

An aerial photograph of a city, likely Zurich, Switzerland, featuring a prominent cross-shaped monument in the foreground. The city is densely packed with buildings, and the sky is clear and blue.

ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

WiMAX

KLAUS LIPINSKI (Hrsg.)

Inhalt

Anschlussbereich

BWA, *broadband wireless access*

FDD, *frequency division duplex*

HARQ, *hybrid automatic repeat request*

HFDD, *hybrid frequency division duplex*

IEEE 802.16

IEEE 802.16-2004

IEEE 802.16e

IEEE 802.16m

Last Mile

LOS, *line of sight*

Mehrantennensystem

MIMO, *multiple input multiple output*

Mobile-WiMAX

NLOS, *non line of sight*

OFDM, *orthogonal frequency division multiplex*

OFDMA, *orthogonal frequency division multiplexing access*

RAN, *radio access network*

SOFDMA, *scalable orthogonal frequency division multiplex*

STBC, *space time block coding*

TDD, *time division duplex*

WiBro, *wireless broadband*

WiMAX, *worldwide interoperability for microwave access*

WiMAX-Forum

WiMAX-Netz

WMAN, *wireless metropolitan area network*

Zugangsnetz

Impressum:

Herausgeber: Klaus Lipinski

WiMAX

Copyright 2008

DATAKOM-Buchverlag GmbH

84378 Dietersburg

Alle Rechte vorbehalten.

Keine Haftung für die angegebenen Informationen.

Produziert von Media-Schmid

www.media-schmid.de

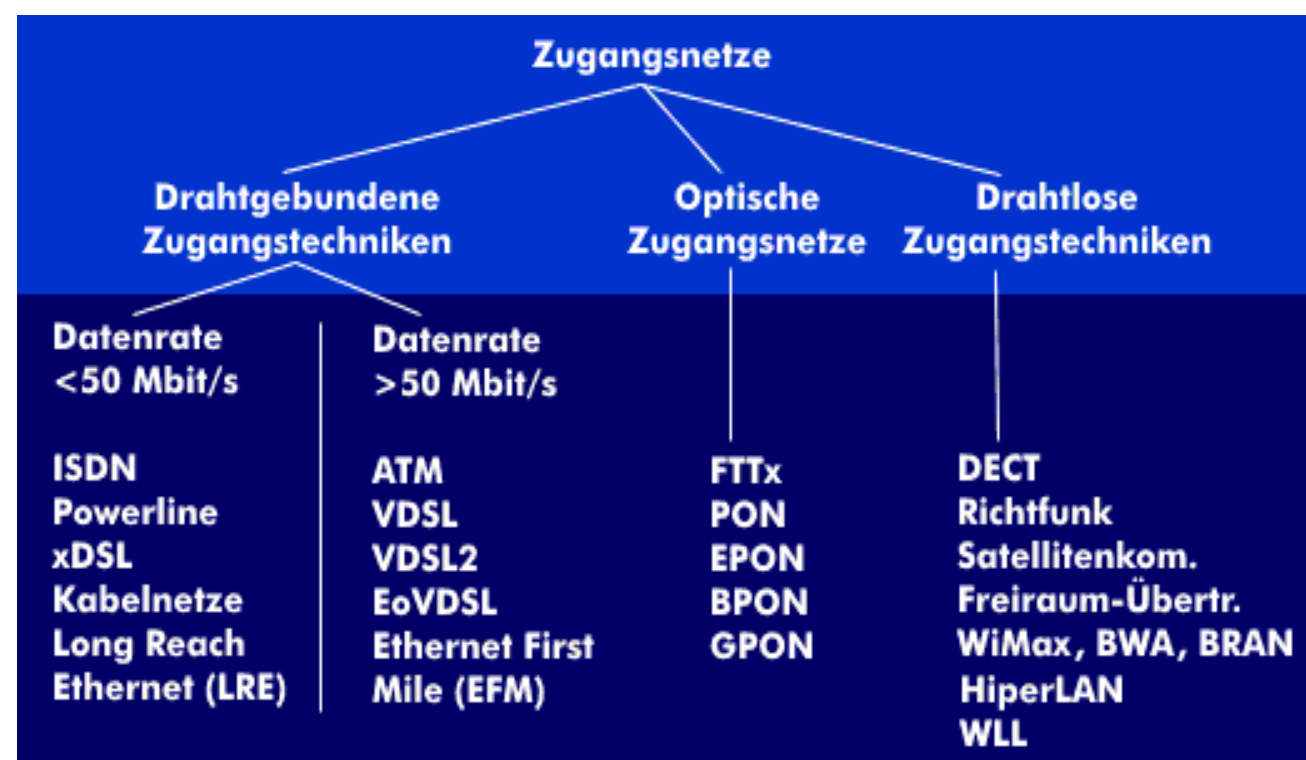
**Anschlussbereich
AsB**

Als Local Loop wird die Verbindungsschleife im Teilnehmer-Anschlussbereich zwischen der Vermittlungsstelle und dem angeschlossenen Teilnehmer-Apparat bezeichnet.

Im Falle des öffentlichen Fernsprechnetzes ist es der geografische Bereich zwischen der Ortsvermittlungsstelle und dem Vermittlungspunkt im Haus; das kann der Zugangspunkt oder auch die Tk-Anschlussdose sein. In der klassischen leitergebundenen Technik führt ein Hauptkabel von der Ortsvermittlungsstelle (OVst) zum Kabelverzweiger (KVz). Von dort führen die Verzweigungskabel zum Endverzweiger (EVz) an dem die Endstellenleitungen zur Telekommunikationsanschlussdose angeschlossen sind.

Bei anderen Netzkonfigurationen kann der Netz-Vermittlungspunkt, der Access-Knoten oder der Verteilerkasten auf dem Bürgersteig sein. Im Anschlussbereich dominiert die Kupferverkabelung, mit der über geringe Entfernungen von bis zu einigen Kilometern Datenübertragungen mit Geschwindigkeiten von typischerweise 64 kbit/s realisiert werden. Der Anschlussbereich ist genau definiert in Bezug auf die Dämpfung, den Schleifenwiderstand und die Anzahl der Anschlusseinheiten. In Deutschland ergibt sich aus diesen Werten im Allgemeinen ein geografischer Bereich

von ca. 5 km Radius um eine Ortsvermittlungsstelle herum. Höhere Geschwindigkeiten werden mit xDSL-Techniken übertragen. Als weitere Techniken für den Anschlussbereich sind drahtlose Techniken zu nennen: Richtfunk, Satellitenkommunikation,



Zugangstechniken im Anschlussbereich

WiMAX, WLL-Netze und die Spread-Spectrum-Technik. Des Weiteren steht ein Vorschlag von IEEE 802.3ah zu Diskussion, der Ethernet im Anschlussbereich vorsieht, Ethernet in the First Mile (EFM), Etherloop, Long Reach Ethernet (LRE) und HPNA.

BWA, broadband wireless access

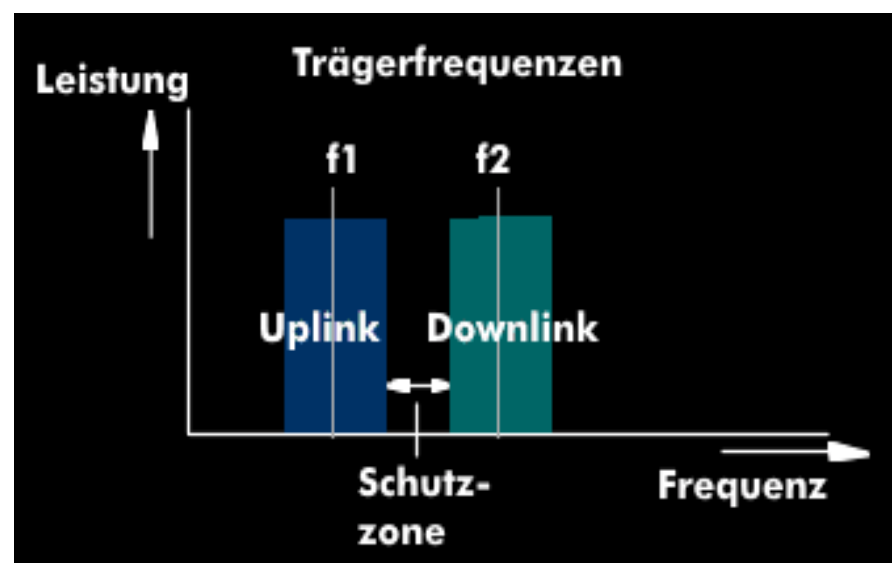
Broadband Wireless Access (BWA) ist der Arbeitskreis *IEEE 802.16*, der sich mit drahtlosen Zugangstechniken zu Breitbandnetzen beschäftigt; einer Technologie, die in *WiMAX* umgesetzt wird. Bei dieser Technologie handelt um Hochgeschwindigkeitsübertragungen im Mikrowellenbereich zwischen 2 GHz und 66 GHz.

Im Bereich von 10 GHz bis 66 GHz ist eine Sichtverbindungen (LOS) erforderlich, unterhalb von 10 GHz kann auch ohne Sichtverbindung, im Non Line of Sight (NLOS), übertragen werden. Über diese Übertragungstrecken sind Übertragungsraten von bis zu 134 Mbit/s definiert und Entfernungen bis zu 60 km, und das sogar bei mobilen Verbindungen, die sich mit mehreren 100 km/h bewegen können. Diese Werte dürften für die NLOS-Technik zumindest unrealistisch sein.

FDD, frequency division duplex

FDD ist ein Frequenzmultiplex (FDM) zur Realisierung von Duplex-Verbindungen. Mit dieser Funktechnik werden die Funkkanäle von Uplink und Downlink zwischen Empfangs- und Basisstation getrennt. Beim FDD-Verfahren werden das Uplink (UL) und das Downlink (DL) auf zwei verschiedenen Trägerfrequenzen realisiert. Zwischen den beiden Übertragungsbändern liegt ein Sicherheitsband, die Schutzzone. Bei der Übertragung können die Daten gleichzeitig empfangen und gesendet werden. Die FDD-Technik ist relativ aufwendig, da für die Trennung der Frequenzbänder in Up- und Downstreamrichtung entsprechende Filter benötigt werden und mit manchen Antennen beide Frequenzbereiche nur schwer abgedeckt werden können. Hinzu kommt, dass das Sicherheitsband zwischen den beiden Übertragungsbänder mindestens genauso breit sein muss, wie die Übertragungsbänder. Dadurch gehen über 50 % des verfügbaren Frequenzspektrums verloren. Die FDD-Technik wird bei solchen Anwendungen eingesetzt, die eine symmetrische

Trägerfrequenzen mit Schutzzone beim Frequency Division Duplex (FDD)



Bandbreite im Uplink und Downlink benötigen, so beispielsweise in GSM, UMTS und 802.16, aber auch bei Long Reach Ethernet (LRE) und WiMAX. Da die Übertragungskanäle gleiche Übertragungsbreiten haben, eignet sich diese Technik gut für Sprachanwendungen. Anders sieht es bei asymmetrischem Verkehr wie dem Internet-Traffic aus, bei dem

Übertragungskapazitäten im Uplink ungenutzt bleiben.

Eine andere Technik, das Time Division Duplex (TDD), arbeitet mit Zeitmultiplex für die beiden Verbindungen und benutzt die gleichen Frequenzen, bei einer dritten, dem Hybrid Frequency Division Multiplex (HFDD), handelt es sich um eine Kombination beider Techniken.

HARQ, hybrid automatic repeat request

HARQ wird bei HSDPA und bei Mobile-WiMax zur Effizienzsteigerung benutzt. Die HARQ-Technik dient der fehlerfreien Übertragung von Datenpaketen und kann fehlerhaft empfangene Datenpakete erneut anfordern. Dabei wird das als fehlerhaft erkannte Datenpaket gespeichert und nach dem erneuten Senden wird es decodiert und in Verbindung mit den vorher empfangenen Paketkopien betrachtet. HARQ arbeitet in einem Stop-and-Wait-Mechanismus, der auf Bestätigungen und negativen Rückmeldungen basiert, bei der die Empfangsstation über einen Kanal mit der Sendestation kommuniziert. Im Falle von HSDPA und HSUPA ist es der E-HICH-Kanal mit der Sendestation mit der Empfangsstation kommuniziert.

HFDD, hybrid frequency division duplex

Die HFDD-Technik ist eine hybride Technik, die in Mobilfunksystemen für die Funkübertragung im Uplink (UL) und Downlink (DL) eingesetzt wird. Als Hybrid-Technik benutzt sie Frequency Division Duplex (FDD) und Time Division Duplex (TDD). Wie die FDD-Technik arbeitet auch HFDD im Uplink und Downlink mit zwei

unterschiedlichen Trägerfrequenzen, und wie die TDD-Technik arbeitet sie mit Zeitslots für die Uplink- und die Downlink-Übertragung. Daraus ergibt sich, dass beispielsweise im ersten Zeitslot die Daten im Uplink zur Basisstation mit der Trägerfrequenz f_1 übertragen werden, im zweiten Zeitslot werden die Daten im Downlink von der Basisstation mit der Trägerfrequenz f_2 übertragen.

Es ist also ein Halbduplex, bei dem immer nur eine Station senden und die andere empfangen kann und umgekehrt. Nachteilig ist, dass sich der Datendurchsatz gegenüber Frequency Division Duplex (FDD) halbiert.

IEEE 802.16 Die Arbeitsgruppe 802.16 beschäftigt sich mit drahtlosen Zugangstechniken zu Breitbandnetzen, konkret mit einer Luftschnittstelle, also mit einem Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Es werden Datenraten von über 100 Mbit/s erreicht bei Distanzen von über 50 km.

Der für die Übertragung verwendete Frequenzbereich liegt zwischen 10 GHz und 66 GHz und ist als Sichtverbindung (LOS) definiert. Die in Deutschland benutzten

Standard	802.16
Frequenzbereich	10 GHz ... 66 GHz
Verbreitung	LOS
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Datenrate	32 Mbit/s ... 134 Mbit/s
Kanalbandbreite	20 MHz, 25 MHz, 28 MHz
Spektrale Effizienz	<4,8 bit/s/Hz
Fahrgeschwindigkeit	0 km/h
Zellengröße	1 km ... 5 km
Latenzzeit	10 ms

LOS, line of sight

Frequenzbereiche liegen bei 23 GHz und 38 GHz. Da im städtischen Bereich in der Regel keine direkte Sichtverbindung zur Verfügung steht, gibt es mit 802.16a noch eine zweite Spezifikation für den Frequenzbereich zwischen 2 GHz und 11 GHz für schlechte Sichtbedingungen.

Die Standardisierungsgremien von 802.16 befassen sich gleichermaßen mit dem Medienzugangsverfahren (MAC) und dem Physical Layer (PHY), wobei von breitbandigen Übertragungstrecken mit Bandbreiten von 20 MHz, 25 MHz und 28 MHz für die Kanäle des Up- und Downlink ausgegangen wird. Als Medienzugangsverfahren, das an die

Spezifikationen von 802.16

unterschiedlichen Umgebungen des Physical Layers angepasst werden muss, verwendet 802.16 TDMA mit Time Division Duplex (TDD) oder Frequency Division Duplex (FDD). Als maximale Datenrate werden 134 Mbit/s für einen 28-MHz-Kanal angegeben. Darüber hinaus definiert 802.16 in vier Service-Klassen eine garantierte Dienstgüte (QoS), die die zeitkritische Übertragung von Audio- und Videodateien unterstützt.

Dieser Arbeitskreis, der Broadband Wireless Access (BWA) heißt, arbeitet sehr eng mit dem Arbeitskreis 802.11 zusammen. Die Ergebnisse fließen in WiMAX ein.

802.16a: Licensed Frequency 2 GHz bis 11 GHz. Die Arbeitsgruppe arbeitet an der MAC- und PHY-Spezifikation und spezifiziert die Übertragung bei Nicht-Sichtverbindungen (NLOS). Wichtige Frequenzen sind 3,5 GHz für die lizenzpflichtigen und 5,8 GHz für die lizenzfreien Anwendungen. Die Datenrate beträgt bei einer Kanalbreite von 20 MHz 75 Mbit/s. 802.16a ist durch 802.16-2004 abgelöst.

802.16b: Licensed Exempt Frequencies, mit Fokus auf das Frequenzband zwischen 5 GHz und 6 GHz. Diese Gruppe läuft auch unter der Bezeichnung WirelessHUMAN (High Speed Unlicensed MAN).

802.16c: Profile der Übertragungsfrequenzen im Frequenzbereich von 10 GHz bis 66 GHz. Die Kanalbreite beträgt in den USA 25 MHz, in Europa 28 MHz. 802.16c ist durch 802.16-2004 abgelöst.

802.16d: Profile der Übertragungsfrequenzen im Frequenzbereich von 2 GHz bis 66 GHz. Abgelöst durch 802.16-2004. Dieser Standard bietet Sicht- und Nicht-Sichtverbindungen im Bereich von 2 GHz bis 66 GHz.

802.16e-2005: Mobile Wireless MAN (WMAN). Diese Arbeitsgruppe definiert einen mobilen Zugang im Rahmen von IEEE 802.16. Hier werden Bandbreiten von mehr als 10 Mbit/s bei Funkzellen im Bereich von einigen Kilometern und Geschwindigkeiten von über 100 km/h untersucht. Darüber hinaus sollen 16e-Clients zwischen verschiedenen Funkzellen wechseln können, bekannt als Roaming. 802.16e ist in Verbindung mit DSRC eine interessante Alternative für telematische und sicherheitsrelevante Dienste in der Automotive-Technik.

802.16f: MIB-Management für Zugangsnetze.

802.16g: Definition der Management Plane.

802.16h: Coexistence of Networks

802.16i: Mobile Man Information Plane

802.16k: Bridging

802.16m: High-Speed-Übertragung mit bis zu 1 Gbit/s.

802.16-1: Air-Interface für 10 GHz bis 66 GHz.

802.16.2: Coexistence of Broadband Wireless Access Systems. Dieser Arbeitskreis beschäftigt sich mit der Koexistenz bestehender Systeme. Abgelöst durch 802.16.2-2004.

802.16.2-2004: Fasst die Standards 802.16, 802.16a, 802.16c und 802.16d in einem Standard zusammen und regelt die Koexistenz von drahtlosen Breitbandssystemen im Bereich von 10 GHz bis 66 GHz.

802.16.2a: Recommended Practice for Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems. Diese Gruppe soll die Koexistenz von PMP-Systemen zwischen 2 GHz und 11 GHz neu definieren.

802.16.3: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Operating below 11 GHz. In dieser Arbeitsgruppe werden die unlicenzierten Frequenzbänder wie das ISM-Band, die Personal Communications Services (PCS), MMDS und UNII für die Nutzung für einen High-Speed-MAN-Zugang untersucht.

IEEE 802.16-2004 Der *IEEE 802.16-2004* ist eine vollständig überarbeitete Version von 802.16d, ebenso wie von 802.16 und 802.16a. Die überarbeitete Version definiert den Frequenzbereich zwischen 2 GHz und 66 GHz für Sicht- (LOS) und Nicht-Sichtverbindungen (NLOS). Die Kanäle sind skalierbar und haben Kanalbreiten zwischen 1,75 MHz und 20 MHz. 802.16-2004 unterscheidet zwei Übertragungsverfahren: *OFDM* und *OFDMA*. Bei der OFDM-Modulation stehen für die Datenübertragung 200 Subträgersignale zur Verfügung und es wird sowohl das Time Division Duplex (*TDD*) als auch das *Frequency Division Duplex* (FDD) genutzt. Bei OFDMA können Teilnehmergruppen gebildet werden, denen bestimmte Trägerfrequenzgruppen zugeordnet werden. Diese Technik arbeitet mit 128, 512, 1.024 oder 2.048 Trägerfrequenzen. Bei einer größeren

Spezifikationen
von 802.16d

Standard	802.16d
Frequenzbereich	<11 GHz
Verbreitung	LOS/NLOS
Modulation	OFDM, QPSK, 16QAM, 64QAM
Datenrate	1 Mbit/s ... 75 Mbit/s
Kanalbandbreite	1,75 MHz ... 20 MHz
Spektrale Effizienz	<3,75 bit/s/Hz
Fahrgeschwindigkeit	0 km/h
Zellengröße	5 km, 12 km, 30 km LOS
Latenzzeit	10 ms

LOS, line of sight
NLOS, non line of sight

Anzahl an Subträgern werden die einzelnen Frequenzbänder schmaler und die Symboldauer länger. Die längere Symboldauer bietet Vorteile bei einer möglichen Mehrwegeausbreitung, weil sie eine größere Toleranz gegenüber der Signallaufzeit hat. So werden in 802.16 Signallaufzeiten von bis zu 10 µs toleriert, im Gegensatz dazu bei 802.11 nur 90 ns. Die spektrale Dichte liegt bei Sichtverbindungen bei 3,75 bit/s/Hz und einer Reichweite von 30 km; ohne Sichtverbindung werden 2 bit/s/Hz definiert und eine Reichweite von 6 km. Das würde bei einer Datenraten von 75 Mbit/s (20-MHz-Kanal), bzw. von 40 Mbit/s entsprechen. Die Systemsicherheit wird durch verbesserte Sicherheits-Algorithmen und Authentifizierungen erhöht.

802.16-2004 wird in WiMax für den Fixed-Betrieb mit fester Antenne eingesetzt, für mobiles *WiMAX* ist 802.16-2004 nicht geeignet, da es nicht über ein Handover verfügt, mit dem der Teilnehmer die Funkzellen unterbrechungsfrei wechseln kann. Dieses *Mobile-WiMAX* wird von 802.16e-2005 unterstützt.

IEEE 802.16e (802.16e-2005)

Mit IEEE 802.16e-2005 wird ein mobiler Zugang zu den breitbandigen Funkdiensten nach 802.16 definiert. Dieser Standard ist kompatibel zu den stationären 802.16x-Versionen, kann in mobilen Endgeräten bei Fahrgeschwindigkeiten bis zu 120 km/h genutzt werden. Er bietet Roaming und Handover und trägt den gestiegenen Sicherheitsanforderungen Rechnung. Der Frequenzbereich liegt zwischen 2 GHz und 6 GHz, die Kanalbreite beträgt 5 MHz, die Datenrate 15 Mbit/s. Die Modulation erfolgt mit *OFDMA*, das mit 128 bis 2.048 Trägerfrequenzen arbeiten kann und für das *MIMO-Verfahren* definiert ist.

Spezifikationen
von 802.16e

IEEE 802.16m

Standard	802.16e
Frequenzbereich	2 GHz ... 6 GHz
Verbreitung	NLOS
Modulation	skal. OFDMA
Datenrate	128 ... 2048 FFT bis 15 MHz
Kanalbandbreite	1,5 MHz ... 5 MHz
Spektrale Effizienz	<3bit/s/Hz
Fahrgeschwindigkeit	bis 120 km/h
Zellengröße	1 km ... 5 km
Latenzzeit	10 ms

LOS, line of sight
NLOS, non line of sight

802.16e wurde 2005 verabschiedet und wird in *Mobile-WiMax* für die Kommunikation mit mobilen Endgeräten benutzt. In Verbindung mit DSRC bildet 802.16e eine interessante Alternative für telematische und sicherheitsrelevante Dienste in der Automotive-Technik.

Die im Jahr 2007 aktiv gewordene Arbeitsgruppe 802.16m befasst sich mit der Definition eines Hochgeschwindigkeits-Funkstandards mit Übertragungsraten von bis zu 1 Gbit/s im mobilen Betrieb mit sich langsam bewegenden Teilnehmern. Diese Betriebsart nennt sich Nomadic respektive High Efficiency/Strong Signal Mode.

Im High Mobility Mode bei einer Fahrgeschwindigkeit von 250 km/h soll die Datenrate für die mobilen

Terminals noch 100 Mbit/s betragen. Weitere Anforderungen liegen in der Größe der Funkzelle, die einen Durchmesser von 30 km haben soll, darüber hinaus soll es sich um ein All-IP-Konzept handeln, als Zugangsverfahren wird *OFDMA* verwendet und als Mehrantennenkonzept *MIMO*.

802.16m ist kompatibel zu 802.16e und setzt auf flexible Bandbreiten mit 5 MHz, 7 MHz, 8,75 MHz, 10 MHz und 20 MHz.

Last Mile Mit Last Mile wird der *Anschlussbereich* bezeichnet, der zwischen der Vermittlungsstelle am Netz und der hausinternen Vermittlungsstelle liegt. Dieser Bereich kann durch verschiedenste Techniken für die Datenübertragung überbrückt werden.

Die bekannteste Last-Mile-Verbindung ist die über das Fernsprechnetz, die dem Geltungsbereich der Telekom unterliegt. Diese Verbindung kann über die xDSL-Techniken für Hochgeschwindigkeitsanbindungen genutzt werden. Neu ist ein

Diskussionsvorschlag von IEEE 802.3ah, der als Lösungsansatz Ethernet im Anschlussbereich vorsieht.

Daneben haben sich diverse andere Lösungsansätze für die Last-Mile entwickelt, die sich allerdings teilweise noch in der Erprobungsphase befinden. Zu ihnen gehören: Der Bau von eigenen Verbindungsleitungen auf Kupfer- oder Glasfaserbasis, der entbündelte Teilnehmer-Netzzugang, die Anmietung von Leitungen von der Telekom oder von Stadtnetzbetreibern, die Richtfunkverbindung als Punkt-zu-Punkt-Verbindung, das Broadband Radio Access Network (BRAN), *WiBro* oder *WiMAX* mit seinen hohen Übertragungsraten, der Einsatz von Schmalband-Mobilfunksystemen auf der Basis von DECT, die Nutzung vorhandener Breitband-Kabelnetze (BK-Netze), auch bekannt als Kabelverteilstrecken, oder des Stromnetzes mit Powerline (PLC). Die beiden letztgenannten Techniken erweisen sich als problematisch, störanfällig und wenig effizient, wie die Übertragung über das Stromnetz, oder als sehr kostenaufwändig, wie im Falle des Breitbandnetzes. Diese Netze wurden nur für Richtungsbetrieb in Download-Richtung konzipiert und haben keinen Rückkanal. Sie müssen daher mit relativ hohem Kostenaufwand umgerüstet werden. Der interessanteste Ansatz für die Überbrückung der Last Mile ist neben der xDSL-Technik über vorhandene Telefonverbindungen die Richtfunk- und Funkverbindung, wobei die Richtfunktechnik für Höchstgeschwindigkeitsanwendungen mit bis zu 155 Mbit/s genutzt werden kann und die Funkverbindungstechnik für 2 Mbit/s geeignet ist.

LOS, line of sight
(Sichtverbindung)

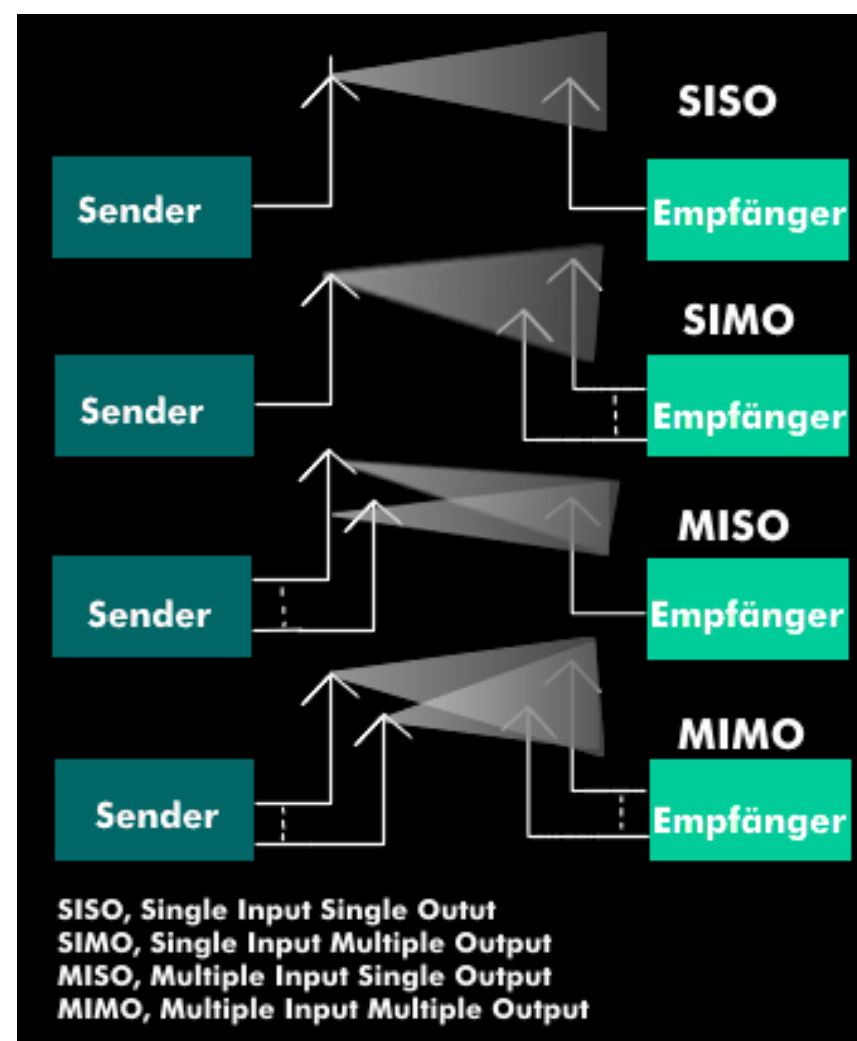
Die Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger spielt überall dort eine wesentliche Rolle, wo die Wellenausbreitung nur dann sichergestellt ist, wenn zwischen Sender und Empfänger eine unbeeinträchtigte Streckenverbindung besteht. Bei hohen Frequenzen im Mikrowellenbereich wird die Wellenausbreitung durch eine fehlende Sichtverbindung beeinträchtigt; im Extremfall ist kein Empfang möglich. Beispiele hierfür sind die Satellitenkommunikation, der Richtfunk und der Mobilfunk. Typische Erscheinungen für eine fehlende Sichtverbindung beim Mobilfunk sind der Funkschatten oder das Funkloch.

Die Funkübertragung über Sichtverbindungen ist durch die Freiraumdämpfung

beeinträchtigt. Diese nimmt mit der Frequenz und der Entfernung quadratisch zu. In manchen Anwendungen, wie bei der Freiraum-Übertragung mit Licht oder der Satellitenübertragung, ist eine Sichtverbindung zwingend erforderlich. Es gibt diverse Standards in denen die Sichtverbindung ebenso wie die Nicht-Sichtverbindung (*NLOS*) im Definitionsumfang enthalten sind.

Mehrantennensystem (*multiple antenna system*)

Um in Funksystemen höhere Empfangsfeldstärken und Datenraten zu erzielen, gibt es mit der Raumdiversität eine Technik, die die Mehrwegeausbreitung der Funksignale nutzt, mit Spatial-Multiplexing oder Diversitäts-Verfahren arbeiten oder auch mit sende- und empfangsseitigen Antennen-Arrays, so genannten Mehrantennensystemen. Generell erfolgt eine funktechnische Übertragung zwischen einem Sender und einem Empfänger in der Form, dass der Sender das HF-Signal von einer Antenne abstrahlt



und der Empfänger eine Antenne für den Empfang hat. Für solche Systeme gibt es das Akronym SISO, das für Single Input Single Output steht. Eine Erhöhung der Empfangsfeldstärke kann bereits durch zwei oder mehr Empfangsantennen erfolgen. Man spricht dann von SIMO, Single Input Multiple Output. Werden anstelle einer Sendeantenne mehrere Antennen zur Abstrahlung des HF-Signals eingesetzt, spricht man von MISO, Multiple Input Single Output. Werden sowohl für die senderseitige Abstrahlung als auch für die empfangsseitige mehrere Antennen eingesetzt heißen die Systeme *MIMO*, Multiple Input Multiple Output. Bei den Mehrantennensystemen senden

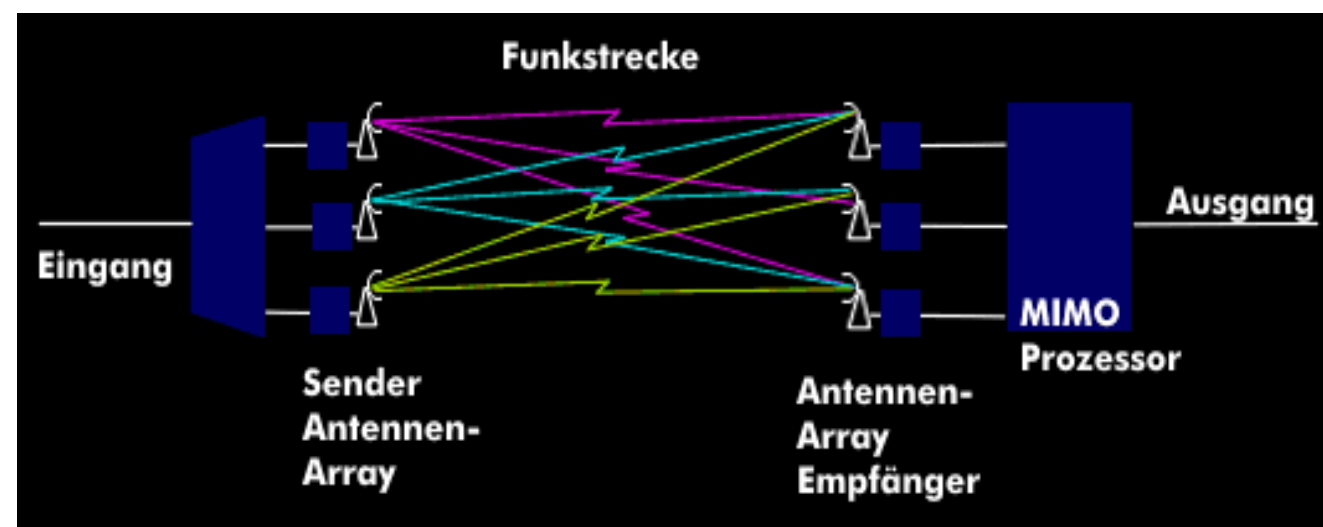
Mehrantennensysteme

alle Sender die Signale an alle Empfänger. So erhält bei einem Drei-Antenennensystem die erste Empfangsantenne die Summe der Signalanteile h_{11} , h_{12} und h_{13} , die zweite h_{21} , h_{22} und h_{23} und die dritte Empfangsantenne empfängt Anteile von h_{31} , h_{32} und h_{33} . Sind die Matrixen bekannt, dann können aus diesen die Sendesignale berechnet werden. Die Matrixelemente werden regelmäßig durch einen Pilot-Ton gemessen und optimiert. Dies ist erforderlich weil sich die Übertragung auf der Funkstrecke und damit die Empfangsbedingungen geändert haben können. Mit diesen Mehrantennensystemen kann die Bandbreite effizienter genutzt und die Datenrate auf 20 bit/Hz bis 40 bit/Hz erhöht werden.

MIMO, *multiple input multiple output* (MIMO-Verfahren)

Das MIMO-Verfahren ist vergleichbar dem von Bell entwickelten Blast-Verfahren. Es handelt sich um ein *Mehrantennensystem* bei dem identische Funkfrequenzen gleichzeitig über ein intelligentes Antennen-Array ausgesendet und von einem Mehrantennensystem empfangen werden.

Die Grundüberlegung dabei ist eine Vervielfachung der Funkstrecken durch Mehrwegeausbreitung. Das räumlich verteilte Antennen-Array strahlt von allen Antennen dieselben Frequenzen aus. Empfangsseitig treffen die gleichen Funkfrequenzen zu verschiedenen Zeiten ebenfalls auf ein intelligentes Antennen-Array, da sie räumlich verteilt ausgestrahlt und darüber hinaus an Wänden oder anderen Objekten und Gegenständen reflektiert werden. Durch diese Streuung wird eine Funkwelle in mehrere schwächere aufgeteilt. Die Mehrwegeausbreitung bewirkt,



dass am Empfangsort ein komplexes, raum- und zeitabhängiges Muster als Summensignal der einzelnen Sendesignale entsteht. Dieses eindeutige

Sende- und empfangsseitiges Antennen-Array von MIMO

MIMO nutzt MIMO indem es die in ihrer räumlichen Position charakteristischen Signale erfasst, wobei sich jede Raumposition von der benachbarten unterscheidet. Zwischen den Sendern und Empfängern werden so genannte Air Paths eingerichtet über die unterschiedliche Datenteile übertragen werden. Mit der Charakterisierung der einzelnen Sender ist es dem Empfänger möglich mehrere Signale voneinander zu trennen. Da bei WLANs meistens die Sender auch Empfänger sind, kann man mit ebenso vielen Empfängern wie Sende-Antennen arbeiten.

Da in WLANs Sender und Empfänger nicht statisch sind, ebenso wie die Strahlungsbedingungen, müssen sich die Empfänger dynamisch an neue charakteristische Reflektionen anpassen. Dies geschieht bei MIMO mit einem speziellen Testsignal.

Die Kapazität der funktechnischen Übertragung kann durch den Einsatz von mehreren Sendern erhöht werden: Doppelt so viele Sender bedeuten auch die doppelte Kapazität.

Die mit MIMO erzielbare spektrale Effizienz liegt zwischen 20 bit/s/Hz und 40 bit/s/Hz, wohingegen normale Funkübertragungen Werte von bis zu 5 bit/s/Hz erzielen. MIMO wird in Kombination mit *OFDM* in *WiMAX* eingesetzt.

Mobile-WiMAX (*mobile WiMAX*)

WiMAX kennt zwei Einsatzvarianten: die stationäre und die mobile, das Mobile-WiMax. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Szenarien liegt in der Sichtverbindung (LOS) zwischen Basisstation (BS) und Mobilstation (MS), die das stationäre WiMax kennzeichnet, und der nicht erforderlichen Sichtverbindung, Non Line of Sight (NLOS), für das mobile WiMax. Dieser Unterschied hat unmittelbare Auswirkungen auf die Datenrate, die beim Mobile-WiMax niedriger ist, als beim stationären. Die Übertragungsspezifikation für die Datenrate liegt bei 2 bit/Hz und beträgt damit fast die Hälfte von WiMax. Mit diesen Spezifikationen werden über einen 20-MHz-Kanal Datenraten von 40 Mbit/s erreicht. Mit dem *MIMO-Verfahren* werden auf einem 10-MHz-Kanal Datenraten von über 90 Mbit/s erreicht. Davon werden 63 Mbit/s für den Downlink und 28 Mbit/s für den Uplink benutzt. Die Funkzellen sind mit einem Durchmesser von 1 km bis ca. 4 km ebenfalls wesentlich kleiner als die vom

Kenndaten von WiMax und Mobile-WiMax

	WiMAX	Mobile-WiMAX
Endgeräte	Stationär	Mobil
Funkzelle	bis 30 km	bis 4 km
Bandbreite	1,25 MHz ... 20 MHz	1,25 MHz ... 20 MHz
Subträgeranzahl	128 ... 2.048	128 ... 2.048
Subträgerabstand	10,94 kHz	10,94 kHz
Datenrate (ohne MIMO)	3,75 bit/Hz	2 bit/Hz
Verbindung	75 Mbit/s	40 Mbit/s
Übertragungsverfahren	Sichtverbindung	Nicht-Sichtverbindung, NLOS
Modulation	LOS	LOS
	OFDMA	SOFDMA
	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Standard	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005

stationären WiMax. Mobile-WiMax, das auf dem Standard 802.16e-2005 basiert, benutzt für die Übertragung das skalierbare OFDMA, SOFDMA, mit 2.048 Subträgern. Als Modulationsverfahren schreibt IEEE 802.16e die Quadratur-Phasenumtastung (QPKS) oder die Quadratur-Amplitudenmodulationen 16QAM und 64QAM vor. Letztere nur optional. Darüber nutzt Mobile-WiMax HARQ für

die Effizienzsteigerung und unterschiedliche Multiplexverfahren wie *Frequency Division Duplex* (FDD) oder *Time Division Duplex* (TDD).

Die Funkfrequenzen von Mobile-WiMax liegen zwischen 2 GHz und 11 GHz.

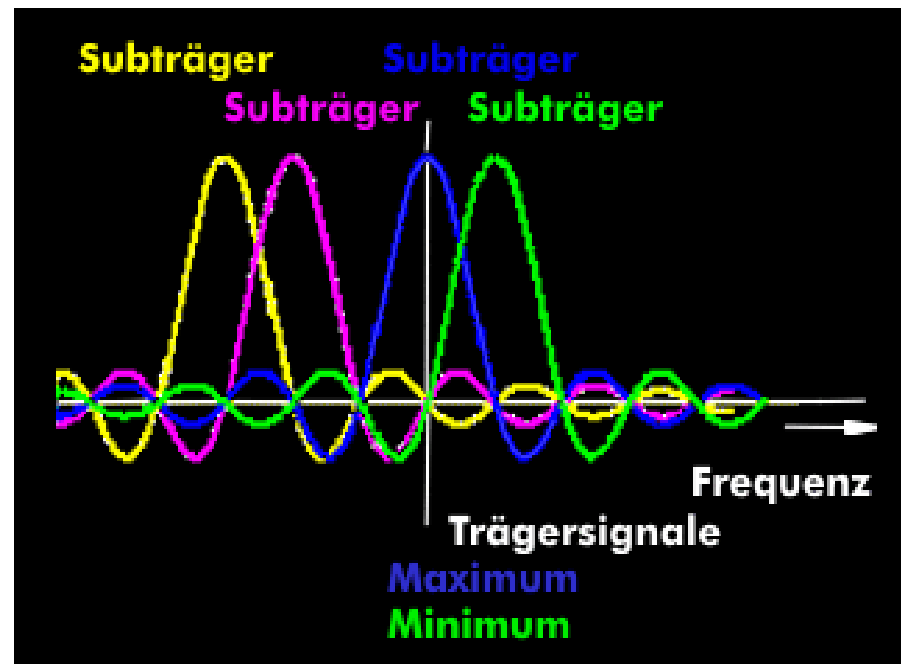
NLOS, non line of sight (Nicht-Sichtverbindung)

In diversen Standards wird neben der Sichtverbindung (LOS) auch das Übertragungsverhalten bei der Nicht-Sichtverbindung (NLOS) spezifiziert. Übertragungstechnische Beeinträchtigungen durch eine nicht vorhandene Sichtverbindung (LOS) treten überall dort auf, wo eine optische Übertragungsstrecke unterbrochen wird, wie bei der Freiraum-Übertragung oder in Infrarot-LANs, oder wo die Wellenausbreitung durch Umwelteinflüsse oder Gebäude beeinträchtigt wird. So bei der Satellitenübertragung, im Richtfunk oder im Mobilfunk.

OFDM, orthogonal frequency division multiplex

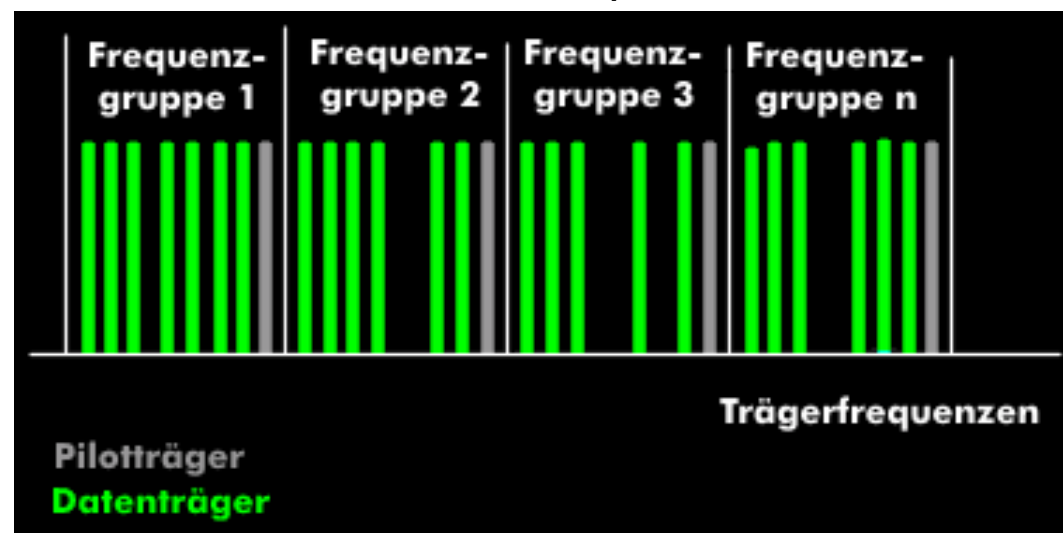
OFDM ist eine äußerst Bandbreiten-effiziente Funktechnik, die einen wesentlich geringeres Frequenzband benötigt als Frequenzmultiplex (FDM). Beim orthogonalen Frequenzmultiplex (OFDM) handelt es sich um eine Mehrträgermodulation, bei der viele Subträger mit einer relativ geringen Datenrate

Unterträger in orthogonaler Zuordnung



moduliert werden. Die OFDM-Signale werden über eine inverse diskrete Fourier-Transformationen (IDTF) erzeugt. Die Besonderheit von OFDM liegt darin, dass die Frequenzen der einzelnen Subträger präzise aus der Symbolrate bestimmt werden, und zwar so, dass ein Subträger dann seine maximale Modulationsamplitude erreicht, wenn alle anderen Subträger einen Nulldurchgang haben. Die Blocklänge der IDFT entspricht dabei der Zahl der Subträger.

Die IDTF setzt voraus, dass alle Subträgerfrequenzen orthogonal zueinander stehen. Jeder dieser Subträger wird mit einem Teil der Daten moduliert. Da auf einem Subträger dadurch nur wenige Daten übertragen werden, ergeben sich lange Symbolraten. Diese sind unempfindlicher gegen Störungen und Echos als andere Modulationsverfahren und bieten daher besondere Vorteile bei stark beeinträchtigter terrestrischer Übertragung. Verzerrungen durch Reflektionen und Laufzeitunterschiede, wie sie bei breitbandiger Übertragung als Verzögerungstreuung auftreten, werden vermieden. Darüber hinaus benötigt diese Technik ein schmaleres Frequenzband als andere Mehrträgerechniken, da zwischen



OFDM mit Pilotträgern und modulierten Unterträgern

den einzelnen Subträgerbändern kein Sicherheits-Frequenzband benötigt wird. Soll also beispielsweise ein 1-Mbit/s-Signal mittels OFDM über zehn Trägerfrequenzen, die jeweils mit 100 kbit/s moduliert werden, übertragen werden, dann

ist der optimale Abstand der Trägerfrequenzen 100 kHz.

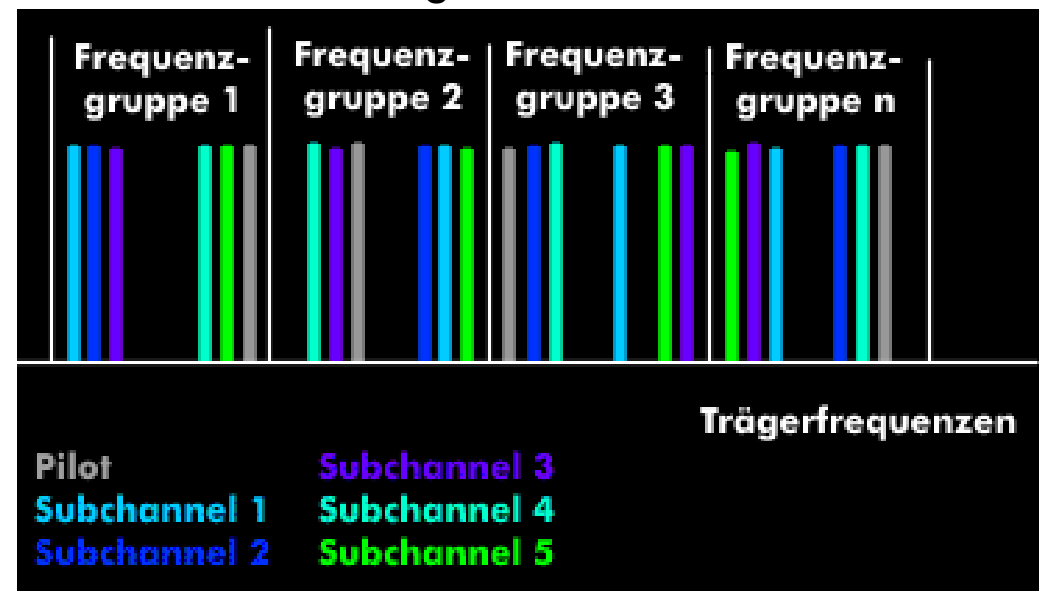
OFDM wird u.a. in terrestrischem Digital-TV (DVB-T), in Digital-Audio-Broadcast (DAB) und DRM-Radio eingesetzt, ebenso in WLANs nach IEEE 802.11a, bei Long Term Evolution (LTE) und in HiperLAN. In *WiMAX* wird OFDM mit der *MIMO-Technik* kombiniert und erreicht spektrale Effizienzwerte von bis zu 8 bit/s/Hz.

OFDMA, orthogonal frequency division multiplexing access

OFDMA ist ein Zugangsverfahren für funktechnische Systeme, basierend auf der Mehrträgermodulation *OFDM* und erweitert um die Mehrfachzugangsverfahren FDMA und TDMA. Hierin besteht auch der Unterschied zu OFDM, das mit eindimensionalem Mehrfachzugang in Form von Zeitschlitzten arbeitet.

Durch die Mehrfachzugangsverfahren können einzelne oder mehrere orthogonale Subträger unterschiedlichen Nutzern zugewiesen werden. Über die zugewiesenen Zeitschlitzte von TDMA und die Unterkanäle von FDMA kann die Übertragungskapazität an die Nutzeranforderungen angepasst werden. So wird einem Teilnehmer der telefoniert, eine geringere Bandbreite zugewiesen als einem der Internet-Fernsehen anschaut.

Bei OFDMA bildet der Sender die zu übertragenden seriellen Bitströme auf diversen Subträgern ab. Die Anzahl an Subträgern hängt von der Kanalbreite ab. Die einzelnen Subträger werden parallel über die zur Verfügung stehende Bandbreite des Funkkanals übertragen. Je mehr Subchannels für die Übertragung genutzt werden,



desto niedriger wird die Symbolrate, die sich in den Frequenzänderungen des Sendesignals zeigt. Was die Orthogonalität betrifft, so wird das Verhältnis der zur Verfügung stehenden Bandbreite zur Symbolrate so gewählt, dass das Maximum eines Subträgerspektrums in den Minima

OFDMA mit Frequenzgruppen und mehreren Subchannels

seiner Nachbarn liegt.

OFDMA kennt drei verschiedene Subcarrier: den

- Data Subcarrier für die Datenübertragung,
- den Pilot Subcarrier für die Synchronisation
- und den Null Subcarrier ohne Übertragungsfunktion. Diese dienen zur Bereitstellung der Schutzzonen.

Das in WiMax benutzte OFDMA hat gegenüber OFDM eine flexible Anzahl an Trägerfrequenzen. Sind es bei der OFDM-Technik 256, so können es bei OFDMA 128, 512, 1.024 oder 2.048 sein. Die Codierung, Modulation und Amplitude werden je nach den Kanalbedingungen für jeden Subchannel separat eingestellt. Das bedeutet, dass die Sendeleistung optimal an unterschiedliche Übertragungsbedingungen angepasst werden kann.

OFDMA sorgt für die Zuordnung der mehr oder weniger vielen Subträger eines Funknetzes zu den unterschiedlichen Radio Network Terminations (RNT). Mit dieser Funktion werden Interferenzen der Symbolrate und die Frequenzabweichungen der Lokaloszillatoren (LO) kompensiert. Da die Frequenzen der Lokaloszillatoren bedingt durch Alterung und Temperatur erheblich schwanken können, wird mit der OFDMA-Funktion der Bezug zu einem Subträger sichergestellt.

RAN, *radio access network*
(*Funkzugangnetz*)

Das drahtlose *Zugangsnetz* sorgt für die Funkverbindung zwischen den mobilen Endgeräten und dem Kernnetz. Es besteht aus Funkbasisstationen, die die Funkverbindung zum mobilen Endgerät herstellen, und den Radio Network Controllern (RNC) für die Verbindung zu den Mobilfunkvermittlungsstellen (MSC) im Kernnetz.

Vom Ansatz her kann ein drahtloses Zugangsnetz ein GSM-Netz sein oder aufbauend auf GSM mit EDGE, GPRS oder HSCSD arbeiten. Ebenso kann es sich um ein UMTS-Netz handeln oder um WCDMA, um unlizenzierte Mobilfunknetze, WRAN oder auch um *WiMAX*.

Drahtlose Zugangsnetze haben also keine fest definierte Technik, sondern es können die verschiedensten Techniken zum Einsatz kommen.

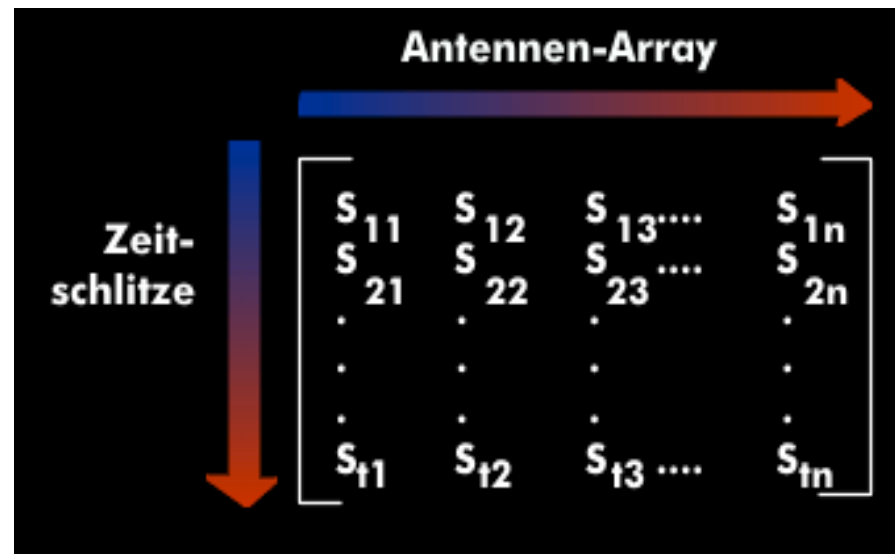
SOFDMA, *scalable orthogonal frequency division multiplex*

SOFDMA und OFDMA unterscheiden sich durch die Skalierbarkeit der Subbänder. SOFDMA wurde für Wibro entwickelt und später in *Mobile-WiMax* übernommen. Das funktechnische Übertragungsverfahren arbeitet mit konstanten Subträgerabstand und weist die Subbänder dynamisch zu. Je nach Bandbreite der Funkkanäle arbeitet ein solches Übertragungssystem mit mehr oder weniger Subträger. Bei Mobile-WiMax nach 802.16e hat sich ein Subträgerabstand von 10,94 kHz als optimal erwiesen. Bedingt durch die variablen Funkkanalbreiten kann WiMax mit 128 bis 2.048 Subträgern übertragen. Bei einer Funkkanalbreite von 10 MHz verwendet der Downlink 1.024 Subträger, in denen die Synchronisationssignale und Daten übertragen werden. Dadurch, dass SOFDMA mit konstanter Subchannelbreite arbeitet, vereinfacht sich die Systemkomplexität und bei höheren Kanalbandbreiten verbessern sich die Leistungsdaten. Durch SOFDMA-Technik werden Beeinträchtigungen der Funkkanäle durch Dopplereffekte oder der Schwund bei der Mehrwegeausbreitung vermieden. Daher eignet sich diese Technik besonders für die mobile funktechnische Übertragung. Bei dem TDD-Verfahren handelt es sich um ein Zeitmultiplex (TDM) für Funkübertragungen. Mit dieser Funktechnik werden die Funkkanäle von Uplink und Downlink zwischen Empfangs- und Basisstation getrennt. Beim TDD-Verfahren benutzen der Uplink und der Downlink gleichen Übertragungsfrequenzen im Zeitmultiplex mit periodischer Umschaltung. Damit der Uplink- und Downlink-Verkehr sauber getrennt werden, werden sowohl zwischen den einzelnen Rahmen als auch zwischen den Sende- und Empfangsdaten Schutzzonen eingerichtet.

STBC, *space time block coding*

Die Raum-Zeit Block Codierung (STBC) ist ein Übertragungsverfahren von Funknetzen, bei dem die zeitliche, die spektrale und auch die räumliche Dimension der Übertragungstrecke ausgenutzt wird. Bei der STBC-Codierung wird der Datenstrom zur Übertragung in Datenblöcke codiert. Diese werden über räumlich verteilte Antennen zeitlich verteilt übertragen. Bei dem Verfahren werden senderseitig Antennen-Arrays eingesetzt, empfangsseitig sind keine

Übertragung bei der STBC-Codierung



erforderlich, allerdings trägt ein empfangsseitiges Antennen-Array zur Verbesserung der Empfangsbedingungen bei. Dieses Übertragungsverfahren, bei dem vielfältige Kopien der Daten empfangen werden, ist auch bekannt als Raumdiversität und ist die Strategie des MIMO-Verfahrens.

Die STBC-Codierung wird gewöhnlich als Matrix dargestellt. Jede Reihe

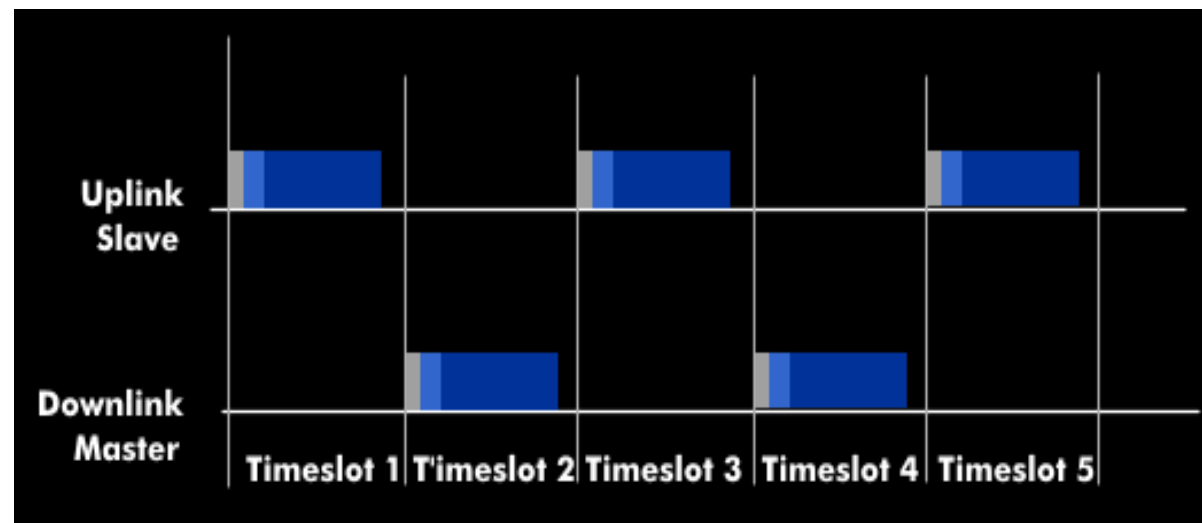
repräsentiert einen Zeitschlitz und jede Spalte die Übertragung von einer Antenne. In dieser Notation stellt "S" das modulierte Symbol dar, das im Zeitschlitz "y" von der Antenne "x" übertragen wird.

Beim Space Time Block Coding (STBC) unterscheidet man zwischen orthogonalen Raum-Zeit-Block-Codes (OSTBC) und nicht-orthogonalen Raum-Zeit-Block-Codes (NOSTBC). Zu letzteren gehört QSTBC. Mit OSTBC wird bei MIMO mit zwei Antennen die volle Datenrate und Diversität erzielt. Haben MIMO-Systeme mehr als zwei Antennen, dann kann die volle Datenrate nur mit QSTBC erzielt werden, allerdings mit eingeschränkter Diversität.

Die STBC-Codierung wird u.a. vom Enhanced Wireless Consortium (EWC) für 802.11n vorgeschlagen.

TDD, time division duplex

TDD-Betrieb mit Zeitmultiplex in einem Übertragungskanal



Bei TDD kann die zur Verfügung stehende Bandbreite effizient genutzt, allein dadurch, dass die Datenrate während des Betriebs im zeitlichen Übertragungsrahmen

variiert werden kann. Dadurch können dem Up- und Downstream Bandbreiten zugeordnet werden. TDD kann somit symmetrisch und auch asymmetrisch betrieben werden.

Das TDD-Verfahren wird u.a. bei der schnurlosen Telefonie (CT), bei UMTS und Bluetooth angewendet. Das Alternativ-Verfahren für den Duplex-Betrieb von Funkkanälen ist das *FDD-Verfahren* mit Frequenzmultiplex.

WiBro, wireless broadband

WiBro ist eine Alternative zu *WiMAX*. Es wurde in Südkorea entwickelt und auch dort von der Telecommunications Technology Association (TTA) von Korea standardisiert. Da WiBro den gleichen mobilen Ansatz wie *IEEE 802.16* verfolgt und einen Entwicklungsvorsprung hatte, hat das IEEE-Gremium das WiBro-Projekt mit in die Entwicklungsarbeiten für *802.16e* eingebunden. Dadurch flossen bestimmte Entwicklungen in das *Mobile WiMax* ein, insbesondere die Übertragungstechnik *SOFDMA*.

In *802.16e* wird ein Funkdienst für einen breitbandigen, mobilen Zugang definiert, quasi für das mobile, drahtlose Internet.

WiBro unterstützt mit seinen Datenraten zwischen 20 Mbit/s und 50 Mbit/s diese Dienste. Es zeichnet sich aus durch Handover und kann bei Fahrgeschwindigkeiten

Frequenzbereich	2,3 GHz bis 2,4 GHz
Kanalbreite	9 MHz
Zugangstechnik	OFDMA mit 2.048 Subträgern
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Reichweite einer Funkzelle	bis 1 km
Datenrate	20 Mbit/s, 50 Mbit/s
Mobilität	100 km/h

von über 100 km/h empfangen werden. Die WiBro-Funkzellen haben einen Radius von einem bis zu fünf Kilometern. Als Übertragungsfrequenzen nutzen die Koreaner und Japaner ein 100-MHz-Band bei 2,3 GHz. Übertragungstechnisch arbeitet WiBro mit skalierbarem SOFDMA mit 2.048 Subträgern.

WiBro bietet Dienstgüte (QoS), wodurch es auch für Streaming-Media und VoIP interessant ist. In Verbindung mit dem Handover kann es auch als Alternative zu

Spezifikationen von WiBro

den Mobilfunktechniken der 3. Generation (3G) wie UMTS in Betracht gezogen werden.

Damit die drahtlosen Breitband-Technologien WiBro und WiMAX später untereinander kompatibel sind, haben sich namhafte Chiphersteller und koreanische Firmen, die das WiBro-Projekt entwickelt haben, auf Kompatibilitätsfragen verständigt.

WiMAX, *worldwide interoperability for microwave access*

WiMAX ist eine High-Speed-Funktechnologie für breitbandige, bidirektionale Hochgeschwindigkeitsübertragungen im *Zugangsnetz*. Diese Hochgeschwindigkeitstechnik eignet sich für stationäre und mobile Endgeräte und kann ganze Stadtteile eines *Wireless Metropolitan Area Networks (WMAN)* versorgen. Der stationäre Betrieb arbeitet mit Sichtverbindungen (LOS) und zeichnet sich gegenüber dem mobilen WiMax, *Mobile-WiMax*, durch größere Funkzellen und höhere Datenraten aus. Mobile-WiMax benötigt für die Übertragung allerdings keine Sichtverbindung.

Die Datenraten von WiMax sind relativ hoch und hängen ab von den Bandbreiten des Funkkanals, die zwischen 1,25 MHz und 20 MHz liegen können. Beim stationären WiMax wird über einen 20 MHz breiten Funkkanal ohne *MIMO-Verfahren* eine Datenrate von ca. 75 Mbit/s erzielt. Dieser Wert ergibt sich aus der Übertragungs-

spezifikation von 3,75 bit/Hz bei Sichtverbindungen. Bei Mobile-WiMax reduziert sich dieser Wert auf 2 bit/Hz, und erreicht mit MIMO über einen 10-MHz-Funkkanal ca. 90 Mbit/s, die für das Downlink und das Uplink aufgeteilt

Name	Frequenzen	Technologie	Duplex
WirelessMAN-SC*	10 ... 66 GHz	TDMA, DAMA	TDD, FDD
WirelessMAN-SCA*	unter 11 GHz*	TDMA, TDM	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDM*	unter 11 GHz*	OFDM	TDD, FDD
WirelessMAN-OFDMA	unter 11 GHz*	OFDMA	TDD, FDD
WirelessHUMAN*	unter 11 GHz*	TDMA, OFDM OFDMA	TDD

* Trademark *lizenzierte Bänder

WiMax-Technologien

Kenndaten von WiMax und Mobile-WiMax

	WiMAX	Mobile-WiMAX
Endgeräte	Stationär	Mobil
Funkzelle	bis 30 km	bis 4 km
Bandbreite	1,25 MHz ... 20 MHz	1,25 MHz ... 20 MHz
Subträgeranzahl	128 ... 2.048	128 ... 2.048
Subträgerabstand	10,94 kHz	10,94 kHz
Datenrate (ohne MIMO)	3,75 bit/Hz	2 bit/Hz
Verbindung	75 Mbit/s	40 Mbit/s
Übertragungsverfahren	Sichtverbindung LOS	Nicht-Sichtverbindung, NLOS
Modulation	OFDMA	SOFDMA
Standard	QPSK, 16QAM	QPSK, 16QAM 64QAM
	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005

werden. WiMax ist eine Weiterentwicklung der Funk-LANs, basierend auf der A-Version des Standards 802.16 Broadband Wireless Access (BWA). 802.16 weist Übertragungsfrequenzen zwischen 10 GHz und 66 GHz aus, die A-Version definiert Frequenzen zwischen 2 GHz und 11 GHz und die B-Version zwischen 5 GHz und 6 GHz. Das *WiMax-Forum* will die

Standardisierung für alle 802.16-Versionen vorantreiben, wobei vorerst WiMax für den Frequenzbereich zwischen 2 GHz und 11 GHz ausgelegt ist und dabei speziell für die Frequenzen von 2,500 GHz bis 2,690 GHz, 3,400 GHz bis 3,600 GHz und 5,725 GHz bis 5,850 GHz. In Deutschland hat die Bundesnetzagentur (BNetzA) den Frequenzbereich zwischen 3,410 GHz und 3,594 GHz an mehrere Anbieter vergeben. Die Sendeleistung beträgt in Deutschland 3,2 W.

Der Breitband-Funk WiMax benutzt als Modulationsverfahren *OFDM* mit 2.048 Unterträgern, das, kombiniert mit der MIMO-Technik, die hohen Datenraten ermöglicht. Als Standard-basierte Technologie können über ein *WiMax-Netz* drahtlose Breitbanddienste bereitgestellt werden, sowohl für stationäre Anschlüsse als auch für portable und mobile Endgeräte, und das ohne Sichtverbindung zur Basisstation. Ein wesentlicher Aspekt ist die Dienstgüte. Da WiMax verbindungsorientiert arbeitet, können für bestimmte Anwendungen Dienstgüten (QoS) vereinbart werden.

Der Betrieb mit stationären Antennen basiert auf dem Standard *IEEE 802.16-2004*, der für Mobile-WiMax auf *802.16e-2005*. Die letztgenannte Technik ist in Verbindung mit DSRC eine interessante Alternative für telematische und sicherheitsrelevante Dienste

in der Automotive-Technik.

Zu den Einsatzszenarien von WiMax gehören Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen im Richtfunk, Mesh-Netze mit Subscriber-zu-Subscriber-Kommunikation sowie die Anbindung von WLANs zur Erweiterung der Funkzellen von 802.11a auf bis zu 50 km. WiMax könnte mittelfristig sogar WLANs und UMTS ersetzen und als breitbandige Zugangstechnik mit xDSL konkurrieren.

In Korea wurde mit *WiBro* eine der WiMAX-Technik vergleichbare Breitbandtechnik entwickelt, die in asiatischen Ländern eingesetzt wird. Teile dieser Entwicklung fließen in das Mobile-WiMax nach IEEE 802.16e ein.

<http://www.wimaxforum.org>

WiMAX-Forum Das *WiMAX*-Forum fördert den Einsatz von breitbandigen, drahtlosen

WiMAX-Arbeitsgruppen	Aufgaben
AWG, Application Working Group	Applikationen und Definition der Kernangebote
CWG, Certification Working Group	Operationelle Aspekte der Zertifizierung
GRWG, Global Roaming Working Group	Verfügbarkeit von globalen Roamingdiensten
MWG, Marketing Working Group	Allgemeines Marketing und Förderung
NWG, Network Working Group	Spezifikationen der höheren NW-Schichten für stationäre und mobile Anwendungen
RWG, Regularity Working Group	Aktivitäten mit weltweiten Regulierungsbehörden
SPWG, Service Provider Working Group	Bereitstellung von Plattformen für Service Provider
TWG, Technical Working Group	Spezifikationen für Konformitätstests

Zugangsnetzen, die auf der unter *IEEE 802.16* standardisierten Technologie basieren. So will das WiMAX-Forum den weltweit ersten universellen Freiraum-Telekommunikations-Standard schaffen, mit den IEEE 802.16a *WMAN* und den ETSI *HiperMAN* zusammenarbeiten und in einem Entfernungsbereich von über 50 km einen Durchsatz von 108 Mbit/s bieten. Neben einer flexiblen Dienstgüte (QoS) sollen strenge

Arbeitsgruppen des WiMAX-Forums

Sicherheitsbedingungen erfüllt und eine Migration zu den unter 802.16e-2005 definierten mobilen Anwendungen bereitgestellt werden.

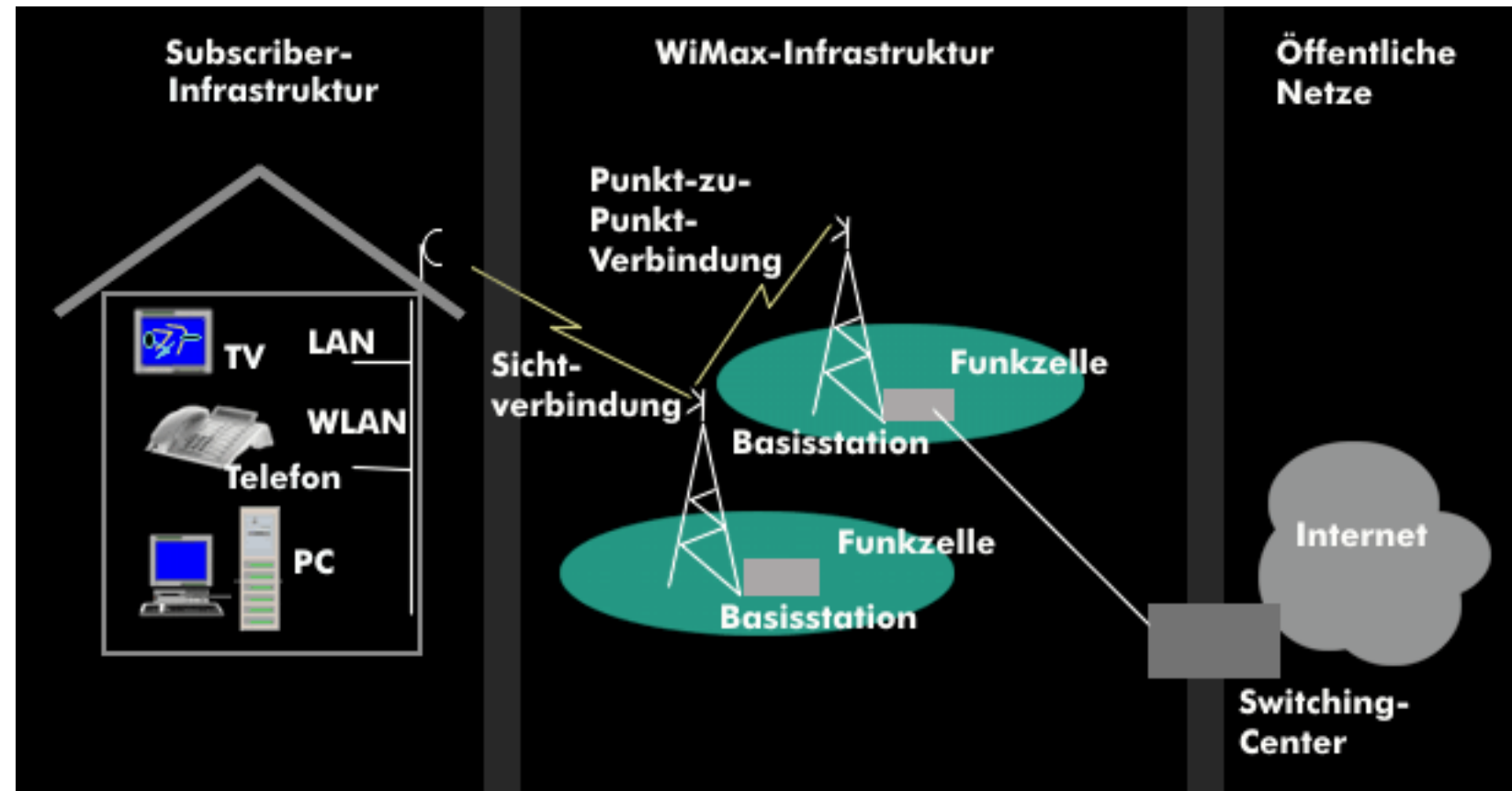
Zu den Aufgaben des Forums gehört die Zertifizierung der Produkte in Bezug auf deren Interoperabilität. Die dem WiMax-Forum angehörenden Unternehmen wollen den technischen Standard 802.16 im Frequenzbereich zwischen 10 GHz und 66 GHz und dessen A-Version mit spezifizierten Frequenzen zwischen 2 GHz und 11 GHz weltweit fördern und die Entwicklung von kostengünstigen Stadtnetzen vorantreiben. Das WiMax-Forum arbeitet gemeinsam mit der ETSI Testpläne für den ebenfalls auf 802.16 basierenden europäischen Wireless-MAN-Standard aus.

Zu den über 350 Mitgliedern des WiMax-Forums gehören Netzbetreiber, Internet Service Provider, Hersteller von Komponenten, Mobilfunkeinrichtungen und Chips wie Intel, das die WiMax-Aktivitäten durch Chipentwicklungen vorantreibt.

<http://www.wimaxforum.org>

WiMAX-Netz
(WiMAX network)

Ein WiMax-Netz ist ein zellulares Netz, vergleichbar dem GSM-Netz, allerdings mit



Infrastruktur eines
WiMax-Netzes



WiMax-Empfangsstation für den Innenbereich, Foto: Siemens

einer flacheren Netzstruktur. Die Kommunikation in einem solchen Netz arbeitet mit dem IP-Protokoll, wodurch die Dienste eine definierte Dienstgüte (QoS) haben. Außerdem können alle bekannten IP-Komponenten benutzt werden. Die drei wesentlichen Komponenten eines WiMax-Netzes sind der Subscriber, also der Dienst-Teilnehmer, die Basisstation und das Switching-Center. Beim Subscriber kann es sich um eine ortsfeste aber auch mobile Station handeln. Die ortsfesten und mobilen Stationen sind über Sichtverbindungen mit den Basisstationen (BS) verbunden und können Dienste anfordern. Die lokale Verteilung der Dienste innerhalb des Gebäudes obliegt dem Subscriber. Diese kann über drahtlos über WLANs oder über die gebäudeinterne Verkabelung erfolgen. Die Basisstation empfängt die Sende-Anforderungen der Subscriber und sendet diese an das Switching-Center. Sie sorgt für die funktechnische Abdeckung eines bestimmten Bereichs. Bei Fixed-WiMax mit Sichtverbindung kann die Funkzelle eine Größe von bis zu 30 km haben, bei *Mobile-WiMax* liegt der Funkzellendurchmesser zwischen 1 km und 4 km. Die Basisstation bildet den Übergang hin zu globalen Netzen, dem Internet oder dem Fernsprechnet. Das Switching-Center stellt den Dienst für den Subscriber bereit, der dann über die Basisstation an diesen übertragen wird.

WMAN, *wireless metropolitan area network*

WMAN ist eine drahtlose Alternative zu den leitungsgebundenen Übertragungstechniken in der *Last Mile*. Technisch realisiert werden solche drahtlosen Stadtnetze mit WiMax, einer funktechnischen Hochgeschwindigkeitstechnologie basierend auf *IEEE 802.16-2004*. WiMax ist ein High-Speed-Datenfunk mit dem ganze Stadtteile funktechnisch abgedeckt werden können. Die WiMax-Technik bietet neben dem festen WiMax (Fixed-WiMax), auch das *Mobile-WiMax*, das auf *IEEE 802.16e* basiert und nicht mit dem vorher genannten kompatibel ist. Fixed-WiMax arbeitet mit Sichtverbindungen und Funkzellen von bis zu 30 km Durchmesser. Bei Mobile-WiMax, das ohne Sichtverbindung arbeitet, sind die Funkzellen kleiner. Ihre Größe liegt zwischen 1 km und 4 km. WMANs, die mit dieser Technik arbeiten, erreichen bei stationärer Technik nach

802.16-2004 Datenraten von bis zu 100 Mbit/s und können ganze Stadtteile funktechnisch abdecken. Bei der mobilen WiMax-Technik sollen die 802.16e-Clients zwischen verschiedenen Funkzellen wechseln können, bekannt als Roaming.

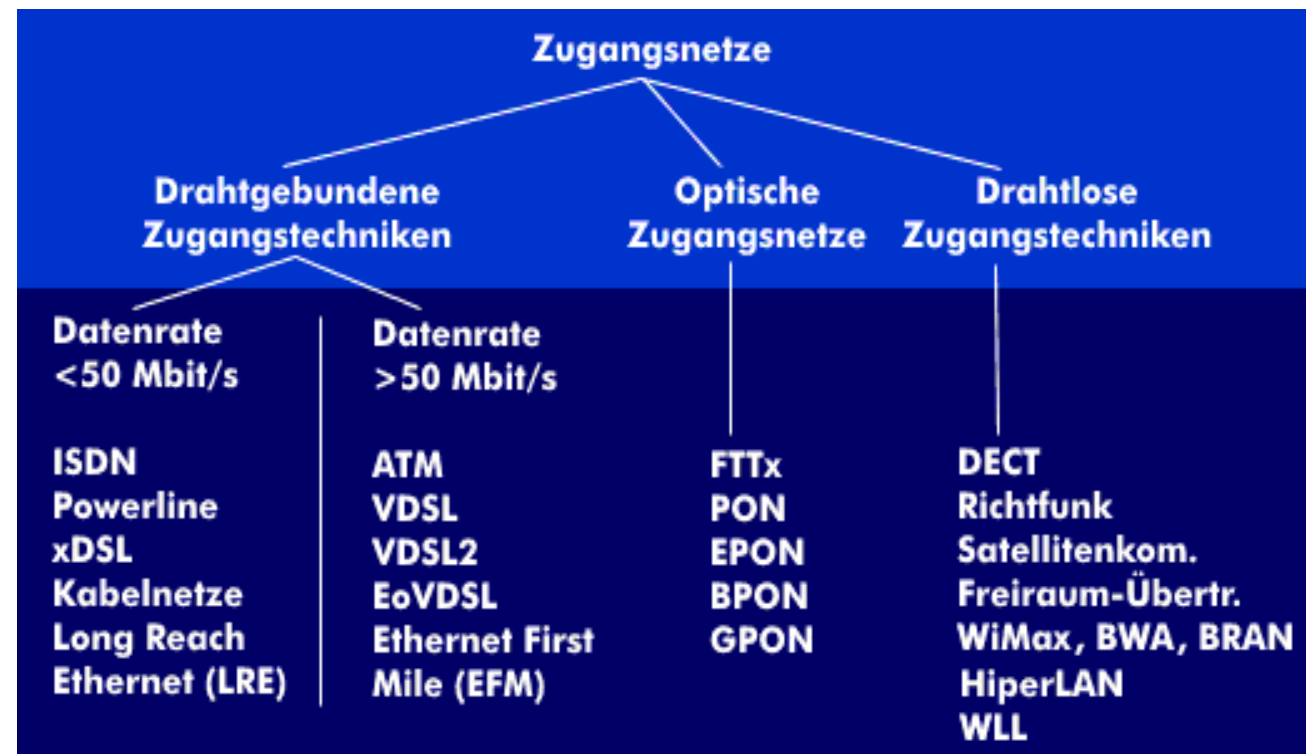
Zugangsnetz
(AN, access network)

Für das Zugangsnetz, auch als Anschluss- oder Access-Netz bezeichnet, gibt es verschiedene Szenarien.

Nach ITU-T G.982 handelt es sich um ein hybrides Netzwerk, bestehend aus dem optischen Zubringersystem (OAN), das die Anbindung an das Kernnetz realisiert, und die Anbindung an den Endkunden, die durch eine Kupfer-Doppelader erfolgt. Die Referenzpunkte des optischen Zugangsnetzes sind kernnetzseitig der Interface-Knoten (SNI) und anwenderseitig die Teilnehmer-Netz-Schnittstelle (UNI). Das Netz besteht aus dem optischen Verteilnetz (ODN), das vom optischen Leitungsabschluss (OLT) und von der optischen Netzwerkeinheit (ONU) begrenzt wird. Diese Einheiten können bis zu 20 km voneinander entfernt liegen.

In einem anderen Szenario ist das Zugangsnetz unmittelbar über die Teilnehmer-Vermittlungsstelle (LEX) mit dem Kernnetz verbunden. Ein solches Netz hat keine Vermittlungsfunktionen und basiert in aller Regel im *Anschlussbereich* auf der

vorhandenen Kupferverkabelung des Telefonnetzes. Generell soll das Zugangsnetz dem Teilnehmer die Nutzung aller zukünftigen, interaktiven Verteildienste wie Video-on-Demand, Information-on-Demand,



Zugangstechniken im Anschlussbereich

Videogames, Teleshopping sowie die selektiven Videodienste ermöglichen und daher über eine hohe Übertragungsgeschwindigkeit verfügen.

Für dieses Netzsegment wurden verschiedene xDSL-Verfahren entwickelt, die eine breitbandige, bidirektionale Übertragung auf Kupfer-Doppeladern gewährleisten.

Präferiert werden die Verfahren ADSL und HDSL.

Neben der Nutzung der vorhandenen Telefonkabel-Infrastruktur werden im Access-Bereich, der »Last Mile«, zunehmend Glasfasern in Form von passiven optischen Netzwerken (PON) eingesetzt. Es gibt entsprechende Glasfaser-Konzepte für den direkten Anschluss der letzten 100 Meter zum Teilnehmer. FTTH, FTTH, FTTB und FTTC sind einige davon.

Darüber hinaus gibt es im Zugangsbereich die breitbandige drahtlose Teilnehmeranbindung mittels *WiMAX* oder *WiBro*, die breitbandige Satellitenanbindung und die Ethernet-Anbindung mit Ethernet in the First Mile (EFM) und Long Reach Ethernet (LRE).