

Reichweiten- und Bandbreitentests mit WiMax

Dipl.-Inf. Markus Klenk

markus.klenk@uni-ulm.de

1 Einführung

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ist ein Standard für Funknetzwerke, der in IEEE 802.16 definiert ist. In Deutschland ist derzeit geplant, den Frequenzbereich von 3410 bis 3452 MHz sowie von 3510 bis 3552 MHz für WiMAX-Anwendungen freizugeben, die Art der Lizenzvergabe durch die Bundesnetzagentur ist aber noch strittig.

Die Sendeleistungen am Antennenausgang sind wie folgt festgelegt:

- Basisstation: 28 dBm - 630 mW
- Teilnehmerstation: 20 dBm - 100 mW
- Basisstation: 30 W EIRP
- Teilnehmerstation: 3 W

Für die Tests kommt eine Basisstation und Teilnehmerstationen des Herstellers Alvarion zum Einsatz. Hierbei sind vom Hersteller die folgenden Netto-Datendurchsätze in Abhängigkeit vom Modulationsverfahren angegeben:

Mod	FEC	Down	Up	Sensitivity [dBm]
BPSK	1/2	1.41	1.41	-100
	3/4	2.12	2.12	-98
QPSK	1/2	2.82	2.82	-97
	3/4	4.23	4.23	-94
QAM16	1/2	5.64	5.64	-91
	3/4	8.47	8.47	-88
QAM64	2/3	11.29	11.29	-83
	3/4	12.71	12.71	-82

2 WiMax-Test im Illertal

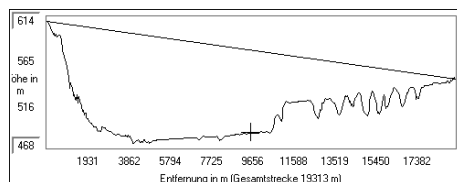
Die erste Testreihe wurde im Januar 2006 im südlich von Ulm gelegenen Illertal durchgeführt. Die Basisstation befand sich dabei an exponierter Stelle auf einem Gebäude der Universität Ulm, die sich wiederum auf dem höchsten Berg der Region befindet. Im Vorfeld der Messung wurden Geländeschnitte angefertigt, um geeignete Orte für die Versuche zu ermitteln. An jedem der Meßpunkte wurden dann vor Ort die GPS-Koordinaten einschließlich der Höhenangabe, die Entfernung zur Basisstation und die Skalenanzeige als Maß für den Signal-Rausch-Abstand festgehalten.

Am Standort Universität wurde ein 16 dBi-Sektorstrahler an der Basisstation angeschlossen, der nach Süden ins Illertal ausgerichtet war. Der Meßwagen besaß einen 5-m-Mast mit Omnantenne oder einen 24-dBi-Parabolspiegel in 2 m Höhe über Grund.

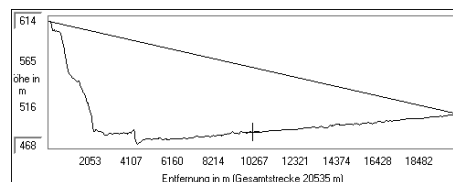


Meßpunkt	Entfernung	Koordinaten	Höhe	Antenne	Skala	Anm.
A Gerlenhofen	9,8 km	N 48°21.118' E 10°02.192'	483 m	24 dBi 10 dBi	9 7	freie Sicht
B Hausen/Senden	12,2 km	N 48°20.553' E 10°04.227'	514 m	24 dBi 10 dBi	0 0	Wald
C Holzschwang	12,4 km	N 48°21.129' E 10°05.105'	519 m	24 dBi 10 dBi	9 5	freie Sicht
D A7/Weißenhorn	19,3 km	N 48°17.186' E 10°07.049'	537 m	24 dBi 10 dBi	5 0	?
E Bellenberg	20,5 km	N 48°15.678' E 10°05.442'	496 m	24 dBi	4	?
F Illertissen	23,7 km	N 48°13.917' E 10°05.866'	NA	24 dBi	0	evt. Wald

Die Geländeschnitte an den Meßpunkten D und E zeigen, daß auch hier freie Sicht (optical Line-of-Sight) bestanden haben müßte:



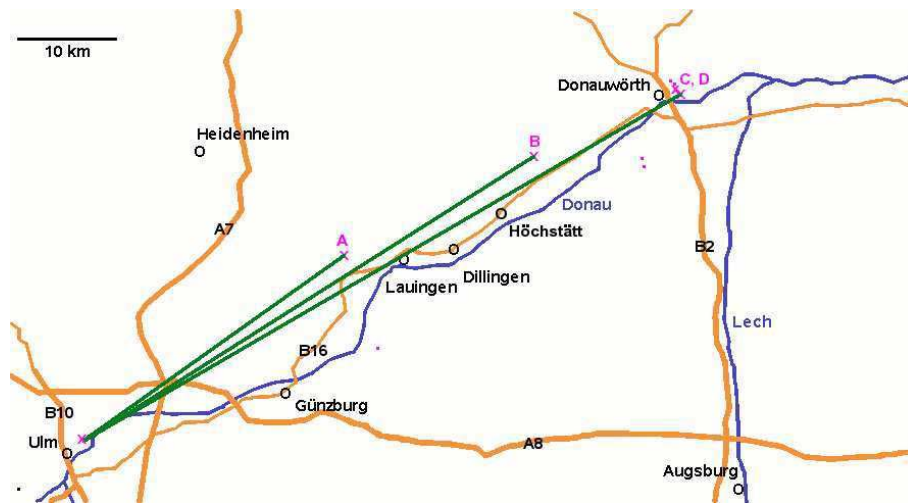
Geländeschnitt am Meßpunkt D



Geländeschnitt am Meßpunkt E

3 WiMax-Test im Donauried

Nachdem im Illertal kein geeigneter Meßpunkt im Entfernungsbereich über 22 km zu finden war, wurde im Frühjahr 2006 eine weitere Testreihe mit verbesserter technischer Ausrüstung durchgeführt: gemessen wurde nun ausgehend vom Dach eines Hochhauses in der Ulmer Oststadt ins Donauried in Richtung Osten. Zum Einsatz kam neben den bereits in den Versuchen im Illertal verwendeten Gerätschaften noch ein Spectrum-Analyzer zur genaueren Ausrichtung der Antenne und zur Bestimmung des Signal-Rausch-Abstands am Antennenausgang sowie ein Laptop zur Messung des tatsächlich erreichten Datendurchsatzes.



Als Antennen kamen Sektor- bzw. Grid-Antennen mit Öffnungswinkeln zwischen 60° und 7.5° zum Einsatz:

Typ 1	Sektorstrahler	12 dBi	60°
Typ 2	Grid-Antenne	18 dBi	14°
Typ 3	Grid-Antenne	24 dBi	7.5°



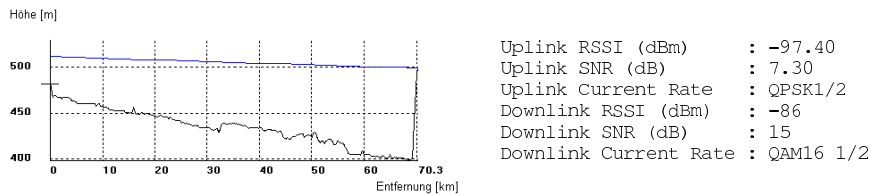
Blick von der Basisstation aus

Bei den Messungen stellte sich heraus, daß unsere Grid-Antenne Typ 2 offenbar verbogen war und damit wesentlich schlechtere Ergebnisse lieferte als erwartet. Die Antenne wurde daraufhin gegen die Grid-Antenne vom Typ 3 ersetzt und an der mobilen Teilnehmerstation kam fortan ein Parabolspiegel mit dem Typ 3 vergleichbaren Eigenschaften zum Einsatz.

Meßpunkt	Koordinaten	Entfernung	Ant.	Sk.	SNR	Bitrate
A Gundelfingen	N 48°34.567' E 10°21.267'	31.6 km	Typ 1	4	10 dB	d: 5.6 Mb/s
B Blindheim	N 48°39.860' E 10°38.237'	54.4 km	Typ 3	3	14 dB (- 2 dB)	d: 2.8 Mb/s u: 577 kb/s
C Donauwörth	N 48°43.106' E 10°47.775' H 472 m	67.5 km	Typ 3	3	14 dB (-2 dB)	
D Schäfstall	N 48°43.418' E 10°49.678' H 496 m	70.1 km	Typ 2	3	20 dB (-2 dB)	d: 3.6 Mb/s u: 1.4 Mb/s

Es zeigt sich, daß selbst Entfernungen von 70 km mit WiMAX noch möglich sind — und dies bei einer akzeptablen Datenrate von 3.6 Mb/s im Downstream und 1.4 Mb/s im Upstream. Allerdings wird es mit zunehmender Entfernung immer aufwendiger, geeignete Orte mit freier 'Sicht' zu finden. Daher endeten unsere Versuche auch bei 70 km, obwohl der gemessene Signal-Rausch-Abstand zusammen mit dem gemessenen Datendurchsatz an diesem Ort vermuten läßt, daß auch bei 70 km noch nicht das Ende der technischen Möglichkeiten unseres Testsystems erreicht war.

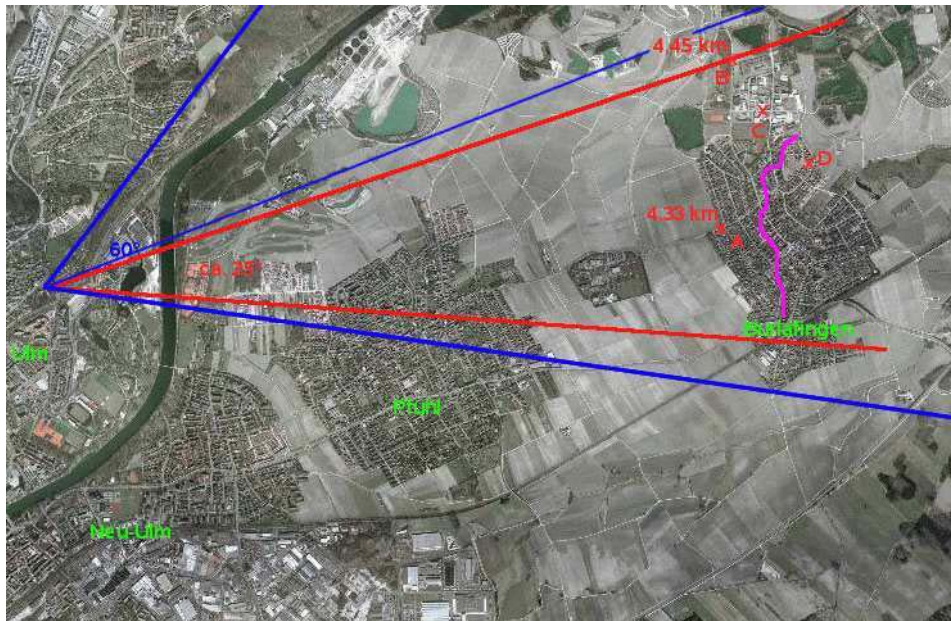
Hier noch der Geländeschnitt und die aus dem System ausgelesenen Daten an unserem am weitesten entfernten Versuchspunkt D:



Rate	Total Bursts	Error Bursts	Error Rate
BPSK1/2	6285	0	0.0E-0
BPSK3/4	5197	0	0.0E-0
QPSK1/2	5197	0	0.0E-0
QPSK3/4	5197	0	0.0E-0
QAM16 1/2	15030	0	0.0E-0
QAM16 3/4	5198	14	2.6E-3
QAM64 2/3	5198	3869	7.4E-1
QAM64 3/4	5198	5088	9.7E-1

4 WiMAX-Ausleuchtung einer Ortschaft

In Burlafingen, einem ländlichen Dorf mit niedriger, aufgelockerter Bebauung, das sich im Abstand von ca. 4,5 km zur Basisstation befindet, wurde eine WiMAX-Ausleuchtung durchgeführt. Dazu blieb die Antenne von den Versuchen ins Donauried montiert und genau so ausgerichtet, sodaß das Dorf ca. 20° rechts der Antennenachse lag. Am westlichen Ortsrand des Dorfes besteht Sichtverbindung zur Basisstation. Das Wetter zum Zeitpunkt der Messung war bewölkt aber trocken.



Es fand nun eine Meßfahrt durch sämtliche Straßen des Dorfes statt. Dabei wurden die Straßen zuerst in ca. 100 m lange Sektoren unterteilt und in jedem Sektor die Skalanzeige der im Fahrzeug montierten Teilnehmerstation abgelesen, wobei sich das Fahrzeug jeweils im Stand befand. Zusätzlich wurde an einigen Meßpunkten noch der tatsächliche Datendurchsatz bestimmt.



Die Messungen wurden wohlgermerkt stets ca. 2 m über Grund durchgeführt, wobei als Skalenwerte stets die 'stabilen Werte' herangezogen wurden und nicht kurzzeitige Peaks nach oben. Das selbe gilt im Ortsbezug: es wurde innerhalb der untersuchten Segmente nicht auf Punkte mit möglichst gutem oder möglichst schlechtem Empfang optimiert. In der Praxis dürfte bei fester Montage einer Teilnehmerstation im Gegensatz dazu allerdings sowohl der beste Punkt innerhalb der Ebene ermittelt werden, als auch durch eine

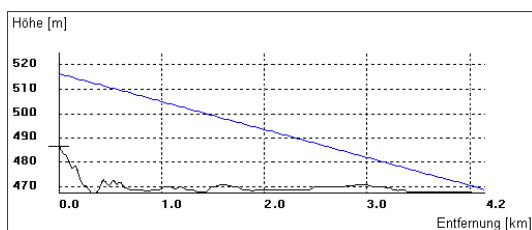
Montage auf dem Dach in Höhen von mehr als 2 m über Grund wesentlich bessere Voraussetzungen für eine hochbandbreitige Netzwerkverbindung geschaffen werden.

Im Folgenden das Ergebnis der Ausleuchtung, ein Luftbild des Dorfes und die Legende zu den verwendeten Farbcodes sowie die SNR/RSSI-Werte zu den Skalananzeigen laut Dokumentation des Herstellers:



(c) Bayetische Vettressungsverwaltung

Farbe	Skala	SNR/Bemerkung
weiß		<i>keine Messung</i>
grau		<i>kein Empfang</i>
rot	1	<i>Verbindung hergestellt</i>
gelb	2	$5 \text{ dB} \leq \text{SNR} < 10 \text{ dB}$
	3	$10 \text{ dB} \leq \text{SNR} < 15 \text{ dB}$
	4	$15 \text{ dB} \leq \text{SNR} < 20 \text{ dB}$
hellgrün	5	$20 \text{ dB} \leq \text{SNR} < 24 \text{ dB}$
	6	$\text{SNR} \geq 24 \text{ dB}$ und $\text{RSSI} < -75$
	7	$\text{SNR} \geq 24 \text{ dB}$ und $\text{RSSI} > -75$
grün	8	$\text{SNR} \geq 24 \text{ dB}$ und $\text{RSSI} < -70$
	9	$\text{SNR} \geq 24 \text{ dB}$ und $\text{RSSI} > -60$



Legende

Geländeschnitt

Hier die Übersicht der Meßpunkte, an denen zusätzlich Messungen des Datendurchsatzes durchgeführt wurden:

Meßpunkt	Koordinaten	Abstand	Skala	Datendurchsatz
A	N 48°24.936 E 10°03.766	4.33 km	8 8	d: 4.72 Mb/s u: 1.05 Mb/s
B	N 48°25.450 E 10°03.818	4.45 km	8 8	d: 6.54 Mb/s u: 1.07 Mb/s
C	N 48°25.333 E 10°03.954	4.55 km	4 4	d: 710 kb/s u: 984 kb/s
D	N 48°25.172 E 10°04.007	4.78 km	1 1	d: 39 kb/s u: 167 kb/s

5 WiMAX-Test in der Ulmer Oststadt

Nach der Ausleuchtung eines eher ländlich geprägten Dorfes mit aufgelockerter Bebauung im Abstand von mehreren Kilometern zur Basisstation wurde nun in typisch städtisch bebautem Gebiet mit teilweise mehrstöckiger dichter Bebauung, teilweise jedoch auch kleineren Häusern und Parkanlagen, ein ähnlicher Versuch durchgeführt. Die Basisstation befand sich auf dem selben Gebäude wie zuvor, allerdings direkt auf das Versuchsgebiet gerichtet. Das Wetter zum Zeitpunkt der Messung war bewölkt, teilweise Nieselregen.



Blick auf die Ulmer Oststadt vom Standort der Basisstation aus

Im Folgenden ein Luftbild des Versuchsgebiets sowie das Ergebnis der Ausleuchtung. Die Farbcodierung entspricht derjenigen vom vorigen Versuch:



6 Dämpfung bei Vegetation

Abschließend wurde noch die Dämpfung eines 3.5 GHz-Signals durch Vegetation getestet. Dabei kam bewußt keine WiMAX-Technik zum Einsatz, sondern lediglich ein 3.5 GHz-Sender, dessen Feldstärke bei einer Elevation von 30° vor verschiedenem Buschwerk gemessen wurde. Dabei zeigte sich, daß sich der für WiMAX verwendete Frequenzbereich bei Vegetation eher ungünstig auswirkt und daher die guten Übertragungseigenschaften von WiMAX im Stadtgebiet auch bei vorhandenen vereinzelt Bäumen und Büschen vor allem durch die Nutzung der Reflexionen an Gebäuden wett gemacht werden müssen:

Art	Größe	Dämpfung
Eibenbusch	0.8 m	10 dB
Forythie	1.5 m	30 dB
Felsenbirne (locker belaubte Krone)	5.0 m	16 dB

7 Ergebnis

Während der Messungen zeigten sich die Stärken aber auch Schwächen von WiMAX. Eine Sichtverbindung ist zwar im Nahbereich bei hinreichend dichter Bebauung nicht notwendig, da hier Gebäude-Reflexionen ausgenutzt werden können. Bei größerer Entfernung oder bei Wald in der Sichtlinie ist in der Regel jedoch keine Verbindung möglich. In jedem Fall ist WiMAX hinsichtlich des möglichen Funkabdeckungsgebiets einer Basisstation der WLAN-Technik nach den Standards 802.11b oder 802.11g weit überlegen, nicht aber hinsichtlich des Datendurchsatzes. Bei Verwendung von 3.5 MHz Kanalbandbreite sind die gemessenen Übertragungsraten weit geringer als selbst die der 802.11b-WLAN-Technik.

Ein großer Vorteil von WiMAX gegenüber WLAN liegt neben der möglichen non-Line-of-Sight-Nutzung im Nahbereich in der Datenübertragung über große Entfernungen: selbst 70 km sind mit dieser Technik ohne Verwendung von Verstärkern möglich, wobei dies natürlich nicht ausschließlich auf der gegenüber WLAN weiterentwickelten Funkübertragungsschicht, sondern ebenfalls auf die deutlich höheren erlaubten Feldstärken im verwendeten Frequenzbereich zurückzuführen ist.