



Dreifaches Spiel

Wimax auf dem Konvergenz-Prüfstand – Triple-Play-Anwendungen stellen die Funknetz-Technologie vor neue Herausforderungen. WLAN- und Wimax-Netze müssen heute die Anforderungen von Echtzeitanwendungen erfüllen.

Funknetze wie GSM, UMTS, Wimax oder WLAN wachsen zusammen. Und die Provider und Hersteller bewerben sie mit Triple-Play-Anwendungen. Dieses »dreifache Spiel« meint die Integration von klassischer Telefonie, Daten-diensten/Internet und der Video-/TV-Übertragung. So attraktiv diese neuen Anwendungen für Unternehmen auch sind – sie stellen sehr hohe Ansprüche an die Funknetztechnologien. In einer ersten Testreihe an der FH Stralsund mussten Wimax- und Wifi-/WLAN-Lösungen jetzt beweisen, ob sie diesen Anforderungen gewachsen sind. Wie sich die Wimax-Teststellungen in unseren Labs bewehrt haben steht in einer der nächsten Ausgaben von Network Computing.

Der Standard IEEE 802.16 definiert das »Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems«, besser bekannt unter dem Namen Wimax für »Worldwide Interoperability for Microwave Access«. Der Standard setzt sich aus mehreren Dokumenten zusammen. Wimax wurde zunächst nur für immobile Endgeräte (IEEE 802.16-2001) im Frequenzbereich zwischen 10 und 66 GHz konzipiert. Verbindungen in so hohen Frequenzbereichen verlangen jedoch eine uneingeschränkte Sichtverbindung, die aber nicht immer erreicht werden kann. Aus diesem Grund funkt Wimax heute auch im Bereich von 2 bis 11 GHz (802.16d). In diesen Frequenzbereichen ist keine uneingeschränkte Sichtverbindung notwendig. Beide Standards sind aktuell im Standard 802.16-2004 unter der Bezeichnung »Wimax Fixed« zusammengefasst.

Seit Dezember 2005 ist auch die mobile Variante des Wimax-Standards (802.16e, »Wimax Mobile«) ratifiziert. Durch 802.16e wird es möglich, auch über mobile Endgeräte wie Notebooks, Handys oder PDAs eine Verbindung zu einem Wimax-Netz aufzubauen und sogar zwischen den verschiedenen Wimax-Funkzellen zu roamen.

Im Rahmen dieses Artikels soll nur der Wimax-Fixed-Standard untersucht werden, da der Markt für Wimax-Hardware hierfür bereits eine große Auswahl an Basisstationen und »Customer Premises Equipment« (CPEs) bietet und so einen Vergleich der verschiedenen Hersteller ermöglicht. Wie die meisten Standards in der IEEE 802.x-Familie macht 802.16 nur Vorschriften für die Implementierung der zwei untersten

Schichten des ISO/OSI-Modells, also der Bitübertragungsschicht oder Physical-Layer und der Sicherungsschicht beziehungsweise dem MAC-Layer.

Protokollaufbau

802.16-2004 beschreibt vier verschiedene Physical-Layer-Spezifikationen und den MAC-Layer. Der Wimax-Protokollstack besteht aus einem Physical-Layer und einem in drei Sublayer untergliederten MAC-Layer. Netzwerkdaten, die über Wimax versendet werden sollen, gelangen zunächst über den Convergence-Sublayer-Service-Access-Point (CS SAP) in die MAC-Schicht des Wimax-Protokollstacks. Hier im Service-Specific-Convergence-Sublayer (CS) werden die Protocol-Data-Units (PDUs) nach verschiedenen Kriterien klassifiziert, um so die Art des Datenverkehrs zu identifizieren.

Über den MAC-SAP gelangen die Daten dann in den MAC-Common-Part-Sublayer. Dieser ist zum Beispiel für die Zugriffssteuerung auf das physikalische Medium Luft, die Anforderung von Bandbreite oder den Aufbau von Verbindungen zwischen einer Basisstation und dem Subscriber-Equipment verantwortlich. Der Security-Sublayer ist ebenfalls Teil der MAC-Schicht. Dieser ermöglicht die Authentisierung von Subscribern bei einer Basisstation, einen sicheren Schlüsselaustausch zwischen BS und SS sowie die Verschlüsselung der Daten unmittelbar vor der Übertragung. Die physikalische Schicht moduliert schließlich die Daten abhängig von der verwendeten Frequenz und der Qualität der Verbindung.

Netzwerktopologien

Bei Wimax unterscheidet man grundsätzlich zwischen der Point-to-Multipoint- (PMP-) und der Mesh-Topologie, wobei die Unterstützung der Mesh-Topologie optional ist und daher hier nicht weiter betrachtet wird.

Beim Point-to-Multipoint besteht das Netz aus einer zentralen Station, der Basisstation (BS) und einer Menge von Folgestationen, auch Subscriber-Station (SS) genannt. Tatsächlich erfolgt nur die Downlink-Richtung, also die Kommunikation der Basisstation mit ihren Teilnehmern, nach dem PMP-Prinzip. Nur die Basisstation ist berechtigt, in diese Richtung Informationen zu

übertragen. Der Zugriff auf den Downlink kann somit ohne größere Koordination durchgeführt werden, da die Basisstation sich nicht mit anderen Stationen bei der Übertragung abstimmen muss. Die Uplink-Richtung, also die Kommunikation von einer Folgestation mit der Basisstation, erfolgt nach dem Point-to-Point-Prinzip. Da in diese Richtung alle Folgestationen prinzipiell sendeberechtigt sind, muss das Senden von Informationen der einzelnen Folgestationen koordiniert werden. Eine Kommunikation der Folgestationen untereinander ist nicht vorgesehen.

Es ist auch möglich, dass die Basisstation durch gerichtete Antennen mehrere Sektoren bildet und diese dann in unterschiedlichen Frequenzkanälen bedient. Innerhalb eines Sektors und einem Frequenzkanal empfangen alle Stationen den gleichen Downlink-Frame. Der Downlink-Frame kann ein Broadcast- oder Multicast-Paket sein oder an eine bestimmte Folgestation gerichtet sein. Die Folgestationen sollen alle Pakete verwerfen, die nicht für sie bestimmt sind.

Physical-Layer

Der Physical-Layer oder auch die Bitübertragungsschicht ist für die Modulation der digitalen Daten auf das physikalische Übertragungsmedium zuständig. Zunächst wurde Wimax nur für die Frequenzen zwischen 10 und 66 GHz entwickelt und mit Herausgabe von IEEE 802.16-2001 verabschiedet. Auf Grund der Ausbreitungseigenschaften sehr hoher Frequenzen brauchen die in diesem Frequenzbereich funkenden Wimax-Stationen aber eine Sichtverbindung (»Line of Sight«, kurz LoS). Diese ist aber nicht immer realisierbar, dann besteht eine »None Line of Sight«, kurz NLoS. Zudem steigen die Kosten mit jedem Höhenmeter der Antennen erheblich an, die hierfür erforderlich werden. Zusätzlich war Wimax auf lange Sicht auch für den Einsatz in mobilen Endgeräten geplant, so dass auch hier die Möglichkeit einer NLoS-Verbindung notwendig wurde. Der Standard wurde daher um ein zweites Frequenzband erweitert. Damit funkt die aktuelle Wimax-Version in den Frequenzbändern 2 bis 11 GHz sowie 10 bis 66 GHz.

IEEE 802.16-2004 unterscheidet vier Spezifikationen für unterschiedliche Sichtbedingungen

und Frequenzbereiche – WirelessMAN-SC, WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM und WirelessMAN-OFDMA. Eine der Spezifikationen wurde für den Frequenzbereich von 10 bis 66 GHz ausgelegt und beschreibt die Parameter einer Verbindung unter LoS-Bedingungen. Die drei anderen Spezifikationen sind jeweils für den Frequenzbereich von 2 bis 11 GHz und NLoS-Bedingungen ausgelegt.

WirelessMAN-SC

Für eine flexible Nutzung des Frequenzspektrum erlaubt die Spezifikation den Einsatz von FDD (»Frequency Division Duplex«) und TDD (»Time Division Duplex«), wobei für FDD auch Subscriber-Stationen mit Half-Duplex zugelassen werden, welche auf Grund ihrer Architektur nicht zeitgleich senden und empfangen können.

Als Medienzugriffsverfahren wird für den Uplink eine Kombination aus TDMA (»Time Division Multiple Access«) und DAMA (»Demand Assigned Multiple Access«) verwendet. Dadurch müssen die Zeitschlitz nicht statisch zugewiesen werden, sondern die Subscriber-Stationen können bei Bedarf die Reservierung eines oder mehrerer Zeitschlitz anfordern. Die Vergabe der Zeitschlitz wird von der Basisstation kontrolliert. Die Anforderung von Bandbreite erfolgt innerhalb spezieller Zeitschlitz, die dem Wettbewerbsprinzip unterliegen. Zusätzlich gibt es spezielle Zeitschlitz, die für das allgemeine Management wie die An- und Abmeldung von Stationen vorgesehen sind. Schließlich gibt es noch Zeitschlitz, in denen der eigentliche Datenverkehr der Nutzer übertragen wird. Der Anteil der jeweiligen Zeitschlitz kann mit der Zeit variieren, um so eine optimale Ausnutzung des Kanals zu gewährleisten.

Im Downlink werden die Daten durch ein TDM-Verfahren (»Time Division Multiplexing«) in einem gemeinsamen Datenstrom zu den Subscriber-Stationen übertragen. Jeder Subscriber empfängt diese Daten und filtert die für ihn bestimmten Informationen heraus. Zwar hat die Basisstation in der Downlink-Richtung das alleinige Senderecht und muss hier mit keiner anderen Station konkurrieren, dennoch wird auch hier zusätzlich das Verfahren TDMA eingesetzt. Dieses ist erforderlich, um auch Subscriber im Half-Duplex-FDD-Modus zu bedienen.

Als Modulationsarten kommen im Downlink eine BPSK, eine QAM-16 und optional eine QAM-64 zum Einsatz. Im Uplink werden die gleichen Modulationen verwendet, nur ist auch die QAM-16 hier optional möglich. Die Basisstation und die Subscriber-Stationen verwenden diese Modulationen je nach Güte der Funkverbindung. Bei einer schlechten Funkverbindung wird eine robuste Modulation wie QPSK, bei einer guten Verbindung eine weniger robuste Modulation wie QAM-16 verwendet. Das Ziel dieser adaptiven Modulation ist die optimale Ausnutzung der physikalischen Ressourcen, die auch in den anderen drei Spezifikationen vorgesehen ist.

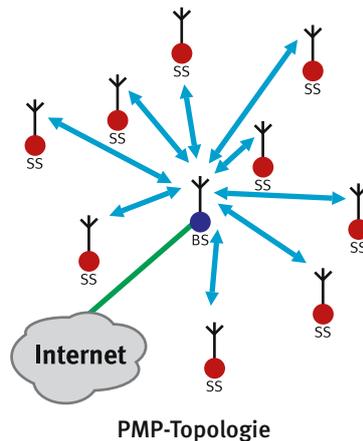
Wimax-Hardware, die diese Spezifikation implementiert, arbeitet auf Basis eines Framed-

Format. Jeder Frame besteht aus je einem Subframe für den Downlink und einem für den Uplink. Im FDD-Modus werden beide Subframes gleichzeitig übertragen, sofern die Subscriber-Stationen im Full-Duplex-Modus arbeiten.

Für den zweiten Frequenzbereich von 2 bis 11 GHz sind drei Spezifikationen für den Physical-Layer definiert. Alle drei sind für den Einsatz in NLoS-Umgebungen gedacht.

WirelessMAN-SCa

Die Spezifikation WirelessMAN-SCa ähnelt in einigen Punkten der zuvor beschriebenen. So handelt es sich auch hier wieder um ein Single-Carrier-Verfahren, bei dem im Uplink ein TDMA-Verfahren, im Downlink eine TDMA- oder TDM-Verfahren zum Einsatz kommt. Ein Unterschied ist in jedem Fall der verwendete Frequenzbereich von 2 bis 11 GHz, der für NLoS-Umgebungen geeignet ist. Die Duplexverfahren entsprechen mit TDD, FDD und H-FDD denen der WirelessMAC-SC-Spezifikation.



Als Modulationsverfahren kommen sowohl im Uplink als auch im Downlink Spread-BPSK, BPSK, QPSK, 16-QAM und 64-QAM zum Einsatz. Die Unterstützung einer 256-QAM ist für beide Kommunikationsrichtungen optional. Verschiedene Inner-Code-Raten sorgen für eine weitere Abstufung der Robustheit innerhalb einer Modulationsart.

WirelessMAN-OFDM

Die Spezifikation WirelessMAN-OFDM basiert auf dem OFDM-Multiträgerverfahren (»Orthogonal Frequency Division Multiple Access«) mit bis zu 256 Unterträgern. Zur Modulation der Daten sollen die Schemata BPSK, QPSK, 16-QAM sowie 64-QAM unterstützt werden, wobei die 64-QAM für lizenzfreie Frequenzbänder optional ist.

Als Duplexverfahren kann in den lizenzpflichtigen Frequenzbändern TDD oder FDD oder H-FDD verwendet werden. Für lizenzfreie Frequenzen ist TDD vorgeschrieben. Auch bei OFDM besteht ein Frame aus einem Downlink-Subframe und einem Uplink-Subframe.

WirelessMAN-OFDMA

Die vierte Spezifikation des Physical-Layers basiert ebenfalls auf dem OFDM-Verfahren. Anders als das reine OFDM besitzt OFDMA einen Mechanismus, mit dem die verfügbaren Kanalkapazitäten in Form von bis zu 2048 Unterträgern dynamisch den verschiedenen Nutzern zugeteilt werden können. Dazu werden jeweils mehrere Unterträger, welche nicht zwingend benachbart sein müssen, zu einem Subchannel zusammengefasst. Aus dem Subcarrier beziehungsweise Unterträger werden dann die Subchannel gebildet. Diese werden anschließend den verschiedenen Nutzern zugeteilt. Als Duplexverfahren kann, wie auch bei der WirelessMAN-OFDM-Spezifikation, in den lizenzpflichtigen Frequenzbändern TDD oder FDD oder H-FDD verwendet werden. Für die lizenzfreien Frequenzen ist ebenfalls TDD vorgeschrieben.

MAC-Layer

Für Netzwerke, die sich ein physikalisches Medium teilen, ist ein effizienter Mechanismus, der den Zugriff auf dieses Medium steuert, unabdingbar. Im Falle von Wimax muss der gemeinsame Zugriff auf das Medium Luft verwaltet werden. Diese Verantwortung wird zum großen Teil der MAC-Schicht zugeteilt. Der MAC-Layer wird demnach in drei verschiedene Sublayer unterteilt. Jeder Sublayer hat sehr spezifische Aufgaben.

Der Service-Specific-Convergence-Sublayer (SSCS) ist innerhalb des Schichtenmodells der oberste Sublayer des MAC-Layer. Er verbindet den MAC-Layer mit den Schichten darüber liegender Dienste. Dazu unterscheidet IEEE 802.16-2004 zwei Klassen von Diensten. Der ATM-CS dient zur Klassifizierung von zellorientierten Daten in Form des Asynchronous-Transfer-Modes (ATM). Mit Hilfe des Packet-CS werden paketorientierte Daten, wie IP-Daten, klassifiziert. Eine künftige Erweiterung des SSCS um zusätzliche dienstspezifische Convergence-Sublayer wird vom Standard nicht ausgeschlossen. Neben dem Entgegennehmen von Paketen höherer Schichten führt der SSCS eine Klassifizierung durch. Dabei werden die PDUs in Abhängigkeit bestimmter Kriterien, wie der Ziel-IP, einzelnen Verbindungen zugewiesen. Zusammen mit der eindeutigen Nummer der Verbindung (Connection-Identifier, CID) wird das Paket dem MAC-Common-Part-Sublayer übergeben.

Der MAC-Common-Part-Sublayer (CPS) stellt die klassischen MAC-Funktionen wie Auf- und Abbau sowie die Erhaltung von Verbindungen zur Verfügung. Die Identifizierung einzelner Geräte innerhalb eines Wimax-Netzes erfolgt mit Hilfe einer eindeutigen 48-Bit-MAC-Adresse. Diese Adresse wird während der Initialisierung genutzt, um die zur Station passenden Verbindungen aufzubauen und um die Authentifizierung zwischen BS und SS durch das Feststellen der gegenseitigen Identität zu gewährleisten.



Die Identifizierung von Verbindungen zwischen BS und SS erfolgt durch eine 16-Bit-Connection-ID (CID). Bei der Initialisierung der SS werden zwei bidirektionale Management-Verbindungen aufgebaut. Optional kann eine weitere bidirektionale Verbindung aufgebaut werden. Die zwei beziehungsweise drei Management-Verbindungen stehen für unterschiedliche Management-Aufgaben mit verschiedenen QoS-Profilen zur Verfügung. Die erste Verbindung, auch Basic-Connection genannt, wird für den Austausch von kurzen, zeitkritischen MAC-Management-Nachrichten zwischen der BS-MAC-Schicht und der SS-MAC-Schicht verwendet. Die zweite Verbindung, auch Primary-Management-Channel genannt, wird benutzt, um längere und weniger zeitkritische Nachrichten auszutauschen. Die optionale dritte Verbindung, im Standard als Secondary-Management-Channel bezeichnet, wird zusätzlich benutzt, um nicht zeitkritische und auf Standards wie DHCP, TFTP oder SNMP basierende Nachrichten zu übertragen.

MAC-Protocol-Data-Unit

Jede Protocol-Data-Unit des MAC-Layer (MAC-PDU) besteht aus einem MAC-Header fester Länge, einem optionalen Payload-Teil und einem ebenfalls optionalen 32-Bit-CRC-Wert. Die Länge des Payload-Feldes ist variabel. Dadurch ist es möglich, verschiedene Protokolle höherer Schichten zu tunneln. Die Payload-Sektion kann mehrere Subheader enthalten. Es existieren verschiedene Typen von Subheader für den Transport unterschiedlicher Informationen, beispielsweise Mesh-Betrieb, Automatic-Repeat-Request (ARQ) oder Fragmentierung von Daten). Weiterhin kann die MAC-PDU mehrere MAC-SDUs enthalten. MAC-SDUs dienen zum Transport der Daten der SSCS-Schicht.

Nach IEEE 802.16 werden zwei verschiedene MAC-Header unterschieden. Der Generic-MAC-Header wird bei der Übertragung von MAC-Management-Nachrichten und CS-Daten verwendet. Der Bandwidth-Request-Header wird zur Anforderung von zusätzlicher Bandbreite verwendet. Eine MAC-PDU mit einem Bandwidth-Request-Header enthält weder eine Payload noch eine CRC, sondern besteht nur aus dem Header selbst. Diese Art von MAC-PDU wird immer dann benötigt, wenn die SS gegenüber der BS einen höheren Bedarf an Bandbreite signalisieren will.

Priorisierung von Traffic

Der Wimax-Standard bietet einen integrierten Priorisierungsmechanismus. Die zur Verfügung stehende Bandbreite wird zentral von der Basisstation verwaltet und bei Bedarf mit Hilfe des Demand-Assigned-Multiple-Access-Verfahrens (DAMA) zugeteilt. Beim DAMA-Verfahren muss der Bandbreitenbedarf vor dem Senden angezeigt werden. Dazu sendet die SS in der Regel eine Bandbreitenanforderung an die Basisstation, die wiederum eine Antwort mit Angabe der zugeteilten Bandbreite zurücksendet. Dieser Anforderungsvorgang ist nur für den Uplink

notwendig, da im Downlink die Basisstation das alleinige Senderecht hat. Der durch diesen Anforderungsmechanismus entstehende Overhead wird relativiert, wenn man den Mechanismus im Vergleich zu anderen Medienzugriffsverfahren, wie dem bei der 802.11-Familie eingesetzten CSMA/CA-Verfahren, betrachtet. Vor allem bei einer hohen Anzahl von Teilnehmern entstehen häufig Kollisionen, wodurch die Bandbreiteneffizienz deutlich verschlechtert wird. Bei Wimax werden durch die zentrale Verwaltung und Zuteilung der Bandbreite Kollisionen bei der Übertragung von Nutzdaten vermieden. Es können allerdings Kollisionen bei der Bandbreitenanforderung auftreten. Durch die geringe Effizienz dieser Management-Nachrichten ist der Effizienzverlust aber sehr gering.

Der Wimax-Standard sieht zur Priorisierung von Verkehrsströmen vier verschiedene Verkehrsklassen beziehungsweise Verkehrsprofile vor:

- ◆ Unsolicited-Grant-Service (UGS),
- ◆ Real-Time-Polling-Service (rtPS),
- ◆ Non-Real-Time-Polling-Service (nrtPS) sowie
- ◆ Best-Effort (BE).

Maximum-Latency spezifiziert die maximale Verzögerung, die ein Paket zwischen Empfang auf dem Ethernet-Interface (von BS oder SS) und dem Weiterleiten des Pakets auf dem HFI-Interface erleiden darf, also die maximale Wartezeit eines Pakets innerhalb der SS oder der BS in Millisekunden. Tolerated-Jitter spezifiziert das Maximum des Jitters in Millisekunden. Traffic-Priority spezifiziert die Bedeutung von Verbindungen bei sonst identischen QoS-Parametern. Es können Werte von 0 (weniger wichtig) bis 7 (sehr wichtig) vergeben werden.

Der Einsatz von Unsolicited-Grant-Service (UGS) ist für die Unterstützung von Realtime-Datenströmen vorgesehen, die aus Paketen mit fester Größe bestehen und kontinuierlich in periodischer Folge erzeugt werden. Beispielhaft für diese Verkehrsströme sind T1/E1-Verbindungen oder VoIP-Verbindungen ohne Sprachpausenunterdrückung.

Folgende QoS-Parameter müssen für eine UGS-Verbindung spezifiziert werden:

- ◆ Maximum-Sustained-Traffic-Rate,
- ◆ Minimum-Reserved-Traffic-Rate (optional),
- ◆ Maximum-Latency sowie
- ◆ Tolerated-Jitter.

Der Parameter Maximum-Sustained-Traffic-Rate definiert hierbei die Bandbreite, die für die Dauer der Verbindung bereitgestellt werden soll. Der Parameter Minimum-Reserved-Traffic-Rate muss, sofern vorhanden, mit dem Parameter Maximum-Sustained-Traffic-Rate identisch sein.

Real-Time-Polling-Service

Der Real-Time-Polling-Service (rtPS) bietet eine Unterstützung für Verkehrsströme mit Echtzeit-Anforderungen, deren Pakete eine variable Größe aufweisen und ebenfalls in periodischer Folge erzeugt werden. Anwendungen, die eine solche Verkehrscharakteristik aufweisen, sind zum Beispiel MPEG-Videoströme.

Folgende QoS-Parameter müssen für eine rtPS-Verbindung spezifiziert werden:

- ◆ Maximum-Sustained-Traffic-Rate,
- ◆ Minimum-Reserved-Traffic-Rate sowie
- ◆ Maximum-Latency.

Der rtPS-Verbindung wird eine Bandbreite zwischen der Maximum-Sustained-Traffic-Rate und der Minimum-Reserved-Traffic-Rate zur Verfügung gestellt, garantiert ist dabei aber nur die untere Grenze. Die Bandbreitenzuteilung erfolgt mit Hilfe eines Polling-Verfahrens. Dabei fragt die BS einzelne SS oder Gruppen von SS periodisch nach Bandbreitenbedarf. Bei Bedarf stehen reservierte Übertragungskapazitäten für die Anforderung von mehr Bandbreite bereit.

Non-Real-Time-Polling-Service

Der Non-Real-Time-Polling-Service (nrtPS) unterstützt Verkehrsströme, die weniger zeitkritisch sind, für die aber eine minimale Datenrate benötigt wird, wie FTP. Folgende QoS-Parameter müssen für eine nrtPS-Verbindung spezifiziert werden:

- ◆ Maximum-Sustained-Traffic-Rate,
- ◆ Minimum-Reserved-Traffic-Rate sowie
- ◆ Traffic-Priority.

Auch bei diesem Verkehrsprofil wird die Bandbreite per Polling-Verfahren zugeteilt. Einer nrtPS-Verbindung wird nur die Minimum-Reserved-Traffic-Rate garantiert. Im Unterschied zum rtPS steht kein Parameter zur Angabe der maximal erlaubten Paketverzögerung zur Verfügung.

Best-Effort

Der Best-Effort-Dienst (BE) ist für alle Verkehrsströme vorgesehen, die keine speziellen QoS-Anforderungen stellen und die sich mit der noch verfügbaren restlichen Bandbreite begnügen. Folgende QoS-Parameter müssen für eine BE-Verbindung spezifiziert werden:

- ◆ Maximum-Sustained-Traffic-Rate,
- ◆ Traffic-Priority sowie
- ◆ Request / Transmission-Policy.

Bei Best-Effort-Verbindungen kann eine Obergrenze für die maximal zur Verfügung stehende Bandbreite definiert werden. Innerhalb der Best-Effort-Klassen können einzelne Verbindungen mit Hilfe der Traffic-Priority höher oder niedriger priorisiert werden. Die Anforderung von Bandbreite geht von der SS aus. Dazu sendet sie ein Bandwidth-Request-Frame an die BS. Die BS stellt daraufhin einen Zeitbereich zur Datenübertragung für die SS bereit.

M. Sc. Susanne Goldammer,
M. Sc. Roman Schmidt,
Dipl.-Ing. Thomas Rottenau,
Prof. Dr. Bernhard G. Stütz, (dg)