

Herstellen einer WLAN Verbindung über grosse Distanzen

Martin Eigenmann

12. April 2015

1

Abstract

asdf

2

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract	i
2 Inhaltsverzeichnis	ii
3 Einleitung	1
3.1 Motivation und Fragestellung	1
3.2 Aufgabenstellung	1
4 Projektplanung	3
4.1 Projektplan	3
4.2 Zeitlicher Rahmen	3
4.3 Organisatorischer Rahmen	3
5 Analyse	4
5.1 Fachliche Grundlagen	4
5.2 Technische Limitationen	5
5.3 Rechtliche Limitationen	5
6 Konzept	7
6.1 Verminderung der Dämpfung	7
6.2 Erhöhung der Sendeleistung	7
6.3 Richtstrahlantenne	7
7 Umsetzung	9
7.1 Vorgehen und Messungen	9
7.2 Richtstrahlantenne	9
7.3 Richtstrahlantenne II	10
7.4 Parabolspiegel	10
8 Review und Bewertung	12
8.1 Richtstrahlantenne	12
8.2 Richtstrahlantenne II	12

8.3	Parabolspiegel	12
8.4	Bewertung	13
9	Fazit und Schlusswort	14
A	Appendix	15
A.1	Wavemon	15
A.2	Glossar	17
A.3	Quellenverzeichnis	17
A.4	Tabellenverzeichnis	17
A.5	Abbildungsverzeichnis	17

3

Einleitung

3.1. Motivation und Fragestellung

Wer kennt das nicht, das mobile Datennetz ist langsam oder das Datenvolumen ist bereits aufgebraucht. Im entscheidenden Moment lädt das Bild oder Video nicht. Wäre es nicht viel angenehmer überall WLAN Empfang zu haben.

Zuhause ist, wo sich das WLAN selbst verbindet.

Diese Arbeit soll aufzeigen wo die Grenzen von WLAN liegen und ob die Grenzen vielleicht doch etwas entfernter liegen als intuitiv vermutet.

3.2. Aufgabenstellung

Im Folgenden ist die Aufgabenstellung gemäss EBS aufgeführt.

3.2.1. Thema

Ziel der Arbeit ist es ein mit WLAN weit über die spezifizierte Distanz eine Datenverbindung auf zu bauen.

3.2.2. Ausgangslage

Mobile Geräte besitzen meist eine ständige Verbindung ins WWW. Ist es aber auch möglich grosse Distanzen nur mit bekannten WLAN-Technologie zu überwinden und so von Drittanbietern unabhängig zu werden? Welche Voraussetzungen müssen dafür erfüllt werden?

3.2.3. Ziele der Arbeit

Das Ziel der Seminararbeit besteht in der Analyse der Möglichkeiten mit bekannten WLAN-Komponenten grössere Distanzen (im Bereich von Kilometern) zu überbrücken. Es soll theoretisch und praktisch ergründet werden, wo die Grenzen der WLAN-Technologie liegen und ob mit leichten Modifikationen der Sende- und Empfangs-Geräte höhere Distanzen überbrückt werden können.

3.2.4. Aufgabenstellung

A1 Recherche:

- Definition der Fachbegriffe
- Erarbeitung der technischen Grundlagen

A2 Analyse:

- Analyse der Limitationen der WLAN-Standards

A3 Konzept:

- Konzeption von Vorschlägen um die Reichweite zu erhöhen

A4 Umsetzung:

- Umsetzung von zwei Lösungsvorschlägen

A5 Review:

- Bewertung der umgesetzten Lösungsvorschlägen

3.2.5. Erwartete Resultate

R1 Recherche:

- Glossar mit Fachbegriffen
- Erläuterung der WLAN-Standards

R2 Analyse:

- Dokumentation der Limitationen im Bezug auf die Reichweite und Übertragungsrate der WLAN-Standards.

R3 Konzept:

- Dokumentation der Konzepte der Lösungsvorschläge

R4 Umsetzung:

- Dokumentation der Umsetzung der beiden Lösungsvorschläge

R5 Review:

- Dokumentation der Bewertung der Lösungsvorschläge

4

Projektplanung

4.1. Projektplan

Die Seminararbeit muss im Zeitraum von 04.03.2015 bis 10.06.2015 durchgeführt werden. Der praktische Teil der Arbeit wurde in der Woche von 06.04.2015 bis 12.04.2015 durchgeführt.

4.2. Zeitlicher Rahmen

Der offizielle Projektstart erfolgt mit dem Kick-Off am 04.03.2015. Spätestens am 27.05.2015 muss ein Draft eingereicht werden. Am 17. und 18.06.2015 finden die Präsentationen statt.

Der Aufwand für die Bearbeitung der Seminararbeit soll mindestens 50 Stunden umfassen.

4.3. Organisatorischer Rahmen

In der nachstehenden Tabelle sind alle massgeblich involvierten Personen aufgeführt.

Tabelle 4.1.: Involvierte Personen

Personen	Kontakt
Dr. Reto Knaack (Studeingangs Leiter)	ZHAW Standort Zürich Lagerstrasse 41 / 8004 Zürich Reto.Knaack@zhaw.ch
Peter Egli (Lehrperson)	ZHAW Standort Zürich Lagerstrasse 41 / 8004 Zürich eglp@zhaw.ch
Martin Eigenmann (Student)	Harfenbergstrasse 5 / 9000 St.Gallen study@eigenmannmartin.ch

5

Analyse

5.1. Fachliche Grundlagen

Mit Wireless Local Area Network, kurz WLAN, wird gemeinhin der IEEE-802.11 assoziiert. Die Tabelle 5.1 zeigt die bisher freigegebenen Standards.

Tabelle 5.1.: Standards

Standard	Frequenzband	Datenrate (max)
802.11	2.4 GHz	2 Mbit/s
802.11b	2.4 GHz	6 Mbit/s
802.11g	2.4 GHz	22 Mbit/s
802.11a	5 GHz	22 Mbit/s
802.11h	5 GHz	54 Mbit/s
802.11n	2.4 GHz	450 Mbit/s
802.11n	5 GHz	450 Mbit/s
802.11ac	5 GHz	660 Mbit/s
802.11ad	60 GHz	6,7 Gbit/s

5.1.1. Antenne

Idealerweise ist eine Antenne ein Rundstrahler, welcher eine gleichförmige Sendeleistung aufweist. Üblicherweise werden aber Antennen verwendet, welche das Signal richten, also zum Beispiel in der Vertikalen weniger Leistung aufweisen, in der Horizontalen dafür weitreichender sind. So haben handelsübliche Stabantennen von Routern eine Verstärkungswirkung um den Faktor zwei in der horizontalen Ebene.

5.1.2. Sendeanlage

Eine Sendeanlage umfasst die Sendeeinheit (WLAN-Karte), Antennenkabel und Antenne. Dazugehörend sind auch anfällige Steckverbinder.

5.2. Technische Limitationen

Das elektromagnetische Signal einer WLAN Anlage wird durch das Übertragungsmedium (Luft) gedämpft. Dies wird als Freiraumdämpfung wie folgt beschrieben wenn f die Frequenz und c die Lichtgeschwindigkeit ist.

$$F = \left(\frac{4\pi r f}{c} \right)^2$$

Für die Frequenz 2.4GHz ergibt sich eine Freiraumdämpfungs-Kurve wie in Abbildung 5.1 gezeigt.

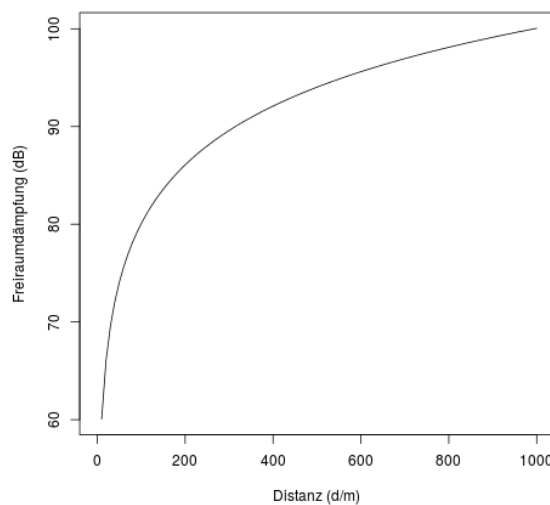


Abbildung 5.1.: Freiraumdaempfung

Neben der Freiraumdämpfung, vermindern auch das Signalkabel vom Sender zur Antenne und Steckverbinder die Ausgangsleistung der gesamten Anlage. Gängige Antennenkabel weisen eine Dämpfung von 117.9dB/100m bis 16.0dB/100m auf. Steckverbinder dämpfen zusätzlich mit 0.2dB bis 0.5dB.

Moderne Wlan-Geräte besitzen eine Empfangsempfindlichkeit von bis zu -96dBm bei 1Mbps. Bei höheren Übertragungsraten nimmt die Empfangsempfindlichkeit systembedingt ab. So sind bei 54Mbps bei guten Endgeräten -73dBm zu erwarten.

Bei einer Sendeleistung von genau 20dBm (entspricht 100mW) und unter Verwendung eines isotropen Kugelstrahler (einer idealen Rundstrahlantenne) können bei einer Empfangsempfindlichkeit von -73dBm maximal 443m Distanz überwunden werden. In der Praxis werden weder 20dBm Ausgangsleistung erreicht noch existieren störungsfreie Räume.

5.3. Rechtliche Limitationen

Die rechtliche Beschränkungen sind je nach Einsatzgebiet unterschiedlich und werden in der Schweiz vom Bundesamt für Kommunikation vorgeschrieben.

5.3.1. 2.4 GHz Frequenzband

Die Leistung der gesamten Anlage ist im 2.4 GHz Band auf maximal 100mW begrenzt. [2]

5.3.2. 5 GHz Frequenzband

Die Leistung der Anlage ist für das untere 5 GHz Frequenzband (5.15 - 5.35 GHz) ist auf maximal 100mW (200mW falls die Anlage TPC unterstützt) und für das obere 5 GHz Frequenzband (5.47 - 5.725 GHz) auf maximal 500mW (1000mW falls die Anlage TPC unterstützt) begrenzt. [2]

6

Konzept

Im Rahmen dieser Arbeit sollen Lösungsvorschläge erarbeitet werden, die die Reichweite von idealen Rundstrahlen weiter erhöhen können.

6.1. Verminderung der Dämpfung

Um die Ausgangsleistung zu maximieren, muss die Dämpfung zwischen Sender und Antenne minimiert werden. Dies wird durch wenige jedoch qualitativ hochwertige Steckverbinder und sehr kurze Signalkabel sichergestellt.

6.2. Erhöhung der Sendeleistung

Die maximal zulässige Sendeleistung von 20dBm wird nicht von allen WLAN-Karten unterstützt. Der Ubiquiti SuperRange Cardbus kann bei einer Übertragungsrate von 54Mbps, immer noch mit einer Sendeleistung von 20dBm operieren. Unterhalb Übertragungsraten von 24Mbps sind sogar 24dBm möglich.

Zu beachten ist, dass die Ausgangsleistung (dBm) logarithmisch von der Sendeleistung (mW) der WLAN-Karte abhängig ist. So bringt doppelte Sendeleistung nicht die doppelte Ausgangsleistung.

6.3. Richtstrahlantenne

Statt einen Rundstrahler zu verwenden, kann auch eine gerichtete Verstärkung des Signals vorgenommen werden. Dazu werden typischerweise Richtstrahlantennen eingesetzt. Neben der Yagi-Uda-Antenne, Wendelantenne und der Quadantenne gibt es auch Parabolantennen.

Yagi-Uda-Antennen erreichen eine Richtverstärkung von 3dBi bis 18dBi. Ähnlich stark sind

auch Quadantennen sowie Wendelantennen. Parabolantennen erreichen hingegen Antennengewinne von 20dBi bis weit über 50dBi hinaus. Die Signalausbreitung der verschiedenen Antennen unterscheiden sich sehr im Öffnungswinkel (Strahlbreite) der Hauptkeule, sowie der Ausbildung von Neben- und Rückkeulen.

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Richtstrahlantennen sind eine Yagi-Uda-Antenne mit einem Antennengewinn von 9.8 dBi bzw. 18dBi.

Die verwendete Parabolantenne hat einen Antennengewinn von ca. 30dBi. (Da es sich um eine selbstgebaute Parabolantenne handelt, konnte der Antennengewinn nicht genau ermittelt werden, da die dafür benötigten Messinstrumente nicht zu Verfügung standen.)

7

Umsetzung

7.1. Vorgehen und Messungen

Es wird nur eine Messung durchgeführt falls auch eine Verbindung hergestellt werden kann. Zur Messung der Signalstärke wird das Linux-Tool *wavemon* verwendet.

7.2. Richtstrahlantenne

Um das WLAN-Signal zu verstärken, wird eine Yagi-Uda-Antenne mit einem Reflektor, einem Signalgeber und fünf Direktoren verwendet. (Siehe Abbildung 7.1) Dabei handelt es sich um einen Eigenbau. Bauanleitungen mit detaillierten Beschreibungen und Hintergrundinformationen sind online verfügbar. [1]

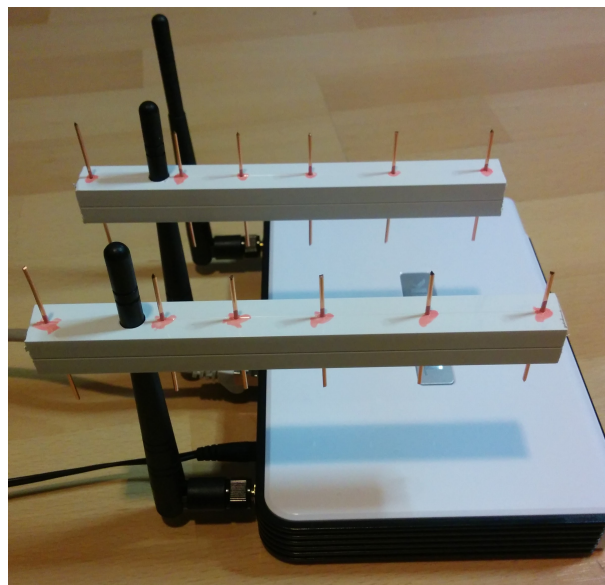


Abbildung 7.1.: RouterYagi

Der Antennengewinn liegt bei 9.8dBi. Bei einer Entfernung von 200 Metern und einer Ausgangsleistung von 16dB, ist mit -60dBm Empfangslevel zu rechnen.

Bei einer Distanz von 200 Metern ist ohne ein modifiziertes Gegenstück also immer noch eine sehr gute Verbindung erreichbar. Mit einem handelsüblichen Notebook sind genau -60dBm gemessen worden. (dazu Abbildung A.1)

7.3. Richtstrahlantenne II

Die nächst grössere Distanz, die überwunden werden soll, beträgt mehr als 1100 Meter. Da mit der selbst gebauten Yagi-Uda-Antenne kein Verbindungsaufbau möglich war, ist eine bessere Antenne nötig.

Mit zwei aufeinander ausgerichteten Yagi-Uda-Antennen vom Typ ABAKS YAGI-18 die mit jeweils 15 Direktoren einen Antennengewinn von 18dBi aufweisen und einer Sendeleistung von 21.1dB bzw. 22.3dB ist idealerweise mit einem Empfangslevel von -60dBm zu rechnen.

Die Sendeleistung von 21.1dB bzw. 22.3dB ergibt sich aus den 24dB maximaler Sendeleistung der WLAN-Karte abzüglich der 2.9dB bzw. 1.7dB Dämpfung für Kabel und Verbinder.



Abbildung 7.2.: ABAKS YAGI-18 im Wald

Das gemessene Empfangslevel von -80dBm (dazu Abbildung A.2) bzw. die Differenz von 20dBm zu dem erwarteten Ergebnis, ist den störenden Objekten im Funkpfad geschuldet.

7.4. Parabolspiegel

Die grösste mögliche Distanz mit Sichtverbindung, welche im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird, beträgt bei 8340 Metern.

Die WLAN-Parabolantenne ist eine Improvisation um die Richtwirkung der Yagi-Uda-Antenne weiter zu erhöhen. Es handelt sich dabei um einen handelsüblichen Parabolspiegel, der auch



Abbildung 7.3.: Parabolantenne ausgerichtet auf das 8340 Meter entfernte Gegenstück

für Satellitenfernsehen eingesetzt wird. Der Antennengewinn beträgt ca. 30dBi. (Abbildung 7.4)



Abbildung 7.4.: Parabolantenne

Mit der Parabolantenne mit einer Sendeleistung 22.3dB und der darauf ausgerichteten Yagi-Uda-Antenne mit einem Antennengewinn von 18dBi und einer Sendeleistung von 21.1dB ist idealerweise ein Empfangslevel von -66dBm erreichbar.

Der gemessene Signalpegel beträgt -67dBm. (dazu Abbildung A.3)

8

Review und Bewertung

Die 3 umgesetzten Antennenkonzepte erfüllen unterschiedliche Anforderungen. Bewertet werden die Konzepte und deren Umsetzung deshalb in Bezug auf Reichweite, Handhabbarkeit, Einsatzgebiet und Kosten.

8.1. Richtstrahlantenne

Die Reichweite verdoppelt sich auf ~ 200 Meter. Der Bau sowie die Installation erfordern kein spezifisches Fachwissen und sind sehr einfach und schnell zu erledigen; Sofern der Router über externe Antennen verfügt.

Typischerweise können so Funklöcher innerhalb einer Wohnung oder Wohnkomplex abgedeckt werden.

Die Kosten belaufen sich auf wenige Rappen bis Franken.

8.2. Richtstrahlantenne II

Die Reichweite steigert sich enorm. Im Test war über 1 Kilometer Funkstrecke überbrückbar. Die Installation erfordert kein spezifisches Fachwissen, lediglich die Ausrichtung der Antennen muss sehr sorgfältig durchgeführt werden. Diese Art von Richtstrahlantennen setzen ausserdem voraus dass auf Empfänger- und Sender-Seite Modifikationen vorgenommen werden und fordern daher einen grösseren Aufwand bei der Installation.

Typischerweise wird mit Leistungsstarken Yagi-Uda-Antennen ein Kommunikationskanal über Gebäudegrenzen hinweg realisiert.

Die Kosten belaufen sich auf ~100 CHF.

8.3. Parabolspiegel

Die Reichweite scheint fast unbegrenzt. Im Test konnten mehr als 8 Kilometer Funkstrecke überwunden werden. Die Installation erfordert Fachwissen und Geduld bei der Ausrichtung der

Antennen. Üblicherweise werden auch Sendekarten mit höheren Ausgangsleistungen verwendet, um so an der Antenne die maximal erlaubten 20dB zu erreichen.

Parabolantennen werden nur selten im zivilen Umfeld verwendet und so müssen nur vereinzelt unzugängliche Ortschaften so erschlossen werden.

Die Kosten bewegen sich je nach verwendetem Parabolspiegel und Antenne im gehobenen dreistelligen Franken Bereich.

8.4. Bewertung

Sowohl bezüglich der Leistung als auch der Handhabung überzeugt die eingesetzte Yagi-Uda-Antenne. Einfache Installation und grossartige Leistung um grosse Distanzen zu überbrücken runden das Paket ab.

Selbstgebaute Yagi-Uda-Antennen überzeugen zwar für den Heimgebrauch. Ihre Leistungsfähigkeit ist für einen professionellen Gebrauch jedoch ungeeignet.

Grosse Parabolantennen überzeugen zwar in Puncto Leistung, haben jedoch bei Handhabung und Preis deutliche Defizite.

9

Fazit und Schlusswort

Bereits mit einfachen und kosteneffizienten Mitteln (siehe. Kapitel Richtstrahlantenne) kann die Reichweite von handelsüblichen WLAN-Routern erhöht werden. Um die Reichweite in der nahen Umgebung gezielt zu erhöhen, und so z.B. den Empfang im Garten zu verbessern, sind selbst gebaute Yagi-Uda-Antenne eine Überlegung wert.

Der Einsatz von grossen Yagi-Uda-Antennen oder sogar Parabolantennen erhöht die Reichweite enorm. So konnte eine Verbindung über die Distanz von 8340 Metern hergestellt werden. Unter Verwendung zweier Parabolantennen wäre eine noch deutlich grössere Distanz vorstellbar. Sowohl der Einsatz von kommerziellen Yagi-Uda-Antennen als auch Parabolantennen ist sehr aufwendig und bedarf einiger Einarbeitung in das Fachgebiet. Auch unterscheidet sich hier das Einsatzgebiet deutlich vom „Home and Entertainment“ Sektor und bedient somit seltene Sonder-Anforderungen.

Der Student konnte zeigen, dass mit handelsüblichen WLAN-Geräten und etwas Draht die Reichweite von WLAN-Signalen deutlich erhöht werden konnte. Unter dem Einsatz von kommerziellen Richtstrahlantennen können Distanzen von über einem Kilometer überwunden werden. Mit etwas handwerklichem Geschick kann mit einer Satellitenschüssel und einer Richtstrahlantenne eine Parabolantenne gebaut werden, die Signalreichweiten von über 8 Kilometern zulassen.



Appendix

A.1. Wavemon

```
Interface
wlan0 (IEEE 802.11bg, WPA/WPA2), ESSID: " "
Levels
link quality: 71% (50/70)
=====
signal level: -60 dBm (1.00 nW)
=====>===== <
Statistics
RX: 6'515'057 (7.60 GiB), invalid: 0 nwid, 0 crypt, 0 frag, 3334 misc
TX: 3'482'789 (403.96 MiB), mac retries: 3, missed beacons: 0
Info
mode: Managed, access point: 
freq: 2.422 GHz, channel: 3, bitrate: 1 Mbit/s
power mgt: off, tx-power: 22 dBm (158.49 mW)
retry: short limit 7, rts/cts: off, frag: off
encryption: off (no key set)
Network
mac: , ip: 192.168.0.101/24
F1 info F2 hist F3 scan F4 F5 F6 F7 prefs F8 help F9 about F10 quit
```

Abbildung A.1.: Screenshot: Wavemon selbstgebaute YAGI

```

Interface
wlan0 (IEEE 802.11bg, WPA/WPA2), ESSID: " "
Levels
link quality: 41% (29/70)
=====
signal level: -81 dBm (7.94 pW)
===== > <

Statistics
RX: 6'515'886 (7.60 GiB), invalid: 0 nwid, 0 crypt, 0 frag, 3522 misc
TX: 3'484'045 (404.13 MiB), mac retries: 4, missed beacons: 0
Info
mode: Managed, access point: 
freq: 2.422 GHz, channel: 3, bitrate: 2 Mbit/s
power mgt: off, tx-power: 22 dBm (158.49 mW)
retry: short limit 7, rts/cts: off, frag: off
encryption: off (no key set)
Network
mac: , ip: 192.168.0.101/24

F1Info F2lhist F3scan F4 F5 F6 F7prefs F8help F9about F10quit

```

Abbildung A.2.: Screenshot: Wavemon ABAKS YAGI-18

```

Interface
wlan0 (IEEE 802.11bg, WPA/WPA2), ESSID: " "
Levels
link quality: 61% (43/70)
=====
signal level: -67 dBm (0.20 nW)
===== >= <

Statistics
RX: 6'515'901 (7.60 GiB), invalid: 0 nwid, 0 crypt, 0 frag, 3522 misc
TX: 3'484'066 (404.13 MiB), mac retries: 4, missed beacons: 0
Info
mode: Managed, access point: 
freq: 2.422 GHz, channel: 3, bitrate: 5.5 Mbit/s
power mgt: off, tx-power: 22 dBm (158.49 mW)
retry: short limit 7, rts/cts: off, frag: off
encryption: off (no key set)
Network
mac: , ip: 192.168.0.101/24

F1Info F2lhist F3scan F4 F5 F6 F7prefs F8help F9about F10quit

```

Abbildung A.3.: Screenshot: Wavemon Parabolantenne

A.2. Glossar

TPC (Transmit Power Control)

TPC ist eine Funktionalität, die es der Sendeeinheit erlaubt, die Sendeleistung dynamisch anzupassen.

Freiraumdämpfung

Die Freiraumdämpfung beschreibt die Abschwächung von elektromagnetischen Signalen im freien Raum.

Antennengewinn

Der Antennengewinn beschreibt die Verstärkung des Signals in eine bestimmte Richtung und wird in dBi angegeben.

A.3. Quellenverzeichnis

- [1] *Die 0-Euro-Antenne*. <http://www.heise.de/netze/artikel/Die-0-Euro-Antenne-223704.html>. [Online, accessed 2-April-2015]. 2008.
- [2] *WLAN / RLAN*. <http://www.bakom.admin.ch/themen/geraete/00568/01232/index.html?lang=de>. [Online, accessed 24-Marc-2015]. 2011.

A.4. Tabellenverzeichnis

4.1	Involvierte Personen	3
5.1	Standards	4

A.5. Abbildungsverzeichnis

5.1	Freiraumdaempfung	5
7.1	RouterYagi	9
7.2	ABAKS YAGI-18 im Wald	10
7.3	Parabolantenne ausgerichtet auf das 8340 Meter entfernte Gegenstück	11
7.4	Parabolantenne	11
A.1	Screenshot: Wavemon selbstgebaute YAGI	15
A.2	Screenshot: Wavemon ABAKS YAGI-18	16
A.3	Screenshot: Wavemon Parabolantenne	16