

Fishpole-Vertikalantenne für KW

***Eigenbau einer transportablen Vertikalantenne für
die Bänder von 40 m bis 20 m***



Christoph Schwärzler, OE1CGS

Dezember 2019

Abstract

This documentation deals with a lightweight and easily deployable DIY vertical antenna for HF radio communication.

Due to its low weight of only 1.2 kg for the whole system, including radials and its low elevation radiation profile, this antenna is ideal for SOTA- and field DX activities. Nevertheless is this antenna capable of handling more than QRP power levels. It takes less than 5 minutes to erect or disassemble the antenna. Changing the band is very easy by replacing one easily accessible part of the antenna. This article deals with models for the 40 m, 30 m and 20 m amateur radio bands.

Due to the use of 3D printed parts, this antenna can be built in about 1 ¼ to 2 hours and the costs of about 30 € (excluding 3D printed parts) are also very attractive.

This document does not only provide very detailed information about building the antenna, but also shares results from practical testing and characteristic parameters. Finally, insights gained by modelling the antenna with EZNEC are discussed in this document.

Zusammenfassung

Die vorliegende Dokumentation beschreibt den Selbstbau einer leichten und rasch aufzubauenden Vertikalantenne für den Kurzwellenfunk.

Durch das geringe Gesamtgewicht des Systems (inklusive Gegengewichte) von nur 1,2 kg und die flache Abstrahlcharakteristik, ist die Antenne hervorragend für DX-Verbindungen im SOTA- oder sonstigem Feldbetrieb geeignet. Dabei verträgt sie nicht nur QRP, sondern auch höhere Leistungen. Die Antenne ist in weniger als 5 Minuten aufgebaut und ebenso schnell wieder demontiert. Ein Bandwechsel ist durch den Austausch eines einzigen Teils der Antenne sehr einfach. In dieser Arbeit werden Varianten für die Bänder 40 m, 30 m und 20 m beschrieben.

Durch den Einsatz von 3D-gedruckten Teilen kann die Antenne mit einem Arbeitsaufwand von nur rund 1 ¼ (20 m Band) bis 2 Stunden (30 und 40 m Bänder) erstellt werden. Mit ca. 30 € bleiben auch die Materialkosten außerordentlich niedrig.

In dieser Dokumentation wird nicht nur die Herstellung der Antenne im Detail beschrieben, sondern auch praktische Erfahrungen und Leistungsdaten diskutiert. Erkenntnisse aus der

Modellierung der Antenne mit EZNEC runden die Evaluierung ab.

1.) Konzept

Die hier beschriebene Vertikalantenne („Marconi-Antenne“ mit Verkürzung/Verlängerung) besteht aus den folgenden Komponenten:

- Strahler, geführt in einer Stip-Angelrute
- Elektrisches Gegengewicht („Radials“)
- Erdspeiß als mechanische Halterung
- HF-Anpassung, Anschluss und mechanische Verbindung in einer Anschlussbox

Einige Komponenten sind im 3D-Druckverfahren herzustellen und erfordern daher den Zugang zu einer entsprechenden Ausrüstung. Alternativ bieten inzwischen etliche Dienstleister an, derartige Teile anzufertigen. Für sämtliche derartige Komponenten existieren 3D-Druckmodelle.

Bei der Auswahl der Angelrute zur Fixierung des Strahlers muss darauf geachtet werden, kein Modell aus elektrisch leitender Kohlefaser, sondern eine Glasfaserrute einzusetzen. Sie sollte für dieses Konzept eine Länge von rund 5,5 m besitzen.

Ein passendes Modell¹ ist günstig (rd. 20 € inkl. Versand) im China-Versandhandel erhältlich. Es wiegt 320 g und ist im ineinandergesteckten Zustand nur 64 cm lang. Alle folgenden Ausführungen sowie Teile der 3D-Modelle sind auf dieses Modell zugeschnitten! Sollte eine andere Rute Verwendung finden, so ist höchstwahrscheinlich das Fußteil neu zu konzipieren und möglicherweise auch die Anpassung (Spule, Kondensator) anders zu dimensionieren.

Der Strahler benötigt zur Entfaltung einer guten Aussendung der elektromagnetischen Wellen einen Gegenpol. Ohne weiteres Zutun, wird der Erdboden diese Funktion übernehmen, allerdings geht durch den unvermeidlichen Erdwiderstand ein guter Teil der Leistung ebendort wieder verloren. Daher ist es vorteilhaft, dem Strahler einen gut leitenden Gegenpol zur Verfügung zu stellen. Im vorliegenden Konzept werden dazu 8 Stück, je 5 Meter lange Drähte aus Kupferlitze (sog. Radials) benutzt.

Ein 25 cm langer Erdspeiß wird zur Montage der Antenne weitgehend in den Boden eingeschlagen. An ihm wird die gesamte Antenne befestigt, weitere Elemente wie z.B. Abspannungen sind nicht

erforderlich. Gleichzeitig sorgt er für die elektrische Verbindung des Gegengewichts.

In der 3D-gedruckten Anschlussbox befindet sich die gesamte Anpassungselektronik sowie der BNC-Stecker für die HF-Zuleitung. Der Strahler wird in die Box eingeschraubt, welche ihrerseits auf den Erdspeiß geschraubt wird. Dadurch wird sowohl die mechanische als auch die elektrische Verbindung hergestellt. Für jedes Amateurfunkband (40 m, 30 m und 20 m) existiert eine eigene Anschlussbox. Dennoch ist durch die Schraubtechnik ein Bandwechsel in weniger als einer Minute durchgeführt.

HF-technisch unterscheiden sich die Modelle für das 40 m und 30 m Band auf der einen Seite und das Modell für 20 m auf der anderen Seite dadurch, dass für die ersteren der Strahler elektrisch „zu kurz“ und für das letztere „zu lang“ ist. Daher benötigen die 40 m und 30 m Modelle eine elektrische „Verlängerung“ in Form einer Spule und das 20 m Modell eine „Verkürzung“ durch einen Kondensator im Fußteil.

Bild 1 zeigt das Schema für die Bänder 40 m und 30 m.

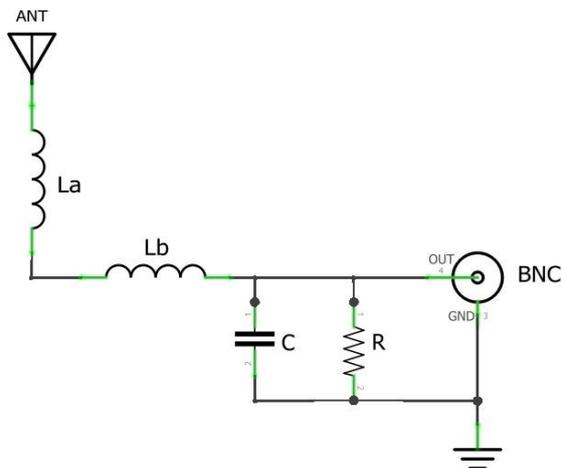


Bild 1: Schema der Anpassung der Varianten für 40 m und 30 m

Der kapazitive Blindanteil des eigentlichen Strahlers („ANT“) wird im Fußpunkt durch eine Verlängerungsspule („La“) kompensiert. Danach folgt ein L/C Anpassungsnetzwerk („Lb“ und „C“) in Tiefpassausführung. Der hochohmige Widerstand („R“) hat keine nennenswerte Auswirkung auf die Anpassung, schützt jedoch den Transceiver vor elektrostatischen Aufladungen der Antenne und verhindert auch das damit verbundene Rauschen. Ein Richtwert für den Widerstand sind 220 k Ω , wobei eine Ausführung für 0,125 W genügt. Die „Erdung“ geschieht minimal über den Erdspeiß, aber vor allem über die, am Boden ausgelegten

Radials. Als Anschluss für die Zuleitung ist ein BNC-Stecker vorgesehen, mit geringfügigen Änderungen an der Anschlussbox kann aber auch ein PL-Stecker montiert werden.

Eine Besonderheit dieses Konzepts ist, dass „La“ und „Lb“ unmittelbar aufeinander folgen und daher mechanisch zu einer Spule „L“ zusammengezogen werden können. Dies vereinfacht den Aufbau wesentlich.

Für das 20m Band hingegen ist der 5,4 m lange Strahler etwas zu lang. Hier muss der induktive Blindanteil der Impedanz kompensiert werden, was, wie in Bild 2 gezeigt, durch einen in Reihe zum Strahler geschalteten Kondensator („Cv“) erfolgt.

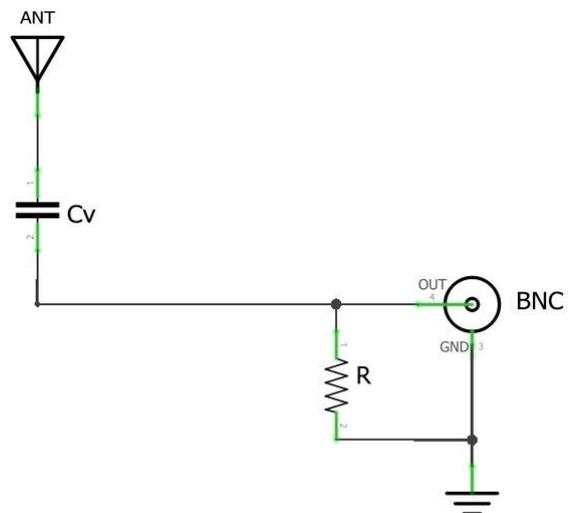


Bild 2: Anpassungsschema für die 20 m Variante

Der verbleibende Wirkwiderstand von ca. 60 bis 69 Ω liegt leicht über dem Sollwert von 50 Ω , aber das so erzielbare Stehwellenverhältnis von max. 1,5:1 rechtfertigt keinen zusätzlichen Aufwand für eine antennenseitige Anpassung und die damit einhergehenden Verluste. Wiederum schützt ein hochohmiger Widerstand mit 220 k Ω den Transceiver vor einer elektrostatischen Aufladung der Antenne.

In den folgenden Abschnitten 2 bis 4 wird zuerst der Aufbau der einzelnen Antennenkomponenten im Detail und in Abschnitt 5 der Zusammenbau der gesamten Antenne beschrieben. Sehr viel Aufmerksamkeit wird in Abschnitt 6 den Ergebnissen sowohl von direkten Messungen als auch von Simulationen der Eigenschaften mit EZNEC gewidmet. Es werden auch Vergleiche mit anderen Antennenformen durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse und eine Liste der benötigten Bauteile schließen die Dokumentation ab.

2.) Strahler

Der vertikale Strahler besteht aus einem isolierten Kupferlitzendraht mit einem Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ (siehe Bauteilliste im Anhang). Dieser wird in die Stipp-Angelrute eingezogen und von dieser gehalten. Insgesamt besitzt der Strahler eine Länge von 5,40 m.

Die mechanische und zugleich elektrische Verbindung des Strahlers erfolgt über einen, im 3D-Druck angefertigten Adapter zusammen mit einer M8 Gewindestange. Dieser Adapter wird anstelle des originalen Abschlusses in das unterste Element der Angelrute geschraubt. Die aus dem Adapter hervorstehende Gewindestange wird wiederum in das Fußteil geschraubt und von diesem sowie dem Erdspeiß gehalten.

Die Herstellung des Strahlers ist sehr einfach und kann in einer halben Stunde durchgeführt werden.

Zuerst wird das oberste, dünnste Element der Angelrute entfernt und das zweite Element von der Oberseite her um 13 cm gekürzt, so dass sich der Draht gerade durchziehen lässt.

Eine M8 Mutter aus Edelstahl wird mit schnellhärtendem Epoxidkleber in die entsprechende Vertiefung am unteren Ende des Adapters eingeklebt (Bild 3).



Bild 3: Adapter (3D-Druckteil) mit eingeklebter Mutter M8

Von der M8 Gewindestange aus Edelstahl wird ein Stück mit 128 mm Länge abgesägt (Bild 4). Die Enden werden ggf. durch Feilen und Schneiden des Gewindes nachbearbeitet. Versuchsweise sollten sich entsprechende Muttern jetzt von beiden Seiten leicht aufschrauben lassen. Dieses Gewindestück wird durch die Mutter im Fußteil nun soweit durch dieses eingeschraubt/geschoben, dass nur mehr exakt 20 mm unten hervorstehen. Auf der anderen Seite des Adapters sollte das Gewinde jetzt ca. 8

mm hervorstehen, so dass es sich gut mit einer M8 Mutter fixieren lässt.

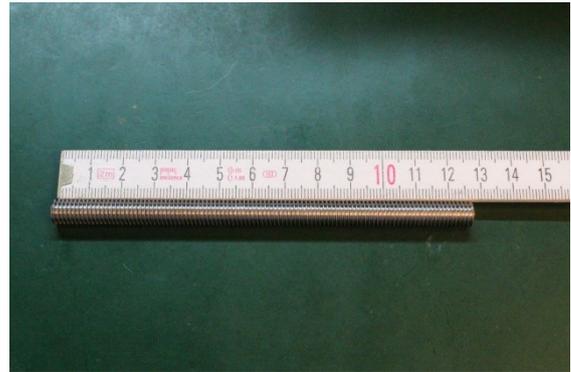


Bild 4: Gewindestange M8 für den Adapter auf 12,5 cm sägen

Nun wird an ein ca. 5,5 m langes Stück des isolierten Kupferlitzendrahts mit dem Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ ein Ringkabelschuh für M8 angelötet. Der Kabelschuh wird auf das kurze Gewindestück auf der Oberseite des Adapters aufgesetzt und mit einer M8 Mutter festgeschraubt. Damit wird gleichzeitig die Gewindestange im Adapter fixiert. Nun wird der Kabelschuh soweit vom Adapter weg gebogen, dass der Draht fast in Verlängerung der Gewindestange vom Adapter wegführt. Dafür ist es sinnvoll, den Kabelschuh „verkehrt“ aufzusetzen, also so, dass die flache Unterseite des Kabelschuhs zuerst nach oben und nach der Biegung hin zur Mutter gerichtet ist. Bild 5 zeigt, wie der Adapter mit dem montierten Draht aussehen soll.



Bild 5: Fertig montiertes Adapter des Strahlers

Das freie Ende des Drahts wird nun in die Angelrute eingezogen und deren Elemente anschließend auseinandergezogen. Wenn alle Elemente vollständig ausgezogen und gut ineinander fixiert sind, wird der Adapter eingeschraubt. Jetzt sollten gut 20 cm Litzendraht an der Rutenspitze hervorstehen. Mit sanftem Zug wird der Draht gespannt und mit etwa 1 cm Überstand über das oberste Element abgeschnitten. Die Drahtlänge sollte jetzt ca. 525 cm betragen. Wird das Ende abisoliert und verzinkt oder mit einer Aderendhülse versehen, so kann der Draht leicht mit einer kleinen Lüsterklemme fixiert werden. Alternativ kann der

Draht auch bündig abgeschnitten und mit dem obersten Element verklebt werden, damit ist aber keine vollständige Demontierbarkeit für Transportzwecke mehr gegeben.

Das aktive Element der Vertikalantenne ist somit fertig. Mit seiner Masse von nur 470 g und einer maximalen Länge von 64 cm im zusammengeschobenen Zustand ist der Strahler sehr leicht zu transportieren.

3.) Gegengewicht und Erdspeiß

Das Gegengewicht zum Strahler besteht aus 8 Drähten, die sternförmig von der Antenne weg auf den Boden gelegt werden. Diese sog. Radials sind in der Mitte zentral mit dem Erdspeiß verbunden. Der Erdspeiß seinerseits ist in der Anpassungsbox an den äußeren Pol („Masse“) des HF-Steckers angeschlossen.

Die Radials bestehen aus isolierter Kupferdrahtlitze mit einem Querschnitt von 1 mm² und einer Länge von je 5 m. Zur Befestigung am Erdspeiß werden sie an Ringkabelschuhe für M8 gelötet (Bild 6) und die Übergangsstelle mit Schumpfschlauch geschützt. Die Dimensionierung der Radials wird in Abschnitt 6 genauer erörtert.



Bild 6: Die Radials werden im Betrieb über die M8 Ringkabelschuhe mit dem Erdspeiß verbunden

Der Erdspeiß besteht aus einem 30 cm langen Stück M8 Gewindestange aus Edelstahl (Bild 7). Er dient einerseits zum Anschluss der Radials des Gegengewichts und zugleich auch als mechanische Befestigung der gesamten Antenne.



Bild 7: Es ist hilfreich, wenn der 30 cm lange Erdspeiß aus Edelstahl vorne etwas zugespitzt wird

Nach dem Ablängen, muss das eine Ende entgratet und ggf. das Gewinde nachgeschnitten werden. Hierüber müssen sich später die Ringkabelschuhe

und Muttern problemlos aufschieben lassen. Das andere Ende sollte mit einer Feile zugespitzt werden, um den Speiß beim Aufbau der Antenne leichter ins Erdreich einschlagen zu können.

Insgesamt sollte für die Herstellung der Gegengewichte und des Erdspeißes eine Arbeitszeit von rund 45 Minuten vorgesehen werden.

Das Erdungs- und Montagesystem stellt mit einer Gesamtmasse von 700 g den schwersten Teil der Antenne dar. Davon entfällt der Großteil (600 g) auf die 8 Radials.

4.) Spule

Die Spule im Fußteil der Antenne erfüllt zwei Funktionen. Erstens dient sie in den Varianten für das 40 m und 30 m Band als sog. Verlängerungsspule, um den kapazitiven Blindwiderstand der (elektrisch zu kurzen) Antenne zu kompensieren. Zusätzlich dient sie auch als Teil der L/C-Anpassung an die Impedanz von 50 Ω. Diese ist ausführlicher in Abschnitt 4 beschrieben.

Die Anfertigung der Spulen ist durch die 3D-Druckteile denkbar einfach. Nachdem alle Teile ausgedruckt sind, werden sie unter Einsatz einer Lupe o.ä. kontrolliert und ggf. mit einem feinen Messer, Seitenschneider oder Feile nachbearbeitet. Dann werden die Teile zusammengesteckt, ein Kleben ist nicht notwendig. Speziell die Kerben für den Kupferlackdraht (Bild 8) sollten genau kontrolliert werden.

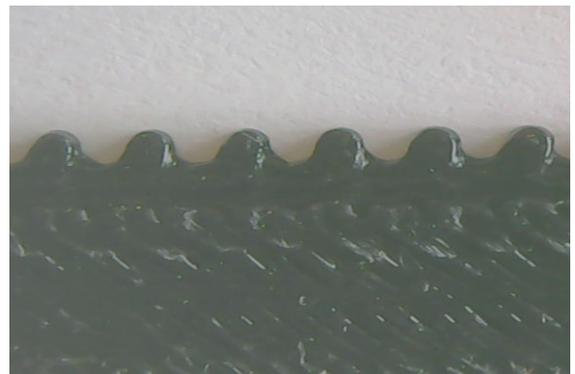


Bild 8: In die Kerben auf den Rippen wird später der Kupferlackdraht gelegt

Insgesamt gehören zu jeder Spule 10 Druckteile: 2 Seitenteile und 8 Rippenteile. Auf den Seitenteilen sind die Ziffern 1 bis 8 aufgedruckt. Achtung, die Seitenteile sind nicht identisch! In einem Seitenteil befindet sich nur 1 Loch für den Kupferlackdraht, im anderen sind es 8 Löcher. Absichtlich sind auch die Montageschlitz für die Rippen unterschiedlich, so dass es zu keiner Verwechslung kommen kann. Die Rippen sind jeweils mit einer anderen Ziffer von

1 bis 8 versehen und auch in den Einkerbungen für den Draht leicht unterschiedlich.

Beim Zusammenstecken muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Ziffer auf der Rippe mit derjenigen auf den beiden Seitenteilen übereinstimmt und die Kerben für den Draht nach außen zeigen! Bitte penibel vor dem Eindrücken nochmals prüfen, da ein nachträgliches Herausziehen einer Rippe sehr mühsam ist. Die Nummerierung stellt sicher, dass der Kupferlackdraht von Rippe zu Rippe um ein Achtel des Windungsabstands verschoben ist. Beim Stecken unbedingt darauf achten, dass die Rippen komplett in die beiden Seitenteile eingesteckt werden und somit bündig abschließen. Dazu ist etwas Druck auf einer harten Unterlage notwendig.

Nach dem Zusammenstecken ist der Spulenkörper (Bild 9) bereits sehr stabil und wird später durch den Kupferlackdraht noch zusätzlich fixiert.



Bild 9: Fertiger Spulenkörper (im Bild für das 30 m Band) nach der Montage und vor der Bewicklung mit Kupferlackdraht

Im nächsten Schritt erfolgt die Bewicklung des Spulenkörpers mit 0,8 mm² Kupferlackdraht, der zuvor auf die passende Länge abgeschnitten wird. Die benötigten Drahtlängen in („l [cm]“) können der folgenden Tabelle 1 entnommen werden:

Band	l [cm]	N	Ziff.	L [μH]
40m/Digi	250	29	„7“	9,94
40m/SSB	245	29	„4“	9,80
30m	105	11	„5“	3,01

Tabelle 1: Daten für die Bewicklung der Spulen

Der Draht wird nun von der Rippenseite durch das Loch auf demjenigen Seitenteil geführt, der nur ein Loch aufweist. Er soll auf der Außenseite ca. 3 cm hervorstehen. Nun beginnt man mit der Bewicklung im Uhrzeigersinn (von den Rippen über den Seitenteil auf den 3 cm Drahtteil blickend). Dazu wird der Draht unmittelbar nach dem Loch um 90° gebogen und in die erste Kerbe der Rippe Nr. 1 gelegt. Unter ständigem, leichten Zug wird der Draht dann in die erste Kerbe der Rippe Nr. 2

gelegt usw. Nach einer Umdrehung geht der Draht dann in die zweite Kerbe der Rippe Nr. 1.

Meine bevorzugte Technik für das Wickeln ist es, ein Drahtende in einen Schraubstock einzuspannen und das andere Ende dann in den Spulenkörper einzufädeln. Dann drehe ich einfach mit beiden Händen den Spulenkörper unter konstantem Zug am Draht und bewickle ihn somit.

Nach N vollen Umdrehungen (s.o.) sucht man sich das Loch bei der o.a. Ziffer „Ziff“ und führt den Draht durch dieses Loch aus dem Spulenkörper heraus. Dabei ist es normal, dass die letzten paar Millimeter der Wicklung nicht mehr perfekt parallel zu den übrigen Wicklungen sind. Bild 10 zeigt die fertig gewickelte Spule für das 30 m Band.

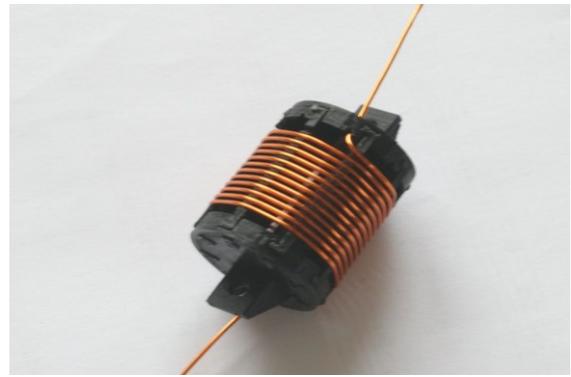


Bild 10: Spule mit Wicklungen für das 30 m Band

Für die Vorbereitung, Montage des Spulenkörpers und das Bewickeln mit Kupferlackdraht sollte eine Arbeitszeit von rund 30 Minuten pro Spule veranschlagt werden.

5.) Anpassung und Fußteil

Die Anpassung sorgt dafür, dass die Impedanz der Antenne auf die Standardimpedanz von 50 Ω Wirkwiderstand transformiert wird. Weil gerade bei der vorliegenden Antennenform die Impedanz der Antennen einen signifikanten Blindanteil aufweist, kann man sich diese Anpassung in 2 Schritten vorstellen. Im ersten Schritt wird der Blindanteil durch seriell beschalten mit einem komplementären Element (Spule oder Kondensator) kompensiert, so dass nur mehr ein Wirkwiderstand vorhanden ist. Liegt dieser bereits in der Nähe von 50 Ω (wie bei der 20 m Variante, vgl. Bild 2), so ist die Anpassung bereits abgeschlossen, andernfalls wird dieser Widerstand durch eine L/C-Kombination auf 50 Ω transformiert. Diese Kombination kann prinzipiell in einer Hochpass- oder in einer Tiefpassvariante aufgebaut werden, wobei die Zweite den Vorteil hat, noch vorhandene Oberwellen zu dämpfen. Zudem führt sie im vorliegenden Fall zu einer baulichen Vereinfachung, indem die Anpassungsspule „Lb“ (vgl. Bild 1) mit

der Spule zur Kompensation des Blindwiderstands „La“ zu einem Bauteil zusammengezogen werden kann. Die Gesamtinduktivität der Spule aus Tabelle 1 kann also gedanklich entsprechend Tabelle 2 in die beiden Teilinduktivitäten „La“ und „Lb“ zerlegt werden.

Band	L [μ H]	La [μ H]	Lb [μ H]	C [pF]
40m/Digi	9,94	9,42	0,52	680
40m/SSB	9,80	9,31	0,49	680
30m	3,01	2,62	0,39	270

Tabelle 2: Gedankliche Zerlegung der Spule „L“ in eine Spule „La“ zur Kompensation des Blindwiderstands („Verlängerungsspule“) und eine Spule „Lb“ als Teil des Anpassungsgliedes, gemeinsam mit dem Kondensator „C“

Die Anpassungsspule „Lb“ passt gemeinsam mit dem Kondensator „C“ die Impedanz des Antennendrahtes samt Verlängerungsspule „La“ an die Systemimpedanz von 50 Ω reell an. Der Kondensator sollte mind. 100 V Spannungsfestigkeit aufweisen und von ausreichender HF-Güte sein. Es muss nicht unbedingt ein Styroflex- oder Glimmerkondensator sein, aber zumindest eine MPO Type. Der Blindwiderstand des Vertikalstrahlers ist frequenzabhängig. Daher kann die Spule diesen Blindanteil nur auf einer Frequenz genau kompensieren und die Antenne inklusive fixer Anpassung wird nur hier ein SWV nahe 1:1 erzielen. Ober- und unterhalb dieser Frequenz steigt das Stehwellenverhältnis wieder an. Die Bandbreiten für ein SWV von maximal 1,5:1 bzw. 2:1 betragen ca.:

Band	SWV 1,5 : 1	SWV 2 : 1
40 m	80 kHz	120 kHz
30 m	250 kHz	440 kHz
20 m	538 kHz	1 MHz

Tabelle 3: Bandbreiten für ein SWV von 1,5:1 bzw. 2:1

Daher kann es sinnvoll sein, auch innerhalb eines Bandes die Arbeitsfrequenz durch geringfügige Anpassung der Induktivität zu verändern. Eine Verlängerung der Spule erhöht die Induktivität und verringert dadurch die Arbeitsfrequenz. Dabei können durch die 8 vorhandenen Ausgänge für den Kupferlackdraht die Änderungen sehr feinstufig vorgenommen werden. Mit einer Verlängerung um eine Stufe (entspricht einer Nummer höher) erreicht man dabei die folgenden Anpassungen:

Band	f _c [kHz]	Ziff.	Δ L	Δ f _c
40m/Digi	7050	„7“	+0,05 μ H	-30 kHz
40m/SSB	7140	„4“	+0,05 μ H	-30 kHz
30m	10130	„5“	+0,06 μ H	-30 kHz

Tabelle 4: Parameter der Spulen und deren Änderungen für das 40 m und das 30 m Band bei Änderung der Spulenlänge um eine „Ziffer“

In Tabelle 4 bedeuten die Werte in den Spalten μ L bzw. μ f_c, um welchen Induktivitätswert bzw. um wieviel kHz sich die Zentralfrequenz ändern, wenn die Spule um eine „Ziffer“ länger gewickelt wird.

Umgekehrt kann durch eine Verkürzung eine entsprechende Erhöhung der Arbeitsfrequenz erzielt werden. Dies ermöglicht die Optimierung der Antenne auf die Frequenzbereiche der bevorzugten Betriebsarten. Soll z.B. eine 40 m Version für den Einsatz bei CW und/oder Digimodes optimiert werden, so wird der Kupferlackdraht nach 28 Windungen erst durch das Loch mit der Nummer „5“ herausgeführt. Die Spule hat daher eine um 0,08 μ H höhere Induktivität und die Antenne ist für eine QRG von 7040 kHz optimiert. Angesichts der geringen Kosten und der einfachen Montage kann es auch sinnvoll sein, zwei oder drei Fußteile für ein Band herzustellen und bei Bedarf rasch auszutauschen. Dies gilt insbesondere für das 40 m Band, denn das 30 m Band ist hinreichend schmal und die Bandbreite im 20 m Band recht groß (s.u.).

Da es sich dabei nur um geringfügige Änderungen handelt, bleibt die jeweils erforderliche Parallelkapazität zur Impedanzanpassung (vgl. Abschnitt 5) unverändert.

Für das 20 m Band gibt es eine ähnliche Möglichkeit zur Feineinstellung der Arbeitsfrequenz über die benutzte Kapazität.

Band	f _c [kHz]	C [pF]	Δ f/pF
20m	14150	110	-10 kHz

Tabelle 5: Durch Variation der Kapazität C kann die Anpassung für das 20 m Band geändert werden

Für die beste Abdeckung des gesamten 20 m Bandes sollte eine Kapazität C_v von 110 pF (100 pF und 10 pF parallel) gewählt werden. Wie Bild 11 (blaue Linie) zeigt, ist allerdings der Verlauf des Stehwellenverhältnisses sehr flach und bleibt über das gesamte Band besser als 1,50, sodass sich eine Variation der Kapazität kaum auszahlt. Allerdings wird das SWR selbst im Optimum nicht besser als 1,28. Dies ist der Einfachheit der Konstruktion geschuldet, die ohne eigentliche Anpassung auskommt (vgl. Bild 2) und nur den induktiven Blindanteil kompensiert. Jede eingebaute Anpassung eines Transceivers kann dies jedoch kompensieren und selbst ohne weitere Anpassung wird die reflektierte Leistung maximal 3,5 % und stellt somit kein Problem dar. Die Leistungsdämpfung durch diesen Effekt beträgt maximal 0,16 dB.

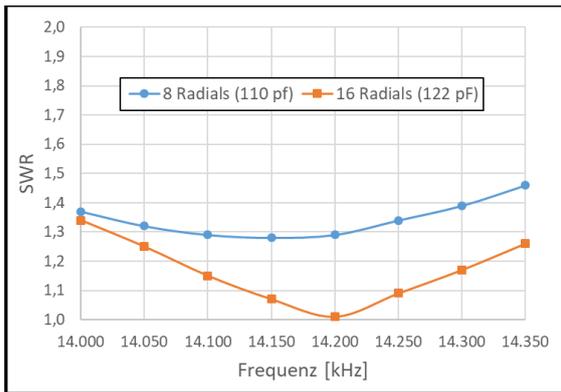


Bild 11: Stehwellenverhältnis für das 20 m Band

Wie Bild 11 aber auch zeigt, kann die Anpassung durch Einsatz von 16 Radials anstelle von 8 Radials schlagartig verbessert werden, denn hier liegt der Gesamtwiderstand der Antenne mit Verkürzungskondensator bei fast genau 50Ω . Zusätzlich würde die größere Anzahl an Radials natürlich auch die Strahlungseffizienz etwas verbessern (siehe dazu Abschnitt 5.). Ob sich dafür die Mitnahme von zusätzlichen 0,6 kg auszahlt, wird sich vor allem am geplanten Einsatz orientieren. Für eine ideale Anpassung an eine Frequenz von 14,2 MHz müsste beim Einsatz von 16 Radials jedoch eine Kapazität von 122 pF (100 pF und 22 pF parallel) benutzt werden. Eine Anpassung an eine andere Einsatzfrequenz ist mithilfe von Tabelle 4 möglich.

Für die Erstellung eines Fußteils sind das jeweilige 3D-Druckteil samt Deckel und Schrauben, die zugehörige, fertig gewickelte Spule (nur 40 m und 30 m), der Ableitwiderstand, eine BNC-Buchse sowie zwei Messingmuttern M8 erforderlich. Eine detaillierte Materialliste findet sich im Anhang.

An Werkzeug und Kleinmaterial sollten ein leistungsfähiger Lötkolben (ab ca. 50 W) mit massiver und breiter (4 bis 6 mm) Spitze, ein Lötkolben für feinere Arbeiten, Lötzinn, Feilen und ein Metallbohrer 1 mm vorhanden sein.

Die Reihenfolge des Einbaus der Komponenten in den Druckteil ist nicht kritisch, für ein leichteres Arbeiten hat sich bei mir aber die folgende Vorgangsweise bewährt:

Versionen für 40 m und 30 m:

Die Montage erfolgt in folgenden Schritten:

- 1.) Spule an (obere) Mutter löten
- 2.) Draht an (untere) Mutter löten
- 3.) Obere Mutter einkleben und Spule aufstecken
- 4.) Untere Mutter einkleben

- 5.) BNC-Buchse montieren
- 6.) Kondensator, Widerstand und Drahtverbindungen fliegend löten

Version für 20 m:

Hier ist die Montage noch einfacher:

- 1.) Kondensator an (obere) Mutter löten
- 2.) Draht an (untere) Mutter löten
- 3.) Obere Mutter einkleben
- 4.) Untere Mutter einkleben
- 5.) BNC-Buchse montieren
- 6.) Widerstand und Drahtverbindungen fliegend löten

Bei den Spulen ist darauf zu achten, dass die Seite, bei welcher mit der Wicklung begonnen wurde, wo also nur ein Loch im Seitenteil vorhanden ist, an die Messingmutter gelötet wird. Dazu ist der Draht möglichst exakt auf eine Länge von 20 mm zu kürzen. Dann muss der Lack (= Isolierung) von den letzten rund 5 mm entfernt werden. Es gibt dafür verschiedene Methoden, wie z.B. Erhitzen mit Lötkolben und Zinntropfen oder mechanisches Entfernen mit einer feinen Feile oder Schmirgelpapier. Wichtig ist, dass die Isolierung verlässlich weg ist. Sicherheitshalber gleich mit einem Durchgangsprüfer oder Ohmmeter messen.

Das Löten des Drahtes bzw. Kondensators an die Messingmutter gelingt zuverlässig, wenn in die Mutter zuerst mit einem 1 mm \varnothing Metallbohrer ein Loch bis in eine Tiefe von 4 mm gebohrt wird. Damit bleibt in der Mutter ein „Boden“ von rd. zwei Millimeter übrig.

Nun wird die Mutter waagrecht mit der Bohrung noch oben offen eingespannt und zwar so, dass möglichst wenig Wärme abgeleitet wird. Bei Verwendung eines Schraubstocks also z.B. zwei kleine Holzplättchen zwischen Baken und Mutter einklemmen.

Von oben wird ein Stück Lötendraht (0,5 bis 0,8 mm) in die Bohrung bis zum Boden eingeführt und gehalten. Nun wird die Mutter erwärmt, z.B. durch eine flächige Kontaktierung mit einem leistungsfähigen Lötkolben. Sobald die Mutter die notwendige Temperatur aufweist, schmilzt das Zinn und bildet einen Flüssigkeitssee in der Bohrung. Wenn jetzt der Lötkolben entfernt wird, so sorgt die Wärmekapazität der Mutter dafür, dass das Zinn

noch einige Sekunden flüssig bleibt, bevor es wieder erstarrt.

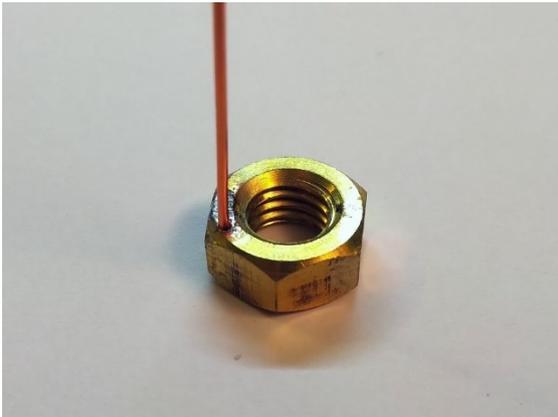


Bild 12: Messingmutter mit eingelötetem Draht

Während dieser Zeit wird der vorbereitete (abgelängte und abisolierte) Draht bis zum Anschlag in die Bohrung eingeführt und so lange gehalten, bis der Zinnsee erstarrt ist. Nach einigen Minuten zur Abkühlung ist die Mutter und ihre Verbindung fertig zur weiteren Verarbeitung.

Für das Einkleben der Muttern in das Fußteil hat sich schnellhärtender (5 Minuten) Epoxykleber bewährt. Wenn eine passende M8-Schraube bereitliegt, kann mit dieser die Mutter zum Aushärten perfekt fixiert werden.

Für die Herstellung der Fußteile der 40 m und 30 m Version sollte eine Arbeitszeit von rd. 45 Minuten veranschlagt werden, für die 20 m Version genügen rd. 30 Minuten. Dazu kommen Trocknungszeiten des Klebers, wo für eine gute Aushärtung eine Nacht eingeplant werden sollte.

6.) Zusammenbau

Der Zusammenbau und das Aufstellen der Antenne gestalten sich sehr einfach und gehen Hand in Hand.

Ihre mechanische Stabilität bezieht die Antenne ausschließlich aus dem Erdspieß. Es ist daher wichtig, dass dieser senkrecht und tief genug in das Erdreich getrieben wird. Dazu ist ein mittlerer Hammer praktisch, zur Not tut es aber auch ein passender Stein. Der Spieß ist so tief zu versenken, dass nur mehr rund 3 bis 4 Zentimeter aus dem Boden hervorstehen.



Bild 13: Der Erdspieß wird in den Boden geschlagen und auf einer Mutter die Radials eingehängt und ausgelegt

Nun wird eine M8-Mutter aufgeschraubt, so dass oberhalb der Mutter ca. 25 mm Gewinde hervorsteht. Auf das Gewinde werden nun alle 8 Radials mit ihren Ringkabelschuhen aufgefädelt und ausgelegt (Bild 13).

Jetzt wird kontrolliert, ob oberhalb der Ringkabelschuhe genau 20 mm der Gewindestange hervorragen. Gegebenenfalls wird dies durch Verdrehen der Mutter sichergestellt.

Das Fußteil für das gewünschte Band wird nun auf das Gewinde aufgeschraubt und durch Anziehen der Mutter fixiert (Bild 14). Dabei ist darauf zu achten, dass das Fußteil richtig aufgesetzt wird, nämlich mit dem BNC-Stecker näher zum Boden. Sonst ist die Anpassung verkehrt, was im Normalfall zu einem unbrauchbaren Stehwellenverhältnis führen würde.



Bild 14: Das Fußteil wird auf den Erdspieß aufgeschraubt und mit der Mutter fixiert

Bevor der Strahler montiert wird, sollte er auf die volle Länge gezogen werden. Beginnend mit dem dünnsten Element an der Spitze werden die einzelnen Elemente herausgezogen und mit dem jeweils darunter befindlichen verklemmt. Dies funktioniert erstaunlich gut, und es ist mir noch nie passiert, dass die Antenne im Betrieb in sich zusammengefallen wäre. Wenn zu dem Zeitpunkt

der Antennendraht bereits an der Spitze fixiert ist, wird dabei der Draht auch gleich automatisch mit eingezogen. Nach der Fixierung am untersten Element muss nur mehr der Adapter in dieses eingeschraubt werden.

Der Strahler wird nun senkrecht gehalten und mit der hervorstehenden Gewindestange in das Fußteil geschraubt. Damit ist die Antenne betriebsbereit (Bild 15).



Bild 15: Das Aufstellen der Antenne dauert weniger als 5 Minuten

Zur Demontage wird einfach in der umgekehrten Reihenfolge vorgegangen.

Für einen Bandwechsel muss nur der Strahler herausgeschraubt, eine anderes Fußteil eingesetzt und der Strahler wieder aufgeschraubt werden.

7.) Messungen und Modellierung

Zur Beurteilung der Antenne, sowie um ein besseres Verständnis ihrer Eigenschaften zu erlangen wurden sowohl Messungen an der fertig aufgebauten Antenne durchgeführt, als auch Modellierungen mittels EZNEC durchgeführt.

Strahler

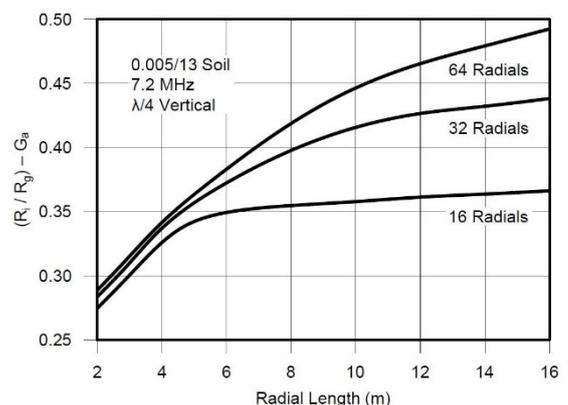
Die mechanische Länge von 5,4 m, zusammen mit einem Verkürzungsfaktor von 0,95, ergibt eine elektrische Länge des Strahlers von 5,68 m, also rund 48° (40 m), 69° (30 m) und 97° (20 m). Es handelt sich also um einen verkürzten Vertikalstrahler für 40 m und 30 m und einen leicht ver-

längerten Strahler (bezogen auf $\lambda/4$) für das 20 m Band.

Gegengewicht

Die klassische Vorstellung im Zusammenhang mit einem Gegengewicht in Form von Radials ist: Mehr ist besser. Aber im Hinblick vor allem auf das Gewicht als wesentlichen Faktor für einen portablen Einsatz sollte das System einfach, aber dennoch wirksam dimensioniert sein. Dazu kommt, dass die Wirkung von Radials sehr komplex ist und tatsächlich sogar „weniger“ besser sein kann². Aus diesem Grund wurde der optimalen Dimensionierung viel Aufmerksamkeit gewidmet. Dabei wurden die Drahtlänge, der Drahtquerschnitt, die Anzahl der Radials und der Abschluss variiert und die Auswirkungen auf das System gemessen bzw. simuliert.

Aus der Literatur³ gibt es Hinweise, dass bei einer geringen Anzahl an Radials bereits ab eine Länge von $\lambda/8$ der Zusatznutzen einer Drahtverlängerung sinkt oder sogar negativ wird. Für das 40 m Band also ab rund 5 m Drahtlänge. Aus dem beabsichtigten, mobilen Einsatzzweck verbietet sich eine große Anzahl an Radials, woraus zusammen mit Bild 16 klar wird, dass eine Länge über 5 m keine nennenswerten Effizienzsteigerungen mehr bringt. Das haben auch eigene Vergleichsmessungen zwischen einer Länge von 5 m und 10 m bei 8 Radials gezeigt. Dazu kommt, dass die relative Radiallänge für die beiden anderen Bänder von 30 m und 20 m sowieso zunimmt.



QX1507-Severns17

Bild 16: Strahlungseffizienz einer Vertikalantenne in Abhängigkeit von Anzahl und Länge der Radials bei 7,2 MHz. Quelle: Rudy Severns

Andere Studien⁴ zeigen, dass speziell bei verkürzten Antennen und einer geringen Anzahl an Radials für eine gegebene Gesamtlänge aller Radials, einer Konfiguration mit kürzeren, aber mehreren Leitern der Vorzug zu geben ist.

Eine Beurteilung der Wirksamkeit lässt sich durch die Messung der komplexen Impedanz durchführen.

Dazu wurden nur der Strahler und das Gegengewicht ohne Verlängerungsspule und Anpassungsglied montiert und die Impedanz mit einem vektoriellen Antennenanalysator (FA-VA 4) bzw. Netzwerkanalysator (NanoVNA) ermittelt. Der Realteil der Impedanz gibt dann Aufschluss über die Qualität des Gegengewichts. Bei einer idealen Antenne würde er nur aus dem Strahlungswiderstand R_S bestehen. In der Realität kommen zum Strahlungswiderstand auch der Bodenwiderstand R_B und parasitäre Widerstände R_P wie z.B. ohmsche Verluste in der Verlängerungsspule.

Das Verhältnis des Strahlungswiderstands R_S zum Gesamtwiderstand $R_G = R_S + R_B + R_P$ drückt die Effizienz η der Antenne aus.

$$\frac{R_S}{R_G} = \frac{R_S}{R_S + R_B + R_P}$$

Gleichung 1: Effizienz einer Antenne als Funktion der beteiligten Widerstände

Obwohl diese nicht der Anteil der abgestrahlten Energie an der zugeführten Energie im Fernfeld ist (hier kommen noch Verluste durch entfernte Bodeneffekte dazu, siehe weiter unten) ist η dennoch ein geeignetes Maß zur Beurteilung der Wirksamkeit des Gegengewichts.

Da sich R_S und R_P (fast) nicht durch Variationen des Gegengewichts ändern, gilt es also in der Praxis diejenigen Anordnungen zu finden, bei welchen der Realteil der, am Fußpunkt gemessenen Gesamtimpedanz (ohne Verlängerungsspule und Anpassung) möglichst gering ist. Dadurch wird die Effizienz maximiert.

Zuerst wurde die Auswirkung des Drahtquerschnitts der Radials untersucht. Dazu wurden einmal 8 Drähte mit einem Querschnitt von 1 mm^2 ausgelegt und die Impedanz gemessen. Dann wurden sie durch 8 Drähte mit einem Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ ersetzt und wiederum gemessen. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Man kann sich also getrost das Schleppen von 50% mehr Kupfer ersparen.

Markant ist die Abhängigkeit des Realteils der Impedanz von der Anzahl der Radials. Wie Abbildung 17 zeigt, sinkt er erwartungsgemäß mit zunehmender Anzahl der Drähte. Anfangs hat jeder zusätzliche Draht eine deutliche Auswirkung. Die zusätzliche Verbesserung nimmt jedoch mit zunehmender Zahl der Drähte rasch ab.

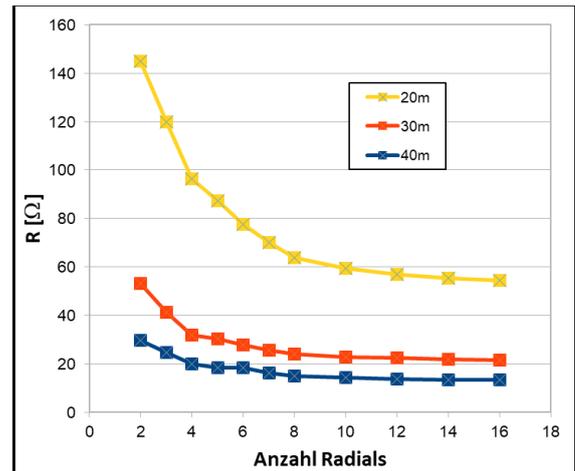


Bild 17: Gemessener Realteil der Impedanz in Abhängigkeit von der Anzahl der Radials (je 5 m lang und Querschnitt von 1 mm^2)

Es ist gut zu erkennen, dass mit 8 Drähten der Widerstand für alle drei Bänder bereits nahe am geringstmöglichen Wert liegt und eine weitere Erhöhung der Anzahl vor dem Hintergrund der Portabilität nicht zweckdienlich ist. Einzig für das 20 m Band und im Zusammenhang mit dem erzielbaren SWR kann eine Erhöhung auf 16 Radials in Betracht gezogen werden (vgl. auch Abschnitt 5), ist aber nicht unbedingt erforderlich.

In den folgenden Ausführungen und auch in meiner praktischen Realisierung der Antenne besteht das Gegengewicht aus 8 Radials zu je 5 m Länge und mit einem Querschnitt von 1 mm^2 . Diese werden sternförmig, im Winkelabstand von jeweils 45° rund um den Strahler angeordnet.

Anpassung

Die Anpassung durch L und/oder C wird in den Simulationen durch entsprechende Elemente dargestellt. Während dazu Kondensatoren als verlustlos betrachtet werden, wird für Spulen ein Verlustwiderstand und damit eine endliche Güte berücksichtigt. Deren Wert wurde der hervorragenden Website von Serge Stroobandt, ON4AA für die Dimensionierung von Spulen entnommen⁵.

Demnach kann für die 40 m Spule eine Güte von 380 (entspricht einem R von $1,1 \Omega$) und für 30 m eine Güte von 390 ($0,5 \Omega$) angenommen werden.

Spätere Messungen der Spulengüte mit einem vektoriellen Netzwerkanalysator (NanoVNA) erbrachten etwas niedrigere Werte für die realen Spulen, und zwar $Q = 280$ für die 40 m Spule und $Q = 255$ für die 30 m Spule.

Dass die Anpassungen gelungen sind, bestätigten Messungen an den Antennenvarianten.

Für das 40m Modell „SSB“ zeigt Bild 18 den gemessenen Verlauf des Stehwellenverhältnisses.

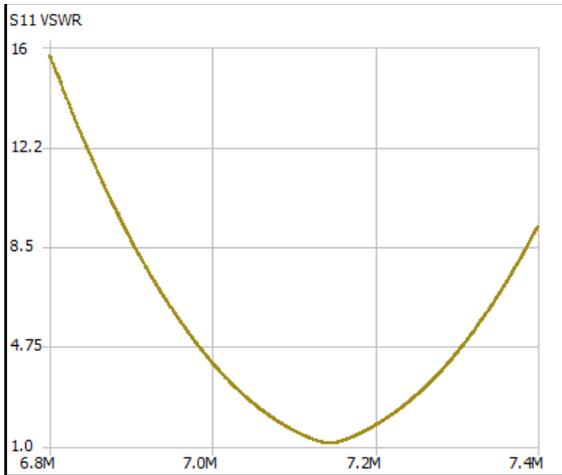


Bild 18: Gemessenes SWV für die 40 m Fishpole Antenne „SSB“

Die beste Anpassung liegt bei 7,14 MHz und beträgt 1,14. Während das SWV bis zum oberen Bandende im Rahmen bleibt, steigt es bis zum unteren Bandende bei 7,0 MHz auf rd. 4:1 an. Auch aus dieser Messung geht wieder klar hervor, dass es für das 40 m Band bei Bedarf sinnvoll ist, 2 Versionen herzustellen (vgl. Abschnitt 4).

Für das schmale 30 m Band hingegen genügt eine Version und auf 20 m ist die kapazitive Anpassung dermaßen breit (siehe Abbildung 19), dass das ganze Band mit einem SWV besser als 1,5 beispielbar ist.

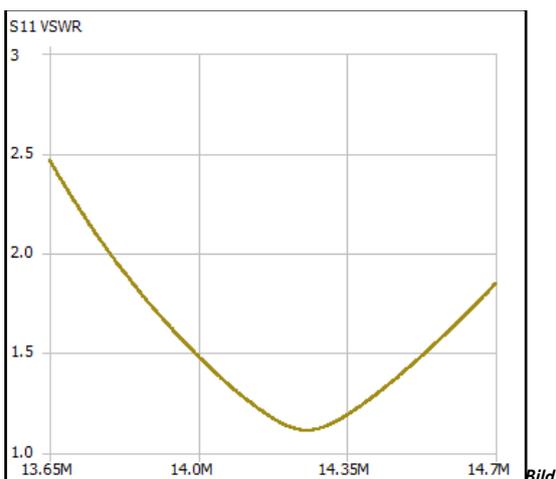


Bild 19: Die Anpassung der Variante für das 20 m Band ist so breit, dass das ganze Band gut abgedeckt ist, wie die Messungen an der aufgebauten Antenne zeigen

EZNEC Modell

Die Simulationen wurden in Eznec V6.0 durchgeführt⁶. Die Untergrundqualität wurde mit „Average“⁷ angenommen, das Modell für die

Bodenmodellierung war „Real/High Accuracy“. Verluste in Strahler und den Radials aus Kupfer sowie durch die endliche Spulengüte wurden berücksichtigt. Die Berechnungen wurden für die Frequenzen 7100 kHz (40m), 10150 kHz (30 m) und 14200 kHz (20m) durchgeführt.

Im ersten Schritt wurden die Simulationsergebnisse mit den Messdaten am realen System verglichen. Die Messungen daran wurden mit einem vektoriellen Antennenanalysator (FA-VA 4 oder NanoVNA) durchgeführt. Im Vergleich zeigte sich, dass für sonstige Verluste (Anschlüsse u.a.) noch eine geringfügige (ca. 0,5 Ω) Erhöhung des realen Widerstands in den Modellen vorgenommen werden soll.

Die Eznec-Files mit den Modellbeschreibungen sind im Downloadbereich meiner Website zum Herunterladen verfügbar⁸.

Vergleichsantennen

Zur Leistungsanalyse der Fishpole-Antenne wurden Simulationsrechnungen für zwei weitere Antennenformen durchgeführt. Einerseits der klassische, horizontale Dipol in unterschiedlichen Höhen und andererseits eine Inverted-V Antenne in der Form für eine ideale Anpassung. Speziell die Inv-V Antenne ist bei portablen Anwendungen beliebt, da auch sie nur einen relativ geringen Aufwand bei der Errichtung benötigt, sobald eine geeignete Aufhängung für die Mitte (z. B. Ast eines Baumes) gefunden ist. Dadurch stellt sie – zumindest sofern Bäume vorhanden sind – eine direkte Alternative zum Fishpole dar.

Auch für die Vergleichsantennen stehen die Eznec-Modelle zum Download zur Verfügung. Für die Strahler der Vergleichsantennen wurde der gleiche Draht modelliert, wie für den Strahler des Fishpoles.

Simulationsergebnisse

Mit den Simulationsrechnungen können die Strahlungswiderstände (R_s , siehe Gleichung 1) der Antenne berechnet werden. Sie sind in Tabelle 6 dargestellt.

Band	40 m	30 m	20 m
R_s [Ω]	7,1	16,5	44,4

Tabelle 6: In den Simulationen berechnete Strahlungswiderstände der einzelnen Antennenvarianten

Zusammen mit Gleichung 1 und den gemessenen Werten lassen sich aus den R_s die Effizienzen der

Antennen berechnen. In Abbildung 20 sind diese in Abhängigkeit von der Anzahl der Radials und bezogen auf eine theoretische, verlustlose Antenne aufgetragen. Auch hier ist erkennbar, dass eine weitere Erhöhung der Anzahl der Radials zwar noch Verbesserungen zulassen würde, das Potential dafür sich aber in Grenzen hält.

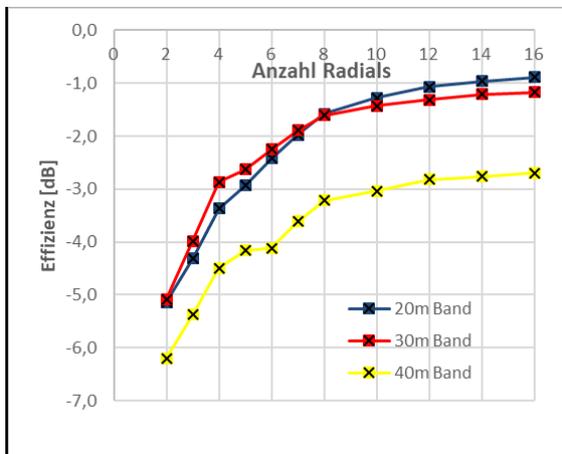


Bild 20: Berechnete Effizienz, ausgedrückt in dB-Verlusten gegenüber einer perfekten Antenne bei gegebener Strahlerlänge

So liegen die Effizienzen der Varianten für 20 m und 30 m bei knapp 70% (-1,6 dB) des maximal möglichen Wertes (perfekter Grund, keine Verluste in Drähten und Anpassung) bei gegebener Länge des Strahlers. Die 40 m Variante liegt bei rund 48% (-3,2 dB), hier wäre noch etwas Potential.

In einer weiteren Analyse wurde untersucht, wie die Fishpole-Antennen im Vergleich mit einem klassischen Dipol und einer inverted-V Antenne, beide in 5 m Höhe aufgehängt, abschneiden.

Die Simulationsrechnungen (Abbildungen 21, 22, 23 und 24) erlauben einige, aufschlussreiche Analysen.

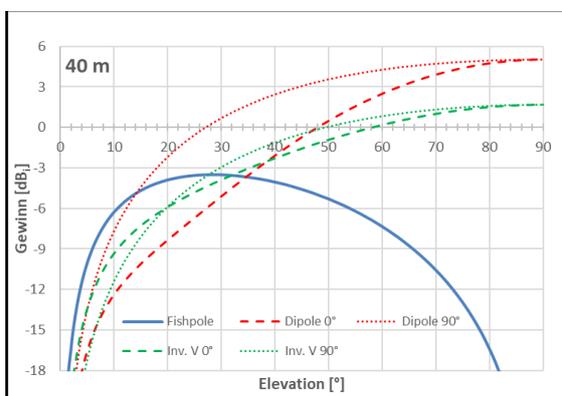


Bild 21: Antennengewinn gegenüber einem isotropen Strahler. Vergleich verschiedener Antennen für das 40 m Band

Für das 40 m Band zeigt die Abbildung 21 den Antennengewinn in dB gegenüber einem isotropen

Strahler, also einer (hypothetischen) Antenne, die in alle Richtungen gleich strahlt.

Die blaue Linie stellt die hier beschriebene Fishpole-Antenne (inklusive Anpassungsverlusten) dar, die roten Linien einen Dipol, der in 5 m Höhe aufgehängt ist und die grünen Linien eine inverted-V Antenne, deren Mitte in 5 m und die Enden jeweils in 1 m Höhe angebracht sind. Für Dipol und Inverted-V wurden die Anpassungen als verlustlos angenommen, was in der Realität vermutlich ein noch etwas besseres Abschneiden der Fishpole-Antenne im Vergleich bedeutet. Während die Fishpole-Antenne in alle Richtungen (Azimut) gleich strahlt, haben Dipol und Inverted-V Vorzugsrichtungen. Beim Dipol ist die Abstrahlung quer zum Antennendraht (90°, dargestellt durch die punktierte Linie) bevorzugt und immer größer als in Richtung des Drahtes (0°, strichlierte Linie). Bei der Inverted-V Antenne gilt dies nur für Erhebungswinkel (Elevation) über rd. 20°, darunter ist die Abstrahlung in Richtung der Schenkel etwas stärker.

Aus Abbildung 21 ist klar erkennbar, warum ein niedrig aufgehängter Dipol (rote Linien) eine hervorragende NVIS-(Near Vertical Incident Scattering)-Antenne ist: Er strahlt vorwiegend senkrecht nach oben, der Gewinn nimmt mit sinkendem Abstrahlungswinkel deutlich ab. Hier ist die Abstrahlrichtung nicht wesentlich, bei niedrigeren Erhebungswinkeln beträgt der Unterschied jedoch bis zu 6,2 dB. Der Dipol sollte daher unbedingt in Abhängigkeit von der Richtung zur Gegenstation aufgehängt werden.

Im Gegensatz zum Dipol hat die Inverted-V Antenne (grüne Linien) keine ausgeprägte Vorzugsrichtung. Über einem Erhebungswinkel von 10° beträgt der Unterschied zwischen dem Gewinn in Richtung der Schenkel und quer dazu maximal 1,15 dB. Bei ganz niedrigen Erhebungswinkeln jedoch sollte sich die Gegenstation in der Verlängerung des Antennendrahtes befinden.

Deutlich anders als bei Dipol und Inverted-V verläuft der Gewinn der Fishpole-Antenne. Wie in den Abbildung 21 und 22 für das 40 m Band ersichtlich, strahlt diese praktisch keine Energie nach oben ab. Ihren größten Gewinn hat diese Antenne bei einem Abstrahlwinkel von 28°. Bei extrem flachen Winkeln bis 10°, wie sie vor allem bei DX-Verbindungen auftreten, ist der Gewinn dieses Vertikalstrahlers sogar höher als derjenige des Dipols in seiner Vorzugsrichtung. Und sogar bis knapp unter 30° ist die Fishpole- einer Inverted-V-Antenne überlegen.

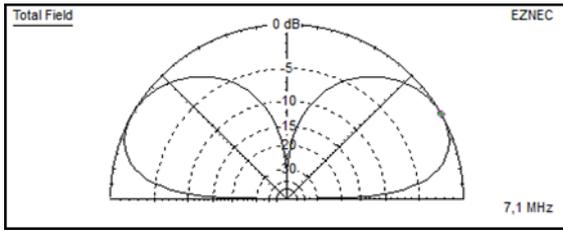


Bild 22: Vertikalen Abstrahlcharakteristik der 40 m Fishpole-Antenne

Um die Bedeutung der Abstrahlwinkel in Relation zu setzen, hilft ein Blick auf Tabelle 7. Darin sind typische Höhenwinkel für verschiedene Distanzen angeführt.

Distanz	40 m Band	30 m Band	20 m Band
500 km	48°	54°	-
750 km	34°	42°	-
1000 km	26°	28°	34°
1500 km	17°	16°	19°
2000 km	11°	12°	11°
5000 km	6°	6°	6°

Tabelle 7: Typische Abstrahlwinkel für verschiedene Distanzen

Die Werte wurden in VOACAP für die jeweils besten Tageszeiten im Sommer bei einer SSN von 50 berechnet.

Aus Tabelle 7 im Zusammenhang mit Abbildung 21 kann abgeleitet werden, dass bis zu Distanzen von rund 1000 km und den damit verbundenen hohen Abstrahlwinkeln auch ein niedrig aufgehängter Dipol oder eine Inverted-V Antenne dem Vertikalstrahler jedenfalls vorzuziehen sind. Ab rund 1000 km jedoch ist nur mehr ein Dipol in Vorzugsrichtung überlegen und spätestens ab 2000 km weist die Fishpole-Antenne den höchsten Gewinn auf.

In Abbildung 23 sind die Ergebnisse der Simulationen für das 30 m Band ersichtlich. Bei qualitativ sehr ähnlichen Resultaten wird auch hier klar, dass der Vertikalstrahler seine Stärken vor allem bei kleinen Abstrahlwinkeln hat. Dementsprechend sollte beim Einsatz der Antenne darauf geachtet werden, dass das umliegende Gelände eine hindernisfreie Abstrahlung erlaubt.

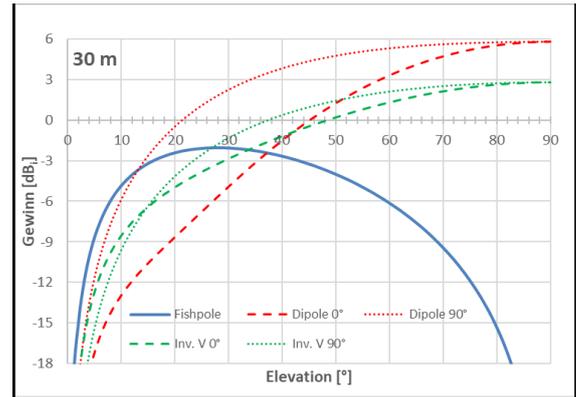


Bild 23: Vergleich verschiedener Antennenformen für das 30 m Band

Im Vergleich mit Abbildung 19 für das 40 m Band ist erkenntlich, dass der maximale Gewinn der Fishpole-Antenne auf dem 30 m Band etwa 1,5 dB größer ist als für 40 m.

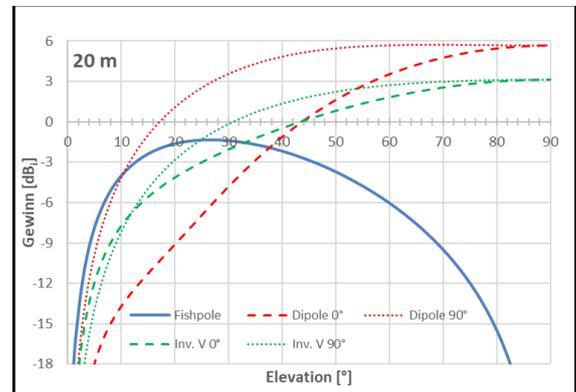


Bild 24: Gewinn verschiedener Antennenformen für das 20 m Band gegenüber einem isotropen Strahler

Nochmals ca. 0,7 dB höher liegt der maximale Gewinn der 20 m Version (Abbildung 24). Auch hier bleibt der Vertikalstrahler für sehr kleine Erhebungswinkel die beste Antenne, er wird allerdings bereits bei rund 11° von einem günstig orientierten, horizontalen Dipol überholt.

Bei einem Horizontaldipol kann der Gewinn bei kleinen Erhebungswinkeln deutlich erhöht werden, wenn die Antenne höher aufgehängt wird. Dies bedingt jedoch geeignete Aufhängepunkte, die nicht immer verfügbar sind.

Anhang: Bauteilliste

Bezeichnung	Bezugsquelle	Kosten, ca.
Gewindestange M8 0,5 m	Baumarkt	1,60 €
M8-Mutter, Messing 5 Stk.	Baumarkt	2,00 €
Ringkabelschuh 8 mm, 8 Stk.	Reichelt WE K401080	2,88 €
Litzenkabel 1 mm ² 40 m	Reichelt H05V-K 1,0	5,60 €
Kupferlackdraht 0,8 mm, 3m	Reichelt KUPFER 0,8MM	0,72 €
Teleskop-Angelrute Glasfaser	Banggood ⁹	18,00 €

1 https://www.banggood.com/ZANLURE-2_7-7_2M-Glass-Fiber-Black-Stream-Hand-Pole-Telescopic-Spinning-Freshwater-Fishing-Rod-p-1179638.html

Wichtig! Das Modell mit einer angegebenen Länge von 7.2 m bestellen. Der Autor hat bei zwei derartigen Bestellungen auch das Modell mit dem Aufdruck „720“ erhalten, das aber tatsächlich nur knapp 6 m lang ist. Wo die fehlenden 1,2 m sind, bleibt ein Geheimnis des Reichs der Mitte.

2 Gerade bei einer geringen Anzahl (bis zu 8 Stück) von Radials kann eine Verkürzung der Länge deutlich mehr Gewinn bringen. Sehr lesenswert dazu sind die experimentellen Arbeiten von Rudy Severns, N6LF. An dieser Stelle sei auf die folgende Publikation verwiesen: Rudy Severns N6LF, „Experimental Determination of Ground System Performance for HF Verticals, Part 2, Excessive Loss in Sparse Radial Screens“, QEX Jan./Feb 2009, S. 48 ff

3 Rudy Severns N6LF, “Radiation and Ground Loss Resistances In LF, MF and HF Verticals; Part 2”, QEX Sep./Okt.. 2015

4 Rudy Severns N6LF, “Is There A Relationship Between Vertical Height and Optimum Radial Length?”, Nov. 2009

5 <https://hamwaves.com/inductance/en/index.html>

6 www.eznec.com

7 Leitfähigkeit: 0,005 S/m, Dielektrizitätskonstante: 13

8 <http://www.oe1cgs.at/downloads/>

9 https://www.banggood.com/ZANLURE-2_7-7_2M-Glass-Fiber-Black-Stream-Hand-Pole-Telescopic-Spinning-Freshwater-Fishing-Rod-p-1179638.html