

54 Mbit/s über 750 m

Untersuchungen an einer WLAN
Richtfunkstrecke mit einer
Strahlungsleistung von 100 mW EIRP

Alfred Ebberg

Abstract

Drahtlose Datennetze eignen sich nicht nur für die Büro-umgebung, es lassen sich auch Richtfunkstrecken, die als Ersatz für Mietleitungen dienen können, realisieren. Ein wesentlicher Nachteil von Standard WLAN Komponenten ist dabei allerdings ihre geringe Reichweite, da die gesetzlichen Bestimmungen für das 2,4-GHz-ISM Band hierzu-lande lediglich Sendeleistungen von +20 dBm EIRP erlauben. Durch Einsatz einer Kombination von Empfangsvorverstärker und Parabol-Richtantenne ist jedoch eine deutliche Reichweitensteigerung möglich. Mit derartigen WLAN-Sets können Reichweiten von bis zu 12 Kilometern bei einer Brutto-Datenrate von 11 MBit/s bzw. 1km bei einer Brutto-Datenrate von 54 Mbit/s erzielt werden. Dabei wird die Erhöhung der Reichweite nicht über eine unzulässige Erhöhung der Sendeleistung, sondern ausschließlich durch eine Verbesserung des Signal-Rauschabstandes (S/N) beim Empfang erzielt. Der vorliegende Artikel berichtet über Reichweitenunter-suchungen, die an der Fachhochschule Westküste [5] in Heide, durchgeführt wurden, und zwar über eine Distanz von 750 m bei einer Brutto-Datenrate von 54 Mbit/s.

1. Einleitung

Die Akzeptanz und der Einsatz von drahtlosen Netzwerken nimmt stetig zu. Die Spanne der Anwender reicht dabei von Großunternehmen über öffentliche „Hot Spots“ in Flughäfen oder Hotels bis hin zum Heimanwender, wo das WLAN in heimischen Gateways den drahtlosen Internet-Anschluss von PCs und Notebooks zur Verfügung stellt. Die wesentlichen Vorteile sind dabei die schnelle Installation ohne auf vorhandene Kabelinfrastruktur Rücksicht nehmen zu müssen, sowie ein mobiler Netzzugang innerhalb der Reichweite der Access Points.

Neben den genannten Anwendungen lassen sich mit den erhältlichen WLAN Komponenten auch Richtfunkstrecken realisieren, die z.B. als Ersatz für Mietleitungen dienen können. (Wenn die Strecken Grundstücksgrenzen überschreiten, z.B. zur Anbindung offener Benutzergruppen an das Internet, so ist eine Genehmigung der Regulierungsbehörde erforderlich). Hierbei können z.B. zwei fest installierte Access Points miteinander kommunizieren und angeschlossene Netzwerke miteinander verbinden.

Gängig sind heute Funknetzwerke, die nach dem 1997 erschienenen und 1999 überarbeiteten Standard IEEE 802.11 arbeiten und zwar mit Datenraten von brutto bis zu 11 Mbit/s (Substandard 802.11b) bzw. 54 Mbit/s (Substandard 802.11g vom 12.06.2003). Beide Substandards arbeiten im lizenz- und gebührenfreien 2,4 GHz ISM Band.

Bei der Anwendung in Richtfunkstrecken spielt die überbrückbare Entfernung eine nicht unerhebliche Rolle. Standard WLAN Produkte weisen je nach Umgebung und Datenrate Reichweiten von einige 10m (in Gebäuden) bis zu 100 m (im Freien) auf. Eine Steigerung der Reichweite durch Erhöhung der Sendeleistung ist zwar theoretisch möglich, verstößt jedoch gegen geltendes Recht, da hierzu-lande die Sendeleistung auf 100 mW (+20dBm) EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) gesetzlich begrenzt wird. Eine Reichweitenerhöhung durch den Einsatz von Richtantennen ist jedoch gesetzlich zulässig, wenn durch eine Reduzierung der Sendeleistung die obengenannte Strahlungsleistung von +20 dBm EIRP nicht überschritten wird. Eine weitere Steigerung der Reichweite kann durch Verwendung eines rauscharmen Empfangsvorverstärkers im Empfangszweig des Access Points erzielt werden. Hierdurch lassen sich Systemrauschzahlen von ca 1,5 dB erreichen, während Standard WLAN Produkte Rauschzahlen von 4,5 dB und schlechter aufweisen. Der Vorverstärker kann somit als entferntes Frontend der WLAN Baugruppe angesehen werden, mit dem weiteren Vorteil, dass die nachfolgende Kabeldämpfung kompensiert wird. Mittlerweile werden derartige Verstärker zum Teil mit passenden Richtantenne kommerziell angeboten.

2. Streckenberechnung

Die Berechnung der Funkfelddämpfung zwischen zwei Standorten, bzw. die Berechnung der Empfangsleistung an einem Standort ist besonders einfach, wenn quasioptische Sicht zwischen den beiden Antennen besteht. Diese freie Ausbreitung liegt immer dann vor, wenn das Volumen des sogenannten Fresnelellipsoids frei von Hindernissen ist. Dieser ist definiert als der geometrische Ort aller Punkte, bei denen die Summe der Abstände von den beiden Antennen um eine halbe Wellenlänge größer ist, als der direkte Abstand zwischen den Antennen. Wellen, die an Hindernissen innerhalb des Fresnelellipsoids reflektiert werden, besitzen eine ausreichend große Amplitude, um Interferenzstörungen mit der direkt einfallenden Welle zu erzeugen, was zu Schwankungen des Empfangssignals dem sogenannten Fading führt. Die Schnittfläche durch das Fresnelellipsoid senkrecht zur Ausbreitungsrichtung wird als erste Fresnelzone bezeichnet (Bild 1). Erst bei Funkfeldlängen von über 10 km sind zusätzlich Erdkrümmung sowie atmosphärische Brechung nicht mehr zu vernachlässigen [1].

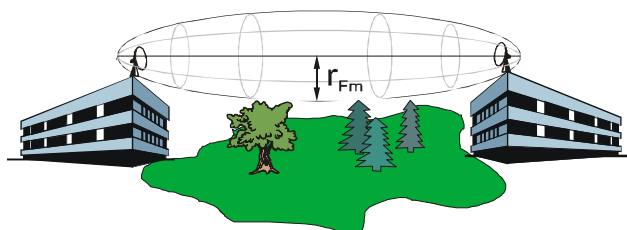


Bild 1 Schematische Darstellung des Fresnelellipsoids

Der größte Radius r_{FM} der ersten Fresnelzone in der Mitte des Funkfeldes berechnet sich nach [1] zu:

$$\frac{r_{FM}}{m} = 15,8 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{m} \cdot \frac{d}{m}}$$

Hierbei bedeuten λ die Wellenlänge und d die zu überbrückende Entfernung. Bild 2 zeigt r_{FM} als Funktion der Entfernung d .

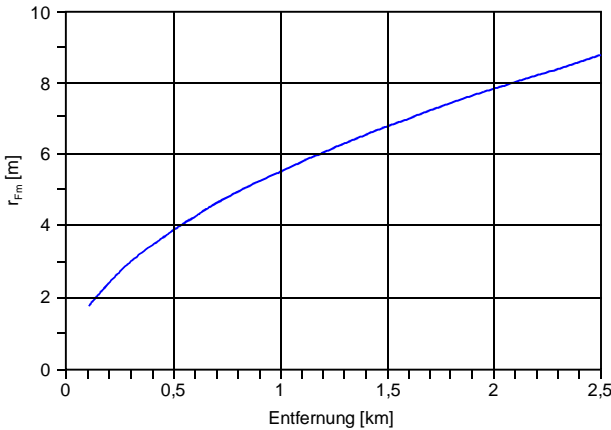


Bild 2 Radius der ersten Fresnelzone r_{FM} in Funkfeldmitte als Funktion der Entfernung

Ist die Bedingung der freien ersten Fresnelzone erfüllt, so kann die Empfangsleistung P_E einer Richtfunkstrecke bei gegebener Sendeleistung P_S wie folgt berechnet werden:

$$P_E = \underbrace{P_S \cdot G_S}_{EIRP} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \cdot G_E$$

Hierbei bedeuten: G_S und G_E die Antennengewinne von Sende- und Empfangsantenne im linearen Maßstab. Die Größe $P_S \cdot G_S$ stellt die sogenannte effektive Strahlungsleistung $EIRP$ dar, die auf 100 mW begrenzt ist. Wird ein Empfangsvorverstärker in unmittelbarer Nähe der Antenne eingesetzt, der über ein Kabel mit der WLAN Komponente verbunden ist, so ist die Empfangsleistung noch mit dem Faktor G_{AMP} zu multiplizieren, der die resultierende Einfügedämpfung bzw. -verstärkung berücksichtigt. Bild 3 zeigt die berechnete Empfangsleistung P_E als Funktion der überbrückten Entfernung für drei verschiedene Antennen-durchmesser, bei einer effektiven Strahlungsleistung von $EIRP = 100mW$. Der Faktor G_{AMP} wurde in diesem Beispiel zu 1 angenommen was durch die nachfolgend beschriebenen Messungen für die verwendete Kombination aus WLAN Bridge und Antennenvorverstärker mit Kabelzuführung bestätigt wurde.

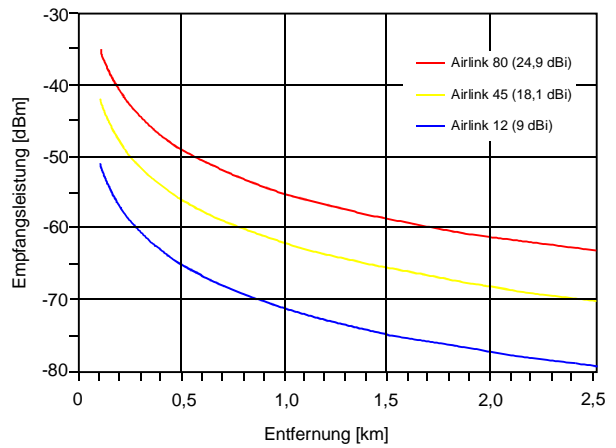


Bild 3 Empfangsleistung als Funktion der überbrückten Entfernung für drei verschiedene Antennendurchmesser

Die überbrückbare Entfernung d als Funktion des Antennengewinns G_E bei einer effektiven Strahlungsleistung von $EIRP = 100mW$ berechnet sich zu:

$$\frac{d}{m} = 3,08 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{G_E}{P_E/W}}$$

Bild 4 zeigt die überbrückbare Entfernung für unterschiedliche Empfangsleistungen P_E .

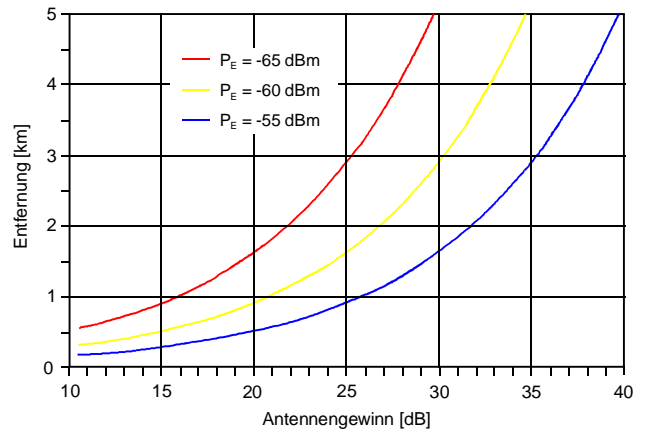


Bild 4 Überbrückbare Entfernung als Funktion des Antennengewinns G_E für unterschiedliche Empfangsleistungen P_E

Für die Rauschleistung P_R am Empfängereingang gilt:

$$P_R = k \cdot T \cdot B \cdot F$$

Hierbei bedeuten: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{Ws/K}$ die Boltzmannkonstante, T die Systemtemperatur in Kelvin, B die Empfänger-Bandbreite und F die Empfängerrauschzahl. Bei einer angenommenen Bandbreite von $B = 10\text{MHz}$, einer Systemtemperatur von $T = 290\text{K}$ und einer Rauschzahl von $F = 1,4$ (entspricht einem Rauschmaß von

$NF = 1,5dB$), erhält man eine Rauschleistung am Empfänger von $P_r = 56,03 \cdot 10^{-15} W$ ($-102,5dBm$).

3. Reichweitentest

Es wurden Übertragungsversuche mit je einer Wireless LAN Bridge der Firma Artem vom Typ CPS-BR-g [3] in Kombination mit einem Wireless LAN Set der Firma SSB Electronic [4] durchgeführt. Das Set besteht dabei aus einer AIRLINK-45 Richtantenne (Parabolspiegel mit 45 cm Durchmesser, Gewinn: 18,1 dBi), dem Receive-Booster RX 2400 im wasserdichten Gehäuse, einem Jumperkabel für die Verbindung Antenne/Booster, 20 m verlustarmem und hochflexiblem Koaxkabel ECOFLEX 10, dem DC-Injector zur Fernspeisung des Vorverstärkers sowie einem 230 V Netzteil. Bild 5 zeigt die Kombination aus Receive-Booster und Airlink Richtantenne.



Bild 5 Kombination aus Airlink Richtantenne und Receive-Booster

Durch ein eingebautes Dämpfungsglied im Sendezweig wird sichergestellt, dass die zulässige Sendeleistung vom +20 dBm nicht überschritten wird. Die oben genannte Kombination ist damit konform zur gültigen europäischen R&TTE Directive (Radio & Telecommunications-Terminal-Equipment) und entsprechenden Richtlinien über Funkanlagen und Telekommunikations-Endeinrichtungen vom 9. März 1999. Sie dürfen somit in der Bundesrepublik Deutschland und vielen europäischen Ländern eingesetzt werden.

Als Standorte für den Reichweitentest wurde das Gebäude der Fachhochschule Westküste in Heide sowie ein 750 m entferntes Hochhaus gewählt. Zwischen beiden Standorten bestand Sichtverbindung, die Höhen der Antennen waren ca. 15m bzw. 25 m über Grund. Das Gelände zwischen den Standorten besteht vorwiegend aus Wiesen mit vereinzeltem Baumbestand. Nach Bild 2 beträgt der Radius des Fresnellipsoids in Funkfeldmitte ca. 4,5 m, sodass bei den

gewählten Antennenhöhen mit Freiraumausbreitung gerechnet werden kann.

Aufgrund des geringen Durchmessers der Antennen beträgt der Antennengewinn lediglich 18,1 dBi und die 3 dB Breite der Strahlungskeule liegt bei $20,1^\circ$. Die Ausrichtung auf die Gegenstation erwies sich daher als relativ unkritisch. Auf Antrieb konnte eine Verbindung zwischen den beiden Stationen mit einem Signal-Rauschabstand von 43 dB hergestellt werden. Die Signalleistungen lagen bei -59 dBm. Dabei lagen die Werte bei beiden Stationen innerhalb eines Bereichs von $\pm 1dB$. Die Signalleistungen, der Signal-Rauschabstand SNR, die übertragenen Datenraten sowie die Qualität der Verbindung wurden dabei mit einer mit der WLAN Bridge gelieferten Testsoftware bestimmt. Der Hersteller der Bridge gibt bei einer Datenrate von 54 Mbit/s eine Empfangsempfindlichkeit von -65 dBm an, sodass Daten mit der maximalen Datenrate von 54 Mbit/s ausgetauscht werden konnten. Dabei wurden 85 von 105 empfangenen Frames mit einer Datenrate von 54 Mbit/s, 7 mit einer Datenrate von 48 Mbit/s und 13 Frames mit einer Datenrate zwischen 1 und 36 Mbit/s empfangen.

Die Übertragung einer Datei der Größe 97,223 MByte unter Windows XP dauerte dabei 56 s.

Durch Einfügen eines variablen Dämpfungsgliedes in die Zuleitung zur Antenne an einem Standort wurde eine erhöhte Streckendämpfung simuliert. Tabelle 1 zeigt die gemessenen Ergebnisse.

Dämpfung/dB	Empfangsleistung/dBm	SNR/dB	Zeit/s	Link Qualität
0	-59	43	56	exzellent
5	-66	36	60	exzellent
10	-71	31	92	exzellent
15	-76	26	102	exzellent/ gut
20	-80	22	-	gut
25	-84	18	-	gut
30	-88	14	-	gut/marginal
35	-91	11	-	marginal

Tabelle 1 Ergebnisse des Reichweitentests mit unterschiedlichen Zusatzdämpfungen

Eine Zusatzdämpfung von 5 dB reduzierte dabei die Empfangsleistung auf -66 dBm und führte bereits dazu, dass die Rahmen nur noch mit einer Datenrate von 48 Mbit/s und darunter empfangen werden konnten. Eine weitere Erhöhung der Zusatzdämpfung auf 10 dB, bzw. 15 dB bewirkte eine Reduktion der Übertragungsrate auf Werte zwischen 1 und 24 Mbit/s. Für die Einfügedämpfungen 20 dB bis 35 dB wurden die Zeiten für die Übertragung der Testdatei nicht bestimmt.

Die durchgeführten Messungen lassen erkennen, dass die Richtfunkstrecke in der beschriebenen Kombination für die Datenrate von 54 Mbit/s an der Empfindlichkeitsgrenze betrieben wurde. Eine Systemreserve, wie sie üblicherweise für eine sichere Verbindung vorhanden sein muss, ist hier so gut wie nicht vorhanden. Bei Reduzierung der Empfangsleistung z.B. durch Erhöhen des Abstandes, werden Daten nur noch mit reduzierter Datenrate übertragen.

Legt man die Richtfunkstrecke mit einer Systemreserve von 5 dB aus (Empfangsleistung $P_E = -55\text{dBm}$), so lassen sich nach Bild 3 mit der getesteten Kombination Entfernungen von 1 km (Airlink 80), 450m (Airlink 45) bzw. 150m (Airlink 12) überbrücken.

4. Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass es möglich ist, mit Standard WLAN Komponenten und unter Verwendung von Richtantennen sowie geeigneten rausch-
armen Vorverstärkern, Richtfunkstrecken mit einer Brutto-Datenrate von 54 Mbit/s über Entfernungen von bis zu 1 km zu realisieren. Dabei wird die Reichweitenerhöhung nicht durch eine unzulässige Steigerung der Sendeleistung, sondern ausschließlich durch eine zulässige Erhöhung des Signal-Rauschabstandes auf der Empfangsseite erreicht. Sollen größere Entfernungen überbrückt werden, so sind Antennen mit größerem Durchmesser und damit größerem Gewinn erforderlich. Bei der Realisierung einer Richtfunkstrecke ist auf jeden Fall eine Systemreserve einzuplanen, um auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen eine sichere Verbindung zu gewährleisten.

Literatur

- [1] H. Brodhage, W. Hormuth, „Planung und Berechnung von Richtfunkverbindungen“, Siemens AG, Berlin, München
- [2] E. Pehl, „Mikrowellen in der Anwendung“, Hüthig Verlag, Heidelberg
- [3] www.artem.de
- [4] www.ssb.de
- [5] www.fh-westkueste.de
- [6] www.ix-cad.de

Die beschriebenen Untersuchungen wurden an der Fachhochschule Westküste in Heide durchgeführt. Unterstützt wurden die Messungen durch Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Schütte, Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jürgen Naumann, Dipl. Ing. (FH) Matthias Scheel sowie Cand. Ing. Andreas Martens. Der Autor unterrichtet an der Fachhochschule Westküste im Studiengang Kommunikationstechnik und ist Mitbegründer der Firma ix-cad GmbH [6].

Prof. Dr.-Ing. Alfred Ebberg
ix-cad GmbH
Fritz Thiedemann Ring 20
25746 Heide