

## Horizontal montierte kleine aktive Empfangsantennen

Horizontally mounted small active receiving antennas

Chavdar Levkov , LZ1AQ, lz1aq@abv.bg



Wir können eine kleine Schleife oder einen kleinen Dipol horizontal montieren, wie in Abb. 1 gezeigt. Es ist interessant, die kleinen horizontal montierten Antennen mit der identischen vertikalen Standardmontage zu vergleichen. Der einzige Unterschied besteht darin, daß die Antennenpolarisation geändert wird. Im folgendem Text werden wir aus Platzgründen vertikal und horizontal montierte kleine Schleifen und Dipole als H-Schleife, V-Schleife, H-Dipol und V-Dipol bezeichnen. Vertikale und horizontale Polarisationen werden als VP und HP bezeichnet.

Es gibt zahlreiche Lehrbücher und Artikel zum Thema Antennenpolarisation, daher wird dem Leser empfohlen, sich mit den Grundlagen vertraut zu machen.

Abb. 1. Horizontal montierte kleine Rahmenantenne in 7 m Höhe. Sie besteht aus zwei gekreuzten koplanaren Schleifen [1, 2] mit jeweils 1 m Durchmesser. Auf dem Bild in 2,5 m Höhe über dem Boden ist eine vertikale Schleife zu sehen.

### 1. Die Vorteile der Verwendung von VP- und HP-Antennen

Die Polarisation der eingehenden Welle muß mit der Polarisation der Antenne übereinstimmen, da sonst das Signal gedämpft wird. Die Polarisation ist genauso wichtig wie die Richtwirkung. Dies ist in UKW gut bekannt, aber in HF-Bändern ist dies aufgrund der zufälligen Änderung der Polarisation normalerweise nicht von Interesse. Die Änderung der Polarisation der von der Ionosphäre reflektierten Wellen ist zufällig - sie kann sowohl langsam als auch sehr schnell sein. Die Polarisationsebene kann langsam schwanken oder sich mit niedriger Frequenz drehen. Es ist bekannt, daß der wesentliche Teil des Fadings von Polarisationsänderungen herrührt. Abb. 2 zeigt einen Fall, in dem das Fading der Signale von zwei HP- und VP-Antennen, die auf demselben Mast platziert sind (Abb. 7), nicht dieselbe Phase aufweist.

Wenn wir diese beiden Signale auf irgendeine Weise kombinieren (Diversity-Empfang [9, 10]), wird sich der Empfang verbessern. Sehr oft ist eine der Polarisationen vorherrschend und das Umschalten auf die passende Antenne verbessert den Empfang erheblich. Manchmal ist sogar eine Verbesserung des S / N-Verhältnisses um 1 dB der Unterschied zwischen aufeinanderfolgendem und fehlgeschlagenem Kontakt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Rauschempfindlichkeit gegenüber lokalen Quellen für HP- und VP-Antennen unterschiedlich ist und es möglicherweise geraten ist, das Rauschen mit einer der beiden Antennen effektiv zu beseitigen.



Abb. 2. Fading mit verschiedenen Phasen von HP- und VP-Antennen. Das Fenster SDR Linrad S-Meter (RMS-Wert) zeigt die relative Stärke des Signals als Funktion der Zeit. Zwei kleine aktive identische Schleifen (Abb. 7), die horizontal und vertikal montiert sind, werden periodisch abwechselnd mit einer Periode von ungefähr 2 Sekunden geschaltet. Die Linrad SDR-Software [3] wird mit dem Perseus DDC-Empfänger [4] verwendet. Eine digitale Sendestation wird mit 16,475 MHz empfangen. Die Momente des Antennenwechsels sind deutlich sichtbar. H-Loop-Pegel sind rot und V-Loop grün markiert.

Zu Beginn ist die H-Schleife stärker, aber nach 20 Sekunden wird die Polarisation geändert. Die Unterschiede zwischen den Signalen erreichen jeweils fast 18 dB. Wenn ein Diversity-Empfang verwendet wird, beträgt die Fading-Varianz nur 2 bis 3 dB. Die V-Schleife ist kein reiner omnidirektionaler VP-Sensor, aber ihr VP ist vorherrschend, wenn er auf die Richtung der ankommenden Welle gerichtet ist (Abb. 9). Der Empfänger befindet sich im AM-Modus mit großer Bandbreite, und die digitale Sendestation wird ausgewählt, um die Auswirkungen des selektiven Fading zu vermeiden.

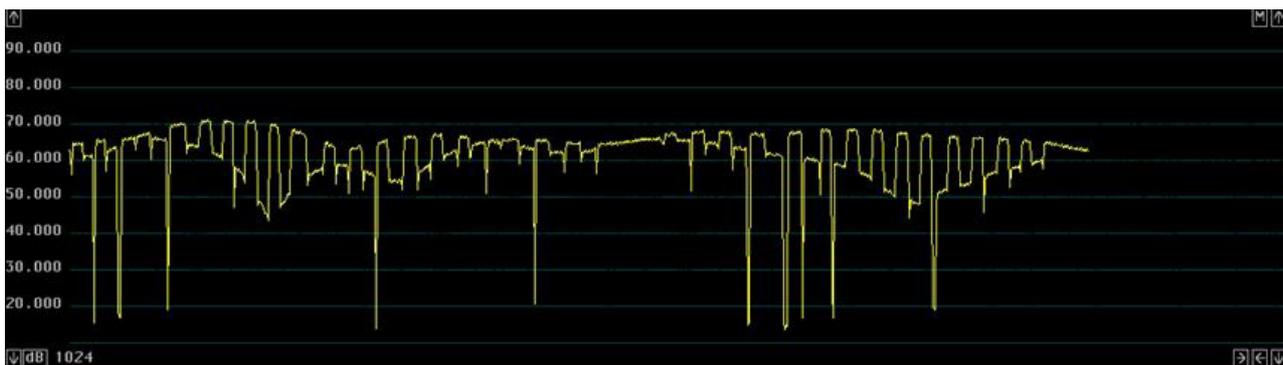


Abb. 3. Der Fall des vorherrschenden VP, der zeitweise eine Differenz von 28 dB für ein digitales Signal bei 10,57 MHz erreicht. Irgendwo in der Mitte des Fensters ergeben beide Polarisationen gleiche Pegel und dann wird VP wieder stärker. Die Spitzen stammen aus dem Schaltvorgang zwischen Antennen. Wenn wir uns vorstellen, daß das RX-Grundrauschen bei 60 dB liegt, hört die H-Schleife das Signal überhaupt nicht, während die V-Schleife ein anständiges Signal hat. Hier hat der Diversity-Empfang keinen Vorteil gegenüber der allein verwendeten V-Schleife. Das Setup ist das gleiche wie im vorherigen Bild.

Beachten Sie, daß in beiden Bildern die V-Loop- und H-Loop-Signale (die Fading-Kurve) negativ korreliert sind (ein Peak in einem von ihnen fällt mit einem Tal im anderen zusammen), was in gewissem Sinne beweist, daß die Sensorpolarisationen orthogonal sind. Eine perfekte negative

Korrelation ist nicht möglich, da das Fading nicht nur auf die Polarisationsrotation zurückzuführen ist, sondern auch auf andere zufällige Faktoren, z. Mehrwegestörungen usw.

## 2. HP-Antenne benötigt Höhe, um effizient zu sein

Wenn eine kleine Antenne eine gute Empfindlichkeit gegenüber dem elektrischen Feldvektor  $E$  aufweist, der senkrecht zur Bodenoberfläche steht, kann sie in sehr geringer Höhe arbeiten. Eine horizontal montierte kleine Schleife ist jedoch eine sehr ineffiziente Empfangsantenne, wenn sie in Bodennähe platziert wird, da sie für einen vertikalen elektrischen Vektor eine Empfindlichkeit von nahezu Null aufweist. Der Grund sind die Bodenreflexionen. Alle unsere Antennen arbeiten in der Nähe des Bodens (bis zu mehreren Wellenlängen). In diesem Bereich entsteht im Verlauf der Interferenz zwischen dem einfallenden und dem von den Bodenwellen reflektierten ein komplexes Interferenzbild.

Für den einfachsten Fall einer reinen HP-Einfallswelle ist die reflektierte Welle ebenfalls HP, hat jedoch 180 Grad Phasenverschiebung. Beide Wellen überlagern sich und bilden ein Interferenzmuster als stehende Welle in vertikaler ( $z$ ) Richtung. Es ist ein ähnlicher Vorgang wie bei einer Reflexion von einer kurzgeschlossenen Übertragungsleitung. Die Amplitude dieser horizontal polarisierten stehenden Welle an der Bodengrenze ist Null und nimmt mit der Höhe zu. Die Höhe des Stehwellenmaximums hängt vom Ankunftshöhenwinkel (Startwinkel) der einfallenden Welle ab [5].

Abb. 4 und 4a zeigen die Abhängigkeit der Stehwellenamplitude der HP-Welle als Funktion des Verhältnisses von Höhe ( $z$ -Koordinate) zu Wellenlänge und parametrieren den Ankunftswinkel. Je kleiner der Ankunftswinkel ist, desto höher muß die Antennenhöhe sein, um die Dämpfung auszugleichen. In diesem Fall hat der resultierende E-Vektor keine  $z$ -Komponente in irgendeiner Höhe, es ist immer parallel zur horizontalen Ebene.

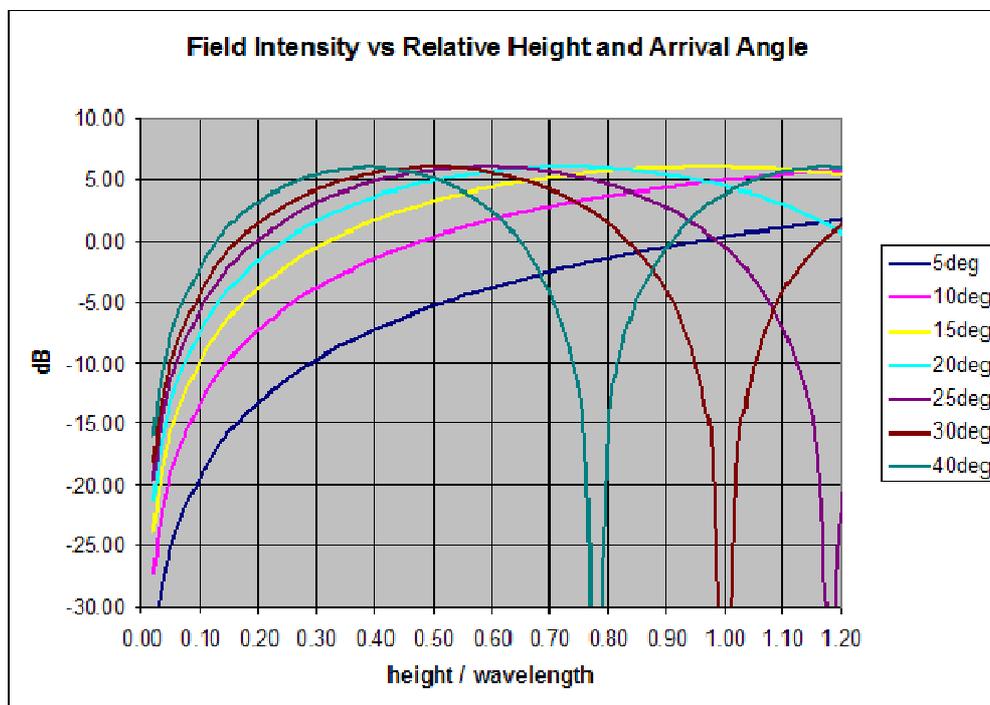


Abb. 4. Feldstärke als Funktion der relativen Höhe über der Bodenoberfläche. Dies ist die Intensität der stehenden Welle, die sich aus der Interferenz der direkt einfallenden HP-Welle und der von der Bodenoberfläche reflektierten Welle ergibt. Das Maximum der stehenden Welle hängt auch vom Ankunftswinkel (Höhe) der ankommenden HP-Welle ab. Die Kurven werden für den Fall einer idealen Reflexion ohne Verluste berechnet. Die dB-Skala repräsentiert das relative Amplitudenverhältnis zwischen dem resultierenden Feld und dem Feld der einfallenden Welle im freien Raum. Die maximale Verstärkung von 6 dB liegt an einem Höhenpunkt, an dem die Phasen der direkten und der reflektierten Welle gleich sind.

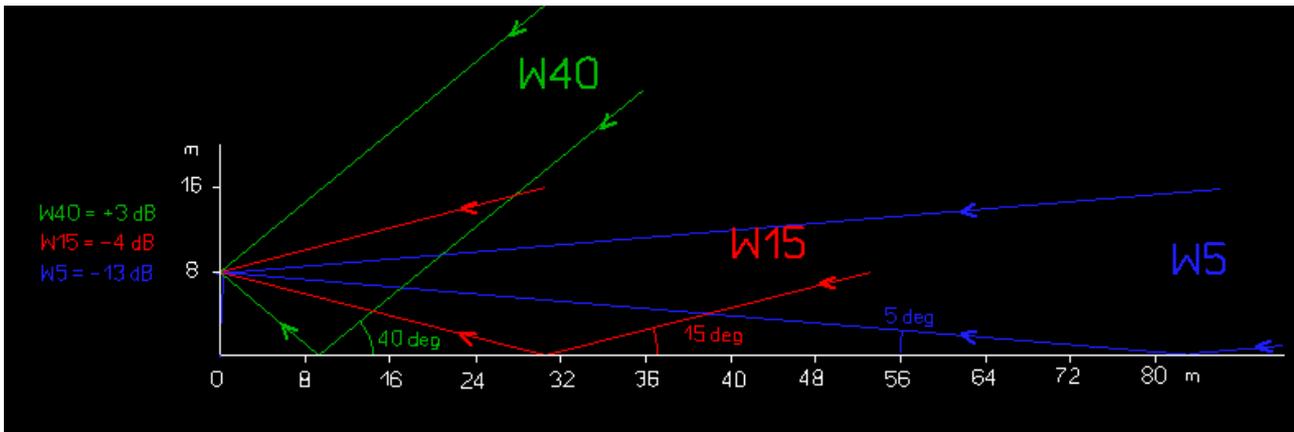


Abb. 4a. Reflexionsstörung an einem Punkt 8 m über dem Boden von drei HP-Wellen, die aus unterschiedlichen Ankwunftswinkeln für das 7-MHz-Band (40, 15 und 5 Grad) kommen. Die resultierenden Feldintensitäten W40, W15 und W5 sind den Darstellungen in Fig. 4 entnommen. Es ist offensichtlich, daß sich die wichtigen Reflexionen an Punkten in unmittelbarer Nähe der Antenne befinden. Der Abstand des Reflexionspunktes wird vergrößert, wenn der Ankwunftswinkel kleiner wird. Das Interferenzmaximum beträgt + 6 dB (zweimal) und liegt für jede Welle in unterschiedlichen Höhen über dem Boden. Für W40 ist es auf 16 m Höhe, aber für 5 Grad Welle wird es irgendwo über 80 m sein.

In [7, 8] gibt es ein sehr spektakuläres Java-Animations-Applet, das den Reflexionsprozeß einer horizontal polarisierten ebenen Welle visuell (durch Lösen der Maxwell-Gleichungen) demonstriert. Das Farbdigramm des Poynting-Vektors (Energiefluß) ist in Abb. 5 in der Einfallsebene der ankommenden Welle angegeben. Die Reflexionsebene liegt bei 45 Grad und normal zur Einfallsebene. Es ist ersichtlich, daß es eine Wanderwelle gibt, die parallel zur reflektierenden Oberfläche ist. Die Energiekonzentration in den stehenden Wellen ist in der Richtung senkrecht zur Oberfläche zu sehen.

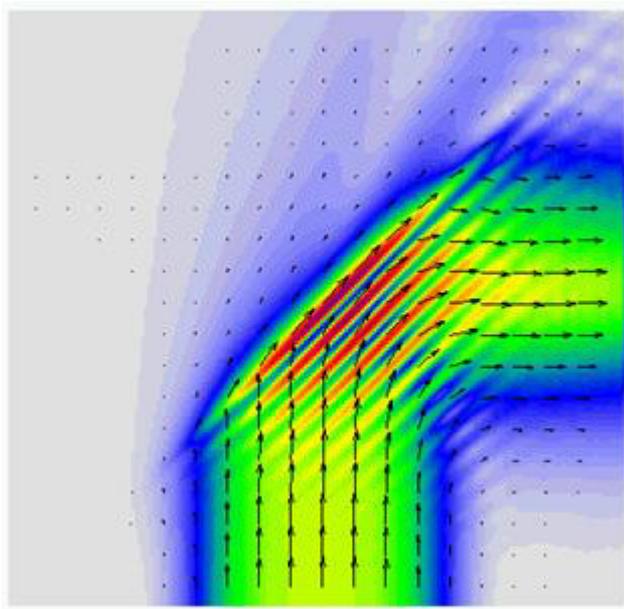


Abb. 5. „Computersimulation der Wellenreflexion von einer Oberfläche. Die Richtung, in die sich die Energie zu jedem Zeitpunkt bewegt, ist proportional zum Kreuzprodukt der elektrischen und magnetischen Felder, das als Poynting-Vektor bekannt ist. Die Pfeile zeigen die Richtung des über die Simulation gemittelten Poynting-Vektors, während die Farben seine Stärke anzeigen. Der elektrische Feldvektor verläuft parallel zur reflektierenden Oberfläche (außerhalb der Seitenebene).  
 Von [http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/total\\_internal\\_reflection.html](http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/total_internal_reflection.html) [7].  
 Die Simulation gilt für den Fall einer HP-Welle.

Die Reflexion von VP-Wellen ist komplexer (HP und VP werden im Anhang ausführlich erläutert). Jetzt gibt es ein Maximum sehr nahe an der Bodenoberfläche. Dort hat der resultierende E-Vektor nur eine z-Komponente (er ist vertikal), aber seine Intensität hängt sehr stark von den realen Eigenschaften der Reflexionsfläche und auch vom Ankwunftswinkel ab. In [4, 5] gibt es eine umfassende Beschreibung des Reflexionsprozesses und Diagramme der abgelegten Intensität, wobei auch der Reflexionsfaktor des realen Bodens berücksichtigt wird. Infolge der Reflexion einer beliebigen polarisierten ebenen Welle wird in der Nähe der Bodenoberfläche ein komplexes

Interferenzbild erzeugt. Zunächst ist der Energiefluß parallel zur Bodenoberfläche, so daß wir davon ausgehen können, daß eine Wanderwelle mit einer Richtung parallel zum Boden existiert. Der resultierende E-Vektor dieser Welle ändert seine Amplitude und Richtung mit der Höhe, die das Interferenzbild bildet, aber E liegt immer in einer Ebene senkrecht zur Bodenoberfläche. In Bodennähe ist dieser Vektor nahezu vertikal mit einer vernachlässigbaren horizontalen Komponente.

Dies ist das Feld, das von einer H-Schleife oder einem V-Dipol in geringer Höhe erfaßt wird. Für die horizontale Komponente dieses Vektors gibt es in einer bestimmten Höhe ein Interferenzmaximum (Maximum der stehenden Welle). Wir müssen die HP-Antenne in der Nähe dieses Stehwellenmaximums plazieren, um die maximale Leistung der horizontalen E-Feldkomponente zu erfassen. Das spezifische Interferenzbild hängt vom Ankunftsinkel und der Polarisierung der einfallenden Welle ab. Offensichtlich ist jede Empfangsantenne in ein Interferenzfeld „eingetaucht“, das durch die Überlagerung der direkten und reflektierten Wellen erzeugt wird.

Die Idee, daß wir die ankommende Welle direkt mit unseren Antennen erfassen, ist einfach nicht wahr. Dies erklärt die Tatsache, daß es nicht viel Grund gibt, unsere Kurzwellenantennen zum Himmel zu neigen, von wo die Wellen kommen. Unsere Antennen müssen die elektromagnetische Energie erfassen, die parallel zur Bodenoberfläche fließt. Was muß die Mindesthöhe für eine HP Antenne sein, um eine ausreichende Empfindlichkeit zu haben? Wahrscheinlich ist 0,1 der Wellenlänge ( $wl$ ) verwendbar. Der Boden ist kein idealer Reflektor und keine reine flache Oberfläche. Die reale Phasenverschiebung nach der Reflexion beträgt ebenfalls nicht 180 oder 0 Grad [19], und der Gesamteffekt der „stehenden Welle“ wird im realen Bodenfall wahrscheinlich nicht so stark sein.

Auch die umgebende Landschaft (in der Nähe von Hügeln und Tälern, große Gebäude) kann eine wichtige Rolle bei der Erstellung eines spezifischen Interferenzbildes spielen. Dies gilt für städtische Umgebungen, in denen in niedrigen Höhen unerwartet hohe HP-Wellen auftreten können. Der Benutzer wird ermutigt, auch niedrigere Höhen zu versuchen, da für einige Ausbreitungsbedingungen der Effekt der angepaßten Polarisierung den Stehwelleneffekt kompensieren kann. Größere Höhen kommen der kleinen HP-Antenne zugute, wie dies bei jeder anderen HP-Antenne in voller Größe der Fall ist. Eine interessante Schlußfolgerung kann gezogen werden:

Wenn die Bodenreflexion schwach ist (verlustbehaftete oder absorbierende Medien), können die HP-Antennen in niedrigeren Höhen arbeiten. Ist das wahr?

### **3. Diversity-Empfang mit doppelter Polarisierung**

Beim Diversity-Empfang werden zwei Signale von verschiedenen Antennen kombiniert, um das S / N-Verhältnis zu verbessern [10]. Am häufigsten wird der Diversity-Empfang mit zwei Antennen (mit demselben oder unterschiedlichen Typen) durchgeführt, die in einem gewissen Abstand voneinander angeordnet sind. Das Fading der Signale von diesen beiden Antennen hat normalerweise nicht die gleiche Phase, und wenn wir diese beiden Signale auf irgendeine Weise kombinieren, wird sich der Empfang verbessern. Zu diesem Zweck werden zwei phasenverriegelte Empfänger benötigt [18].

Diese Technik ist normalerweise mit großen Antennen und großen Räumen verbunden, kann jedoch überall angewendet werden, sogar auf dem Balkon einer Wohnung (Abb. 7), wobei kleine aktive Antennen mit unterschiedlichen Polarisierungen und sehr einfacher zusätzlicher Hardware verwendet werden [9]. Zwei kleine aktive Antennen müssen mit unterschiedlicher Polarisierung am selben Mast plaziert werden. Der Effekt ist maximal, wenn die Antennen zueinander orthogonale Polarisierung haben. Weitere Informationen zum Empfang von Polarisierungsdiversität finden Sie in einer anderen Veröffentlichung des Autors „Diversity Reception with a Modified SDR Receiver and Small Active Antennas“ [9]. Das beste Paar ist V-Dipol und gekreuzte koplanare (CC) H-Schleife [1, 2]. Sie sind reine VP- und HP-Antennen, auch über dem realen Boden. Die Paare V-Loop & H-Loop, V-Loop

& H-Dipol oder V-Dipol & H-Dipol funktionieren ebenfalls, aber nur das erste Paar ist für alle Azimut- und Elevationswinkel omnidirektional und orthogonal.

In derselben Veröffentlichung präsentiere ich mehrere Audioaufzeichnungen mit Stereo-Diversity-Empfang mit VP- und HP-Antennen [9]. Es gibt Hinweise darauf, daß die ankommende Welle manchmal physikalisch aus zwei elliptisch polarisierten Wellen mit Rechts- und Linksrotation besteht [20, 21]. Diese Wellen haben unterschiedliche ionosphärische Pfade und können mit geeigneten Geräten erfaßt werden. Es werden zwei orthogonal polarisierte Antennen benötigt, und das V-H-Paar kann zu diesem Zweck verwendet werden.

#### 4. Experimente

In Abb. 6 ist der Versuchsaufbau mit einem einzelnen AAA-1-Verstärker dargestellt [11]. Mit dieser Einstellung haben wir 3 Modi, die umgeschaltet werden können, um verschiedene Antennen zu vergleichen. Die horizontale CC-Schleife ist mit A-Anschlüssen verbunden, und ein separater kleiner vertikaler Dipol ist mit V-Anschlüssen verbunden. J1a und J1b = AUS. Die Schleife ist „rein“ horizontal polarisiert und der Dipol ist „rein“ vertikal polarisiert, beide mit idealem zirkularem Strahlungsmuster. Eine dritte vertikal montierte CC-Schleife ist mit B-Klemmen verbunden. Dies ist der vielseitigste Antennenaufbau, bei dem wir drei Antennen mit vertikaler, horizontaler und „gemischter“ Polarisation haben.

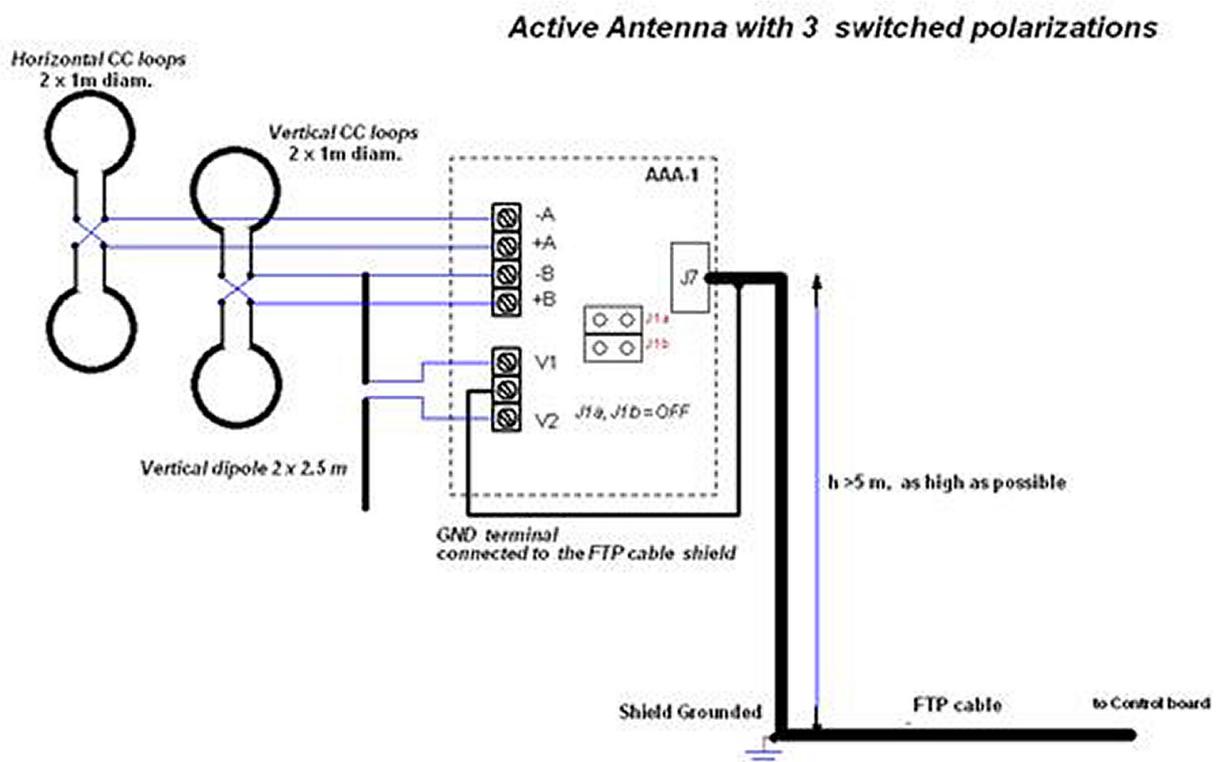


Abb. 6. Multi-Mode-Setup mit AAA-1. Hier haben wir reine HP mit horizontalen Schleifen, reine VP mit vertikalem Dipol und gemischte Polarisation mit vertikal platzierter Schleife.

In Abb. 1 ist eine kreisförmige CC-HP-Schleife dargestellt, die horizontal in 7 m Höhe montiert ist. Der Schleifendurchmesser beträgt 1 m mit 14 mm PE-beschichteten Rohren. Die Lage ist in einem kleinen Dorf mit relativ geringem künstlichem Störungen. Es wurde mit einer vertikal montierten CC-Schleife gleicher Größe verglichen, die in 3 m Höhe montiert war. Es werden AAA-1-Verstärker verwendet. Bei 1,8 MHz wurde das Grundrauschen der HP-Schleife durch das Rauschen des Verstärkers begrenzt, da die Signale aufgrund der geringen Höhe relativ schwach waren. Aber diese Schleife war sehr leise - ich habe ein konstant starkes Rauschen von einer Hochspannungsleitung, die 100 m vom Haus entfernt verläuft. Dieses Rauschen kann mit der vertikalen Schleife

nicht beseitigt werden, selbst wenn die Schleife in die optimale Rauschunterdrückungsposition gedreht wird. Bei der HP-Schleife war dieses Rauschen jedoch überhaupt nicht vorhanden. Bei höheren Bändern brachte die HP-Schleife eine sehr gute Leistung, und beide Antennen bieten die besten Empfangsmöglichkeiten für bestimmte Situationen.

Um die Empfindlichkeit für den HP-Modus zu erhöhen, baue ich eine weitere, größere Doppelpolarisationsantenne an derselben Stelle auf. Die HP- und VP-Antennen haben dieselbe Größe und werden mit denselben AAA-1-Verstärkern am selben Mast plaziert. Die horizontale Schleife befindet sich auf 7 m Höhe. Interessanterweise wurde das Grundrauschen bis zu 1 MHz in allen Modi durch das externe atmosphärische und vom Menschen verursachte Rauschen bestimmt, sodaß es keinen Grund gibt, größere Antennen zu bauen.

In Abb. 6a sind die Spektrogramme in den problematischsten LW- und MW-Banden gezeigt. Wie zu sehen ist, haben HP-Antennen im Vergleich zu VP-Antennen ein niedrigeres Rauschabstandsverhältnis, insbesondere für schwächere Stationen, die aus niedrigeren Ankwunfts winkeln stammen.

Bei stärker nahe gelegenen Stationen ist das S / N-Verhältnis jedoch fast gleich oder sogar noch besser, wahrscheinlich aufgrund des verringerten künstlichen Rauschens im HP-Modus. Für höhere Bänder ist die Leistung der Antennen wie erwartet - die beste Antenne hängt von der spezifischen Polarisation des eingehenden Signals ab.

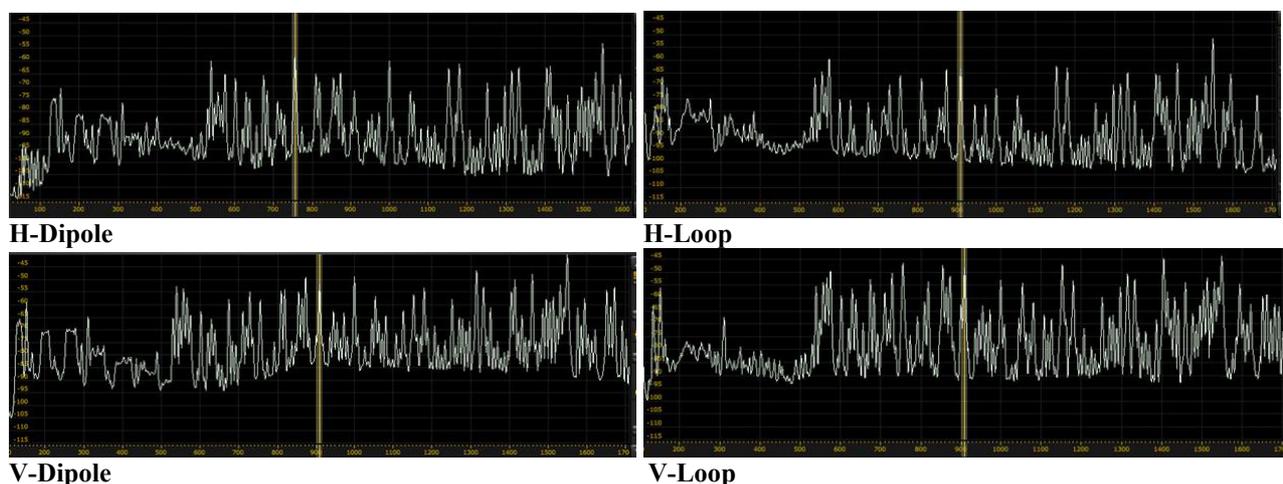


Abb. 6a. SDR-Spektrogramme des Bandes von 0,1 bis 1,7 MHz, erstellt mit 4 verschiedenen Antennen, fast zur gleichen Ortszeit 22:30 Uhr (der Unterschied beträgt nicht mehr als 5 - 6 Minuten) am 11. Juli 2015. Beachten Sie den niedrigeren Rauschpegel von HP Antennen. Bei Rahmenantennen beträgt der Unterschied fast 10 dB und bei Dipolen fast 20 dB! Das beste S / N-Verhältnis ist mit VP-Loop. Das schlechteste ist mit einer HP-Schleife, die reine HP enthält. H-Dipol hat eine bessere Leistung, da es VP für Wellen hat, die aus der Richtung der Dipolachse kommen. Unabhängig von der geringen Höhe weisen die horizontal platzierten Antennen eine anständige Leistung auf. Beide Dipolantennen haben ein starkes elektrisches Feldrauschen (im 200- bis 400-kHz-Band), wahrscheinlich von einer Hochspannungsleitung, die 100 m von den Antennen entfernt verläuft.

Ich habe zwei H- und V-Schleifen auf meinem Balkon in Sofia installiert. Beide CC-Schleifen (Abb. 7) haben eine identische Konstruktion mit einem Durchmesser von 0,7 m. Dies ist in Abb. 3.6 des Antennenteils des AAA-1-Handbuchs [11] beschrieben. Unser Haus ist ein 6-stöckiges Betongebäude, und die Antenne wurde im zweiten Stock etwa 5 Meter über dem Boden montiert. Ich habe sorgfältige Messungen durchgeführt, um die Leistung der horizontalen und vertikalen Schleifen zu vergleichen. Wie erwartet war die Leistung in den unteren Frequenzen der HP-Schleife schlecht. Auf MW lagen sogar die starken BC-Stationen nur wenige dB über dem Geräuschpegel.

Ich habe bis zu 30 dB Differenz zwischen HP- und VP-Modi auf einem BC-Stationsträger bei 900 KHz gemessen, bei 1323 KHz ist die Differenz auf 18 dB gesunken. Aber über 10 MHz war die H-Schleife ein ausgezeichneter Performer! Zunächst fiel das HP-Rauschen im HP-Modus um 1 bis 3 dB ab. Der Signalpegel stieg um 5 bis 7 dB, was eine allgemeine S / N-Verbesserung von bis zu 10

dB im Vergleich zum V-Loop-Modus ergibt. Bei 21 und 28 MHz war das S / N-Verhältnis der H-Schleife 6 bis 10 dB besser als die der V-Schleife! Bei 7 MHz war der Signalpegel mit V-Schleife höher, aber bei einigen Stationen liefert die H-Schleife ein besseres S / N. Es ist möglich, daß die HP-Wellenkomponente in städtischen Umgebungen im Vergleich zur VP-Komponente eine geringere Dämpfung aufweist, dies ist jedoch nur eine Vermutung, die experimentell nicht bewiesen ist.

Die vertikalen Betonwände der Gebäude wirken als Reflexionsflächen und die Interferenzmuster können recht seltsam sein. Die gute Nachricht ist, daß die kleinen aktiven HP-Antennen für Benutzer, die in hohen städtischen Gebäuden leben, sehr gute Leistungen erbringen. Wenn sie höhere Stockwerke belegen, haben sie wahrscheinlich auch im MW-Bereich eine sehr gute Empfindlichkeit. Mein städtischer Standort ist elektromagnetisch stark verschmutzt. Ich habe viele Störungen durch verschiedene Geräuschquellen. Die VP- und HP-Schleife reagieren erwartungsgemäß unterschiedlich empfindlich auf lokale Rauschquellen, aber ich kann nicht sagen, daß die eine an meinem Standort besser ist als die andere. Einige Quellen sind bei HP stark, bei VP jedoch sehr schwach und umgekehrt. Ich habe einen Nachbarn mit PA-Grenzwert, der ziemlich stark ist - aber im HP-Modus ist seine Signalstärke um 10 bis 15 dB gesunken, was bedeutet, daß das Signal überwiegend mit VP ist. Als Ergebnis dieser Experimente behalte ich diese Doppelpolarisationsschleife nun generell bei. Vorher habe ich ein Paar vertikal orthogonale Schleifen verwendet.



Abb. 7. Aufbau mit doppelter Polarisation mit einem einzelnen AAA-1-Verstärker. Beide CC-Schleifen sind identisch, nur die Platzierung ist zueinander orthogonal. Die horizontale Schleife hat reine HP, die vertikale Schleife hat eine gemischte Polarisation, aber eine reine VP in der Richtung senkrecht zur Gebäudefläche.

## 5. Schlußfolgerungen

Horizontal platzierte kleine aktive Empfangsantennen liefern sehr gute Ergebnisse, wenn sie mindestens 0,1 wl über dem Boden platziert werden. Es ist möglich, zwei sehr kleine Antennen am selben Mast zu platzieren und die optimale Polarisation zu wählen. Das beste Paar für den Empfang mit doppelter Polarisation ist eine horizontal gekreuzte koplanare (CC) Schleife und ein vertikaler Dipol. Diese beiden Antennen haben sogar über dem realen Boden reine H- und V-Polarisationen und sind omnidirektional mit einer Null in Richtung Zenit. Ein weiteres gutes Paar sind V-Loop und H-Loop, insbesondere für städtische Umgebungen, da der vertikale Dipol dort sehr laut ist.

# Anhang

## A1. Antennenpolarisationskoordinatensystem

Wir verwenden Diagramme von VP- und HP-Komponenten und es muß erklärt werden, was diese Diagramme bedeuten, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Die sich ausbreitende elektromagnetische Welle ist durch den Richtungsvektor und die Polarisationssebene gekennzeichnet - dazu gibt es viele Lehrbücher und Veröffentlichungen. In der Polarisationssebene liegen beide Vektoren - der elektrische Feldvektor und der Wellenrichtungsvektor. Beachten Sie, daß der elektrisch abgelegte Vektor  $E$  immer normal zum Wellenrichtungsvektor ist (elektrische und magnetische Vektoren sind quer zur Wellenbewegungsrichtung).

Der einfachste Fall ist die ebene Welle, bei der die Polarisationssebene festgelegt ist. Die Begriffe Horizontale (HP) und Vertikale (VP) Polarisation sind mit dem Koordinatensystem verbunden, das an der Bodenoberfläche (horizontale Ebene) verriegelt ist und an dessen Mittelpunkt sich ein Beobachter befindet. Ich werde sie genau erklären, wie sie in der Antennen-CAD-Software berechnet werden (normalerweise als H- und V-Komponenten bezeichnet), da ihre Namen etwas irreführend sind, insbesondere die VP-Welle. Lassen Sie uns ein xyz-Koordinatensystem haben, in dem xy-Achsen die horizontale Ebene definieren. Die Einfallsebene einer Welle ist als vertikale Ebene (normal zur horizontalen Ebene) definiert, in der der Wellenrichtungsvektor liegt. Diese Ebene verläuft durch die Mitte des Koordinatensystems (Abb. 8).

Wir haben VP, wenn der elektrische Feldvektor  $E$  nur in einer vertikalen Ebene (in der Einfallsebene) liegt. Mischen Sie nicht die xyz-Koordinaten des  $E$ -Vektors mit der Wellenpolarisation! Die Polarisationssebene von VP-Wellen ist immer normal zur horizontalen Ebene, aber das bedeutet nicht, daß der  $E$ -Vektor normal zur horizontalen Ebene ist.

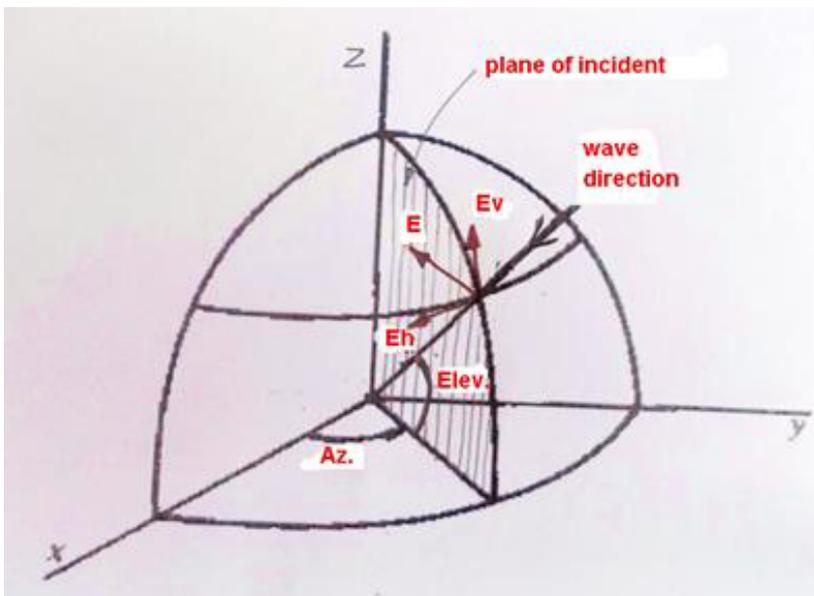


Abb. 8. Antennenkoordinatensystem. Die Polarisation einer Welle wird immer zur Bezugsebene des Einfalls bestimmt. Für VP  $E$  liegt in der Einfallsebene und für HP ist  $E$  normal zur Einfallsebene. Jede andere Polarisation kann dargestellt werden, da sie aus zwei unabhängigen HP- und VP-Wellen mit elektrischen Feldvektoren  $E_h$  und  $E_v$  mit derselben Wellenrichtung besteht. Der  $E$ -Vektor ist auch immer normal zum Wellenrichtungsvektor.

Ein Beispiel: Lassen Sie uns eine VP-Welle aus einem Elevationswinkel von 80 Grad haben.  $E$  ist normal zum Wellenrichtungsvektor und liegt in der Einfallsebene, hat also einen Winkel von nur 10 Grad zur horizontalen Ebene (Abb. 8). Wenn  $E$  normal zur Einfallsebene ist, haben wir HP. Für HP-Wellen ist der  $E$ -Vektor immer parallel zur horizontalen Ebene und hat keine  $z$ -Komponente in xyz-Koordinaten. Eine beliebige ebene Welle hat die Polarisation gekippt. Jede geneigte ebene Welle kann dargestellt werden, da sie aus zwei unabhängigen HP ( $E_h$ ) - und VP ( $E_v$ ) -Wellen mit demselben Wellenrichtungsvektor (derselben Einfallsebene) besteht. Die Vektorsumme von  $E_v$  und  $E_h$  ergibt den tatsächlichen  $E$ -Vektor. Die meisten im HF-Spektrum verwendeten Antennen strahlen ebene Wellen aus. Diese Wellen ändern nach der Reflexion von der Ionosphäre ihre Polarisation normalerweise auf zufällige Weise kontinuierlich (es kann sogar zu einer vollständigen Rotation

kommen), aber diese Änderung ist langsam und wir nehmen an, daß es sich um ebene Wellen handelt. Wir werden nicht annehmen, daß sie zirkular (oder elliptisch) polarisiert sind - dieser Begriff wird nur für Wellen verwendet, bei denen die Rotationsfrequenz der Polarisationssebene gleich der Frequenz des Signals ist. (Es gibt jedoch Fälle, in denen nach der Reflexion der ebenen Welle die Polarisation auf elliptisch geändert werden kann [20, 21]).

Das Konzept der Wellenpolarisation kann auf die Antennen angewendet werden. Wie bei den Wellen können wir annehmen, daß die Antenne zwei unabhängige orthogonale HP- und VP-Komponenten von E mit demselben Wellenrichtungsvektor ausstrahlt. Sie werden in der CAD-Antennensoftware mit H und V bezeichnet, und es ist möglich, diese beiden Komponenten getrennt darzustellen. Jede Antenne strahlt in alle Richtungen, aber H- und V-Diagramme geben die genaue Polarisation der abgestrahlten Welle für jeden Richtungsvektor an, der durch Azimut- und Elevationswinkel definiert ist. Der Azimutwinkel definiert die Einfallsebene und der Elevationswinkel definiert den Wellenrichtungsvektor in dieser Ebene. Die Vektorsumme der H- und V-Komponenten ergibt den tatsächlichen E-Vektor.

Das übliche „Gesamt“-Strahlungsmuster, das das Modul der Vektorsumme der H- und V-Komponenten ist, gibt keine Informationen über die Polarisation, sondern nur für die Größe von E. Die meisten HF-Antennen haben gekippte Polarisationsmuster und die Wellenpolarisation ist unterschiedlich für jede Richtung - die Neigung der Polarisationssebene hängt vom Azimut und der Elevationsrichtung ab. Wenn eine Antenne nur HP-Wellen ausstrahlt, ist sie als Empfangsantenne nur für HP-Komponenten der eingehenden Welle empfindlich, und wir haben gesagt, daß dies eine HP-Antenne ist. Gleiches gilt für die VP-Antennen. Dies ist sehr wichtig. Wenn wir uns die H- und V-Diagramme ansehen, können wir die Empfindlichkeit der Empfangsantenne für die Wellenpolarisation aus verschiedenen Richtungen abschätzen.

## **A2. Kleine Antennenpolarisationsmuster über dem realen Boden**

Die nächsten Modelle werden mit NEC2-Engine (Nec2 für MMANA [12]) oder Mininec (MMANA) -Antenne-CAD-Software [13] berechnet. Bei allen Modellen werden die HP-Antennen mit dem Sommerfeld / Norton-Bodenmodell (bei Verwendung von NEC2) in 12 m Höhe über dem Boden platziert,  $\epsilon_{ps} = 13$ ,  $\sigma = 5$ . Das Zentrum der VP-Antennen befindet sich 3 m über dem Boden. Die VP-Komponenten sind immer rot markiert. In Modellen werden unterschiedliche Schleifenformen verwendet, da ich Bilder aus älteren Untersuchungen verwendet habe, aber die Schleifenform spielt überhaupt keine Rolle.

Vertikal montierte Schleife Die vertikal montierten kleinen Schleifen über dem realen Boden haben eine gemischte Polarisation, wie in Abb. 9 gezeigt. Die Polarisationssebene variiert mit der Azimut- und Elevationsrichtung. Es hat eine stärkere VP-Komponente, aber die HP können nicht vernachlässigt werden. Für Wellen aus x-Richtung hat diese Antenne VP. Für die Wellen, die aus y-Richtungen kommen, ist es HP. Dies erklärt, warum es nicht viel Sinn macht, die kleine Schleife für die Fälle zu drehen, in denen die Polarisation nicht definiert ist, z. B. für die von der Ionosphäre reflektierten Signale. Die kleine Schleife hat ein Muster von 8 nur für reine VP- oder HP-Wellen. Beachten Sie, daß die Schleife eine sehr gute Empfindlichkeit gegenüber VP-Wellen aufweist, die in niedrigen Winkelhöhen auftreten. Dies bedeutet, daß diese Schleife in Bodennähe funktioniert, da nur VP-Wellen nahezu parallel zur Bodenoberfläche verlaufen.

## **A3. Universelle Doppelpolarisationsantenne**

Die universelle Doppelpolarisationsantenne wurde gebaut, um alle möglichen Polarisationspositionen kleiner Dipol- und Rahmenantennen zu testen. Die Antenne besteht aus einer H-Schleife und einer V-Schleife in CC-Verbindung, die am selben Mast angebracht sind (Abb. 17). Die Schleifen wirken auch als Arme eines kleinen Dipols im Dipolmodus eines AAA-1-Verstärkers.



Abb. 17



Abb. 18

Abb. 17. Universelle Doppelpolarisationsantenne an einem einzelnen Mast. Es ist besser, den horizontalen Teil um 90 Grad als den auf dem Bild gezeigten zu drehen, um die gleiche Richtung des H-Dipol- und V-Loop-Antennenpaars zu erhalten (einige andere Gründe aufgrund von Standortbeschränkungen werden für diese spezielle Konstruktion berücksichtigt).



Abb. 19

Zur Erhöhung der Dipolempfindlichkeit sind kleine Peitschen (80 cm Länge und 3 mm Durchmesser, Stahlmaterial) elektrisch mit den Außenteilen der Schlaufen verbunden (Abb. 19). Diese flexiblen Metallpeitschen beeinflussen die Schleifenleistung nicht, erhöhen jedoch die Dipollänge. Die Länge jedes Dipolarms beträgt daher 2,07 m. Die Schlaufen bestanden aus 16 mm PE-beschichteten Aluminiumrohren (für Heizungsanlagen). Der Schleifendurchmesser beträgt 1,27 m (4 m Umfang). Der Mast besteht aus Holz und die Mitte der H-Schleife befindet sich auf 7 m

Höhe. HP- und VP-Antennen werden an zwei AAA-1B-Verstärker angeschlossen, um die Möglichkeit des Diversity-Empfangs zu haben.



Die Schutz Erde des Verstärkers ist mit der FTP-Abschirmung in der Verstärkerbox verbunden (Abb. 20). Für das FTP-Kabel jedes Verstärkers werden Gleichtaktdrosseln [20] verwendet (Abb. 18). Die FTP-Abschirmung zwischen der Drossel und der Antenne ist an einem in den Boden eingeführten Kupferstab geerdet.

Abb. 20

## Links

[1] Levkov.Ch. LZ1AQ, *Wideband Active Small Magnetic Loop Antenna*, 2011, <http://www.lz1aq.signacor.com/docs/wsmll/wideband-active-sm-loop-antenna.htm>

[2] Levkov.Ch. LZ1AQ, *Experimental Comparison of Small Wideband Magnetic Loops*, 2013, <http://www.lz1aq.signacor.com/docs/experimental-comparison-v10.pdf>

[3] Leif Asbrink, SM5BSZ, *Linrad*, <http://www.sm5bsz.com/linuxdsp/linrad.htm>

[4] <http://microtelecom.it/index.html>

[5] Kazimierz Siwiak, KE4PT *An Optimum Height for an Elevated HF Antenna*, 2011 [http://www.arrl.org/files/file/OEX\\_Next\\_Issue/May-Jun\\_2011/OEX\\_5\\_11\\_Siwiak.pdf](http://www.arrl.org/files/file/OEX_Next_Issue/May-Jun_2011/OEX_5_11_Siwiak.pdf)

[6] Kazimierz Siwiak, KE4PT, *Pitching and Catching Radio Waves - The Last Bounce*, The QRP Quarterly, 2013, pp 31 -32 ,

<http://www.qsl.net/k4fk/presentations/QO1013-Ionospherica-II-pitching-catching-waves.pdf>

[7] Java applets, [http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/total\\_internal\\_reflection.html](http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/total_internal_reflection.html)

[8] Java applets, [http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/offset\\_dish.html](http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/offset_dish.html)

[9] Levkov.Ch. LZ1AQ, *Diversity Reception with a Modified SDR Receiver and Small Active Antennas*, 2015, <http://www.lz1aq.signacor.com/>

[10] Antenna diversity, [http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna\\_diversity](http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_diversity)

[11] <http://active-antenna.eu/>

[12] NEC2 for MMANA, <http://www.qsl.net/ua3avr/>

[13] MMANA-GAL <http://hamssoft.ca/pages/mmana-gal.php>

[14] Levkov.Ch. LZ1AQ, *Receiving Phased Array with Small Electric or Magnetic Active Wideband Elements. Experimental Performance Evaluation*, 2014, [http://www.lz1aq.signacor.com/docs/phased-array/2-ele\\_phased\\_array11.pdf](http://www.lz1aq.signacor.com/docs/phased-array/2-ele_phased_array11.pdf)

[15] *Variable Delay Line Kit for Active Antenna Phased Arrays. Model VDL-1*, <http://active-antenna.eu/variable-delay-line-kit-vdl-1a/technical-documentation/>

[16] Jose Carlos, N4IS, *High performance RX antenna for a small lot*, 2014, <http://www.qsl.net/k4fk/presentations/WF-receiver-antennas-SFDXAs.pdf>

[17] Carl Luetzelschwab, K9LA, *Polarization Observations on 160-Meters*, 2011, [http://k9la.us/Polarization\\_Observations\\_on\\_160-Meters.pdf](http://k9la.us/Polarization_Observations_on_160-Meters.pdf)

[18] Tom Rauch, W8JI, [http://www.w8ji.com/polarization\\_and\\_diversity.htm](http://www.w8ji.com/polarization_and_diversity.htm)

[19] Forum discussion digest, <http://www.dxmaps.com/discuss/polarization.html>

[20] Levkov Ch. LZ1AQ, *Reducing the Noise in Dipole Mode with Common Mode Filter*, 2013, <http://www.active-antenna.eu/tech-docs/comm-filter-ftp-10.pdf>

[21] Eric Nichols KL7AJ, *Gimme an X, Gimme an O, QST December 2010*

[21] Jan Simons PA0SIM, *Circular and elliptical polarisation and propagation on shortwave*, <http://www.pa0sim.nl/XOpropagation.htm>

#### **Versionsgeschichte:**

1.0 24 Juli 2015.      Erstveröffentlichung 1.1 28 Sep 2015

Einige zusätzliche Beschreibungen für zirkular polarisierte ionosphärische Wellen und zusätzliche Verbindungen.