

Konstruktionsprinzipien für UKW-Hochgewinn-Yagiantennen (1)

MARTIN STEYER – DK7ZB

Zum Nachbau von in der Literatur beschriebenen Yagiantennen können sicher viele Amateure etwas berichten. Zu einer guten Baubeschreibung gehören nun nicht nur exakte Angaben für Elementdurchmesser und -befestigung. Man sollte auch in der Lage sein, Veränderungen vornehmen und deren Folgen abschätzen zu können. Legenden über Wunderantennen mit utopischen Gewinnen gehören dazu; leider sieht die Praxis anders aus. Dieser Beitrag soll helfen, alles etwas realistischer zu sehen.

Yagiantennen sind bei Funkamateuren seit den 50er Jahren eng mit der Nutzung der Bänder 2 m und 70 cm verbunden, dann kamen auch noch SHF-Bänder hinzu. Bis vor etwa 20 Jahren waren dabei homogene Yagis Standard. Bei ihnen sind die Abstände und Längen der Direktoren gleich. Sie wurden 1958 intensiv untersucht [1], erreichen jedoch nicht den maximal möglichen Gewinn, auch ihr Richtdiagramm ist nicht optimal.

Günter Hoch, DL6WU, untersuchte Mitte der 70er durch umfangreiche Experimenten inhomogene Yagis und dokumentierte ausführlich die Ergebnisse [2], [3]. Er verkürzte die Direktoren stufenweise und staffelte dabei ihren Abstand zunehmend bis etwa $0,4 \lambda$.

Eine ganze Generation Funkamateure profitierte von den Ergebnissen. Ich selbst habe viele Yagis für 2 m, 70 cm und 6 m nach den DL6WU-Dimensionierungsregeln gebaut; sie funktionierten auf Anhieb einwandfrei. Auch der Einfluß der Elementmontage, bis dahin ein recht unklares Kapitel, erschien jetzt transparenter.

Die Antennen waren so konzipiert, daß sie ab etwa 2λ Länge direktorseitig nach jedem Element abgeschnitten werden konn-

ten und dabei weiter brauchbare Ergebnisse lieferten. Auf Verbesserungsmöglichkeiten, z.B. in der Endzone, hat DL6WU bereits damals hingewiesen (s.u.).

Umfangreiche Experimente mit inhomogenen Yagis, deren zusammenfassende Ergebnisse in [4] festgehalten sind, führte auch DL2RSX, ex Y23RD, durch.

Blieb die Analyse von Yagis mit dem Computer zunächst den Profis vorbehalten, bot dann NEC-II die Möglichkeit, die Eigenschaften von Antennen und Veränderungen an ihnen rechnerisch zu erfassen. Auf diese Weise wurden die DL6WU-Yagis von DJ9BV 1990 weiterentwickelt [5]; er behielt aber den $200\text{-}\Omega/50\text{-}\Omega$ -Faltdipol als Erreger bei. Daß die Computeroptimierung realistische Ergebnisse liefert, zeigen zahlreiche EME-Gruppen, die mit DJ9BV-Yagis arbeiten.

Heute ist es auf einem schnellen PC möglich, mit an NEC-II „kalibrierten“ Programmen Yagis zu untersuchen bzw. zu konstruieren. Damit ist eine weitere, geringfügige Verbesserung möglich, allerdings muß für jede Boomlänge neu optimiert werden. Auffällig ist dabei, daß man bei sehr langen Yagis mit deutlich weniger Elementen auskommt als bisher angenom-

men. Solche computeroptimierten Yagis haben ihre Leistungsfähigkeit inzwischen klar unter Beweis gestellt (s. Tabelle) und sind auch bei EME-DXern im Einsatz.

Es sei jedoch nachdrücklich darauf hingewiesen, daß die PC-Optimierung ohne die aufwendige experimentelle Vorarbeit vieler Amateure nicht möglich wäre! Eine Kontrolle, ob die Daten in der Praxis eingehalten werden, ist trotzdem unerlässlich.

Die Zonen bei Langyagi-Antennen

Grundsätzlich kann man bei Langyagi-Antennen vier Zonen unterscheiden. Sie sind nicht klar abgegrenzt, sondern gehen ineinander über. Bild 1 zeigt die Zusammenhänge am Beispiel einer 12-Element-Yagi für das 2-m-Band bei einer realen Dimensionierung. Die Parasitärelemente bestehen hier aus Aluminiumrohr $10 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$; der Strahler ist ein gestreckter Dipol mit 12 mm Durchmesser und $28\text{-}\Omega$ -Anpaßtechnik nach [6].

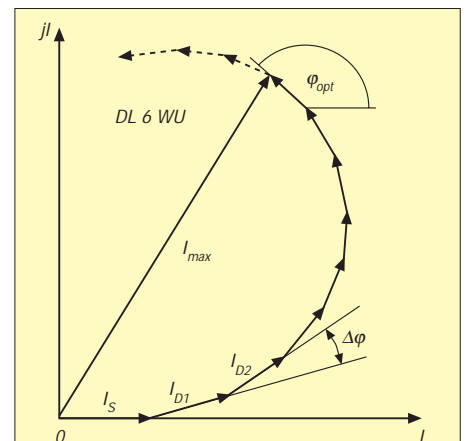


Bild 2: Theoretisches Vektordiagramm der Feldstärke in Strahlrichtung einer Yagiantenne (I_S = Strom im Strahler, I_D = Ströme in den Direktoren)

Bild 1: Die verschiedenen Zonen einer Langyagi am Beispiel der DK7ZB-12OPT. Die Elementlängen gelten für 10-mm-Aluminiumrohre (Strahler 12 mm) bei isolierter Elementbefestigung oberhalb des Booms.

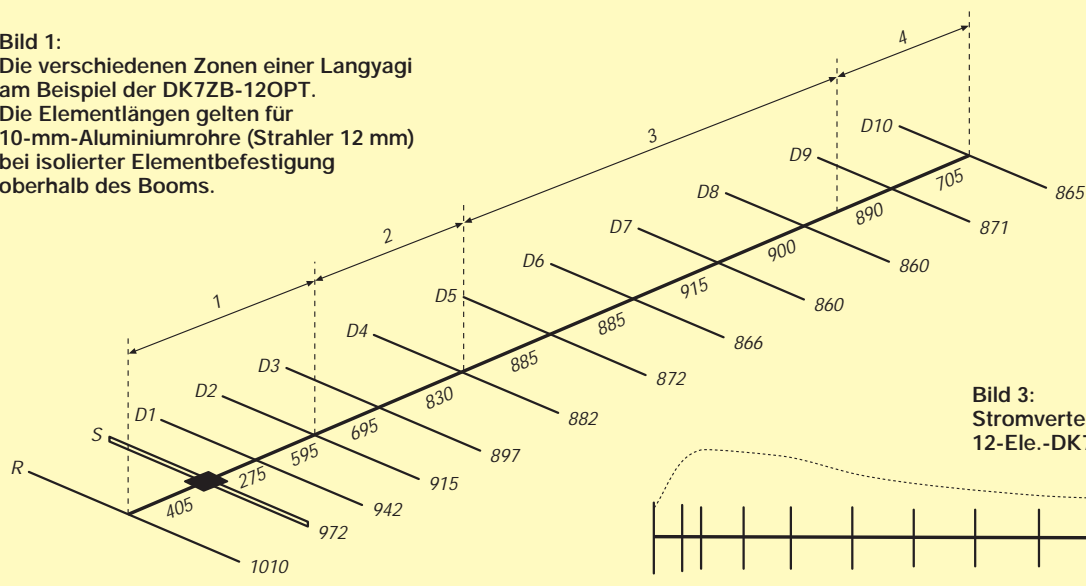


Bild 3: Stromverteilung bei der 12-Element-Yagi

zunehmend kürzer (kapazitiver Blindanteil, -j) und ihre Abstände zueinander größer. Hier wurden in der Vergangenheit meist zu viele Elemente mit zu geringen Abständen eingefügt. Als Folge ergaben sich Sprünge im Stromprofil, die schlechte Richtdiagramme zur Folge hatten. Neuerdings verwendet man bei gleichem oder sogar größerem Gewinn zunehmend weniger Elemente (vgl. Tabelle).

Die Wellenleiterzone (3) entscheidet über den Gewinn. Da Yagi-Antennen Längsstrahler sind, steigt der Gewinn ausschließlich proportional zur Länge. Voraussetzung ist dabei eine optimale Staffelung der Elemente. Daraus ergibt sich zudem zwingend, daß andere Elementgeometrien (Quad, Loop) mit zunehmender Antennenlänge gegenüber dem Yagi-Prinzip keinerlei Verbesserung bringen und bei mehr als zwei Elementen eine absolute Materialverschwendung darstellen, wenn auch immer wieder lange Antennen mit Ganzwellenelementen propagiert wurden.

Die Endzone (4), bestehend aus dem letzten und vorletzten Direktor, ist dafür verantwortlich, daß die Welle möglichst ohne Reflexion in den Freiraum austritt. Dies

erreicht man dadurch, daß der letzte Direktor (eventuell auch noch weitere) im Abstand wieder etwas näher gesetzt und gegenüber den anderen etwas stärker verkürzt wird.

Schon DL6WU hat darauf hingewiesen, daß Verbesserungen in diesem Bereich durchaus lohnend für die Gesamteigenschaften der Antenne sind. So kann man den Feinabgleich auf minimales Stehwellenverhältnis am Antennenende vornehmen [3], [9], ein zunächst paradox erscheinendes Verfahren, das aber bei Kenntnis der geschilderten Vorgänge verständlich wird.

■ Die Strombelegung der Elemente

Hohen Gewinn bei geringen Nebenzipfeln und guter Rückdämpfung erhält man, wenn die Ströme vom Erregerzentrum aus kontinuierlich zum Antennenende hin abfallen. Die Feldstärke entlang des Systems ist proportional zum Vektor der Ströme in den Elementen. Die von einem Element zum nächsten auftretende kontinuierliche Verkürzung führt zu einer Phasenverschiebung, die sich durch den Phasenwinkel ausdrücken läßt.

Man kann die Sache auch anders betrachten: Es kommt zu einer Laufzeitverschiebung der Welle entlang des Antennensystems. Der dafür notwendige optimale Phasenwinkel φ_{opt} (Bild 2, aus [2]) läßt sich nicht für alle Direktoren erreichen, da sich ab einem bestimmten Punkt der resultierende Vektor u.U. nicht mehr erhöht, sondern wieder abnimmt. Das ist der Grund, warum homogene Yagis mit gleichen Direktorabständen und -längen an eine Gewinngrenze stoßen und weitere Elemente keinen Gewinnzuwachs mehr bringen.

Hierdurch wird auch der maximale Abstand der Direktoren in der Wellenleiterzone bestimmt, der $0,45 \lambda$ nicht überschreiten darf. Durch eine stufenweise Verkürzung der Direktoren bei gleichzeitiger Zunahme des Abstandes bleibt man länger im Bereich der optimalen Laufzeitverzögerung als bei homogenen Yagis und erzielt so höhere Gewinne (DL6WU-Prinzip) und weniger Nebenzipfel [2], [3].

Allerdings ergibt sich so auch das Dilemma, daß bei stetiger Verkürzung und durch die auftretende starke Phasenverschiebung am Antennenende kaum noch Ströme fließen. Man begegnet dem in gewissen Grenzen, wenn man in der Wellenleiterzone wieder etwas längere Direktoren einfügt und dadurch ein schnelles Absinken der Ströme verhindert.

Bild 3 zeigt am Beispiel der DK7ZB-12OPT den Verlauf der Elementströme, die sich bei konsequenter Umsetzung der beschriebenen Konstruktionsregeln einstellen. Negative Gegenbeispiele stellen verschiedene in Deutschland angebotene Yagis dar, die starke Sprünge im Stromprofil aufweisen und möglicherweise durch Umrechnen der Maße aus Fernsehantennen entstanden sind. Die Ursache ist eine zu dichte Elementbelegung, die Folgen sind schlechte Richtdiagramme und ein niedrigerer Gewinn als angegeben.

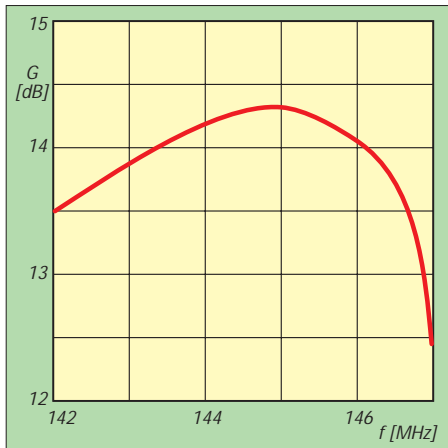


Bild 4: Gewinnverlauf im Bereich 143 MHz bis 147 MHz

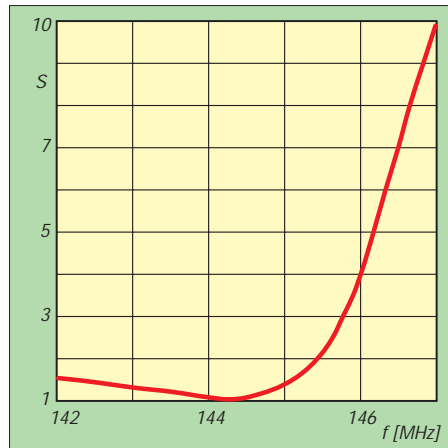


Bild 5: SWR-Kurve: Deutlich der starke Anstieg 1,5 MHz oberhalb der Entwurfsfrequenz

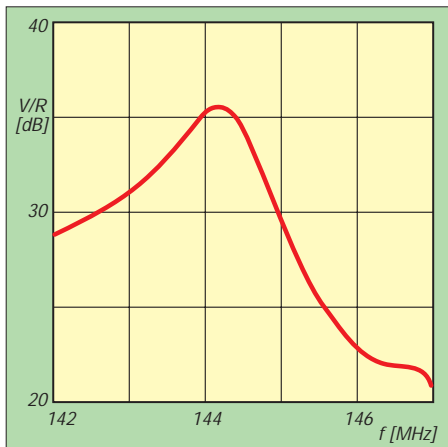


Bild 6: Integriertes F/R-(Front/Rear-)Verhältnis im rückwärtigen Bereich der Antenne von 90° bis 270°

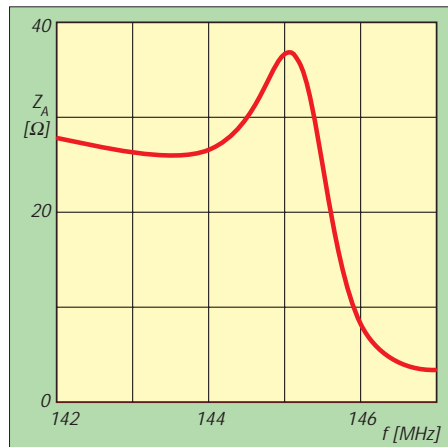


Bild 7: Verlauf des Strahlungswiderstands. Man beachte den Zusammenhang mit den Bildern 4 und 5!

■ Die Entwurfsfrequenz

Ehe wir uns näher mit dieser Thematik beschäftigen, sollten wir uns kurz die prinzipiellen Abhängigkeiten der Faktoren bei einer Yagi anschauen. Als Beispiel soll die $3,83 \lambda$ lange DK7ZB-12-Yagi dienen, die aus der in [6] vorgestellten durch geringfügige Veränderungen entstand und deren Abmessungen aus Bild 1 hervorgehen.

Den höchsten Gewinn (Bild 4) erreicht eine richtig dimensionierte Yagi immer am oberen Ende des nutzbaren Frequenzbandes, wo die Direktoren relativ zur Arbeitsfrequenz am längsten sind. Der Strahlungswiderstand (Bild 6) fällt danach dramatisch ab; als Folge wird auch das SWR

(Bild 3) sehr schlecht. Der Grund besteht darin, daß die Direktoren schon in die direkte Resonanz der Betriebsfrequenz geraten, ihre Wirkung verlieren und den Erreger sehr stark beeinflussen.

Sinnvollerweise sollte die Entwurfsfrequenz (hier 144,3 MHz) mit bester Rückdämpfung (Bild 5) weit genug unterhalb der „Cut-off-Frequenz“ liegen, wenn dabei auch 0,1 dB Gewinn verlorengelassen. Trotz optimaler Eigenschaften am Bandanfang ist aber auch noch Betrieb bis 146 MHz möglich. Man vermeidet so Mißerfolge beim Nachbau und verhindert, daß die Antenne zu empfindlich gegen Umgebungseinflüsse wie benachbarte Metallteile, Eis, Schnee und Regen reagiert. Daß eine Hochgewinn-yagi entsprechend freimontiert werden muß, ergibt sich daraus zwingend.

Unterhalb der Entwurfsfrequenz werden die Direktoren im Verhältnis zur Frequenz immer kürzer, behalten aber bei reduziertem Gewinn noch ihre Wirkung. Daraus ergibt sich, daß die nutzbare Bandbreite einer Yagi bei richtiger Konzeption relativ groß ist, sich dabei aber weitgehend auf die Frequenzen unterhalb des Maximums erstreckt.

Deutlich sei noch festgehalten, daß sich die berechneten Werte nicht wie bei vielen anderen computergestützt berechneten Yagis auf Maße mit Zehntelmillimeter beziehen. Es wurden die tatsächlich abgeschnittenen Elementlängen auf ganze Millimeter gerundet und die Elementabstände auf Vielfache von 5-mm-Intervallen festgelegt, was wesentlich praxistgerechter ist. Dies gilt es bei eventuellen Vergleichen zu beachten!

(wird fortgesetzt)

Literatur

- [1] Ehrenspeck, H. W., Poehler, H.: A new method for obtaining maximum gain from Yagi antennas, IRE Trans. Ant. Prop. (1959), H. 10, S. 379
- [2] Hoch, G., DL6WU: Wirkungsweise und optimale Dimensionierung von Yagi-Antennen, UKW-Berichte 17 (1977), H. 1, S. 27
- [3] Hoch, G., DL6WU: Mehr Gewinn mit Yagi-Antennen, UKW-Berichte 18 (1978), H. 1, S. 2
- [4] Oberrender, O., DL2RSX: Tips und Tricks für UKW-Yagis, FUNKAMATEUR 31 (1982), H. 8, S. 712
- [5] Bertelsmeier, R., DJ9BV: Yagi-Antennas for 144 MHz, Dubus (1990), H. 1, S. 19
- [6] Steyer, M., DK7ZB: Hochleistungs-yagis für das 2-m-Band in 28-Ω-Technik, FUNKAMATEUR 46 (1997), H. 1, S. 72
- [7] White, I., G3SEK: The VHF/UHF-DX-Book, DIR Publishing Ltd., 1992
- [8] Asbrink, L., SM5BSZ: Computergestützter Entwurf von Hochgewinn-Yagi-Antennen, UKW-Berichte 36 (1996), H. 4, S. 217
- [9] Asbrink, L., SM5BSZ: Practical Design of Very High Gain Yagi Arrays, Preliminary Manuscript (Internet)

Mignon-NiCd-Akkus für Handfunkgeräte – kostenlos!

Seit vielen Jahren gibt es die praktischen schnurlosen Telefone. Schwachpunkt ist die Akkukassette mit den fast überall üblichen vier NiCd-Mignonzellen (600 mAh). Aus geheimnisvollen Gründen bilden sich, meist nur in einer der Zellen, so große Kristalle, daß sie die Elektroden kurzschließen. Folge ist eine Null-Volt-Zelle im Paket. Das Gerät mißt das als Unterspannung und gibt Alarm.

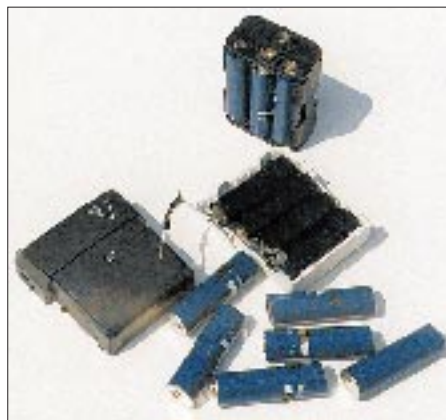
In den Entstörungsstellen von Telekom und Telefongesellschaften kennt man das und wechselt selbstverständlich den gesamten Batteriepack aus – Zeit, die einzelnen und auch noch verschweißten Zellen auszumessen und auszuwechseln, hat niemand. Ausrangierte Batteriepacks werden aber gern an Interessenten abgegeben, denn die braucht man ja nicht mehr für gutes Geld zu entsorgen.

Wer für sein Handfunkgerät o.ä. kostenlos Akkus bekommen möchte, sollte sich bei einer Telefon-Service-Stelle mehrere ausgemusterte Akkukassetten beschaffen. Erstes Vorsortieren der noch unzerlegten Packs mit dem Voltmeter (also ohne nennenswerte Last) kann folgende Erkenntnisse bringen:

- Es ist gar keine Spannung oder nur noch eine unter 1 V zu messen – Hände weg! In dieser Batterie sind entweder alle Zellen kurzgeschlossen, oder sie wurden, ggf. auch durch sehr langes Liegen ohne Ladeerhaltung, tiefentladen. Man bekommt zwar auch diese Typen wieder hin, aber dauerhaft nur dann, wenn man über genügend Erfahrung, Geduld und entsprechende Meßmittel verfügt.

- Es sind 4,8 V und mehr zu messen: auch hier Vorsicht! Dabei ist es nämlich wahrscheinlich, daß alle Zellen zwar heil sind, aber im Laufe der Jahre oder durch falsche Behandlung so erheblich an Kapazität eingebüßt haben, daß sich der Wiedereinsatz nicht mehr lohnt. Denn einen noch guten Zellenpack wirft ja niemand weg.
- Normalerweise läßt sich jedoch an einer ausgemusterten Kassette eine Spannung messen, die um bzw. unter 4 V liegt. Das deutet auf nur eine defekte Zelle hin, und das sind unsere Kandidaten!

Im letzten Fall wird der Akkupack auseinandergenommen. Mit einem Seitenschnei-



Die vier Zustände auf einem Bild: links die Akkukassette von einem schnurlosen Telefon (schwarz), rechts eine geöffnete Akku-Kassette mit vier Mignon-NiCd-Zellen und den Verbindungsstegen. Unten sechs für gut befindene, nun getrennte Einzelzellen; oben ein neu zusammengestellter Akkupack mit sechs Zellen
Foto: DJ3RW

der trennt man die Nickelblechstege durch und schneidet den Rest vorsichtig um die Punktschweißverbindungen herum ab. Dabei auf keinen Fall die Stege einfach abzureißen versuchen! Das gibt Löcher in den Zellen und führt zum Auslaufen oder Austrocknen. Außerdem sind die Verbindungsstege sehr scharf! Nicht mit der Hand umbiegen, nur Flachzange o.ä. benutzen.

Es folgt das Ausmessen der Einzelzellen, diesmal unter Last. Dazu legt man seinem Voltmetereingang einen 12-Ω-Widerstand parallel. Wenn die Zelle noch mehr als 1 V aufweist, ist sie zu verwenden. Meist mißt man bei guten um 1,2 V; schlechte haben deutlich weniger bis keine Spannung mehr und werden aussortiert. In der Regel gewinnt man aus zwei Akkupacks je drei Zellen, zusammen sechs, die nun den Batteriepack des Handys o.ä. füllen können. Das geht völlig problemlos, denn es handelt sich ja um normale Mignonzellen.

Den so gewonnenen neuen Pack lädt man 14 Stunden lang mit 60 mA. Moderne NiCd-Zellen mit Sinterelektroden vertragen auch eine längere Ladung, sofern sie nicht mit größeren Strömen als 1/10 der Nennkapazität erfolgt. Die Spannung sollte danach über 8 V betragen und darf auch einige Stunden später nicht unter 7,5 V zurückgehen. Nach einem bis drei Lade- und Entladespielen haben alle Zellen (sofern sie aus etwa gleicher Produktionszeit stammen; das Fertigungsdatum steht meist auf der Zelle) wieder die gleiche Kapazität.

Die bei mir aus solchen Zellen zusammengesetzten Akkupacks hatten alle eine Kapazität von mehr als 600 mAh. Zur Ladung empfehlen sich alle herkömmlichen Ladegeräte oder solche mit Impulsladung, jedoch keinesfalls übliche Netzteile, bei denen nur die Spannung einstellbar ist.

Klaus Böttcher, DJ3RW