

Helix-Antenne mit Winkelreflektor

Herbert Weidner, DL2ZC, Am Stutz 3, D-63864 Glattbach, Germany ¹

Die „Reflektorplatte“ einer Helixantenne kann den Antennengewinn nicht steigern, weil sie den Drehsinn einer zirkular polarisierten Welle invertiert. Eine zweimalige Reflexion vermeidet diesen Nachteil und erhöht den Antennengewinn. Durchgeführte Messungen bestätigen diese Überlegungen.

1 Einführung

Die effektive Übertragung elektromagnetischer Wellen erfordert angepasste Antennen, im Frequenzbereich unter 10 GHz üblicherweise Drahtantennen. Helixantennen mit schraubenartig gebogenem, gut leitendem Draht eignen sich zur Übertragung von zirkular polarisierten Wellen, die entweder links- oder rechtsdrehend sein können. Obwohl vor etwa 70 Jahren erfunden, wird immer noch nach einer optimalen Bauart geforscht. Bisher ist unklar, wieso keine Variante den maximalen Gewinn von 16 dB überschreitet. Möglicherweise wird dem Reflektor zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Dafür wird meist eine Metallplatte ohne präzise Angaben zu Form, Größe und Abstand zur Helix vorgeschlagen. Darf man daraus schließen, dass der Reflektor eine Verlegenheitslösung ist, ein Bauteil, an dem man den Mantel des Koaxkabels anschrauben kann? Ein Metallstück ohne definierte elektrische Funktion?

2 Bisherige Bauformen von Helixantennen

Bauvorschläge im Internet beschreiben meist eine Einfachhelix mit mindestens vier Windungen aus Kupferdraht, den man auf einen Zylinder wickelt. Dessen Umfang soll etwa eine Wellenlänge betragen, die Ganghöhe der Schraubenlinie etwa 25% der Wellenlänge. Der dann vorliegende Fußpunktswiderstand (Impedanz) von etwa 130 Ohm wird durch einen $\lambda/4$ Transformator an ein übliches 50 Ohm-Koaxkabel angepasst. Kompliziertere Vorschläge mit mehreren Drähten oder variablen Wickeldurchmessern konnten sich mangels überzeugender Ergebnisse nie durchsetzen. Im Gegensatz zu linearen Dipolantennen werden nirgends präzise Maße angegeben und der Verkürzungsfaktor spielt eigenartigerweise keine Rolle.

3 Sinn und Wirkung der Reflektorplatte

Wird eine elektromagnetische Welle an einer ebenen, gut leitenden Metallfläche reflektiert, lässt sich das Ergebnis mit Hilfe der Maxwellschen Gleichungen vorhersagen: Die Drehrichtung der zirkularen Polarisation wird vertauscht, aus einer RHCP wird eine LHCP und umgekehrt. Wenn die reflektierende Platte ausreichend groß ist (mehrere Wellenlängen Durchmesser), gilt das Reflexionsgesetz *Einfallswinkel = Ausfallswinkel*. Das

¹eMail: herbertweidner99@gmail.com

gilt nicht mehr für kleine Abmessungen von nur wenigen Wellenlängen. Dann streut die „Reflektorplatte“ Energie in beliebige Richtungen und ihre Wirkung nähert sich einem isotropen Punktstrahler, der nur einen geringen Anteil der (nach hinten) abgestrahlten Energie umlenkt.

Das ist auch gut so, denn wenn die „Reflektorplatte“ die einfallende Energie so wirkungsvoll (nach vorne) reflektieren würde wie eine sehr große, sehr gut leitende ebene Metallfläche, würde die Helixantenne eine *linear* polarisierte Welle abstrahlen. Der Grund ist einfach zu verstehen: Strahlt man zwei zirkular polarisierte Wellen gleicher Amplitude und gleicher Frequenz, aber mit entgegengesetztem Drehsinn in die gleiche Richtung, erzeugt man lineare Polarisation. Der Phasenunterschied der beiden ursprünglichen Wellen bestimmt deren Richtung (horizontal oder vertikal oder schräg). Anders gesagt: Eine linear polarisierte Welle kann man sich immer als Summe zweier gleich starker zirkular polarisierter Wellen mit konstanter Phasendifferenz vorstellen. In manchen Gebieten der Physik ($\lambda/4$ -Plättchen in der Optik) ist diese Vorstellung sehr hilfreich, auch bei der Reflexion von Kurzwelle an der Ionosphäre.

Zusammenfassend kann man sagen: Die „Reflektorplatte“ einer Helixantenne ist ein Streukörper, ein Metallgegenstand, der den Mantelstrom des Koaxkabels teilweise nutzt, um so etwas ähnliches wie eine Kugelwelle undefinierter Polarisation abzustrahlen. Das ist der Grund für die oft eigenartigen Richtdiagramme von Helixantennen. Es bleibt festzuhalten, dass der Energieanteil, den die „Reflektorplatte“ in die Zielrichtung der Helixantenne (nach vorne) strahlt, den *falschen* zirkularen Polarisationsinn hat und deshalb idealerweise von der Empfangsantenne ignoriert wird. Wie kann man das verbessern?

4 Verbesserte Helixantenne

Wir beginnen mit einem Gedankenversuch und verzichten zunächst auf die „Reflektorplatte“. Wir bauen uns eine symmetrische Helixantenne und wickeln einen Draht etwa zwölfmal um ein Rohr (Durchmesser = $\lambda/3$) mit vertikaler Achse. Der Abstand zwischen benachbarten Windungen soll etwa $\lambda/4$ betragen. Die Sendeenergie speist man in der Mitte ein (ähnlich wie bei einem $\lambda/2$ -Dipol) und wählt die Frequenz so, dass die Antenne möglichst viel Energie nach oben und unten abstrahlt. Das Verhältnis von Drahtlänge oder Windungsumfang zur Wellenlänge der eingespeisten Energie interessiert zunächst nicht (Dieser Punkt enthält eine weitere Überraschung und wird weiter unten behandelt). Einziges Ziel ist, zirkular polarisierte Wellen in beide axiale Richtungen abzustrahlen.

Wenn der Draht als Linksschraube gewickelt wurde, bestätigt eine Messung, dass die Antenne sowohl nach oben als auch nach unten gleich starke LHCP-Wellen abstrahlt. Eine sehr große Metallplatte auf dem Fußboden würde die nach unten gerichtete Welle zwar reflektieren, aber auch in eine RHCP-Welle verwandeln. Das ist unerwünscht. Nur wenn man die nach unten gerichtete Welle *zweimal* an Metallflächen reflektiert, wird die Ausbreitungsrichtung geändert, ohne den Drehsinn der zirkularen Polarisation umzukehren.

Bild 1 zeigt das Prinzip: Zwei Metallflächen, die einen rechten Winkel einschließen, lenken alle nach unten austretenden Wellen nach oben um. Es bietet sich an, die unte-

re Hälfte der ursprünglichen symmetrischen und sehr langen Helixantenne umzubiegen und beide Hälften nebeneinander anzuordnen. Das verkürzt die Baulänge, verringert die notwendige Reflektorgröße und vereinfacht die unsymmetrische Energiezufuhr durch ein Koaxkabel.

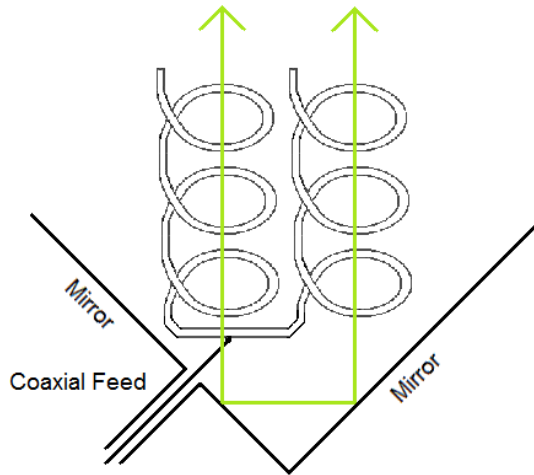


Abbildung 1: Der Winkelspiegel lenkt jede von oben kommende Welle um genau 180° ab. Das gilt auch für schräg eintreffende Wellen. Nur auf dem kurzen horizontalen Weg unterhalb der Helix ist die Polarisationsrichtung invertiert.

Experimente haben gezeigt, dass der Abstand beider Helixhälften und die Ganghöhe unkritisch sind; beide erlauben den Feinabgleich der Resonanzfrequenz. Diese Bauform sorgt dafür, dass die geknickte Reflektorfläche endlich ihren Namen verdient: Die Amplitude der nach oben abgestrahlten LHCP-Welle steigt. Idealerweise sollte dort keine RHCP-Welle messbar sein.

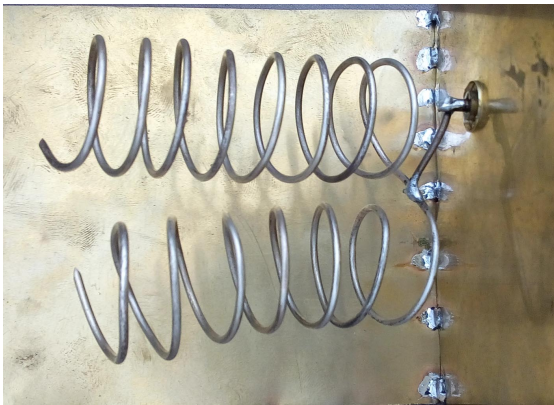


Abbildung 2: Doppelhelix vor dem 90° -Reflektor. Rechts ist die Rückseite der Koaxbuchse. Das 20 mm kurze Drahtstück zur Helix vereinfacht die elektrische Anpassung (siehe Text). Für den Dauerbetrieb empfiehlt sich eine mechanische Fixierung der Helix, um einen Kurzschluss mit dem Reflektor zu vermeiden.

Großflächige Reflektoren bedeuten hohe Kapazität und sind in der Lage, den Mantelstrom des Koaxkabels aufzunehmen. Der Wert der dabei abgestrahlten Energie wurde nicht untersucht. Auch andere, unsymmetrische Geometrien lassen sich ohne Gewinn einbußen realisieren: In Bild 2 sind die beiden Drahtschrauben aus versilbertem Kupferdraht nebeneinander angeordnet und liegen deshalb näher an der Verbindungskante beider Metallflächen, wodurch der Antennengewinn steigt. Auch wenn die Achsen der

beiden Schrauben nicht in Richtung der Winkelhalbierenden der Metallplatten zeigen, werden keine Gewinneinbußen gemessen.

Die elektrische Parallelschaltung zweier Helixantennen bringt einen erfreulichen Nebeneffekt: In der Umgebung der Resonanzfrequenz liegt die gemessene Impedanz 54Ω so nahe am Sollwert 50Ω des Kabels, dass die Antenne auch ohne Transformator ein akzeptables SWR erreicht. Eigenartigerweise scheint das etwa 2 cm kurze Drahtstück zwischen dem Innenleiter der Koaxkabels und der Mitte der beiden Helixspulen notwendig zu sein, obwohl es zu kurz ist für einen $\lambda/4$ -Transformator ($\lambda = 12,5 \text{ cm}$). Verzichtet man darauf, wird die Anpassung nicht mehr ganz so einfach.



Abbildung 3: Anzeige des VNA. Bei Resonanz (2401 MHz) ist das SWR kleiner als 1,3 (gelbe U-Kurve). Der grüne Kreis zeigt, wie stark sich der Blindwiderstand als Funktion der Frequenz ändert.

Viele Baubeschreibungen behaupten eine auffallend große Bandbreite von Helixantennen. Das trifft auf die oben beschriebene Anordnung nicht zu: Die Messwerte in Bild 3 zeigen, dass die Antenne nur in dem kleinen Frequenzbereich $2400 \text{ MHz} \pm 3 \text{ MHz}$ ein akzeptables SWR erreicht. Die genaue Resonanzfrequenz lässt sich durch Verbiegen der Drähte einstellen. Um Fehlmessungen zu vermeiden, ist es wichtig, alle Messungen mit unterschiedlichen Kabellängen zwischen dem Signalanalysator (Vector Network Analyser) und der Antenne zu wiederholen. Die Kabellänge darf weder Resonanzfrequenz noch SWR merklich beeinflussen.

5 Aufbau

Helixantenne-1: Übliche Bauanleitungen empfehlen, den Helixdraht um einen Zylinder mit dem Durchmesser $\lambda/3$ wickeln, damit der Umfang der Helix etwa so lang ist wie die Wellenlänge. Die Resonanz aller angefertigten Modellschrauben mit den Maßen $D(\text{innen}) = 38 \text{ mm}$; $D(\text{außen}) = 42 \text{ mm}$ liegt aber nicht – wie erwartet – bei 2400 MHz sondern wesentlich tiefer bei 1607 MHz . Dieser Versuch wurde mit unterschiedlichen Werten von Durchmesser, Windungszahl und -abstand, Drahtlänge und -stärke wiederholt – immer mit ähnlichen Ergebnissen. Trotzdem wurde diese Antenne (mit ebener „Reflektorscheibe“) ohne weiteren Abgleich als Referenz verwendet.

Helixantenne-2: Verringert man den Wickeldurchmesser der Helixantenne auf 23 mm , steigt die Resonanzfrequenz auf 2400 MHz . Offensichtlich ist nur der Durchmesser der Schraubenlinie maßgebend. Die Ganghöhe des schraubenförmig gewickelten Drahtes beträgt etwa 10 mm . Die Optimierung der Antenne für den Sendebetrieb erfolgt mit Hilfe eines Vector Network Analysators und ergibt sehr zufriedenstellende Ergebnisse.

6 Messwerte

Gute Sendeantennen sind auch gute Empfangsantennen. Deshalb wurden die Empfangseigenschaften der Antennen mit Hilfe eines Miniatursenders geringer Leistung verglichen. Dieser besteht aus wenigen Bauteilen: Ein 50 MHz-Quartzoszillator übersteuert einen Verzerrer mit einem BF224, an dessen Kollektor man ein 20 mm langes Drahtstück als Antenne lötet. Die 48. Oberwelle der Quartzfrequenz lässt sich auch noch in mehreren Metern Entfernung ($d \approx 20\lambda$) nachweisen und ist schwach genug für Vergleichsmessungen. Diverse Testantennen wurden nacheinander an einen ADALM Pluto angeschlossen, die Signalstärken mit einem Satsagen Spektrum Analyzer bestimmt (Dank an Alberto Ferraris IU1KVL). Gemessen wird im Frequenzbereich 2399 MHz bis 2401 MHz.

- Die Antenne ist ein 30 mm langes Drahtstück. Das Testsignal ist gerade noch erkennbar (max. 1 dB über dem Rauschen)
- ADALM-Antenne (im Lieferumfang enthalten): 1 dB über dem Rauschen
- Der Adapter SMA-BNC ist angeschraubt, offenes Ende: 3 dB
- Helix üblicher Bauart: Hauptkeule (vorwärts) 22 dB; Rückkeule 2 dB
- Doppelhelix mit Winkelreflektor: Hauptkeule 29 dB; Rückkeule 12 dB

Der auffallende Verstärkungsgewinn, den der Winkelreflektor erzeugt, ist physikalisch gut begründet, muss aber durch weitere Messungen überprüft werden. Offenbar übersteigt der Gewinn dieser Helix-Bauart die magische Grenze von 15 dB. Hauptursache ist wohl die zweimalige Reflexion der Wellen, die ein unerwünschtes Umklappen der Drehrichtung der zirkular polarisierten Welle vermeidet. Mangels eines reflexionsarmen Messplatzes konnten keine Richtdiagramme gemessen werden.