

**Drahtlose Zugangstechnologien**  
**Technisches Potential & wirtschaftliche Bedeutung**

Neue Bildmedien  
Ästhetik, Organisation, Technik

Werner A. König  
Universität Konstanz

Januar 2006

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Motivation</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Anforderungen und Marktsituation</b>	<b>5</b>
2.1	Funkbasierte Breitbandalternativen . . . . .	5
2.2	Anwendungsdomänen für Funktechnologien . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Funktechnologien</b>	<b>11</b>
3.1	Satellit . . . . .	11
3.1.1	Unidirektional . . . . .	11
3.1.2	Bidirektional . . . . .	12
3.1.3	Multicast . . . . .	12
3.2	WLAN . . . . .	13
3.3	UMTS . . . . .	15
3.3.1	UMTS-FDD . . . . .	15
3.3.2	UMTS-TDD . . . . .	16
3.3.3	HSDPA . . . . .	16
3.3.4	HSUPA . . . . .	16
3.4	WiMAX . . . . .	17
3.4.1	IEEE 802.16 . . . . .	17
3.4.2	IEEE 802.16-2004 . . . . .	17
3.4.3	IEEE 802.16-2005 . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>19</b>

# 1 Motivation

Sean Maloney, Executive Vice President Intel Corporation, prophezeit in [Cor04], dass in naher Zukunft eine Milliarde Internet-Nutzer weltweit den Breitband-Funk als Zugangstechnologie verwenden werden. Darüber hinaus sollen weiteren fünf Milliarden Menschen durch die Funktechnologie erstmals ein Internetzugang ermöglicht werden. Die nächste Dekade wird von Intel sogar als das Zeitalter des Breitband-Funks betitelt.

Das Marktforschungsinstitut Instat [IS05] unterstreicht ebenfalls in dessen Studie „Digitales Heim 2005“ die steigende Bedeutung von drahtlosen Technologien, wonach sich die Anzahl der Heimnetzwerke von 2003 auf 2004 um über 50% erhöht haben soll und erstmals Funktechnologien, wie WLAN<sup>1</sup> das auf Kabel basierende Ethernet mehrheitlich ablösen. Die größte Verbreitung weist überraschenderweise der erst 2003 von der IEEE [IEE06] verabschiedete Funkstandard 802.11g mit einem Brutto-Datendurchsatz von 54 MBit/s auf.

Dieser Studie ist aber hinzuzufügen, dass die Funktechnologien hauptsächlich für die Heimvernetzung oder für kommerzielle HotSpots eingesetzt werden, deren Zugang zum Internet aber immer noch durch klassische kabelgebundene Techniken, wie Modem, ISDN<sup>2</sup> und DSL<sup>3</sup> und durch vor allem in Deutschland nur vereinzelt genutzte Verfahren, wie Kabelmodem<sup>4</sup> und Powerline<sup>5</sup> realisiert wird.

Die Abhängigkeit von drahtgebundenen Zugangstechnologien können die Internetanwender erst seit der Einführung von paketorientierter Datenübertragung im Mobilfunk mittels GPRS<sup>6</sup> lösen, wobei die in der Praxis zu erreichenden Übertragungsraten nur an Modemgeschwindigkeiten heranreichen und daher von Breitbandverbindung keine Rede sein kann.

---

<sup>1</sup>WLAN: Wireless Local Area Network.

<sup>2</sup>ISDN: Integrated Services Digital Network, internat. Standard für digitales Telekommunikationsnetz.

<sup>3</sup>DSL: Digital Subscriber Line, drahtgebundene Breitbandtechnologie vornehmlich für die letzte Meile zwischen Teilnehmer und Vermittlungsstelle.

<sup>4</sup>Kabelmodem: Zugangshardware für den Breitbandinternetzugang über das TV-Kabelnetz.

<sup>5</sup>Powerline: Breitbandinternetzugang über das Stromnetz.

<sup>6</sup>GPRS: General Packet Radio Service.

Mit der Erweiterung von GPRS auf EDGE<sup>7</sup> und der Markteinführung von UMTS<sup>8</sup> mit Downloadraten von maximal 384 KBit/s stehen nun schon seit Ende 2004 erste Breitbandoptionen zur Verfügung.

Nach Auskunft der Mobilfunk-Industrieorganisation 3G Americas [Ame05] stehen bei einer Erhebung im September 2005 den weltweit 1,6 Milliarden GSM-Nutzern<sup>9</sup> nur eine relativ gesehen kleine Anzahl von 35 Millionen UMTS-Nutzern gegenüber. Die Gruppe der UMTS-Nutzern hat sich aber seit dem ersten Quartal 2005 mehr als verdoppelt und eine Abschwächung der Nachfrage ist nicht abzusehen. Typische UMTS Geräte sind Handys, Smartphones und PDAs<sup>10</sup>. Aber auch durch Zusatzgeräte für Laptops und PCs findet die breitbandige Funktechnologie immer mehr Verbreitung im privaten und kommerziellen Segment und positioniert sich somit auch als Konkurrenzprodukt zu DSL und anderen drahtgebundenen Internet-Zugangstechniken.

Nicht nur Weiterentwicklungen von UMTS mit höheren Download- bzw. Uploadgeschwindigkeiten, auch neue Funktechnologien wie WiMAX<sup>11</sup> und Nischenprodukte wie uni- und bidirektionale Satellitenverbindungen versuchen sich auf dem Markt zu behaupten.

Nachdem Intel das Zeitalter des Breitband-Funks ausruft, stellt sich somit unweigerlich die Frage, inwieweit die drahtlosen Techniken wirklich die bisher marktbeherrschenden drahtgebundenen Verfahren gefährden können oder ob sogar eine Koexistenz realistisch erscheint.

Zur Klärung dieser Frage wird in den folgenden Kapiteln die Marktsituation im Gesamten und denkbare Anwendungsdomänen näher beleuchtet. Des Weiteren werden die einzelnen funkbasierten Verfahren bezüglich ihres technischen Potentials und der möglichen wirtschaftlichen Bedeutung diskutiert. Abschließend wird im Rahmen dieser Arbeit versucht, einen Ausblick auf die kurz- bis mittelfristigen Entwicklungen des Marktes für den breitbandigen Internetzugang zu geben. Von der Betrachtung ausgeschlossen werden Technologien, welche nur geringe Reichweiten oder niedrige Übertragungsraten aufweisen können. Des Weiteren werden auch nur standardisierte Verfahren in dieser Arbeit berücksichtigt. Infolge der Abhängigkeit von einem Lieferanten und den durch kleine Stückzahlen nicht wettbewerbsfähigen Kosten für Infrastruktur und Hardware finden proprietäre Systeme zumeist nur als Nischenprodukte, in für den Gesamtmarkt vernachlässigbarer Anzahl, Anwendung und sind somit für eine Überblicksbetrachtung irrelevant.

---

<sup>7</sup>EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

<sup>8</sup>UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

<sup>9</sup>GSM: Global System for Mobile Communications. Volldigitaler Mobilfunknetz-Standard, wobei GPRS und EDGE Weiterentwicklungen des Standards darstellen.

<sup>10</sup>PDA: Personal Digital Assistant.

<sup>11</sup>WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

## 2 Anforderungen und Marktsituation

Bei einem Anteil von fast 97% aller deutschen Breitbandzugänge erscheint es nicht verwunderlich, dass DSL in Deutschland als Synonym für schnelles Internet betrachtet wird. Im Vergleich zu den restlichen EU-Mitgliedstaaten weisen nur noch Zypern und Polen eine schwächere Wettbewerbssituation auf [ECI06]. Erschwerend kommt hinzu, dass über 90% der für DSL notwendigen Teilnehmeranschlussleitungen, also der direkten Verbindung zum Kunden, der Deutschen Telekom gehören.

Erfreulicherweise ist seit der Liberalisierung des Telekommunikationsmarktes nun der Anteil der Reseller von DSL, nach Auskunft der Deutschen Telekom im Oktober 2005, auf über 34% angewachsen. Dem Kunden kam diese neue Wettbewerbssituation vor allem in Form von enormen Preissenkungen zugute [Com05].

Unter dem sich entwickelnden Markt rüsten auch Kabelnetzbetreiber ihre Infrastruktur auf und bieten konkurrenzfähige Breitbandzugänge an. Mit einer Penetration von 0,1 Kabelzugängen pro 100 Einwohner ist deren Bedeutung in Deutschland, im Gegensatz zu 7,8 in den USA, eher unbedeutend. Insgesamt bleibt laut einer Studie der Deutsche Bank Research vom August 2005 [Res05] die Breitband Penetration von 8,1 in Deutschland weit hinter Südkorea mit 24, Japan mit 16 und USA mit 12 Zugängen pro 100 Einwohner.

Bis zum Jahr 2007 wird für Deutschland eine Verdopplung der Breitband-Anschlüsse prognostiziert. Von diesem beachtlichen Wachstum versuchen nicht nur DSL- und Kabelnetzbetreiber, sondern auch vermehrt Anbieter von nicht-terrestrischer Breitbandzugängen zu profitieren.

### 2.1 Funkbasierte Breitbandalternativen

Seit Jahresende 2004 steht mit UMTS eine breitbandige Funktechnologie zur Verfügung, welche mobil und stationär den Zugang zum Internet ermöglichen. Die Nachfrage war zuerst aufgrund nur weniger UMTS-fähiger Geräte und im Vergleich zu DSL hohen Benutzungskosten eher schleppend. Mittlerweile findet ein offensiver Preiskampf unter den Mobilfunkbetreibern statt und das konventionelle DSL wird durch spezielle stationäre Geräte mit günstigeren Tarifen direkt attackiert.

Spätestens zur CeBIT 2006 im März wollen T-Mobile, Vodafone und O2 durch HSD-PA<sup>1</sup> die Downloadraten für UMTS von 384 KBit/s auf 1,8 MBit/s erhöhen und damit zu DSL vergleichbare Performance bieten. Unter Laborbedingungen sind durch HSD-PA sogar Bandbreiten von maximal 14,4 Mbit/s im Downstream messbar, wobei diese Geschwindigkeiten kurzfristig in der Praxis nicht umzusetzen sein dürften. Eine weitere Ausbaustufe von UMTS stellt das bisher noch nicht vollständig spezifizierte HSUPA<sup>2</sup> dar, welches uns in ungefähr zwei Jahren Uploadraten von zuerst 1,4 MBit/s bis zu theoretisch erreichbaren 5,8 MBit/s ermöglichen soll.

Die angegebenen Bandbreiten für UMTS sind dennoch sehr von den Einsatzbedingungen, der Geschwindigkeit und der Entfernung von der Basisstation abhängig. Des Weiteren ist zu beachten, dass es gleichsam zum berüchtigten „Flickenteppich“<sup>3</sup> der DSL-Infrastruktur auch um die UMTS Verfügbarkeit in spärlich besiedelten Gebieten noch schlecht bestellt ist.

Für diese Gebiete scheint die Breitbandversorgung per Satellit zunächst eine geeignete Lösung zu sein, da die Versorgung bei freier Sichtlinie grundsätzlich in der gesamten Fläche gegeben ist. Bei unidirektionalen Satellitenanlagen muss aber zu der Satellitenverbindung auch ein Rückkanal über konventionelle Verfahren, wie Modem oder ISDN über die ganze Verbindungszeit hinweg hergestellt und zusätzlich bezahlt werden. Bidirektionale Systeme können direkt über den Satelliten den Upload bewerkstelligen, sind aber aufgrund der hohen Investitionskosten von mehr als 1500 Euro eher für den kommerziellen Einsatz oder für Gemeinschaftsanlagen interessant.

Die insgesamt höheren Kosten und dennoch im Verhältnis niedrigen Nettobandbreiten verhindern zumindest bisher eine höhere Marktdurchdringung. Grund hierfür dürften auch die hohen Latenzzeiten sein, welche durch die Entfernung zum Satellit von ca. 36.000 km bedingt sind. Die auftretenden Verzögerungen schränken beliebte Internet-Anwendungen wie Voice over IP, Chat und Online-Spiele empfindlich ein.

Wie schon anfänglich erwähnt erfreut sich WLAN bei der Heimvernetzung immer größerer Beliebtheit. Auch kommerziell wird WLAN für Hotspots auf öffentlichen Plätzen und für die Inhouse-Versorgung in Hotels oder Krankenhäusern genutzt. Allein T-Mobile betreibt über 4000 Hotspots in Deutschland und nach Pressemitteilungen 20.000 weltweit. Intel investierte im Laufe des Jahres 2003 mehr als 300 Millionen Dollar in die Werbekampagne für die Notebookplattform Centrino<sup>4</sup>, welche WLAN standardmäßig integriert und dadurch wesentlich zur Verbreitung der WLAN-Zugangshardware beigetragen hat.

---

<sup>1</sup>HSDPA: High Speed Downlink Packet Access.

<sup>2</sup>HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.

<sup>3</sup>‘Das DSL-Netz in Deutschland hat mehr Löcher als ein Schweizer Käse’ (Harald A. Aumma, Verbands-Geschäftsführer der deutschen Internetwirtschaft).

<sup>4</sup>Centrino: Intel Notebookplattform, welche CPU, Mainboard-Chipsatz und WLAN kombiniert.

WLAN zeichnet nicht nur eine gute Marktdurchdringung, sondern auch hohe Bandbreiten mit maximal 54 MBit/s aus. Andererseits limitiert die kurze Reichweite von ca. 100 m bei Sichtkontakt und 50m in Gebäuden die Einsetzbarkeit.

Höhere Reichweiten können die Funktechnologien UMTS-TDD<sup>5</sup> und WiMAX aufweisen. Mit den Verfahren lassen sich Zellen mit Radien im Bereich von 3 - 8 km realisieren und theoretisch auf bis zu 50 km ausweiten.

In Deutschland wird bisher weitestgehend das weniger komplexe UMTS-FDD<sup>6</sup> eingesetzt. T-Mobile kündigte im Juni 2005 an, den Testbetrieb von UMTS-TDD in der Tschechischen Republik auf 85 Städte auszubauen und möchte infolgedessen in der Lage sein, die Hälfte der tschechischen Bevölkerung mit Breitbandfunk bedienen zu können.

WiMAX ist noch ein Schritt weiter vom Produktiveinsatz entfernt als UMTS-TDD. Wie auch schon bei WLAN ist Intel bei der Einführung von WiMAX treibende Kraft. Noch im Laufe des Jahres 2006 sollen WiMAX-Geräte auf den Markt kommen und als Teil der Centrino-Plattform standardmäßig in Notebooks der nächsten Generation integriert sein.

Für WiMAX selber sind drei Entwicklungsstufen vorgesehen. In Phase 1 sollen externe Antennen an Gebäuden versorgt werden, welche durch Kabelverbindungen den Gebäude-internen Zugang realisieren und somit ähnlich wie DSL die letzte Meile zum Kunden bedienen. Phase 2 soll dann Indoor-Antennen direkt versorgen können und damit keine direkte Sichtlinie zur Basisstation benötigen. Erst die Phase 3 soll dann eine uneingeschränkte Mobilität mit Handover, also dem unterbrechungsfreien Wechsel zwischen verschiedenen WiMAX-Zellen, ermöglichen. Als WiMAX-Geräte sind in Phase 3 nicht nur Notebooks und PDAs, sondern auch Telefone für Voice over IP vorgesehen. Obwohl schon einzelne Testnetzwerke auch für die mobile Version von WiMAX in Betrieb sind, wurde der zugehörige Standard 802.16e erst im Dezember 2005 endgültig verabschiedet.

## 2.2 Anwendungsdomänen für Funktechnologien

Als Alternativtechnologien zu klassischen Breitbandangeboten frischen die verschiedenen drahtlosen Verfahren den Markt weiter auf. Die Diversität des Angebots ermöglicht dem Kunden nicht nur eine feinere Selektion, sondern auch bessere preisliche und technische Konditionen.

---

<sup>5</sup>UMTS-TDD: UMTS mit Time Division Duplex Verfahren. Kommunikation zwischen Mobil- und Basisstation wird in zeitliche Einheiten aufgeteilt und getrennt abgehandelt.

<sup>6</sup>UMTS-FDD: UMTS mit Frequency Division Duplex Verfahren. Mobil- und Basisstation senden gleichzeitig in verschiedenen Frequenzbereichen.

Zusätzlich zu den Wettbewerbsaspekten besteht die Hoffnung, dass funkbasierte Technologien gerade Gebiete ohne terrestrische Breitbandversorgung profitabel und damit für beide Seiten gewinnbringend bedienen können. Nach Auskunft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie ist nur für 91% der insgesamt 37 Millionen Telekom-Telefonanschlüsse DSL verfügbar.

Zum einen lohnen sich in ländlichen Gebieten mit geringer Besiedlungsdichte keine eigenen Vermittlungsstellen, wodurch die Leitungslängen zum nächsten Knotenpunkt für DSL-Verbindungen zu weit ausfallen. Zum anderen wurden in den letzten Jahren vor allem in den neuen Bundesländern, aber auch in Karlsruhe, Mannheim und Berlin vermehrt optische Teilnehmeranschlussleitungen verlegt. Die so genannten OPAL-Gebiete<sup>7</sup> sind aufgrund der fehlenden Draht-Infrastruktur ungeeignet für herkömmliches DSL und die Aufrüstung der Lichtwellenleitertechnik scheint finanziell noch keine Option zu sein.

Für diese nicht DSL versorgten Gebiete scheinen UMTS-TDD und WiMAX eine Möglichkeit zur Sicherung des Grundbedürfnisses nach einem breitbandigen Internetzugang zu sein. Aufgrund der großen Reichweiten können auch wenig besiedelte Gebiete mit Breitbandfunk relativ kostengünstig betrieben werden, da auch das Carrier-Backbone, also die Hauptverbindung zwischen den Sendemasten, funkbasiert realisiert werden kann und dementsprechend keine teuren Investitionskosten für unterirdische Verbindungsleitungen anfallen.

Die plausibelste Eigenschaft zur Produktdifferenzierung gegenüber drahtgebundenen Verfahren ist die inhärente Eignung von Funktechnologien zur Portabilität bzw. Mobilität. Portabilität beinhaltet in diesem Zusammenhang die Möglichkeit zur Bewegung innerhalb einer Funkzelle mit mäßiger Geschwindigkeit, ohne dass dabei eine offene Verbindung gestört wird. Mobilität berücksichtigt darüber hinaus auch das unterbrechungsfreie Handover über Funkzellen hinweg, unter der Bedingung, dass weiterhin gleiche oder kompatible Funkverfahren verfügbar sind.

Die Vorstellung jederzeit und überall einen Zugriff auf das Internet, seine Emails und Geschäftsdaten haben zu können, beflügelt nicht nur Außendienstmitarbeiter. Der Traum vom Arbeitsplatz am weißen Strand ... Andererseits wird die dauernde Erreichbarkeit zumindest beim Mobilfunk immer mehr auch als Belastung angesehen. Die bisher technologisch aufgezwungenen und gesundheitlich oftmals notwendigen Ruhephasen werden in Zukunft immer mehr reduziert, zumal in absehbarer Zeit auch im Zug- und Flugverkehr lückenlos Telefon- und Internetverbindungen möglich sind.

Die Unabhängigkeit von drahtgebundener Infrastruktur ist für die Gebäude-interne bzw. Standort-weite Breitbandversorgung für den privaten und kommerziellen Bereich von großer Bedeutung. Nicht nur hohe Investitionskosten für stationäre Verbindungsleitungs-

---

<sup>7</sup>OPAL: Optische Anschluss-Leitung



en können eingespart werden, auch entsteht eine bisher unbekannte Flexibilität. Mitarbeiter können standortunabhängig agieren, die Logistik kann lückenlos überwacht und freier gestaltet werden und das Babyphone ist auch noch im Garten erreichbar.

Für die Erreichbarkeit in Gebäuden ohne direkte Sichtverbindung zur Basisstation ist das verwendete Frequenzspektrum ausschlaggebend. Generell betrachtet, werden höhere Frequenzen leichter durch Wände reflektiert oder durch andere Einflüsse gestört. Darauf ist auch die verminderte Reichweite von WLAN mit ca. 50 m in Gebäuden im Gegensatz zu 100 - 150 m bei Sichtkontakt im Freien begründet. WLAN verwendet das lizenzfreie 2,4 GHz-Band, UMTS-TDD die lizenzierten 2,6 GHz-Frequenz und für WiMAX ist die Lizenzierung für 3,5 GHz vorgesehen. Diese Frequenzen bedeuten zwar eine Reduzierung der Reichweite in Gebäuden, aber eine Inhouse-Versorgung ist noch realisierbar. Bei Frequenzen über 10 GHz ist dies nicht mehr gegeben.

Die Verwendung der jeweiligen Frequenzspektren hat nicht nur eine technische, sondern auch eine politische Komponente. Gewisse Bänder sind lizenzierungspflichtig und werden auf gewisse Zeit zumeist länderspezifisch einmalig vergeben – in Deutschland durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP). Dabei ist für den Erfolg einer Funktechnologie entscheidend, dass die Funkbänder über mehrere Länder bzw. Kontinente hinweg gleich vergeben werden können, um die Infrastruktur- und Gerätekosten durch einheitliche Anforderungen wettbewerbsfähig niedrig zu halten und eine Kompatibilität zwischen den verschiedenen Netzanbietern zu gewährleisten.

Interessant dürfte in diesem Zusammenhang sein, dass das für UMTS-TDD spezifizierte 2,6 GHz-Band in Deutschland ausschließlich an die Airdata AG vergeben ist und andere Netzanbieter für den eigenen Betrieb von UMTS-TDD die Dienste dieser Aktiengesellschaft in Anspruch nehmen müssen.

Eine bisher noch nicht angesprochene Option zur Produktdifferenzierung von Breitbandfunk stellt die Entkopplung von Telefon- und Internet-Service dar. DSL wird bislang nur als gebündelte Leistung angeboten, d.h. der Kunde muss einen festen Telefonanschluss bestellen und bezahlen, auch wenn nur ein Internetzugang benötigt wird.

Nach einer Studie von Solon Management Consulting besaßen im Oktober 2005 86% der deutschen Bevölkerung ein aktives Mobiltelefon [DPG05]. Da stellt sich die Frage, ob bei Ein-Personen-Haushalten oder Wohngemeinschaften überhaupt noch ein gemeinsamer stationärer Telefonanschluss gewünscht wird, da die einzelnen Personen schon in Bezug auf Telefon-Service gesättigt sind und die Mobilpreise sich durch den Eintritt von Billigmarken (Aldi, Tchibo, etc.) den Festpreisen immer mehr annähern.

Entkoppeltes Breitbandinternet, wie es zum Beispiel durch O2 mit der auf UMTS basierenden Surf@Home-Box [Onl06] angeboten wird, scheint in diesem Falle eine finanziell interessante Option zu sein. Durch die Etablierung von Voice over IP, also paketeri-

entierten Sprachverbindungen über Internetdienste, geht der Trend sogar soweit, dass Sprachdienste nicht nur entkoppelt, sondern komplett ersetzt werden.

Breitbandverbindungen ermöglichen zusätzlich Broadcast-Dienste wie TV-Streaming oder Video on Demand. Hierbei werden klassische Fernseh- und Kinoinhalte auf Wunsch oder kontinuierlich über das Internet dem Kunden kostenlos oder gegen Gebühr zur Verfügung gestellt. Die Verschmelzung von Telefon-, Internet- und TV-Welt wird auch als Triple Play bezeichnet und scheint für drahtlose und drahtgebundene Serviceprovider ein lukrativer Zukunftsmarkt zu sein.

Gerade aber für Video on Demand und Voice over IP müssen gewisse Voraussetzungen für deren sinnvolle Betreuung gegeben sein und über eine definierte Zeit hinweg stabil bleiben. Die vorher schon im Zusammenhang mit Satellitenverbindung angesprochene Latenzzeit darf nicht zu hoch ausfallen, da ansonsten bei Sprachverbindungen merkliche Verzögerungen oder Echos auftreten, welche an die Anfänge der Überseetelefonie erinnern. Des Weiteren muss jedem Kunden eine ausreichende Mindestbandbreite garantiert werden, da andernfalls sich das Vergnügen bei Live-Übertragungen von Großveranstaltungen, wie der WM 2006, angesichts ruckelnder Bilder und verzerrtem Ton in Grenzen hält.

Auch stellen Firmen höhere Ansprüche an die Qualität ihrer Breitbandverbindungen, da die zeitweilige oder komplette Unterbrechung ihrer Kommunikation zur Außenwelt Imageverlust, Leerzeiten oder Produktionsausfälle zur Folge haben können. Des Weiteren ist hier eine unbedingte Datensicherheit der zu übertragenen Daten zu wahren. Die Parameter Datendurchsatz, Latenz, Datensicherheit und weitere werden unter dem Begriff Quality of Service (QoS) subsumiert.

Es ist also auch von entscheidender Bedeutung, dass die funkbasierten Technologien Mechanismen für die Einhaltung eines ausreichenden QoS-Levels mitbringen, damit sie auch im kommerziellen Segment und für das Triple Play als echte Alternative für das drahtgebundene DSL gehandelt werden können.

## 3 Funktechnologien

Im Folgenden soll ergänzend zu den vorangegangenen Ausführungen die benannten Funktechnologien einzeln besprochen werden. Das Hauptaugenmerk soll hierbei auf den technischen Eigenschaften und besonderen Eigenheiten der Verfahren liegen.

### 3.1 Satellit

Die Zuhilfenahme von Satellitenverbindungen ist gerade in Kriegsgebieten, auf hoher See oder in sehr entlegenen Gebieten die einzige Möglichkeit, eine Kommunikation über weite Strecken hinweg aufzubauen bzw. Internetinhalte abzurufen. In Deutschland wird die überwiegende Anzahl von Satellitenanlagen zum Empfang von Satellitenfernsehen, aber nur wenige als Zugangstechnologie zum breitbandigen Internet verwendet. Bei Satellitenverbindungen können prinzipiell drei Servicetypen unterschieden werden:

- Unidirektional
- Bidirektional
- Multicast

#### 3.1.1 Unidirektional

Bei unidirektionalen Verbindungen wird nur der Downstream, die Übertragung der Daten vom Sender zum Empfänger über den Satelliten realisiert. Der Upstream (Rückkanal), also das Anfordern von Webinhalten, Bestätigungen für den erfolgreichen Empfang von Paketen bei verlässlichen Protokollen (TCP<sup>1</sup>) und das Anbieten von eigenen Inhalten muss bei unidirektionalen Verbindungen über eine zusätzliche Internetverbindung beispielsweise über Modem oder ISDN erfolgen. Bei den gängigen Protokollen (z.B. TCP/IP) ist daher notwendig, dass der Rückkanal, welcher zumeist über die Onlinedauer

---

<sup>1</sup>TCP: Transmission Control Protocol, zuverlässiges, verbindungsorientiertes Transportprotokoll.

abgerechnet wird, über die gesamte Onlinezeit aufrechterhalten werden muss. Des Weiteren kann bei niedrigen Übertragungsraten für den Rückkanal auch das Potential der breitbandigen Satellitenverbindung nicht vollends ausgenutzt werden. Als Zugangsgeräte für unidirektionale Satellitenverbindungen können handelsübliche, digitale Satellitenanlagen eingesetzt werden. Einzelne Internetprovider subventionieren bei Vertragsabschluss sogar vollständig die Zugangshardware.

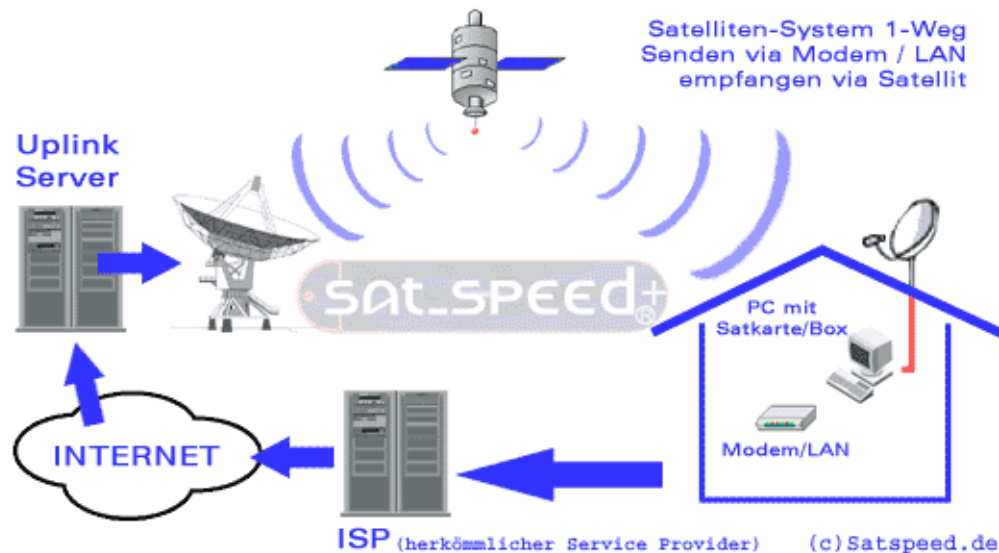


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung einer unidirektionalen Satellitenverbindung mit alternativem Rückkanal aus dem Angebot von Sat\_Speed.

### 3.1.2 Bidirektional

Im Gegensatz zu unidirektionalen Verfahren bieten bidirektionale Satellitenverbindungen auch den Upstream direkt über den Satelliten ohne Notwendigkeit eines alternativen Rückkanals an. Hierfür sind spezielle Satellitenanlagen beim Kunden von Nöten, welche Investitionskosten von über 1500 Euro bedeuten. Wie im vorherigen Kapitel schon angesprochen, sind bidirektionale Systeme eher für den kommerziellen Einsatz oder für Gemeinschaftsanlagen rentabel.

### 3.1.3 Multicast

Ähnlich dem Broadcasting von Video- und Radiosignalen bei terrestrischen oder satellitenbasierten Fernsehen können bei Satelliten-Multicast alle aktiven Empfänger die gleichen Informationen empfangen. Der einzelne Empfänger hat dabei keinen interaktiven

Einfluss auf das Angebot. Multicast wird zumeist zusätzlich zu einem unidirektionalen oder bidirektionalen Zugang für die Übertragung von Softwareupdates, allgemeinen Informationen und auch für digitale Video- und Radioangebote verwendet.

Allen drei Servicetypen gemein ist eine hohe Latenzzeit (Verzögerung), welche durch die große Entfernung von 36.000 km zum geostationären Satelliten bedingt ist. Provider von satellitenbasiertem Breitbandinternet bieten derzeit Transferraten von 2 bis 24 MBit/s an, wobei dies theoretisch erreichbare Richtwerte sind, da die Gesamtbandbreite des Satelliten über alle Empfänger hinweg verteilt wird.

Der große Vorteil von satellitenbasierten Systemen ergibt sich aus der großen Ausleuchtungsfläche. Ein geostationärer Satellit kann weite Teile von Europa zumindest im Multicast-Betrieb<sup>2</sup> versorgen. Allerdings ist eine freie Sichtlinie zum Satelliten notwendig, d.h. direkte Gebäude-interne Verbindungen sind ausgeschlossen.

Die Nutzungskosten sind je nach Servicetyp unterschiedlich, pendeln sich aber etwas über den Kosten von konventionellem DSL ein. Flatrate-Tarife mit 16 MBit/s sind bei unidirektionalen Verbindungen für ca. 30 Euro, plus zusätzliche Gebühren des Rückkanals zu haben.

## 3.2 WLAN

Unter WLAN oder Wireless Local Area Network werden funkbasierte Verfahren verstanden, welche im Industriestandard für drahtlose Netzwerkkommunikation IEEE 802.11<sup>3</sup> spezifiziert sind. Eine erste Version wurde 1997 verabschiedet, welche aber nur vereinzelt Anwendung fand.

Erst der 1999 definierte Standard 802.11b erfreute sich nach der Markteinführung 2001 im Zuge des Aufbaus von HotSpots und der standardmäßigen Integration von WLAN-Modulen in Intels Centrino-Plattformen höherer Popularität. Alternativ zu 802.11b, welches im lizenzfreien 2,4 GHz-Band mit einer Bandbreite von 11 MBit/s kommuniziert, wurde vor allem in den USA 802.11a eingesetzt, welches im 5 GHz-Band mit 54 MBit/s sendet.

Inzwischen weist nach dem Marktforschungsinstitut Instat [IS05] der 2003 spezifizierte Standard 802.11g mit einer Transferrate von 54 MBit/s im lizenzfreien 2,4 GHz-Band die größte Verbreitung auf. Ende des Jahres 2006 soll eine weitere Entwicklungsstufe von WLAN mit der Norm 802.11n verabschiedet werden, welche in dem seit November

---

<sup>2</sup>Beim Multicast-Betrieb ist die Anzahl der Empfänger unbedeutend für den Service.

<sup>3</sup>IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

2002 in Deutschland freigegebenen 5 GHz-Frequenzband auf ein Brutto-Datentransfer von 540 MBit/s kommen soll.

Den relativ hohen Übertragungsraten stehen leider geringe Reichweiten entgegen. Allgemein kann von einer Reichweite zwischen 50 m und 150 m ausgegangen werden, wobei diese abhängig von der gewählten Frequenz, der verwendeten Antenne sowie der Art und Anzahl von Objekten zwischen Sender und Empfänger ist.

Bei WLAN werden zwei Betriebsmodi, Infrastrukturmodus und Ad-hoc-Modus unterschieden. Für den Infrastrukturmodus ist ein Access Point von Nöten, welcher zusätzlich zur WLAN-Funktionalität als Mittlerposition zwischen mehreren Netzwerkteilnehmern und externen drahtlosen oder drahtgebundenen Netzen fungiert. Durch die Kombination von mehreren Access Points und somit deren Einzelzellen kann die Reichweite eines WLANs erhöht werden. Access Points sind schon unter 100 Euro zu haben und werden oftmals durch DSL-Provider mitsubventioniert.

Im Ad-hoc-Modus werden ohne feste Struktur beliebige WLAN-Geräte je nach Erreichbarkeit miteinander verbunden. Jeder Knoten der Netztopologie kann mit jedem Nachbarknoten kommunizieren. Es werden aber nicht wie beim Infrastrukturmodus Datenpakete weitergereicht. Somit kann die Situation entstehen, dass zentral positionierte WLAN-Geräte das gesamte Netz erreichen können, wohingegen Geräte am Randbereich nur Teile des Netzes sehen.

Standardmäßig WLAN-fähig oder kostengünstig aufrüstbar sind PCs, Laptops, Printer, PDAs und sogar Handys. Entsprechend der Anzahl und der Diversität von WLAN-Klienten, wurde das offensichtliche Marktpotential auch schon auf Anbieterseite entdeckt. Derzeit offerieren über 5000 kommerzielle HotSpots<sup>4</sup> an öffentlichen Plätzen und in Transportmitteln den drahtlosen Zugang zum Internet.

Umständlich sind bisher noch die Abrechnungsmodalitäten bei der Nutzung von kommerziellen HotSpots. Für den Zugang muss ein Profil beim jeweiligen Provider angelegt werden, welches nicht nur die Authentifizierung per Benutzername und Passwort zulässt, sondern auch Kreditkartennummer oder Kontoverbindung abspeichert. Mobilfunkteilnehmer, wie T-Mobile erlauben nach einer speziellen Anmeldung über das Profil der SIM-Karte<sup>5</sup> oder durch eine Aufforderung per SMS die Abrechnung der HotSpot-Nutzung im Rahmen des Mobilfunkvertrages [RS05].

---

<sup>4</sup>HotSpots: Öffentlich zugängliche WLAN Access Points von zumeist kommerziellen Internet Providern.

<sup>5</sup>SIM-Karte: Subscriber Identity Module, Chipkarte zur eindeutigen Identifikation eines Mobilfunkteilnehmers.

## 3.3 UMTS

UMTS<sup>6</sup> wurde ursprünglich vom ETSI, dem Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen standardisiert und anschließend dem 3rd Generation Partnership Project (3GPP) zur Pflege und Weiterentwicklung übergeben. UMTS wird auch als Mobilfunkstandard der 3. Generation bezeichnet und soll langfristig das bisherige GSM-Netz<sup>7</sup> (2G) ersetzen. In Europa basiert UMTS auf der Übertragungsnorm WCDMA<sup>8</sup> und in den USA auf das zu WCDMA inkompatible CDMA2000<sup>9</sup>.

Nach dem Medien-Hype im Jahre 2000, welcher in der Versteigerung der deutschen UMTS-Lizenzen im Gesamtwert von 50,81 Milliarden Euro seinen Höchststand fand, mussten die deutschen Kunden bis Jahresende 2004 warten, um erste Realerfahrungen mit dem neuen Mobilfunkstandard sammeln zu können. Derzeit liefert UMTS im FDD-Modus Bandbreiten von maximal 384 KBit/s. Dabei soll das Empfängergerät sich mit bis zu 120 km/h fortbewegen dürfen.

UMTS ist nicht nur für den mobilen Bereich interessant, sondern auch als Zugangstechnologie für breitbandiges Internet. Einerseits können UMTS-fähige Handys, PDAs oder PCs direkt als Zugangsgeräte genutzt werden. Andererseits stehen auch in direkter Konkurrenz zum Festnetzanschluss UMTS-Geräte zur Verfügung, welche analoge und digitale Anschlüsse, Anrufbeantworter, WLAN Access Point und LAN-Switch in sich vereinen. Diese Geräte werden in Verbindung mit günstigeren Konditionen für Volumen- oder Flatratetarife vertrieben und ermöglichen die Entbündelung des Internetzugangs vom Telefonanschluß.

### 3.3.1 UMTS-FDD

Der FDD-Modus (Frequency Division Duplex) teilt das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum in zwei Bereiche ein, welche jeweils der Mobil- und Basisstation zugeordnet werden. Die Mobilstation sendet somit auf einer anderen Frequenz wie die Basisstation, wodurch eine einfachere asymmetrische Aufteilung der Bandbreite resultiert. So ist bei einer Downloadrate von 384 KBit/s nur ein Upload von 128 KBit/s zu erreichen. Diese Asymmetrie deckt sich mit dem durchschnittlichen Benutzerverhalten, da der Anwender oft nur als Informationskonsument und weniger als Produzent auftritt. Das Gesamtsystem kann mit dieser Aufteilung entsprechend besser ausgelastet und damit profitabler betrieben werden.

---

<sup>6</sup>UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

<sup>7</sup>GSM: Global System for Mobile Communications, volldigitaler Mobilfunknetz-Standard.

<sup>8</sup>WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access.

<sup>9</sup>CDMA2000: Code Division Multiple Access 2000.

### 3.3.2 UMTS-TDD

Der TDD-Modus (Time Division Duplex) teilt nicht die Frequenz, sondern die Zeit in unterschiedliche Intervalle ein. Mobil- und Basisstation senden in diesem Falle auf der identischen Frequenz, aber zu unterschiedlichen Zeiten. Das etwas komplexere Verfahren zeigt sich in der Praxis als effektiver und lässt Transferraten von maximal 2 MBit/s zu. Die Bandbreite reduziert sich aber in Folge von Timingproblemen enorm, wenn die Mobilstation sich bewegt oder weit von der Basisstation entfernt positioniert ist.

### 3.3.3 HSDPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) soll als weitere Ausbaustufe (3,5G) von UMTS erhöhte Downloadraten von maximal 14,4 MBit/s ermöglichen. T-Mobile, Vodafone und O2 kündigten an, dass sie ihre deutschen UMTS-Netze bis März 2006 mit HSDPA auf zuerst maximal 1,8 MBit/s (4,5-fache von UMTS-FDD) ausgebaut haben wollen. Zusätzlich zu den höheren Bandbreiten bringt HSDPA auch eine erhebliche Reduzierung der Latenzzeiten (Verzögerung) mit sich. Beim Verlust von Datenpaketen, was bei Funkverbindungen durch Kanalqualitätsschwankungen vermehrt auftritt, wird bei UMTS ohne HSDPA durch das Transportprotokoll TCP das verlorene Paket nochmals angefordert und mittels der TCP-Flusskontrolle die Sendegeschwindigkeit zuerst reduziert und erst wieder langsam gesteigert, um eine Überlastung des Netzes zu vermeiden. Die für drahtgebundene Netzwerke optimierte TCP-Flusskontrolle verursacht infolge der langsamen Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeit Latenzzeiten von 200 - 300 ms, wodurch Onlinedienste wie Voice over IP oder Onlinespiele nicht mehr sinnvoll ausführbar sind. UMTS HSDPA reduziert die Latenzzeiten durch eine optimierte Flusskontrolle auf eine verhältnismäßig geringe Verzögerungszeit von 100 ms.

### 3.3.4 HSUPA

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) ist ein bisher noch nicht vollständig spezifiziertes Datenzugriffsprotokoll, welches den Datendurchsatz im Upload auf maximal 5,8 MBit/s erhöhen soll. Nach Plänen der Mobilfunkbetreiber soll eine erste Vorstufe von HSUPA in zwei Jahren dem Kunden eine Uploadrate von 1,4 MBit/s ermöglichen. Gemeinhin wird HSUPA auch als 3,75G, also als Protokoll der 3,75-ten Generation bezeichnet.



## 3.4 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) steht für drahtlose Funktechnologie, welche sich konform zu der von IEEE Working Group on Broadband Wireless Access Standards spezifizierten Norm-Familie 802.16 verhalten.

Über WiMAX sind Point-to-Multipoint-Übertragungen auf verschiedenen Frequenzspektren mit einer maximalen Transferrate von 134 MBit/s bei Bewegungen von mehr als 100 km/h und einer Reichweite von über 60 km möglich. Es ist offensichtlich, dass diese beeindruckenden Leistungswerte jeweils nur bei einer gleichzeitigen Einschränkung der anderen Parameter zu erreichen sind.

### 3.4.1 IEEE 802.16

Der im Dezember 2001 verabschiedete IEEE 802.16 Standard sieht Frequenzen über 10 GHz vor. Für eine effektive Verbindung ist dementsprechend eine freie Sichtlinie unumgänglich. Bei 2 - 5 km Reichweite können je nach verwendetem Frequenzband Bandbreiten von 32 - 134 MBit/s erreicht werden.

### 3.4.2 IEEE 802.16-2004

Unter dem Standard IEEE 802.16-2004 werden verschiedene Normen zusammengefasst, welche mit Frequenzen unter 11 GHz auch eine Gebäude-interne Versorgung zum Ziel haben. Mit einer Reichweite von 5 - 8 km und einer maximalen Bandbreite von 75 MBit/s können stationäre Indoor-Antennen bedient werden. Unter Testbedingungen sind bei freier Sichtlinie und mithilfe von Spezialantennen Reichweiten von 50 km feststellbar.

### 3.4.3 IEEE 802.16-2005

Der im Dezember 2005 verabschiedeten Standard 802.16-2005, welcher vorher unter der Bezeichnung 802.16e geführt wurde, berücksichtigt nun auch mobile WiMAX-Geräte. Dabei sind bei Frequenzen unterhalb von 6 GHz Transferraten von maximal 15 MBit/s mit einer Reichweite von über 5 km möglich. Geschwindigkeiten von maximal 120 km/h sind ebenfalls im Standard vorgesehen. Im Gegensatz zu Roaming ist ein unterbrechungsfreier Handover zwischen WiMAX-Zellen nicht Gegenstand dieses Standards, sondern wird voraussichtlich erst durch den für 2008 geplanten Standard IEEE 802.20/21 realisiert [ECI05].

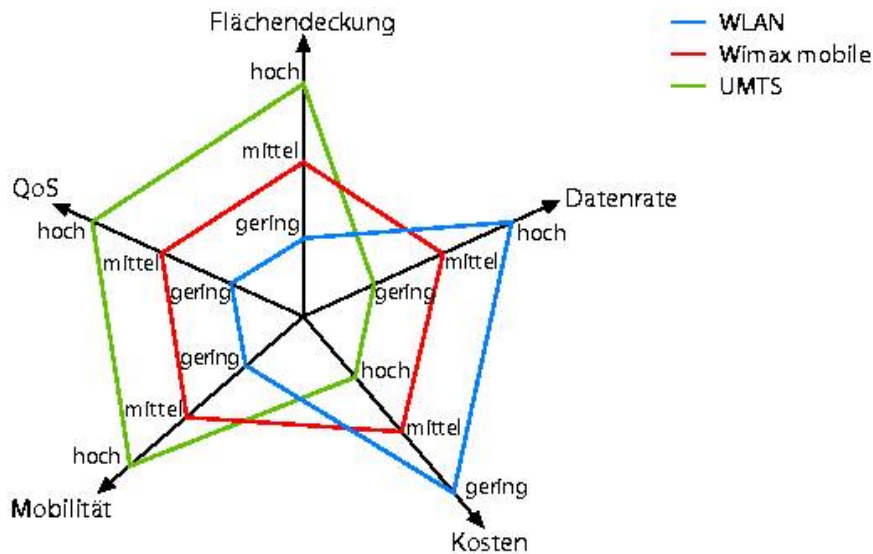


Abbildung 3.2: Spidergram zur Gegenüberstellung der Eigenschaften von WLAN, UMTS und WiMAX aus c't 15/2005.

Aufgrund der starken Lobbyarbeit durch Intel und weiteren Gleichgesinnten stehen die Chancen gut, dass in naher Zukunft WiMAX-fähige Hardware eine ähnliche Penetration wie WLAN-Geräte in der Bevölkerung aufweist. Ob eine vergleichbare Popularität eintritt, ist allerdings fraglich, da es sich hier nicht um ein reines Verbraucherprodukt handelt.

Um ein WiMAX-Netz betreiben zu können, müssen Frequenzen lizenziert und hohe Investitionen in die Infrastruktur geleistet werden. Daher ist WiMAX zumindest nach den bisherigen Spezifikationen nicht für die autonome Heimvernetzung oder ähnliches geeignet. WiMAX wird sich infolgedessen eher zusätzlich zu den bestehenden Technologien, UMTS und WLAN, etablieren.

## 4 Schlussfolgerung und Ausblick

„It’s not a case of one technology becoming universal, or one technology replacing another,“ explains Sean Maloney, Executive Vice President and General Manager, Intel Communications Group. „All of the wireless networks will get built out for different usages, with some overlap at the edges. But most importantly, the technologies will co-exist, creating more robust solutions that will enable a lot of new and exciting possibilities.“

Die in dieser Arbeit thematisierten drahtlosen Zugangstechniken für breitbandiges Internet bringen jeweils spezifische Eigenheiten mit sich, welche je nach Anforderung bewertet werden müssen. Kein Verfahren kann in Bezug auf Mobilität, Bandbreite, Reichweite, Kosten und Verbindungsqualität als insgesamt überragend bezeichnet werden.

Frei nach dem Intel-Motto „always best connected“ und dem Zitat nach Sean Maloney werden die Kunden schon in naher Zukunft (fast) überall ihre Emails abrufen, sich zum nächsten Hotel führen und das Abendprogramm planen können. Die dabei zu erreichenden Datenraten und die verursachten Kosten werden naturgemäß je nach Service-Provider und verwandtes Verfahren differieren.

Wie sich drahtgebundene Zugangstechnologien gegenüber den funkbasierten Verfahren positionieren werden ist fraglich. Mobilität ist ein von der breiten Masse sehr geschätztes und durch drahtgebundene Medien nicht per se realisierbares Gut. Mit optischen Medien (Glasfaserkabel), welche jetzt schon in OPAL-Gebieten anstatt herkömmlicher Kupferkabel für die Teilnehmeranschlussleitungen verwendet werden, können aber Bandbreiten von mehreren GBit/s (1 GBit/s = 1024 MBit/s) realisiert werden und überflügeln damit bei Weitem die funkbasierten Verfahren. Die Zugangshardware hierfür ist aber derzeit noch relativ teuer und infolgedessen wenig verbreitet.

Eine Koexistenz der drahtgebundenen und funkbasierten Verfahren scheint hinsichtlich der jeweiligen Vorzüge als wahrscheinlich. Die Aufteilung des Marktes dürfte jedoch infolge der Erschließung neuer Kunden in Asien und Afrika keine negativen Auswirkungen auf die Rentabilität einzelner Technologien haben. Proprietäre Systeme ohne Standardisierung und weit reichende Lobby werden es aber in Zukunft schwer haben noch profitable Nischen für sich zu identifizieren.

# Literaturverzeichnis

- [Ame05] 3G Americas. World cellular subscribers by technology.  
<http://www.3gamericas.org/English/Statistics/>, 2005.
- [Com05] Computerwoche.de. Telekom-wettbewerber verdoppeln anteil am dsl-markt,  
15.12.2005. <http://www.computerwoche.de/nachrichten/569978>, 2005.
- [Cor04] Intel Corporation. Broadband wireless: The new era in communications.  
<http://www.intel.com/netcomms/bbw/302026.htm>, 2004.
- [DPG05] Solon Management Consulting Dr. Philipp Geiger. Mobilfunk deutschland  
2010. <http://www.solon.de/>, 2005.
- [ECI05] ECIN. Drahtlose breitbandzugänge - eine ernstzunehmende alternative zu dsl?  
<http://www.ecin.de/mobilebusinesscenter/wireless-broadband/>, 2005.
- [ECI06] ECIN. Ftk - forschungsinstitut für telekommunikation.  
<http://www.ecin.de/>, 2006.
- [IEE06] IEEE. Institute of electrical and electronics engineers.  
<http://www.ieee.org/>, 2006.
- [IS05] In-Stat. Digitales heim 2005.  
<http://www.instat.com/>, 2005.
- [Onl06] O2 Online. Surf@home box - ohne festnetz günstig und schnell ins internet.  
<http://www.o2online.de/o2/interessenten/tarife/startseite/surfathome/index.html>,  
2006.
- [Res05] Deutsche Bank Research. Breitband: Europa braucht mehr als dsl.  
[http://www.dbresearch.de/PROD/DBR\\_INTERNET\\_EN-PROD/PROD0000000000190341.pdf](http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD0000000000190341.pdf), 2005.
- [RS05] c't Heise Verlag Richard Sietmann. Geheimwaffe sim-karte.  
<http://www.heise.de/ct/>, 2005.