

1 Einleitung

Für einen zunehmenden Teil der Bevölkerung ist der breitbandige Internetzugang nicht mehr aus dem Alltag wegzudenken. Die im November 2005 veröffentlichte Studie *Mediascope* der *European Interactive Advertising Association (EIAA)* ([1]) ergab, dass ein EU-Bürger durchschnittlich über zehn Stunden pro Woche online ist, eine Steigerung von 17 % gegenüber dem Vorjahr. Umso überraschender erscheint die Tatsache, dass immer noch vielen westeuropäischen Haushalten kein Breitbandanschluss zur Verfügung steht. Laut der in Abbildung 1.1 gezeigten Statistik einer EU-Studie waren im Jahr 2005 gerade mal 23 % der Haushalte in den 25 EU-Staaten mit Breitbandanschlüssen versorgt. In Deutschland lag der Versorgungsgrad ebenfalls nur bei 23 %.

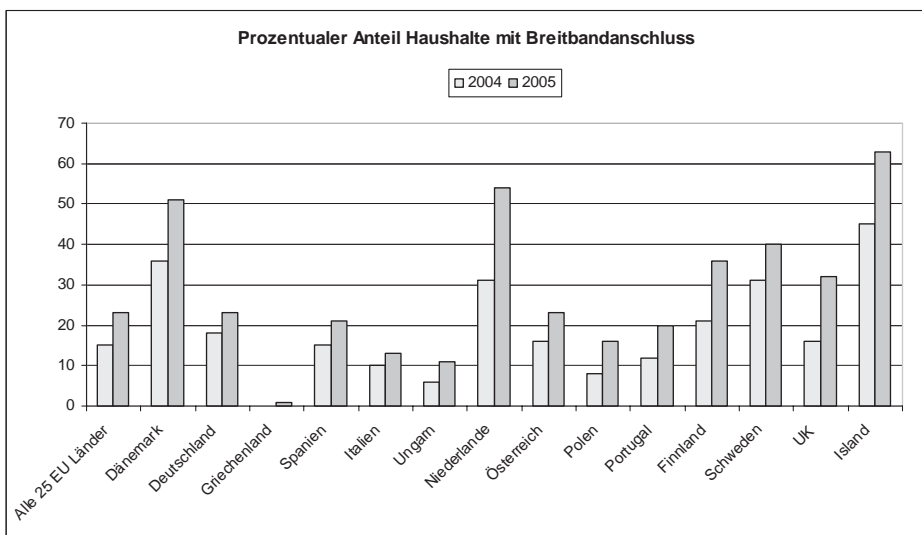


Abb. 1.1 Breitbandanschlüsse in Europa

Den Grund für die derzeit noch spärliche Versorgung sehen die Marktanalysten im fehlenden Wettbewerb, der wiederum auf einem Mangel an Alternativen hinsichtlich des *Last Mile Access* beruht. Unter *Last Mile Access* (oder Netzzugang) ist die Anbindung der einzelnen Kundenstandorte an die nächste Vermittlungsstation zu verstehen. Trotz einer Vielzahl prinzipiell möglicher Zugangstechnologien werden in Deutschland über

90 % aller Breitbandzugänge über DSL realisiert. Hierfür werden nahezu ausschließlich die Leitungen des Ex-Monopolisten Telekom benutzt. Das heißt, nahezu alle DSL-Anbieter sind gezwungen, die Leitungen des Konkurrenten Telekom teuer zu mieten. Außerdem verfügen weite Teile Europas noch über kein DSL-Netz. Entweder wurden die ehemals nur für Telefonie benutzten Kupferleitungen noch nicht entsprechend aufgerüstet, oder aber die Kupferleitungen sind gar nicht vorhanden, wie z. B. in weiten Teilen Ostdeutschlands, wo nach der Wende ausschließlich Glasfasernetze verlegt wurden. Glasfasernetze erlauben natürlich auch sehr hohe Übertragungsraten, für die Anbindung von Privathaushalten ist diese Technik jedoch mit deutlich höheren Kosten als DSL über Kupferleitungen verbunden.

Betrachtet man Alternativen zu DSL, so hinkt besonders die Nutzung des TV-Kabelnetzes für den breitbandigen Internetzugang in Deutschland im internationalen Vergleich weit hinterher. Auch das TV-Kabelnetz war bis zum Jahr 2004 in den Händen der Telekom, die natürlich kein Interesse hatte, sich selbst Konkurrenz für ihr DSL-Geschäft zu schaffen, und folglich nicht in die notwendige Erweiterung der TV-Kabel investierte. Seit der Übernahme des TV-Kabelnetzes durch unabhängige Betreiber-gesellschaften wird seine Internettauglichkeit stetig ausgebaut. Nachteilig für den Kunden ist allerdings, dass der breitbandige Internetzugang nicht als separater Dienst zu haben ist. Wer über Kabel surfen will, muss, ob er will oder nicht, auch den entsprechenden TV-Anschluss bezahlen, in gleicher Weise, wie ein DSL-Kunde immer auch die Gebühren für den Festnetztelefonanschluss zu begleichen hat.

Die Bindung der Breitbandanschlusskosten an andere Dienste wie Telefon oder TV stellt einen Grund für die Suche nach weiteren Breitbandzugangstechnologien dar. Global betrachtet, fällt aber sicherlich ein anderer Grund stärker ins Gewicht: Viele Gebiete der Erde sind an überhaupt kein leitungsgebundenes Netz angeschlossen. Das sind zum einen die Entwicklungs- und Schwellenländer, zum anderen Gebiete mit geringer Bevölkerungsdichte. Dort sind die Installationskosten aufgrund großer Entfernungen zwischen den Netzknoten und Teilnehmeranschlüssen sehr hoch und zudem die Anzahl der möglichen Kunden gering.

Motiviert durch den großen Anteil von Gebieten ohne Breitbandinfrastruktur einerseits und durch den wettbewerbsfeindlichen Besitz der Netze durch wenige Monopolisten andererseits, werden schon seit einigen Jahren drahtlose Netze als alternativer *Last Mile Access* diskutiert. Aufgrund der limitierenden Eigenschaften des Funkkanals bezüglich Signalausbreitung galt es lange Zeit als undenkbar, über Drahtlosnetze hohe Übertragungsraten flächendeckend bereitstellen zu können. Insbesondere dann, wenn die Endgeräte noch mobil sein sollen. Aufgrund immenser Fortschritte in Modulations- und Codiertechnologien, in der digitalen Signalverarbeitung, in der Leistungsfähigkeit der Prozessoren und in den RF-Technologien stehen wir heute vor der Möglichkeit, über Drahtlosnetze qualitativ hochwertig und breitbandig Daten übertragen zu können. Tatsächlich wurden schon in den neunziger Jahren erste Drahtlosnetze für den *Last Mile Access* entwickelt und installiert. Insbesondere traute man den *Wireless-Local-Loop-(WLL-)*Netzen einen revolutionären Durchbruch im *Last Mile Access* zu. Tat-

sächlich blieb WLL jedoch bedeutungslos. Heute werden sogar die ursprünglich für WLL zugewiesenen Frequenzbänder wieder eingezogen und WiMAX zugeteilt. Unter mehreren anderen Gründen scheint insbesondere der fehlende Standard für die enttäuschende Marktrelevanz von WLL verantwortlich zu sein. Proprietäre Techniken wie WLL genügen nicht mehr den Anforderungen an moderne Daten- und Kommunikationsnetze, wie z. B. globale Verfügbarkeit, offene Schnittstellen, Interoperabilität und Anbindung an andere Netztechnologien. Außerdem binden proprietäre Systeme den Netzbetreiber an einen Hersteller, wodurch Wettbewerb und entsprechende Preiskämpfe unterbunden werden. Abgesehen von wenigen Ausnahmen können proprietäre Systeme nie die Marktdurchdringung erreichen, die mit global standardisierten Systemen erzielbar ist. Entsprechend bleiben die Stückzahlen geringer und die Herstellkosten höher.

Motiviert durch den Bedarf nach einem global standardisierten Drahtlossystem für den breitbandigen *Last Mile Access*, schloss sich im Juli 1999 die IEEE-Arbeitsgruppe 802.16 zusammen. In ihr nehmen Hunderte von Vertretern der weltweit führenden Netzwerkoperatoren und Komponentenhersteller an der Ausarbeitung eines Standards teil. Die ursprünglich zugrunde gelegten Ziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Globaler Standard für die Luftschnittstelle eines drahtlosen, breitbandigen *Metropolitan Area Network (MAN)*
- Übernahme der allgemeinen Prinzipien und Vorgehensweisen, die für den durchdringenden Erfolg des IEEE-802.11-Standards im *Local-Area-Network-(LAN-)* Bereich verantwortlich sind
- Reichweite im Bereich mehrerer Kilometer
- Kapazität und Durchsatz, welche mindestens so hoch sind wie mit drahtgebundenen Last-Mile-Access-Technologien
- Ermöglichung schneller Netzwerkinstallation. So sollen auch nur temporär benötigte Netze, wie z. B. für Ausstellungen oder Sportgroßveranstaltungen, kostengünstig und schnell aufgebaut werden können.
- Skalierbarkeit, d.h. einfache Erweiterung des Netzes im Fall steigender Nachfrage
- Breites Angebot an Diensten für Echtzeit- und Nicht-Echtzeit-Anwendungen. Entsprechend flexible Zuteilung und Garantie von QoS (Quality of Service).
- Verbindungsorientierte Übertragung
- Point-to-Point-, Point-to-Multipoint- und Mesh-Netzwerk-Topologie
- Flexibilität hinsichtlich der benutzbaren Trägerfrequenzen. Betrieb in lizenzierten und lizenzfreien Spektren soll möglich sein.
- Flexibilität hinsichtlich der Kanalbandbreite
- Der IEEE-802.16-Standard umfasst nur die Schichten 1 und 2 des OSI-Modells und soll von einer breiten Palette höherer Protokolle wie z. B. Ethernet, IPv4/IPv6 oder ATM benutzt werden können.
- Flexible und dynamische Anpassung von Codierung und Modulation an die aktuellen Ausbreitungsbedingungen auf dem Funkkanal

- Unterstützung leistungsfähiger Multi-Antennen-Techniken für optimale RF-Übertragung
- Flexible, bedarfsabhängige Aufteilung der Übertragungskapazität in Up- und Downlink

Auffallend an diesen Zielvorgaben ist der enorme Grad an Flexibilität, den der Standard bieten soll. So erwünscht die von einem flexibel formulierten Standard ermöglichte Freiheit auch sein mag, so stellt sie doch eine große Gefahr für die primäre Vorgabe der Interoperabilität dar. Je mehr Möglichkeiten in der Umsetzung des Standards einem Hersteller eingeräumt werden, umso größer die Wahrscheinlichkeit, dass Komponenten verschiedener Hersteller nicht zueinander kompatibel sind. Beispiele für Standards, die doch keine Interoperabilität gewährleisten konnten, gibt es zuhauf. So bestand z. B. für den *Personal-Area-Network-(PAN-)*Standard *Bluetooth* die Gefahr, unmittelbar nach der Einführung der ersten Produkte wieder vom Markt zu verschwinden. Die Bluetooth-Geräte nach der Standardversion 1.0 waren aufgrund zu vieler Freiheiten im Standard nur selten zueinander kompatibel. Für Bluetooth wurde das Interoperabilitätsproblem jedoch noch rechtzeitig durch die Spezifikation von *Bluetooth-Profilen* gelöst. Für IEEE 802.16 soll das Problem der konträren Anforderungen Flexibilität und Interoperabilität ebenfalls durch die Definition von Profilen gelöst werden. Ein Profil definiert eindeutig eine konkrete Systemkonfiguration innerhalb der weiten Grenzen des Standards. Es kann als eine funktionale Untermenge bzw. Einschränkung des Standards verstanden werden. Verschiedene Herstellerkomponenten, welche ein konkretes Profil implementieren, müssen zueinander kompatibel sein.

Für IEEE 802.16 obliegt die Definition von Profilen dem WiMAX-Forum. Das Forum bildet eine starke Lobby, die das Ziel einer schnellen Markteinführung verfolgt. Es setzt sich aus über 400 führenden Unternehmen der Telekommunikations- und IT-Branche zusammen. Die Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit der neuen Technologie wird wesentlich von der Kompatibilität und Interoperabilität der Komponenten bestimmt. Hierfür definiert das WiMAX-Forum Profile und schreibt einen Zertifizierungsprozess vor, den alle einem konkreten Profil entsprechende Komponenten durchlaufen müssen. Allgemein kommen dem WiMAX-Forum für IEEE 802.16 in etwa die gleichen Aufgaben zu wie der Wi-Fi Alliance für IEEE 802.11. Der Begriff WiMAX wird häufig mit der Standardfamilie IEEE 802.16 gleichgesetzt. Korrekter sollte wie folgt unterschieden werden: WiMAX bezeichnet ein vom WiMAX-Forum definiertes konkretes Profil innerhalb der Grenzen des Standards.

Im Dezember 2001 wurde die erste Standardversion verabschiedet. Seit 2004 sind entsprechende Netzwerkkomponenten verfügbar. Anfang 2006 waren weltweit bereits mehr als 150 802.16-Pilotnetze in Betrieb. Der ursprünglich anvisierte breitbandige Drahtlos-Internetanschluss stellt heute nur einen Anwendungsfall innerhalb eines breiten Spektrums möglicher Szenarien dar, die sich von typischen Richtfunkanwendungen bis hin zur mobilen zellularen Drahtloskommunikation erstrecken. Den unterschiedlichen Anwendungsfällen liegen verschiedene Standardversionen zugrunde, die im Folgenden beschrieben werden und in Abbildung 1.2 zusammenfassend skizziert sind.

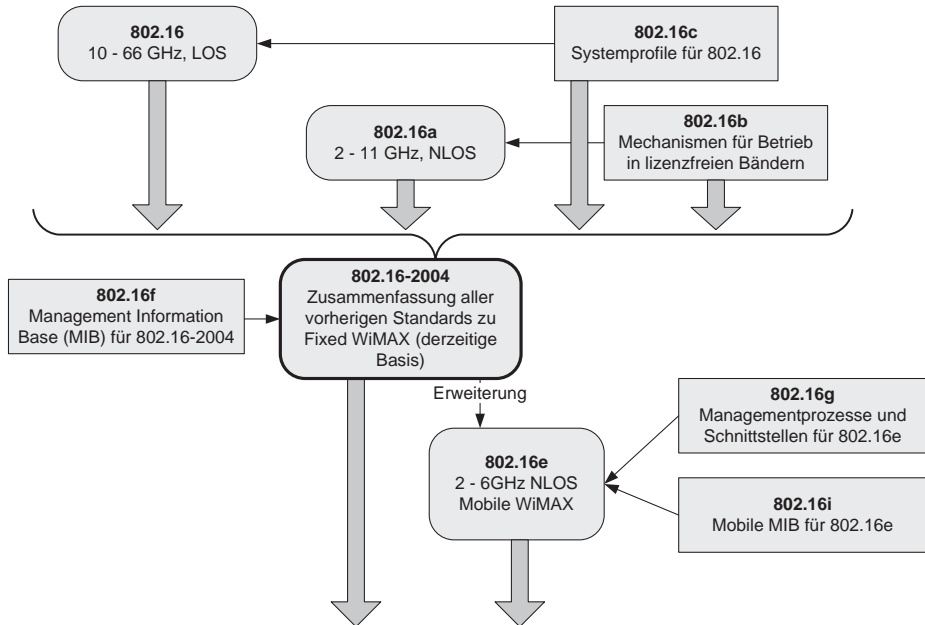


Abb. 1.2 Die 802.16-Standardfamilie im Überblick

IEEE 802.16: Diese erste Version des Standards wurde im Dezember 2001 verabschiedet. Er definiert die PHY- und MAC-Schicht in der Luftschnittstelle eines drahtlosen *Metropolitan Area Network (MAN)* und bezieht sich vornehmlich auf den Betrieb in Outdoor-Umgebungen mit direkter Sichtverbindung (engl. Line Of Sight, LOS) zwischen ortsfesten Sendern und Empfängern. Unterschieden werden *Basisstationen (BS)* und *Subscriber-Stationen (SS)*. Die SS befinden sich im Allgemeinen beim Kunden und sind über die 802.16-Luftschnittstelle drahtlos mit einer BS verbunden. An die SS mit fester Außenantenne kann das lokale Netz des Kunden angeschlossen werden. Die BS hingegen ist über ein eventuelles Backhaul-Netz an externe Netze, z. B. das Internet, angeschlossen. Sind mehrere SS mit einer BS verbunden, so spricht man von *Point-to-Multipoint-(PMP-)*Betrieb. Diese erste Standardversion ist jedoch vornehmlich für *Point-to-Point-(PTP-)*Betrieb (nur eine SS mit der BS verbunden) ausgelegt. Sie eignet sich daher weniger für den Last Mile Access als vielmehr für typische Richtfunkszenarien. Hinsichtlich der möglichen Trägerfrequenzen lässt der Standard viel Spielraum innerhalb des typischen Richtfunkfrequenzbereiches zwischen 10 GHz und 66 GHz. Innerhalb dieses Bereichs sind in Deutschland Frequenzen zwischen 23 und 38 GHz nutzbar. Die möglichen Bandbreiten sind 20, 25 und 28 MHz. Die maximal erreichbare Datenrate soll im Bereich von 134 MBit/s liegen. Hierbei ist zu beachten, dass, wann immer von Datenrate in 802.16 die Rede ist, die gemeinsame Rate gemeint ist, die sich alle an eine BS angebundene SS teilen müssen. Im Fall optimaler Ausbreitungsbedingungen verheißen eher optimistisch einzuschätzende Vorhersagen eine Reichweite von

bis zu 50 km. Im PHY wurde in dieser Version eine Einträger-(*Single Carrier*-)Übertragungstechnik unter dem Namen *WirelessMAN-SC* definiert.

IEEE 802.16c: In diesem Teil des Standards sind Systemprofile für den 802.16-Betrieb mit Trägerfrequenzen zwischen 10 und 66 GHz spezifiziert. Die Profile definieren bestimmte MAC-, PHY- und RF-Konfigurationen, z. B. konkrete Trägerfrequenzen und Kanalabstände. Komponenten, die bezüglich des gleichen Profils konfiguriert werden, sollen zueinander kompatibel sein. 802.16c wurde im Januar 2003 verabschiedet.

IEEE 802.16a: Mit den im ersten 802.16-Standard definierten Trägerfrequenzen ist kein Betrieb in Umgebungen ohne direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger (engl. Non Line Of Sight, NLOS) möglich. In typischen NLOS-Umgebungen wie z. B. in Städten oder im Indoor-Bereich müssen aufgrund der Dämpfungs- und Abschattungseffekte niedrigere Trägerfrequenzen benutzt werden. Dieser Anwendungsfall liegt der Standarderweiterung IEEE 802.16a zugrunde. Er umfasst Trägerfrequenzen zwischen 2 und 11 GHz und ist nicht an die Existenz einer LOS-Verbindung gebunden. Mögliche Bandbreiten liegen im Bereich zwischen 1,75 MHz und 20 MHz. Die maximal erzielbare gemeinsame Datenrate liegt bei etwa 70 MBit/s. Die maximal erzielbare Reichweite wird im NLOS-Betrieb nicht über 5 km liegen. Für 802.16a wurden gleich drei neue PHY-Technologien spezifiziert: Ein dem *WirelessMAN-SC* ähnliches Einträger-Übertragungsverfahren namens *WirelessMAN-SCa* und daneben noch die beiden auf *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* basierenden Mehrträger-Übertragungsverfahren *WirelessMAN-OFDM* mit 256 Subträgern und *WirelessMAN-OFDMA* mit 2048 Subträgern. Für die Steigerung von Kapazität und Reichweite sind in 802.16a optional Multi-Antennen-Techniken wie *Space-Time Coding (STC)* und *Adaptive Antennensysteme (AAS)* spezifiziert. Hinsichtlich Netztopologie richtet sich 802.16a vornehmlich an PMP-Betrieb, lässt aber auch PTP und sogar Mesh-Topologien zu. 802.16a wurde im April 2003 veröffentlicht.

IEEE 802.16b: 802.16a kann sowohl in lizenzierten als auch in lizenzfreien Bändern betrieben werden. Der Betrieb in lizenzfreien Bändern erfordert aufgrund der möglichen Interferenz mit anderen Systemen zusätzliche Mechanismen. Solche Mechanismen und Vorkehrungen für die Koexistenz mit anderen Systemen in lizenzfreien Bändern sind in der Standarderweiterung 802.16b definiert. Dazu gehören z. B. eine erweiterte Leistungsmessung und Kontrolle und die *Dynamic Frequency Selection (DFS)*. Der DFS-Algorithmus erkennt, auf welchen Frequenzen bereits andere Systeme aktiv sind, und versucht entsprechend ein noch möglichst ungenutztes Band auszuwählen. Die Erweiterungen beziehen sich auch auf den Mesh-Mode-Betrieb. Die 802.16b-Aktivitäten flossen in den 802.16a-Standard ein und wurden mit diesem veröffentlicht.

IEEE 802.16d ([1]): Diese Version ist besser unter dem Namen **802.16-2004** „*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access*“ bekannt. In ihr sind alle oben aufgeführten bisherigen Standardversionen überarbeitet und zusammengefasst. 802.16-2004

wurde im Juni 2004 verabschiedet und ist bis heute (Stand Januar 2006) die essentielle Grundlage aller WiMAX-Entwicklungen. Wie schon aus dem Namen hervorgeht, werden vom 802.16-2004-Standard mobile SS noch nicht unterstützt. Er wird deshalb auch oft als *Fixed WiMAX* bezeichnet, wobei hier die SS auch portable Endgeräte wie Notebooks mit entsprechend ausgestatteten PCMCIA-Karten oder gar WiMAX-Chips direkt auf dem Motherboard sein können. Alle derzeitigen Erweiterungen bauen auf dem Basisstandard 802.16-2004 auf. Etwaige zukünftige Basisversionen werden voraussichtlich mit 802.16-200x bezeichnet.

IEEE 802.16e ([2]): Der Schritt vom *Fixed WiMAX* zum *Mobile WiMAX* wird mit 802.16e vollzogen. Hierbei handelt es sich um eine umfassende Erweiterung des 802.16-2004-Standards, mit dem mobile WiMAX-Stationen mit Geschwindigkeiten von bis zu 125 km/h unterstützt werden sollen. Die aus zellularen Mobilfunksystemen wie GSM oder UMTS bekannten Mechanismen zur Unterstützung mobiler Stationen werden hiermit auch in die 802.16-Standardfamilie integriert. Dazu gehören z. B. das Handover von SS und die hierfür notwendige Kommunikation zwischen benachbarten BS. Ferner sind Algorithmen zur dynamischen Sendeleistungsregelung erforderlich. Als PHY-Übertragungstechnik kommt eine Erweiterung der *WirelessMAN-OFDMA*-Technologie zum Einsatz. Codierung, Modulation und Interleaving müssen an die speziellen, in hohem Maße zeitabhängigen Kanaleigenschaften des Mobilfunkkanals angepasst werden. Mögliche Trägerfrequenzen liegen im Bereich zwischen 2 und 6 GHz. Abhängig von der ebenfalls flexibel wählbaren Bandbreite zwischen 1,75 und 20 MHz und abhängig von den aktuellen Ausbreitungsbedingungen des Funkkanals sind Datenraten im Bereich mehrerer 10 MBit/s denkbar. Die Standarderweiterung 802.16e wurde im Dezember 2005 fertiggestellt und im Frühjahr 2006 veröffentlicht. Sie wird häufig auch als 802.16e-2005 bezeichnet.

IEEE 802.16f: Mit dieser Standarderweiterung soll die Interoperabilität zwischen 802.16-2004-Produkten verschiedener Hersteller auf Netzwerkebene gewährleistet werden. Netzwerkoperatoren soll damit die Möglichkeit geboten werden, Komponenten verschiedener Hersteller in einem Netz zu integrieren. Hierzu werden entsprechende Mechanismen für das Management der Komponenten und Netze definiert, insbesondere die notwendige *Management Information Base (MIB)*. Die 802.16-MIB ist konform zu dem weitläufig eingesetzten *Simple Network Management Protocol Version 2 (SNMPv2)*.

IEEE 802.16g und 802.16i: Die in 802.16e definierte Erweiterung hin zu mobilen SS erfordert eine Vielzahl neuer Management- und Kontrollprozeduren, die sich über die Grenzen einzelner Basisstationen hinweg erstrecken. Für Prozeduren wie z. B. das Handover müssen Basisstationen untereinander Signalisierungsdaten austauschen. Außerdem kann das 802.16-Netz nur einen Teil eines umfassenderen Netzes darstellen, mit dessen Komponenten die WiMAX-Stationen auch Management- und Kontrolldaten austauschen müssen. Sowohl für die Inter-BS als auch für die Intersystem-Kommuni-

kation von Management- und Kontrolldaten wird das *Network Control and Management System (NCMS)* benutzt. Das NCMS ist an die BS angebunden und gewährleistet eine vollständige Unabhängigkeit des PHY, MAC und Convergence Sublayer (CS) von der Netzwerkarchitektur, dem Transportprotokoll und den im Backend benutzten Protokollen. In 802.16g werden die Management- und Kontrollinteraktionen zwischen PHY, MAC und CS und dem NCMS spezifiziert. In 802.16i soll basierend auf dem SNMP die MIB für das mobile Netz definiert werden. Dieser Standard ist also als Erweiterung von 802.16f für mobiles WiMAX zu verstehen.

Zentrales Ziel dieses Buches ist die Vermittlung eines umfassenden Verständnisses des 802.16-Standards. Hierbei werden jedoch bewusst Implementierungsdetails, wie sie in den Standarddokumenten selbst aufgeführt sind, ausgeblendet. Dafür soll nicht nur die Frage nach dem *Wie?*, sondern auch die Frage nach dem *Warum?* beantwortet werden. Darüber hinaus werden die Voraussetzungen für eine kritische Einschätzung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit und des Zukunftspotenzials von WiMAX-Systemen erschlossen.

In Kapitel 2 werden die weitläufigen 802.16-Anwendungsszenarien und die entsprechenden Architekturen vorgestellt. Für jeden dieser Anwendungsfälle ist 802.16 natürlich nicht die einzig mögliche Lösung. Deshalb werden in Kapitel 3 die entsprechenden konkurrierenden Systeme vorgestellt und verglichen. Des Weiteren werden Architekturen vorgestellt, wie WiMAX in komplementärer Form mit anderen Netzen zusammengeschlossen werden kann.

Ausschlaggebend für das Design der Luftschnittstelle eines Drahtlosnetzes ist der Charakter der physikalischen Ausbreitungsbedingungen auf dem Funkkanal. Die Leistungsfähigkeit des Systems hängt entscheidend davon ab, wie gut die PHY- und MAC-Mechanismen an die Kanaleigenschaften angepasst sind. Vor der Behandlung dieser Protokolle und Algorithmen werden deshalb in Kapitel 4 die für 802.16 relevanten Kanalmodelle beschrieben. Ausgehend von diesen Kanalmodellen werden ebenfalls in Kapitel 4 Reichweite- und Kapazitätsabschätzungen vorgestellt.

Danach soll in Kapitel 5 das der IEEE 802.16-Standardisierung zugrunde liegende Referenzmodell des Protokollstacks und das Datenmodell übersichtsartig umrissen werden.

In Kapitel 6 werden alle in 802.16 spezifizierten PHY-Technologien beschrieben. Zu Beginn des Kapitels werden die zum Einsatz kommenden Modulations-, Codierungs-, Duplex- und Zugriffstechniken in allgemeiner Form beschrieben. Leser, die mit diesen nachrichtentechnischen Grundlagen bereits vertraut sind, können direkt zu den Abschnitten 6.2 bis 6.5 übergehen. Dort werden die vier Physical-Layer-(PHY-)Technologien, die in 802.16-2004 definiert sind, detailliert vorgestellt. Die im Standard definierten optionalen Multi-Antennen-Techniken werden in Abschnitt 6.6 erklärt.

Ausgelegt für Funkkanäle mit sehr großer Kapazität und Anwendungsszenarien mit einer großen Anzahl an Teilnehmern, kam der Definition der MAC-Schicht in IEEE 802.16 eine besondere Bedeutung zu. Große Flexibilität wurde nicht nur bezüglich dem

Bandbreitenmanagement und dem Kanalzugriff vorgesehen, sondern auch für die Unterstützung der verschiedenen 802.16-PHY-Schichten, welche nun durch eine gemeinsame MAC-Schicht-Spezifikation abgedeckt werden. Kapitel 7 beschreibt ausführlich das MAC-Protokoll in IEEE 802.16 mit den relevanten Mechanismen. Da das Anbieten von Quality of Service (QoS) ein zentraler Designpunkt war, insbesondere hinsichtlich Punkt-zu-Mehrpunkt-Netztopologien für den Last Mile Access, ist diesem Thema in 8 ein eigenes Kapitel gewidmet. Wie bereits einleitend angesprochen, kann IEEE 802.16 als Layer-2-Technologie flexibel für verschiedene höhere Protokolle eingesetzt werden. Dies wird im Design von 802.16 realisiert durch eine MAC-Teilschicht, dem sogenannten Service-specific Convergence Sublayer (CS). Die Funktionalität des CS ist in Kapitel 9 beschrieben. Die Beschreibung der MAC-Schicht wird abgeschlossen in Kapitel 10, in welchem die Konzepte des Security Sublayers für die Systemsicherheit aufgezeigt werden.

Als Referenz dient vornehmlich die derzeit relevante 802.16-2004-Version. Die soeben veröffentlichte Standarderweiterung 802.16e für das mobile WiMAX wird in Kapitel 11 in kompakter Form behandelt. Daneben wird das mobile WiMAX auch punktuell in anderen Kapiteln insbesondere zur Hervorhebung der Unterschiede zum Fixed WiMAX referenziert. In Kapitel 12 wird das WiMAX-Forum, die Zertifizierung, die Profile und die Lizenzierung beleuchtet. Das Fazit in Kapitel 13 soll abschließend Potenzial und Risiken des 802.16-Standards zusammenfassen.

Das Buch soll auch Lesern, denen die grundlegenden Techniken und Verfahren der drahtlosen Datenübertragung noch wenig vertraut sind, ein umfassendes Verständnis des Standards ermöglichen. Hierfür enthalten insbesondere die Kapitel 4 bis 8 nicht nur die Standardspezifikationen, sondern auch die entsprechenden allgemeinen Grundlagen.

Leser, die sich weniger für die technischen Details als vielmehr für ein allgemeines Verständnis der WiMAX-Systeme, deren Einsatzszenarien und Leistungsfähigkeit und den relevanten Standardisierungs- und Zertifizierungsprozessen interessieren, können sich auf die Lektüre der Kapitel 1–3 und 11–13 beschränken. Zu empfehlen ist für diese Lesergruppe auch der Abschnitt 4.5, in welchem ein allgemeines Vorgehen zur Bestimmung von wichtigen Leistungsparametern wie Reichweite und erzielbarer Datenrate beschrieben ist.

