an, ohne selbst ein eigenes Mobilfunknetz zu betreiben. Einige Reseller sind Tochterunternehmen oder Eigenmarken der Netzbetreiber, die mittels Zielgruppenmarketing weitere Nutzergruppen erschließen sollen.²⁴

Die monatlichen Entgelte liegen bei den Angeboten der Reseller bei rund 20 € und damit günstiger als bei den Netzbetreibern. Dafür bieten sie in der Regel keine subventionierte Hardware sowie meist gedrosselte Flatrates, d. h. die maximale Download-Geschwindigkeit liegt niedriger oder das monatliche Verkehrsvolumen ist geringer. Ins-

²⁴ Das Netz der Telekom wird insbesondere von Resellern wie congstar, maXXim, discoTEL, fioon, simply, und surf.pink genutzt. Vodafone kooperiert mit 1&1 Mobile Internet, BILDMobil, book fone, fastSIM, McSIM, MoBlack, mobook und MoobiCent. Über die Netze von O2 bieten folgende Reseller Produkte an: Fonic, MoobiAir und Tchibo Mobil. Bei E-Plus sind dies Blau Mobilfunk und Debitel.

gesamt verfolgen die meisten Reseller eine „No frills“-Strategie mit wenig Tarifoptionen oder sonstigen Leistungen und organisieren ihren Vertrieb über das Internet. In einigen Fällen ist der Vertrieb auch über Handelsketten wie ALDI oder Tchibo organisiert.

2.2.3 Ausbau- und Angebotsstrategien der Mobilfunknetzbetreiber

Bislang bauten die Mobilfunknetzbetreiber ihre UMTS/HSPA-Netze, nicht zuletzt auf Grund der relativ geringen Reichweite des hierbei eingesetzten 2 GHz-Spektrums, konzentriert in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte sowie entlang der Verkehrswege aus. Nach Angaben der Bundesnetzagentur konnten 2009 an rund 70% der Standorte in Deutschland theoretisch UMTS-Dienste genutzt werden.²⁵ Bislang wurden ländliche Orte eher in Ausnahmefällen mitversorgt. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn in weißen Flecken durch die Breitbandförderung die hierzu notwendigen finanziellen Anreize, in der Regel in Form einer Finanzierung der Wirtschaftlichkeitslücke, gesetzt wurden.

Mit der Verfügbarkeit von niedrigeren Frequenzbändern für breitbandigen Mobilfunk ändert sich nun die Ausbaustrategie der Netzbetreiber in ländlichen Räumen. Bereits kurz nach den Frequenzzuteilungen aus der Auktion 2010 gaben die Netzbetreiber ihre Ausbauplanungen im Hinblick auf den Flächenausbau mit den 800 MHz-Frequenzen aus der Digitalen Dividende bekannt. Alle drei Netzbetreiber mit den entsprechenden Zuteilungen erklärten ihre Absicht, auf diesen Frequenzen Funktechnologie nach dem neuen LTE-Standard einsetzen zu wollen.

Die Deutsche Telekom nahm im August 2010 in Kyritz/Brandenburg eine erste LTE-Basisstation im 800 MHz-Spektrum in den Pilotbetrieb. Bis zum Jahresende 2010 folgte der Aufbau von 500 LTE-Basisstationen. In den mit Breitband unterversorgten Regionen Lychen, Wittstock, Kyritz und Ziesar in Brandenburg sowie Alpirsbach, Munderkingen und Ochsenhausen in Baden-Württemberg startete im Dezember 2010 der Betrieb mit rund 200 Pilotkunden. Neben dem Aufbau von LTE-Netzen im 800 MHz-Frequenzband gab die Telekom zudem bekannt, rund 500 bislang unterversorgte Orte im Laufe des Jahres 2010 mittels UMTS oder DSL neu versorgt zu haben.²⁶

Die Markteinführung kommerzieller LTE-Dienste hat die Telekom für April 2011 angekündigt. Hierzu sollen nicht die Mobilfunk-Datentarife, sondern ein spezifischer Tarif zur Breitbandanbindung per Funk zum Einsatz kommen. Dieser soll nach ersten Ankündigungen Call & Surf Comfort via Funk heißen, 39,95 € pro Monat kosten und eine maximale Datenrate von 3 Mbit/s im Downstream beinhalten. Das maximale Datentransfervolumen pro Monat wurde zunächst zweistufig festgelegt. Ab 3 GB wird auf 1 Mbit/s gedrosselt und sobald 5 GB erreicht sind, wird die Downstreamgeschwindigkeit auf 384 kbit/s begrenzt. Für einen Aufpreis von monatlich 4 € soll auch ein Telefonanschluss mit Festnetzflatrate verfügbar sein. Call & Surf Comfort via Funk erfordert eine 24-

²⁵ Vgl. Bundesnetzagentur (2010b), S. 93.

²⁶ Vgl. „4G geht in die heiße Phase – Pilotkunden testen LTE“, DTAG-Pressemitteilung vom 30.11.2010.

Monatsbindung und es fallen 59,95 € als Bereitstellungspreis sowie 99 € als Kaufpreis für das Endgerät an. Mit der 3 bzw. 5 GB Grenze setzt die Telekom ein deutliches Knappheitszeichen. Diese Grenzen liegen weit unterhalb der durchschnittlichen Verkehrsvolumina aller Breitbandanschlüsse von über 11 GB/Monat im Jahr 2010.²⁷

Vodafone hat neben seinem städtischen LTE-Pilotnetz in Düsseldorf im September 2010 sein erstes 800 MHz-LTE-Pilotnetz im Ostseebad Heiligendamm in Betrieb genommen. Seither wurden bis Dezember 2010 insgesamt neun LTE-Standorte in fünf Bundesländern (Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern) in Betrieb genommen, um damit Breitband in über 1.000 bislang unversorgten Gemeinden und Kommunen bereitzustellen.²⁸ Als erster der drei Zuteilungsinhaber der Digitalen Dividende startete Vodafon bereits im Dezember 2010 den kommerziellen LTE-Betrieb in Ruppichteroth in Nordrhein-Westfalen.

Vodafone war auch der erste Mobilfunknetzbetreiber, der ein separates Preismodell für die Anbindung von Haushalten veröffentlicht hat, um den unterschiedlichen Nutzungscharakteristiken mobiler und stationärer Breitbandzugänge gerecht zu werden (vgl. Tabelle 2-5). Seit der ersten Vorstellung dieses Preismodells im Herbst 2010 wurde es vor seiner Vermarktung bereits modifiziert und die Preise wurden leicht gesenkt. Entscheidend ist bei Vodafones Preismodell die Differenzierung nach Datenraten und Datenvolumina, in der sich die Knappheiten für den Nutzer spürbar widerspiegeln. Die Pakete mit einem Datenvolumen von 10 und 15 GB/Monat liegen näher an den Erfordernissen eines Haushaltsanschlusses als die bisherigen Datentarife für die mobile Nutzung. Nach Erreichen des jeweiligen monatlichen Volumens wird in allen Tarifvarianten auf 384 kbit/s gedrosselt.

Vodafone plant bis Ende März 2011 bundesweit 1.500 Standorte mit LTE auszurüsten und somit mehrere tausend Gemeinden mit der neuen Breitbandtechnik zu versorgen. Bis Ende 2011 wird Vodafone nach eigenen Angaben alle bislang unversorgten Regionen in Deutschland mit LTE-Netzen im 800 MHz-Frequenzband abgedeckt haben.

²⁷ Vgl. Dialog Consult/VATM (2010), S. 20.

²⁸ Vgl. „LTE Status Quo Vadis“, Funkschau 23/2010, S. 30-32.

Tabelle 2-5: Vodafone-Preismodell für LTE-Breitbandanschlüsse

Produkt	Volumen (Monat)	Datenrate (Download/ Upload)	Anschlusspreis	Preis (Monat)
LTE Zuhause Internet 3600S	5 GB	bis zu 3,6 Mbit/s bis zu 720 kbit/s	24,99 €	29,99 €
LTE Zuhause Internet 7200 S	10 GB	bis zu 7,2 Mbit/s bis zu 1,4 Mbit/s	24,99 €	39,99 €
LTE Zuhause Internet 21600 S	15 GB	bis zu 21,6 Mbit/s bis zu 5,7 Mbit/s	24,99 €	49,99 €
LTE Zuhause Internet 50000 S	30 GB	bis zu 50 Mbit/s bis zu 10 Mbit/s	24,99 €	69,99 €

Quelle: Vodafone

Telefónica O₂ als dritter Zuteilungsinhaber von 800 MHz-Frequenzen begann den Aufbau von vier LTE-Pilotennetzen mit einer Fläche von rund 1000 km². Zwei dieser LTE-Netze in Ebersberg östlich von München sowie in Teutschenthal westlich von Halle, arbeiten im 800 MHz-Spektrum. Mit den beiden weiteren Pilotnetzen testet Telefónica O₂ in München und Halle städtische LTE-Netze im 2,6 GHz-Spektrum. Seit Dezember 2010 werden im Rahmen des Pilotbetriebs sog. Friendly-User angeschlossen.²⁹ Eine kommerzielle Markteinführung erster LTE-Dienste ist für das zweite Quartal 2011 geplant. Bis zum Jahr 2013 beabsichtigt Telefónica O₂ LTE in ganz Deutschland eingeführt zu haben.

Der Mobilfunknetzbetreiber E-Plus, der aus der Versteigerung 2010 ohne 800 MHz-Zuteilungen hervorging, verfolgt eine etwas andere Netzausbaustrategie. Zum einen wird erwartet, dass sich E-Plus auch weiterhin stark auf die Ballungsgebiete fokussieren wird, um dort beim HSPA-Ausbaustand den bestehenden Abstand zu den anderen Mobilfunknetzbetreibern aufzuholen. Zum anderen wird E-Plus an ausgewählten ländlichen Standorten 900 MHz-Spektrum, das bislang für GSM genutzt wird, künftig für breitbandige HSPA-Datenfunkdienste umwidmen und damit ähnliche Reichweiten wie im 800 MHz-Band erzielen. Hinsichtlich der neuen LTE-Funktechnologie übt sich E-Plus derzeit noch in Zurückhaltung. Ähnlich wie es das Unternehmen bei HSPA praktiziert hat, werden zunächst Economies of Scale und die damit verbundene Kostendegression von LTE-Komponenten abgewartet, bevor Investitionen in LTE-Netze angestoßen werden.

Weiterhin gab es Spekulationen darüber, ob E-Plus möglicherweise seinen Kunden National Roaming über die künftig flächendeckenden mobilen Datennetze anbieten

²⁹ Vgl. „O2 startet ‚Friendly User Tests‘ für LTE“, O2-Pressemitteilung vom 17.12.2010.

wird. Dies würde jedoch erst in einigen Jahren hinsichtlich mobiler Dienste aktuell, wenn mobile LTE-Smartphones erfolgreich in den Markt eingeführt sind. In Bezug auf den Anschluss von Haushalten per LTE-Mobilfunk ist hingegen nicht mit Roaming-Vereinbarungen zu rechnen.

2.3 Bedeutung von Mobilfunklösungen

Durch den kontinuierlichen Ausbau der UMTS-Mobilfunknetze mittels HSPA+ sind für Mobilfunknutzer heutzutage Datenraten im zweistelligen Mbit/s-Bereich theoretisch möglich. Die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Netze ist jedoch stark vom Aufenthaltsort des Nutzers abhängig. Vor allem im ländlichen Raum, wo die meisten Engpässe bei Breitbandzugängen bestehen, entscheiden oftmals zufällige Faktoren, wie die räumliche Nähe zu Basisstationen oder UMTS-versorgte Verkehrswege in der Nachbarschaft, ob der Mobilfunk als Alternative für den Breitbandzugang am jeweiligen Standort in Frage kommt.

Zweifellos fungiert der Mobilfunk heute für viele Haushalte an Orten ohne DSL- und Kabelinternetverfügbarkeit als wichtiger Breitbandzugangsweg. Aggregierte Zahlen darüber, für wie viele Haushalte in Deutschland der Mobilfunk die einzige Breitbandversorgung darstellt, sind leider nicht verfügbar. Doch der Mobilfunk wird nicht nur in den weißen Flecken zum Breitbandzugang genutzt. Auch eine wachsende Anzahl an PC-Nutzern, die die Fixkosten eines Festnetz-Breitbandanschlusses vermeiden wollen oder die auch beim Telefon keinen Festnetzanschluss haben, greifen auf Breitband per UMTS/HSPA zurück. Das Gros der Mobilfunkbreitbandnutzer bleiben sicherlich die Nutzer, die den UMTS/HSPA-Zugang als mobilen Zweitzugang für unterwegs mit Notebook und insbesondere Smartphone einsetzen.

Eine stark zunehmende Bedeutung haben Breitbandanschlüsse per Mobilfunk für die Maschinenkommunikation. Bereits heute sind viele Verkaufs- und Fahrkartenautomaten, intelligente Stromzähler und weitere Sensoren in Versorgungsinfrastrukturen, Verkehrsanlagen, usw. per Mobilfunk vernetzt. Dieser Trend des sog. „Internet der Dinge“ wird sich nach Expertenmeinung beschleunigt fortsetzen und in wenigen Jahren werden praktisch alle Maschinen und Geräte mit einer intelligenten Steuerung auch eine Schnittstelle zum Internet besitzen. Zum Teil werden diese Schnittstellen lokale WLAN-Netze nutzen. Der Großteil wird aber auf den Mobilfunk zurückgreifen. Die meisten Anwendungen der Maschinenkommunikation generieren nur relativ schmalbandige Datenraten bei ihrer Übertragung von Steuersignalen, Messwerten oder Informationsabfragen. Einige übertragen aber auch Bild- und Videodaten oder umfangreiche Software-Updates und benötigen hierfür breitbandige Mobilfunkverbindungen. Die künftig zu erwartende hohe Anzahl an kommunizierenden Geräten wird in der Summe ein hohes Datenverkehrsaufkommen insbesondere in Ballungsräumen generieren und damit entsprechend breitbandige Mobilfunknetze erfordern.

Mit dem gegenwärtigen Aufbau der neuen Mobilfunkdatennetze im 800 MHz-Frequenzbereich wird die Bedeutung des Mobilfunks für den Breitbandzugang sprunghaft steigen. Aufgrund von derzeitigen Lieferengpässen bei den LTE-Endgeräten wird die kommerzielle Vermarktung voraussichtlich erst ab Mitte 2011 in Schwung kommen. Experten gehen davon aus, dass es bis Ende des Jahres 2011 auch abseits der Ballungszentren zu einer deutlichen Ausweitung der Regionen mit mobiler Breitbandabdeckung kommen wird.

Die Ankündigungen der Netzbetreiber, bis Ende 2011 die weißen Flecken auf der Breitbandlandkarte in Deutschland mit neuen LTE-Netzen abgedeckt zu haben, klingen recht optimistisch. Gleichzeitig finden unter den drei 800 MHz-Zuteilungsinhabern Gespräche statt, mit dem Ziel in dünn besiedelten Räumen parallele Infrastrukturen mehrerer Mobilfunknetze zu vermeiden, um die wirtschaftlichen Risiken zu begrenzen. Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt sind in diese Kooperationsgespräche mit eingebunden und sind offenbar mit dieser Zusammenarbeit einverstanden.³⁰ Aus der Sicht der Netzbetreiber würde dies dazu führen, dass die Versorgungsaufgaben kostengünstiger und schneller erfüllt werden können, um früher in lukrativeren Regionen LTE-Netze im 800 MHz-Band einzuführen. Aus Sicht der potenziellen Nutzer in den betroffenen dünn besiedelten Regionen bleibt es hingegen ungewiss, ob dann das jeweils eine Mobilfunknetz hinreichend große individuelle Datenraten für alle Nutzer liefern kann.

Nach Aussagen der Netzbetreiber wird eine garantierte Datenrate von 2 Mbit/s im Downstream angestrebt. Die Praxis wird es zeigen, wie vielen gleichzeitigen Nutzern die 800 MHz-LTE-Netze mit ihren Zellradien von rund 6-10 km diese Datenrate liefern können. Je nach Bevölkerungsdichte, Nutzungsverhalten, Standort und Anzahl an LTE-Netzen kann dem einzelnen Nutzer eine deutlich höhere oder geringere Datenrate konkret zur Verfügung stehen.

Von der im Zuge des LTE-Ausbaus notwendigen Verstärkung der Zuführungsstrecken zu den Basisstationen werden positive Nebeneffekte auf die leitungsgebundene Breitbandversorgung im ländlichen Raum erwartet. Da bei der Anbindung der LTE-Basisstationen neben Richtfunk auch immer öfter Glasfaser zum Einsatz kommt, können diese Strecken auch für die DSL-Zuführung in den anliegenden Ortschaften mitgenutzt werden. Insbesondere die integrierten Mobilfunk- und DSL-Anbieter prüfen verstärkt, wie sie die Zuführungen zu Mobilfunk-Basisstationen zugleich auch als Zuführung zum DSL-Netz von abgelegenen Ortschaften nutzen können.

Ordnet man die angestrebten 2 Mbit/s per LTE-Breitbandanschluss vor dem Hintergrund der in den Ballungsräumen zunehmend genutzten hochbitratigen Breitbandzugängen per VDSL, Kabelinternet und FTTB mit Datenraten von 50 Mbit/s und mehr ein, so wird deutlich, dass LTE in den ländlichen Regionen eine kurzfristig durchaus sehr wichtige, aber mittel- bis langfristig eine eher unzureichende Breitbandzugangsalterna-

³⁰ Vgl. „Netzbetreiber sprechen über Kooperation bei LTE-Ausbau“, Meldung auf heise.de vom 19.10.2010.

tive darstellt. Mittel- bis langfristig müssen die schnellen leitungsgebundenen Anschlussvarianten auch in ländlichen Orten verfügbar werden, um nicht neue weiße Flecken auf einem höherem Breitband-Niveau entstehen zu lassen.

Dass Breitband per Mobilfunk nur temporär eine Alternative zu DSL, Kabel und FTTB darstellt, stellt nach Expertensicht für die heute investierenden Mobilfunknetzbetreiber jedoch kein Zukunftsrisiko dar. Auch wenn alle Haushalte, Unternehmen, Schulen, Behörden und sonstige Einrichtungen über hochbitratige Festnetzanbindungen verfügen, besteht ein dauerhafter und flächendeckender Bedarf an mobilen Breitbandzugängen, um die steigende Anzahl der mobilen Privat- und Geschäftsanwendungen hinreichend breitbandig anzubinden.

3 Lokale und regionale Funknetze

3.1 WLAN - Funklösungen

3.1.1 Technische Merkmale von WLAN-Breitbandzugängen

3.1.1.1 WLAN-Technik und Einsatzgebiete

WLAN – kurz für Wireless Local Area Network – ist die dominierende Technologie im Bereich lokaler Drahtlosverbindungen. Die Technologie hat einen hohen Bekanntheitsgrad aufgrund ihres klassischen Einsatzgebiets im Bereich der Vernetzung von IT-Geräten auf kurze Distanz. WLAN (international als WiFi bezeichnet) basiert auf der IEEE 802.11-Standardfamilie. Mit Hilfe von WLAN ist eine Heimvernetzung schnell, flexibel und kostengünstig aufzubauen. Die meisten DSL- und Kabelinternet-Modems haben bereits standardmäßig einen WLAN-Router mit eingebaut.

WLAN-Zugänge werden auch an zahlreichen öffentlichen Orten, den sog. WLAN-Hotspots in Hotels, Flughäfen, Cafes, Gaststätten, Bahnhöfen etc. in unterschiedlichen Geschäftsmodellen gegen Entgelt oder kostenlos angeboten. Ein Breitbandzugang mittels Laptop oder Smartphone ist vor allem in Ballungsräumen immer häufiger über WLAN möglich.³¹

Neben diesen Public-WLAN-Hotspots für nomadische Breitbandzugänge greifen vor allem kleinere Unternehmen ebenfalls auf die standardisierte WLAN-Technologie zurück, um an Orten ohne DSL- oder Kabelinternetversorgung die letzte Meile zu Haushalten und Gewerben zu überbrücken. Die Reichweiten der WLAN-Netze sind hierbei stark von ihrem Umfeld abhängig. Gleichzeitige Nutzer in einer Zelle und signaldämpfende Hindernisse drosseln die jeweils individuell verfügbaren Datenraten. Üblich sind Reichweiten von hundert Metern. Mit Hilfe von Richtantennen und anderen Ausbaumaßnahmen kann bereits heute die Sendeleistung von WLAN Funknetzen auf über 20 Kilometer erweitert werden.³²

Somit kann diese Technologie im ländlichen Raum sowohl in der Zuführung als auch in der Breitbandanbindung der Kunden zum Einsatz kommen. Haupttreiber für Anschlussnetze mit WLAN sind die geringen Preise für die Systemkomponenten, die weite Verbreitung von Endgeräten mit WLAN-Chips sowie die schnelle Realisierbarkeit der Funklösungen.

³¹ Vgl. Büllingen et al., 2010, S. 24.

³² Vgl. Kaps (2009).

3.1.1.2 Regulatorische Rahmenbedingungen

In Deutschland können im Wesentlichen zwei Frequenzbereiche für WLAN-Funknetze genutzt werden: zum einen das Frequenzband 2,4 GHz (ISM-Band; IEEE 802.11b/g/n) und zum anderen das Frequenzband 5 GHz (IEEE 802.11a/n). Hierbei handelt es sich jeweils um zuteilungsfreie Bereiche des Frequenzbandes, die gebührenfrei und ohne zusätzliche Genehmigung für drahtlose Funknetzwerke genutzt werden können.³³

Gerade im ISM-Frequenzband muss jedoch beachtet werden, dass dieses auch von anderen Anwendungen genutzt wird. So verwenden unter anderem Mikrowellenherde, Funkfernbedienungen und AV-Funksysteme ebenfalls dieses Spektrum. Die Zuteilungsfreiheit dieser Frequenzen bringt es mit sich, dass sie nicht garantiert zur Verfügung stehen und eine lokale Häufung von Nutzern zu Engpässen führen kann.

3.1.1.3 WLAN-Sendeleistungen: aktuelle und zukünftige Datenraten

Unter optimalen Bedingungen sind in der Praxis mit WLAN folgende Netto-Datenübertragungsraten realistisch erreichbar (shared medium).

Tabelle 3-1: WLAN-Systeme im Überblick

Standard	Frequenzband	Bruttodatenrate	Nettodatenrate	Verfügbar seit
IEEE 802.11a	5 GHz	bis zu 54 Mbit/s, (bis 108 Mbit/s proprietär)	20-22 Mbit/s	1999
IEEE 802.11b	2,4 GHz	11 Mbit/s, (22Mbit/s und 44 Mbit/s proprietär)	5-6 Mbit/s	1999
IEEE 802.11g	2,4 GHz	bis 54 Mbit/s, (bis 108 Mbit/s proprietär)	20-22 Mbit/s	2003
IEEE 802.11n	2,4 GHz, 5 GHz	600 Mbit/s	100-120 Mbit/s	2006 (erster Entwurf)

Quelle: IEEE

Die am Markt erfolgreichste Standardvariante war bislang der 802.11b-Standard. Neue Geräte sind heute in der Regel mit 802.11n-Schnittstellen ausgestattet, die zu den früheren Standardvarianten abwärtskompatibel sind. Die Brutto-Datenübertragungsrate von 802.11b beträgt 11 Mbit/s, netto werden deutlich geringere Leistungen im Bereich von 5-6 Mbit/s erzielt. Kompatibler Nachfolger von 802.11b ist der Standard IEEE 802.11g, der seit 2003 im Markt verfügbar, aber noch nicht im selben Maße verbreitet ist. Die maximal in einer Zelle vorhandene Bandbreite müssen sich die darin befindlichen Nutzer teilen, was zu einer Senkung der nutzbaren Bandbreite pro Teilnehmer führt.

³³ Vgl. Bundesnetzagentur (2003) und Bundesnetzagentur (2010a).

Der aktuellste Produktstandard 802.11n erlaubt unter Verwendung eines 40 MHz breiten Übertragungskanal unter Laborbedingungen eine maximale Datenrate von bis zu 600 Mbit/s (theoretische Sendleistung).³⁴ Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung der 802.11 Produktfamilie sollen künftig noch höhere Datenübertragungsraten ermöglicht werden. So soll die zukünftige Ausbaustufe 802.11ad unter Verwendung des 60 GHz Frequenzbandes Übertragungsraten im Gigabyte Bereich ermöglichen. Allerdings wird in diesem Frequenzbereich eine extrem hohe Signaldämpfung erwartet, weshalb hierbei wahrscheinlich nur der Nahbereich über WLAN angebunden werden kann.

Tabelle 3-2: Leistungsparameter von WLAN

WLAN	
Relevante Spezifikationen	IEEE 802.11n, IEEE 802.11ad
Reichweite	Über 50 km
Frequenzbereiche	2,4 und 5 GHz
Maximale Bitraten	
Bitrate heute	100-120 Mbit/s
Bitrate künftig	mehrere 100 Gbit/s
Kapazitätsallokation	Bitrate muss von Nutzern geteilt werden
Gründe für Nichtverfügbarkeit	Keine
Treiber für Ausbau	Geringe Preise für Systemkomponenten, weite Verbreitung von Endgeräten mit WLAN Chips, schnell realisierbare Funklösung

Zu den maßgeblichen Akteuren der kontinuierlichen Weiterentwicklung des WLAN-Standards zählen unter anderem Chiphersteller wie Intel, die bei einem Preisrückgang der Systemkomponenten, eine entsprechende Aufrüstung von Notebooks, Smartphones und anderen mobilen Endgeräten erwarten.

3.1.2 Anbieter von WLAN-Anschlüssen

Ein Großteil der WLAN-Funknetze zur Breitbandanbindung von bis dato unversorgten Gebieten sind häufig aus Eigeninitiative der Betroffenen entstanden. In manchen Orten wurden Vereine und Bürgerinitiativen gegründet, um die Kommune mit Breitband anzubinden. In anderen Orten haben kleinere Handwerks- oder IT-Unternehmen mit notwendigem Know-how solche Selbstversorgernetze aufgebaut.

³⁴ Um den Frequenzbereich mehrfach zur Datenübertragung zu nutzen, wird eine Multiple Input Multiple Output (MIMO)-Antennentechnologie verwendet.

3.1.2.1 Marktakteure

Die im Markt aktiven Akteure lassen sich grob in folgende Gruppen einteilen:

- lokale nichtkommerzielle Anbieter (Selbsthilfeinitiativen, Vereine, Bürgerinitiativen)
- kommerzielle, regional tätige Anbieter (Elektrobetriebe, IT/TK Unternehmen, etc.) und
- überregional aktive WLAN-Anbieter.

Lokale nichtkommerzielle WLAN-Angebote sind meist aus Selbsthilfeinitiativen für Breitband-Internet hervorgegangen und werden weiterhin von Vereinen und Bürgerinitiativen getragen. Vor allem auf regionaler Ebene finden sich vereinzelt nichtkommerzielle Akteure, die sich beispielsweise in Form von Vereinen organisiert haben. Ihre Herangehensweise besteht meist darin, von einem Breitbandprovider eine Standleitung an einem zentralen Punkt im Ort anzumieten und von da ein WLAN-Netz zu den Nutzern zu betreiben. Die Gesamtkapazität der Standleitung wird durch alle Nutzer geteilt und die Kosten für den Anschluss werden über den Mitgliedsbeitrag finanziert. Mit steigender Nutzeranzahl werden zusätzliche Investitionen notwendig und die Administration der Netze wird komplexer. Daher ist es nicht unüblich, dass bei wachsender Nutzerzahl die Initiativen in kommerzielle Anbieter überführt werden.

Regional tätige kommerzielle WLAN-Anbieter sind typischerweise Funktechnik-Unternehmen, IT-Netzwerk-Unternehmen oder Elektrobetriebe, die zunächst mit kleinen WLAN-Lösungen für den Eigenbedarf begonnen haben und dann lokal und ggf. auch regional expandiert haben. Beispiel hierfür ist der Betreiber cos-on-air aus dem südbadischen Schwallbach, der nach Versorgung von Nachbarn und Bekannten auf die weitere Nachfrage reagierte und sein Netz weiter ausbaute. Dieser Typus von WLAN-Anbietern ist überwiegend der Kategorie kleine und Kleinst-Unternehmen (weniger als 10 Mio. Euro Umsatz) zuzurechnen. Auch Einzelbetriebe, die als Nebenerwerbstätigkeit geführt werden, sind hier nicht untypisch. Da es sich hierbei um Unternehmen mit tendenziell wenig Eigenkapital und kaum eigener Infrastruktur handelt, sind sie auf eine Kooperation mit der Gemeinde bei der Zurverfügungstellung von potentiellen Funkstandorten angewiesen. In Frage kommen insbesondere öffentliche Gebäude mit guter Sichtverbindung zu den Gebäuden der Nutzer sowie zum nächstgelegenen Breitband-Point-of-Presence eines TK-Unternehmens.

Überregional tätige WLAN Anbieter sind eher die Ausnahme. Die Aktivität der WLAN-Anbieter ist typischerweise auf den eigenen oder auf benachbarte Landkreise beschränkt. Nur ein kleiner Teil der Anbieter ist im gesamten jeweiligen Bundesland und darüber hinaus aktiv.

3.1.2.2 Wirtschaftlichkeit

Die Bereitstellung von breitbandigem Internetzugang auf Basis von stationären Funklösungen wie WLAN erlaubt einen relativ einfachen Markteinstieg mit geringen Investitionskosten. Dies resultiert aus der vergleichsweise kostengünstigen Funkinfrastruktur, bei der kein Leitungsnetz mit teuren Grabungsarbeiten aufgebaut werden muss, der dank hoher Stückzahlen der 802.11-Standard-Technologie kostengünstig verfügbaren WLAN-Komponenten sowie der Tatsache, dass diese Funktechnologie frequenzteilungs-frei genutzt werden kann. Dies sind insgesamt gute Voraussetzungen für kleine oder mittelständische Unternehmen mit Hilfe dieser Technologie Breitbandzugänge anbieten zu können.

Die wirtschaftlichen Vorteile von Funknetzen bestehen vor allem in dünn besiedelten Gebieten des ländlichen Raums mit seiner lockeren Bebauung und hohem Einfamilienhausanteil. Da in ländlichen Gebieten zudem häufig keine Verfügbarkeit von UMTS/HSPA gegeben ist, besteht bislang kein Wettbewerb mit Mobilfunkanbietern. Dies könnte sich mit dem Ausbau der 800 MHz-LTE-Netze künftig ändern.

Von den WLAN-Netzbetreibern häufig artikuliert Hemmnisse für ihr Geschäftsmodell sind Schwierigkeiten bei der Suche der Funkstandorte (Widerstand gegen Funkmasten, Angst vor Elektrosmog), naturräumliche Hindernisse (Mittelgebirge, Küstengebiete, Zersiedelung) sowie „plötzlicher Wettbewerb“. Immer wieder sehen sich Anbieter von Funklösungen mit unerwartet auftretendem Wettbewerb durch DSL-Anbieter konfrontiert, sobald alternative Funknetze geplant bzw. entsprechende Investitionen getätigt wurden. Offenbar erleichtert die erfolgreiche Nachfragegenerierung durch die Funkanbieter den Unternehmen mit leitungs-basierten Breitbandanschlüssen ihre Wirtschaftlichkeitsschwelle auch in Gebieten zu erreichen, die kurz zuvor noch als unwirtschaftlich eingestuft wurden.

Da die Anbieter von WLAN-Breitbandanschlüssen in der Regel über keine eigenen überregionalen Breitbandnetze verfügen, kaufen sie die Zu- und Abführung des Verkehrs als Vorleistung ein. Je nach örtlicher Situation erfolgt dies per Standleitung, Richtfunkstrecken und nur in Ausnahmefällen auch per Satellit. Nach Experteneinschätzungen und Angaben von WLAN-Betreibern rechnet sich der Aufbau eines kommerziellen WLAN-Angebots ab einer Netz-Mindestgröße von 20-30 Haushalten. Eine typische Versorgungseinheit bilden 200 – 300 Haushalte.

Nach Auskunft der Experten aus den Breitbandkompetenzzentren der Länder benötigen WLAN-Lösungen nur in wenigen Ausnahmefällen eine finanzielle Breitbandförderung. Bei typischen Abschreibungszeiträumen von 2-3 Jahren und einer Mindestnachfrage von 20-30 Nutzern kann der Return of Invest relativ schnell erreicht werden, ohne dass Wirtschaftlichkeitslücken bestehen.

Eine nicht zu unterschätzende Herausforderung stellt für die WLAN-Anbieter die langfristige Aufrechterhaltung ihrer Kundenbindungen dar. Mit der weiter ansteigenden An-

forderung an die verfügbare Datenrate und vor dem Hintergrund wachsender Nutzerpenetration in einem Ort, erreichen die WLAN-Netze innerhalb weniger Jahre ihre Kapazitätsgrenzen. Es ist zu beobachten, dass die WLAN-Anbieter hierauf seltener durch einen Ausbau ihrer Funknetze reagieren, sondern in Richtung Festnetz-Aktivitäten migrieren und auf Basis der entbündelten TAL-Vorleistung DSL-Dienste anbieten.

3.1.2.3 Leistungen und Preismodelle

Über die auf WLAN-Technologie basierenden Breitbandanbindungen werden bislang ausschließlich Internetdienste bereitgestellt. Die WLAN-Anschlüsse liefern Datenraten von bis zu 10 Mbit/s im Downstream, wobei sich die meisten Angebote auf Datenraten zwischen 1 und 6 Mbit/s fokussieren. Nicht zuletzt wegen der begrenzten Gesamtkapazitäten richten sich diese Angebote eher an private Haushalte und Kleingewerbetreibende und kaum an mittelständische und große Unternehmen.

Die typischen Preismodelle der WLAN-Netzbetreiber setzen sich zusammen aus Monatsentgelt für den Dienst sowie einem Kaufpreis bzw. eine Monatsmiete für die notwendigen Antennen und Endgeräte. Die Entgelte für den Breitbanddienst liegen im Durchschnitt rund 10-12% oberhalb der gängigen Angebote für DSL-Dienste. Sie weisen jedoch eine erhebliche Varianz von rund 25 € bis 35 € pro Monat auf, die vor allem in den lokal unterschiedlichen Netzausbaukosten und Teilnehmerdichte begründet liegen.

Für die Netzkomponenten auf Nutzerseite (Antenne und Modem) sowie deren Montage werden je nach Anbieter in der Regel einmalige Entgelte zu Vertragsbeginn im Rahmen von rund 100 bis 200 € fällig. Alternativ finden sich auch Angebote, bei denen die Hardware vom Kunden nicht gekauft, sondern nur gemietet wird. Die Experten einiger Breitbandkompetenzzentren berichten zudem von Fällen, in denen die Gemeinden einen Zuschuss zur Anschaffung der Endgeräte geleistet haben, um die Anfangspenetration zu fördern und somit die Netzinvestition auf ein wirtschaftliches Niveau zu heben.

3.1.3 Bedeutung von WLAN-Lösungen

Die Entwicklung des WLAN-Standards und der Verbreitung entsprechender Komponenten in Millionen von Endgeräten und Heimnetzen wurde während des letzten Jahrzehnts eine große Erfolgsgeschichte geschrieben. Die Nutzung von WLAN zur Überbrückung der letzten Meile ist hingegen eher eine Nischenanwendung, die in unterversorgten Regionen punktuell zum Einsatz kommt.

Aufgrund der gut verfügbaren und vergleichsweise kostengünstigen Technologie hat WLAN eine enorm hohe Bedeutung für kleine Initiativen und mittelständische Anbieter, die nicht das Know-how eines großen Telekommunikationsunternehmens besitzen.

Insofern war WLAN sehr wichtig – und ist es punktuell noch immer – um kurzfristig akute Lücken in der Breitbandversorgung zu schließen.

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung von WLAN-Systemen erwarten die Experten eine eher rückläufige Bedeutung. WLAN-Netze werden mittel- bis langfristig nicht der Bitratennachfrage gerecht und werden tendenziell durch leitungsgebundene Breitbandanschlüsse ersetzt.

3.2 WiMAX - Funklösungen

3.2.1 Technische Merkmale von WiMAX-Breitbandzugängen

3.2.1.1 WiMAX-Technik und Einsatzgebiete

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) steht für Funkssysteme des IEEE 802.16-Standards. Technologisch handelt es sich hierbei um eine Weiterentwicklung von WLAN für Netze in der letzten Meile, die größere Bandbreiten ermöglicht und dabei weniger störanfällig ist. Der Fokus der WiMAX-Technologie liegt auf einer flächendeckenden Versorgung von Haushalten und Unternehmen, wobei auch eine nomadische Nutzung möglich ist. Da WiMAX für eine größere Reichweite konzipiert wurde, können nicht nur punktuelle Hotspots versorgt, sondern auch flächendeckende Versorgungen mit Breitband realisiert werden.

Weltweit sind nach Angaben des WiMAX-Forums derzeit in rund 150 Ländern 580 WiMAX-Netzwerke in Betrieb bzw. in Planung. Räumliche Schwerpunkte der WiMAX-Aktivitäten sind Lateinamerika und Afrika und hier insbesondere Gebiete mit mangelhafter Festnetzinfrastruktur.³⁵ In Europa dominieren hingegen die Breitband-Mobilfunkstandards UMTS/HSPA, während WiMAX eher eine Nischentechnologie darstellt.

Dennoch werden auch in Deutschland stationäre, portable und mobile Breitbandzugangsdienste auf Basis der WiMAX-Technologie angeboten. Die stationäre Anbindung der Nutzer an die WiMAX-Netze erfolgt über Outdoor- oder Indoor-Antennen. Portable Lösungen für Notebooks nutzen WiMAX-Funkkarten.

3.2.1.2 WiMAX-Nutzung: Frequenzbereiche und regulatorische Rahmenbedingungen

In Deutschland stehen für die WiMAX-Nutzung die zuteilungspflichtigen 3,6-GHz Frequenzen (3,4 – 3,6 GHz Frequenzbandes) sowie die zuteilungsfreien Frequenzbänder 2,4 GHz und 5 GHz zur Verfügung. Das 2,4 GHz-Band wird jedoch von zahlreichen

³⁵ Vgl. WiMAX Forum (2011).

weiteren Anwendungen (WLAN, Mikrowellenherde, Funkfernbedienungen, etc.) genutzt.

Die Vergabe der Lizenzen im Bereich 3,4 bis 3,6 GHz für den Zugang zu den Broadband Wireless Access Frequenzen (BWA) erfolgte im Dezember 2006 im Versteigerungsverfahren durch die Bundesnetzagentur. Die Vergabe der Frequenzen erfolgte aufgeteilt in vier Frequenzpakete und 28 Regionen. Das Verfahren hatte drei Unternehmen Clearwire Europe, Inquam Broadband und Deutsche Breitbanddienste (DBD) mit bundesweiten Zuteilungen sowie zwei weiteren Unternehmen Televersa mit regionalen Zuteilungen in Niederbayern und der Oberpfalz sowie MGM Productions Group mit einer Zuteilung in Oberbayern zum Ergebnis. Der Erlös dieser BWA-Frequenzversteigerung lag bei insgesamt 56 Mio. Euro.³⁶

Die Vergabe der Frequenzen war mit Ausbaupflichtungen für die Zuteilungsinhaber verbunden. Bundesweit sollten bis Ende 2009 in jedem Versorgungsgebiet 15% der Gemeinden mittels dieser Frequenzen versorgt werden. Bis Ende 2011 verlangt die Vergabeauflage einen Anteil von 25%. Televersa gab bereits Anfang 2009 seine Zuteilungen zurück, da aufgrund einer mangelnden Nachfrage der Aufbau eines WiMAX-Netzes nicht wirtschaftlich erschien.³⁷ Die anderen Unternehmen machten zum Teil von der Möglichkeit Gebrauch, die BWA-Frequenzzuteilungen an Dritte weiterzureichen. Inwieweit die 25%ige Ausbaupflichtung zum Jahresende 2011 erfüllt ist, wird gegenwärtig von der Bundesnetzagentur geprüft.

Mitte 2008 entschied die Bundesnetzagentur aufgrund einer ausbleibenden Nachfrage nach verbliebenen Frequenzpaketen, zukünftig die weiteren 3,5 GHz-Frequenzen nach dem Prioritätsprinzip örtlich zu vergeben. Mit diesem vereinfachten Vergabeverfahren sollen auch kleinere Anbieter die Möglichkeit erhalten, lokale WiMAX Lösungen anzubieten.³⁸

Der Betrieb von lokalen WiMAX-Lösungen ist alternativ auch in den zuteilungsfreien 2,4 und 5,7 GHz Frequenzen möglich. Die Verwendung der unlicenzierten Frequenzbänder geht jedoch mit einer niedrigeren maximalen Sendeleistung einher und die Gefahr von Störungen durch andere Funktechnologien wie WLAN ist relativ hoch.³⁹

Neben dem bestehenden 3,4 bis 3,6 GHz-Frequenzband hat die Bundesnetzagentur auch das Spektrum 3,6 bis 3,8 GHz für Broadband Wireless Access umgewidmet. Bis jetzt erfolgte jedoch noch kein Vergabeverfahren an potenzielle Anbieter. Aus den veröffentlichten Kommentaren der Unternehmen an die Bundesnetzagentur lässt sich feststellen, dass auch hier nur ein geringes Interesse an diesem Frequenzband besteht.

³⁶ Vgl. Pressemitteilung der Bundesnetzagentur vom 15. Dezember 2006.

³⁷ Vgl. „Televersa gibt Wimax-Lizenz zurück“, Meldung auf heise.de vom 29. Januar 2009.

³⁸ Vgl. Bundesnetzagentur (2008), S. 1.

³⁹ Im 2,4 GHz-Band darf beispielsweise mit einer Sendeleistung von maximal 100 mWatt übertragen werden. Dies reduziert die Reichweite von WiMAX sehr stark.

3.2.1.3 WiMAX-Leistungsfähigkeit: Sendeleistungen und Reichweiten

Die bedeutendsten Varianten des WiMAX-Standards sind IEEE 806.16d für stationäre und portable Anbindungen sowie der jüngere IEEE 802.16e, der auch ein Handover zwischen den Funkzellen beinhaltet und sich somit auch für mobile Anwendungen eignet.⁴⁰ Angesichts der gut ausgebauten Mobilfunknetze spielen mobile WiMAX-Dienste in Deutschland auf absehbare Zeit keine Rolle. Das Anwendungsszenario für die WiMAX-Technik konzentriert sich hierzulande daher auf den drahtlosen stationären Breitbandzugang.

Die Reichweite bei IEEE 809.16d-Netzen im 3,5 GHz-Band beträgt typischerweise bis zu 15 km (vgl. Tabelle 3-3). Voraussetzung hierfür ist eine Sichtverbindung zwischen Basisstation und Antenne des Nutzers.⁴¹ Um längere Strecken zu überbrücken, ist eine Verkettung mehrerer Basisstationen, bzw. Repeater notwendig. Sollen WiMAX-Dienste mit Innenantennen genutzt werden, beträgt die Reichweite bei IEEE 809.16d maximal 5 km.

Tabelle 3-3: Aktuelle Leistungsparameter von WiMAX-Funknetzen

Spezifikation	IEEE802.16a IEEE802.16REVd IEEE802.16-2004 (WiMAX)	IEEE802.16e (WiMAX)
Produkte	Seit 2005	Ab 2006
max. Datenrate	Bis zu 75 Mbit/s in 20-MHz-Kanälen	Bis zu 15 Mbit/s in 5-MHz-Kanälen
Betriebsweise	Je nach Einsatzszenario Betrieb mit und ohne Sichtverbindung, mit und ohne fester Außenantenne; nomadische Nutzung	Keine Sichtverbindung notwendig; mobile Nutzung
max. Reichweite	Theoretisch bis zu 50 km, typisch 15 km mit Außenantenne, bis zu 5 km mit Innenantenne	Bis zu 5 km, typisch 1,5 km
Frequenzbereich	2 bis 11 GHz	0,7 bis 6 GHz
Bandbreiten	In 250 KHz-Stufen skalierbar von 1,5 bis 20 MHz (lizenzabhängig)	1,75 - 3,5 - 5 - 5,5 - 7 - 10 - 20 MHz

Mit IEEE 806.16d sind nach Angaben der Hersteller theoretisch Bandbreiten von bis zu 75 Mbit/s im Downstream und bis zu 35 Mbit/s im Upstream erreichbar.⁴² Unter Laborbedingungen ist eine drahtlose Datenübertragung über Distanzen von bis zu 50 km möglich. Mit Blick auf die erzielbaren Datenraten ist zu berücksichtigen, dass die theo-

⁴⁰ Bereits 2008 wurden Mobiltelefone gemäß IEEE 802.16e-Standard vorgestellt. Sie konnten sich aber bislang nicht am Markt behaupten und werden derzeit nicht angeboten.

⁴¹ Die Herstellung von Sichtkontakt ist hierbei notwendige Voraussetzung.

⁴² Vgl. <http://WiMAX.com/education/faq/faq38> (Stand: 19.1.2011)

retische Leistungsfähigkeit von WiMAX zwar über der von WLAN liegt, aber auch bei WiMAX fallen Bruttodaten und Nettodatenraten auseinander und auch hier wird die Gesamtbandbreite unter allen Nutzern aufgeteilt, so dass im Durchschnitt 1-2 Mbit/s und lediglich vereinzelt 10 Mbit/s dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden können.

Die Weiterentwicklung des WiMAX-Standards konzentriert sich vor allem auf die mobile Variante. In der künftigen Version IEEE 802.16m (bisweilen auch WiMAX-2 genannt) sollen mit Hilfe von MIMO-Antennen Reichweiten von rund 50 km erzielt werden. In der künftigen Praxis sollen zudem mit IEEE 802.16m Übertragungen von bis zu 120 Mbit/s möglich werden (vgl. Tabelle 3-4).⁴³ Technologisch betrachtet liegen WiMAX und LTE nicht sehr weit auseinander. In beide Entwicklungen fließen jeweils die neuesten Funktechnologien ein.

Tabelle 3-4: Zukünftige Leistungsparameter von WiMAX-Funknetzen

WiMAX	
Relevante Spezifikationen	802.16e, 802.16m
Reichweite	rund 50 km
Frequenzbereiche	3,4 – 3,8 GHz,
Maximale Bitraten	
Bitrate heute	75/35 Mbit/s (Down-/Upstream)
Bitrate künftig	Über 120 Mbit/s
Kapazitätsallokation	Bitrate muss von benachbarten Nutzern geteilt werden
Gründe für Nichtverfügbarkeit	LTE-Netze im 800 MHz-Spektrum stehen in Deutschland früher zur Verfügung. 3,5 GHz-Spektrum erfordert ein dichtes Netz an Basisstationen.
Treiber für Ausbau	Kontaktaufnahme von Kommunen zum Netzbetreiber; Bündelung von Nachfrage; Bereitstellung von Funkstandorten durch die Gemeinde

3.2.1.4 Zur Konkurrenz von WiMAX und LTE

Da sowohl bei WiMAX/IEEE 802.16 als auch bei LTE die gleichen Basistechnologien wie das OFDM-Verfahren zur Signalmodulation oder MIMO-Antennen zum Einsatz kommen und entsprechend über ähnliche Leistungsfähigkeiten verfügen, stehen die beiden Standardfamilien in enger Konkurrenz. Während WiMAX eher von Akteuren aus der IT-Welt, insbesondere von Intel und weiteren Herstellern von Mikroprozessoren, vorangetrieben wird, stehen hinter der Entwicklung von LTE die Telekommunikationsunternehmen weltweit.

⁴³ Vgl. Born (2009), S. 113.

Die Mobilfunknetzbetreiber haben sich international auf den Bau von LTE-Netzen verständigt und die deutschen haben hiermit bereits angefangen. Es ist bereits absehbar, dass künftig wesentlich mehr Netzkomponenten und Endgeräte nach dem LTE-Standard produziert und verfügbar werden, als nach dem WiMAX-Standard. Die Strategie der Hersteller von Mikroprozessoren, WiMAX ähnlich flächendeckend wie WLAN in die mobilen Computer einzuführen, ist bislang nicht aufgegangen. Experten erwarten daher, dass sich das Zeitfenster für WiMAX als Massenmarkttechnologie bereits wieder zu schließen beginnt.

Bereits im März 2010 hatte Cisco Systems, der weltweit größte Netzwerkausrüster angekündigt, in Zukunft kein WiMAX-Equipment mehr zu entwickeln und herzustellen.⁴⁴ Und auch der Chiphersteller Intel hat im Juli 2010 seine eigene WiMAX-Entwicklungsstätte in Taiwan aufgegeben und verstärkte seine LTE-Aktivitäten durch den Kauf der Infineon Kommunikationssparte sowie des LTE-Spezialisten Blue Wonder.⁴⁵ Im Ausland ist zu beobachten, dass WiMAX-Netzbetreiber zu LTE umschwenken. Beobachtbar ist derzeit weltweit nicht nur eine klare Dominanz von WiMAX-Konkurrenztechnologien beim Aufbau neuer Netze, sondern auch die Umrüstung bestehender WiMAX-Netze.⁴⁶ Für WiMAX-Netzbetreiber stellt sich daher nun verstärkt die Frage eines Technologiewechsels. Neuere WiMAX-Sendeanlagen können relativ einfach auf LTE umgerüstet werden, allerdings setzt eine derartige Umstellung auch eine entsprechende Ausstattung der Nutzer mit kompatiblen Endgeräten voraus.

Die Koexistenz beider Technologien kann im Einzelfall einen schrittweisen Übergang ermöglichen, zumal die Nutzer, die bereits WiMAX-Endgeräte besitzen, diese weiter nutzen können und Neukunden sich gleichzeitig für das neuere und gegebenenfalls schnellere LTE entscheiden können. Voraussetzung dafür ist, dass das Unternehmen auch ein ausreichendes Frequenzspektrum besitzt und den teuren Simultanbetrieb finanzieren kann. Auf längere Sicht wird sich das Unternehmen jedoch für eine Technologie entscheiden müssen. Der zukünftige Einsatz von WiMAX Lösungen wird damit stark von der Ausbreitung anderer Zugangstechnologien abhängig sein.

⁴⁴ Vgl. „Cisco entwickelt keine Wimax-Basisstationen mehr“, Meldung auf heise.de vom 10.03.2010.

⁴⁵ Vgl. <http://www.lte-anbieter.info/lte-news/unterstutzt-intel-weiter-WiMAX>, sowie <http://www.vodafone-lte.de/news/617-intel-kauft-infineon-kommunikationssparte-umts-lte-komponenten> und <http://winfuture.de/news,59252.html> (Stand: 19.1.2011).

⁴⁶ Das russische Mobilfunkunternehmen Yota, das seit 2008 sehr erfolgreich WiMAX-Netze betreibt, hat bereits die ersten LTE-Netze etabliert und setzt zunächst auf Koexistenz von WiMAX und LTE, vgl. <http://mobile.engadget.com/2010/05/24/russias-yota-pulls-the-trigger-plans-migration-from-WiMAX-to-l/> (Stand: 19.1.2011).

3.2.2 Anbieter von WiMAX-Anschlüssen

3.2.2.1 Anbieter von WiMAX-Anschlüssen auf Basis der BWA-Frequenzen

Als im Jahr 2006 die Vergabe der BWA-Frequenzen im 3,5 GHz-Band erfolgte, war die LTE Entwicklung noch nicht absehbar und mit WiMAX stand eine technologisch attraktive und vielversprechende Technologie in Aussicht, auf deren Basis es – zumindest für die fünf Bieterunternehmen – attraktiv erschien, eine alternative Breitbandlösung zu den leitungsgebundenen Zugangsformen anzubieten. Clearwire Europe S.á.r.l., Inquam Broadband GmbH und Deutsche Breitband Dienste GmbH hatten jeweils deutschlandweite Frequenzpakete ersteigert, die Televersa Online GmbH und die MGM Productions Group S.R.L. hatten Frequenzpakete für einzelne Regionen erworben.⁴⁷

Der regionale Telekommunikationsanbieter Televersa Online GmbH war das erste Unternehmen, das BWA-Zuteilung für Niederbayern und der Oberpfalz wieder zurückgegeben hat. Televersa sah sich aufgrund einer zu geringen Nachfrage nicht in der Lage, den auferlegten Ausbaupflichtungen nachzukommen. Televersa bietet weiterhin regional in Ostbayern Breitband-Internetzugänge an. Das Unternehmen hat bislang verschiedene Ortschaften mit sog. Pre-WiMAX-Lösungen ausgebaut, die zuteilungsfreie Frequenzen nutzen und breitbandige stationäre Funkanbindungen ermöglichen.

Das Unternehmen MGM Productions Group hat in der benachbarten Region Oberbayern 3,5 GHz-Frequenzen ersteigert. Es ist allerdings noch nicht mit einem eigenen Angebot am Markt präsent und auch ein eigener Netzausbau ist nicht ersichtlich.

Die Deutsche Breitbanddienste GmbH (DBD) ist eines der drei Unternehmen mit bundesweiten BWA-Frequenzzuteilungen und als einziges dieser drei mit eigenen WiMAX-Netzen und -Diensten aktiv. Die DBD vermarktet ihr WiMAX-Netz sowohl für Privat- als auch für Geschäftskunden und vertreibt ihre Produkte unter dem Namen MAXXonair in städtischen und unter DSLonair in ländlichen Räumen. Die DBD-Netze finden sich schwerpunktmäßig in Ostdeutschland, wie beispielsweise in Berlin, Brandenburg, den Ballungsraum Leipzig, Dresden, Coswig, Weinböhla, Dessau, Halle und Magdeburg. Im Westen Deutschlands finden sich DBD-Netze in Wuppertal, Heidelberg und im niedersächsischen Barsinghausen/Springe. Während der letzten zwei Jahre sind keine wesentlichen weiteren Netzausbauaktivitäten zu erkennen gewesen. Das Unternehmen scheint sich mittlerweile auf die Vermarktung der Dienste in den bestehenden Regionen zu beschränken.

Die Leistungsfähigkeit von DBD-Produkten liegen bei bis zu 2 Mbit/s im Down- und 192 kbit/s im Upstream. DBD verfolgt seine Zweimarkenstrategie, um die Preise zu differenzieren und an die unterschiedliche Wettbewerbs- und Kostensituationen von städtischen und ländlichen Funknetzen anzupassen. Bei den MAXXonair-Produkten für städ-

⁴⁷ Vgl. Pressemitteilung der Bundesnetzagentur vom 15. Dezember 2006.

tische DBD-Netze wird eine Datenflatrate für monatlich 19,98 € sowie eine Daten- und Telefonflatrate für monatlich 29,99 € angeboten. In den ländlichen DBD-Netzen werden für die DSLonair-Dienste für eine Datenflatrate 34,99 € pro Monat sowie für eine Daten- und Telefonflatrate 44,99 € pro Monat fällig.⁴⁸ Im März 2009 kommunizierte das Unternehmen, die Zahl der Kunden liege in einem „höheren fünfstelligen Bereich“, bis Ende des Jahres 2009 sollten noch 2.000 bis 3.000 Kunden dazukommen.⁴⁹

Die Inquam Broadband GmbH – ein Joint Venture des WiMAX-Entwicklers NextWave Wireless mit Finanzinvestoren und der Omnia Holdings Limited – ist bisher trotz bundesweiter Frequenzuteilungen nicht selbst in Deutschland als Anbieter aktiv geworden und hat noch keinen erkennbaren Netzausbau betrieben. Allerdings hat es seine Frequenzen vereinzelt regionalen Anbietern wie NeckarCom und VSE Net zur Verfügung gestellt.

Auch das US-Unternehmen Clearwire Europe S.á.r.l. ist nicht mit einem eigenen Angebot im deutschen Breitbandmarkt aktiv geworden, hat jedoch seine Frequenzen regionalen Marktakteuren zur Verfügung gestellt. Clearwire ist WiMAX Netzbetreiber in den USA sowie in Irland, Belgien, Spanien und Dänemark. Zu den größten Investoren bei Clearwire gehört Intel, das mit diesem Engagement den WiMAX-Standard zusätzlich zu unterstützen versuchte. Durch die Partnerschaft mit dem Prozessorenhersteller war Clearwire ursprünglich an den Einsatz von WiMAX gebunden. Diese Vertragsbedingungen sind nun neu verhandelt und geändert worden. Die Änderung geben beiden Unternehmen mehr technische Flexibilität. Clearwire prüft derzeit, ob und wie ein Wechsel bei seinen Netzen in den oben genannten Ländern zu LTE kostengünstig vollzogen werden könnte.⁵⁰

Die NeckarCom Telekommunikation GmbH, ein Tochterunternehmen des Energieversorgers EnBW AG, betreibt auf Basis von Inquam Broadband-Frequenzen seit 2007 ein kommerzielles WiMAX-Netz im 3,5-GHz-Bereich und bietet ihr Dienstangebot gegenüber Geschäfts- und Privatkunden in einigen ländlichen Gemeinden Württembergs an.⁵¹ NeckarCom bietet Breitbandzugänge über WiMAX in zwei Varianten an. Im Produkt „NeckarCom Web“ wird eine Internetflatrate für eine monatliche Gebühr von 34,90 € angeboten. Es werden maximal 2 Mbit/s im Down- und 384 kbit/s im Upstream angeboten. Beim Produkt „NeckarCom Web&Phone“ wird zusätzlich noch ein Festnetzanschluss bereitgestellt. Hierbei belaufen sich die monatlichen Gebühren auf 44,90 €. Die Bandbreite im Downstream liegt bei 3 Mbit/s, während im Upstream ebenfalls 384 kbit/s

⁴⁸ Im Rahmen von zeitlich befristeten Aktionen wurden mitunter Rabatte von monatlich 10 € während der ersten 12 Monate Vertragslaufzeit eingeräumt. Dieses Preismodell wurden bereits Ende 2009 als Pressemitteilungen auf der DBD-Website kommuniziert. Seither wurden keine neueren Preise veröffentlicht. Vgl. <http://www.dbd-breitband.de/dbd/presseportal/pressemitteilungen> (Stand: 9.2.2011).

⁴⁹ Vgl. <http://www.searchnetworking.de/themenbereiche/drahtlose-netzwerke/standards/articles/174873/>.

⁵⁰ Vgl. „Clearwire verhandelt den Vertrag mit Intel neu“, Meldung auf Golem.de vom 6.5.2010.

⁵¹ Das Ausbaugbiet des NeckarCom Netzes umfasst die Regionen Ulm und Oberschwaben, Aidlingen, Lehenweiler, Inzigkofen, Scheer-Heudorf, Ditzingen Heimerdingen und Sauldorf.

realisiert werden können. Beide Produkte beinhalten einmalige Bereitstellungsgebühren von 99,- €. Die Mindestlaufzeit beträgt immer 24 Monate.⁵²

Ein weiterer regionaler Anbieter von WiMAX-Breitbandlösungen ist VSE Net. Der Anbieter VSE Net arbeitet ebenfalls mit Inquam-Lizenzen. VSE erprobt seit 2008 Netze auf Basis des mobilen WiMAX-Standards IEEE 802.16e. Bislang wurden jedoch noch keine kommerziellen Angebote gestartet.⁵³

Insgesamt haben sich die mit der Vergabe der 3,5 GHz-BWA-Frequenzen im Jahr 2006 verbundenen hohen Erwartungen von bundesweit verfügbaren WiMAX-Netzen nicht erfüllt. Statt dessen bleibt ihre Nutzung auf wenige Regionen und im Wesentlichen durch die Unternehmen DBD, NeckarCom und VSE Net beschränkt.

3.2.2.2 Anbieter von WiMAX-Anschlüssen auf zuteilungsfreien Frequenzen

Mehrere regional auftretende und zumeist kleinere Provider betreiben WiMAX-Netze auf Basis von zuteilungsfreiem Frequenzspektrum. Zu den wichtigsten Vertretern dieser Gruppe, die die Frequenzbänder 5,4 bis 5,8 GHz sowie das 2,4 GHz-Band nutzen, zählen die mvox AG sowie die dasNETZ AG.

Die mvox AG bietet Breitbandanschlüsse in ca. 150 Orten in Südost-Bayern, Hessen und Schleswig-Holstein an. Sie nutzt hierfür die allgemein zugeteilten Frequenzbänder zwischen 5,4 und 5,8 GHz. Eine Datenflatrate mit ab 1 Mbit/s im Down- und 256 kbit/s im Upstream wird für monatlich 39,90 € angeboten. Hinzu kommt eine einmalige Bereitstellungsgebühr von 139,- €. Eine Telefonflatrate wird für zusätzlich 9,90 € pro Monat angeboten.⁵⁴

Der Anbieter „dasNETZ AG“ richtet Funk-Breitbandzugänge insbesondere in den unterversorgten Gebieten von Nordrhein-Westfalen ein. Hierfür setzt dasNETZ auf Techniken im WiMAX-Standard 802.16-2004 und dem mobilen Standard 802.16-e (-2005). In der Regel wird das 2,4 GHz-Frequenzband genutzt. Für einen Breitbandzugang mit 1 Mbit/s im Down- und 128 kbit/s im Upstream und Datenflatrate werden monatlich 39,95 € fällig. In Teilen des Netzes sind auch Datenraten von bis zu 3072 kbit/s im Down- und 512 kbit/s im Upstream verfügbar, für die dann monatlich 69,95 € berechnet werden. Um auch Geschäftskunden mit ihren höheren Anforderungen zu bedienen, betreibt dasNETZ zudem Richtfunkverbindungen im 5 GHz-Band mit symmetrischen Datenraten bis 10 Mbit/s.⁵⁵

Bei einigen weiteren im Markt anzutreffenden WiMAX-Angeboten handelt es sich überwiegend um Lösungen im Bereich von nicht standardisierten Pre-WiMAX-Systemen

⁵² <http://www.neckarcom.de/privatkunden/index.jsp> (Stand: 18.1.2011).

⁵³ Vgl. „Wimax-Netz im Saarland soll DSL-freie Gebiete versorgen“, Meldung auf heise.de vom 27.8.2007.

⁵⁴ Vgl. <http://www.mvox.de/de/mvoxDSL/tarife/> (Stand: 18.1.2011).

⁵⁵ Vgl. <http://www.dasnetz.ag/Produkte.22.0.html> (Stand: 8.2.2011).

(wie z.B. DSL-over-AIR) oder um Kombinationslösungen von WLAN/WiMAX-Systemen. Insbesondere bei kleineren regionalen Anbietern ist meist keine trennscharfe Abgrenzung von WiMAX und WLAN-Anbietern möglich.⁵⁶ Dies deckt sich mit den Einschätzungen der befragten Breitbandexperten, denen durchweg in ihren jeweiligen Bundesländern keine WiMAX-Anbieter bzw. umfangreichere WiMAX-Lösungen bekannt sind.

3.2.2.3 Preismodelle und Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, dass ein erfolgreiches Geschäftsmodell für WiMAX eine Bevölkerungsdichte voraussetzt, die eigentlich nur in Städten und Gemeinden mit geschlossener Bebauung gegeben ist.⁵⁷ Entsprechend finden sich die meisten WiMAX-Netze, beispielsweise der DBD, in Ballungszentren und Städten. Einen WiMAX-Metropot, bei dem eine zentrale Antenne alle Nutzer in einer Stadt mit Breitbandinternet versorgen kann, gibt es allerdings nicht. Vielmehr ist es zum Aufbau eines flächendeckenden WiMAX-Netzes erforderlich, eine Stadt mit mehreren WiMAX-Basisstationen zu versehen. Soweit Frequenzen im 3,5 GHz-Bereich genutzt werden, ist zu berücksichtigen, dass die Gebäude die Signale stark dämpfen, so dass Außenantennen in Sichtverbindung zur Basisstation erforderlich werden.

Die Kosten für die Sendestation liegen je nach Auslegung und Anzahl der Sektoren im Bereich von 50.000-100.000 €. Hinzu kommen die Ausgaben für die Netzanbindung, die je nach Randbedingungen bei 20.000 € und darüber liegen, sowie die Kosten für den Sendemast. Dabei ist eine professionelle Funkplanung durch Spezialisten unabdingbar und der eigentliche Aufbau der Funkinfrastruktur kann nur durch Fachkräfte erfolgen. Insgesamt liegen die Investitionskosten je Nutzer ohne Funkmodem bei 300-500 €.

Bei WiMAX versorgt eine Basisstation mit einer Rundstrahlantenne an einem erhöhten Standort typischerweise 20-100 Endkunden, die mittels kleiner Außen- oder Zimmerantenne am Fenster mit der Basisstation verbunden sind. Die Nutzer einer Zelle müssen sich die darin verfügbare Bandbreite teilen.

Die hohen Investitionskosten, die Erfordernis einer Frequenzuteilung und die stark fallenden Preise für Breitbandanschlüsse schaffen hohe Hürden für einen wirtschaftlichen Betrieb von WiMAX-Netzen. Eine der gewichtigsten Vorteile von WiMAX-Lösungen ist – eine gute Kooperation zwischen Kommune und Anbieter, sowie keine Widerstände gegen Funknetze vorausgesetzt – die Möglichkeit eines schnellen Aufbaus des Netzes.

⁵⁶ Vgl. hierzu auch den Überblick über kleine Anbieter funkbasierter Breitbandanschlüsse auf der Internetpräsenz „Schmalbandatlas“. Hier werden WLAN- und WiMAX-basierte Lösungen nicht getrennt ausgewiesen. http://www.schmalbandatlas.de/DSL_via_Funk/ (Stand: 8.2.2011).

⁵⁷ Vgl. Müller et al. (2005), S. 16.

3.2.3 Bedeutung von WiMAX-Lösungen

Im Vergleich zu den zahlreichen kleinen WLAN-Netzen sind stationäre Funklösungen auf WiMAX-Basis in Deutschland weit seltener anzutreffen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in vielen Fällen eine klare Abgrenzung zwischen WiMAX und WLAN-Anbietern bzw. -Netzen nicht möglich ist, da Kombinationslösungen oder nicht-standardkonforme Pre-WiMAX-Systeme zum Einsatz kommen. Insgesamt geht man von weniger als 100.000 WiMAX-Usern bzw. lediglich 643 versorgten Gemeinden (mind. 50% Versorgungsgrad) aus.⁵⁸

Mit Blick auf die im Markt befindlichen Angebote stellt WiMAX aus Nutzerperspektive im Vergleich mit anderen Zugangstechniken keine sehr attraktive Alternative dar. Die Angebote für einen WiMAX-Breitbandzugang, die monatlich 30-40 € und zusätzlich für die Installation einmalig bis zu 200 € kosten und dabei oftmals lediglich Datenraten von 1-2 Mbit/s liefern, liegen deutlich über den wettbewerblichen Angeboten der Festnetz- als auch der Mobilfunknetzbetreiber. Somit sind WiMAX-Dienste an Orten mit Breitbandalternativen wenig attraktiv.

Ein weiterer Ausbau der WiMAX-Netze ist gegenwärtig nicht zu beobachten. Nach Einschätzung der Experten haben die Anbieter erkannt, dass der Betrieb von WiMAX-Netzen auf Basis von 3,5 GHz- und 5 GHz-Frequenzen weder in ländlichen Regionen mit nur wenigen potentiellen Kunden noch in Ballungsräumen mit starkem Wettbewerb wirtschaftlich ist. Spätestens die flächendeckenden Ausbauaktivitäten der Mobilfunknetzbetreiber werden von Experten als das Ende für rentable WiMAX-Businesspläne betrachtet. Es ist daher davon auszugehen, dass WiMAX in Deutschland allenfalls eine Nischentechnologie für regionale Angebote bleibt und sich nicht, wie in anderen Kontinenten, weiter in größerem Umfang durchsetzen wird.

3.3 Weitere stationäre Funklösungen

Neben den beiden standardisierten Technologien WLAN und WiMAX kommen in Deutschland noch weitere standardisierte und herstellerproprietäre Technologien zum Einsatz, um lokale Funknetze für den Breitbandzugang zu betreiben.

3.3.1 UMTS-TDD

Bei UMTS-TDD handelt es sich um eine Funktechnologie für den ortsfesten Breitbandzugang, die im Zusammenhang mit dem 3G-Mobilfunkstandard entwickelt wurde. Sie basiert auf dem Time Division Duplex-Verfahren, bei dem der Down- und Upstream auf den gleichen Frequenzen in unterschiedlichen Zeitschlitzten übertragen werden. Hierin unterscheidet sich UMTS-TDD vom UMTS-FDD (Frequency Division Duplex), wie es beim Mobilfunk eingesetzt wird. Bei UMTS-TDD wird der Frequenzträger in 15 Zeit-

⁵⁸ Vgl. Wilfert (2009), S. 16.

schlitze unterteilt, die jeweils 10 ms betragen. Bei weiter Entfernung zur Basisstation oder bei Bewegung des Senders können jedoch Timingprobleme auftreten. Die maximale Übertragungskapazität beträgt im Down- und Upstream bis zu 16 Mbit/s.

Zum Einsatz kommt UMTS-TDD in Deutschland seit dem Jahr 2004 in den Netzen der Airdata AG auf Basis des 2,6 GHz-Frequenzbandes. Entgegen den ursprünglichen Ankündigungen, Netze in bis zu 60 Städten aufzubauen, wurden lediglich drei Netze in Berlin, Stuttgart und Bensberg betrieben.⁵⁹ Die Frequenzzuteilungen von Airdata waren bis zum 31.12.2007 befristet und wurden im Rahmen der Frequenzauktion 2010 neu vergeben.

Ein weiterer Einsatz des UMTS-TDD-Standards zum Angebot von Breitbandzugängen ist in Deutschland nicht bekannt.

3.3.2 Flash-OFDM

Bei Flash OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Handoff – Orthogonal Frequency Division Multiplexing) handelt es sich um einen proprietären Standard des Herstellers Qualcomm für ein zelluläres Mobilfunksystem. Flash OFDM erlaubt einen handover zwischen den Basisstationen und eignet sich somit zum mobilen Einsatz. Die Technologie ist für den Betrieb auf dem 450 MHz-Frequenzband ausgelegt. Flash OFDM-Netze in dieser Frequenz haben eine vergleichsweise hohe Reichweite. Die maximalen Datenraten liegen jedoch bei lediglich 2,5 Mbit/s im Downstream und ca. 800 kbit/s im Upstream.

Die Deutsche Bahn nutzt Flash-OFDM-Netze in Kombination mit UMTS-Mobilfunknetzen, um die Verbindung zu ihren ICE-Zügen herzustellen. Hierüber werden sowohl Daten für den Zugbetrieb transportiert als auch die Zuführung zu den WLAN-Hotspots für die Passagiere in den Zügen realisiert.⁶⁰

3.3.3 CDMA

Das Code Division Multiple Access Verfahren (CDMA) zum drahtlosen Breitbandzugang nutzt sowohl das Zeit- als auch das Frequenzmultiplex-Verfahren. Dies bietet den Vorteil gegenüber nur Zeit- oder nur Frequenzmultiplexverfahren, dass mehr Teilnehmer gleichzeitig auf das Netz zugreifen können. CDMA gibt es in einer von der ITU standardisierten Version CDMA2000.

Ein Netz in CDMA-Technologie wird gegenwärtig vom Telekommunikationsanbieter NetCologne im Stadtgebiet von Köln auf Basis von 450 MHz-Frequenzen betrieben. Mit dieser niedrigen Frequenz kann eine relativ große Flächenabdeckung sowie eine gute Gebäudedurchdringung erzielt werden.

⁵⁹ Vgl. „DSL zum Mitnehmen“ startet in Berlin“, Meldung auf heise.de vom 15.9.2004.

⁶⁰ Vgl. Laudan, 2009, S. 12.

Bei der Vermarktung ihres CDMA-Netzes fokussiert NetCologne vor allem auf Studenten sowie Taxifahrer. Der angebotene CDMA-Surfstick funktioniert ausschließlich innerhalb des eigenen Netzes und kann nicht in anderen Regionen genutzt werden. Angeboten wird der Dienst in zwei Tarifvarianten: monatlich 10 € sowie Einmalkosten von 99 € bei 12-monatiger Vertragslaufzeit oder monatlich 15 € ohne Einmalkosten und zwei Jahre Laufzeit. Die Datenraten liegen bei bis zu 2 Mbit/s im Down- und 1,8 Mbit/s im Upstream. Erreicht der Nutzer ein monatliches Datenvolumen von mehr als 5 Gigabyte, wird die Geschwindigkeit für den Rest des Monats begrenzt.⁶¹

3.3.4 Canopy

Ein Beispiel für einen proprietären Pre-WiMAX-Standard ist das Funksystem „Canopy“ des Herstellers Motorola. Canopy wurde als kostengünstige Funktechnik für die letzte Meile konzipiert, um Privat- und Geschäftskunden in unterversorgten Regionen Zugang zu Breitband zu bieten. Canopy kann in unterschiedlichen Frequenz-Bändern betrieben werden, u. a. auch in den zuteilungsfreien 2,4 GHz- und 5 GHz-Bändern. Canopy kann sowohl als Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung in Gemeinden als auch als Richtfunkverbindung zu Unternehmen eingesetzt werden. Im Fall des Mehrpunktbetriebs werden theoretische Übertragungsraten bis zu 14 Mbit/s und im Richtfunkbetrieb bis zu 33 Mbit/s erreicht.

Breitbandangebote auf Basis der Canopy-Lösung werden in Teilen Hessens und Rheinland-Pfalz vom Netzbetreiber Julycom angeboten. Julycom bietet in seinen Netzen Breitbandanschlüsse mit bis zu 3 Mbit/s im Down- und 512 kbit/s im Upstream für monatlich 36 € sowie mit Einmalkosten in Höhe von 334 €.

3.4 Fazit lokale und regionale Funknetze

Auch wenn die technischen Hintergründe lokaler Funknetze zum Teil sehr variantenreich und unterschiedlich sind – ob WLAN, WiMAX oder proprietäre Standards, ob mit Sichtverbindung und Außenantenne oder mit Modems, die auch aus geschlossenen Räumen Verbindung haben – so sind die angebotenen Breitbanddienste doch erstaunlich ähnlich. In der Regel werden Breitbandzugänge mit durchschnittlich bis zu 2 Mbit/s zu monatlichen Preisen etwa 10-20% oberhalb des Preisniveaus im Festnetz angeboten. In Einzelfällen können auch bis zu 10 Mbit/s gebucht werden, allerdings mit entsprechend hohen Aufpreisen. Die Einmalkosten zu Beginn der Nutzung liegen deutlich höher als bei Festnetzangeboten und können in manchen Fällen mehrere hundert Euro betragen. Die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Anschlusses in lokalen Funknetzen ist ähnlich wie beim Mobilfunk stark abhängig von der jeweiligen Auslastungssituation des Netzes vor Ort zum Zeitpunkt der Nutzung.

⁶¹ Vgl. „Netcologne startet CDMA-Funknetz“, Meldung auf heise.de vom 12.10.2009.

Für alle Nutzer, die vor Ort keine Zugangsalternative haben, stellen auch Zugänge mit 1 Mbit/s für monatlich rund 35 € wichtige und attraktive Angebote dar. Großer Vorteil und nahezu Alleinstellungsmerkmal der lokalen Funklösungen ist, dass sie sehr kurzfristig zur Verfügung stehen können, die Wirtschaftlichkeitsschwelle bereits ab 20-30 aktive Nutzer je Basisstation erreichbar ist und das bei Abschreibungszeiträumen von nur 3-4 Jahren.

Im Rahmen dieser Studie wurden ca. 150 meist kleine Anbieter lokaler und regionaler Funklösungen identifiziert.⁶² Hinsichtlich der räumlichen Verteilung dieser Akteure zeigen sich in Sachsen und Rheinland-Pfalz mit 7-8 Anbietern je 1 Million Haushalte die größte Dichte an Anbietern lokaler Funklösungen. Weitere Schwerpunkte liegen in Bayern, Hessen, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern (vgl. Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1: Anbieter von Funkanbindungen in Relation zu den Haushalten in den Bundesländern, 2010



Quelle: WIK Recherche

Die absolute Zahl der durch diese Netze erreichbaren Haushalte ist bislang nicht erhoben worden. Nach Einschätzung der im Rahmen dieser Studie befragten Breitbandex-

⁶² Basis hierfür waren Internetrecherchen, u. a. bei www.schmalbandatlas.de sowie Expertengespräche. Verifizierung erfährt diese Bestandsaufnahme durch eine Studie von Roland Berger und VATM für das BMWi. Vgl. Roland Berger (2009).

perten in den Ländern befinden sich ca. 5-8% innerhalb der Reichweite von lokalen Funknetzen. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Leistungsfähigkeit dieser Netze hinreichend wäre, alle Haushalte innerhalb ihrer Reichweite auch tatsächlich zu versorgen.

Was den weiteren Ausbau der lokalen Funknetze betrifft, so ist derzeit nur eine geringe Dynamik zu erkennen. Keiner der einschlägigen Akteure verfolgt eine größere Investitionsstrategie. Zum Teil verlagern sich vormalig reine Funkanbieter sukzessive auf DSL-basierte Breitbandzugänge (gegebenenfalls mit Funk in der Anbindung). Gründe hierfür sind darin zu finden, dass mit preisgünstigen Funktechnologien wie WLAN die künftigen Bandbreitenanforderungen kaum mehr zu realisieren sind, während leistungsfähigere WiMAX-Technologien deutlich teurer wären und zudem in den verfügbaren Frequenzbändern 3,5 GHz und 5 GHz enggeknüpfte Netze sowie kostenintensive Außenantennen mit Sichtverbindungen erfordern würden.

Angesichts der in Kürze zu erwartenden Versorgung ländlicher Räume mit LTE-Breitbandzugängen der Mobilfunknetzbetreiber sowie der weiter voranschreitenden Verfügbarkeit von leitungsgebundenen Breitbandzugängen in den bislang weißen Flecken, werden die wirtschaftlichen Einsatzfelder für neue lokale Funknetze immer seltener.

4 Funk in der Breitbandzuführung

Nach dem Mobilfunk und den lokalen Funknetzen soll als drittes Einsatzfeld von Funktechnologien für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen der Funk in der Breitbandzuführung beleuchtet werden. Breitbandzuführung bedeutet generell, dass eine Breitbandverbindung, beispielsweise vom nächstgelegenen Breitband-PoP (Point of Presence) zu einem Funkturm oder einer Ortschaft hergestellt wird. Es handelt sich somit um Stichstrecken von Punkt zu Punkt, die den gebündelten Verkehr vieler Nutzer übertragen. Um die Ausfallsicherheit zu erhöhen, werden Zuführungen oftmals in Form von redundanten Ringstrecken angelegt. Das optimale Medium für die Breitbandzuführung ist die Glasfaser mit ihrer Kapazität im Terrabit-Bereich. Die Verlegung von Glasfaserstrecken ist jedoch mit hohen Grabungskosten verbunden, so dass Richtfunkstrecken für viele Fällen eine kostengünstige Alternative darstellt.

Überall dort, wo (noch) keine Glasfaseranbindung vorhanden ist, spielt Funk in Form von Punkt-zu-Punkt-Richtfunk eine gewichtige Rolle bei der Breitbandzuführung zu Mobilfunkbasisstationen, zu lokalen Funk- und zu DSL-Netzen. Da im Falle der Funkzuführung zu lokalen DSL-Netzen sowohl Funk als auch das leitungsgebundene DSL zum Einsatz kommt, spricht man auch von Hybridlösungen.

4.1 Technische Merkmale der Richtfunkzuführung

Funkzuführungen, die den Breitbandverkehr vieler Nutzer zu transportieren haben, müssen über Kapazitäten im Gigabit-Bereich verfügen. Moderne Richtfunkstrecken können – in Abhängigkeit vom genutzten Frequenzspektrum und der Entfernung – bis zu 2,5 Gbit/s transportieren und erfüllen damit diese Voraussetzung.

Richtfunk bedeutet, dass Funkantennen mit gezielter Richtwirkung eingesetzt werden. Dies erfordert eine Sichtverbindung zwischen den beiden zu verbindenden Orten. Mit der Bündelung der Sendeleistung auf einen gerichteten Punkt können Frequenzen sehr effizient mehrfach eingesetzt werden. Lediglich in der unmittelbaren Umgebung der Sender und Empfänger sowie in einer schmalen räumlichen Gasse entlang der Strecke ist eine Frequenz belegt. Von daher bestehen kaum Engpässe in der Verfügbarkeit von spektralen Ressourcen für Richtfunk.

In der einfachsten Variante wird Richtfunk in Deutschland im zuteilungsfreien Frequenzbereich 2,5 GHz und 5 GHz betrieben. Richtfunkanbindung in diesen Frequenzbereichen bieten Bandbreiten zwischen 2 und 10 Mbit/s. Da das Frequenzspektrum von 2,4 und 5 GHz auch von anderen Funktechnologien genutzt wird, kann eine störungsfreie Übertragung jedoch nicht garantiert werden.

Professionelle Richtfunklösungen werden daher meist im zuteilungspflichtigen Frequenzbereichen betrieben, die Exklusivität und damit nahezu störungsfreie Funkan-

wendungen bieten. Die Zuteilung dieser Frequenzen erfolgt auf Antrag durch die Bundesnetzagentur. Für Punkt-zu-Punkt-Richtfunk stehen die Frequenzbänder 4, 6, 7, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32 und 38 GHz zur Verfügung. Für die Zuteilung dieser Frequenzen werden Verwaltungsgebühren zwischen 100 und 1.500 € erhoben. Für Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen sind darüber hinaus die Frequenzbänder 26, 28 und 32 GHz vorgesehen.⁶³

Die Ausfallsicherheit professioneller Richtfunksysteme liegt bei über 99,5% und entspricht damit der Qualität von Festnetzanbindungen. Eine Richtfunkstrecke lässt sich im Vergleich zu einem Glasfaseranschluss relativ kurzfristig errichten, denn es sind dafür meist nur zwei Funkstellen nötig. Typischerweise wird die Antenne der Endstelle auf einem vorhandenen Gebäude oder einem bis zu 10 Meter hohen Mast montiert. In den meisten Bundesländern besteht eine 10 Meter-Höhengrenze, ab der eine Baugenehmigung für Antennenanlagen notwendig wird. Die Gegenstelle befindet sich in der Regel auf einem vorhandenen Fernmeldeturm und stellt den Breitband-PoP dar.

Je nach verwendeter Technik und Höhe der Standorte können mit Richtfunk Strecken zwischen 500 Metern und 50 Kilometern verbunden werden. Soweit die direkte Sichtverbindung durch Gebäude, Wälder, Gebirge, die Erdkrümmung und weitere Hindernisse gestört wird, reduziert sich die Reichweite. In diesen Fällen muss technischer Mehraufwand betrieben werden und die Funkstellen höher angebracht oder im Verlauf der Strecke zusätzliche Spiegel oder Relaisstationen vorgesehen werden.

Bei der Richtfunkzuführung in Mobilfunknetzen wird der Standort der Mobilfunkantennen zusätzlich für eine Richtfunkantenne genutzt. Auch bei den lokalen Funknetzen steht in der Regel der zentrale Funkstandort in einer Ortschaft an exponierter Stelle und kann direkt mit Richtfunk ausgestattet werden. Anders verhält es sich bei hybriden Lösungen mit der Richtfunkzuführung zu DSL-Netzen. Hier ist der Schaltverteiler innerhalb einer Ortschaft die Schnittstelle zwischen Zuführung und Anschlussnetz. Gefragt sind in diesen Fällen entweder nahegelegene Gebäude mit ausreichender Höhe und Sichtverbindung zum Breitband-PoP oder es muss am Schaltverteiler ein Funkmast bzw. Funkturm errichtet werden.

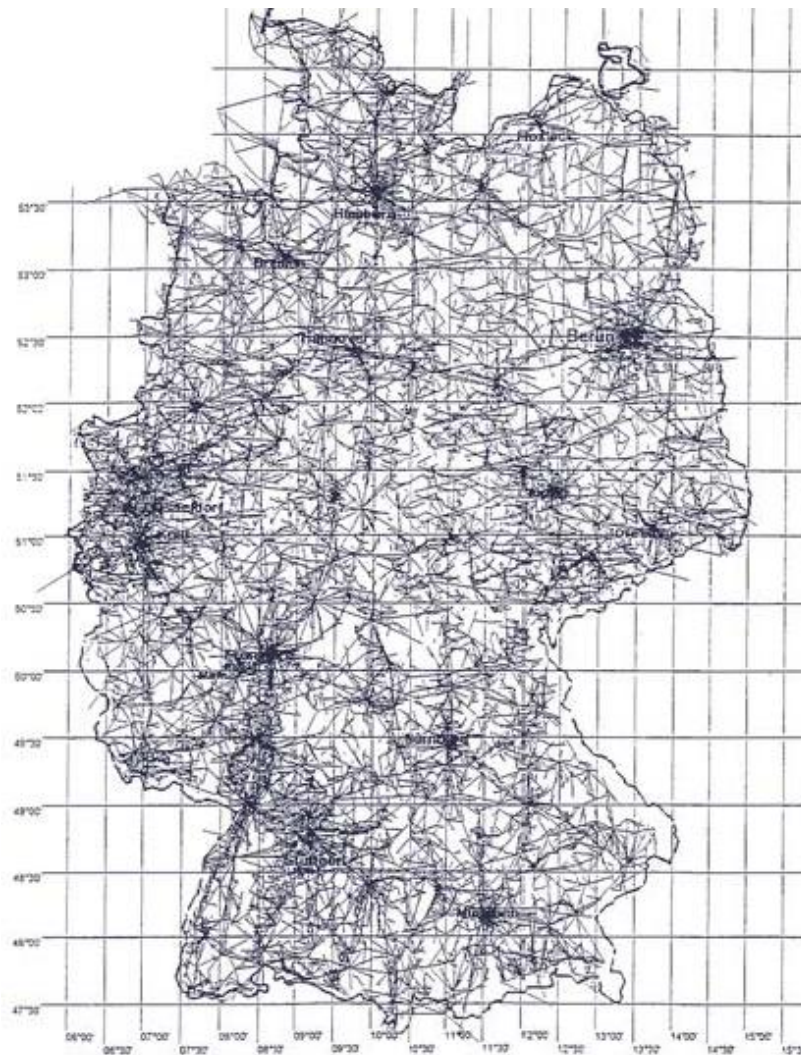
4.2 Anbieter und Nachfrager von Richtfunkdiensten

Deutschland wird durchzogen von einem dichten Netz von etwa 68.000 Richtfunkstrecken (Vgl. Abbildung 4-1). 84% dieser Strecken werden von den Mobilfunknetzbetreibern Vodafone (ca. 25.000), E-Plus (ca. 17.000) und Telefónica O₂ (ca. 15.000) in Eigenbetrieb zur Zuführung zu den Mobilfunkbasisstationen genutzt. Die Deutsche Telekom hat Ende 2007 ihre Richtfunkstrecken an Ericsson Services verkauft. Ericsson betreibt diese rund 5.500 Strecken nun sowohl als Zuführungen für die Deutsche Telekom als auch für andere TK-Unternehmen und gewerbliche Breitbandkunden. Die restlichen

⁶³ Das Band um 28 GHz steht exklusiv Zuführungen für Mobilfunknetze zur Verfügung.

rund 5.500 Richtfunkstrecken werden von anderen Betreibern, wie beispielsweise QSC oder Citycarrier betrieben.⁶⁴ In wenigen Ausnahmefällen werden Richtfunkstrecken auch durch private Initiativen und Breitbandvereine betrieben, um Breitband an ein unversorgtes Dorf heranzuführen.⁶⁵

Abbildung 4-1: Richtfunkstrecken in Deutschland



Quelle: Ahrens (2009)

Stellvertretend für die Richtfunk-Vorleistungsangebote zur Breitbandzuführung seien die Standardprodukte von QSC genannt. QSC bietet gegenwärtig Richtfunkstrecken mit symmetrischen Bitraten von 2 bis 20 Mbit/s zu monatlichen Preisen von 279 € bis 899 € bei 36 Monaten Mindestlaufzeit und einmaligen Einrichtungsentgelte von 449 € bis

⁶⁴ Vgl. Ahrens (2009), S. 2.

⁶⁵ Vgl. Kaps (2009), S. 130 ff.

699 € an. Bei höheren Datenraten werden die Preise individuell kalkuliert.⁶⁶ Mit Richtfunkangeboten wie diesem fokussieren QSC und die weiteren Anbieter insbesondere auf mittelständische Geschäftskunden, Gewerbegebiete, öffentliche Einrichtungen und weitere professionelle Nutzer. Die Zuführungen zu lokalen Funk- und DSL-Netzen stellen derzeit eher einen geringen Anteil an den betriebenen Richtfunkstrecken dar.

Zu den Unternehmen, die die Vorleistung Richtfunkzuführung nachfragen, um lokale Funknetze oder DSL-Netze zu betreiben, zählen zum einen die kleinen und mittelständischen Anbieter wie COS-on-Air, EifelNet, InSysCo, CNS und Complete. Oftmals handelt es sich um kleine IT & TK-Systemhäuser mit regionaler Ausrichtung.

Zum anderen setzen nach Experteneinschätzungen auch die großen DSL-Anbieter, wie Deutsche Telekom, Vodafone und andere, Richtfunkzuführungen verstärkt innerhalb ihrer Hybridnetze ein, wenn Ortschaften in weißen Flecken mit neuen DSLAMs im Schaltverteiler ausgestattet werden, um das DSL-Reichweitenproblem zu lösen.

Die Deutsche Telekom errichtete bislang Hybridnetze mit Richtfunk und ADSL dort, wo keine Glasfaseranbindung vorhanden, bzw. wirtschaftlich zu errichten waren. In ländlichen Gemeinden in Rheinland-Pfalz beginnt das Unternehmen nun damit, auch VDSL-Netze mit Richtfunkzuführung zu kombinieren, um die dortigen Haushalte mit Datenraten von bis zu 50 Mbit/s zu versorgen.⁶⁷

4.3 Wirtschaftlichkeit von Richtfunkzuführung

Ein wesentlicher Vergleichsmaßstab für die Wirtschaftlichkeit einer Richtfunkstrecke in der Breitbandzuführung sind die Kosten der Erschließung mit Glasfaser. Bei Kosten von durchschnittlich 50 € pro verlegtem Meter Glasfaser ist eine 300 Mbit/s-Richtfunkanbindung mit Kosten von rund 700 € pro Monat ab einer Grabenlänge von 2 km wirtschaftlicher, vorausgesetzt diese Datenraten sind für die Versorgung des jeweiligen Ortes ausreichend. Für die Wirtschaftlichkeit einer lokalen Breitbandversorgung per Hybridlösung sind neben den Kosten der Richtfunk-Zuführung selbstverständlich auch die Kosten zur Errichtung eines Schaltverteilers mit DSLAM maßgeblich. Für die Grunderschließung mittels einer Richtfunk-DSL-Hybridlösung sind Einmalkosten von rund 15.000 bis 30.000 Euro zu kalkulieren.⁶⁸

4.4 Bedeutung von Richtfunkzuführung

Mit knapp 70.000 Richtfunkstrecken in Deutschland, spielt diese Funkanwendung heute für die TK-Infrastruktur eine sehr große Rolle. Da Richtfunk abgesehen vom Direktan-

⁶⁶ Vgl. <http://www.qsc.de/de/internet/qsc-wll-business/produktinformationen.html> (10.2.2011)

⁶⁷ Vgl. „Telekom schließt erste Gemeinden in Rheinland-Pfalz über Richtfunk ans VDSL-Netz an“, Deutsche Telekom-Pressemitteilung vom 14.12.2010.

⁶⁸ Vgl. Mansmann (2010), S. 154f.

schluss von professionellen Nutzern, hauptsächlich innerhalb der Telekommunikationsinfrastrukturen eingesetzt wird, wird dies von den privaten Endkunden kaum wahrgenommen. Für die Versorgung von ländlichen Regionen im Speziellen spielt Richtfunk eine gewichtige und nach Expertenansicht kurz- bis mittelfristig noch weiter zunehmende Rolle.

Ein Großteil der Mobilfunkbasisstationen im ländlichen Raum besitzt Zuführungen durch Richtfunk. Im Zuge der weiteren Aufrüstung mit HSPA+ und LTE müssen die Kapazitäten dieser Zuführungen erhöht werden. Zum Teil geschieht dies mittels Neuverlegungen von Glasfaserstrecken. Aus Kosten- und Zeitgründen wird aber überwiegend eine Aufrüstung der Richtfunkkapazitäten in den Gigabit-Bereich hinein erwartet.

Auch die lokalen Funknetze werden überwiegend über Richtfunkzuführungen an den nächstgelegenen Breitband-PoP angebunden. Hierbei sprechen ebenfalls vor allem Kosten- und Zeitfaktoren für diese Funkanwendung. Solange die lokalen Funknetze auf Basis von WLAN und weiteren Funkstandards für die nächsten Jahre weiterbetrieben werden, wird der Richtfunk in diesem Einsatzfeld seine gegenwärtige Bedeutung behalten. Ein nennenswerter Ausbau der lokalen Funknetze ist jedoch nicht absehbar.

Eine stark wachsende Bedeutung wird dem Richtfunk bei der Zuführung zu DSL-Netzen im Rahmen von Hybridnetzen zugesprochen. Die Bundesnetzagentur hat im Jahr 2009 die Deutsche Telekom dazu verpflichtet, ihren Wettbewerbern Zugang zu den Schaltverteilern in unterversorgten Regionen zu gewähren. Führen zu diesen Schaltverteilern nicht bereits Leerrohre oder gar Glasfaser, so ist Richtfunk die wirtschaftlichste Breitbandzuführung für die Wettbewerber. Seit Mai 2010 wurde der erste Schaltverteiler für Wettbewerber geöffnet. Während zunächst für die Einrichtung jedes einzelnen Schaltverteilers ein eigenes, aufwendiges Regulierungsverfahren erforderlich wurde, sollen hier künftig standardisierte Prozesse zur Anwendung kommen.

Experten gehen davon aus, dass der Aufbau von Hybridnetzen nun deutlich an Fahrt aufnehmen wird. Erkennbar ist dies schon in der zunehmenden Bedeutung dieser Breitbanderschließungsvariante bei den beantragten Fördermitteln. Auch Anbieter, die bislang auf lokale Funknetze spezialisiert waren, wechseln bei neuen Ausbauprojekten zu DSL-Netzen mit Glasfaser- oder Richtfunkzuführung. Auch bei den privaten Nutzern genießen Hybridnetze eine höhere Akzeptanz als lokale Funknetze, da bei ersteren die Kunden den Breitbandzugang nicht als Funklösung wahrnehmen. Das Breitband kommt aus der „DSL-Dose“ und es sind keine zusätzlichen Antenneninstallationen am Haus notwendig.

Bis zu dem erst langfristig zu erwartenden flächendeckenden Glasfaserausbau, bildet Richtfunk vielerorts kurz- bis mittelfristig eine effiziente Zuführung von Breitband in ländlichen Räumen mit derzeit noch steigender Bedeutung.

5 Fazit

Bei der Erschließung von Haushalten und Unternehmen im ländlichen Raum mit Breitband ist Funk grundsätzlich überall dort eine wirtschaftliche Option, wo die Leistungsfähigkeiten der Funkanwendungen hinreichend sind, den in der Regel deutlich teureren Ausbau leitungsgebundener Breitbandnetze zu substituieren. Die Analyse hat gezeigt, dass die Funkanwendungstypen *Breitbandanbindungen per Mobilfunk* (1), *Breitbandanbindungen in lokalen stationären Funknetzen* (2) sowie *Richtfunk als Breitbandzuführung innerhalb der TK-Infrastruktur* (3) diese Bedingung in ländlichen Räumen – zumindest temporär – erfüllen.

- (1) Obwohl die gegenwärtigen Mobilfunknetze im 2 GHz-Frequenzband mit breitbandiger HSPA(+)-Technologie weitgehend auf dichter besiedelte Regionen beschränkt sind, versorgen sie dennoch in den Randgebieten zahlreiche Haushalte ohne sonstigen Breitbandanschluss. Valide Zahlen über Haushalte mit Breitbandversorgung ausschließlich per Mobilfunk sind leider nicht verfügbar.

Mit dem Aufbau von reichweitenstarken LTE-Netzen im 800 MHz-Frequenzbereich aus der Digitalen Dividende wird der Mobilfunk seine Bedeutung für die Breitbandversorgung der ländlichen Regionen künftig merklich steigern. Es wird erwartet, dass im Jahr 2012 alle bisherigen weißen Flecken auf der Breitbandlandkarte mit Breitband per Mobilfunk abgedeckt sein werden. In sehr dünn besiedelten Regionen wird dies durch lediglich ein Mobilfunknetz geschehen, in den anderen Orten durchaus auch mit mehreren. Damit soll zumindest eine Grundversorgung mit 1-2 Mbit/s gewährleistet sein und somit der Bedarf kurzfristig mehr oder weniger gedeckt werden. Experten weisen aber bereits heute darauf hin, dass weitere Netzinvestitionen zur Nachverdichtung des breitbandigen Mobilfunks mit höheren Frequenzen oder die Erschließung mit leitungsgebundenen Breitbandnetzen folgen müssen, um das Angebot mit der Nachfrageentwicklung Schritt halten zu lassen.

- (2) Die lokalen und regionalen Funknetze auf Basis von WLAN, WiMAX, Pre-WiMAX sowie weiterer proprietärer Technologien haben in der Vergangenheit örtlich einen überaus wichtigen Beitrag zur Breitbandversorgung geleistet. Experten schätzen, dass rund 5-8% der Haushalte sich innerhalb der Reichweite dieser stationären Funknetze befinden. Auch wenn ihre Kapazitäten nicht ausreichen werden, bei steigender Penetration im Netzgebiet, eine hinreichende Versorgung sicherzustellen, so fungieren sie als entscheidende Katalysatoren der lokalen Breitbanderschließung. Bei steigender Penetration ist unter wirtschaftlichen Bedingungen eine Migration von lokalen Funk- hin zu DSL-Netzen zu beobachten. Kleine Funkanbieter, die keine ausreichenden Planungs-kapazitäten und Kapitalausstattungen haben, um auf leistungsstärkere Breitbandtechnologien zu wechseln, werden in einigen Jahren weitgehend wieder vom Markt verschwinden.

Die noch vor wenigen Jahren anzutreffenden Erwartungen hinsichtlich WiMAX-Netzen als weiträumige Breitbandversorgung haben sich aus Wirtschaftlichkeitsgründen weder in ländlichen noch in städtischen Regionen erfüllt. Insgesamt sind die lokalen und regionalen Funknetze als Nischen- und Übergangstechnologie zu betrachten, deren Zeitfenster sich mit dem Ausbau der LTE-Mobilfunknetze sowie dem kontinuierlichen Ausbau der Festnetze auch in ländlichen Regionen allmählich schließen wird.

Es lässt sich zudem beobachten, dass Kommunen und private Nutzer Festnetzanschlüsse den lokalen Funklösungen vorziehen. Das Thema „Elektrosmog“ spielt hierbei ebenso eine Rolle wie die Erwartungen hinsichtlich einer geringeren Nachhaltigkeit der Funklösungen. Die meisten Bundesländer tendieren zudem zu einer bevorzugten Vergabe von Fördermitteln an leitungsgebundene Techniken.⁶⁹

- (3) Funk in der Zuführung spielt mit insgesamt knapp 70.000 Strecken in Deutschland bereits heute eine gewichtige Rolle innerhalb der TK-Infrastruktur und hier insbesondere bei der Anbindung der Mobilfunkbasisstationen. Mit dem Flächen- und Kapazitätsausbau der Mobilfunknetze geht auch ein verstärkter Einsatz des Richtfunks einher und es werden vielerorts noch viele Jahre leistungsstarke Richtfunksysteme als preiswertes Substitut für Glasfaseranbindungen dienen. Auch ein Großteil der lokalen Funknetze kann nur deshalb wirtschaftlich betrieben werden, da Richtfunkverbindungen zum nächsten Breitband-PoP möglich sind.

Die mit der regulatorischen Öffnung von Schaltverteilern im Netz der Deutschen Telekom für den Zugang durch Wettbewerber verstärkter eingesetzter Hybridnetze, bestehend aus Richtfunkzuführung und DSL-Anschlüssen, entwickeln sich nach Experteneinschätzung zum wichtigen Geschäftsmodell für Breitbandanbieter. Durch sie können weitere kleine Ortschaften ohne Glasfaser- bzw. Leerrohrzuführung mit ADSL bzw. VDSL wirtschaftlich erschlossen werden. Dieses Einsatzfeld für Richtfunk wird sich mittelfristig weiter ausweiten, nicht zuletzt da immer mehr DSL-Netze die heutigen lokalen WLAN-Funknetze ersetzen werden.

Sicherlich wird sich die Breitbandnachfrage mittel- bis langfristig auch im ländlichen Raum in Richtung hochbitratiger Anschlüsse verschieben. Viele der heutigen Funkanwendungen sind dann an ihrer Leistungsgrenze und werden durch Leitungsnetze ersetzt. Gleichzeitig wird neben dem stationären Breitbandzugang die Nachfrage nach mobilem Breitband enorm wachsen und flächendeckende Versorgung erfordern. Insofern wird sich der Nutzungsschwerpunkt der im Aufbau befindlichen flächendeckenden LTE-Netze mittel- bis langfristig vom stationären Breitbandanschluss hin zu mobilen Geschäfts- und Privatanwendungen verschieben. Die hohen Investitionen der Mobilfunkunternehmen werden somit durch eine weitere Glasfasererschließung ländlicher Räume keinesfalls obsolet.

⁶⁹ Funkbasierte Projekte haben aktuell mit 28% den geringsten Förderanteil. Vgl. hierzu Roland Berger (2009), S. 16.

Literaturverzeichnis

- Ahrens, Carsten (2009): Keine Zukunft ohne Breitband. Flächendeckende Breitbandversorgung. Best Practise-Vorstellung, Sept. 2009, abrufbar unter: http://breitbandinitiative.de/wp/wp-content/uploads/2009/07/01_Carsten_Ahrens.pdf (Stand: 11.2.2010)
- BMWi (2009): Breitbandstrategie der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin, Februar 2009
- Born, Achim (2010): DSL in der Hand, in: iX 10/2010, S. 110-113
- Büllingen, Franz und Peter Stamm (2001): Mobiles Internet – Konvergenz von Mobilfunk und Multimedia, WIK-Diskussionspapier Nr. 222, Bad Honnef
- Büllingen, Franz und Peter Stamm (2008): Breitband für jedermann – Infrastruktur für einen innovativen Standort, Bad Honnef, Januar 2008
- Büllingen, Franz, Annette Hillebrand und Ralf G. Schäfer (2010): Nachfragestrukturen und Entwicklungspotenziale von Mobile Business Lösungen im Bereich KMU, Bad Honnef, April 2010
- Bundesnetzagentur (2003): Allgemeinzuteilung von Frequenzen im Frequenzbereich 2400,0 - 2483,5 MHz für die Nutzung durch die Allgemeinheit in lokalen Netzwerken; Wireless Local Area Networks (WLAN- Funkanwendungen), Vfg. 89/2003
- Bundesnetzagentur (2008): Aufhebung der Präsidialkammerentscheidung vom 23. Juni 2008, Bonn
- Bundesnetzagentur (2009): Entscheidung der Präsidentenkammer der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen vom 12. Oktober 2009 über die Verbindung der Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 790 MHz bis 862 MHz sowie 1710 bis 1725 MHz und 1805 bis 1820 MHz mit dem Verfahren zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz für den drahtlosen Netzzugang zum Angebot von Telekommunikationsdiensten sowie über die Festlegung und Regelungen für die Durchführung des Verfahrens zur Vergabe von Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz für den drahtlosen Netzzugang zum Angebot von Telekommunikationsdiensten, Veröffentlicht als Verfügung 59/2009 im Amtsblatt der Bundesnetzagentur Nr. 20/2009, Bonn, 21. Oktober 2009
- Bundesnetzagentur (2010): Liste der mit Breitband unterversorgten Gemeinden und Teilgemeinden in den Bundesländern nach Prioritätsstufen, abrufbar unter: <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/138468/publicationFile/2804/BeilageListenBreitbandUntervGemID17376pdf.pdf>
- Bundesnetzagentur (2010a): Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz - 5350 MHz und 5470 MHz - 5725 MHz für Funkanwendungen zur breitbandigen Datenübertragung, WAS/WLAN („Wireless Access Systems including Wireless Local Area Networks“), Vfg. 7/2010
- Bundesnetzagentur (2010b): Jahresbericht 2009, Bonn
- CISCO (2010): Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2009-2014, White Paper, San Jose
- Deutscher Bundestag (2010): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sabine Zimmermann, Katrin Kunert, Dr. Barbara Höll, weiterer Abgeordneter und

der Fraktion DIE LINKE. – Drucksache 17/695 – Aktuelle Entwicklungen bei der Breitband-Versorgung, Berlin, 4. März 2010

Deutscher Bundestag (2010a): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Tabea Rößner, Kerstin Andreae, Dr. Konstantin von Notz, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/4211 – Stand des Breitbandausbaus und Strategie der Bundesregierung zur Breitbandversorgung in Deutschland, Berlin, 29. Dezember 2010

Dialog Consult/VATM (2010): 12. gemeinsame TK-Marktanalyse 2010 - Ergebnisse einer Befragung der Mitgliedsunternehmen im Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten e. V. im dritten Quartal 2010, Köln

Europäische Kommission (2009): Mitteilung der Kommission Nr. 2009/C 235/04. Leitlinien der Gemeinschaft für die Anwendung der Vorschriften über staatliche Beihilfen im Zusammenhang mit dem schnellen Breitbandausbau, 30. September 2009

Europäische Kommission (2010): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Eine Digitale Agenda für Europa, KOM(2010) 245 endgültig/2, 26. August 2010

Fettweis, Prof. Dr.-Ing. Gerhard (2009): Studie zur Abschätzung des Potenzials drahtloser Telekommunikationstechnik für die Breitbanderschließung insbesondere des ländlichen Raums in Sachsen, Technische Universität Dresden, Dresden

Holznapel, Bernd und Arnold Picot (2010): Breitband für alle? FAZ-Net-Artikel vom 14. Juni 2010, abrufbar unter <http://faz-community.faz.net/blogs/netzkonom/archive/2010/06/14/breitband-fuer-alle.aspx> (Stand: 14.1.2011)

Kaps, Reik (2009): Breitband-Pioniere: WLAN-Richtfunk bringt schnelles Internet aufs Land, c't 26/09, S. 130-132

Landtag Brandenburg (2009): Konzept der Landesregierung zum Übergang zu einer flächendeckenden Breitbandversorgung im Land Brandenburg, Drucksache 4/7753, 30. Juni 2009

Laudan, Karl-Heinz (2009): Flächendeckende mobile Breitbandversorgung „Connected life and work“, Mai 2009, Rottenburg-Baisingen, abrufbar unter: http://www.clearingstelle-bw.de/download/Tagung%20Funktechniken%2014-05-09/Laudan_Praesentation_14-05-09.pdf (Stand: 11.2.2011)

Mansmann, Urs (2010): Alle schnell ans Netz. Breitband-Internet in ländlichen Gebieten, in: c't 10/2010, S. 153-155.

Meyer, Michael (2010): Siebenmeilenfunk – LTE setzt neue Maßstäbe im Mobilfunk, C't Nr. 25, 22. November 2010

Motorola (2009): Realistic LTE Performance – From Peak to Subscriber Experience, White Paper, o. O.

Müller, Stephan, Björn Ortelbach, André Riedel, Robert Schmaltz, Marco Zibull (2005): WiMAX: Marktpotenziale in Deutschland, Arbeitsbericht Nr. 25/2005, Forschungsverbund Internetökonomie Göttingen

Plan Online (2009): Breitbandatlas 2009_02 Zentrale Ergebnisse, Rangsdorf, Dezember 2009

Roland Berger (2009): Potenziale von kleinen und mittleren Unternehmen bei der Überwindung von Breitbandversorgungslücken, Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn/Berlin, Oktober 2009

Theiss, Bernd (2010): Der große Netztest 2010, in Connect 12/2010, S. 14-26

Wilfert, Arno (2009): Breitbandinfrastrukturausbau in Deutschland, PricewaterhouseCoopers, Berlin, 12. Februar 2009

WiMAX Forum (2009): WiMAX, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis, November 2009

WiMAX Forum (2011): Monthly Industry Report, Februar 2011

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

- 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 Böschen:
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 Plückebaum:
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
- Nr. 308: Christian Growitsch, Gernot Müller, Marcus Stronzik:
Ownership Unbundling in der Gaswirtschaft – Theoretische Grundlagen und empirische Evidenz, Mai 2008
- Nr. 309: Matthias Wissner:
Messung und Bewertung von Versorgungsqualität, Mai 2008
- Nr. 310: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Netzzugang im NGN-Core, August 2008
- Nr. 311: Martin Zauner, Alex Kalevi Dieke, Torsten Marner, Antonia Niederprüm:
Ausschreibung von Post-Universaldiensten. Ausschreibungsgegenstände, Ausschreibungsverfahren und begleitender Regulierungsbedarf, September 2008

- Nr. 312: Patrick Anell, Dieter Elixmann:
Die Zukunft der Festnetzbetreiber,
Dezember 2008
- Nr. 313: Patrick Anell, Dieter Elixmann, Ralf Schäfer:
Marktstruktur und Wettbewerb im deutschen Festnetz-Markt: Stand und Entwicklungstendenzen, Dezember 2008
- Nr. 314: Kenneth R. Carter, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Network Neutrality: Implications for Europe, Dezember 2008
- Nr. 315: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Strategien zur Realisierung von Quality of Service in IP-Netzen, Dezember 2008
- Nr. 316: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Iris Böschen, Gabriele Kulenkampff:
Relevant cost elements of VoIP networks, Dezember 2008
- Nr. 317: Nicole Angenendt, Christian Growitsch, Rabindra Nepal, Christine Müller:
Effizienz und Stabilität des Stromgroßhandelsmarktes in Deutschland – Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen, Dezember 2008
- Nr. 318: Gernot Müller:
Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor – Methodische Grundlagen und Schätzung des Produktivitätsfortschritts für den deutschen Markt, Januar 2009
- Nr. 319: Sonja Schölermann:
Kundenschutz und Betreiberauflagen im liberalisierten Briefmarkt, März 2009
- Nr. 320: Matthias Wissner:
IKT, Wachstum und Produktivität in der Energiewirtschaft - Auf dem Weg zum Smart Grid, Mai 2009
- Nr. 321: Matthias Wissner:
Smart Metering, Juli 2009
- Nr. 322: Christian Wernick unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Unternehmensperformance führender TK-Anbieter in Europa, August 2009
- Nr. 323: Werner Neu, Gabriele Kulenkampff:
Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels, August 2009
- Nr. 324: Gabriele Kulenkampff:
IP-Interconnection – Vorleistungsdefinition im Spannungsfeld zwischen PSTN, Internet und NGN, November 2009
- Nr. 325: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Stephan Jay:
LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, November 2009
- Nr. 326: Kenneth R. Carter
with contributions of Christian Wernick, Ralf Schäfer, J. Scott Marcus:
Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy, November 2009
- Nr. 327: Gernot Müller:
Ableitung eines Inputpreisindex für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, November 2009
- Nr. 328: Anne Stetter, Sonia Strube Martins:
Der Markt für IPTV: Dienstverfügbarkeit, Marktstruktur, Zugangsfragen, Dezember 2009
- Nr. 329: J. Scott Marcus, Lorenz Nett, Ulrich Stumpf, Christian Wernick:
Wettbewerbliche Implikationen der On-net/Off-net Preisdifferenzierung, Dezember 2009
- Nr. 330: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Stephan Jay:
"Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur, Dezember 2009
- Nr. 331: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm, Martin Zauner:
Preisstrategien von Incumbents und Wettbewerbern im Briefmarkt, Dezember 2009
- Nr. 332: Stephan Jay, Dragan Ilic, Thomas Plückebaum:
Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, Dezember 2009

- Nr. 333: Christian Growitsch, Marcus Stronzik, Rabindra Nepal:
Integration des deutschen Gasgroßhandelsmarktes, Februar 2010
- Nr. 334: Ulrich Stumpf:
Die Abgrenzung subnationaler Märkte als regulatorischer Ansatz, März 2010
- Nr. 335: Stephan Jay, Thomas Plückerbaum, Dragan Ilic:
Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung, März 2010
- Nr. 336: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Netzzugang und Zustellwettbewerb im Briefmarkt, März 2010
- Nr. 337: Christian Growitsch, Felix Höffler, Matthias Wissner:
Marktmachtanalyse für den deutschen Regelenenergiemarkt, April 2010
- Nr. 338: Ralf G. Schäfer unter Mitarbeit von Volker Köllmann:
Regulierung von Auskunft- und Mehrwertdiensten im internationalen Vergleich, April 2010
- Nr. 339: Christian Growitsch, Christine Müller, Marcus Stronzik
Anreizregulierung und Netzinvestitionen, April 2010
- Nr. 340: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Rolf Schwab:
Das VNB-Geschäftsmodell in einer sich wandelnden Marktumgebung: Herausforderungen und Chancen, April 2010
- Nr. 341: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Schölermann:
Die Entwicklung von Hybridpost: Marktentwicklungen, Geschäftsmodelle und regulatorische Fragestellungen, August 2010
- Nr. 342: Karl-Heinz Neumann:
Structural models for NBN deployment, September 2010
- Nr. 343: Christine Müller:
Versorgungsqualität in der leitungsgebundenen Gasversorgung, September 2010
- Nr. 344: Roman Inderst, Jürgen Kühling, Karl-Heinz Neumann, Martin Peitz:
Investitionen, Wettbewerb und Netzzugang bei NGA, September 2010
- Nr. 345: Christian Growitsch, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Auswirkungen niedrigerer Mobilterminierungsentgelte auf Endkundenpreise und Nachfrage, September 2010
- Nr. 346: Antonia Niederprüm, Veronika Söntgerath, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Post-Filialnetze im Branchenvergleich, September 2010
- Nr. 347: Peter Stamm:
Aktuelle Entwicklungen und Strategien der Kabelbranche, September 2010
- Nr. 348: Gernot Müller:
Abgrenzung von Eisenbahnverkehrsmärkten – Ökonomische Grundlagen und Umsetzung in die Regulierungspraxis, November 2010
- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011

ISSN 1865-8997