Bau von Antennen für das Wireless LAN im 2,4-GHz-Band

Quelle:
tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht
Ausgabe 110, Neckar-Verlag, 78050 Vill.-Schwenningen

Unterrichtseinheit für einen Wahlpflichtkurs Technik ab Klasse 8 oder für eine Projektwoche

Von Paul Tresselt

Der Trend geht zum Zweit-PC. In vielen Familien steht heute der alte Computer im Kinderzimmer, weil sich das Familienoberhaupt eine Multimediamaschine mit DVD-Player und -Brenner angeschafft hat. Die Lehrer gehen davon aus, dass die Schüler für ihre Hausaufgaben das Internet als Informationsquelle nutzen. Und wenn dann noch ein anderes Familienmitglied ein Spielefreak ist und mit anderen Fans seine Sessions abhalten will, sind schon 3 Interessenten für einen gleichzeitigen Internetzugriff gefunden.

*Die elegante Lösung ist das drahtlose Netz (WLAN = **W**ireless **L**ocal **A**rea **N**etwork). Im Zuge der sich rasant verbreitenden DSL-Anbindung ist es ohne Weiteres möglich, dass mehrere Surfer die technische Kapazität der Leitung besser ausnutzen.*

Auf die technischen Grundlagen, Vorteile und Nachteile möchte ich an dieser Stelle nicht eingehen, weil sie an anderer Stelle in diesem Heft im Artikel „Antennen für das Wireless LAN im 2,4-GHz-Band" hinreichend beschrieben sind.

- Das nachfolgende Unterrichtsprojekt ist höchst aktuell und innovativ. Es wendet sich an die Schülerinnen und Schüler des 8.–13. Schuljahres aller Schulformen, die technisch interessiert sind und im häuslichen Bereich ein drahtloses Netz einrichten wollen oder eingerichtet haben. Der Bau einer Hochleistungsantenne ermöglicht ihnen durch die Richtwirkung dieser Antenne die Abschirmung gegenüber Hackern, die im Normalfall über „Hotspots" in solche Netze eindringen können.

- Im Unterricht werden die vielfältigen Informationen, die global im Internet vorhanden sind, selektiert und ausgewertet. Mit Hilfe der Informationen aus amerikanischen, französischen, finnischen und Schweizer Webseiten wird eine schülergerechte Bauanleitung für eine Antenne mit guter Leistung erstellt, die nicht zu schwierig ist und die Konstruktionsfreude erhält.

- Anschließend bauen die Schülerinnen und Schüler diese Antenne, wobei sie das Grundmodell dreifach variieren können.

- Der Aufbau der Unterrichtseinheit ist so konzipiert, dass sowohl Vierzehnjährige wie auch Erwachsene ein Ergebnis erhalten, das sich durch ansprechendes Design und hohe Funktionssicherheit, gepaart mit abgestuftem Hintergrundwissen auszeichnet.

- Der Zeitaufwand ist variabel; er bewegt sich je nach Anspruchsniveau und Altersstufe zwischen 6 und 24 Unterrichtsstunden, so dass das Thema hervorragend für einen Workshop oder eine Projektwoche geeignet ist.

1. Motivationsphase

Ganz erstaunt war ich, als ich bei der Ideensammlung zu einer Projektwoche meine Schülerinnen und Schüler im 9. Schuljahr fragte, wer einen Computer zu Hause hätte. Dass sich alle meldeten, hatte ich beinahe erwartet, aber dass auf die Frage: „Welche Familie hat 2 PCs?", mehr als 3/4 der Klasse wiederum die Hand erhoben, verblüffte mich doch.

Vernetzt hatten einige ihre Systeme auch schon und die gemeinsame Internetnutzung interessierte alle.

Gespannt lauschten sie meinen Ausführungen über einen „war drive", wie Hacker eine Fahrt auf der Suche nach „hot spots" bezeichnen, um in fremde Netze einzudringen.

Unter „war driving" versteht man das Umherfahren in Städten und auf dem Land, um drahtlose Netze auszuspionieren. Man benötigt dazu ein Fahrzeug, einen Laptop oder ein Notebook mit einer drahtlosen Netzwerkkarte und einer beweglichen Antenne. Da drahtlose Netze eine Abstrahlung auch außerhalb von Gebäuden haben, ist jemand von außen in der Lage, die Signale zu empfangen und sich möglicherweise in dieses Netz einzuloggen. um kostenlos im Internet zu surfen und ggfs. Daten auszuspionieren oder auch auf dessen Adresse Käufe im Internet zu tätigen.

Bei Hackern ist inzwischen daraus ein Volkssport geworden, zumal sie mit Entschlüsselungsprogrammen und GPS-Systemen ausgerüstet sind, die den Standort bestimmen können, und diesen in Hotspot-Listen im Internet veröffentlichen.

Solche Listen sind heute für fast alle Städte in Europa abrufbar. Schauen Sie selbst einmal im Internet bei folgenden Adressen nach:

http://mobileaccess.de/wlan/

http://www.wardrive.net

http://www.wardriving-forum.de/wiki/

2. Informationsphase

Der/die Kursleiter(in) könnte an dieser Stelle induktiv oder deduktiv vorgehen. Im deduktiven Verfahren würde man fertige Modelle vorführen, ihre Funktion erklären und aufgrund der Fragen zu den technischen Grundlagen kommen. Anhand der Modelle würde man mit Hilfe von OHP-Folien das Hintergrundwissen und die Daten für die Bauanleitung erarbeiten.

Ich schlage aber den induktiven Weg vor, weil ich ihn für spannender und lernintensiver halte. Die Schülerinnen und Schüler lernen die notwendigen Begriffe durch die Internetrecherche und können so mit deutlich größerem Vorwissen zur Gestaltung des Unterrichts beitragen. Das erleichtert nicht nur dem/der Kursleiter(in) die Arbeit, sondern fördert auch den individuellen Lernprozess mit Hilfe des Mediums Internet.

Zunächst bekommen die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe, im Internet Informationen über das WLAN zu beschaffen. Dazu gibt ihnen der/die Kursleiter(in) den Hinweis, mittels einer Suchmaschine (z.B. Google) nach folgenden Begriffen *auf deutschen Webseiten* zu suchen:

WLAN

Drahtlose Vernetzung

Drahtlose Computernetze

Sie sollen sich die interessantesten Webseiten oder Bilder dazu ausdrucken und diese abspeichern bzw. als Lesezeichen oder Favoriten sichern. Darüber hinaus können auch andere Suchbegriffe eingegeben werden, wie z.B.

WARDRIVE

Die mitgebrachten Informationen zur 2. Unterrichtsstunde sind sehr unterschiedlich. Genau das ist aber erwünscht. Einige haben nämlich weitergesurft und sind über viele Links zu interessanten Aspekten gekommen, andere bei nichtssagenden Bildern hängen geblieben. Die Schülerausdrucke werden an die Wandtafel geheftet und besprochen. Dabei stellt sich heraus, dass viele die gleichen Webseiten besucht haben. Übereinstimmend sind www.unawave.de/vernetzung.html und www.wirelessforum.ch von den meisten besucht worden. Die dort auftauchenden Begriffe wie WLAN – Funk-LAN – Netzwerkkarten – Bluetooth – Infrarot – Power Net brauchen gar nicht mehr geklärt werden, weil die Schülerinnen und Schüler längst zu Hause im Selbstlernverfahren im Internet alles begriffen haben.

Natürlich konnte sich keiner verkneifen, unter dem Begriff „wardrive" nachzuschauen. Das war auch durch die Motivation beabsichtigt. Auf diese Weise ist das Interesse nämlich auf das Ziel der Unterrichtseinheit gelenkt worden: den Bau einer Antenne zur Absicherung eines Funknetzes. Die Hintergrundinformationen, die die Schülerinnen und Schüler jetzt mitbringen, sind schon beachtlich.

3. Fokussierungsphase

Das Thema wird nunmehr automatisch auf den Bau von Antennen zugeschnitten, weil bei den Links für den Bau von Antennen folgende Adressen angegeben werden:

www.wavesurf.at/wlan/pages/bastelecke_F.htm

www.saunalahti.fi/elepal/antennit.htm

http://home.t-online.de/home/enigma1/Quad/

Deshalb geht die Gruppe in den Computerraum und besucht gemeinsam die erste Seite www.wavesurf.at von Bernhard Sayer aus Österreich, der eine sehr verständliche Bastelseite mit Erklärung der Fachbegriffe aufgebaut hat. Diese merken sich alle sofort zum Nachschlagen und blättern sie zur Ergänzung des Hintergrundwissens einmal durch. In gleicher Weise sollen sie alle interessanten Links als Lesezeichen oder Favoriten sichern.

Da der auf dieser Seite vorhandene Link www.saunalahti.fi/elepal/antennit.htm sehr ergiebig ist, wird diese finnische Seite in englischer Sprache als weiterer Schritt empfohlen. Die dort vorhandene Linkliste ist eine wahre Fundgrube für Antennenbastler. Sie wird später noch genutzt, wenn Einzelheiten zu der Bauanleitung ergänzt werden müssen. Beim Surfen der Schülerinnen und Schüler wird deutlich, dass die englischen, französischen oder amerikanischen Webseiten keine Schwierigkeiten machen, weil die Grundbegriffe bereits erfasst sind und sehr viele Bilder das Verständnis erleichtern. Hier wird spielerisch ein fachsprachlicher Fremdwortschatz gewonnen.

Nach Durchsicht der deutschen Seite http://home.t-online.de/home/enigma1/Quad/, die schon eine ausführliche Bauanleitung enthält, sind genügend Informationen vorhanden, um die eigene Bauanleitung in Angriff zu nehmen. Ebenso vorbildlich zur Informationsbeschaffung und als Materialquelle ist die Webseite von Friedrich Rappl unter http://home.tiscali.de/frappl/wlan/index.html, dessen Bauanleitung aber miserabel ist. Dafür ist sein e-shop für den Bezug von Steckern, Kabeln und fertigen Bausätzen zu empfehlen.

4. Planungsphase

Wegen der überwältigenden Fülle der Informationen im Internet ist es erforderlich, das Wesentliche herauszukristallisieren, es zu ordnen und dann zu nutzen. Das ist Aufgabe dieser Phase.

Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, aus ihren favorisierten Webseiten alle Texte und Bilder auszudrucken, die für den Selbstbau der Antenne benötigt werden. Diese werden an die Wand geheftet, so dass dort eine Sammlung aus Fragmenten zur Theorie, praktischen Hinweisen und konkreten Basteltipps entsteht.

Bei der nachfolgenden kritischen Betrachtung fällt auf, dass viele Beschreibungen ähnlich sind, weil die Autoren voneinander abgeschrieben haben. Die meisten Artikel gehen auf Altmeister Trevor Marshall zurück, der schon früh viele Beiträge zur Antennentechnik verfasst hat. Es sind auch fehlerhafte Informationen darunter. Erstaunlicherweise finden die Schülerinnen und Schüler diese relativ schnell heraus, weil sie die vorhandenen Texte miteinander vergleichen und diskutieren können.

Anschließend einigt man sich auf den Bau eines bestimmten Modells. Aus Kostengründen und wegen der Formschönheit wird von den Schülerinnen und Schülern meist die Bi-Quad-Antenne mit der CD ausgewählt, obwohl die Leistung dieser Antenne nicht ganz so hoch ist wie die der anderen. Deshalb wird im Folgenden die Baubeschreibung darauf ausgerichtet, wobei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Wahl des Reflektors offen gelassen wird.

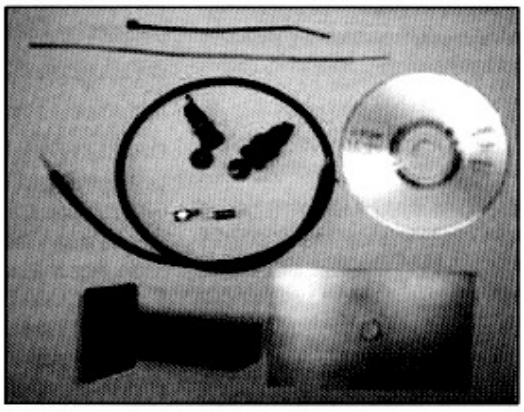
Nach Entfernung der Duplikate und Sortierung der Blätter werden die Arbeitsschritte festgelegt und eine Bauanleitung, die von der Materialaufstellung bis zur Fertigstellung alle Einzelschritte möglichst genau darstellen soll, damit ein Nachbau auch für den Laien leicht möglich ist. Wenn die Ausrüstung der Schule es erlaubt, kann das individuell oder gruppenteilig am Rechner geschehen, andernfalls macht das Verfassen der Texte und die Illustration mit ausgeschnittenen Bildern auch Spaß.

Bauanleitung für eine WLAN-Bi-Quad-Antenne

ARBEITSSCHRITT *ILLUSTRATION*

1 Material bereitlegen:

- 25 cm Kupferdraht oder versilberter Kupferdraht, Ø 1,5 mm (1,2...2,5 mm)
- Einbau-Sicherungshalter für Feinsicherungen oder Einbau-Signallampe
- ca. 60 cm Antennenkabel RG 58, 50 Ohm
- Antennenstecker SMA-RP-03
- Reflektorplatte (handelsübliche CD oder Aluplatte oder kupferkaschierte Platte im Maß von ca. 10 x 14 cm)
- Vierkant-Tischfuß, 10 cm lang, 2 cm □
- Kabelbinder, 10 cm
- evtl. Crimp-Zange für die Fixierung des Antennensteckers (sonst löten)



2 Werkzeug bereitstellen:

- Bohrmaschine mit Bohrer Ø 9,5mm
- Metallsäge
- Reibahle
- Rundfeile, Schleifpapier, Stahlwolle
- Schieblehre, Lineal, Millimeterpapier
- Seitenschneider, Kombizange
- Lötkolben, Elektroniklot
- Heißklebepistole mit Klebepatronen
- Lötlack oder Lackspray

Kosten (ca. im Okt. 2003)

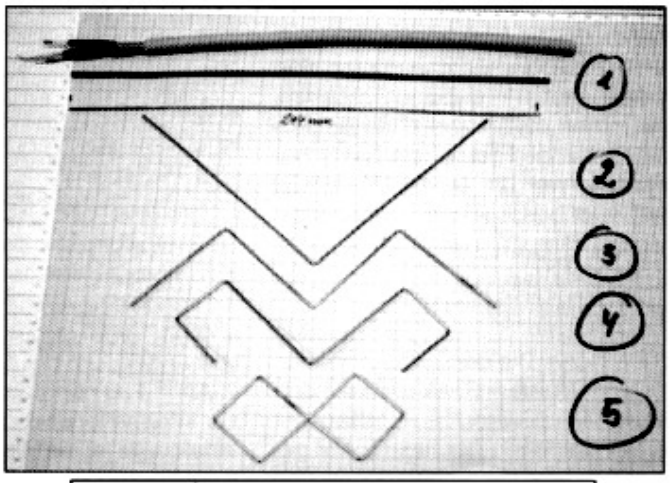
Antennenkabel RG 58, 50 Ohm	0,50 €/m
Einbausicherungshalter oder Signallampenfassung (Conrad)	1,20 €
Kupferkaschierte oder Aluplatte 10 x 14 (Conrad)	1,12 €
Vierkant-Tischfuß (Baumarkt)	1,89 €
Antennenstecker SMA-RP-03 (E-shop Friedr. Rappel)	5,50 €

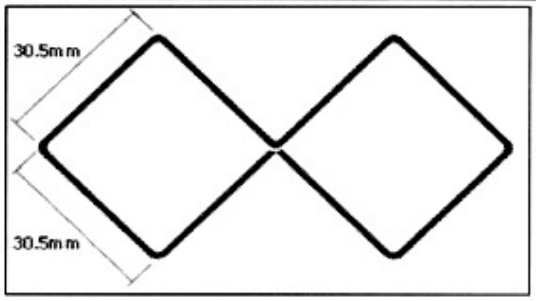
3 Kupferdraht zum Bi-Quad biegen:

Es kann gewöhnlicher Kupferdraht NYM-J aus einer Stegleitung oder Feuchtraumleitung 3x1,5 mm² verwendet werden. Versilberter Draht ist geringfügig besser.

1. Kupferdraht strecken, abisolieren und abschneiden; ein Stück von genau 244 mm Länge abschneiden.
2. Mitte markieren und exakt rechtwinklig biegen.
3. Von jeder Hälfte die Mittelpunkte markieren und wiederum exakt um 90° abknicken.
4. Von jedem Schenkel wiederum die Mitte markieren und ebenfalls abwinkeln.
5. Das Endergebnis müssen zwei symmetrische Vierecke mit einer Kantenlänge von möglichst genau 30,5 mm sein! Gemessen von Drahtmitte zu Drahtmitte. Je exakter die Quadrate, desto besser ist die Antenne!

TIPP: Biegevorrichtung überlegen! Optimal ist ein Winkelblech mit 29 mm Kantenlänge – 30-mm-Vierkantrohre sind im Baumarkt zu finden.

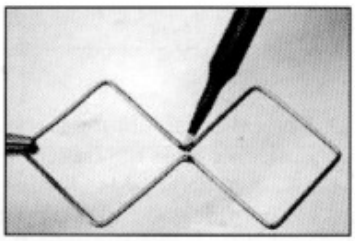




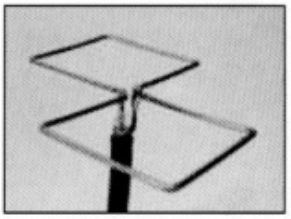
4 Bi-Quad so ausrichten, dass es völlig glatt auf einer Unterlage aufliegt.

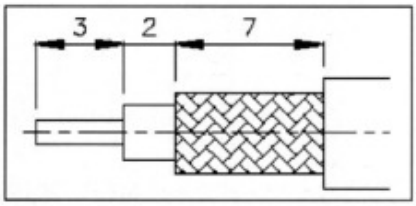
ARBEITSSCHRITT *ILLUSTRATION*

5 Bi-Quad an den Lötstellen verzinnen.
RG-58-Kabel an den Enden abisolieren und verzinnen.

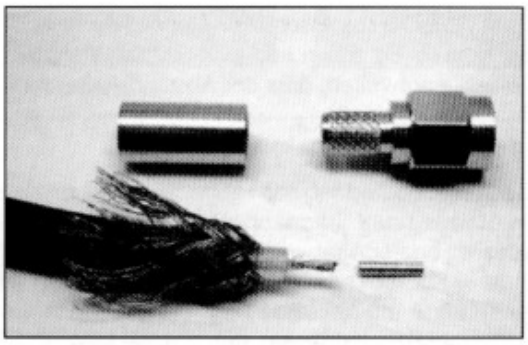


6 RG-58-Kabel an Bi-Quad anlöten, anschließend mit Lack zum Schutz vor Korrosion einsprühen. Besonders Silberdraht überzieht sich schnell an der Luft mit einer Oxidationsschicht, die die Leistung der Antenne herabsetzt. Es lässt sich auch farbiger Lack verwenden.



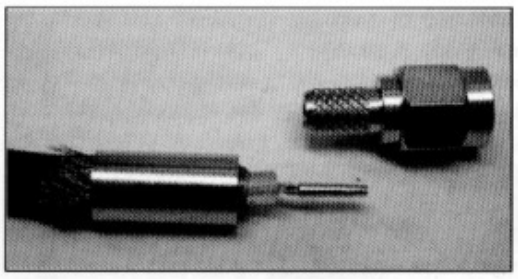


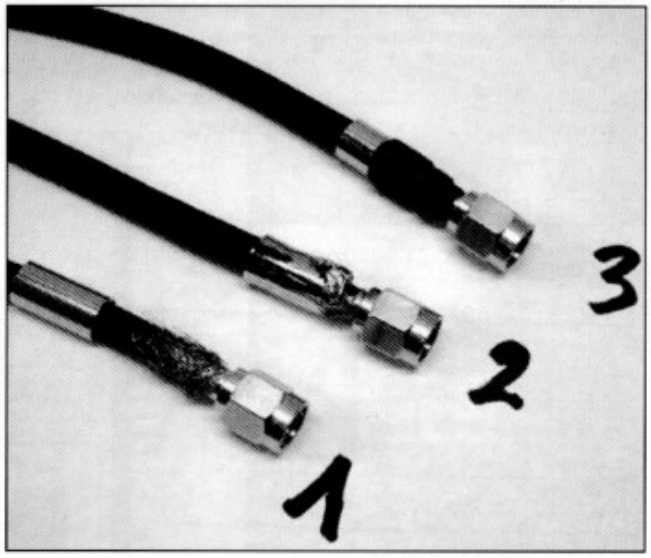
7 SMA RP-03 Stecker anlöten:
HINWEIS: Das ist die wirklich schwierige Stelle des gesamten Aufbaus. Der Stecker ist ziemlich teuer und sehr feinfühlig zu bearbeiten. Schnell sind durch falsches Löten 5,– € verloren. Deshalb ist die Hilfe des Lehrers oder der Lehrerin bei dieser Arbeit unerlässlich. Wer es sich sich nicht zutraut, sollte fertig konfektionierte Kabel bei Rappel kaufen (Adresse s.o.).



ARBEITSEMPFEHLUNG:

1. Kabel nach Bild abisolieren,
2. Pin-Buchse auf Innenleiter stecken und anlöten
3. Hülse auf Kabel schieben,
4. Kabel mit Pin-Buchse in Stecker stecken,
5. Hülse mit Crimpzange crimpen oder anlöten (dann aber mit selbstvulkanisierendem Isolierband umwickeln oder Schrumpfschlauch überziehen – der muss *vorher* über das Kabel gezogen werden).



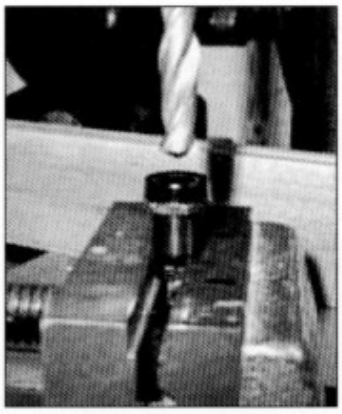


ARBEITSSCHRITT *ILLUSTRATION*

8 Verstellbaren Abstandshalter mit Kabeldurchführung aus einem Einbausicherungshalter oder einer Einbau-Signallampe herstellen:

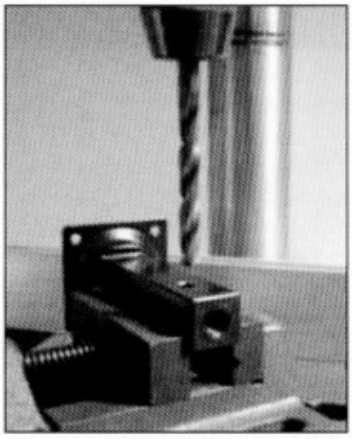
HINWEIS: Die innere Durchführung für das Kabel mit dem Antennenstecker muss mindestens eine lichte Weite von 9,5 mm haben. Metallteile entfernen, geschlossenes Endstück absägen. Vorsichtig einspannen und vorsichtig bohren, damit der Kunststoff nicht platzt.

Zum Trost: Man kann natürlich auch jedes andere Röhrchen nehmen, das innen 9,5 mm Ø aufweist und mindestens 20 mm lang ist; nur sind die Befestigung und die Verstellbarkeit nicht so optimal.



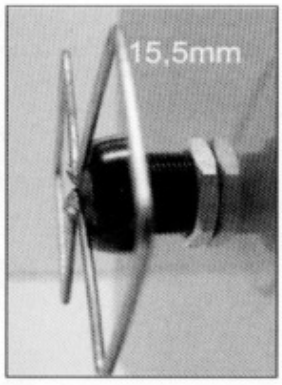
9 Antennenhalter aus einem 10-cm-Vierkant-Tischbein herstellen:

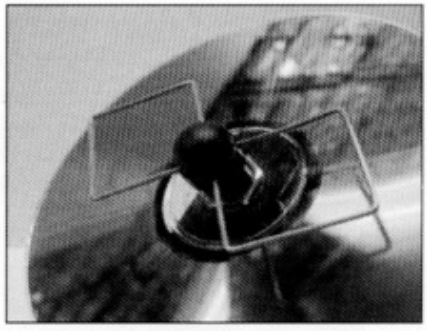
20 mm vom oberen Ende in der Mitte einer Seite ankörnen, dann durch beide Schenkel des Rohres ein Loch mit dem Durchmesser des Antennensteckers (9 mm) bohren. Entgraten und eine Seite so weit mit der Reibahle aufweiten, dass der Abstandshalter hindurchpasst.

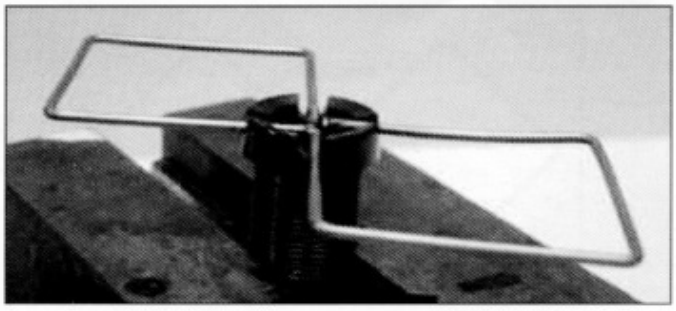


10 Antenne montieren:

Das Loch einer handelsüblichen CD wird ggfs mit einer Reibahle an den Durchmesser des Abstandshalters angepasst. Die CD wird aufgeschoben (welche Seite vorn ist, ist unerheblich) und mit zwei Muttern so fixiert, dass der Abstand von der Bi-Quad-Antenne zur CD-Oberfläche 15,5 mm beträgt (besser etwas mehr als weniger). Die Antenne muss parallel zum Reflektor ausgerichtet werden. Wer die Drähte versenken will, kann mit einer Rundfeile kreuzweise Rillen in den Abstandshalter feilen. Dann kann später die Lötstelle mit einer Lochabdeckung versehen werden. Das erhöht die optische Wirkung.

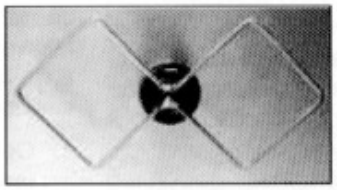




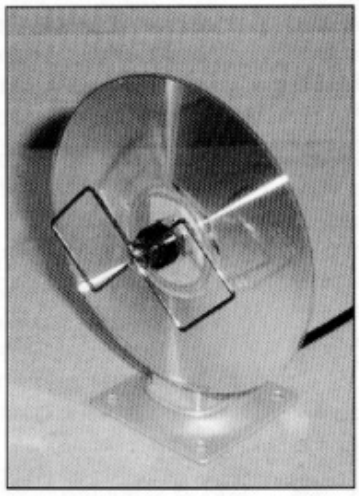


ARBEITSSCHRITT	ILLUSTRATION

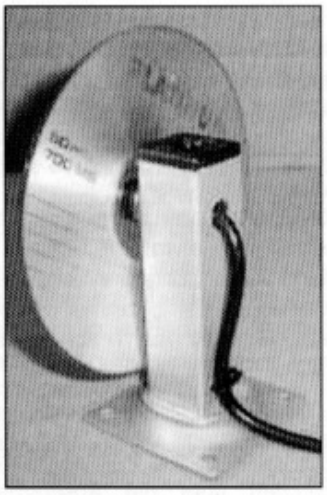
11 Antennenkabel durch den Abstandshalter hindurchziehen und die Antenne waagerecht darauf mit Heißkleber fixieren und evtl. eine runde Abdeckung darauf setzen.



12 Der Abstandshalter wird in die Bohrung des Tischfußes gesteckt, das Antennenkabel hindurchgezogen und mit einem Kabelbinder als Zugentlastung befestigt. Die endgültige Verklebung mit dem Tischfuß erfolgt erst nach der Optimierung der Antenne.



Vorderseite



Rückseite

5. Fertigungsphase

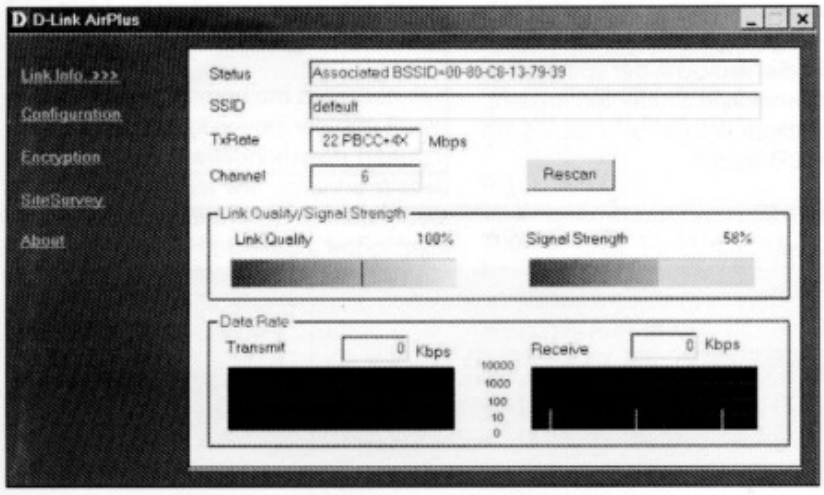
Nach Klärung ausstehender Fragen beginnen die Schülerinnen und Schüler mit dem Bau der Antenne. Dabei können sie für den Abstandshalter und die Reflektorplatte die selbst gewählten Materialien verwenden.

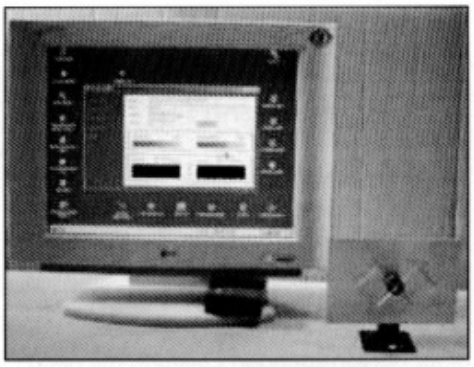
6. Optimierungsphase

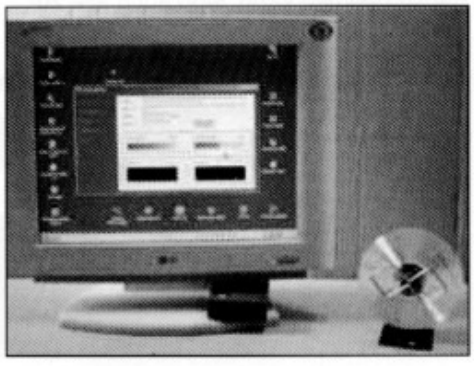
Nach der Montage werden die Antennen getestet. Dazu wird eine Teststrecke mit einem Abstand von ca. 20 m zum Router aufgebaut. Sinnvoll ist eine Prüfstrecke, bei der auf dem Monitor des Computers mit der Netzwerkkarte und der handelsüblichen Antenne nur noch eine Signalstärke von etwa 30% erreicht wird. Als Messinstrument wird das Installationsprogramm der drahtlosen Netzwerkkarte verwendet. Es enthält eine Monitoranzeige, die selbsttätig die Umgebung nach einem WLAN scannt und die Signalstärke automatisch anzeigt. Durch den Anschluss der Selbstbauantenne wird sofort ein höherer Pegel erzielt, was sehr motivierend für die Schülerinnen und Schüler ist.

Nun wird die Originalantenne von der Netzwerkkarte abgeschraubt und durch die Selbstbauantenne ersetzt. Die nun erreichbare Signalstärke ist ein Maß für die Qualität der hergestellten Antenne.

Mit Hilfe der beiden Muttern auf dem Abstandshalter kann zur Optimierung der Antenne der Abstand zwischen Reflektor und Antenne, der $\lambda/8$ = 15,5 mm betragen sollte, an die Antenne und den derzeit gewählten Sendekanal angepasst werden. In den Versuchen hat sich gezeigt, dass die besten Ergebnisse sehr oft bei einem Abstand von 17 mm erreicht wurden.







Bei den Optimierungsversuchen erfahren die Schüler spielend die Unterschiede in der Polarisation, aber auch gleichzeitig das Auftreten von Reflexionen und die Notwendigkeit einer genauen Ausrichtung auf den Sender. In dieser Phase können sehr anschaulich viele Erkenntnisse über die Anordnung des Routers, eines Accesspoints und des Clients in einem Wohnhaus gewonnen werden. Außerdem kann deutlich gemacht werden, wie Heizkörper, Wände, Stahlzargen oder einfach dazwischen stehende Personen die Ausbreitung der Funkwellen beeinflussen.

Übrigens sind gegenüber den CD-Modellen die Messergebnisse mit den Metallreflektoren wegen der besseren Leitfähigkeit etwa 10% besser. Wenn jemand seine CD gegen eine Metallplatte auswechseln will, kann er das bis zu diesem Zeitpunkt noch machen, da sich die Antenne leicht zerlegen lässt.

ANMERKUNG: Noch besser ist die Antennenleistung, wenn statt eines Abstandshalters aus Kunststoff ein Kupferröhrchen über die Abschirmung des Antennenkabels geschoben und alles fest mit dem Reflektor verlötet wird. Auf dieses Verfahren wurde jedoch in dieser Unterrichtseinheit verzichtet, weil die Ansprüche an die Verarbeitung und das Löten wesentlich höher sind. Wer Interesse hat, kann sich diese Konstruktion im Internet unter http://martybugs.net/wireless/biquad/ ansehen und vielleicht einmal mit einer leistungsstarken Gruppe oder älteren Schülerinnen und Schülern ausprobieren.

Danach kann nunmehr endgültig die Antenne mit Heißkleber auf dem Halter fixiert werden. Die Antenne ist fertig und einsatzbereit.

7. Bewertungsphase

Die erreichte Signalstärke, das Design und die Qualität der Ausführung bestimmen die Punktvergabe für die Wahl der besten Antenne, die die Schülerinnen und Schüler anschließend veranstalten. Da jeder ein funktionsfähiges Modell mit einer hervorragenden Leistung mit nach Hause nehmen kann, sind auch alle zufrieden.

8. Erweiterungsmöglichkeiten

Je nach verfügbarer Zeit in einer Projektwoche oder im Unterricht können etwa folgende Themen zur Ergänzung eingebaut oder angefügt werden:

1. Optimierungsmöglichkeiten der Antenne (bessere Verlötung der Abschirmung mit der Reflektorplatte – andere Drahtquerschnitte, andere Kabelsorten, andere Plattenmaße usw.). Das Internet gibt viele Anregungen dazu.
2. Messung und Berechnung des Antennengewinns in dBi für die jeweilige Antenne.
3. Rechtliche Vorschriften für die Herstellung von Antennenanlagen. Der Hersteller des D-Link Routers 614+ gibt zum Beispiel an, dass sein Gerät mit 100 mW =17 dBi betrieben wird. Da die in Deutschland erlaubte Höchstleistung bei 20 dBi liegt, ist nicht mehr viel Raum für die Erweiterung; es sei denn, man erwirbt eine Amateurfunklizenz. Andererseits ist nach den Tests der Fachzeitschriften die effektiv abgegebene Leistung der Geräte nicht höher als 30 mW, weil Störfaktoren wie Mikrowellenherde, drahtlose Telefone und bauliche Faktoren alles zunichte machen.
4. Aufbau einer Richtfunkstrecke mit 2 selbstgebauten Antennen und dem Versuch, mit einem Laptop in ein solches Netz einzudringen.
5. Variationen zur Installation eines Accesspoints und der Antennen in einem Wohnhaus. Welche Montageorte sind die günstigsten?
6. Montage einer Selbstbauantenne am Brennpunkt einer Satellitenschüssel und Erweiterung der Sende- und Empfangsmöglichkeiten. Hierbei muss man allerdings beachten, dass dies in Deutschland die zulässige Höchstgrenze überschreitet. Deshalb dürfte es genügen, wenn man sich im Internet die Versuche der spanischen und chilenischen Studenten ansieht, die auf diese Weise mehr als 45 km überbrückt haben.
7. Sehr interessant ist der Bau einer Dosenantenne, die als Waveguide-Antenne in vielen Variationen im Internet zu finden ist. Sie ist sehr leicht zu bauen und ihre Leistung ist sogar noch höher. Wegen des zusätzlich erforderlichen Steckers ist sie jedoch wesentlich teurer.

Weitere interessante Internetseiten zum Bau dieser und ähnlicher Antennen

http://martybugs.net/wireless/biquad

Die beste Antennenkonstruktion einer Bi-Quad-Antenne: exakte Berechnung, gute Lötanleitung, gute Leistung

http://manuka.orcon.net.nz/wififi.jpg

Die Universität von Wellington in Neuseeland hat eine Bi-Quad-Antenne in eine Sardinendose gebaut.

http://trevormarshall.com/biquad.htm

Die Antennen und Zeitschriftenartikel von Trevor Marshall, dem Altmeister des WLAN-Antennenbaus

http://www.geocities.com/lincomatic/homebrewant.html#biquad

Viele interessante Antennenformen und Links zu weiteren Bauversionen

http://www.ping.de/aktiv/wavelan/wavelan_bau.html

Deutsche Seite, gut verständlich und schulgerecht mit vielen Links zu Ursprungsseiten

Besuchen Sie uns doch einmal im Internet!
www.neckar-verlag.de