Bestimmung der Exposition durch WiMAX (Band 1: Bestandsaufnahme zum Stand der Technik)

Zusammenfassung (Bd. 1)

Ziel vorliegenden Forschungsvorhabens war es, Mess- und Berechnungsverfahren zu entwickeln und damit die Immissionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder in der Umgebung von WiMAX-Sendeanlagen und den dazugehörigen Geräten zu ermitteln. Bezüglich Expositionsmessungen an WiMAX-Sendeanlagen können zum Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte der 26. BImSchV die Methoden spektrale Messung, Erfassung im Zeitbereich und Kanalleistungsmessung eingesetzt werden, wenn die relevanten Einstellparameter am Spektrumanalysator geeignet gewählt sind. Vor der eigentlichen Expositionsmessung sollte dabei im Rahmen einer Vorhermessung im Zeitbereich die genaue Signalstruktur des WiMAX-Signals bestimmt werden. Örtliche und zeitliche Durchschnittswerte können durch diskrete Messung an einzelnen Punkten oder permanente Messung bei langsamer Bewegung der Messantenne mit anschließender Mittelwertbildung gewonnen werden. Hierfür ist aber im Gegensatz zur Grenzwertüberprüfung die Messung aller drei Raumkomponenten der Feldstärke (isotrope Messung) Voraussetzung. Für Langzeitmessungen wurde ein neues Verfahren entwickelt, das auf der Verwendung einer extrem langen Sweepzeit basiert.
Mittels „Schwenkmethode“ sowie Hochrechnung auf den maximalen Betriebszustand wurden spektrale Messungen der elektromagnetischen Felder in der Umgebung von WiMAXAnlagen in insgesamt elf unterschiedlichen Szenarien durchgeführt. Die Messungen wurden bei verschiedenen Abständen, Sichtbedingungen, Orientierungen und Höhenunterschieden zu den Antennen durchgeführt und gestatten durch diese Systematik in gewissen Grenzen eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf ähnliche Szenarien.

Die Messungen ergaben sehr unterschiedliche Immissionswerte. Maximal wurden 0,84 V/m elektrische Feldstärke bzw. etwa 1,9 mW/m² Leistungsflussdichte (entspricht ca. 1,4 Prozent vom Feldstärkegrenzwert) gemessen; der kleinste Messwert betrug 0,002 V/m bzw. 0,01 µW/m² (entsprechend 0,003 Prozent vom Feldstärkegrenzwert). Der überwiegende Teil der Messwerte lag unterhalb von 0,02 V/m bzw. 1,1 µW/m² (entsprechend ca. 0,03 % vom Feldstärkegrenzwert). Raum- und zeitgemittelte Immissionen sind leistungsflussdichtebezogen um den Faktor 6 bis 11 kleiner als die oben genannten Werte.
Der Abstand ist im direkten Umfeld der Anlage (bis zu einigen hundert Meter, abhängig von Montagehöhe und Downtilt) als Schätzer für die Immission wenig geeignet. Sichtbedingungen sowie die Lage des Messpunktes zur vertikalen Hauptstrahlrichtung der Antenne haben hingegen einen deutlichen Einfluss auf die Exposition. Mit einem Unterschiedsfaktor von mehr als 25 dB sehr deutlich ausgeprägt ist der Einfluss des Frequenzbandes auf die Immissionen. Die Ursache ist in den höheren Sendeleistungen der lizenzierten Anlagen (3,4-3,6 GHz) im Gegensatz zu lizenzfreien Anlagen (5,15-5,775 GHz) begründet.
Parallel zu WiMAX-Immissionen wurden in vier der elf Szenarien auch die UMTSImmissionen an den Messpunkten mit erfasst. Insgesamt dominieren an etwa 85 % der Messpunkte die durch UMTS-Systeme hervorgerufen Immissionen. Im Mittel lagen die UMTS-Immissionen etwa 13 dB über den WiMAX-Werten. Ein Grund für die größere

Immission durch UMTS-Systeme liegt in der höheren installierten Sendeleistung. Aber auch andere Faktoren, wie die Antennencharakteristik oder die Orientierung der Messpunkte zur Hauptstrahlrichtung der Antenne, haben offensichtlich einen Einfluss.
Mit Langzeitmessungen konnten Auslastungsschwankungen dokumentiert werden, die zum Teil deutlich von den bei Mobilfunk-Basisstationen bekannten Verläufen abweichen und das private Internet-Nutzungsverhalten widerspiegeln.
Indoor-Endgeräte erzeugen in typischen Nutzungsszenarien eine deutlich höhere Exposition beim Nutzer als WiMAX-Basisstationen. SAR-Messungen unter maximalen Betriebsbedingungen zeigen bei Abständen zur Antenne im Zentimeterbereich Expositionen im Bereich von einigen Prozent der Basisgrenzwerte; bei (unter Normalbedingungen unrealistischem) direktem Kontakt zur Antenne kann es zu Überschreitungen der Basisgrenzwerte kommen. Bei höchster Sendeleistungsstufe wurden mittels Zeitbereichsmessverfahren in 50 cm Abstand noch elektrische Feldstärken bis 10,1 V/m (17 % des Feldstärke-Referenzwertes) gemessen, die aber sehr schnell mit der Entfernung abnehmen. Im Gegensatz dazu ist die Exposition bei den gemessenen Outdoor Units vernachlässigbar klein. Im realen Betrieb sind die auftretenden Immissionen durch den betriebsabhängigen Duty Cycle und die Leistungsregelung entsprechend kleiner.
Bezüglich Berechnungsverfahren wurden mehrere kommerziell verfügbare Programmpakete getestet. Einflüsse von Montageumgebung, Downtilt und Frequenz auf die Abstrahlcharakteristik werden durch ein synthetisiertes Diagramm berücksichtigt. Zur Einbeziehung der Gelände- und Gebäudedaten in die Programme wurden geeignete Techniken entwickelt.
In LOS-Szenarien prognostizierten alle Programme die Exposition zuverlässig. In NLOSSzenarien überschätzen Freiraummodelle die gemessene Exposition teilweise deutlich, so dass hier die Einbeziehung von Gebäuden bzw. Wänden in die Simulation zwingend erforderlich ist.
Eine qualitative Betrachtung der Immissionsverteilung von WLAN-, UMTS- und WiMAXEndgeräten unter der theoretischen Annahme einer Vollauslastung hat gezeigt, dass die Immissionsverteilung von WLAN und UMTS vergleichbar ist und in der gleichen Größenordnung liegt. Demgegenüber ist die Immission durch das WiMAX-Endgerät in dessen unmittelbarer Umgebung aufgrund der höheren Sendeleistung und höheren Antennengewinns größer, wird aber mit zunehmender Anzahl von Hindernissen aufgrund der frequenzbedingten höheren Transmissionsdämpfung geringer als die der anderen Systeme.
Ein Vergleich der auf 1 MBit/s normierten Immission unter der Annahme der theoretisch maximal zur Verfügung stehenden Datenrate hat gezeigt, dass die Feldstärke in Bezug auf 1 MBit/s bei UMTS aufgrund der kleineren Maximaldatenrate deutlich größer ist als bei den beiden anderen Technologien. Die normierte Immissionsverteilung von WLAN und WiMAX ist dagegen vergleichsweise ähnlich und liegt in der gleichen Größenordnung.
Diese Ergebnisse sind jedoch im Hinblick auf die individuelle Expositionssituation nicht verallgemeinerbar, da aufgrund der Vielzahl von Endgerätetypen und in der Praxis vorstellbaren Szenarien diverse Vereinfachungen angenommen wurden. Insofern können sich in der Realität je nach Situation auch abweichende Immissionsverhältnisse einstellen.