

# Computeroptimierte Yagi-Antennen für das 2-m-Band

MARTIN STEYER – DK7ZB

Obwohl die Theorie der Yagi-Antennen inzwischen sehr weit entwickelt worden ist, bieten kurze Yagis bis zu  $1,5 \lambda$  noch ein interessantes Experimentierfeld.

Das Programm YAGI von Brian Beezley, W6STI, umfaßt zwar keine Selbstoptimierung, rechnet jedoch sehr exakt, welche Veränderungen sich in welcher Weise auswirken, wenn man Elementlängen und -abstände variiert. Mit einigen Grundkenntnissen kann man Yagis zielgerichtet „zu Fuß“ optimieren.

## ■ Theorie

Wunder gibt es nicht, wohl aber Antennen, die die physikalischen Grundlagen optimal nutzen. Durch die grundlegenden Arbeiten von DL6WU [1], [2], [3] ist der Selbstbau von Langyagi-Antennen inzwischen unter Standard-Bedingungen möglich. Ab etwa  $2 \lambda$  Antennenlänge ist durch weiteres, aufwendiges Optimieren gegenüber dem DL6WU-Design ein Mehrgewinn von maximal 0,3 dB erzielbar [4], jedoch u. U. durch kritischere Anpassung und Bandbreitenverlust erkauft. Deshalb ist es nur für Sonderanwendungen wie EME interessant.

Für die Optimierung kurzer Yagis bis zu  $1,5 \lambda$  gibt das Programm YAGI von Brian Beezley, W6STI, das dem ARRL Antenna Handbook [5] beiliegt, eine sehr gute Unterstützung – wenn auch ohne Selbstoptimierung.

Die wichtigsten Regeln der Yagi-Dimensionierung seien hier noch einmal kurz wiederholt, um Verständnis für die Praxis zu haben. Schließlich gehören Funkamateure zu einem experimentellen Funkdienst, und gerade bei Antennen bietet sich ein weites Betätigungsfeld.

1. Maximaler Gewinn ergibt ein niedriges Vor/Rück-Verhältnis und ein Aufzipfeln mit Nebenkeulen. Ein VRV über 20 dB und ein sauberes Richtdiagramm werden mit einem etwas niedrigerem Gewinn erkauft.
2. Maximaler Gewinn führt bei einer kurzen Yagi (3 bis 4 Elemente) zu einer niedrigen

Impedanz am gespeisten Element (etwa 10 bis  $25 \Omega$ ). Umgekehrt führt ein unverstimmtes Speiseelement mit  $50 \Omega$  (gestreckter Dipol, bzw. Faltdipol mit  $200 \Omega$ ) zu verringertem Gewinn, aber größerer Bandbreite und unkritischen Nachbaueigenschaften.

3. Maximaler Gewinn erfordert mit zunehmendem Abstand der Direktoren vom Strahler abnehmende Länge der Direktoren.

4. Für eine gegebene Boomlänge gibt es eine minimale Elementzahl. Weitere Elemente mit entsprechend geringerem Abstand untereinander erhöhen unter keinen Umständen den Gewinn, beeinflussen jedoch Bandbreite, Fußpunktwiderstand und Rückdämpfung.

5. Besonders leistungsfähige Lösungen ergeben sich bei relativ geringen Abständen von Reflektor und Direktor 1 zum gespeisten Element.

6. Ein nahe zum Strahler montierter erster Direktor erhöht den Speisewiderstand und verstimmt das gespeiste Element, so daß es verlängert werden muß.

7. Ab einer Länge von etwa  $1,5 \lambda$  schwankt das maximal erreichbare VRV periodisch zwischen 20 und über 30 dB. Nicht jede Antennenlänge ergibt eine sehr gute Rückdämpfung.

8. Der äußerste Direktor beeinflusst die gesamten Antenneneigenschaften entscheidend und bedarf bezüglich der Länge und des Abstandes zum benachbarten Direktor besonderer Aufmerksamkeit.

9. Etwas dickere Elemente (8 bis 10 mm für das 2-m-Band) sind vorzuziehen, da

damit die Bandbreite zunimmt und die Toleranzen etwas größer sein können. Dünne Elemente führen zu schmalbandigeren Antennen, und der Skin-Effekt macht sich bereits bemerkbar.

Bei kürzeren Antennen spielen Windlast und geringfügig höhere Masse keine Rolle. Sie wirken sich erst bei sehr langen Yagis entscheidend aus. Von schlecht leitenden Metallen wie (Edel-)Stahl ist abzuraten. Sie ergeben zwar langlebige, korrosionsfeste Elemente, kosten allerdings bis zu 0,5 dB des Gewinns.

10. Eine isolierte Halterung der Elemente ist nicht erforderlich und führt nur zu zusätzlichen mechanischen Problemen.

Die Antennen wurden nach den berechneten Werten gebaut, ihre Anpassung und Rückdämpfung amateurmäßig vermessen. Dabei ergab sich eine verblüffende Übereinstimmung mit den theoretischen Programmaussagen. Deshalb darf man den berechneten Gewinn- und Strahlungsdiagrammen durchaus Glauben schenken. Im Vergleich zu anderen, seriösen Gewinnangaben erscheinen die hier errechneten Werte eher etwas zurückhaltend. Das ist jedoch allemal besser als mit Werten zu kalkulieren, die in der Praxis nicht erreichbar sind.

Bei anderen Antennen, die ich nach verschiedenen Literaturangaben gebaut habe und bei denen sich Korrekturen ergaben, stellte auch das YAGI-Programm fest, daß sie die versprochenen Daten nicht erreichen. Insofern bietet die Rechnersimulation den für den Amateur wohl einzigen Weg, exakte Aussagen über eine Antenne zu erhalten. Die im „Rothammel“ angegebenen Kurzyagis für 2 m sind übrigens als überholt anzusehen; aber ihr Design ist ja auch schon älteren Datums.

## ■ Praxis

Zunächst wurden die Elementlängen für isolierte Halterung bei zunächst 144,3 MHz bestimmt und dann nach den Angaben von DL6WU in [1] für metallisch leitende Durchdringung des Boomrohres umgerechnet. Angaben für andere Mittenfrequenzen s. weiter unten.

Die Trägerrohre bestehen aus Vierkant-Aluminium 15 mm × 15 mm bzw. 20 mm ×

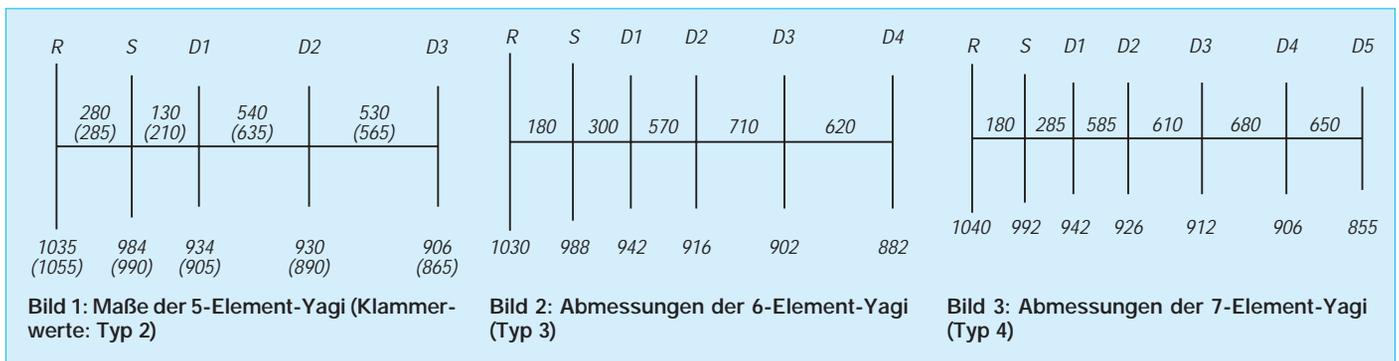


Bild 1: Maße der 5-Element-Yagi (Klammerwerte: Typ 2)

Bild 2: Abmessungen der 6-Element-Yagi (Typ 3)

Bild 3: Abmessungen der 7-Element-Yagi (Typ 4)

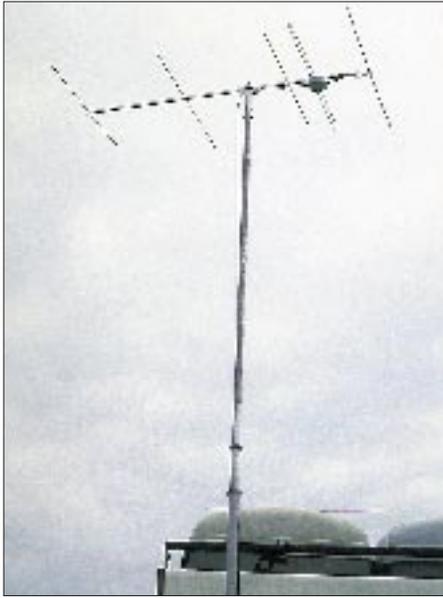


Bild 4: 5-Element-Kurz-yagi (Typ 1) mit Faltdipol als Strahler

20 mm, die Elemente aus Aluminium-Rundrohren 8 mm × 1 mm bzw. 10 mm × 1 mm. Dieses Material ist in Längen von 6 m im Metallfachhandel erhältlich und nach Masse zu bezahlen. Je nach Quelle kostet 1 kg zwischen 10 und 16 DM. Das bedeutet für die beschriebenen Antennen zwischen 15 und 30 DM Materialpreis. Eine Vierer-Hochleistungsgruppe mit den beschriebenen 7-Element-Yagis bringt 16 dBD Gewinn und kostet einschließlich der Rohre für das H-Kreuz soviel wie eine im Handel erhältliche Langyagi! Neben erheblicher Geldersparnis gegenüber gekauften Antennen bringt der Bau aber auch einen ungeahnten Erfahrungs- und Selbstwertzuwachs.

**Konstruktion**

Die Vierkantrohre wurden durchbohrt, die Elemente durchgesteckt und mit selbstschneidenden Blechschrauben aus Edelstahl befestigt. So bekommt man auch langfristig weder mechanische noch korrosive Probleme. Da Portabeinsatz vordringlich war, habe ich mit dem gespeisten Element experimentiert, um möglichst hohe mechanische Festigkeit zu erreichen. Als stabilste Lösung

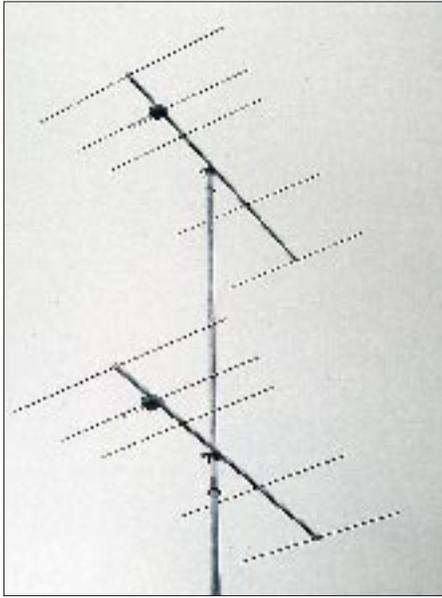


Bild 5: 5-Element-Yagi (Langausführung, Typ 2) als Zweiergruppe

erwies sich auch hier die Montageart mit durch den Träger gesteckten Elementen. Damit wird jedoch eine Gammaanpassung unumgänglich. Möglich ist bei allen Yagis, und auch das wurde erprobt, eine Speisung nach [6]; bei den beiden 5-Element-Yagis auch ein Faltdipol. Die Befestigung Boom/Mast erfolgte mit verzinkten Auspuffschellen; wenn sie nach einer festen Montage

Bild 6: 6-Element-Yagi (Typ 3)

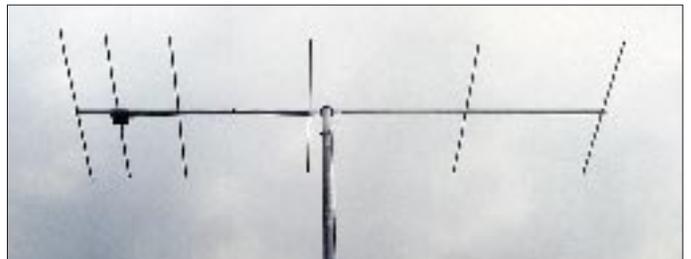


Bild 7: 7-Element-Yagi (Typ 4)



mit Plastispray überzogen werden, halten sie Jahre, bevor Korrosion einsetzt. Die Maße für Trägerrohre und Elemente müssen unbedingt eingehalten werden, um die propagierten Daten zu erhalten. Vorteil ist, daß bei exaktem Nachbau der beschriebenen Gammaanpassung und Einsatz des angegebenen Kondensators ein Abgleich entfällt und bei 144,3 MHz kein Rücklauf meßbar ist.

Trotzdem ich seit Jahren Antennen baue, ist es mir noch nie gelungen, bei Aluminiumrohren von 8 bis 12 mm Durchmesser vernünftige Bögen herzustellen. Alle Ratschläge (Erhitzen, mit Sand füllen usw.) kann man getrost vergessen! Statt dessen sollte man dickwandiges Aluminiumrohr (6 mm × 1,5 mm) verwenden. Es läßt sich mühelos mit der Hand um ein in den Schraubstock gespanntes Rohr krümmen. Der genaue Biegeradius spielt kaum eine Rolle; ich verwende 40 mm bis 45 mm. Entscheidend ist der Abstand von einer Außenseite zur anderen. Alle angegebenen Längen sind in mm angegeben.

**Typ 1: 5-Element-Yagi (Kurzausführung)**

Dies ist eine für die untere Bandhälfte (SSB/CW) dimensionierte verhältnismäßig kurze Variante mit relativ hohem Gewinn, geringerer Bandbreite und extrem hoher

Rückdämpfung. Für den Einsatz in der oberen Bandhälfte (FM-Direktkanäle und Relais) müssen alle Elemente 6 mm kürzer veranschlagt werden; ein Kompromiß für das gesamte Band ist bei Verkürzung um 3 mm je Element möglich. Das Trägerrohr besteht aus Vierkantrohr 15 mm × 15 mm, die Elemente aus Rundrohr 8 mm × 1 mm, der Faltdipol aus 6-mm-Rohr. Bild 1 zeigt die Abmessungen, Bild 4 die fertig montierte Yagi.

**Tabelle 1: Kurzdaten der verschiedenen Typen** (SWR bei 144,3 MHz jeweils 1,0)

Antenne	5 Ele. (kurz)	5 Ele. (lang)	6 Ele. (lang)	7 Ele. (lang)
Gewinn [dBD]	8,6	8,1	10,0	10,5
V/R-Verh. [dB]	26,6	24,2	27,5	31,5
Z Strahler [Ω]	50	50	19	19
SWR (144 MHz)	1,1	1,1	1,04	1,1
SWR (145 MHz)	1,2	1,0	1,12	1,1
SWR (146 MHz)	2,0	1,1	1,26	1,2
Stockabst. [m]	2,1	2,0	2,65	2,8

**Tabelle 2: Konstruktion bei Gammaanpassung** (s. Bild 11)

Antenne (Typ)	l [mm]	a [mm]	C [pF]
5 El. (2)	165	15	12
6 El. (3)	105	20	12
7 El. (4)	100	20	12

l – Länge von Mitte des Trägerrohres bis Mitte Abgreifschelle Aluminiumrohr 6 mm  
a – lichter Abstand zwischen den Rohren

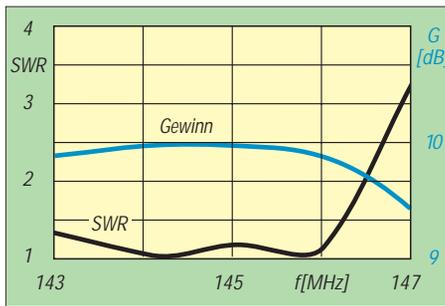


Bild 8: Gewinn und Anpassung der 7-Element-Yagi im Frequenzbereich 143 bis 147 MHz

### ■ Typ 2: 5-Element-Yagi (Langausführung)

Hier wurde besonders auf Breitbandigkeit und auf ein in der Reaktanz unverstimmtes Strahlelement Wert gelegt. Dadurch hat man beim Strahler alle Freiheiten, so daß hier z. B. ebenso ein Faltdipol möglich ist. Bei sehr guter Rückdämpfung wird auch an den Bandenden ein SWR von 1,1 nicht überschritten! Diese Version ist zu empfehlen, wenn in der näheren Umgebung weitere Antennen montiert sind, die sonst die Strahlungseigenschaften kritischer Antennen sehr schnell verschlechtern könnten. Das Trägerrohr besteht aus Aluminiumprofil 20 mm × 20 mm, die Elemente haben 10 mm Durchmesser. Die Längen entsprechen den Klammerwerten in Bild 1, zwei gestockte Yagis dieser Bauart sind in Bild 5 zu sehen.

Der Vergleich der beiden 5-Element-Ausführungen macht das gegensätzliche Konstruktionsprinzip deutlich: Lange Direktoren mit wenig Verkürzung führen zu schmalbandigen Antennen, stärker verkürzte Direktoren bei längerem Reflektor ergeben breitbandige Yagis mit etwas weniger Gewinn.

### ■ Typ 3: 6-Element-Yagi (Langausführung)

Diese Antenne stellt einen Kompromiß zwischen Bandbreite und Gewinn dar. Mit 10 dBD Gewinn bei einer Boomlänge von 2,40 m handelt es sich schon um eine Hochleistungsantenne, die aber auch am oberen Bandende noch gut einsetzbar ist. Es bietet sich eine Zweiergruppe an, die mit 12,5 dBD bereits gehobeneren Ansprüchen genügt und trotzdem mechanisch noch leicht beherrschbar ist. Das Trägerrohr besteht aus Profil 20 mm × 20 mm, die Elemente sind aus 10-mm-Rohr gefertigt. Bild 2 enthält die Abmessungen; eine fertige Antenne ist in Bild 6 zu sehen.

### ■ Typ 4: 7-Element-Yagi (Langausführung)

Bei einer Länge von  $1,5 \lambda$  ergeben sich ein hoher Gewinn (10,5 dBD) bei einem SWR unter 1,2 und ein exzellentes V/R-Verhältnis

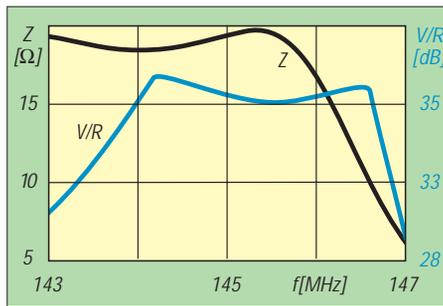


Bild 9: Vor/Rück-Verhältnis und Strahlungswiderstand der 7-Element-Yagi im Frequenzbereich 143 bis 147 MHz

nis von mehr als 30 dB über das gesamte 2-m-Band. Der Preis dafür besteht allerdings in einem niedrigeren Strahlungswiderstand von 19  $\Omega$ . Bild 3 zeigt die Maße und Bild 7 das Foto der fertigen Antenne. Folgende Lösungen für das gespeiste Element sind denkbar:

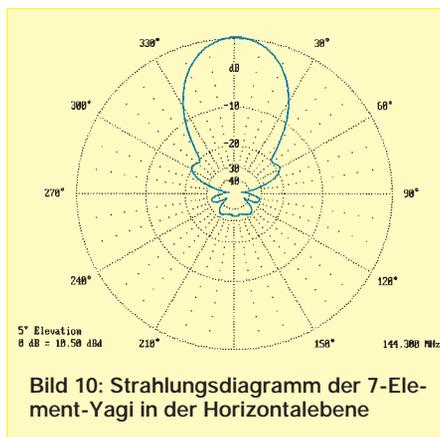


Bild 10: Strahlungsdiagramm der 7-Element-Yagi in der Horizontalebene

1. Faltdipol mit Speisung 75  $\Omega$  symmetrisch; nach Symmetrierung bietet sich dieser Fußpunkt-widerstand als optimale Lösung zum einfachen Stocken zweier Antennen mit 50- $\Omega$ -Kabeln an.

2. Gestreckter Dipol, in der Mitte unterbrochen und Symmetrierung durch Viertelwellenleitung nach DK7ZB, wie in [6] angegeben.

3. Klassische Gammaspesung, Abmessungen wie in Tabelle 2 und Bild 11. Da Aluminiumrohr in 6-m-Längen gehandelt wird, bietet es sich an, zwei Yagis zu bauen, die nach Stocken eine optimale Lösung für Portabel-Betrieb bilden.

Die Bilder 8 und 9 zeigen Gewinn, Anpassung, V/R-Verhältnis und den Strahlungswiderstand im Bereich von 143 bis 147 MHz. Hieraus wird deutlich, daß exakt

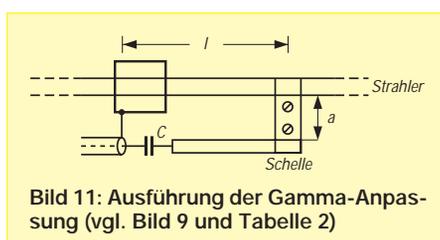


Bild 11: Ausführung der Gamma-Anpassung (vgl. Bild 9 und Tabelle 2)

die 2 MHz des 2-m-Bandes getroffen wurden. Das bilderbuchartige Strahlungsdiagramm in der Horizontalebene (Bild 10) weist aus, daß alle Nebenzipfel mehr als 30 dB unterdrückt sind.

### ■ Einfaches Stocken

Eine Zweiergruppe läßt sich ohne mechanische Klimmzüge aufbauen. Man braucht lediglich zwei Stücke Koaxialkabel mit 70  $\Omega$  Wellenwiderstand (auch leichter erhältliches 75- $\Omega$ -Kabel ist verwendbar) ungeradzahlig Vielfache von  $\lambda/4$  lang, bei den kürzeren Yagis  $5 \lambda/4$ , bei den längeren  $7 \lambda/4$ , um auf die erforderlichen Stockungsabstände zu kommen. Der Verkürzungsfaktor des jeweiligen Kabels ist dabei zu berücksichtigen. Die verwendeten Längen beziehen sich auf die Außenabschirmung! Genauere Details für Zweier- und Vierergruppen s. [7].



Bild 12: Praktische Ausführung der Gamma-Anpassung. Auf guten Massekontakt zwischen Buchse und Trägerrohr ist zu achten! Fotos: Autor

### ■ Abschließende Betrachtungen

Verglichen mit manchen vollmundigen Prospektangaben, erscheinen meine Gewinnangaben, s. o., vielleicht etwas niedrig. In der Vergangenheit mußten jedoch fast alle Hersteller von zu hohen Angaben abrücken. Zum Vergleich sei der als völlig korrekt anzusehende, errechnete Wert einer 2,75 m langen Yagi von 10,1 dBD nach dem DL6WU-Design genannt [7]. Besonders die beschriebene 7-Element-Yagi verblüffte beim Fieldday die OV-Kollegen mit dem exzellenten Strahlungsdiagramm. Es ist beeindruckend zu sehen, wie eine Bake mit einer Signalstärke von S 6 beim Drehen der Antenne in die Gegenrichtung völlig im Rauschen verschwindet.

### Literatur

[1] Hoch, G., DL6WU: Wirkungsweise und optimale Dimensionierung von Yagi-Antennen, UKW-Berichte 17 (1977), H. 1  
 [2] Hoch, G., DL6WU: Mehr Gewinn mit Yagi-Antennen, UKW-Berichte 18 (1978), H. 1  
 [3] Hoch, G., DL6WU: Extrem lange Yagi-Antennen, UKW-Berichte 22 (1982), H. 1  
 [4] Bertelsmeier, R., DJ9BV: Yagi-Antennas for 144 MHz, DUBUS (1990), H. 1  
 [5] ARRL-Antenna-Handbook 1995  
 [6] Steyer, M., DK7ZB: Einfache Speisung von Monoband-Yagis, FUNKAMATEUR 44 (1995), H. 4, S. 406  
 [7] Rothammel, K., Y21BK: Antennenbuch, Frank-Kosmos, 10. Auflage 1991