

Herstellen einer WLAN Verbindung über grosse Distanzen

Martin Eigenmann

31. Mai 2015

1

Abstract

Im Rahmen dieser Seminararbeit wird der Frage nachgegangen wie die Reichweite von WLAN-Systemen erhöht werden kann. Ein Test von drei verschiedenen Antennensystemen zeigt dass deutliche Verbesserungen der Reichweite bereits mit kleinen Modifikationen erreichbar sind und dass noch weite grössere Distanzen mit spezialisierten Antennen überbrückbar sind.

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	6
5.4 Blick über den Tellerrand	6
6 Konzept	7
6.1 Frequenzband	7
6.2 Verminderung der Dämpfung	7
6.3 Erhöhung der Sendeleistung	7
6.4 Richtstrahlantenne	8
7 Umsetzung	10
7.1 Vorgehen und Messungen	10
7.2 Richtstrahlantenne	11
7.3 Richtstrahlantenne II	11
7.4 Parabolspiegel	12

8	Review und Bewertung	14
8.1	Richtstrahlantenne	14
8.2	Richtstrahlantenne II	14
8.3	Parabolspiegel	14
8.4	Bewertung	15
8.5	Beantwortung der Aufgabenstellung	15
9	Fazit und Schlusswort	16
A	Appendix	17
A.1	Wavemon	17
A.2	Glossar	19
A.3	Quellenverzeichnis	19
A.4	Tabellenverzeichnis	19
A.5	Abbildungsverzeichnis	19

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 dann nicht. Wäre es nicht viel angenehmer überall WLAN Empfang zu haben.

Zuhause ist, wo sich das WLAN sofort verbindet.

Diese Arbeit soll aufzeigen wo die Grenzen von WLAN sind und ob die Grenzen nicht 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 Standard assoziiert. Die Tabelle 5.1 zeigt die bisher definierten Standards (Stand 2015).

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. Sendeleistung

Die Sendeleistung einer Sendeanlage wird in dBm bzw. Watt angegeben.

Dabei ist Decibel-milliwatt (dBm) der Leistungspegel im der Bezugsgrösse 1mW. So entsprechen 20dBm genau 100mW.

Die Signalstärke wird üblicherweise nur in dBm angegeben, da es unerheblich ist, wie viel Watt der Sender benötigt, um eine bestimmte Signalstärke beim Empfänger zu erzeugen.

Bei einer Signalstärke von -37dBm, sprechen wir also von einer messbaren Leistung von 2×10^{-7} Watt. Die maximale Übertragungsrate kann, je nach Empfänger, sogar noch bei -65dBm erreicht werden.

5.1.2. Antenne

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

Diese Verstärkungswirkung wird Antennengewinn genannt und mit der Masseinheit dBi bezeichnet.

5.1.3. Sendeanlage

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

5.2. Technische Limitationen

Das elektromagnetische Signal einer WLAN Anlage wird durch das Übertragungsmedium (Luft) gedämpft. Dies wird als Freiraumdämpfung wie folgt beschreiben 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.

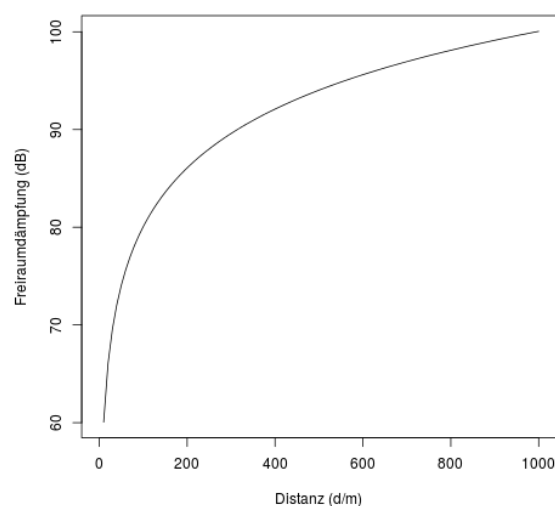


Abbildung 5.1.: Freiraumdaempfung

Neben der Freiraumdämpfung, vermindern auch das Signalkabel vom Sender zur Antenne und Steckverbinder die Ausgangsleistung der gesamten Anlage. Gängige Antennenkabel weisen eine

Dämpfung von etwa 117.9dB/100m und hochwertige Kabel sogar nur eine Dämpfung von 16.0dB/100m. 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 und hochwertigen 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 absolut störungsfreie Räume.

5.3. Rechtliche Limitationen

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

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]

5.4. Blick über den Tellerrand

Das GSM Netzwerk erlaubt bei einer Frequenz von 900MHz eine maximale Ausgangsleistung von 2 Watt. Dies erlaubt es Distanzen von etwa 7 km bei direkter Sichtverbindung zu überbrücken.

6

Konzept

Im Rahmen dieser Arbeit sollen Lösungsvorschläge erarbeitet werden, die die Reichweite von WLAN-Anlagen erhöhen können.

6.1. Frequenzband

Die Freiraumdämpfung nimmt mit höherer Frequenz aber gleicher Distanz zu. Es soll also das tiefste Frequenzband verwendet werden.

6.2. 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.

6.3. 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 Ausgangsleistung 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.

6.4. 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.

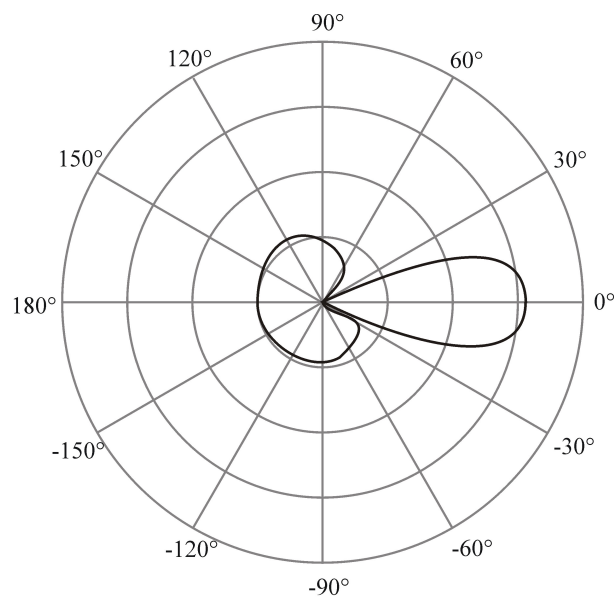


Abbildung 6.1.: Exemplarische Signalausbreitung Yagi-Uda-Antenne

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.)

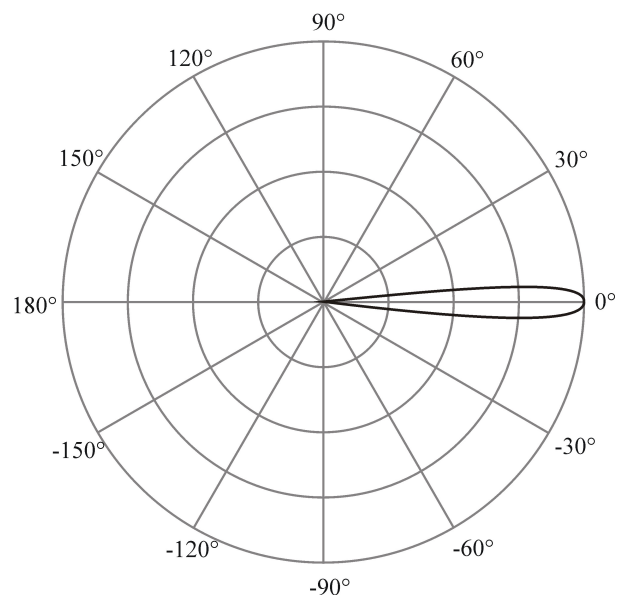


Abbildung 6.2.: Exemplarische Signalausbreitung Parabol-Antenne

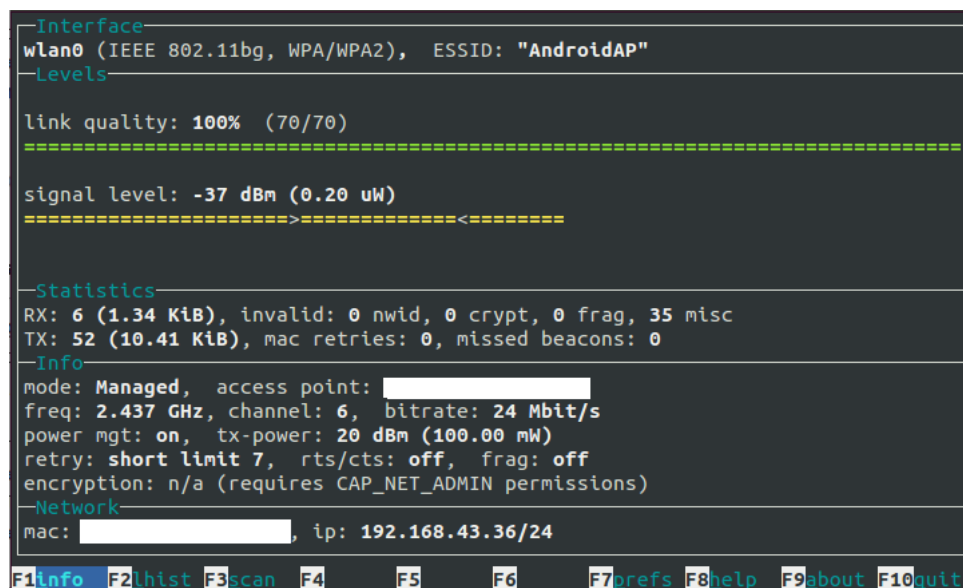
7

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.

Die Abbildung 7.1 zeigt einen beispielhaften Screenshot des Linux-Tools. Das UI ist unterteilt in die Sektionen Interface, Levels, Statistics, Info und Network.



```
—Interface—
wlan0 (IEEE 802.11bg, WPA/WPA2), ESSID: "AndroidAP"
—Levels—

link quality: 100% (70/70)
=====

signal level: -37 dBm (0.20 uW)
=====>=====<=====

—Statistics—
RX: 6 (1.34 KiB), invalid: 0 nwid, 0 crypt, 0 frag, 35 misc
TX: 52 (10.41 KiB), mac retries: 0, missed beacons: 0
—Info—
mode: Managed, access point: 
freq: 2.437 GHz, channel: 6, bitrate: 24 Mbit/s
power mgt: on, tx-power: 20 dBm (100.00 mW)
retry: short limit 7, rts/cts: off, frag: off
encryption: n/a (requires CAP_NET_ADMIN permissions)
—Network—
mac: , ip: 192.168.43.36/24

F1info F2hist F3scan F4 F5 F6 F7prefs F8help F9about F10quit
```

Abbildung 7.1.: Screenshot: Wavemon Android AP

Die Sektion **Interface** zeigt die verwendete Netzwerkkarte, in diesem Fall „wlan0“, deren Eigenschaften (802.11bg) sowie die ESSID des verbundenen AccessPoints an.

Im Bereich **Levels** wird die aktuelle Signalstärke in dBm angezeigt. Die Verbindungsqualität (link quality) gibt an, zu welchem Grad die maximale Bandbreite ausgenutzt werden kann.

Die Sektion **Info** zeigt unter anderem auch, mit welcher Sendeleistung der AccessPoint sendet.

Die Bereiche **Statistics** und **Network** zeigen allgemeine Informationen über die Verbindung, den AccessPoint und aufgetretene Fehler während der Verbindung.

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 7.2) Dabei handelt es sich um einen Eigenbau. Bauanleitungen mit detaillierten Beschreibungen und Hintergrundinformationen sind online verfügbar. [1]

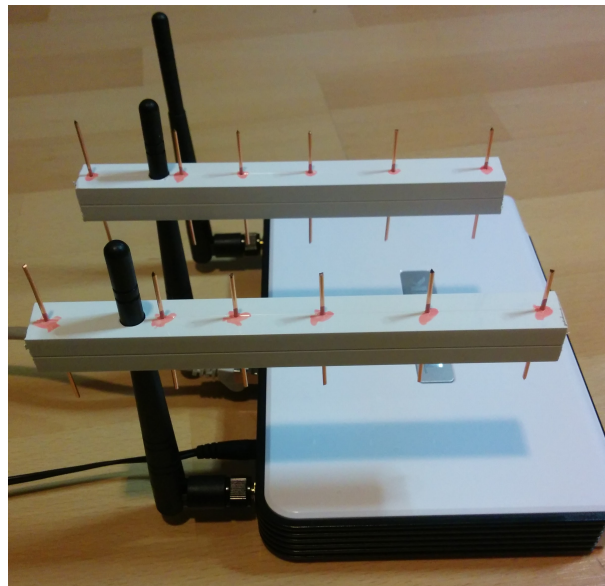


Abbildung 7.2.: RouterYagi

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 7.3.: ABAKS YAGI-18 im Wald

Das gemessene Empfangslevel von -80dBm (dazu Abbildung A.2) bzw. die Differenz von 20dBm zu dem erwarteten Ergebniss von -60dBm, ist den störenden Objekten (Bäume) im Funkpfad geschuldet.

7.4. Parabolspiegel

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

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 für Satellitenfernsehen eingesetzt wird. Der Antennengewinn beträgt ca. 30dBi. (Abbildung 7.5)

Mit der Parabolantenne mit ca 30dBi Antennengewinn, einer Sendeleistung 22.3dB und der darauf ausgerichteten Yagi-Uda-Antenne vom Typ ABAKS YAGI-18 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)



Abbildung 7.4.: Parabolantenne ausgerichtet auf das 8340 Meter entfernte Gegenstück



Abbildung 7.5.: Parabolantenne

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 erweitert sich auf ca. 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 etwa 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, gerade wegen ihrer aufwändigeren Handhabung.

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 (ABAKS YAGI-18). 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.

8.5. Beantwortung der Aufgabenstellung

Obwohl, wie in der Arbeit gezeigt, eine WLAN-Verbindung über grössere Distanzen herstellbar ist, ist dies in der Praxis eher unrealistisch, da grosse und aufwendige Antennenkonstruktionen benötigt werden. Darüber hinaus wird mit Richtstahlantennen die Ausbreitung des Signals in nur eine Richtung vergrössert und bietet so nur in speziellen Use-Cases einen Mehrwert.

Unabhängigkeit von Drittanbietern kann mit einem eigenen Antennennetzwerk zwar erreicht werden, ist jedoch ohne angepasste Empfangsgeräte nicht realisierbar.

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 oder 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
6.1	Exemplarische Signalausbreitung Yagi-Uda-Antenne	8
6.2	Exemplarische Signalausbreitung Parabol-Antenne	9
7.1	Screenshot: Wavemon Android AP	10
7.2	RouterYagi	11
7.3	ABAKS YAGI-18 im Wald	12
7.4	Parabolantenne ausgerichtet auf das 8340 Meter entfernte Gegenstück	13
7.5	Parabolantenne	13
A.1	Screenshot: Wavemon selbstgebaute YAGI	17
A.2	Screenshot: Wavemon ABAKS YAGI-18	18
A.3	Screenshot: Wavemon Parabolantenne	18