

# Portable KW-Yagi-Antennen nach dem Baukastenprinzip

MARTIN STEYER – DK7ZB

Bei Portabelbetrieb begrenzen Mechanik und Masse die Antennen auf eine bestimmte Größe. Die beschriebene Eigenbaukonstruktion sollte für diesen Fall unter Verwendung eines etwa 10 m hohen Aluminium-Schiebemasts ein Optimum an Wirksamkeit, auch auf den WARC-Bändern bringen.

Dieser Beitrag kam im FA-Konstruktionswettbewerb 1994 auf Platz 3.

## ■ Prämissen

Nach gründlichen Analysen ergab sich für die Realisierung einer portablen Antennenkonstruktion, die auf den Bändern ab 14 MHz Richtwirkung haben sollte, folgende Situation:

- Gamma-Anpassungen und Phasenleitungen für Mehrelement-Speisung (wie z. B. bei der HB9CV) schieden von vornherein aus. Sie sind zwar bei fest installierten Antennen gut zu verwirklichen, nicht jedoch, wenn leichte Zerlegbarkeit gefordert wird.
- Quads sind wegen ihrer räumlichen Ausdehnung und des „Drahtverhaus“ beim Auf- und Abbau für den vorgesehenen Einsatzzweck ebenfalls keine gute Lösung.
- Der Selbstbau von auch noch zerlegbaren Mehrband-Yagis ist wegen der vielen sich gegenseitig beeinflussenden Parameter praktisch kaum durchführbar.
- Ein Kauf von Antennen wurde von Anfang an nicht in Erwägung gezogen, denn wenn man schon den prozessorgesteuerten Transceiver erwerben muß, sollte wenigstens etwas für das Selbstwertgefühl in Sachen „Home made“ abfallen... Abgesehen davon lohnt sich der Selbstbau auch finanziell.
- An Masse läßt sich einiges einsparen, wenn nicht für Windgeschwindigkeiten von 140 km/h geplant werden muß.

## ■ Konzeption

Damit fiel die Wahl auf ein Baukastensystem mit Monoband-Yagis, die sich in 5 bis 10 min durch Längenänderungen der Elemente und Verschieben des Elementabstandes auf ein anderes Band umrüsten lassen. Das ist für Conteste bestimmt nicht die beste Lösung – wer aber die Umrüstzeit in Kauf nimmt, hat kompromißlose Einbandantennen ohne Anpassungs- und Verlustprobleme. Etwas umständlicher ist ein Frequenzwechsel auf 14 MHz, denn dabei müssen Elementenden mit Verlängerungsspulen eingefügt werden.

Ein Trägerrohr von 4 m Länge, das man in zwei Stücke zerlegen kann, ist noch handlich. Damit lassen sich auf den Bändern 21, 24 und 28 MHz Dreielement-Antennen aufbauen, für 18 und 14 MHz solche mit zwei Elementen.

Die Konstruktion sollte so aussehen, daß ein Strahlermittellteil als Dipol mit 1:1-Balun für eine Speisung von 50  $\Omega$  ausgelegt wird und die Resonanz der jeweiligen Elemente durch Einschieben bzw. Herausziehen von Aluminiumrohren erfolgt. Auch der Elementabstand ist je nach Band durch Verschieben festzulegen. Damit hat man jeweils eine Monobandantenne.

Außerdem läßt sich der Strahler allein als drehbarer Dipol verwenden, wenn der Auf-

bau schnell geschehen soll. Weiter bietet sich eine Nutzung für niederfrequente Bänder an (s. u.).

Einige grundlegende Eigenschaften von Yagi-Antennen müssen berücksichtigt werden und beeinflussen die zugrundeliegende Konzeption:

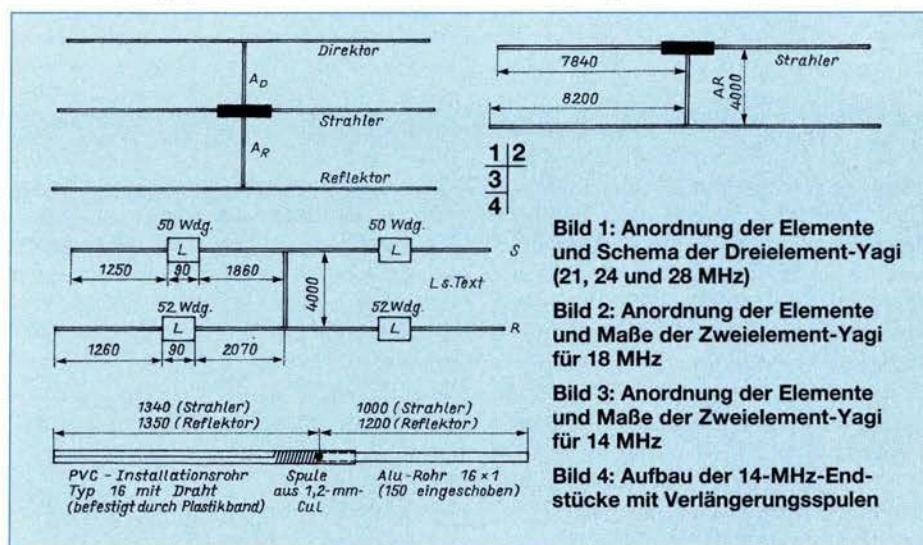
1. Eine Zweielement-Yagi mit Strahler und Direktor (Gewinn etwa 4,2 dBd) ist zwar mechanisch die beste Lösung, da sich ein Elementabstand von  $0,1 \lambda$  anbietet, aber elektrisch schlecht, da der Fußpunktwiderstand auf 10 bis 15  $\Omega$  abfällt [1], [2]. Dies würde eine Gammaanpassung erfordern, die aus oben diskutierten Gründen nicht in Frage kommt. Die andere Möglichkeit wäre ein Balun 1:4, der die niedrige Strahlerimpedanz auf den Kabelwellenwiderstand herauftransformiert. Wegen der zu erwartenden Verluste und erschwerten Abgleichproblematik wurde von dieser Lösung abgesehen.

2. Eine Zweielement-Yagi aus Strahler und Reflektor hat ebenfalls etwa 4 dBd Gewinn, benötigt dazu allerdings einen Reflektorabstand von  $0,2$  bis  $0,3 \lambda$ . Der höhere Fußpunktwiderstand wiegt diesen Nachteil jedoch wieder auf. Außerdem wird die Antenne gegenüber der Kombination Strahler – Direktor breitbandiger, ebenfalls ein nicht zu verachtender Effekt. Bei  $0,2 \lambda$  stellt sich ein Fußpunktwiderstand von 45  $\Omega$  ein, bei  $0,25 \lambda$  einer von 50  $\Omega$ .

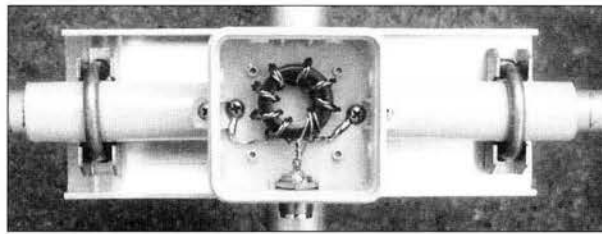
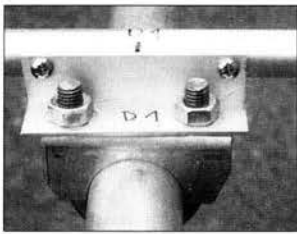
3. Ein auf maximalen Gewinn getrimmter Dreielement-Strahler hat zwar 6,5 bis 7 dBd Gewinn; sein Speisewiderstand sinkt aber auf 10 bis 12  $\Omega$ , u. U. auf noch weniger! Auch das macht eine Speisung, wie oben gefordert, unmöglich. Ein weiterer Nachteil solcher Antennen wird leicht übersehen: Umgebungseinflüsse (Drahtantennen, Dach, Gebäude, Bäume) verschieben Resonanz, Vor/Rück-Verhältnis und Fußpunktwiderstand etwas und die theoretisch erreichbaren Daten stellen sich nicht ein. Die maximale Rückwärtsunterdrückung ist zudem nur durch sorgfältigen Abgleich und nur in einem sehr schmalen Bereich zu erzielen.

4. Einen guten Kompromiß stellt eine Dreielement-Yagi dar, die bei (gegenüber dem unter 3. beschriebenen Fall) stark verlängertem Reflektor und erheblich verkürztem Direktor bei leicht abgesunkenem Gewinn von 5 dBd am Speisungspunkt einen Widerstand von 50  $\Omega$  hat. Dadurch ist eine solche Anordnung sehr breitbandig und im Vergleich zu einer Hochgewinnantenne „gutmütig“ gegenüber der Umgebung, z. B. Objekten in Antennennähe. Besser 5 dBd unter allen Umständen, als theoretische 6,5 dBd auf dem Papier...

5. Einen Sonderfall stellt die verkürzte Richtantenne mit Strahler und Reflektor für 14 MHz dar. Ein Reflektorabstand von  $0,2 \lambda$  und die Verkürzung senken den Fuß-







**Bild 5: Mechanik der Elementhalterungen für Reflektor und Direktor**

**Bild 6: Strahlerrmittelteil mit Balun 1:1**

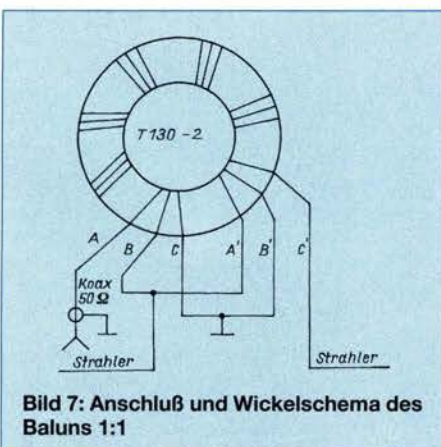
punktwiderstand auf theoretische 40  $\Omega$ . Durch die unvermeidlichen Verluste in den Spulen steigt er jedoch wieder geringfügig an, so daß ein SWR von 1,1 im Resonanzpunkt auf einen Strahlungswiderstand von 50  $\Omega$  schließen läßt. Die Praxis zeigt eine deutliche Überlegenheit gegenüber einem Dipol, nicht zuletzt durch eine Rückdämpfung von immerhin 10 bis 12 dB. Bei einer Reduktion der Maße auf 2/3 der vollen Länge ist trotz einfacher Mechanik noch mit guter Wirkung zu rechnen. Der Gewinn sollte bei etwa 3,5 bis 4 dBd liegen; das ist so schlecht nicht.

**6.** Wer allzu leichtgläubig auf Gewinnangaben kommerzieller Hersteller schielt und die oben diskutierten (realistischen!) Werte für so niedrig hält, daß ein Bau der Antennen sich nicht lohnt, möge dazu die Ausführungen von DL1BU oder Y23RD/DL2RSX lesen [3], [6]. Auch die Industrie kocht nur mit Wasser: Bei Mehrbandantennen fallen leicht einzelne Bänder im Gewinn oder bei der Rückdämpfung erheblich ab.

Damit steht das Konzept fest: für die Bänder 21, 24 und 28 MHz jeweils drei Elemente, für 18 MHz zwei Elemente voller Länge, für 14 MHz zwei verkürzte Elemente.

## ■ Experimente

Nach erster Skepsis wegen der doch ungewohnten Längen von Reflektor und Direktor habe ich eine Musterantenne für 144 MHz gebaut. Die Dimensionierung für die Ausführung mit drei Elementen erfolgte nach [4]. Als Strahler diente ein



**Bild 7: Anschluß und Wickelschema des Baluns 1:1**

Faltdipol mit koaxialer Halbwellen-Umwegleitung.

Nach amateurmäßigem Vermessen fanden sich die Angaben von Spindler bestätigt, daß der Gewinn etwa 5 dBd beträgt; die Rückdämpfung ergab sich zu etwa 12 dB. Der bilderbuchartige SWR-Verlauf < 1,2 über das gesamte 144-MHz-Band zeigte die extreme Breitbandigkeit auf Kosten des möglichen Gewinns. Eine weitere Musterantenne für 50 MHz, diesmal mit gestrecktem Dipol und Ringkern-Balun 1:1, bestätigte alle auf 144 MHz gemachten Erfahrungen.

Der Abgleich für Kurzwellen beschränkte sich auf prozentuale Längenänderungen für jedes Element, nachdem die berechneten Werte zu einer Resonanz knapp unterhalb der Amateurbänder führten.

## ■ Mechanischer Aufbau

Für die Elemente kamen Rohre 20 mm  $\times$  1,5 mm, 16 mm  $\times$  1,5 mm und 12 mm  $\times$  1 mm zum Einsatz, die man im Metallfachhandel in 6-m-Längen erhält. Die Bemessung erfolgt so, daß bei voller Länge jeweils das frequenzniedrigste Band in Resonanz ist. Bei den höherfrequenten Bändern werden die Rohre so weit eingeschoben, daß sich die gewünschten Maße ergeben. An den Enden habe ich dazu etwa 15 mm tiefe Schlitzte eingesägt; die Arretierung erfolgt mit Schlauchschellen. Farbige Markierungen auf allen Rohren zeigen die Längen für die jeweiligen Bänder (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 2 enthält die für 21, 24 und 28 MHz notwendigen Längen der Elemente; Bild 1 zeigt die Anordnung der Elemente. Aus den Bildern 2 und 3 gehen die Abmessungen für 14 und 18 MHz hervor. Beim 14-MHz-Band werden die Enden durch spezielle Stücke ersetzt, die Verlängerungsspulen enthalten. Die Induktivitäten habe ich auf handelsübliches 16-mm-PVC-Rohr (Innendurchmesser) für Installationszwecke gewickelt. Aus dem dazu verwendeten 1,5-mm-Kupferlackdraht bestehen gleichzeitig die Endstücke des Strahlers, die mit Plastikisolerband auf dem PVC-Rohr befestigt wurden. Die Enden bleiben ungefähr 120 mm länger und werden so umgeknickt, daß sie auf der Unterseite des Rohrs zu liegen kommen. Das ermöglicht einen einfachen Abgleich durch Abkneifen.

Bild 4 zeigt den Aufbau dieser 14-MHz-Endstücke. Für einen Dauerbetrieb ist das PVC-Rohr allerdings nicht geeignet; dafür muß man festes Isoliermaterial, z. B. Glasfaser, verwenden.

Das Trägerrohr (Boom) hat 35 mm Durchmesser; die Mittelstücke der Elemente werden mit Auspuffschellen befestigt (aus dem Kfz-Gewerbe; für 36 mm Nennweite). Bild 5 zeigt eine solche Elementhalterung für Reflektor bzw. Direktor unter Verwendung eines Winkels und Edelstahl-Blechschrauben.

Wer diese Antennen stationär verwenden will, sollte einen 40-mm-Boom vorziehen. Das 4-m-Rohr habe ich in der Mitte geteilt, bei geschickter Mechanik entsteht hier keine Sollbruchstelle...

Damit haben alle Stücke der zerlegten Antenne maximal etwa 2 m Länge und sind zum Transport handlich genug.

Bild 6 macht Aufbau und Befestigung des Strahlerrmittelteils deutlich. Als Mittelisolator dient ein Hart-PVC-Rohr, wie es für Wasserleitungsinstallationen mit einem Innendurchmesser von 20 mm im Fachhandel erhältlich ist. In der Mitte haben die beiden Enden der Strahlerhälften etwa 20 mm Abstand. Oben auf das PVC-Rohr wird eine Verteilerdose für Elektroinstallationen in Feuchträumen aufgeschraubt; sie enthält den 1:1-Balun. Er besteht aus einem Amidon-Ringkern T 130-2 (rot) mit 3  $\times$  10 Windungen 1,2-mm-Kupferlackdraht (trifilar). Damit sind Leistungen von 300 W sicher übertragbar. Für höhere Leistungen bis zu 1 kW eignet sich ein Kern T 200-2. Anschluß und Wickelschema sind aus Bild 7 ersichtlich.

**Tabelle 1: Rohrabschnitte für die Elemente (18 bis 28 MHz)**

Strahler	Direktor	Reflektor
St. Länge [m]	St. Länge [m]	St. Länge [m]
Ø [mm]	Ø [mm]	Ø [mm]
2 1,00 20	1 2,00 20	1 2,00 20
2 1,30 16	2 1,20 16	2 1,50 16
2 1,90 12	2 1,00 12	2 2,00 12

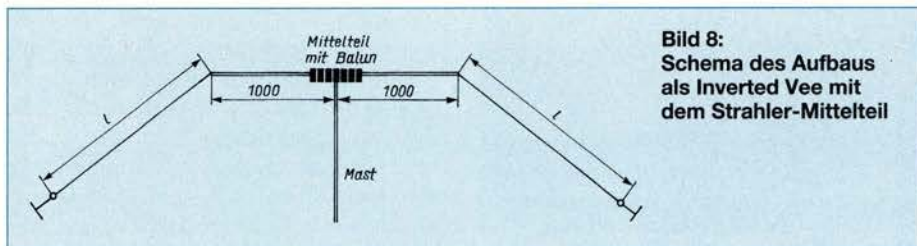
**Tabelle 2: Abmessungen der Elemente von Dreielement-Yagis für 21, 24 bzw. 28 MHz**

Band [MHz]	21	24	28
Strahler [m]	6,82	5,80	5,08
Direktor [m]	5,66	4,82	4,22
Reflektor [m]	7,76	6,60	5,80
S – D (A <sub>D</sub> ) [m]	1,75	1,50	1,30
S – R (A <sub>R</sub> ) [m]	2,20	1,88	1,65
Boomlänge [m]	4,00	3,40	3,30

**Tabelle 3: Drahtlängen zur Erweiterung als Inverted Vee (s. Bild 9)**

Band [MHz]	3,5	7	10
Länge l [m]	19,11	9,03	6,32
Res.-Frequ. [MHz]	3,6	7,05	10,1





**Bild 8:**  
Schema des Aufbaus  
als Inverted Vee mit  
dem Strahler-Mittelteil

Der Balun wurde an einem induktionsarmen Abschlußwiderstand ausgemessen; bei 3,5 bis 30 MHz ergibt sich je nach Band ein SWR von 1,1 bis 1,3. Die elektrische Verbindung geschieht mit Blechschrauben aus Edelstahl, die gleichzeitig die Dose halten. Eine PL-Buchse dient dem Anschluß des Antennenkabels.

Bei der Bestellung der Rohre für die eigentliche Antenne wurden gleich noch je ein Rohr 55 mm × 2 mm, 50 mm × 2 mm, 45 mm × 2 mm und 40 mm × 2 mm der handelsüblichen 6-m-Länge mitbesorgt. Das ergibt bei jeweiliger Halbierung auf 3-m-Stücke zwei Schiebemasten von 10,50 m Höhe, die mit der gleichen Technik (Schlitze einsägen, mit Schlauchschellen festziehen) gefertigt werden. Vielleicht findet sich ein zweiter Abnehmer für solch einen Mast; Sammelbestellung der Aluminiumrohre ergibt sowieso günstigere Preise! Größere Firmen des Metallfachhandels geben für Rohr-, Winkel- und Profilmaterial bei den Lieferanten meist Sammelbestellungen auf; eine Wartezeit von zwei bis vier Wochen lohnt sich, weil dann erheblich niedrigere Preise anfallen als bei Einzellieferungen.

## ■ Abgleich

Im übrigen zeigen zahlreiche Antennen, die schon vor Jahren gebaut wurden, daß normales Aluminiumrohr bei vernünftiger Di-

mensionierung völlig ausreicht, sofern man nicht mit Hurrikans rechnen muß...

Der Abgleich für den Nachbauer ist relativ einfach und beschränkt sich eigentlich auf die Ausführung für 14 MHz; beim Einhalten der angegebenen Maße für 18, 21, 24 und 28 MHz erübrigt sich ein Nachstimmen.

Die Reflektorresonanz für das 20-m-Band wurde unter Zuhilfenahme eines Dipmeters auf eine 5 % niedrigere Frequenz als die des Strahlers eingestellt. Das ist bezüglich Gewinn und Rückwärtsdämpfung ein guter Kompromiß. Die Messungen erfolgten über 12 m RG-213 U/S an der in 10 m Höhe befindlichen Antenne. Wer den Resonanzpunkt für 14 MHz weiter in den SSB-Bereich verschieben will, kann dies durch geringfügiges Verkürzen der Elemente erreichen.

## ■ Betriebserfahrungen

Die praktischen Erfahrungen sind ausgezeichnet. Wenn man den Standort gut wählt, so daß z. B. die Abstrahlung über Wasser erfolgt oder ein Hügel nach allen Seiten abfallendes Gelände bietet, so geben die Signale Anlaß zu der Vermutung, daß eine Linear im Spiele ist. In TK und OH0 bestand genug Gelegenheit, bei einigen tausend QSOs die Leistungsfähigkeit der Antennen zu testen.

Auf Bild 9 ist OH0/DK7ZB/p bei Eckerö auf den Aaland-Inseln mit der Zweielement-Yagi für 18 MHz zu sehen. Viele Japaner und Nordamerikaner haben sich in CW über ein dickes Signal und gerade auf 18 MHz über ein neues Land gefreut. Allerdings betrug die Höhe über Grund wegen starker Winde hier nur etwa 8,50 m, da ohne Abspannung gearbeitet wurde. Mit einer ähnlichen Konstruktion als Vorläufermodell habe ich auf 28 MHz schon vor 20 Jahren einen Vermieter ausgetrickst, der keine Antennengenehmigung erteilen wollte. Vorübergehend erschien die Antenne auf einem Balkon des obersten Stockwerks und verschwand nach Gebrauch ebenso schnell. Was sich damals als gut erwies, kann auch heute nicht schlecht sein...

Es versteht sich von selbst, daß alle aufgeführten Typen aufgebaut und ausgemessen wurden. Die Beschreibungen sind deshalb so ausführlich gehalten, damit eventuelle Denkanstöße für eigene Versuche bzw. individuelle Lösungen abfallen.

Die Antennen sind so leicht, daß sie sich sogar zur vorübergehenden Montage auf einem einfachen Fernsehantennenrotor eignen. Ein Umrüsten auf ein anderes Band ist schnell zu bewerkstelligen. Warum also auch zu Hause nicht mal mit Richtantennen dieser Art experimentieren?

Getreu der Zielsetzung, daß technische Beiträge und Baubeschreibungen besagte zusätzliche Denkanstöße für eigene Überlegungen liefern sollten, sei auf weitere schon angedeutete Verwendungsmöglichkeiten hingewiesen.

## ■ Erweiterungen

Eine Erweiterung auf Dipole für die langwelligeren Bänder ist ebenfalls in wenigen Minuten möglich. Montiert man das Mittelstück mit 2 m Länge allein, lassen sich für 10 MHz, 7 MHz oder 3,5 MHz mit Hilfe jeweils passend zugeschnittener Drähte Inverted-Vee-Dipole erstellen. Die Drähte werden außen an den Enden durch die Schlauchschellen befestigt und mittels Plastikleine schräg nach unten abgespannt.

Die prinzipielle Anordnung wird aus Bild 8 deutlich, die Längen der zusätzlichen Stücke gehen aus Tabelle 3 hervor.

Auch mit Zweibandausführungen für 7 MHz/10 MHz habe ich experimentiert. Dabei wurden am Ende des 10-MHz-Abschnitts Koaxialkabel-Sperrkreise aus Teflon-Koaxialkabel eingefügt. Für 100 bis 200 W HF genügen aber auch welche aus RG-58. Wer sich dafür interessiert, sollte die Ausführungen zu solchen Sperrkreisen in [5] lesen.

Außerdem sind 3,5 MHz/7 MHz als Kombination denkbar. Mit geschlossenen Ganzwellenschleifen nach dem Prinzip der Inverted Delta Loop wurden mit gutem Erfolg Erweiterungen für 7 und 10 MHz getestet, obwohl dabei das SWR mit etwa 1,6 etwas schlechter ist, weil der Fußpunktwiderstand mit ungefähr 120 Ω zu hoch liegt. Die Verluste bei Speisung mit gutem Koaxkabel sind minimal, und ein Antennentuner sorgt dafür, daß eine Transistor-Endstufe eine reelle Last mit einem SWR nahe 1 sieht. Dem Experimentierdrang sind hier keine Grenzen gesetzt!

## Literatur

- [1] Rothammel: Antennenbuch, 10. Auflage, Frank-Kosmos, 1991
- [2] Orr, W. (W6SAI): Beam Antenna Handbook, Radio Publication Inc., Wilton/Conn., USA (5. Auflage)
- [3] Schwarzbeck, G., DL1BU: Streifzug durch den Antennenwald, cq-DL 9/79 und 12/79
- [4] Spindler, E: Antennen, 12. Auflage, VEB Technik-Verlag Berlin, 1990
- [5] The ARRL-Handbook 1989
- [6] Oberrender, O.: Yagi-Antennen für den Funkamateurl (1); Wie zuverlässig sind Gewinnangaben? FUNKAMATEUR 41 (1992), H. 1, S. 38
- [7] Oberrender, O.: Know-how für einfache KW-Antennen, FUNKAMATEUR 40 (1991), H. 3, S. 167



**Bild 9:** Die Zweielement-Yagi für 14 MHz bei OH0/DK7ZB/p im Juli 1993 Fotos: Autor