

Mobile WiMAX

Christian Schwörer
Hochschule der Medien
Nobelstr. 10, 70569 Stuttgart
e-mail: cs116@hdm-stuttgart.de

Abstract

Mobile WiMAX ist eine Weiterentwicklung der Funknetztechnologie WiMAX. Es ermöglicht den drahtlosen Breitbandanschluss von mobilen Geräten. Dieser Artikel enthält eine Übersicht über die dazu notwendigen Erweiterungen des WiMAX-Standards sowie eine Einschätzung der aktuellen Marktsituation.

1. Einleitung

Mobiler breitbandiger Netzzugang ist eines der aktuellsten und sich am schnellsten entwickelnden Gebiete im globalen Kommunikationsmarkt. Durch die immer stärkere Verbreitung von Notebooks, internetfähigen Smartphones, PDAs und anderen portablen Endgeräten, möchte der Nutzer im Rahmen dieser erlangten Bewegungsfreiheit auch Dienste und Anwendungen mobil so zu nutzen, wie er dies von seinem gewohnten kabelgebundenen Heim- oder Bürozugang kennt. Aber auch aus Sicht der Mobilfunkanbieter ergibt sich in Zeiten von stagnierenden Erlösen bei Sprachdiensten ein neues interessantes Geschäftsfeld.

Eine erfolgversprechende Möglichkeit zur Realisierung von mobilem Breitbandanschluss bietet *Mobile WiMAX*.

Das Kürzel *WiMAX* steht für *Worldwide Interoperability for Microwave Access* und wird meist als Synonym für einen Standard der *802.16-Familie* des *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* verwendet. *WiMAX* wurde zunächst als Datenfunk zur Festinstallation entworfen. Es stellt eine drahtlose Alternative zu DSL- und Kabelanschlüssen dar, mit der kosteneffektiv die „letzte Meile“ zum Nutzer überbrückt werden kann. Eine Versorgung von hochgradig mobilen Geräten ist hierbei vorerst nicht vorgesehen. So erlaubt der 2004 veröffentlichte Standard *IEEE 802.16-2004* keinen nahtlosen Übergang zwischen verschiedenen Funkzellen innerhalb einer Sitzung, was jedoch für eine mobile Kommunikation notwendig wäre. Er wird deshalb auch als *Fixed WiMAX* bezeichnet.

Der 2005 herausgegebene Standard *IEEE 802.16e-2005* [1], oftmals kurz *802.16e*, stellt nun eine Weiterentwicklung von *Fixed WiMAX* um Funktionen für kombiniert stationäre und mobile Anwendungen dar. Um eine Unterstützung

von mobilen Endgeräten mit bis zu 125 km/h zu ermöglichen, mussten verschiedene Besonderheiten der mobilen Kommunikation berücksichtigt werden.

Parallel zur Entwicklung des *802.16-Standards* wurde in Südkorea unter der Leitung von *Samsung, LG Electronics* und des koreanischen *Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)* mit *WiBro (Wireless Broadband)* ein Standard ausgearbeitet, der auf die selben Anwendungsszenarien wie *802.16e* zielt. Da die koreanische Entwicklung sehr viel schneller vorangetrieben werden konnte, war zu befürchten, dass sich *WiBro* als Quasistandard etabliert. Deshalb wurden die *WiBro-Verantwortlichen* überzeugt, sich an der *WiMAX-Standardisierung* zu beteiligen. Folglich sind weite Teile des *WiBro-Standards* in *802.16e-2005* eingeflossen.

Das im Juni 2001 gegründete *WiMAX-Forum* ist eine der entscheidenden Organisation im *WiMAX-Umfeld*. Momentan hat es mehr als 520 Mitglieder, darunter größtenteils Hersteller drahtloser Vernetzungstechnologie. Es ist in verschiedene Arbeitsgruppen untergliedert, die beispielsweise mit der Erstellung von übergeordneten Spezifikationen oder der Zertifizierung von Geräten betraut sind.

Mobile WiMAX steht also für den Standard *IEEE 802.16e-2005* sowie einige zusätzlich notwendige Erweiterungen durch das *WiMAX-Forum*.

Im Rahmen dieses Artikels werden zunächst zwei mit *WiMAX* verwandte Technologien beschrieben, um eine Abgrenzung dazu zu ermöglichen. Anschließend wird erläutert, wie *Mobile WiMAX* mit den Besonderheiten in Mobilfunknetzen, die bei *Fixed WiMAX* nicht von Belang waren, umgeht. Dabei orientiert sich das Vorgehen weitestgehend am Buch zu *WiMAX* von Johannes Maucher und Jörg Furrer [6]. Anknüpfend daran werden einige allgemeine Vorteile von *Mobile WiMAX*, auch im Hinblick auf konkurrierende Technologien, aufgezeigt. Abschließend wird noch ein Blick auf die momentane Marktsituation geworfen.

2 Verwandte Technologien

In diesem Kapitel werden zwei Technologien aus dem Umfeld von Mobile WiMAX kurz charakterisiert: *WLAN* und *HSPA*. Dabei sollen lediglich deren wesentlichen Eigenschaften sowie die grundsätzlichen Unterschiede zu Mobile WiMAX aufgezeigt werden. Detaillierte Informationen finden sich in entsprechender Fachliteratur ([10] bzw. [11]).

2.1 WLAN

WLAN (*Wireless Local Area Network*) bezeichnet in der Regel einen Standard der *IEEE 802.11-Familie*. Das Hauptanwendungsgebiet sind lokale, drahtlose Computernetze. Es findet beispielsweise bei Büro- und Heimnetzen aber auch als Zugangsmöglichkeit zum Internet über öffentliche *Hotspots* Verwendung.

Die erste Version des Standards wurde von der *IEEE 802.11 Working Group* 1997 verabschiedet. 1999 erschien der Nachfolger 802.11b, der in erster Linie höhere Datenraten erzielt. Aktuell verfügbar ist der 2003 veröffentlichte Standard 802.11g, mit dem Datenraten bis zu 54 Mbit/s erreicht werden können. Dazu kommt unter anderem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (siehe Kapitel 3.1.1) zum Einsatz.

WLAN konnte große Erfolge verbuchen. Dies ist auf kostengünstige Netzwerkkomponenten, die einfache Installation und gute Administrierbarkeit sowie die Nutzung von lizenzfreien Frequenzbändern zurückzuführen. Aber auch die Integration der *WLAN*-Technologie in die Centrino-Chips von Intel für die Nutzung in Notebooks hat zur starken Verbreitung beigetragen.

Die Auslegung von *WLAN* für die drahtlose Vernetzung von Computern in lokalen Indoor-Umgebungen bringt allerdings einige Einschränkungen mit sich: So ist die Reichweite relativ begrenzt (ca. 100 Meter), die Organisation des Netzwerks erfolgt dezentral, eine *Quality of Service*-Unterstützung findet nur sehr eingeschränkt statt und für portable Endgeräte ist lediglich der stationäre und nomadische Zugriff vorgesehen.

Die Verwandtschaft von *WLAN* zu *WiMAX* wird bereits durch die Zugehörigkeit beider zur Gruppe der 802-Standards ersichtlich. Allerdings gibt es einige gewichtige Unterschiede, die sich größtenteils aus den obigen Einschränkungen für *WLAN* ergeben: Da *WiMAX* im Gegensatz zu *WLAN* für den drahtlosen Breitbandanschluss (*BWA, Broadband Wireless Access*) ausgelegt ist, können größere Reichweiten erreicht werden. So können mit einer *WiMAX*-Basisstation ganze Stadtgebiete abgedeckt werden. Durch den möglichen Betrieb von *WiMAX* in lizenzierten Frequenzbändern kann beispielsweise die Dienstgüte besser sichergestellt werden. Durch die Erweiterung des Standards zu dem in dieser Arbeit vorgestellten Mobile Wi-

MAX, ist auch eine Versorgung von hochgradig mobilen Endgeräten möglich. Durch die größere Reichweite sind zur Abdeckung eines Gebiets weniger Netzwerkkomponenten notwendig. Allerdings sind diese Komponenten auch teurer, da komplexeres Equipment benötigt wird.

Die Weiterentwicklungen des 802.11-Standards bieten sowohl *Quality of Service*-Konzepte (802.11e) als auch flächendeckende Versorgung durch *Mesh-WLAN* (802.11s). Auch die Datenrate wird sich weiter erhöhen (802.11n). Deshalb ist es durchaus möglich, dass zukünftige *WLAN*-Versionen in eine Art Konkurrenz zu *WiMAX* treten. Wahrscheinlicher ist in der Praxis jedoch eine Kombination der beiden Technologien, wie sie momentan schon teilweise erfolgt: Dabei wird *WiMAX* zum Beispiel von *WLAN*-Hotspots als Backhaul genutzt.

2.2 HSPA

HSPA (*High Speed Packet Access*) ist eine Weiterentwicklung des Mobilfunkstandards *UMTS* (*Universal Mobile Telecommunications System*), die höhere Übertragungsraten ermöglicht. Sie gliedert sich in *HSDPA* (*High Speed Downlink Packet Access*) zur Beschleunigung des Downlink und *HSUPA* (*High Speed Uplink Packet Access*) für den Uplink.

HSDPA ist im *UMTS*-Standard Release 5 des *3GPP-Terminals (3rd Generation Partnership Project)* definiert. Ziel ist eine Erhöhung der Downlink-Datenrate auf der *UMTS*-Luftschnittstelle auf bis zu 14,4 Mbit/s sowie eine Verminderung des *Delay Round Trips*. Dazu ist neben einer dynamischen Anpassung von Modulation und Codierung an die aktuellen Ausbreitungsbedingungen auch eine Senkung der minimalen Rahmendauer (*TTI, Transmission Time Interval*) von 10 ms auf 2 ms vorgesehen. Des Weiteren werden statt 2 Bits pro Modulationssymbol bis zu 8 Bits pro Symbol übertragen und ein fester Spreadingfaktor von 16 wird verwendet. Bestehende *UMTS*-Netze können durch ein Software-Update zur Unterstützung von *HSDPA* aktualisiert werden, Endgeräte benötigen neue Hardware.

HSUPA ist die Übertragung dieses Konzepts auf den Uplink. Spezifiziert ist *HSUPA* im Release 6 des *UMTS*-Standards. Dabei können Datenraten von bis zu 5,8 Mbit/s erreicht werden. *HSUPA* wird oftmals auch als *Enhanced Uplink* bezeichnet.

In Deutschland bieten die ersten großen Netzbetreiber inzwischen *HSPA* an, wobei die maximalen Datenraten noch nicht erreicht werden.

HSPA entstand, um in einem Netz, das ursprünglich für Sprachdienste ausgelegt war, Datendienste auszuliefern. Im Gegensatz dazu wurde *WiMAX* als *BWA*-System entwickelt, das komplett paketvermittelnd arbeitet. Dadurch lassen sich höhere Datenraten erreichen (siehe [3]) und die Nutzung von bandbreitenintensiven Datendiensten aber auch Sprachdiensten ist möglich. Des Weiteren arbeitet Wi-

MAX mit dem Modulationsverfahren *Scalable OFDMA* (siehe Kapitel 3.1.1), was einige Vorteile bezüglich der Nutzung des Funkkanals mit sich bringt, wie zum Beispiel eine bessere spektrale Effizienz.

Ein nächster Nachfolger im UMTS-Bereich stellt *3GPP Long Term Evolution (LTE)* dar. LTE ist Bestandteil des Release 8 der 3GPP-Spezifikation. Es wird eine weitere Erhöhung der Datenrate erzielt. Für den Downlink sind theoretisch bis zu 320 Mbit/s, für den Uplink bis zu 50 Mbit/s erreichbar (bei einer Kanalbreite von 20 MHz und der parallelen Nutzung von mehreren Sende- und Empfangsantennen). LTE arbeitet dazu wie Mobile WiMAX mit *OFDMA*. Es nutzt somit ein völlig anderes Verfahren als die heutigen UMTS-Versionen und ist deshalb nicht rückwärtskompatibel.

3 Mobile WiMAX - Mobilität, Vorteile und Marktsituation

3.1 Besonderheiten mobiler Kommunikationsnetze

Anders als bei stationären oder nomadischen Teilnehmern kann sich eine *Mobile Station (MS)* während einer Sitzung mit bis zu 125 km/h bewegen, ohne dass dabei die Verbindung zur Basisstation verloren gehen darf. Eine solche Bewegung kann über Zellgrenzen hinweg erfolgen, was durch den Benutzer nicht bemerkt werden sollte. Das bedeutet, es muss eine möglichst unterbrechungsfreie Übertragung in die neue Zelle sichergestellt werden. Dieser Zellwechsel wird auch als *Handover* bezeichnet. Aus diesen Besonderheiten ergeben sich neue Anforderungen für den Systementwurf, die im Folgenden aufgezeigt werden sollen.

Für den Funkkanal gelten bei der mobilen Kommunikation physikalischen Einschränkungen. Da ein ständiger direkter Sichtkontakt zwischen Sender und Empfänger nicht vorausgesetzt werden kann, muss von einer Nicht-Sichtverbindung (*NLOS, Non-line-of-sight*) ausgegangen werden. NLOS-Verbindungen haben generell das Problem, dass durch Reflexionen, Beugungen und Streuungen die elektromagnetischen Wellen sich zwischen Sender und Empfänger auf unterschiedlichen Pfaden ausbreiten (*Multipath Propagation*). Das hat zur Folge, dass die Signale beim Empfänger zu unterschiedlichen Zeiten eintreffen können. Bei diesem so genannten (*Multipath-Delay-Spread*) kann es vorkommen, dass sich die Signalkopien beim Empfänger nichtphasensynchron überlagern. Dies kann soweit gehen, dass sich die Signalkopien gegenseitig nahezu komplett auslöschen. Des Weiteren kann es durch Echos zu einer Überlagerung aufeinander folgender Signale, der *Inter-symbolinterferenz*, kommen. Ein zusätzlicher relevanter Effekt, der insbesondere für mobile Netze gilt, ist die spektra-

le Dopplerverschiebung. Sie tritt auf, wenn sich Sender oder Empfänger während der Signalübertragung bewegen und ist abhängig von der Geschwindigkeit. Auch kann es zu unerwartet auftretenden Abschattungseffekten kommen, wenn die Mobile Station hinter einem Hindernis (z.B. einem Gebäude) verschwindet. Alle diese Merkmale erfordern höchst dynamische Verfahren für die physikalische Übertragung.

In der Regel haben mobile Zugriffsnetze einen zellularen Aufbau. Ein solches Netz muss in der Lage sein, die Zelle einer ihm zugeordneten Mobile Station zu ermitteln, um gegebenenfalls eine Verbindungsanfrage durchstellen zu können.

Im mobilen Umfeld hat man es oftmals mit Endgeräten zu tun, die nur über eine sehr beschränkte Energieversorgung verfügen, da ihnen als Energiequelle ein Akku dient. Auch wenn in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Akkumulatorentwicklung einige Fortschritte erreicht werden konnten, ist die Energieversorgung mobiler Geräte nach wie vor stark eingeschränkt. Das bedeutet, dass ihr Energieverbrauch möglichst minimiert werden muss, um eine lange Laufzeit zu erreichen. Folglich sollte sich eine Mobile Station nur im energieintensiven Sende- und Empfangsmodus befinden, wenn dies auch wirklich notwendig ist. Für die Zeit, wenn keine Sende- oder Empfangsleistung erforderlich ist, sollte der Wechsel in den *Stand-By-Zustand* ermöglicht werden.

Vor Allem in kommerziellen mobilen Netzen sind in der Regel so genannte *Triple-A-Systeme* (AAA für Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung) notwendig. Daraus ergeben sich weitere Anforderungen. So muss etwa beim Einschalten einer Mobile Station deren Zugangsberechtigung für das Netz überprüft werden. Die Zugangsberechtigung muss auch bei einem Handover sichergestellt werden. Wenn das Netz eines Betreibers zum Beispiel durch Überschreiten der Landesgrenze verlassen wird, müssen netzübergreifende Verfahren für die autorisierte Nutzung von Diensten und eine anbieterabhängige Abrechnung zur Verfügung stehen (*Roaming*).

Die aufgeführten Anforderungen betreffen nicht nur die Luftschnittstelle sondern auch wesentliche Elemente des Kernnetzes. Das sich der Standard 802.16e aber auf den Physical-Layer (PHY) und den Media Access Control-Layer (MAC) und somit auf die Luftschnittstelle beschränken, wurde vom WiMAX-Forum die *Network Working Group (NWG)* gebildet. Die NWG erstellt die übergeordneten Spezifikationen, die notwendig sind um eine End-to-End-Architektur zu ermöglichen.

In den folgenden Abschnitten werden einige Konzepte vorgestellt, wie sich Mobile WiMAX den Herausforderungen der Mobilität stellt.

3.1.1 Scalable OFDMA

Um die Anforderungen aus den oben beschriebenen Besonderheiten des Funkkanals bei der mobilen Kommunikation zu erfüllen, ist für Mobile WiMAX *Scalable OFDMA* als Modulationsverfahren spezifiziert.

Scalable OFDMA basiert auf der Mehrträgermodulation *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*. Bei OFDM wird die gesamte zur Verfügung stehende Bandbreite in viele schmalbandige Teilfrequenzen (Subträger) aufgeteilt. Dieses Verfahren ist bereits in *IEEE 802.16-2004 (Fixed WiMAX)* spezifiziert. Dort wird das Frequenzband auf 256 Subträger aufgeteilt. Durch ein spezielles Signaldesign wird es möglich, dass sich die Subträger überlappen, ohne sich gegenseitig zu stören. Die Subträger sind zueinander orthogonal, was bedeutet, dass an den Abtastpunkten eines Subträgers der Einfluss anderer Subträger gleich Null ist. Folglich müssen keine Schutzbänder vorgesehen werden, so dass mit OFDM eine hohe spektrale Effizienz erreicht wird.

Ein Problem der Mehrpfadausbreitung bei NLOS-Verbindungen ist die *Intersymbolinterferenz*: Da die Laufzeit eines Signals mit der Pfadlänge zunimmt, können sich aufeinanderfolgende Signale gegenseitig „verschmieren“. Dieser Effekt ist umso größer, je kürzer die Signaldauer im Vergleich zur Laufzeitdifferenz ist. Bei OFDM gilt der Umstand, dass bei einer größeren Anzahl von Subträgern die einzelnen Frequenzbänder schmalbandiger und gleichzeitig die Signaldauern länger werden. Dadurch wird der Einfluss der Intersymbolinterferenz sehr gering. Ein weiteres Problem stellen frequenzselektive Signaleinbrüche dar. Diese sind besonders typisch für Kommunikation, bei der sich Sender oder Empfänger bewegen. Bei OFDM wird der frequenzselektive Kanal in viele schmalbandige und damit nicht frequenzselektive Subträger aufgeteilt. Somit wird der eigentlich starke frequenzselektive Einbruch zu einem auf viele Symbole verteilten schwachen Einbruch. Dieser schwache Einbruch pro Symbol erlaubt im besten Fall immer noch einen korrekten Empfang. Auf jeden Fall können für die einzelnen Subträger individuelle Kanalcodierverfahren verwendet werden.

Bei *OFDMA (OFD Multiple Access)* handelt es sich um eine OFDM-Übertragung, die mit einer Vielfachzugriffstrategie (*Multiple Access*) gekoppelt wird. Dabei werden die zur Verfügung stehenden Subträger dynamisch einzelnen, parallel bedienten Kommunikationsteilnehmern zugeteilt. Dadurch ist es möglich, dass die Übertragung an bestimmte Quality of Service- und Nutzer-Anforderungen angepasst wird. So kann beispielsweise einem Nutzer, der Internet-TV schaut, mehr Bandbreite wie einem im WWW surfenden Nutzer zugewiesen werden.

Scalable bedeutet nun, dass die Anzahl der Subträger nicht fest vorgegeben ist, sondern von der gesamten Frequenzbandbreite abhängt. So können zum Beispiel bei einer Bandbreite von 1,25 MHz 128 Subträger, bei einer Band-

breite von 20 MHz 2048 Subträger genutzt werden. *Scalable OFDMA* ermöglicht folglich mit einer konstantem Subträgerbreite zu arbeiten, wodurch sich die Systemkomplexität vereinfacht und bei höheren Kanalbandbreiten bessere Leistungsdaten erzielt werden. Zusätzlich werden Codierung und Modulation abhängig von den Kanalbedingungen für jeden Subträger separat eingestellt. Zur Auswahl stehen dazu *QPSK*, *16QAM* oder *64QAM*.

Abschließend lässt sich feststellen, dass mit Scalable OFDMA die Sendeleistung optimal an die unterschiedlichen Übertragungsumgebungen bei der mobilen Kommunikation angepasst werden kann.

3.1.2 Handover

Bei mobilen Kommunikationsnetzen kann es während einer Sitzung zu einem Wechsel der Funkzelle, dem so genannten *Handover*, kommen. Dies kann entweder passieren, wenn die Mobile Station den von einer Basisstation abgedeckten Bereich verlässt oder wenn die Basisstation aufgrund einer Überlastung einen Kommunikationsteilnehmer an eine benachbarte Basisstation mit entsprechend freien Kapazitäten weiterleitet.

Damit bei Echtzeitdiensten wie IP-Telefonie (*Voice over IP*, kurz *VoIP*) keine Qualitätseinbußen entstehen, muss ein unterbrechungsfreier Zellwechsel gewährleistet sein. Das bedeutet, dass der Übergang in eine neue Zelle maximal 50 ms beanspruchen darf.

Der Ablauf des Handovers geschieht grundsätzlich nach folgendem Prinzip: Die Mobile Station misst die Verbindungsqualität der aktuellen und der benachbarten Funkzellen und vergleicht diese. Darauf basierend trifft die Mobile Station eine eventuelle Handover-Entscheidung, das heißt sie leitet gegebenenfalls den Zellwechsel ein. Dazu fragt sie bei der benachbarten Zelle mit der besten Verbindungsqualität nach einer möglichen Übernahme an. Wird die Anfrage angenommen, meldet sich die Mobile Station bei der neuen Zelle an, die Verbindung mit der alten Zelle wird abgebaut. Das Netz muss nun noch die der Mobile Station zugeordneten Lokalisierungsinformationen aktualisieren.

In 802.16e sind drei Optionen zur Realisierung des Handovers spezifiziert: das verbindliche *Hard Handover* und die optionalen *Soft Handover* und *Fast Basestation Switching Handover*.

Hard Handover Das Hard Handover ist dadurch charakterisiert, dass eine Mobile Station zu jedem Zeitpunkt mit nur einer Basisstation verbunden ist.

In 802.16e ist das Hard Handover so spezifiziert, dass es durch die Mobile Station eingeleitet wird. Dazu benötigt die Mobile Station Informationen über das Netz, insbesondere über die benachbarten Basisstationen. Die aktuelle Basisstation sendet deshalb regelmäßig so genannte

Network-Topology-Advertisement-Nachrichten, die Informationen über die Konfiguration der benachbarten Stationen beinhalten. Um diese Informationen zu erhalten, kommunizieren die benachbarten Basisstationen über den Backbone miteinander.

Die Mobile Station vereinbart mit der aktuellen Basisstation (*Serving BS*) Scanning-Intervalle. Innerhalb dieser Intervalle verlässt die Mobile Station den normalen Send- und Empfangsmodus und sucht nach benachbarten Basisstationen. Findet sie eine Basisstation, versucht sie sich mit dem Downlink der gefundenen Basisstation zu synchronisieren. Die für diesen Vorgang benötigten Parameter kennt sie aus den zuvor erhaltenen *Network-Topology-Advertisement-Nachrichten*. Sollten während des Scanning-Intervalls bei der *Serving BS* Daten für die Mobile Station auflaufen, hält die *Serving BS* diese bis zum Ende des Intervalls zurück.

Anhand des *Signal-Rauschleistungsverhältnisses (SNR)* auf dem Downlink-Kanal schätzt die Mobile Station die Übertragungsqualität der gefundenen Basisstation. Bietet eine gefundene Basisstation eine bessere Übertragungsqualität als die *Serving BS*, kann die Mobile Station ein Hard Handover einleiten. Dazu nennt sie der *Serving BS* eine oder mehrere gewünschte Wechselziele (*Target BS*) mit den zugehörigen Übertragungsqualitätsparametern. Die *Serving BS* antwortet daraufhin mit einer Liste von vorgeschlagenen *Target BS*, die sie aus den zuvor übermittelten gewünschten Wechselzielen der Mobile Station und den zugehörigen Kapazitäts- und Dienstgütemerkmalen bildet. Nimmt die Mobile Station einen Vorschlag aus der Liste an, teilt sie dies der *Serving BS* mit. Die *Serving BS* geht ab diesem Zeitpunkt davon aus, dass die Mobile Station nicht mehr auf ihre Kanäle synchronisiert ist und baut folglich die Verbindung ab. Weist die Mobile Station alle Vorschläge der *Serving BS* ab, stellt die *Serving BS* eine neue Liste zusammen und übermittelt diese an die Mobile Station. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis die Mobile Station einen Vorschlag annimmt.

Akzeptiert die Mobile Station einen Vorschlag aus der Liste der *Serving BS*, synchronisiert sie sich auf den Downlink dieser *Target BS* und liest deren Uplink-Parameter aus. Die Mobile Station muss sich nun bei der neuen Basisstation authentifizieren und bekommt so ihre logischen Verbindungen (d.h. die *Service Flows*) zugewiesen. Damit wird die *Target BS* zur *Serving BS* der Mobile Station und das Hard Handover ist erfolgreich abgeschlossen.

Ein Sonderfall für ein Hard Handover tritt ein, wenn die Basisstation aufgrund einer Überlastung die Mobile Station an eine benachbarte Basisstation mit freien Kapazitäten weiterleitet. In diesem Fall wird das Handover von der *Serving BS* initiiert. Dazu schickt die *Serving BS* eine Liste mit benachbarten Basisstationen und den zugehörigen Kapazitäts- und Dienstgütemerkmalen an die Mobile Sta-

tion. Die Mobile Station kann einen Vorschlag aus der Liste annehmen oder die Liste ablehnen. Bei einer Ablehnung stellt die Basisstation eine neue Liste zusammen. Anschließend folgt der Vorgang dem oben beschriebenen Prinzip.

Soft Handover Im Gegensatz zum oben beschriebenen Hard Handover, bei dem die Mobile Station nur zu einer Basisstation verbunden sein kann, werden beim Soft Handover die Downlink-Daten zeitsynchron über mehrere Basisstationen gesendet. Die Mobile Station führt eine kohärente Addition der so empfangenen Signale durch.

Das SNR und dadurch die Qualität des aufsummierten Signals ist in den meisten Fällen deutlich höher als bei einem einzelnen Signal, da eventuelle Einbrüche auf einem Ausbreitungspfad von besseren Übertragungseigenschaften auf anderen Pfaden kompensiert werden können. In diesem Zusammenhang wird statt Soft Handover auch oft der Begriff *Macro Diversity Handover* verwendet.

Beim Uplink wird das von der Mobile Station ausgesendete Signal von mehreren Basisstationen empfangen. Allerdings werden hier die Signale nicht addiert sondern die empfangene Kopie mit der besten Qualität wird ins das Transportnetz weitergeleitet (*Selection Diversity*).

Die Menge der Basisstationen, die zeitgleich mit einer Mobile Station verbunden sind, wird als *Active Set* bezeichnet. Eine der Basisstationen des *Active Sets*, in der Regel die mit der besten Verbindung zur Mobile Station, übernimmt dabei die Rolle der *Anchor BS*. Die Bestimmung von *Active Set* und *Anchor BS* ist nicht feststehend sondern wird dynamisch angepasst. Dazu misst die Mobile Station, äquivalent zum beschriebenen Vorgehen beim Hard Handover, nach der Zuteilung der Scanning-Intervalle durch die *Anchor BS* die Übertragungsqualität der benachbarten Basisstationen (mittels des SNR). Die so gewonnenen Informationen werden anhand von vordefinierten Schwellenwerten verglichen. Abhängig von diesem Vergleich kann die Mobile Station eine Anfrage an die Basisstation senden. Dabei kann der Fall auftreten, dass die Mobile Station ihr *Active Set* aufgrund der Überschreitung eines Schwellenwertes durch eine bisher nicht im *Active Set* vorhandenen Basisstation erweitern möchte. Befinden sich dagegen mindestens zwei Basisstationen im *Active Set* und eine dieser Basisstationen unterschreitet den Schwellenwert, beantragt die Mobile Station das Entfernen dieser Basisstation aus ihrem *Active Set*. Der dritte Fall tritt ein, wenn die Mobile Station feststellt, dass die Verbindungsqualität einer Basisstation innerhalb einer definierten Zeitspanne besser ist als die Verbindungsqualität ihrer momentanen *Anchor BS*. Dann beantragt die Mobile Station einen Wechsel der *Anchor BS*.

Für das Soft Handover müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Alle Basisstationen, die sich am Soft Handover beteiligen, müssen zeitsynchron arbeiten. Ebenso muss ihre Rahmenstruktur synchron sein. Des Weiteren

müssen alle Basisstationen dieselbe Trägerfrequenz nutzen sowie für eine Verbindung zur Mobile Station die identische *Connection ID (CID)* verwenden. Alle Basisstationen, die gleichzeitig mit einer Mobile Station kommunizieren, teilen sich einen MAC-Kontext. Dadurch wird erreicht, dass sich die Mobile Station nur gegenüber einer Basisstation authentifizieren und registrieren muss.

Das Soft Handover bietet einige Vorteile. So wird beispielsweise ein komplett unterbrechungsfreier Wechsel der Funkzelle ermöglicht. Des Weiteren stellt sich ein SNR-Gewinn und damit eine Verbesserung der Verbindungsqualität ein, der bereits bei zwei beteiligten Basisstationen bei ungefähr zwei bis drei Dezibel liegt. Allerdings sind dafür erhöhter Signalisierungsaufwand und zusätzliche Übertragungskapazitäten notwendig, da die Daten mehrfach parallel über das Netz gesendet werden und mehrere Basisstationen belegen.

Fast Basestation Switching (FBSS) Das Fast Basestation Switching unterscheidet sich vom beschriebenen Soft Handover dadurch, dass die Mobile Station nicht gleichzeitig mit allen Basisstationen des Active Sets sondern lediglich mit der Anchor BS verbunden ist. Trotzdem haben alle Basisstationen des Active Sets denselben MAC-Kontext und somit lässt sich ein Wechsel der Anchor BS schneller bewerkstelligen.

3.1.3 Energieeffizienz

Bei portablen Geräten ist der effiziente Umgang mit Energie besonders wichtig, da Akkuladung nur beschränkt zur Verfügung steht. 802.16e spezifiziert neben dem Normalbetrieb zwei weitere Betriebsmodi mit eingeschränkter Bereitschaft, die durch eine sukzessive Reduzierung der Signalisierung den Energiebedarf minimieren: den *Sleep Mode* und den *Idle Mode*.

Sleep Mode Beim Sleep Mode handeln Mobile Station und Basisstation Ruheintervalle aus, während deren sich die Mobile Station schlafen legt. Lediglich in den zwischen den Ruheintervallen liegenden Abhörintervallen hört die Mobile Station den Downlink-Kanal nach an sie gerichteten Nachrichten ab.

Für die Mobile Station sind im Sleep Mode drei *Power-Saving-Klassen* definiert. Sie unterscheiden sich beispielsweise durch verschiedene mögliche Funktionalitäten im Ruhezustand und durch die Organisation der Ruheintervallsdauer. Hat die Mobile Station mehrere Verbindungen (CIDs) gleichzeitig aufgebaut, kann jede Verbindung individuell mit einer der drei Power-Saving-Klassen assoziiert werden. Das bedeutet, dass bei einer aktiven Power-Saving-Klasse über die dieser Klasse zugeordneten Verbindungen keine Signale gesendet oder empfangen werden können.

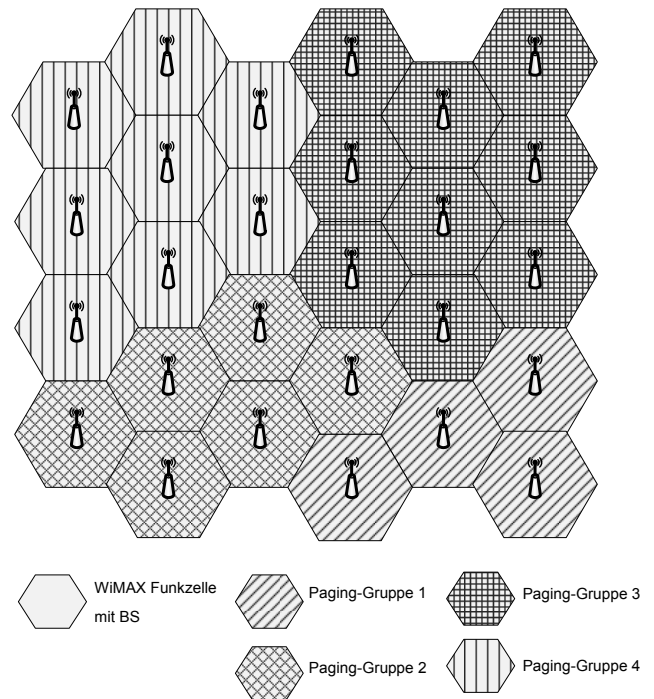


Abbildung 1: Zusammenfassung von WiMAX-Funkzellen zu Paging-Gruppen (mit Änderungen entnommen aus [8])

Wird die Klasse dagegen deaktiviert, befinden sich die zugehörigen Verbindungen im normalen Send- und Empfangsbetrieb.

Die Basisstation kennt den aktuellen Zustand der Mobile Station und kann deshalb entscheiden, an welche Mobile Station sie die Daten nicht unmittelbar senden darf sondern bis zur Erreichung des nächsten Abhörintervalls zurückhalten muss.

Der Sleep Mode muss von den Basisstationen beherrscht werden, für Mobile Stations ist die Unterstützung optional.

Idle Mode Verlässt eine Mobile Station im schlafenden Zustand eine Funkzelle, muss sie beim Zellwechsel ein Handover durchführen. Die Handover-Signalisierung kostet jedoch beträchtliche Übertragungskapazitäten und Akkuleistung.

Deshalb wurde der Idle Mode-Mechanismus, der sich bereits bei GSM-Netzen bewährt hat, adaptiert. Dabei werden beieinander liegende Funkzellen zu einer so genannten *Paging-Gruppe* zusammengefasst (siehe Abbildung 1). Die Mobile Station muss nun nur noch an der Grenze der größeren Paging-Gruppen ein Lokalisierungsupdate durchführen.

Das Netz weiß dabei lediglich, in welcher Paging-Gruppe die Mobile Station sich befindet, nicht jedoch genau in welcher Funkzelle. Die Mobile Station kann ihre Zuge-

hörigkeit zu einer konkreten Zelle ermitteln, indem sie in regelmäßigen Abständen den Downlink-Broadcast abhört. Aus den von jeder Basisstation ausgesendeten allgemeinen Zellinformationen, kann die Mobile Station die *Zell-ID* auslesen.

Erhält das Netz Daten für eine Mobile Station, wird zunächst ein Paging-Ruf über alle Zellen der Paging-Gruppe ausgesendet. Sobald dieser von der Mobile Station empfangen wird, teilt sie dem Netz anhand der Zell-ID ihre aktuelle Funkzelle mit.

Durch Abhören der Broadcast-Paging-Nachrichten erfährt die Mobile Station in welcher Paging-Gruppe sie sich aufhält. Darüber kann sie auch erkennen, wann sie eine neue Gruppe betritt und kann ein Lokalisierungsupdate einleiten.

Der Ablauf im Idle Mode kann folgendermaßen zusammengefasst werden: Zunächst informiert die Mobile Station die Basisstation mittels einer Abmeldenachricht über den gewünschten Wechsel in den Idle Mode. Nimmt die Basisstation diesen Wunsch an, antwortet sie mit einer Nachricht in der sie den Wechsel erlaubt. Der *Paging Controller* der Basisstation sichert die Dienste und Operationsinformationen, um einen späteren Wiedereintritt in den Normalbetrieb zu erleichtern. Die Mobile Station nutzt im Idle Mode den *Idle Mode Timer*. Das entsprechende Gegenstück des Paging Controllers stellt der *Idle Mode System Timer* dar. Mithilfe dieser beiden Zeitgeber wird die rechtzeitige Durchführung eines Lokalisierungsupdates angestoßen. Das bedeutet, dass ein Lokalisierungsupdate entweder durch den Wechsel der Mobile Station in eine andere Paging-Gruppe oder durch das Erreichen eines definierten Timer-Wertes initiiert wird.

Der Idle Mode wird beendet, wenn die Mobile Station wieder in das Netz eintritt und im normalen Betriebsmodus arbeitet (*Network Re-Entry*). Als Auslöser hierfür kommen sowohl ein an die Mobile Station gerichteter Paging-Ruf als auch von der Mobile Station zu sendende Uplink-Daten in Frage. Ein weiterer Grund für das Verlassen des Idle Modes tritt auf, wenn der Paging Controller auch nach mehrfachen Pagings an die Mobile Station keine Antwort erhält. Dies lässt darauf schließen, dass die Mobile Station nicht mehr erreichbar ist. Ebenso wird bei der Durchführung eines Lokalisierungsupdates, wenn der Idle Mode System Timer des Paging Controllers abgelaufen ist ohne dass die Mobile Station ein Update durchgeführt hat, der Idle Mode beendet.

3.1.4 End-to-End-Verbindungen

Ursprünglich wurden vom IEEE bei der Standardisierung von 802.16 lediglich die Luftschnittstellenprotokolle (also PHY- und MAC-Layer) spezifiziert. Dieses Vorgehen hatte sich bereits bei anderen Standards der IEEE-802-Serie wie beispielsweise Ethernet (802.3) und WLAN (802.11) bewährt.

Durch den enormen Anstieg der möglichen Anwendungsszenarien kamen jedoch neue Funktionen hinzu, die nicht mehr durch die spezifizierten PHY- und MAC-Layer abgedeckt sind. Vor allem durch die Erweiterung des Standards um die Fähigkeit zur mobilen Kommunikation müssen Funktionalitäten wie zum Beispiel Teilnehmerlokalisierung, Roaming und systemweite Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung (AAA) geklärt werden. Des Weiteren ist es insbesondere bei der Mobilkommunikation notwendig, dass Netzwerkkomponenten und funktionale Einheiten definiert werden, die vollständige End-to-End-Dienste ermöglichen. Nur so kann sichergestellt werden, dass in ein Funknetz Komponenten von verschiedenen Herstellern eingebunden werden können, was für die zukünftige Wirtschaftlichkeit und Flexibilität des Netzes entscheidend ist.

Die Spezifikation der End-to-End-Architektur ist nicht Bestandteil des 802.16-Standards sondern erfolgt durch die *Network Working Group (NWG)* des WiMAX-Forums. In diesem Kapitel sollen die wesentlichen Konzepte dieser End-to-End-Architektur skizziert werden.

Bei Funknetzen, die auf Mobilkommunikationsstandards wie *GPRS* oder *3GPP-UMTS* basieren, sind aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte zwei Netzdomänen realisiert: eine leitungsvermittelnde Komponente für herkömmliche Kommunikationsdienste mit Echtzeitanforderungen und eine paketvermittelnde Komponente für IP-Dienste. Ein solches Netz erfordert zusätzliche Verfahren zur Interaktion und bedarf vieler Hardware-Bestandteile. Im Gegensatz dazu basiert bei Mobile WiMAX die End-to-End-Kommunikation auf einer *All-IP-Plattform*, das heißt, sie ist vollständig paketvermittelnd. Trotzdem können über sie Sprachdienste genutzt werden (mittels VoIP). IP-Komponenten sind in der Regel insgesamt kostengünstiger und können auf höheren Software-Schichten mit besser wartbaren Schnittstellen implementiert werden. Aufgrund dieser Vorteile gibt es inzwischen auch bei UMTS-Netzen den Trend, die Kommunikation in zukünftigen Versionen über eine All-IP-Plattform abzuwickeln.

Außer der beschriebenen All-IP-Eigenschaft, gab es bei der Erstellung folgende Anforderungen an die WiMAX End-to-End-Architektur:

- Eine vollständige Entkopplung des Zugriffsnetzes (*ASN, Access Service Network*) vom Kernnetz (*CSN, Connectivity Service Network*).
- Ein flexibler und modularer Aufbau mit möglichst vielen Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel:
 - Einsatz in verschiedenen topografischen und stadtmorphologischen Gebieten (von ländlich bis großstädtisch)
 - Unterstützung von verschiedenen Netzgrößen

- Betrieb in lizenzierten und lizenzfreien Frequenzbändern
- Paralleler Betrieb von ortsgebundenen, portablen und mobilen Endgeräten
- Hierarchische, flache und meshartige Netzwerktopologien
- Unterstützung der unterschiedlichsten Dienste wie beispielsweise VoIP, Notrufe, Multimedia-Streamings, IP-Broadcast- und Multicast-Dienste, Internetnutzung, Zugang zu ASP-Netzen und Nutzung von Mobildiensten wie SMS over IP, MMS und WAP
- Globales Roaming zwischen verschiedenen Betreiber-netzen und auch zwischen unterschiedlichen Netztypen (z.B. 3GPP, 3GPP2, DSL). Dies soll unter anderem durch die Nutzung von standardisierten AAA-Diensten sowie Benutzerkennungen mit netzwerkübergreifender Gültigkeit erfolgen (z.B. SIM, USIM, RUIM).

Ausgehend von diesen Anforderungen hat die NWG das *Network Reference Model (NRM)* definiert. Das in Abbildung 2 gezeigte NRM stellt eine logische Repräsentation der Netzwerkarchitektur dar. Das bedeutet, es werden lediglich die funktionalen Komponenten des Netzwerks definiert, wie sich diese Komponenten in Hardware aufgliedern dagegen nicht. Somit ist den unterschiedlichen Hardware-Herstellern möglichst viel Freiheit bei der konkreten Implementierung gegeben.

Die funktionalen Komponenten werden in drei Gruppen zusammengefasst:

- **Mobile Stations (MS):** Jede MS ist bei ihrem *Home Network Service Provider (H-NSP)* registriert. Die MS kann auf alle beim Service Provider abonnierten Dienste (z.B. Internetzugang) zugreifen. Befindet sie sich außerhalb der Versorgungsbereiches ihres H-NSP, kann der Dienstzugang über das Netz eines anderen Providers, dem so genannten *Visited Network Service Provider (V-NSP)*, hergestellt werden. Dazu muss allerdings ein Roaming-Abkommen zwischen H-NSP und V-NSP bestehen.
- **Access Service Network (ASN):** Das ASN definiert eine logische Grenze und repräsentiert eine Zusammenfassung der funktionalen Einheiten und der zugehörigen Datenströme des Zugangsdienstes. Seine Bestandteile sind mindestens eine Basisstation und mindestens ein Gateway zum Kernnetz. Somit beinhaltet das ASN sämtliche Funktionen, die den Netzzugriff der MS über die Luftschnittstelle ermöglichen. Darunter fallen unter anderem Transfer von AAA-Nachrichten zum H-NSP, Bestimmung eines geeigneten Netzwerks und Auswahl des NSP für eine MS,

Zuweisung von Übertragungskapazitäten auf der Luftschnittstelle und Handover-Funktionen wie Paging und Lokalisierungsmanagement.

- **Connectivity Service Network (CSN):** Das CSN ist definiert als eine Menge von Netzwerkfunktionen, die dem WiMAX-Nutzer die IP-Konnektivität zur Verfügung stellen. Es kann aus Netzwerkkomponenten wie Routern, AAA-Proxys und -Server und Nutzer-Datenbanken bestehen. Zu den vom CSN bereitgestellten Funktionen, die sich auf die IP-Verbindungsdienste beziehen, gehören unter anderem die Zuweisung von IP-Adressen an die MS, Zugriff auf das Internet, AAA-Proxy- und -Server-Funktionalitäten, Aufnahme der Abrechnungsdaten der WiMAX-Nutzer und Regelung der Gebührenaufteilung zwischen Operatoren beim Roaming.

Die Verbindungen zwischen den funktionalen Gruppen sind als Referenzpunkte R1 bis R5 spezifiziert. Über die einheitliche Definition der Referenzpunkte sowie der darüber laufenden Protokolle wird die Interoperabilität zwischen den funktionalen Gruppen garantiert. In Abbildung 2 sind die Verbindungen der Kontrollebene gestrichelt, die der Nutzdatenebene durchgezogen eingezeichnet.

Die einzelnen Referenzpunkte sind wie folgt definiert:

- **R1:** Die Schnittstelle zwischen MS und dem ASN umfasst alle Prozeduren und Protokolle, die in 802.16 standardisiert sind, d.h. diejenigen, die die Luftschnittstelle betreffen.
- **R2:** Über diesen Referenzpunkt sind die Kontrollnachrichten, die zwischen MS und CSN ausgetauscht werden, beispielsweise für Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung und das Management der IP-Konfiguration, definiert.
- **R3:** In der Schnittstelle zwischen ASN und CSN sind auf der Kontrollebene die Festlegung der AAA-Richtlinien und das Mobilitätsmanagement definiert. Auf der Nutzdatenebene sind die Protokolle für den Datenaustausch zwischen ASN und CSN geregelt.
- **R4:** Der Referenzpunkt 4 erläutert die Kommunikation zwischen mehreren ASNs. Auf der Nutzdatenebene wird der Datentransfer zwischen ASNs, die an einem Handover beteiligt sind, geregelt, auf der Kontrollebene sind die für ein Handover benötigten Signalisierungsnachrichten festgelegt.
- **R5:** Hier sind die Protokolle und Prozeduren für die Schnittstelle zwischen CSNs von V-NSP und H-NSP definiert.

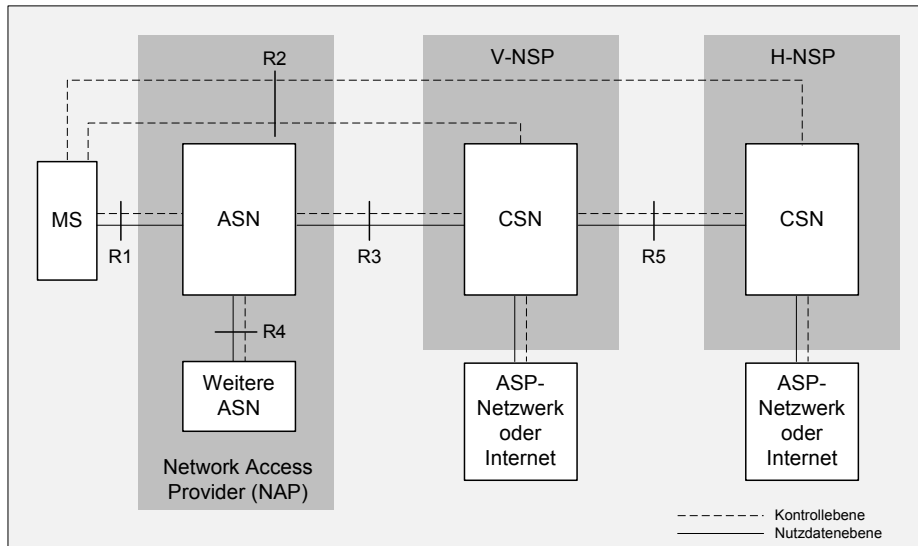


Abbildung 2: WiMAX Network Reference Model (mit Änderungen entnommen aus [2])

3.2 Vorteile von Mobile WiMAX

Nachdem im einleitenden Abschnitt über die verwandten Technologien bereits einige spezifische Vorteile erwähnt wurden, werden in diesem Kapitel die allgemeinen Vorzüge von Mobile WiMAX dargestellt. Diese lassen sich wie folgt untergliedern:

Herausragende Performance Die Verwendung von Scalable OFDMA erlaubt eine flexible Nutzung der zur Verfügung stehenden Frequenzspektren und ermöglicht eine Skalierung der Kanalbandbreite.

Des Weiteren bietet Mobile WiMAX die optionale Unterstützung von „schlau“ Antennentechnologien, die eine parallele Nutzung von mehreren Sende- und Empfangsantennen erlauben (*MIMO, Multiple Input Multiple Output*). MIMO-Systeme eignen sich besonders zur Kombination mit OFDMA.

Zusätzlich zu dem in 3G-Netzwerken dominierenden *Frequency Division Duplex (FDD)*, bei dem Downlink und Uplink über verschiedene Frequenzen getrennt werden, bietet Mobile WiMAX das effizientere und weniger komplexe Verfahren *Time Division Duplex (TDD)*. Bei TDD nutzen Downlink und Uplink dieselbe Übertragungsfrequenz, die Trennung erfolgt über eine periodische Umschaltung. Somit wird für die Übertragung nur ein Kanal benötigt. Auch ein asymmetrischer Betrieb wird einfacher möglich, was bei vielen IP-basierten Anwendungsszenarien vorteilhaft sein kann.

Dies alles ermöglicht hohen Durchsatz und Kapazität. So können beispielsweise bei einem 10 MHz breiten Funkkanal unter Einsatz der optionalen 2x2-MIMO-

Antennentechnik im Downlink bis zu 63 Mbit/s und im Uplink bis zu 28 MBit/s erreicht werden.

Durch die oben beschriebenen Handover-Mechanismen und energiesparenden Betriebsmodi wird ein sehr hohes Maß an Mobilität erreicht.

Flexibilität Mit Mobile WiMAX sind unterschiedliche Netzzugriffe realisierbar: stationäre, nomadische und mobile Stationen können abgedeckt werden. Hier sind sowohl Punkt-zu-Punkt- als auch Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen denkbar.

Mobile WiMAX kann in lizenzierten und lizenzfreien Frequenzbändern betrieben werden. Zusätzlich sind auch verschiedene Kanalbreiten (von 1,25 MHz bis 20 MHz) möglich.

Diese Flexibilität macht Mobile WiMAX sowohl für etablierte Netzanbieter, die ihre bestehende Infrastruktur ergänzen wollen, als auch für Greenfield-Operatoren, die ein neues Funknetz aufbauen möchten, interessant.

Ausgereifte IP-basierte Architektur Mobile WiMAX wurde von Beginn an als All-IP-Technologie, losgelöst von einem leitungsvermittelnden Altsystem, konzipiert. Diese Architektur wurde optimiert für hohen Durchsatz und Echtzeitanwendungen.

Weiterhin ist eine Unterstützung des *IP Multimedia Subsystem (IMS)* möglich. Darüber können Anbieter standardisiert verschiedenste Dienste mittels einer flexiblen Architektur kostengünstig ausliefern.

Wirtschaftlichkeit Bei Mobile WiMAX handelt es sich um eine Technologie, der ein offener, internationaler und herstellerunabhängiger Standard zugrunde liegt. Dennoch ist eine große Unterstützung durch die Industrie in Form des WiMAX-Forums gegeben. Auch die Interoperabilität ist sichergestellt. Diese reicht durch das vorgestellte WiMAX Network Reference Model bis zum Kernnetz. Somit können problemlos Komponenten von verschiedenen Herstellern kombiniert werden, was zu Wettbewerb zwischen den Herstellern und daraus resultierend zu einer kostengünstigen und zukunftsfähigen Infrastruktur führt.

Quality of Service Bereits bei Fixed WiMAX werden für den Downlink und Uplink mittels *Service Flows* für verschiedene Anwendungen individuelle Dienstgüten vereinbart. Zusätzlich wird durch die Verwendung der Vielfachzugriffstrategie in OFDMA eine nutzerabhängige Dienstgüte ermöglicht.

3.3 Marktsituation

WiMAX gilt als einer der wichtigsten Wachstumsmärkte im Drahtlosbereich. Deshalb soll im diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die aktuelle Marktsituation von Mobile WiMAX gegeben werden.

3.3.1 Kommerzielle Mobile WiMAX-Netze

Analysten von Market Intelligence rechnen damit, dass in den fünf Jahren von 2007 bis 2012 weltweit 75 Milliarden US-Dollar in WiMAX-Netzwerke investiert werden. In diesem Abschnitt werden exemplarisch einige aktuelle Entwicklungen im Bereich der WiMAX-Netzanbieter vorgestellt.

USA *Sprint Nextel*, der drittgrößte US-amerikanische Mobilfunkbetreiber, wird als erster Anbieter in den USA ein Mobile WiMAX-Netz unter dem Markennamen *XOHH* starten. Als anfängliche Testmärkte dienen dabei seit Ende 2007 Chicago, Washington D.C. und Baltimore. Mit einem kommerziellen Betrieb des Mobile WiMAX-Netzes in den drei US-Metropolen ist nach Verzögerungen aufgrund von technischen Problemen bei der Anbindung an das kabelgebundene Netzwerk im vierten Quartal 2008 zu rechnen. Dabei werden Bandbreiten zwischen 2 und 4 Mbit/s erreicht.

Durch ein Joint Venture mit dem Internetdienstleister *Clearwire* soll bis 2010 ein flächendeckendes Versorgungsnetz für die USA aufgebaut werden. Der Kooperation hat sich ein Konsortium aus den Unternehmen *Comcast*, *Time Warner*, *Intel*, *Google* und *Bright House* angeschlossen, das 3,2 Milliarden US-Dollar in den Netzausbau investieren wird. *Sprint Nextel* und *Clearwire* rechnen damit, bis Ende

2010 140 Millionen US-Bürger erreichen und 4,6 Millionen Nutzer versorgen zu können.

Asien In Südkorea, einem Land mit einer der weltweit höchsten Penetrationsraten von Breitband-Internetzugängen, wurde unter der Federführung von *Samsung* und *KT (Korea Telecom)* schon sehr früh ein kommerzielles Mobile WiMAX-Netz entwickelt. Genauer gesagt handelt es sich um ein Funknetz auf Basis des zu 802.16 parallel entwickelten südkoreanischen Standards *WiBro*. Da *WiBro* in den 802.16e-Standard aufgenommen wurde, kann es dennoch den Mobile WiMAX-Netzen zugeordnet werden. Bereits seit April 2007 kann sich die südkoreanische Hauptstadt Seoul als erste *ubiquitous city* bezeichnen. Über ein *WiBro*-Funknetz steht ein mobiler Breitbandzugang im gesamten Stadtraum inklusive der U-Bahnen zur Verfügung. Allerdings gab es bei Start des Netzes noch keine offiziell zertifizierten Geräte.

Für den japanischen Markt hat *KDDI*, der zweitgrößte japanische Mobilfunkanbieter, im September 2007 mit weiteren potenten Investoren wie *Kyocera*, *Intel*, *East Japan Railway Company* u.a. das Joint Venture *Wireless Broadband Planning K.K. (WBPK)* gegründet. Ziel ist der Aufbau eines Breitbandnetzes auf Basis von Mobile WiMAX, das bereits ab 2009 kommerziell verfügbar sein soll. Dazu sollen bis 2013 1,3 Milliarden US-Dollar in den Aufbau einer Infrastruktur investiert werden. Das benötigte Frequenzspektrum im 2,5 GHz-Bereich konnte im Dezember 2007 zu moderaten Preisen vom japanischen Staat erworben werden. Da Japan bereits sehr gut mit 3G-Mobilfunk und DSL- bzw. Glasfaser-Breitbandanschlüssen ausgestattet ist, bleibt abzuwarten, ob sich Mobile WiMAX als Konkurrenz oder Ergänzung dazu behaupten wird.

Intel Capital, die Venture-Kapital-Gesellschaft der Intel Corporation, hat sich mit 15 Millionen US-Dollar am Mobile WiMAX-Netz von *Green Packet*, das künftig in Malaysia errichtet werden soll, beteiligt. Der Roll-Out des Netzes soll im Sommer 2008 beginnen.

Deutschland und Europa Das holländische Start-Up-Unternehmen *Worldmax*, an dem auch Intel beteiligt ist, hat im Juni 2008 verkündet, in den Niederlanden ein Mobile WiMAX-Netzwerk zu starten. Es wird in Zusammenarbeit mit dem Telekommunikationsausrüster *Alcatel-Lucent* aufgebaut und soll Ende des Sommers vollständig online sein. Der Start erfolgt im Stadtzentrum von Amsterdam, im Lauf der nächsten Jahre soll eine landesweite Expansion erfolgen.

In Großbritannien hat der Aufbau eines Mobile WiMAX-Funknetzes einen Rückschlag erlitten. Die Regulierungsbehörde *Ofcom (Office of Communication)* hat angekündigt, dass es bei der Versteigerung des 2,6 GHz-

Spektrums zu Verzögerungen kommt, so dass damit frühestens im September 2008 gerechnet werden kann.

Auch in anderen europäischen Ländern konnte sich Mobile WiMAX bisher nicht wie erhofft etablieren. So hat beispielsweise die österreichische *Telekom Austria* die zuvor erstiegerten WiMAX-Frequenzspektren wieder zurückgegeben. Auch die *Swisscom* hat angekündigt, ihre WiMAX-Ambitionen für die Schweiz vorerst einzufrieren.

Ebenso wird man wahrscheinlich auch in Deutschland noch lange auf ein halbwegs flächendeckendes WiMAX-Netz warten müssen, da die Mobilfunkanbieter zunächst die enormen Ausgaben für die im Sommer 2000 ersteigerten UMTS-Lizenzen einspielen müssen. Deshalb werden sie voraussichtlich weiterhin auf UMTS und dessen Nachfolger HSPA und LTE setzen. Eine regionale Ausnahme bildet das Angebot des Anbieters *VSE NET*: Zusammen mit *Inquam Broadband*, einem bundesweiten Lizenzinhaber, und dem Ausrüster *Alcatel-Lucent*, wurde das erste kommerzielle deutsche WiMAX-Netz basierend auf dem Standard 802.16e gestartet. Es beschränkt sich regional auf das Saarland und hat das Ziel, die Versorgung der Bevölkerung im ländlichen Raum mit breitbandigen Netzzugängen zu verbessern.

3.3.2 Zertifizierte Geräte

Die *Certification Working Group (CWG)* des WiMAX-Forums zertifiziert die Interoperabilität und Kompatibilität der Geräte, die nach den 802.16-Standards produziert werden. Somit werden von ihr auch Mobile WiMAX-Produkte geprüft und erhalten im Erfolgsfall das offizielle Label *WiMAX Forum Certified* [5]. Mit der Zertifizierung wird sichergestellt, dass Adapter und Basisstationen möglichst reibungslos miteinander kommunizieren können, wozu beispielsweise das Einhalten von Handover-Mechanismen oder die Unterstützung von Sleep- und Idle-Mode überprüft werden.

Im April 2008 wurden von der CWG die ersten acht Mobile WiMAX-Produkte offiziell zertifiziert. Dabei handelt es sich um vier Mobile Station-Module in Form von USB-Adaptern und PCMCIA-Karten sowie vier Basisstationsmodule der Hersteller *Samsung*, *Posdata*, *Runcom* und *Sequans*. Die Geräte entsprechen dem Profil *MP01* (früher intern als *Wave 1* bezeichnet), das heißt sie arbeiten mit 8,75 MHz breiten Funkkanälen im 2,3 GHz-Band ohne die Nutzung von MIMO-Technik. Sie sind somit in erster Linie für den Einsatz im WiBro-Netz der *Korea Telecom* ausgelegt.

Im Juni 2008 wurden die ersten zehn Geräte gemäß dem Profil *MP05* (früher *Wave 2*) zertifiziert. Dabei handelt es sich um vier Mobile Station-Module und sechs Basisstationsmodule der WiMAX-Forumsmitglieder *Airspan*, *Alvarion*, *Beceem*, *Intel*, *Motorola*, *Samsung*, *Sequans* und *ZyXEL*. Das Profil *MP05* definiert Produkte, die mit 5

bzw. 10 MHz Kanalbreiten im 2,5 GHz-Bereich arbeiten. Sie unterstützen dabei die parallele Nutzung von mehreren Sende- und Empfangsantennen (MIMO). Die Geräte eignen sich folglich für den Einsatz im US-amerikanischen Mobile WiMAX-Netz *XOHM* von Sprint Nextel.

Die CWG geht davon aus, dass vor Ende des Jahres die ersten Geräte, die im 3,5 GHz-Bereich arbeiten, zertifiziert werden. Dies entspricht den Profilen *MP09* und *MP12*. Des Weiteren wird vom WiMAX-Forum prognostiziert, dass bis Ende 2008 über 100 Mobile WiMAX-Produkte, bis Ende 2011 mehr als 1000 Mobile WiMAX-Produkte den Zertifizierungsprozess durchlaufen haben werden. Darunter fallen zum Beispiel Geräte wie das *Nokia Internet Tablet N810 WiMAX* sowie die *Siemens Express Card Gigaset SE68*.

3.3.3 Aktuelle Entwicklungen

Abschließend sollen noch einige weitere Entwicklungen, die sich momentan im Umfeld von Mobile WiMAX abspielen, angesprochen werden.

Intels Centrino 2 und WiMAX Connection 2400 Die *Intel Corporation*, einer der größten Förderer von WiMAX, bietet mit der fünften Generation ihrer Centrino-Plattform, dem *Centrino 2*, ein kombiniertes WLAN/WiMAX-Modul an. Das Notebook-Modul, das unter dem Codenamen *Echo Peak* geführt wird, wurde im Juni 2008 vom WiMAX-Forum zertifiziert. Intel hofft, damit den großen Erfolg, den man durch die Integration der WLAN-Technologie in den Centrino-Chip erreicht hat, mit Mobile WiMAX wiederholen zu können und so die Verbreitung der WiMAX-Technologie voranzutreiben.

Mit *WiMAX Connection 2400* (Codename *Baxter Peak*) stellt Intel zudem einen Mobile WiMAX-Chip für kleinere Endgeräte wie beispielsweise Ultra Mobile PCs, Smartphones oder PDAs zur Verfügung.

Open Patent Alliance (OPA) Anfang Juni gaben die sechs IT-Unternehmen *Cisco Systems*, *Intel*, *Samsung*, *Alcatel-Lucent*, *Sprint Nextel* und *Clearwire* bekannt, ihre für WiMAX relevanten Patente in einem Pool mit einer gemeinsamen Lizenzverwaltung zusammenzuführen. Hierzu wurde die *Open Patent Alliance (OPA)* gegründet. Darüber sollen Dritte zu moderaten Kosten Lizenzen erwerben können. Ziel dieser Strategie ist eine weitere Förderung der WiMAX-Verbreitung. Ein mögliches Problem ist der Umstand, dass sich mit *Motorola*, *Alvarion* und *Qualcomm* drei wichtige Unternehmen bisher nicht an der Patentallianz beteiligen.

Mobile WiMAX und Long Term Evolution (LTE) Sean Maloney, Vertriebs- und Marketingchef von Intel, hat jüngst auf der diesjährigen taiwanesischen IT-Messe *Computex*

den Vorschlag gemacht, Mobile WiMAX und die konkurrierende Technologie LTE anzugleichen. Er führt als Grund mit auf, dass ein Kampf zwischen den beiden Technologien, ähnlich wie das beispielsweise bei den Formaten HD DVD und Blu-ray erfolgte, zu Verunsicherung und Kaufzurückhaltung bei den Konsumenten führen kann. Im Idealfall sollte sich ein Nutzer über die verfügbare Technologie keinerlei Gedanken machen müssen, wenn er einen mobilen breitbandigen Netzzugang nutzen will.

Auch aus technischer Sicht ist eine Zusammenführung der beiden Systeme nicht abwegig. Man kann davon ausgehen, dass 80-90% der verwendeten Technologie identisch sind. So nutzen zum Beispiel beide Systeme OFDMA als Modulationsverfahren, unterstützen MIMO-Antennen und arbeiten mit einer IP-basierten Netzwerkarchitektur.

4. Fazit und Ausblick

In diesem Artikel wurde gezeigt, wie sich Mobile WiMAX den Herausforderungen der Mobilität stellt. Dabei wurde deutlich, dass dazu einige tiefgreifende Erweiterungen notwendig waren.

Mobile WiMAX bietet zahlreiche Vorteile und stellt sich als durchdachte und zukunftssträchtige Technologie zur Realisierung von mobilem Breitbandzugang dar. Dies resultiert aus der Verwendung von Scalable OFDMA, der All-IP-Plattform, den intelligenten Handover-Mechanismen sowie verschiedenen Betriebsmodi.

Die ersten Produkte wurden offiziell zertifiziert, die ersten kommerziellen Netze sind in Betrieb bzw. werden in absehbarer Zeit in Betrieb genommen werden. Zumindest in Asien und den USA stehen die Chancen sehr gut, dass sich Mobile WiMAX weiter etablieren wird. In Europa bleibt die Frage spannend, ob sich Mobile WiMAX gegen die Konkurrenten aus dem UMTS-Lager (HSPA und LTE) durchsetzen kann. Hier wäre die von Intel vorgeschlagene Angleichung von Mobile WiMAX und LTE sicherlich ein guter Ansatz, um die Entwicklung voranzutreiben. Abzuwarten bleibt auch, ob sich im großstädtischen Bereich die Weiterentwicklungen von WLAN mit größeren Reichweiten und höheren Datenraten als Konkurrenz positionieren.

Abschließend sollen an dieser Stelle noch einige Aspekte von Mobile WiMAX erwähnt werden, die im Rahmen des Artikels nicht behandelt wurden. Ausführliche Informationen dazu finden sich in entsprechender Fachliteratur ([6] und [9]):

Bei der Weiterentwicklung zu Mobile WiMAX wurden dem Standard einige neue Security-Features hinzugefügt. So ist in 802.16e durch die Definition der *Version 2 des Privacy-Key-Management-Protokolls (PKMv2)* eine beidseitige Authentifizierung der Kommunikationsteilnehmer realisierbar (*Mutual Authentication*), was bei Fixed WiMAX nicht möglich ist. Weiterhin ist eine Authentifizie-

rung über das universelle Framework *Extensible Authentication Protocol (EAP)* vorgesehen.

Für die Senkung der Wiederholungsrate bei Übertragungsfehlern wird optional *HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request)* verwendet.

Zusätzlich unterstützt die MAC-Schicht von Mobile WiMAX *Multicast- und Broadcast-Services*, wodurch beispielsweise Multimedia-Streamings besser verteilt werden können.

Literatur

- [1] IEEE Standards Association (Hrsg.): *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*, <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf>, Zugriff: Mai 2008.
- [2] WiMAX Forum (Hrsg.): *Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*, http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf, Zugriff: Mai 2008.
- [3] WiMAX Forum (Hrsg.): *Mobile WiMAX - Part II: A Comparative Analysis*, http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Part2_Comparative_Analysis.pdf, Zugriff: Mai 2008.
- [4] WiMAX Forum (Hrsg.): *Mobile WiMAX: The Best Personal Broadband Experience!*, http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_PersonalBroadband.pdf, Zugriff: Mai 2008.
- [5] WiMAX Forum (Hrsg.): *Mobile WiMAX Certification*, http://www.wimaxforum.org/news/wf_certification_public_qa_06_02_08.pdf, Zugriff: Juni 2008.
- [6] Johannes Maucher, Jörg Furrer: *WiMAX - Der IEEE 802.16-Standard: Technik, Anwendung, Potenzial*, Heise-Verlag, 2006.
- [7] Johannes Maucher: „Wimax macht mobil - Schnelles Internet unterwegs ohne Verbindungsabbriss“, *c't - magazin für computertechnik*, Ausgabe 22/06, S. 244-249, 2006.
- [8] Loutfi Nuaymi: *WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access*, Wiley & Sons, 2007.
- [9] Kwang-Cheng Chen, J. Roberto B. De Marca (Hrsg.): *Mobile WiMAX*, Wiley & Sons, 2008.
- [10] Christian Lüders: *Lokale Funknetze: Wireless LANs (IEEE 802.11), Bluetooth, DECT*, Vogel-Verlag, 2007.
- [11] Erik Dahlmann et al.: *3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband*, Academic Press, 2008.