

Paul Tresselt

Email: [Paul@Tresselt.net](mailto:Paul@Tresselt.net)

Internet: <https://www.tresselt.net>

## Antennen für das Wireless LAN im 2,4 GHz Band

Wenn Rechner miteinander verbunden werden sollen, geschieht das normalerweise durch Netzkabel. Da die Verlegung von Kabeln manchmal kompliziert oder unmöglich ist, ist in den letzten Jahren die drahtlose Vernetzung aktuell geworden. Aus Gründen der einfachen Installation sind auf diese Weise viele Firmen, Krankenhäuser und Schulen vernetzt worden. Die Vernetzung hat noch an Bedeutung gewonnen durch die Einführung von DSL als Internetanschluss. Gerade in den Schulen wurde schnell der Wunsch laut, mit mehreren Rechnern gleichzeitig im Internet zu surfen. Im Privatbereich auch, nachdem mehrere Rechner in den Haushalten vorhanden waren. Bei einigen Providern ist das nicht gestattet, aber es wird von den meisten geduldet.

Seit Windows 98 ist die Verbindung von mehreren PCs als Softwarelösung möglich. Derartige Lösungen haben den Nachteil, dass der mit dem Internet verbundene PC immer eingeschaltet sein muss. Ein Hardware-Router ist ihnen überlegen, weil immer nur der PC eingeschaltet sein muss, von dem gerade das Internet genutzt werden soll. Er besitzt außerdem eine Firewall, die vor Angriffen auf die dahinter liegenden PCs schützt. Solche Router gibt es mit Anschlüssen für Netzkabel, aber auch für drahtlose Netze, die sich inzwischen immer mehr durchsetzen, weil ihre Übertragungsgeschwindigkeit von ehemals 11 Mbps über 54 Mbps inzwischen durch Kompressionsverfahren auf 100 Mbps gesteigert wurde.

Als Übertragungsmedium zwischen den Rechnern des Netzwerks werden Funkwellen im Mikrowellenbereich benutzt, die sich schon fast wie optische Wellen ausbreiten. Das drahtlose Breitbandnetz arbeitet im 2,4 GHz-Bereich, wobei nach dem europäischen Standard IEEE 802.11b 13 Kanäle zwischen 2,412 GHz und 2,472 GHz freigegeben sind.

Da sich die Wellenlänge  $\lambda$  aus dem Quotienten von Lichtgeschwindigkeit  $c$  und Frequenz  $f$  errechnet, ergibt das eine Wellenlänge von etwa 12 cm.

Dabei sinkt die Übertragungsleistung quadratisch mit dem Abstand zur Quelle. Innerhalb bebauter Flächen ist der Ausbreitungsradius wesentlich geringer und lässt sich nicht einfach voraussagen. In Wohngebäuden ist es noch schwieriger. Während die Hersteller von Routern oder Accesspoints für drahtlose Netzwerke einen Empfang bis zu einer Entfernung von 100...300m werbewirksam garantieren, kann dies bei schwierigen Wohnverhältnissen leicht auf 10m zusammenschrumpfen. Stahlbetondecken und metallische Gegenstände (z.B. Heizkörper, Gitter, Türcargen, Halogenlampen) reflektieren die elektromagnetischen Wellen und erschweren die drahtlose Kommunikation gewaltig.

### Was tun, wenn die Sendeleistung nicht ausreicht?

Wie bei allen Funkverbindungen braucht man eine gute Antenne. Die auf den Routern und Netzkarten vormontierten Antennen sind Dipole mit einer Sende- und Empfangsleistung von 2 dBi (das ist die Abkürzung von 2 Dezibel isotropisch). Dieses Maß von 2 Dezibel ist logarithmisch und bezieht sich auf eine isotropische Sendeleistung, was einer rundum kugelförmig abstrahlenden Antenne entsprechen würde. Die gibt es aber eigentlich gar nicht, denn jede Antenne strahlt in ihrer Vorzugsrichtung ab, also bei einer senkrecht stehenden Antenne vorzugsweise in 90° Richtung. Derartige Antennen funktionieren also nur gut bei einer einwandfreien Sichtverbindung ohne viele störende Reflexionen. Wenn die Rechner mit den Empfangsantennen unter Schreibtischen stehen, in anderen Stockwerken untergebracht sind oder sich gar in anderen Häusern befinden, sieht es schlecht aus.

Will man eine einwandfreie Übertragungstrecke haben, muss man die Empfangsleistung mit einer besseren Antenne erhöhen.

Das ist zunächst einmal nicht so einfach, denn in Deutschland ist die Gesamtleistung einer Antenne auf 20 dBi begrenzt. Die Firma D-Link gibt für ihren Router DI 616+ z.B. eine Leistung von 100mW = 17dBi an, so dass für weitere Experimente nur wenig Raum bleibt.

Allerdings haben die Messergebnisse der Computerzeitschriften ergeben, dass diese Leistung in keinem Fall erreicht wird, sondern in den meisten Fällen bei effektiven 30mW bleibt. Das wissen die Firmen auch, denn sie bieten eine große Palette externer Antennen in einem Bereich von 5...14,4dBi an, damit die Funkvernetzung innerhalb von Gebäuden oder zwischen Gebäuden stabil gehalten werden kann.

## Lösung 1: Omnidirektionalantenne

Wenn man einen Router oder eine Netzwerkkarte für drahtlosen Empfang kauft, ist werkmäßig eine kleine Antenne montiert, die eine Strahlungsleistung von 2 dBi und eine Rundstrahlcharakteristik aufweist. Darum heißen sie Omnidirektionalantennen.

Enhanced 2.4GHz (802.11b)  
Wireless PCI Adapter  
DWL-520+

*Up to 22Mbps and fully  
compatible with 802.11b*



Enhanced 2.4GHz (802.11b)  
Wireless Broadband Router  
DI-614+

*Up to 22Mbps and fully  
compatible with 802.11b*



Von den Router-Herstellern werden auch

Antennen mit einer Leistung von 5 dBi und mehr angeboten. Es ist allerdings eine genaue Ausrichtung erforderlich, weil ein Abweichungswinkel von etwa  $15^\circ$  bereits ausreicht, um die Leistung um 3 dB abzuschwächen. Router besitzen zwar zwei Antennen, senden aber nur mit einer. Die zweite Antenne ist dafür da, Kontrollsignale von der Netzwerkkarte zu empfangen und auszuwerten. Man muss also ausprobieren, welche die Sendeantenne ist und diese dann durch eine bessere Antenne ersetzen. Der Standort des WLAN-Routers innerhalb eines Hauses ist natürlich auch entscheidend.

Die Sendeleistung kann man leicht am Monitor ablesen, denn die drahtlosen Netzwerkkarten werden mit einer Installationssoftware geliefert, die neben den Transferdaten und dem Kanal auch die Signalstärke anzeigt.

Omnidirektionalantennen ergeben die beste Leistung, wenn sie beim Sender und Empfänger in gleicher Höhe montiert sind. Wird über mehrere Stockwerke gesendet, müssen die Antennen zueinander ausgerichtet werden (Manchmal auch schräg oder umgekehrt, weil das Antennensignal durch Reflexionen gedreht werden kann und im Haus ein Mix aus horizontal und vertikal polarisierten Signalen entsteht.).

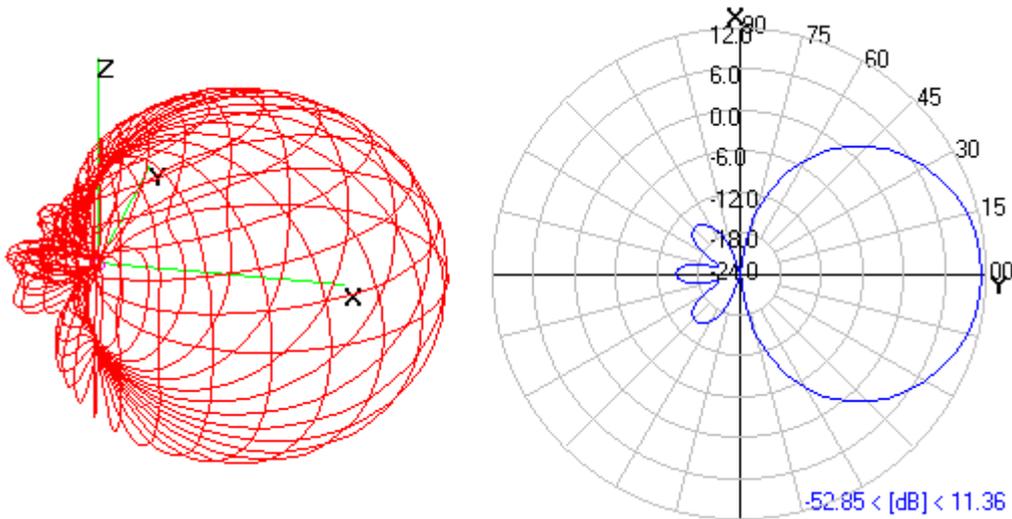
Leider reichen derartige Antennen trotzdem oft nicht aus, so dass im Folgenden die Möglichkeiten eines Selbstbaus von W-LAN-Antennen empfohlen werden. Sie sind nicht teuer und in der Lage, normalerweise alle Empfangsprobleme innerhalb eines Gebäudes oder zwischen Gebäuden zu lösen. Das Internet enthält so viele Informationen und Bauanleitungen dazu, dass es sich anbietet, auch einmal dieses Thema für den Technikunterricht aufzubereiten.

Der in diesem Heft enthaltene Aufsatz „Bau von Antennen für das Wireless LAN im 2,4GHz-Band“ greift dieses auf und schlägt eine Umsetzung vor.

## Lösung 2: BiQuad-Antenne

Das ist eine Antenne, die aus einem Draht so geformt wird, dass sie in zwei Quadraten von  $\lambda/4$  - Wellenlänge ein Empfangssystem ergibt, das vor einer Reflektorplatte montiert wird. Damit erhält man eine typische Richtantenne, deren Abstrahlverhalten eine Kugelcharakteristik aufweist. Sie muss aber auf den Sender ausgerichtet werden, denn eine Abweichung von  $25^\circ$  ergibt schon eine Leistungsverminderung um 3 dB. Das kann man aus dem Diagramm ersehen.

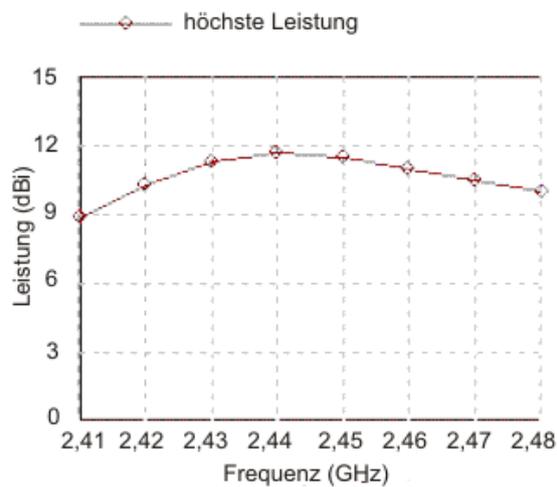
Als Reflektorplatte kann eine handelsübliche CD benutzt werden; damit lässt sich eine Leistung von etwa 10 dBi erreichen. Das bedeutet, dass man die Empfangsleistung mit ein wenig Bastelaufwand und 10.-€ Kosten locker um das Doppelte oder Dreifache steigern kann. Für die meisten Fälle innerhalb einer Wohnung reicht das durchaus aus.



Abstrahlungscharakteristik der Bi-Quad-Antenne



Strahlungsleistung in Abhängigkeit von der Frequenz



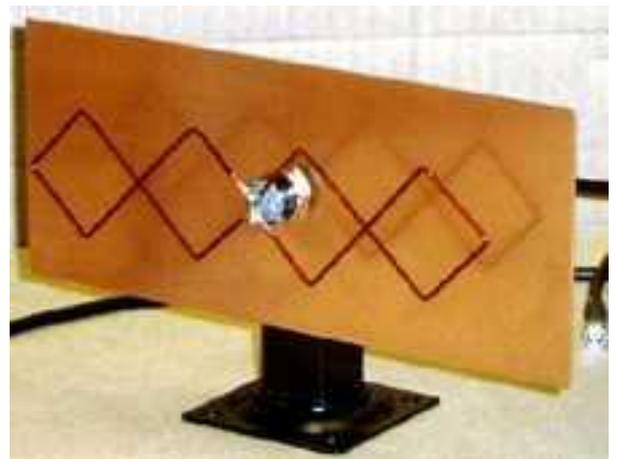
Mit einer Kupferplatte oder einer Aluminiumplatte als Reflektor ist die elektrische Leitfähigkeit sogar noch besser und damit die Gesamtleistung der Antenne höher. Man erreicht auf diese Weise einen Antennengewinn von bis zu 12 dBi.

Da die Sendekanäle von 1 bis 13 auf verschiedenen Frequenzen arbeiten, ist die Empfangsleistung durch die Bauart der Antenne bestimmt. Schafft man es, diese Antenne so variabel zu gestalten, dass sie angepasst werden kann, erhält man eine optimale Empfangsleistung. Das kann man mit dem Installationsprogramm der Netzwerkkarte erreichen, wenn man die einzelnen Kanäle durchprobiert und die Senderfeldstärke mit dem höchsten Wert auswählt.

### Lösung 3: Doppel-BiQuad-Antenne

Die Antennenfreaks und Amateurfunker haben natürlich wesentlich mehr Möglichkeiten ausprobiert und inzwischen mehr als 3000 Bauformen im Internet veröffentlicht. Eine einfache Lösung besteht darin, die Antenne auch zu vier Quadraten mit einer Wellenlänge von  $\lambda/4$  erweitern. Diese Antenne erbringt eine etwas größere Leistung, muss allerdings auch genauer ausgerichtet werden.

In dieser Art gibt es viele Variationen. In Amerika findet man Reflektorplatten mit 8 solcher Doppel-Biquad-Antennen. Der Antennengewinn ist allerdings nicht viel

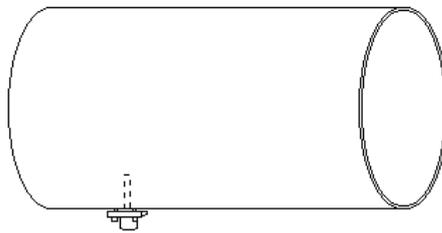


höher als 14 – 15 dBi und die Baugröße ist nicht gerade klein. Für den Selbstbau ist diese Antenne aber gut geeignet.

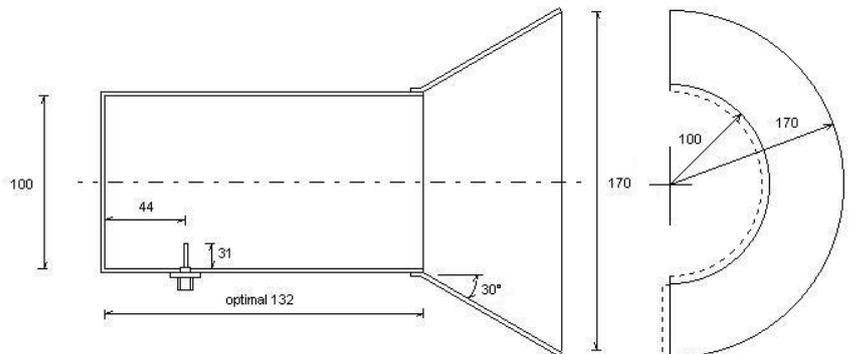
#### Lösung 4: Waveguide-Antenne



Diese Antennenform beruht auf dem Prinzip eines Dosenerragers. Darunter versteht man eine Resonanz – Antenne, die die Funkwellen verstärkt. Grundlage für die Verwendung der Dose ist die Tatsache, dass die Funkwelle, die auf die Dose trifft, sich in der Dose langsamer ausbreitet als in der freien Luft. Da die Dose an einem Ende geschlossen ist, wird die Welle reflektiert und es ergibt sich eine Stehwelle, die an bestimmten Stellen verstärkt oder geschwächt wird. Montiert man an der richtigen Stelle einen Antennenstab mit einem Viertel der Wellenlänge ( $\lambda/4$ ), so erhält man ein verstärktes Signal. Die Qualität dieser Antenne ist abhängig von dem Durchmesser und der Länge der Dose.



Setzt man vor diese Dose noch einen Trichter, kann man einen Antennengewinn von ca. 14 dBi erreichen. Allerdings muss sie genau ausgerichtet werden.



#### Lösung 5: Satellitenschüssel

Zur Überbrückung größerer Entfernungen kann man die vorgenannten Antennen auch auf dem Dach oder auf dem Balkon befestigen. Die längeren Zuleitungskabel ergeben dann aber wieder höhere Verluste. Diese kann man auffangen, wenn man die Biquad-Antenne oder die Waveguide-Antenne auf den Polarisationsarm einer Satellitenschüssel montiert. Auf diese Weise ergeben sich Antennengewinne bis zu 23dBi. Außerdem müssen die Antennen natürlich durch einen Lacküberzug wetterfest gemacht werden. Versuche von spanischen und australischen Computerfreaks haben auf diese Weise eine Reichweite von 18...45 km erzielt. Allerdings wird auch hierbei die in Deutschland zulässige Antennenleistung überschritten.



## Lösung 6: Yagi- und Helix-Antennen

Natürlich gibt es noch bessere Antennenkonstruktionen, die durchaus einen Antennengewinn von 18...24dBi erzielen. Allerdings sind diese dann durch ihre Konstruktion wesentlich aufwendiger und kosten mehr. Außerdem sind die Abmessungen von 50 cm ...1,50 m nicht gerade für den Hausgebrauch geeignet. Oft werden die zulässigen Grenzwerte überschritten.

Wenn man im Internet recherchiert, findet man viele verschiedene Antennenbauformen vor. Diese unterscheiden sich allerdings manchmal nur durch geringe Merkmale und sind nicht alle praktikabel.



## Der Vorteil von Richtantennen und ihre juristische Seite

Man muss ausprobieren, ob die stärkere Antenne besser auf den WLAN-Router gesetzt wird oder an den Rechner angeschlossen wird, der das Funksignal empfangen soll. Wenn die genannten Antennenformen nicht für eine einwandfreie Übertragung ausreichen, kann man zwei Antennen miteinander kombinieren, indem man sowohl am Router eine verbesserte Sendeantenne benutzt als auch am Rechner eine bessere Empfangsantenne einsetzt. Dabei müssen dann beide Antennen genau aufeinander ausgerichtet sein. Durch Reflexionen kann das Antennensignal gedreht werden, deshalb muss man einige Versuche zur Ausrichtung machen. Normalerweise lassen sich damit alle Übertragungsprobleme lösen; allerdings wird in den meisten Fällen die in Europa erlaubte Antennenleistung von 20 dBi überschritten und man macht sich strafbar.

Eigentlich sind Richtfunkstrecken genehmigungspflichtig, innerhalb von Gebäuden wird das allerdings von der Regulierungsbehörde toleriert. Was in Deutschland nicht zulässig ist, ist die Montage der Antennen im Focus von Satellitenschüsseln und einer derartigen Richtfunkstrecke im freien Gelände.

Der große Vorteil bei Richtantennen liegt natürlich in der besseren Abhörsicherheit. W-LAN- Netze haben nämlich eine große Schwäche: Die Basisstation sendet mehrmals pro Sekunde Informationen darüber, ob das Signal verschlüsselt ist, wie die Adresse lautet, welcher Hersteller das Gerät produziert hat, welcher Kanal benutzt wird und welche Geschwindigkeit unterstützt wird. Auf dieses Signal reagiert die drahtlose Netzwerkkarte mit einem Antwortsignal, das fast die gleichen Daten enthält. Ein Router mit einer normalen Omnidirektionalantenne sendet Funkwellen aus, die nicht nur im Gebäude, sondern weit darüber hinaus zu empfangen sind. Hacker können also bei einem War-Drive derartige Netze mit einem Laptop und dem Programm Netstumbler leicht von der Straße aus erkennen, wenn sie auf der Suche nach solchen „Hot- Spots“ sind. Sie können sich in dieses Netz einwählen und dort sensible Daten ausspionieren. Sie können aber auch auf Rechnung des betreffenden Internetanschlusses Käufe tätigen oder Verbindlichkeiten eingehen, für die dieser Internetanschluss dann haften muss.

Seriöse Untersuchungen zu den tatsächlichen oder rechtlichen Risiken drahtloser Computernetzwerke haben ergeben, dass es unmöglich ist, mit den heute auf dem Markt befindlichen Systemen ein vollkommen angriffssicheres WLAN-Netz zu betreiben. Nicht einmal Verschlüsselungen sind sicher. Das zeigen ganz deutlich verschiedene Artikel in den Fachzeitschriften.

Mit Richtantennen kann man die Übertragungsstrecke so bündeln, dass sich ein Fremder nicht mit seinem Rechner einklinken kann. Dieses Verfahren ist besser als ein Verschlüsselungssystem, das bei den Routern softwaremäßig eingestellt werden kann. Denn diese Systeme stellen für Hacker kein Hindernis dar, da Datenpakete mitgeschnitten werden können und der verwendete Schlüssel berechnet werden kann.

Vielleicht ist das ein erwähnenswerter Aspekt im Unterricht, der die nähere Beschäftigung mit Richtantennen als Schutzvorrichtung rechtfertigt.