

Facharbeit

aus dem Fach

Physik

Thema: Richtfunk mit W-Lan - Bau verschiedener Antennen und Versuche

Verfasser: Maximilian Henry Krüger

Leistungskurs: Physik

Kursleiter: Hildenbrand

Abgabetermin: 25.01.2008

Erzielte Punkte schriftlich:

(einfache Wertung)

Erzielte Punkte mündlich:

(einfache Wertung)

Gesamtpunktzahl:/.....

(einfache/doppelte Wertung)

Abgabe am:

.....

(Unterschrift Kursleiter)

Inhaltsverzeichnis

1. Funktion von W-Lan Verbindungen

- A. Technischer Hintergrund
- B. Praktische Anwendung
- C. Zusätzliches und Hintergrundwissen

2. Bau und Funktion der Antennen

- A. Funktion von nicht richtenden Antennen
- B. Bau und Funktion eines einfachen Reflektors
- C. Dosenantenne
 - i. Aufbau der Kupfer-Dosenantenne
 - ii. Physikalische Hintergründe
 - iii. Bau der Edelstahl-Dosenantenne
- D. Bau und Funktion einer Biquad-Reflektor-Antenne
- F. Alternative Antennen und Methoden zur Reichweiten-Steigerung

3. Versuche zur Effektivität der Antennen

- A. Erster Feldversuch
- B. Versuch zur Polarisierung
- C. Zweiter Feldversuch
- D. Polarisierung und Ausrichtung

4. Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse

Anhang und Quellenverzeichnis

Erklärung

1. Funktion von W-Lan Antennen

A▷TheorieundTechnik

W-Lan ist eine Funktechnik, welche die Frequenzbereiche 5,15 GHz bis 5,725 GHz im Standard IEEE¹ 802.11a und 2,4 GHz bis 2,4835 GHz in den Standards IEEE 802.11b/g und n(draft) nutzt. In aller Regel übernimmt eine einzelne Dipolantenne sowohl das Senden als auch das Empfangen. Die Frequenzen liegen im Bereich der Mikro- bzw. Dezimeterwellen, allerdings ist die effektive, zulässige Strahlenleistung mit 100mW bei 2,4GHz und 500mW bei 5,4GHz natürlich weit unter der eines Mikrowellenofens.

Laut Bundesnetzagentur darf eine Antenne bei 2,4 GHz in keine Richtung mehr Strahlung abgeben, als eine perfekte Rundstrahler-Antenne bei 100mW Sendeleistung abgeben würde. Für diese etwas sperrige Umschreibung sagt man kurz 100mW EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power).²

Eine solche ideale Rundstrahler-Antenne existiert jedoch nicht, gängige Dipolantennen strahlen zwar gleichmäßig auf einer, senkrecht zur Antennenachse stehenden Scheibe, besitzen aber ober- und unterhalb der Antenne eine kegelförmige Zone, in welcher sie nicht strahlen. Daher bleiben auch sämtliche W-Lan Geräte, egal ob Router oder an Computern hängende USB-Sticks und Karten deutlich unter der Ausgangsleistung von 100mW und liegen meist im Bereich von 20-40 mW. Im Ausland sind einige Geräte zu erhalten, die deutsche Richtlinien weit überschreiten und wohl mit passenden Antennen eine Reichweite von mehreren Kilometern erzielen können.³

Sämtliche Versuche werden sich ausschließlich auf die W-Lan Technik IEEE 802.11g beziehen. Der Standard IEEE 801.11b ist nur ein Vorgänger, der lediglich 11 MBit/s zulässt (802.11g: 54Mbit/s), der IEEE 802.11a Standard schied aus, da aufgrund der anderen Wellenlänge auch andere

1 IEEE about: <http://www.ieee.org/web/aboutus/home/index.html> Stand 29.12.2007

2 c't Ausgabe 25/2007, Seite 216 bzw. <http://www.heise.de/netze/artikel/100565/2> Stand 02.01.2008 (Artikel sind Identisch)

3 z.B. MiniPCI Karte NMP 8602 Plus

Antennenabmessungen von Nöten wären. Die neueste vorläufige Norm IEEE 802.11n ist für den Richtfunk nicht nutzbar, da hierbei mehrere Antennen mit sich mittels Mehrquellen-Interferenz überlagernder Wellen eingesetzt werden⁴, diese Effekte jedoch durch Richtfunkantennen unmöglich gemacht werden, da die automatische Abstimmung nur mit den Standard Dipolantennen funktionieren kann. Dieser Standard würde zwar Datenraten von bis zu 300Mb/s versprechen, aber sind hier eben die Möglichkeiten für Bastler am Ende und die Hardware ist darüber hinaus noch sehr teuer. Bei den Richtfunkversuchen ist auch zu beachten, dass die Kabel, von W-Lan Karte zu Antenne, eine möglichst geringe Dämpfung haben sollten, um die Signalqualität dadurch nicht zu verschlechtern.

B▷Praktische Anwendung

In der Praxis sind die Umstände für Funkverbindungen weit von dem Idealbild

Kanal Nummer	Frequenz (GHz)
1	2,412 GHz
2	2,417 GHz
3	2,422 GHz
4	2,427 GHz
5	2,432 GHz
6	2,437 GHz
7	2,442 GHz
8	2,447 GHz
9	2,452 GHz
10	2,457 GHz
11	2,462 GHz
12	2,467 GHz
13	2,472 GHz

Tabelle 1: In Europa zulässige Frequenzen

entfernt. Das größte Hindernis ist wohl die Verbreitung dieser Funktechnik selbst, denn wenn ich in meiner Reihenhaussiedlung fünf verschiedene Funknetzwerke in nächster Umgebung finde, stellt dies eine erhebliche Einschränkung dar. Wie zu erkennen ist, umfasst der Bereich gerade einmal 60 MHz, da jeder Kanal eine Breite von 20 MHz besitzt sind also maximal 3 Kanäle möglich, welche sich nicht überlappen. Man könnte 6 Kanäle nutzen, wenn man die Polarisierung ausnutzt und 3 waagrecht und 3 senkrecht polarisierte Kanäle verwenden würde, was natürlich eine gewisse Absprache

erfordert.

Erschwerend kommen Techniken einiger Hersteller von W-Lan Chipsätzen dazu,

⁴ genannt MIMO, Multiple in, Multiple out

welche mit 40 MHz breiten Kanälen eine Verdoppelung der Datenrate auf bis zu 108 MBit/s anstreben, wodurch nur noch 2 sich nicht überlappende Kanäle bleiben.⁵

Welches Kriterium eignet sich für die Einschätzung der Qualität einer W-Lan Verbindung?

Viele W-Lan Treiber zeigen in dem Programmfenster eine Angabe über die Signalstärke, Verbindungsqualität oder ähnliches, aber diese Anzeige ist erstens meist sehr grob, zweitens in keiner Weise normiert und die Werte sind nicht vergleichbar. Die von mir verwendete Methode der Durchsatzmessung ist zwar auch nur bedingt übertragbar, aber immerhin hat sie konkrete Aussagekraft über die Qualität und den Nutzwert der Verbindung und liefert weitaus feinere Abstufungen und verhält sich absolut proportional zu der tatsächlichen Signalqualität.

Für die Versuche war die Entscheidung zu treffen, ob beidseitig richtende Antennen oder eine richtende und eine Rundstrahler-Antenne eingesetzt werden sollten. Natürlich sind die zu erzielenden Reichweiten deutlich größer, wenn auf beiden Seiten der Funkstrecke Richtantennen mit möglichst hohem Gewinn eingesetzt werden, dennoch werde ich in allen Versuchen lediglich eine Richtantenne einsetzen. Bei dem Einsatz zweier Antennen fügt man schließlich nur noch eine weitere Fehlerquelle hinzu und die Ergebnisse sind nur schlechter auszuwerten und nicht so eindeutig. Hinzukommt, neben dem Aufwand, alle Antennen doppelt bauen zu müssen, noch der Preis für die nötigen Kabel, die bei über 3€/m liegen, des weiteren wäre natürlich auch noch ein zweiter W-Lan Adapter mit N-Buchse nötig. Auch eignet sich ein solcher Aufbau nicht für diese Anwendung, in der ich den Richtfunk hier seit Jahren betreibe, denn erstens wäre auch hier ein anderer Router, mit N-Buchse, nötig und des weiteren würde es natürlich dazu führen, dass der Router nur noch exklusiv der Richtstrecke dient und für keine weiteren W-Lan Verbindungen mehr genutzt werden kann.

5 Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wlan> Stand 29.12.2007

Generell müssen beim Richtfunk auch die Kabel beachtet werden, die eine möglichst geringe Dämpfung pro Meter aufweisen sollten (unter 1dB/m), welche aber auf der anderen Seite, da sie eine bessere Platzierung der Antenne ermöglichen, einen sehr großen Einfluss haben. Es kann durchaus sein, dass eine Antenne, sobald sie nicht mehr hinter dem abschirmenden Computergehäuse versteckt ist, bereits eine Verbindung ermöglicht, die zuvor nicht zustande kommen wollte.

Zu allen Versuchen ist zu sagen, dass der rechtliche Boden doch recht dünn ist, da ich davon ausgehen muss, dass zumindest die Dosenantenne die erlaubten 100 mW EIRP überschreiten kann. Laut dem c't Artikel "Weitschussdose"⁶ lassen sich an einer Dosenantenne schon 160 mW messen, wenn der W-Lan Adapter nur mit 50 mW sendet. Von den zwei von mir zum Ansteuern der Richtantennen verwendeten Adaptern "Netgear WPN311 RangeMax(TM)" und "Shuttle PN15g" bietet nur der zweite eine Möglichkeit via Treiber die Sendeleistung zu drosseln (zwischen 17 dBm und 11 dBm), was jedoch meinen Messungen zufolge jedoch offenbar nicht funktionstüchtig ist (Messung bei erstem Feldversuch, Dosenantenne, Drosselung auf 11 dBm, keine Veränderung der Übertragungsrate).

↳ Zusätzliches und Hintergrundwissen

Zu dem Grundlegenden Aufbau von W-Lan Netzen sollte gesagt werden, dass es neben den Netzen, welche einen Router oder Accesspoint als Mitte des Netzes haben auch so genannt Ad-Hoc Netze zwischen 2 Rechnern möglich sind und es im Bereich der professionellen Netzwerkausstattung auch Ausrüstung gibt um so genannte Mesh-Netze aufzubauen. Dabei werden mehrere Router mit überlappenden Funkgebieten eingesetzt, welche ein gemeinsames großflächiges Netz bilden.

Auch sollte zu dem Konzept, die Polarisation zu nutzen um Überschneidungen

⁶ c't 25/07 Seite 219, bzw. <http://www.heise.de/netze/artikel/100565/2> Stand 02.01.2008 (Artikel sind Identisch)

der Kanäle zu vermeiden, viele Router mit integrierten, waagrecht eingebauten 2. Antennen einen Strich durch die Rechnung machen.

Neben diesen Aspekten spricht für eine Richtfunk-Antenne auch, dass man die unter Umständen schädliche Strahlung von einem fern halten kann, wenn man an dem PC eine richtende Antenne nutzt, welche von dem Anwender weg zeigt.

2. Bau und Funktion der Antennen

A▷ Funktion von nicht richtenden Antennen

Nicht richtende Antennen sind meist $\lambda/2$ Dipole mit ca. 6 cm Länge. In Notebooks, USB W-Lan Sticks und als 2. Antenne in Routern tauchen oft auch $\lambda/4$ Dipole auf, welche dann meist waagrecht verbaut sind, was bei der Ausrichtung der auf der Gegenseite genutzten Antennen zu beachten ist.

Wie alle Dipol-Strahler weisen sie in der Verlängerung ihrer Achse zwei kegelförmige Funklöcher auf.

B▷ Bau und Funktion eines einfachen Reflektors

Diese Konstruktion⁷ ist schon deshalb interessant, weil sie sehr einfach zu bauen ist und außerdem auch dort verwendet werden kann, wo ein Router ohne N-

Durchmesser	Dosenlänge	Abstand
84	149, 268, 386 ...	59
86	140, 252, 364 ...	56
88	134, 240, 347 ...	53
90	128, 230, 332 ...	51
92	124, 222, 320 ...	49
94	120, 215, 310 ...	48
96	116, 209, 302 ...	46
98	113, 204, 294 ...	45
100	111, 199, 287 ...	44
102	109, 195, 282 ...	43
104	106, 191, 277 ...	43
106	105, 188, 272 ...	42
108	103, 185, 268 ...	41
110	102, 183, 264 ...	41

Tabelle 2: Optimale Dosenmaße in mm

Buchse, sondern mit einer fest angebauten Dipol-Antenne zum Einsatz kommt. Diese Antenne besteht lediglich aus zwei zusammengesteckten Karton-Teilen. Ein abgerundetes Rechteck, mit Alufolie beklebt, bildet einen Reflektor für die Wellen und das 2. Teil dient der Befestigung durch Aufstecken an der Antenne und sorgt für eine Biegung des Reflektors, so dass dieser die Wellen bündelt. Als Nachteil dieser Konstruktion

⁷ Zugrunde liegende Anleitung: <http://www.freeantennas.com/projects/template2/index.html>
Stand 2.1.2008

bleibt gegenüber den anderen Modellen, die nicht vorhandene Wetterbeständigkeit anzumerken. Die Bauanleitung bestand im Wesentlichen aus einem ausdrückbaren Bastelbogen, welcher in beliebiger Größe ausgedruckt werden kann, solange das Seitenverhältnis gleich bleibt. Solange das Verhältnis aus Wölbung und Abstand zwischen Reflektorfläche und eingesteckter Dipol-Antenne erhalten bleibt, sollte der Reflektor seine Funktion erfüllen. Die von mir gebaute Version ist größer als die Vorlage, da ich das Bild proportional auf eine DinA4 Seite gestreckt habe. Die Anleitung verspricht bei der Originalgröße einen Signalgewinn von 9 dBi und bei doppelter Größe von 12 dBi, meine Version dürfte demnach bei ca. 10 dBi liegen.

C▷Dosenantenne

i. Aufbau der Kupfer-Dosenantennen

Für die kupferne Dosenantenne beschreibe ich zwar den Aufbau, merke aber an, dass sie nicht von mir gebaut wurde, sondern aus den Händen von Christian Sand (K13) stammt und schon vor ca. 2 Jahren für mich gebaut wurde. Im wesentlichen besteht sie aus einem Stück eines Kupferdachrinnen-Rohres, dessen eines Ende mit einem angelöteten runden Kupferblech verschlossen ist. Der Außenleiter des Kabels wurde mit Lötzinn mit der Dose verbunden und als Antennenstummel dient der am Ende abisolierte Innenleiter des Kabels. Die Dose misst 98 mm im Durchmesser und 139 mm in der Länge. Die dritte entscheidende Größe, der Abstand zwischen Rückwand und Antennenstummel beträgt 45 mm. Gemäß der Tabelle⁸ weicht die Länge der Antenne also doch deutlich (26 mm) von dem Optimum 113 mm ab. Ob dies negative Auswirkungen hat, muss noch untersucht werden.

8 c't 25/07 Seite 219, bzw. <http://www.heise.de/netze/artikel/100565/2> Stand 02.01.2008
(Artikel sind Identisch)

ii. Physikalische Hintergründe⁹

Diese Dosenantenne ist genau genommen, wie die anderen Antennen auch, keine typische Richtantenne, wie es Yagi-Antennen¹⁰ wären. Die Dosenantenne ist vielmehr ein Wellenleiter und, da sie im Gegensatz zu einem Koaxialkabel über keinen Innenleiter verfügt, spricht man von einem Rundhohlleiter. Die Welle breitet sich in dem Rohr von dem Stummel aus in beide Richtungen hin aus. An dem verschlossenen Ende wird sie reflektiert und gelangt somit, durch konstruktive Interferenz verstärkt, zu dem offenen Ende, von wo sie sich in die Luft löst. Damit dies wie gewünscht funktioniert, müssen die Antennenabmessungen genau abgestimmt werden. Am anschaulichsten ist die Bestimmung des Abstandes zwischen dem Stummel und der Dosen-Rückwand. Damit es zu einer konstruktiven Überlagerung kommt, muss dieser $1/4$ der Wellenlänge betragen, aber im Unterschied zur Schulphysik, darf man hier nicht mit der Wellenlänge elektromagnetischer Wellen an Luft rechnen.

Um dies hinreichend zu beschreiben, müsste man die Maxwell'schen Gleichungen nutzen, um verschiedene so genannte Schwingungs-Moden zu betrachten, denn ein solcher Rundhohlleiter kann auf verschiedene Arten schwingen. Diese Moden stellen Magnetische und Elektrische Ober- bzw. Unterschwingungen dar. Diese Moden treten auf, sobald eine von dem Durchmesser der Rohres abhängige Cutoff-Frequenz¹¹ überschritten wird. In dem Bereich um 2,4GHz sind folgende Moden mit ihren Cutoff-Frequenzen f_c zu beachten, wobei bei H-Moden magnetische Komponente longitudinal und E-Moden elektrische Komponente longitudinal schwingt:

$$H_{11}: f_c = c/(1,71 \cdot D)$$

⁹ Dieses Kapitel stützt sich zum großen Teil auf den Artikel "Funkdosen-Theorie" aus der c't 25/07

, Anmerkungen dazu im Text

¹⁰ Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Yagi-Antenne> Stand 02.01.2008

¹¹ Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Grenzfrequenz> Stand 03.01.2008

$$E_{01}: f_c = c/(1,31 \cdot D)$$

$$H_{21}: f_c = c/(1,03 \cdot D)$$

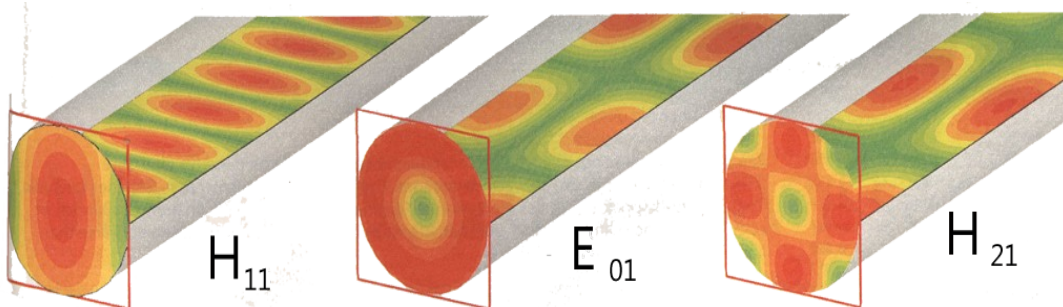


Abbildung 1: Simulierte Modes, Quelle c't 25/07 Seite 221

Uns soll nun zuerst der H_{11} Mode interessieren, denn dieser erzeugt die nach vorne gerichteten Wellen. Mit der Formel $\lambda_{h11} = c/\sqrt{f_c - f_s}$, wobei f_s die Betriebsfrequenz des W-Lans und f_c die Cutoff-Frequenz des H_{11} Modes beschreibt, lässt sich nun die Wellenlänge errechnen, die durch die Reflektion verstärkt werden soll. Folglich muss der Abstand zwischen Boden und Stummel $\lambda_{h11} / 4$ betragen.

Um den optimalen Radius zu finden, muss man abermals die Modes betrachten. Der H_{11} Mode ist ab einem Durchmesser von 73 mm ausbreitungsfähig, kleiner darf das Rohr also auf keinen Fall sein, aber 84 mm sind als Sicherheitsabstand sinnvoll, womit Pringels-Dosen (genau 73 mm), die zum Teil im Internet empfohlen werden, knapp ausscheiden.¹²

Ab 92,3mm ist der E_{01} Mode ausbreitungsfähig, der jedoch wie an der Grafik zu erkennen ist, lediglich zu einer breiteren Streuung führt, die jedoch nicht weiter negativ ins Gewicht fällt. Größer als 117,4 mm darf das Rohr nicht werden, denn der H_{21} Mode würde sämtliche Richtcharakteristik zerstören, wobei auch hier ein geringer Sicherheitsabstand zu der Grenzgröße sinnvoll erscheint.

Die Länge der Dose schließlich sollte $5/8 \lambda_{h11} + n \cdot (\lambda_{h11}/2)$ betragen, wobei laut der Simulation der c't 20mm als Toleranzbereich gelten und dieser Wert aber unkritischer als Durchmesser und der Abstand zwischen Innenleiter und

¹² <http://www.heise.de/netze/artikel/87157/4> Stand 03.01.2008

Rückwand ist.¹³

Dass ich mich hier soviel auf diesen Artikel berufe, lässt sich kaum vermeiden, da mir für derartige Messungen und Simulationen nicht die Mittel zur Verfügung stehen und eine Diskussion der Maxwellschen Gleichungen würde den Umfang dieser Facharbeit sprengen.

iii. Bau der Edelstahl-Dosenantenne

Auch diese Antenne hat leider keine optimalen Maße, und ist sogar noch weiter von der Ideallänge entfernt, allerdings wollte ich erstens selbst eine Dosenantenne bauen und da ich keinen Klobürstenhalter mit den empfohlenen Maßen auftreiben konnte, kann dies auch als Test dienen, wie negativ sich die suboptimale Länge auswirkt. Dafür ist die sonstige Konstruktion mit einer festgeschraubten N-Einbaubuchse um einiges professioneller und stabiler und auch für den Dauerhaften Außeneinsatz geeignet.

Zu Beginn müssen für die Befestigung der N-Buchse 5 Löcher gebohrt werden, so dass der Mittelstift 48 mm von der Rückwand entfernt ist. Nun wird an der N-Buchse ein Kupferdraht-Stift angelötet, so dass er zusammen mit der Buchse 30 mm in die Dose ragt. Nun wurde nur noch die Buchse mittels vier Senkkopfschrauben befestigt und schon ist die Antenne einsatzbereit und verrichtet ihren Dienst auf der Standardstrecke.

D▷ Bau und Funktion einer Biquad-Reflektor-Antenne

Für die Biquad-Antenne mit CD-Reflektor¹⁴ benötigt man eine 25er oder 50er CD-Spindel, ein Stück Kupferdraht, den man am besten aus den Spulen alter PC-Netzteile gewinnt, eine CD, Heißkleber und Lötzinn.

Als erstes kürzt man die Spindel auf 18mm (Dicke der CD+ $\lambda/4$) und feilt ein Kreuz als Fixierung für das Biquad hinein. Nun kürzt man den Kupferdraht auf

¹³ Zur Erinnerung, die Kupferdosenantenne weicht um 26 mm von dem Optimum ab

¹⁴ Zugrunde liegt diese Anleitung: <http://www.vallstedt-networks.de/?Fotogalerien/Quad> Stand 31.12.2007

25cm und biegt ihn immer in 29mm Schritten zu dem Biquad, dessen beide Enden man zusammen lötet. Jetzt klebt man die CD mit ausreichend Heißkleber auf die Spindel und fädelt man das Kabel durch die Mitte der CD-Spindel und verlötet Außen- und Innenleiter jeweils mit einem der beiden Mittelstücke, welche sich nicht berühren dürfen. Nun noch das Biquad und das Kabel mit ausreichend Heißkleber befestigen und zum Schutz die transparente Plastikhaube der CD-Spindel wieder aufstecken. Jetzt ist die Antenne fertig zum Einsatz.

F▷Alternative Antennen und Methoden zur Reichweitensteigerung

So genannte Yagi-Antennen¹⁵ sieht man noch auf vielen Dächern, da man mit ihnen ja bis vor kurzem noch analoges terrestrisches Fernsehen empfangen konnte. Antennen diesen Typs ließen sich auch für den Richtfunk mit W-Lan nutzen, allerdings werden sie, aufgrund der komplizierten Konstruktion, nicht zum Selbstbau empfohlen. Auch Wendelantennen lassen sich für W-Lan Verbindungen nutzen, sind jedoch keine richtenden Antennen. Von dem Einsatz von Antennenverstärkern kann man nur abraten, da man mit ihnen viel zu leicht die erlaubte Sendeleistung von 100 mW EIRP überschreitet. Auch sind die oben vorggeführten richtenden Antennen billiger als jeder Antennenverstärker.

Es gibt auch einige fertig zu kaufende Richtantennen für den 2,4 GHz Bereich, welche jedoch kaum bessere Ergebnisse versprechen oder die rechtlichen Bestimmungen weit überschreiten, wie z.B. eine Dosenantenne mit einer Sat-Schüssel als Reflektor. Dies bezeichnet man als Offset-Antenne¹⁶. Ihr einziger Vorteil liegt darin, dass industrielle Fertigung eine höhere Genauigkeit, besonders als ein Laie erreichen kann bei dem Bau, was jedoch kaum die Preise von bis zu 140 € rechtfertigt.

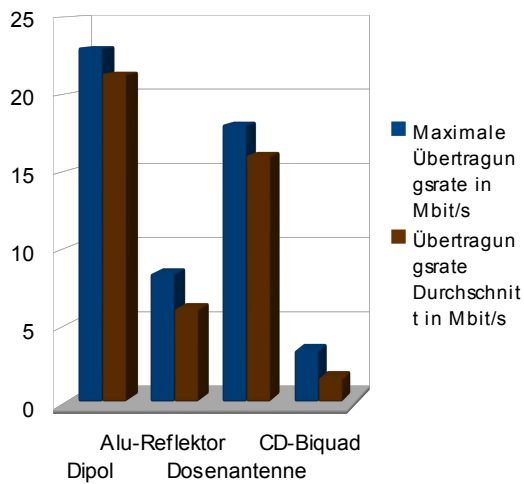
15 Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Yagi-Antenne> Stand 04.01.2008

16 http://www.wlan-skynet.de/docs/tuning/antennenbauformen/antennenbauform_offset.shtml
Stand 09.01.2008

3. Versuche

A▷ErsterFeldversuch

Bei kalt-trockenem Wetter am 27.12.2007 wurde der erste Versuchslauf auf den Feldern nord-östlich von Seukendorf durchgeführt. Zu den genauen Teststrecken siehe die Google Earth Karte Testgebiet im Anhang ¹⁷. Mittels 2



Notebooks habe ich auf offenem Feld den Datendurchsatz in einer Richtung gemessen. Dazu dient das Programm NetPerSec, welches von einer Amerikanischen PC-Zeitschrift stammt und sowohl die durchschnittlichen, als auch die maximalen Durchsatzraten protokolliert. Für den Test wurden 2

Abbildung 2: Erste Messung über 100 Meter freiem Feld

Lenovo Thinkpads mit Windows XP benutzt und an einem hing zusätzlich ein USB-WLAN Modul von Shuttle (PN15G), welches als W-Lan Accesspoint arbeitet. Auf der anderen Seite kam der fest eingebaute Intel W-Lan Chipsatz zum Einsatz.

Das Wetter war kalt und trocken und sollte ideal sein.

Die Ergebnisse sind vielfältig. Als erstes wurde deutlich, dass nicht einmal über 500 m Abstand zu der Bebauung ausreichen, um keine störenden anderen W-Lan-Signale mehr zu finden. Je nach Ausrichtung des Notebooks konnten die Signale von vier verschiedenen Netzwerken gefunden werden. Auch das für den Test eingerichtete Netz war nur abhängig von der Ausrichtung des Notebooks zu empfangen. Der beste Empfang ließ sich erhalten, wenn die linke Seite des Notebooks in Richtung der Richtfunkantenne zeigte.

Im Folgenden habe ich die Durchsatzraten mit dem Alufolien-Reflektor, der CD-

¹⁷ Google Earth Aufnahme

Spindel-Biquad- und die der Dosenantenne gemessen. Es wurde jeweils eine 100 mb Datei übertragen. Die Werte der Dipol-Antenne stellen Bezugswerte bei optimaler Verbindung dar, Entfernung unter 1 Meter. Alle weiteren Werte beziehen sich auf 100 Meter Messstrecke. Die Dosenantenne brachte die besten Übertragungsraten, gefolgt von dem Alufolien-Reflektor. Die CD-Spindel enttäuschte mit einer sehr schlechten Verbindung. Die blanke Dipol-Antenne konnte für die 100 m Messung nicht verwendet werden, da sich keine Verbindung herstellen ließ. Des weiteren viel auf, dass auch die Ausrichtung der Dosenantenne um die Achse der Dose einen erheblichen Einfluss auf den Empfang hat, dies werde ich aber noch einmal genauer untersuchen.

Der Versuch, noch eine Verbindung über 250m zustande zu bringen, scheiterte.

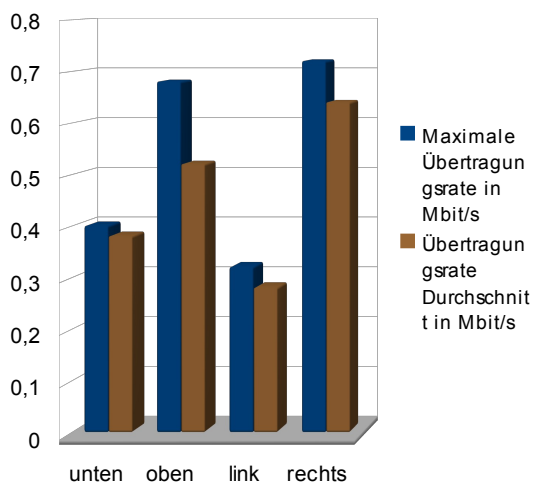


Abbildung 3: Abhängigkeit der Übertragungsrates von der Ausrichtung des Antennenstummels

B> Versuch zur Polarisation

Der nächste Versuch steht unter praxisnäheren Bedingungen. Die Teststrecke führt von meinem Fenster zu einem ca. 30 Meter entfernten Dachfenster meines Freundes Matthias Drescher. In der Umgebung sind gerade 3 W-Lan Netzwerke zu empfangen und wie man sieht, liegen

nun bei Verwendung der Kupfer-Dosen-Antenne die

Übertragungsrates trotz niedriger Entfernung deutlich unter denen über 100 Meter freiem Feld. Zwar besteht eine freie Sichtverbindung, aber erstens finden sich Hindernisse nahe der Sichtlinie und somit in der Fresnel-Zone¹⁸. Für W-Lan im Kanal 6 (durchschnittliche Wellenlänge) ergibt $b_{\max} = 0,5 \cdot \sqrt{(c \cdot 30\text{m}) / 2,437\text{GHz}} = 0,96 \text{ Meter}^{19}$ den maximalen Radius dieser für

¹⁸ Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Fresnelzone> Stand 30.12.2007

¹⁹ sqrt als Abkürzung für Quadratwurzel (eng. **square root**), gängig in IT-Umgebungen und Programmiersprachen

die Verbindung entscheidenden Rotationsellipse , also sollte der Sicht-Korridor 2 Meter Breite besitzen, was besonders kurz vor dem Ende der Funkstrecke mit einem Dachfenster nicht gegeben ist.²⁰ Dieses Fenster hat natürlich auch eine starke Dämpfung, wobei diese bei neueren, gegen einfallende UV-Strahlung bedampften Fenstern deutlich höher ausfällt. Trotz dieser von dem Ideal weit abweichenden Umstände zeigt sich doch, dass die Drehung der Dosenantenne und somit die Polarisierung der Wellen einen erheblichen Einfluss haben. Für diesen Test wurde eine PCI W-Lan Karte von Netgear und ein Netgear Router benutzt, welche theoretisch den oben erwähnten 108 MBit/s mittels Bündelung zweier Kanäle beherrschen. Dieser Modus ist für den Test deaktiviert gewesen.

C▷ZweiterFeldversuch

Der zweite Feldversuch brachte keine Ergebnisse, da es einfach nicht gelang eine stabile W-Lan Verbindung aufzubauen, nicht einmal aus nächster Nähe und egal welche Antenne verwendet wurde. Ich erwähne ihn hier nur der Vollständigkeit halber, auch wenn ich nicht sagen kann, woran es letztlich gescheitert ist.

D▷PolarisationundAusrichtung

Die Datenraten bei dem ersten Versuch zur Polarisierung waren doch sehr niedrig und hätten ja sogar meinen 1Mbit/s DSL Zugang ausbremsen müssen. Da das Notebook, welches als Ziel für die Testdaten diente, mit dem Router ebenfalls nur via W-Lan sprach und da sich alle Clients in einem W-Lan die verfügbare Datenrate teilen müssen, lag hier das Problem. Für die daraufhin angestellten Versuche wurde dies behoben und das Notebook mittels Ethernet (Kabel gebundenem 100Mbit Lan) mit dem Router verbunden.

Die Ergebnisse zur Polarisierung sind erwartungsgemäß ähnlich, wenn auch auf höherem Niveau. Wenn der Stummel oben oder rechts angeschlagen ist, traten auch hier wieder die besten Übertragungsraten auf.

20 Zur Funkstrecke finden sich Bilder im Anhang

Des weiteren habe ich nun untersucht, wie stark die Richtwirkung der Dosenantenne letztlich ist, indem ich sie gezielt um 10° und um 30° abweichend von der Richtung des Routers ausgerichtet habe. Dabei fiel auf, dass eine Abweichung von 10° noch keinen negativen Einfluss hatte, bei 30° ist der Toleranzbereich nun deutlich überschritten und die Verbindung wurde instabil.

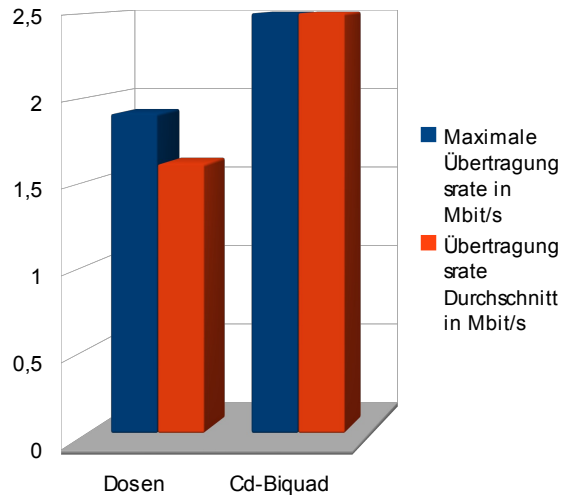
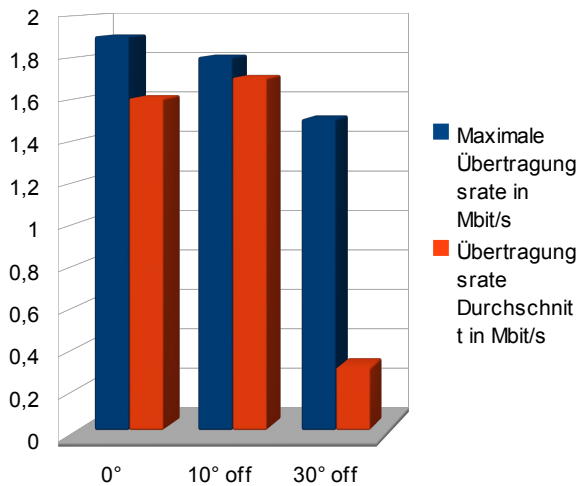


Abbildung 4: Übertragungsrate bei absichtlicher Fehlaustrichtung

Abbildung 5: Vergleich zwischen Dosenantenne und CD-Biquad über 35m

Nun wurde noch einmal die Leistungsfähigkeit der CD-Spindel-Biquad-Antenne getestet und überraschender Weise, konnte sie sich hier weitaus besser schlagen als über 100 m und die Dosenantenne hinter sich lassen. Ich kann nur mutmaßen, dass es sowohl an einer nicht so starken Bündelung als auch an einem weiteren Empfangsradius liegen muss, was in der dichten Bebauung wohl ein Vorteil ist.

4. Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse

Allen Versuchen gemeinsam ist, dass keines meiner Ergebnisse zu 100% übertragbar ist. Richtfunkantennen bringen deutliche Vorteile in Reichweite und Übertragungsrate, aber die Behauptungen auf den Verpackungen von W-Lan-Karten, 100 Meter Reichweite in Gebäuden und 400 Meter auf freiem Feld zu erzielen, sind offensichtlich realitätsfern. Bei dichter Bebauung und vielen Störquellen, wie weiterer W-Lan-Knoten auf überlappenden Kanälen sind schon

25 Meter die Grenze, ab der Richtantennen unverzichtbar werden. Wände können unüberwindbar werden, wenn sich im Putz ein Stahlgitter zur Stabilisierung befindet und über die 35 m kann ich mit den Störquellen nur noch eine Verbindung erreichen, wenn die Antenne außen auf dem Fensterbrett steht, da schon die Glasscheibe zu stark dämpft. Vor 2 Jahren, war eine Verbindung bei gutem Wetter kein Problem, allerdings stieg die Verbreitung von W-Lan in meiner Nachbarschaft seitdem auch an.

Anhang und Quellenverzeichnis

Alle Quellen und Anhänge sind unter der angegebenen Nummer im Anschluss zu finden, Nummern hinter der Quelle geben Fußnoten an, in denen auf diese Quelle verwiesen wird. Die Sortierung orientiert sich an der Nennung, bzw. relevanter Stellen im Haupttext.

1. Englischsprachige Selbstauskunft der IEEE (1)
2. Heise Artikel Weitschussdose/ WLAN-Richtfunk mit Hausmitteln (2,6,8)
3. Wikipedia Artikel zum Thema W-Lan (5)
4. Anleitung für den Alufolien-Reflektor (7)
5. Bilder des fertigen Reflektors
6. Funkdosen-Theorie aus der c't 25/07 auf den Seiten 220-222 (9)
7. Bilder und Computergrafiken der Dosenantenne
8. Bilder zum Bau der Edelstahl Dosenantenne
9. Wikipedia Artikel über Yagi-Antennen (10,15)
10. Wikipedia Artikel Grenzfrequenz (11)
11. Wellenfänger Heise Artikel (12)
12. Anleitung zum Bau der CD-Spindel-Biquad-Antenne (14)
13. Bilder zum Bau und der fertigen Biquad-Antenne und Computergrafiken
14. Aufzählung und beschreibung von Antennentypen
15. Google Earth Aufnahme zum Testgebiet und Fotos (17)
16. Wikipedia Artikel Fresnelzone (18)
17. Fotos zur Teststrecke in bebautem Gebiet (20)

Ich erkläre, dass ich die Facharbeit ohne fremde fachliche Hilfe angefertigt und nur die im Quellenverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, lediglich Assistenz bei den Versuchen habe ich in Anspruch genommen.

Seukendorf, den ##DATUM##

(Unterschrift des Kollegiaten)