



Ernst Ahlers

Weitfunker

WLAN-Richtfunk selbst gemacht

Vollmundigen Proklamationen der Telekom zum Trotz weist Deutschlands DSL-Landkarte immer noch weiße Flecken auf. Wer in einem solchen Gebiet nicht auf schnelles Internet verzichten will, kann es sich per teurer Satellitenverbindung ins Haus holen – oder per Funk aus dem Nachbarort.

Bewohner kleinerer Orte fernab der nächsten Stadt können sich zwar über niedrigere Mieten und eine ruhigere Umgebung freuen, müssen aber meist vom Wunsch nach schneller Internet-Anbindung Abstand nehmen. Denn der faktische Monopolist Telekom ertüchtigt seine Vermittlungsstellen bevorzugt in jenen Ortsteilen, wo er sich nennenswerten Umsatz verspricht. Genauso agieren die wenigen T-Konkurrenten mit eigenen Leitungen. Wer dann wie der c't-Leser Nico Lange in einem 200-Seelen-Flecken mit alten Telefonleitungen wohnt, in dem nur im Einzelfall ISDN zur Verfügung steht und eine gute Modemverbindung mit gerade mal 28 kBit/s vor sich hin zuckelt, hat wenige Optionen: resignieren, umziehen oder Eigeninitiative ergreifen.

Im Gewerbegebiet des Nachbarorts Bad Langensalza sei T-DSL möglich, teilt ihm die Telekom mit. Da liegt die Idee nahe, das Internet per WLAN-Richtfunk

ins eigene Haus zu holen. Das müsste mit zwei WLAN-Access-Points (AP), von denen einer als Client läuft, und zwei Außenantennen leicht möglich sein. Diese auf der eigenen Seite zu montieren, stellt Nico Lange als Eigenheimbesitzer nicht vor Probleme. Mit etwas Klinkenputzen und Glück findet er im Gewerbegebiet einen Platz für die Gegenstelle. Der Radhersteller Borbet Thüringen GmbH betreibt dort ein Werk für Leichtmetallfelgen, dessen Geschäftsleiter Andreas Kolf sich der Idee gegenüber aufgeschlossen zeigt, unbürokratisch den Aufbau gestattet und Unterstützung seitens seiner Netzwerkadministration zusagt.

Nachdem das Grobe klar ist, kommt die Feinarbeit. So stellt schon die Entfernung von rund 6,4 Kilometer eine Herausforderung dar, denn WLAN-Geräte sind normalerweise nur zur Versorgung kleiner Gebiete ausgelegt, die Hersteller nennen typische Reichweiten von 300 Metern im Freien. Zwar gibt es Be-

richte über WLAN-Rekorde mit Strecken von mehreren Dutzend Kilometern, doch schafft man solche Distanzen nur mit exzessivem Hardware-Einsatz, beispielsweise Parabolantennen von drei Metern Durchmesser. Moderate Strecken wie in Bad Langensalza lassen sich glücklicherweise mit erheblich geringerem Aufwand überbrücken.

In Nico Langes Fall führt ein großer Teil der Strecke über eine nicht erschlossene Talsenke. Beeinträchtigungen durch Gebäude, Mobilfunkmasten oder andere WLAN-Installationen sind deshalb nicht zu erwarten. Ob überhaupt eine stabile Verbindung möglich ist, verrät eine überschlägige Berechnung der Streckendämpfung nach der Friis-Formel:

$$A \text{ (dB)} = 92,467 + 20 \log(f/\text{GHz}) + 20 \log(D/\text{km})$$

Bei einem 2,4-GHz-WLAN ergeben sich 116,5 dB, für ein 5,7-GHz-WLAN (Outdoor-Betrieb) kommen 123,7 dB heraus, eine

freie Fresnel-Zone (quasi die Hauptstrahlungskeule, siehe Bild) vorausgesetzt. Trotz der höheren Dämpfung ist das 5-GHz-Band für diese Strecke die bessere Wahl, denn hier ist im Outdoor-Betrieb (Band 2, 5470 bis 5725 MHz) eine höhere äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP, siehe Kasten „dBm und EIRP“) von 1000 Milliwatt gestattet. Im 2,4-GHz-Band sind nur 100 mW erlaubt.

11a-dvantage

Wegen der kürzeren Wellenlänge bei 5 GHz (etwa 55 mm verglichen mit 123 mm bei 2,4 GHz) ist die Fresnel-Zone kleiner, was die Wahrscheinlichkeit von Störungen durch Gebäude oder Bäume senkt. Obendrein stehen im 5-GHz-Band mehr nutzbare Kanäle (zehn für Outdoor-Betrieb gegen drei) zur Verfügung und es ist bislang erheblich weniger belegt als sein 2,4-GHz-Pendant. Zudem sind Antennen bei gleichem Gewinn dank der kürzeren Wellenlänge kompakter. Schließlich

muss 5-GHz-WLAN-Hardware laut einer RegTP-Vorgabe für den Betrieb mit sinnvollen Ausgangsleistungen DFS beherrschten (Dynamic Frequency Selection, Bestandteil des WLAN-Standards IEEE 802.11h). Damit können Access Points Funkstörungen durch Wechseln auf einen anderen Kanal automatisch ausweichen.

Natürlich hat der 5-GHz- gegenüber dem 2,4-GHz-WLAN-Betrieb auch Nachteile: Die Hardware-Auswahl ist erheblich kleiner, die Access Points teurer. Außerdem ist die Kabeldämpfung in der Antennenzuführung höher. In Belgien, Österreich und der Schweiz gestatten die Regulatorbehörden derzeit keinen Outdoor-Betrieb im 5-GHz-Band.

Außer der Streckendämpfung braucht man weitere Angaben, um abzuschätzen, welche Datenrate stabil nutzbar ist. Dazu gehören der Gewinn der eingesetzten Antennen, die effektive Sendeleistung, die Dämpfung in der Antennenzuleitung (Kabel und Stecker) sowie die Empfängerempfindlichkeit. Die meisten Werte findet man in den Datenblättern zu Kabeln und Antennen, doch bei der Empfängerempfindlichkeit halten sich die Hersteller oft zurück.

Leistungsentfaltung

Eine Ausnahme bildet der Anbieter Lancom Systems, der detaillierte Angaben im Referenzhandbuch zu seinen WLAN-Geräten macht [1]. Darüber hinaus bietet der von uns gewählte Dual-Band-Access-Point L-54ag zahlreiche Funktionen, die sich bei unserer Anwendung als nützlich erweisen. Zum Beispiel kann er als Breitband-Router agieren, man braucht für den DSL-Anschluss dann nur noch das vom Provider gestellte Modem.

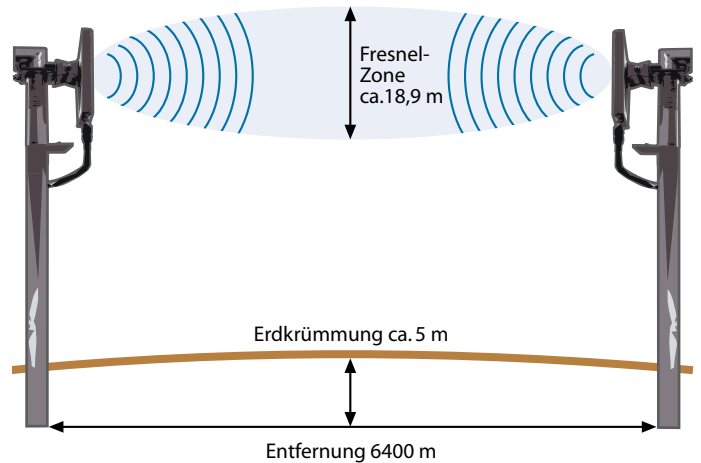
Für den L-54ag nennt Lancom bei 6 MBit/s im 5-GHz-Band eine maximale Ausgangsleistung von 17 dBm und eine Empfindlichkeit von -90 dBm. Demnach darf die gesamte Dämpfung zwischen Senderausgang und Empfängerempfang bei unserer Strecke höchstens 107 dB betragen. Da die zu erwartende Streckendämpfung mit rund 124 dB höher ist, sind Richtantennen unumgänglich, die die Funkwellen bündeln und damit verstärken [2]. Lancoms Panelantenne O-18a liefert beispielsweise einen Gewinn von 18 dBi. Diesen

darf man in der Berechnung jedoch nur auf der Empfängerseite ansetzen, weil die Sendeleistung regulatorisch auf 30 dBm EIRP begrenzt ist.

Der L-54ag hält diese Grenze automatisch ein, wenn man in seiner Konfiguration den Antennengewinn abzüglich Kabeldämpfung einträgt. Da der Access Point bei Bedarf die Ausgangsleistung bis auf 0 dBm herunterregelt, kann man Antennenanlagen bis zu einem Gewinn von 24 dBi (gerechnet ab Antennenbuchse) anschließen. Bei höheren Werten kann der AP die RegTP-Forderung nach einem TPC-Regelbereich von 6 dB nicht mehr realisieren. Transmit Power Control vermeidet durch automatische Sendeleistungsregelung Störungen, es ist wie DFS Bestandteil des Standards 802.11h. Für ein System aus Access Point, O-18a-Antenne und mitgeliefertem Kabelsatz garantiert Lancom, dass dieses CE-konform ist. Der der O-18a beiliegende Kabelsatz (1 m ULA168 und 3 m HDF-400) hat inklusive Steckern bei 5,7 GHz etwa 3,5 dB Verlust. Daraus ergibt sich folgende Rechnung:

+30 dBm EIRP	
-123,7 dB Streckendämpfung	
+18 dBi Antennengewinn	
-3,5 dB Kabeldämpfung	
-10 dB Reserve	
<hr/>	
-89,2 dBm am Empfängereingang	

Laut Handbuch schafft der L-54ag mit solch einem Eingangssignal eine Bruttoreate von 9 MBit/s. Also ist unsere Richtfunkstrecke realisierbar. Die Praxis bestätigt die Theorie: Die beobachtete Rate der aufgebauten Anlage schwankt zwischen 18



Funkwellen breiten sich nicht entlang einer Geraden, sondern in einer Keule aus. Stehen die Antennen nicht hoch genug, kann schon die Erdkrümmung das Signal beeinträchtigen.

und 36 MBit/s. Sie profitiert von der eingerechneten Reserve und sollte selbst bei Alterung der Geräte, starkem Regenwetter, dichtem Nebel oder Eisansatz an den Antennen die Verbindung halten können, wenn auch dann mit reduzierter Datenrate. Als maximal nutzbare Entfernung für ein solches System nennt Lancom im Handbuch rund acht Kilometer.

Die gleiche Rechnung für das 2,4-GHz-Band ergibt übrigens trotz niedrigerer Streckendämpfung kein besseres Ergebnis. Am Empfänger kommen unter Berücksichtigung geringerer Kabelverluste (1,5 dB angesetzt) und niedrigerer erlaubter Sendeleistung (20 dBm EIRP) bei Einsatz vergleichbarer Antennen auch nur etwa -90 dBm an. Obendrein ist das Risiko höher, dass andere 2,4-GHz-ISM-Anwendungen wie Bluetooth-Geräte, Funkkopfhörer oder leckende Mikro-

wellenöfen die Übertragung beeinträchtigen. Das 5-GHz-Band ist für Richtfunkstrecken auch deshalb die bessere Wahl.

Hoch damit

Wie bei Profi-Anlagen gilt auch bei selbstgebautem WLAN-Richtfunk, dass die Antennen für optimale Reichweite möglichst hoch und frei stehen müssen. Bei Entfernungen von einigen Kilometern kann schon die Erdkrümmung in die direkte Verbindungslinie zwischen zwei mäßig hoch angebrachten Antennen ragen und das WLAN-Signal beeinträchtigen. Weil sich die von einer Richtantenne abgestrahlte Energie aber nicht auf die direkte Linie beschränkt, sondern einen keulenförmigen Raum beleuchtet, treten unweigerlich Reflexionen an der Erdoberfläche oder Gebäudeflächen auf. Diese können stören, wenn die Hinder-



Die 6,4-km-Richtfunkstrecke profitiert von günstigen Voraussetzungen: Ein großer Streckenteil führt über eine unerschlossene Talsenke, sodass die Fresnel-Zone überwiegend frei ist.

nisse in die so genannte Fresnel-Zone (siehe Bild) hineinragen.

Die nötige Mindesthöhe hängt von der Distanz zwischen den Antennen und der frequenzabhängigen Wellenlänge ab. Eine konkrete Herleitung würde hier zu weit führen, beim Berechnen der Fresnel-Zone und der Antennenhöhen hilft eine Supportseite von Lancom [3]. Für unsere Beispielstrecke müssten die Antennen demzufolge mindestens 14,5 Meter über Grund stehen. Da aber der größte Teil der Strecke über eine Talsenke führt, kommen wir ohne hohe Masten aus.

Selbst wenn man die geforderten Höhen nicht einhalten kann, ist damit eine Verbindung nicht gleich unmöglich, sie wird aber zum Vabanquespiel. Beispielsweise kann eine im Winter errichtete Strecke bis zum Frühling funktionieren, dann aber schlagartig aussetzen, weil dazwischen stehende Bäume Blätter austreiben.

Blitzschutz

Bei der Montage von Antennenanlagen an Gebäudeaußenseiten muss man unter Umständen besondere Maßnahmen gegen Blitzschlag treffen, etwa den neu errichteten Mast mit in ein vorhandenes Blitzableitersystem einbinden. Welche VDE-Vorschriften bei Installation oder Änderungen zum Tragen kommen, erklärt ein VDE-Merkblatt [4]. Demnach erhöht ein Antennenmast das Risiko eines Treffers nicht, was bei Diskussionen mit dem Vermieter nützlich sein kann. Auf einen vorhandenen, bereits geerdeten Mast darf man eine WLAN-Antenne ohne zusätzliche Maßnahmen anbringen



Auf der DSL-Seite der Richtfunkstrecke steht die Antenne in etwa vier Metern Höhe über dem Boden. Die Elektronik ist in einem Schaltkasten am Mastfuß untergebracht.

– Zustimmung des Eigentümers vorausgesetzt.

Eine praxisgerechte Zusammenfassung und Tipps, nicht nur für den äußeren Blitzschutz, liefert [5]. So kann man beispielsweise auf die Erdung verzichten, wenn die Außenantenne höchstens bis 2 m unterhalb der Dachkante und maximal 1,5 m vom Gebäude entfernt montiert ist. Wer selbst einen Mast aufstellen will, sollte sich vorher bei der lo-

kalen Baubehörde erkundigen, denn für solche Bauten gelten je nach Bundesland unterschiedliche Bestimmungen, eventuell ergänzt um eigene Richtlinien der Gemeinde.

Ob man abgesehen vom gesetzlich oder von der Gemeinde Geforderten in weitergehende Maßnahmen (Schutz der Antennenzuleitung, des Netzkabels und der Stromversorgung) investieren will, hängt von der

eigenen Risikobereitschaft ab. Bei einem Volltreffer hilft auch der größte Aufwand wenig, doch bei einem Einschlag in der Nachbarschaft kann sich die Ausgabe rentieren.

Rechtliches

Eine Meldepflicht für grundstücksüberschreitende WLAN-Verbindungen besteht nicht mehr, wie die RegTP schreibt [6]. Allerdings kann eine Meldepflicht anderer Art eintreten, wenn man Dritte via WLAN am eigenen Internet-Zugang teilhaben lässt [7]. Dann wird man selbst zum Provider, für den besondere Rechte und Pflichten gemäß Telekommunikationsgesetz (TKG) gelten. Kleine, geschlossene Nutzergruppen sind davon zwar befreit, aber wenn man diesen Bereich verlässt, hat die RegTP noch nicht abschließend geregelt. Eine Bagatelgrenze ist in der Diskussion, doch ob diese umsatzmäßig oder nach Anzahl der versorgten Teilnehmer gezogen wird, war zum Redaktionsschluss noch offen. Wer plant, seine Nachbarn mitzuversorgen, sollte sich deshalb bei seiner RegTP-Außenstelle (Übersicht auf www.regtp.de) informieren.

Laut der RegTP-Webseite ist man auch bei der Wahl der Antennen frei, solange die im jeweiligen Band erlaubte äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP) eingehalten wird. Zwar nennt die RegTP dort einen Wert von 100 Milliwatt, doch gilt der nur für das 2,4-GHz-Band. Im oberen Teil des 5-GHz-Bandes sind gemäß der auf [6] verlinkten Allgmeinzeiteilung 35/2002 im Outdoor-Betrieb bis zu 1000 Milliwatt EIRP



Der Schaltkasten ist mit etwas Styropor isoliert. So soll die Verlustwärme des Access Points die Temperatur im Kasten auch im Winter über dem Gefrierpunkt halten. Das DSL-Modem steckt in einem zweiten Kasten im Gebäudeinneren.

Debugger einmal anders: PG-Verschraubungen dichten die Kabeleinführungen ab, damit Staub, Spritzwasser und Insekten draußen bleiben.



WLAN-Richtfunk-Regeln

<input type="checkbox"/>	Sichtverbindung
<input type="checkbox"/>	möglichst hoher Standort
<input type="checkbox"/>	möglichst gut bündelnde Antennen
<input type="checkbox"/>	möglichst kurze Antennenkabel
<input type="checkbox"/>	Antennenkabel nicht knicken oder überdehnen
<input type="checkbox"/>	erlaubte Sendeleistung (EIRP) einhalten
<input type="checkbox"/>	Reserve berücksichtigen
<input type="checkbox"/>	Antennenstecker dauerhaft gegen Wasser abdichten
<input type="checkbox"/>	Verschlüsselung nutzen (WPA-PSK)

erlaubt. Auch trotz höherer Streckendämpfung sind deshalb im 5-GHz-Band bei vergleichbarer Empfängerempfindlichkeit prinzipiell etwa doppelt so hohe Reichweiten wie bei 2,4-GHz-Lösungen möglich.

Noch ein T-rauma

Wie schon so mancher T-Kunde vor ihm erlebte auch Nico Lange Abenteuerliches, bis er endlich schnelles Internet nutzen konnte. Bei der ersten Anfrage anno 2000 beschied ihm die Telekom noch abschlägig, T-DSL sei aus technischen Gründen nicht möglich. Eventuell würde es bei fortschreitendem Netzausbau verfügbar. Im Juni 2004 hieß es dann, an seinem Telefonanschluss sei nun sogar T-DSL 3000 möglich. Also beauftragte Nico Lange den Internet-Provider 1&1 mit der Einrichtung. Nachdem sich zwei Wochen lang nichts getan hatte, rief er an und erfuhr, dass die T-Com den DSL-Auftrag kurz vorher ohne Angabe von Gründen storniert hatte.

Seine Nachfrage bei der Telekom führte zu Rätselraten, denn der Blick der Call-Center-Mitarbeiterin in den Computer zeigte doch „T-DSL 3000“ an, allerdings auch den widersprechenden Vermerk, dass auf dieser „PE“

(Periphere Einrichtung, vulgo Telefonanschluss) kein DSL möglich sei. Ursache der Verwirrung: Die Telekom hatte kürzlich die Adressdaten abgeglichen. Prüft sie nun nach der postalischen Anschrift, ist DSL möglich, doch prüft sie nach der technisch ausschlaggebenden Vorwahl, dann wieder nicht. Dieser Reinfall gab schließlich den Anstoß, selbst tätig zu werden und sich das schnelle Internet per WLAN-Richtfunk aus dem Gewerbegebiet des Nachbarorts Bad Langensalza zu holen.

Doch auch mit der Einrichtung des DSL-Anschlusses im Gewerbegebiet gab es Schere-reien. Bei Beauftragung des T-DSL-Anschlusses mit der Anschrift im Gewerbegebiet kam zunächst keine Bestätigung für den Teilauftrag DSL. Dann sei dort plötzlich doch kein DSL möglich, weil keine Hauptamt-leitung verfügbar sei, aber der Auftrag für den unerlässlichen Telefonanschluss werde wunsch-gemäß ausgeführt. Erst nach-dem Nico Lange mit einer Scha-denersatzforderung drohte, weil er wegen der Zusage Folgein-vestitionen getätigt hatte, kam der Moloch in Trab. Man könne einen T-DSL-light-Zugang schal-ten, der mit 384 kBit/s laufe. Der funktioniert zwar inzwischen,

aber Nico Lange darf dennoch für einen eigentlich überflüssigen zweiten Telefonanschluss sowie das deutlich schnellere T-DSL-1000 zahlen.

Fazit

Mit Gesamtkosten von rund 1300 Euro für die hier vorgestellte Strecke ist stabiler WLAN-Richt-funk über mehrere Kilometer nicht zum Media-Markt-Tarif zu haben. Aber er ist dennoch mit Amateurmitteln und handelsüb-licher Hardware machbar. Seine Erfahrungen will Nico Lange auf einer eigenen Website (www.wlan-skynet.de) dokumentieren, Interessierte können dort den Fortschritt des Projekts verfolgen. (ea)

Literatur

- [1] LCOS-Referenzhandbücher, www.lancom-systems.de/downloadliste.php?pid=257
- [2] Oliver Bartels, Wellenfänger, So funktionieren Antennen, c't 9/03, S. 176
- [3] Fresnel-Zonen-Berechnung, www.lancom-systems.de/antennenrechner2.php
- [4] VDE-Merkblatt Blitzschutz und Antennenerdung von Funksystemen, www.vde.com/VDE/Ausschuesse/Blitzschutz/Publikationen/
- [5] Frank Sichla, Blitz- und Überspannungsschutz für Antennen, Geräte und Anlagen, 1. Auflage 2004, Verlag für Technik und Handwerk, ISBN 3-88180-805-1
- [6] WLAN-Funkanwendungen (Wireless Local Area Network), www.regtp.de/reg_tele/start/in_05-11-01-05-00_m/
- [7] Joerg Heidrich, Mini-Provider und Schwarz-Surfer, Rechte und Pflichten in Wireless-Netzen, c't 13/04, S. 102

dBm und EIRP

In der Nachrichtentechnik hat sich das logarithmische Maß Dezibel (dB) verbreitet, weil es die Berechnung der Verstärkung größerer Systeme (etwa Ketten aus Sender, Antennenkabel und Antenne) erleichtert. Denn durch den Logarithmus reduzieren sich Multiplikationen auf Additionen. Die Gesamtverstärkung kann man so durch schlichtes Summieren bestimmen. Beim Vergleich von Leistungen gilt die Beziehung $A[\text{dB}] = 10 \cdot \log(P2/P1)$. Dabei sind P1 und P2 die zu vergleichenden Leistungen und A die Verstärkung. Positive Werte bedeuten, dass P2 größer als P1 ist, also eine Verstärkung vorliegt. Negative Werte zeigen Dämpfung an. Das dBm steht indes für eine konkrete Leistung, weil es sich auf ein Milliwatt als Vergleichspegel bezieht: $P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log(P[\text{mW}]/1 \text{ mW})$.

dBm	Leistung in Milliwatt
+30	1000
+20	100
+10	10
+6	4
+3	2
0	1
-3	1/2
-6	1/4
-10	0,1
...	...
-90	0,000000001

Bei Antennen findet man das dBi. Es gibt an, wie viel stärker als ein imaginärer, echter Rundumstrahler (isotroper Strahler) eine Antenne in ihre Vorzugsrichtung funkt. Die äquivalente isotrope Strahlungsleistung einer Sendeanlage (EIRP) kann man dann aus der Senderausgangsleistung (beispielsweise 20 dBm), dem Kabelverlust in der Antennenzuleitung (angenommen 3 dB) und dem Antennengewinn (zum Beispiel 8 dBi) durch Addition ermitteln: $20 \text{ dBm} - 3 \text{ dB} + 8 \text{ dBi} = 25 \text{ dBm EIRP}$. Dieser Wert läge im 2,4-GHz-WLAN-Band über den hierzulande erlaubten 20 dBm. Man muss dann die Ausgangsleistung des WLAN-Geräts um mindestens 5 dB drosseln, um legal zu funken.



Selbstverschweißendes Klebeband, das der Lancom-Antenne beiliegt, dichtet alle Steckverbinder gegen Regenwasser ab. Gewöhnliches Isolierband würde sich nach einiger Zeit lösen.

Kabelbinder fixieren die Koaxleitung am oberen Mastende, damit der Antennenstecker keinen mechanischen Stress abbekommt.

