

Whip-Tipps

Aufstellung, Betrieb und Funktionsweise von ‚Whip‘ Aktivantennen

Günter-Fred Mandel, DL4ZAO



Inhalt

- 1.1 Die „MiniWhip“ und ihre Vorfahren und Verwandten2
- 1.2 Whip E-Feld Aktivantennen nach dem Impedanzwandler-Prinzip3
- 1.3 Aufstellung, Höhe und Erdanbindung für bestes SNR3
- 1.4 Aktivantenne störarm betreiben.....4
- 1.5 Anforderungen an die Qualität der Stromversorgung.....5
- 1.6 Fernspeiseweiche – Bias-T6
- 1.7 Aktivantenne, Speiseleitung und Masthöhe interagieren6
- 1.8 Praxistipps kurz zusammengefasst:.....7
- 1.9 Einfluss der Mast-Höhe auf eine kurze Monopol-Aktivantenne8
- 1.10 Eigenschaften einer elektrisch kurzen Antenne.....9
- 1.11 Ersatzschaltbild eines kurzen Strahlers10
- 1.12 AktivWhip – kurzer Monopol mit Impedanzwandler-Verstärker.10
- 1.13 Funktionsprinzip von kurzen ‚Whip‘ E-Feld Aktivantennen.....11
- 1.14 Quellen, Referenzen und weiterführende Literatur.....13

1.1 Die „MiniWhip“ und ihre Vorfahren und Verwandten

Roelof Bakkers (PA0RDT) eingängige Wortschöpfung "MiniWhip" für seine minimalistische Variante einer aktiven E-Feld Antenne war ein Geniestreich. Zwar kennt man diese Art von aktiven Monopol -Antennen schon seit Mitte des letzten Jahrhunderts und es findet sich seit vielen Jahrzehnten genügend Literatur mit Schaltungen und Bauvorschlägen. Doch erst mit PA0RDTs „MiniWhip“ hat die Impedanzwandler-Aktivantenne unter SWLs und Funkamateuren weite Verbreitung gefunden. Diese Art von kurzen Aktivantennen funktionieren nach ähnlichem Grundprinzip: sie sondieren die Spannung des E-Feldes der einfallenden Radiowellen gegen ein Referenzpotenzial, um eine Empfangsspannung zu gewinnen. Man nutzt sie im professionellen und militärischen Bereich schon seit langem. Als Beispiele genannt seien von Rhode & Schwarz die HE001 und später die HE011 oder die KAA1000 von RFT; das Consumer/Hobby Segment bediente in den 80er Jahren die Dressler ARA-30/60, später dann die DX-One und DX-10 von RF-Systems. Und seit einigen Jahren kennt man die MiniWhip, BoniWhip, UniWhip, und eine Menge anderer „Whips“.

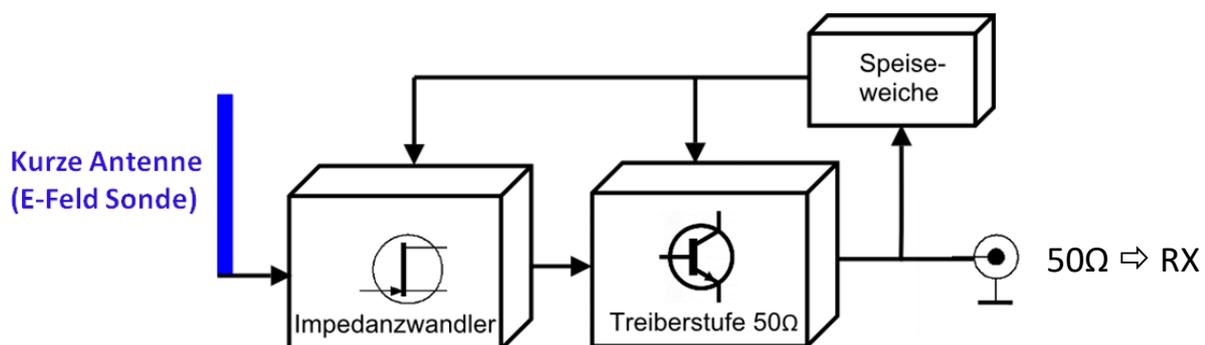
Warum ist gerade PA0RDTs "MiniWhip" so bekannt geworden, dass „MiniWhip“ oder „Whip“ mittlerweile als Synonym für kurze E-Feld Monopol-Aktivantennen steht, wie Tempo für Papiertaschentücher oder Fön für Haartrockner. Ganz einfach, Roelof Bakkers minimalistisches Design ist eine bestechend einfache Schaltungsvariante eines Aktiv-Monopol Verstärkers mit nur zwei Transistoren und wenigen passiven Bauteilen, sowie einigen Quadratzentimetern Kupferfläche der Leiterplatte als Antennenelement an Stelle eines Stabs als Strahler. Sein Bauvorschlag kann von jedem halbwegs begabten Elektronikbastler aus handelsüblichen Bauteilen problemlos zusammengesetzt werden und funktioniert. Aus diesem Grunde wurde er zehntausendfach nachgebaut; die "MiniWhip" überzeugte trotz der Einfachheit mit erstaunlichen Fähigkeiten.

Wobei wie bei allen Aktiv-Monopolantennen der Verstärkerteil der "MiniWhip" alleine gar nichts empfangen kann. Isoliert betrachtet ist es nur eine metallene E-Feldsonde an einem aktiven FET-Impedanzwandler mit einer Eingangsimpedanz von > 1 Megohm und danach ein Transistor Emitterfolger mit der Fähigkeit ein 50 Ohm Koaxialkabel treiben zu können. Die Spannungsverstärkung der „MiniWhip“ ist kleiner als eins, es wird nur die Leistung verstärkt. Eine Empfangsspannung am Koaxialausgang kommt erst zustande, wenn der Verstärker einen Erde-Bezug oder ein Gegengewicht als Bezugspotenzial für die Feldsonde erhält. Die den Empfang bestimmenden Komponenten der Aktivantenne sind deswegen auch der Mast mit seiner effektiven Höhe über Grund, der Schirm des Koaxialkabels, der das Bezugspotenzial für die Whip transportiert und die Erdungsverhältnisse. Erst diese Komponenten mit der Verstärkerelektronik zusammen bilden eine funktionierenden Aktiv-Monopol Antenne mit ihren jeweiligen Eigenschaften.

Was unterscheidet eine „MiniWhip“ von anderen Varianten von Aktiv-Whips oder von hochpreisigen professionellen Aktiv-Monopolen wie z.B. einer Rhode Schwarz HE011? Es sind alternative, oft auch aufwändigere Schaltungskonzepte, die einige systembedingte Nachteile der einfachen „MiniWhip“ ausgleichen oder mit dem Anspruch, die Empfangseigenschaften noch etwas zu optimieren. Zum Beispiel die Empfindlichkeit, Verstärkung und die Rauschzahl zu verbessern oder die Linearität des Verstärkers und damit die Großsignalfestigkeit in exponierten Empfangslagen zu steigern, Schutz gegen transiente atmosphärische Überspannungs-Impulse, UKW-Absenkung um Beeinflussung durch starke FM-Sender zu eliminieren. Manche professionellen Konzepte sind sehr robust, um MIL-Spezifikationen zu erfüllen oder um unter extremen oder maritimen Umgebungsbedingungen zu bestehen. Neuere Konzepte nutzen moderne integrierte Verstärkerbausteine, haben einen erweiterten oder für bestimmte Bereiche optimierten Empfangsbereich oder bieten eine aufwändigere Breitband-Fernspeiseweiche mit hoher Entkopplung zwischen den einzelnen Port. Letztendlich funktionieren sie alle, von der simplen „MiniWhip“ bis zu den professionellen Aktiv-Monopolen nach dem gleichen Prinzip: Strahler, Verstärker, Kabel, Erdung, Speiseweiche und Aufstellungsort müssen im Zusammenspiel aufeinander abgestimmt sein, damit die Empfangsleistung stimmt.

1.2 Whip E-Feld Aktivantennen nach dem Impedanzwandler-Prinzip

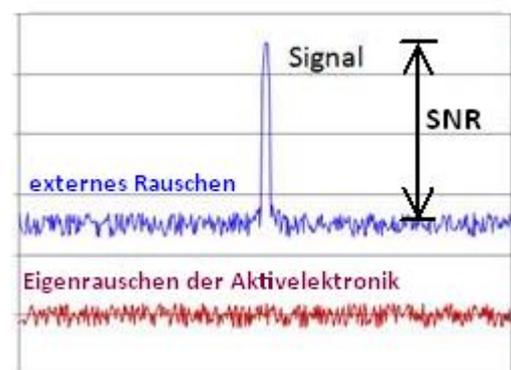
Aktivantennen mit einem im Verhältnis zur Empfangswellenlänge kurzen Monopol – einem Stab oder englisch ‚Whip‘ - als Strahler und einem Impedanzwandler als Verstärker sind in ihrem Nahfeld-Verhalten hochohmig und reagieren überwiegend sensitiv auf elektrische Felder von Radiowellen. Auch die verbreitete Miniwhip [4] ist ein solcher Monopol, nur mit einem sehr kurzen Strahler. Bei einer Mini-‚Whip‘ wird statt eines Stabes eine Metallfläche als Antennenelement an einen Verstärker mit hochohmigem Eingang angeschlossen. Die Aktivantenne ‚misst‘ den Potentialunterschied zwischen Antennenelement und Erdanbindung und leitet die sondierte Spannung leistungsverstärkt über ein Koaxialkabel zum Empfänger. Man erhält eine vertikal polarisierte, rundstrahlende Empfangsantenne. Um mit E-Feld Aktivantennen optimale Empfangsergebnisse zu erzielen, sind bei der Aufstellung und beim Betrieb wichtige Rahmenbedingungen zu beachten.



1.3 Aufstellung, Höhe und Erdanbindung für bestes SNR

Bei einem Empfangssystem ist der Signal-Rauschabstand (Signal to Noise Ratio, SNR) die maßgebliche Größe. Das Rauschen setzt sich neben dem Eigenrauschen des Empfängers aus dem Eigenrauschanteil der Aktiv-Elektronik und dem von der Antenne empfangenen externen Rauschen (atmosphärisches, galaktisches und man-made Rauschen) zusammen [5]. Will man mit einer E-Feld Aktivantenne optimale Empfangsergebnisse und ein gutes SNR erreichen, ist beim Aufbau auf einige Besonderheiten zu achten.

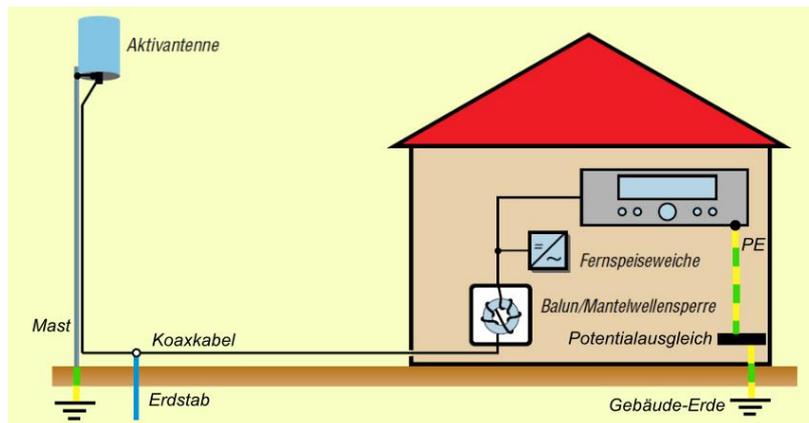
Die Empfangsspannung (Signal + externes Rauschen) einer E-Feld Whip-Antenne nimmt proportional mit der Länge des Antennenstabs und mit der Montagehöhe über Erde zu. Um Übersteuerung in der Aktivelektronik zu vermeiden, ist es sinnvoll, in erster Linie auf einen ausreichenden Signal-Rauschabstand zu achten und nicht einen möglichst hohen Ausschlag des S-Meters anzustreben. So lange das extern empfangene Rauschen deutlich über dem Eigenrauschen der Aktivelektronik liegt und das SNR bestimmt, reicht die Montagehöhe aus.



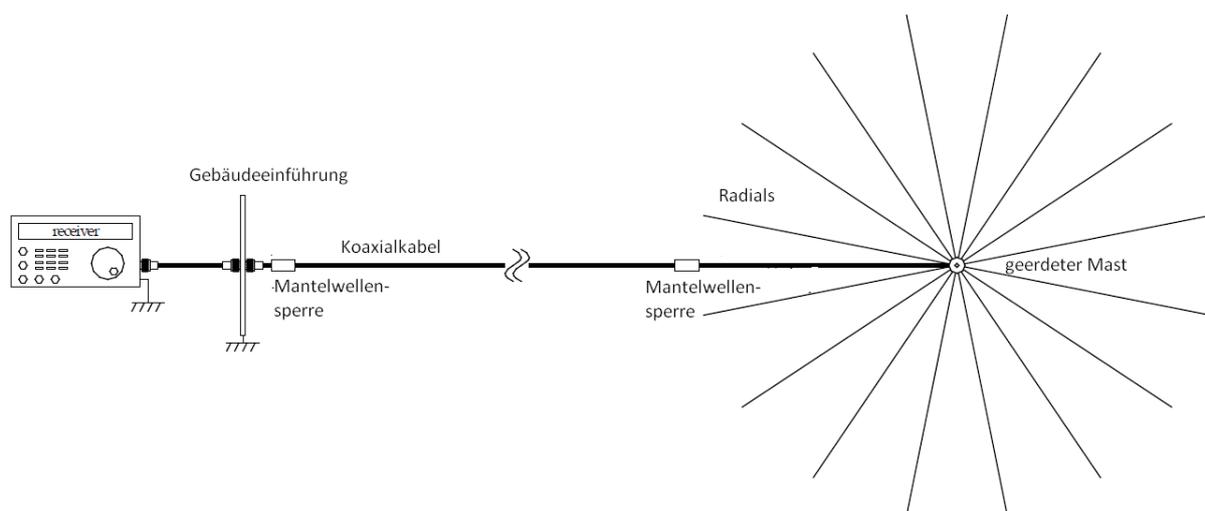
Die Länge der Whip der Aktivantenne bzw. die Höhe des Montagemastes wählt man am besten so, dass eine höhere Anbringung nur noch eine Zunahme des Gesamtsignalpegels (Signal + Rauschen) aber keine merkliche Verbesserung des Signal-Rauschabstandes mehr verursacht. In der Praxis hat sich eine Aufstellhöhe von 1 bis 6 m für dem Empfang von LW bis in den KW Bereich meist als ausreichend gezeigt. Als Richtwert: die Montagehöhe soll nicht mehr als 15% der Wellenlänge der höchsten Nutzfrequenz betragen. Größere Höhe kann wegen der dann auftretenden Resonanzeffekte zu Übersteuerung des

Verstärkers und Intermodulation führen. Eine E-Feld-Aktivantenne auf einen höheren Mast oder auf dem Hausdach ist nicht empfehlenswert.

Der ideale Aufstellungsort für eine Whip ist außerhalb des häuslichen Störpegels über gut leitendem Erdboden, dem Erdboden mit Radialsystem oder über einer ausgedehnten Metallfläche z.B. einem flachen Blechdach. Bei der Montage an einem leitfähigen Mast, muss das Antennenelement der Aktivantenne über den Mast hinausragen.



Eine gute Erdverbindung der Aktivantenne spielt eine wichtige Rolle, ohne sie fehlt dem Verstärker der Massebezug. Falls es keine Erdverbindung über den Metall-Mast oder eine gesonderte Erdleitung gibt, übernimmt zwangsläufig der Schirm des Koaxialkabels die Rolle der Erdzuführung oder wirkt als undefiniertes Gegengewicht. Der Mast, sowie das speisende Koaxialkabel sind daher wirksame Bestandteile des Aktivantennensystems. Das Empfangssignal entsteht aus der Spannung (Potentialdifferenz) zwischen dem Antennenelement, der Whip, und dem Potential der Erdanbindung am Außenleiter der Verstärkerbuchse als Masse-Bezug. Dazu wird der Mast oder der Schirm des Koaxialkabels am Fußpunkt auf kurzem Wege mit einem Stab geerdet. Zusätzlich helfen Radials um den Fußpunkt des Mastes, die Qualität des Erdbezuges zu verbessern.



1.4 Aktivantenne störarm betreiben

E-Feld Aktivantennen platziert man außerhalb des häuslichen Störnefels. Die hochohmige Sonde fängt ansonsten Nahfeldstörungen von häuslichen und industriellen Störquellen wie Schaltnetzteilen, TV-Geräten,

Photovoltaikanlagen, LED-Leuchten und PLC-Modems auf. Gleichtaktstörungen werden über Einstrahlung auf den Schirm des Koaxialkabels (Mantelwellen) oder leitungsgebunden durch Ausgleichsströme über Erdschleifen eingeschleppt. Das Koaxialkabel ist in der Regel über den Empfänger mit dem PE der Hausverteilung verbunden, auch über diesen Weg können Störspannungen und Ströme eingekoppelt werden.

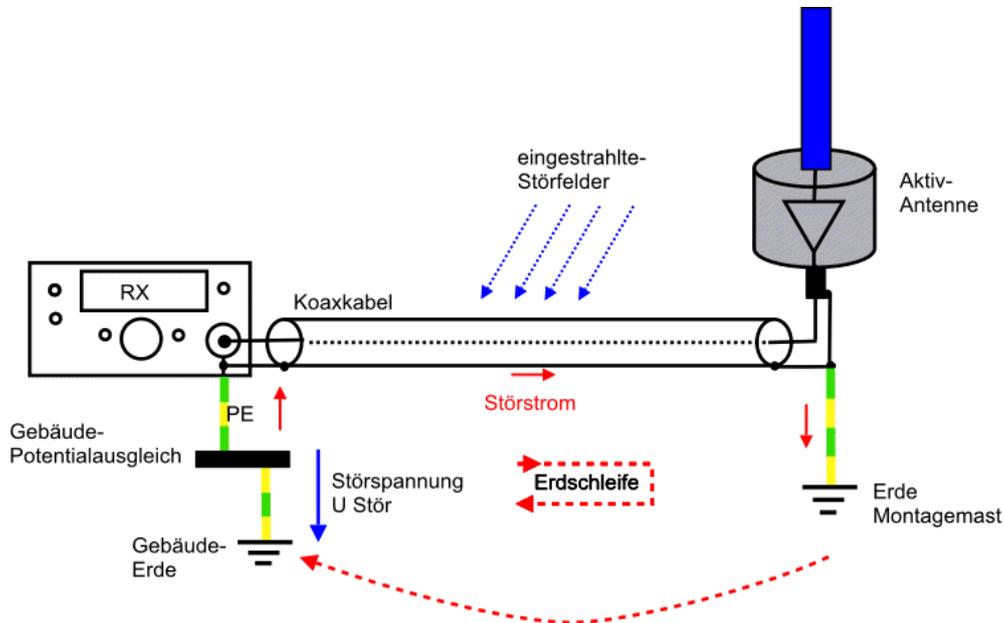


Bild:

Wege der Störungseinkopplung, leitungsgeführt über Erdschleife oder Einstrahlung auf den Schirm der Speiseleitung.

Die Ausbreitung von unerwünschten Störströmen über den Schirm des Koaxialkabels lässt sich durch Wahl eines geeigneten Aufstellungsorts, Verdrosselung der Speiseleitung mit Mantelwellensperren / Gleichakttdrosseln und guter Erdung und Potenzialausgleich minimieren. Den Koaxschirm verbindet man auf möglichst kurzem Weg mit einer HF-gerechten Erde. Verlegt man die Speiseleitung in der Erde oder auf der Erde mindert das zusätzlich die Gefahr von eingestrahlt Störungen.

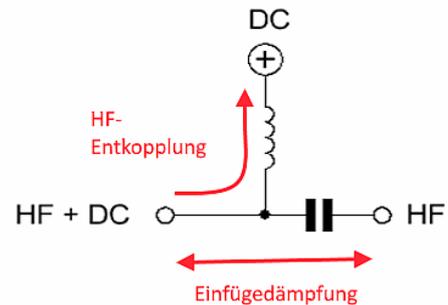
Die Erdanbindung der Aktivelektronik bzw. der Außenleiter der Ausgangs-Koaxbuchse soll auch aus Schutzgründen auf kurzem Wege mit einem Erder oder dem geerdeten Montagemaß verbunden werden. Eine Erdverbindung ausschließlich über den Koaxialkabel-Schirm über die Erdverbindung über den Schutzleiter/PE im Shack bietet keinen ausreichenden Schutz gegen Überspannungen. Zudem besteht die Gefahr, dass durch eine „schmutzige“ PE-Haus-Erde Störungen eingeschleppt werden.

1.5 Anforderungen an die Qualität der Stromversorgung

Es ist insbesondere bei E-Feld Aktivantennen wie einer Aktivwhip sehr wichtig, eine rausch- und störungsarme Stromversorgung zu verwenden. Bevorzugt aus einem lineargeregelten Netzteil; Schaltnetzteile sind oft unzureichend gefiltert und entstört. Die hochfrequenten Schaltimpulse und ihre Oberwellen verbreiten sich sowohl leitungsgeführt als auch abgestrahlt und können sich auf diesen Wegen der Empfangsspannung überlagern und das SNR verschlechtern.

1.6 Fernspeiseweiche – Bias-T

Eine Fernspeiseweiche - im englischen als Bias-T oder Power-Injektor bezeichnet, benutzt man zur Betriebsspannungs-Versorgung von Aktivantennen über das vorhandene Koaxialkabel. Es ist eine T-förmige Frequenzweiche, über die eine DC-Versorgungsspannung rückwirkungsfrei auf das Koaxialkabel eingespeist oder herausgeführt werden kann. Die rückwirkungsarme Aufschaltung der Gleichspannung auf die Hochfrequenzleitung erfolgt über HF-Drosseln, deren induktiver Widerstand im Nutzfrequenzbereich einen hohen Widerstand darstellen, Gleichströme aber durchlassen.



Eine hochwertige Fernspeiseweiche ist ein wichtiges Element für einen störungsfreien Empfang. Gute Weichen weisen für den durchgehenden HF-Zweig eine möglichst kleine Einfüge-Dämpfung und ein niedriges VSWR auf. Der DC-Port soll durch eine möglichst hohe Entkopplung vom HF-Weg isoliert sein, damit keine Störungen aus der Stromversorgung zum Empfänger gelangen können und damit das HF-Nutzsignal nicht durch Verluste über den DC-Port gedämpft wird. Ein Bias-T von hoher Qualität garantiert über den gesamten Nutzfrequenzbereich Entkopplungswerte von >50dB zwischen dem DC-Port und den HF-Ports. Einfach konstruierte Fernspeiseweichen erfüllen diese Anforderung oft nur unzureichend. Insbesondere wenn die verwendete Drosselinduktivität zu klein bemessen ist, wird bei tiefen Frequenzen keine ausreichende Entkopplung erreicht. Bei hohen Frequenzen können Eigenresonanzen der Drossel die Entkopplung beeinträchtigen. Eine Fernspeiseweiche muss für den einzuspeisenden Versorgungsstrom ausreichend bemessen sein. Wird der spezifizierte Maximalstrom einer Fernspeiseweiche überschritten, gerät eine Ferrit-Drossel in Sättigung und die Entkopplungswirkung lässt nach.

1.7 Aktivantenne, Speiseleitung und Masthöhe interagieren

Zum Verständnis der Zusammenhänge ist es wichtig, die Aktivantenne nicht isoliert zu betrachten, sondern als Bestandteil eines Antennensystems zu sehen. Dieses System besteht aus den Haupt-Komponenten:

- Antennenelement, meist ein Stab (Whip) oder eine Metalloberfläche
- Aktivelektronik: Impedanzwandler / Verstärker
- Höhe des Mastes bzw. Länge des Koaxialkabels über Erde
- Erde oder ein gleichwertiges Gegengewicht

Alle Komponenten interagieren und bilden zusammen das Antennensystem. Die Masthöhe bzw. die Länge der Erdzuführung zur Aktivantenne ist Bestandteil des Aktivantennensystems und spielt für die Eigenschaft als Breitbandantenne und für die abgegebene Empfangsspannung eine ausschlaggebende Rolle.

Näherungsweise führt eine Verdoppelung der Aufstellhöhe zu einer Verdoppelung der Ausgangsspannung, entsprechend +6dB Anstieg. Ist jedoch die Montagehöhe über Erde im Verhältnis zur empfangenen Wellenlänge länger als ca. 15% der Wellenlänge, bilden sich auf dem Kabelschirm bzw. auf dem Mast zunehmend Resonanzen aus, die zu frequenzabhängigen Überhöhungen und Einbrüchen des abgegebenen Empfangspegels führen – die Breitbandeigenschaft der Aktivantenne geht verloren.

Das Masse-Bezugspotential am Anschluss der Aktivelektronik wird über einen geerdeten Antennenträger oder ansonsten, im Falle eines isolierten Mastes, über den Außenschirm des Koaxialkabels zugeführt. Die Verbindung mit einer HF-gerechten Funktions-Erdung soll auf kürzestem Wege, am besten direkt am Fuße des Mastes erfolgen. Ohne Erdung oder Radials wirkt nur der Schirm des Koaxialkabel als Gegengewicht.

1.8 Praxistipps kurz zusammengefasst:

- Vertikale Monopol Aktivantennen wie z.B. eine MiniWhip sind vertikal polarisierte Empfangsantennen mit Rundstrahlcharakteristik.
- Aktivantenne, Kabel und Erde/Gegengewicht wirken zusammen als Gesamtsystem.
- Die Stärke des empfangenen Signalpegels steigt proportional mit der Höhe der Antenne über Grund. Eine höhere Montage ergibt höhere Ausgangspegel, jedoch
- Masthöhen über einem Richtwert von $0,15 \lambda$ bei der maximalen Nutzfrequenz führen zu Welligkeiten in der Empfangsspannung. Mit der Folge: ungleichmäßiger Frequenzgang, Gefahr von Übersteuerung des Verstärkers, Intermodulation.
- In der Praxis reicht für LW bis KW eine Montagehöhe zwischen 1 m und 6 m über Erde bzw. einem gleichwertigen Gegengewicht für ein angemessenes SNR.
- Eine gute HF-Erde am Mastfuß ist für störarmen Betrieb wichtig. Erfolgt die Zuführung des Erdpotentials nur über das Koaxialkabel und über die Erdverbindung im Shack, besteht die Gefahr, dass Störungen über das Kabel eingeschleppt werden.
- Mantelwellensperren (auch bekannt als Strombalun, Gleichtaktdrossel, Common Mode Choke) können helfen, eine Einkopplung von Störungen über den Kabelschirm zu unterdrücken.

In den folgenden Abschnitten noch einige vertiefende Information zur Funktion

1.9 Einfluss der Mast-Höhe auf eine kurze Monopol-Aktivantenne

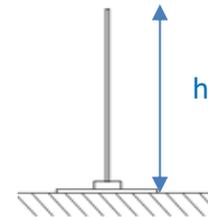
Eine Antenne wird als "elektrisch kurz" bezeichnet, wenn die Dimension der Antennenlänge deutlich kürzer als ein Viertel der Wellenlänge bei der Betriebsfrequenz ist. ($L \ll \lambda/4$)

In homogenen elektromagnetischen Feldern zeigen kurze Monopole, wie auch eine MiniWhip, im Gegensatz zu symmetrischen, dipolartigen Antennen eine Abhängigkeit der Antennenspannung u von der Höhe. Die Ursache hierfür liegt in der frequenzabhängigen bzw. laufzeitbedingten Stromverteilung, die sich entlang des Schirms des Koaxialkabelschirms oder eines leitfähigen Mastes einstellt. Das Strommaximum tritt am Boden auf, während das Maximum der Spannungsverteilung am oberen Ende des Strahlers zu finden ist. Die von der Whip abgegriffene Feldstärke hängt also nicht nur von der Größe des Antennenelements ab (Stab oder Metallfläche), sondern auch von der Aufstellungshöhe über Grund [8], [11].

Zur Bestimmung der Ausgangsspannung verwendet man den Begriff „effektive Höhe“ oder „Nutzhöhe“. Die effektive Höhe oder Nutzhöhe h_N einer Antenne ist nicht identisch mit ihrer tatsächlichen Länge oder Höhe. Es ist ein Umwandlungsfaktor der den Zusammenhang zwischen der Empfangsfeldstärke E und der in der Antenne erzeugten Leerlaufspannung u beschreibt: $u = E \cdot h_N$

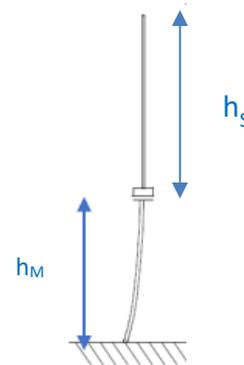
Bei kurzen Monopolen direkt auf dem Boden mit der Strahlerlänge h_S ist die wirksame Antennenhöhe gleich der halben Höhe des Strahlers.

$$h_N = \frac{1}{2} h_S$$



Wird die Antenne erhöht auf einem Mast oder Tragrohr montiert, errechnet sich die wirksame Antennenhöhe h_N nach dem Zusammenhang:

$$h_N = \frac{1}{2} h_S + h_M$$



"effektive Höhe" oder "Nutzhöhe" h_N eines kurzen Monopols auf einem Mast mit $l \ll \lambda/4$

$h_N = \frac{1}{2} h_S + h_M$

Antennenspannung:
 $u = E \times h_N$
 (E = elektrische Feldstärke in V/m)

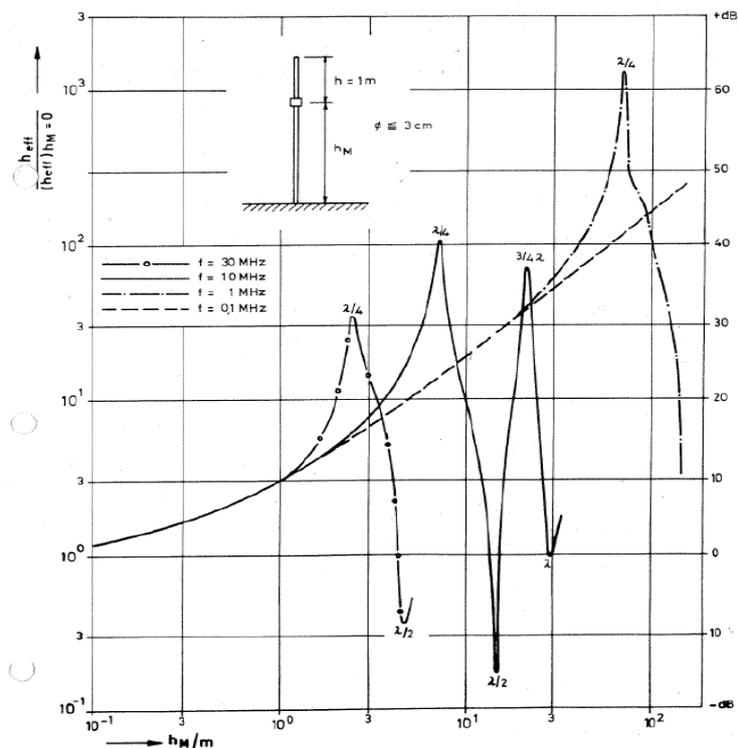
Erde ground dl4zao

Die Antennenspannung zeigt eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Mast-Höhe über Grund. Sobald die Strahler und Masthöhe nicht mehr klein im Verhältnis zur Betriebswellenlänge ist $(h_s + h_M) / \lambda > 0,15$, wird die Spannungs- und Stromverteilung auf dem Mast zunehmend wellig. Mit zunehmender Höhe bilden sich Mastresonanzen aus, die Empfangsspannung wird frequenzabhängig mit Spitzen und Einbrüchen.

Die Kurven rechts zeigen beispielhaft den Einfluss der Masthöhe auf die Welligkeit der Antennenspannung eines 1m Antennenstabes auf einem Mast mit der Höhe h_M in m.

Bei Höhen von $\lambda/4$ und bei $\lambda/2$ und Vielfachen davon treten ausgeprägte Resonanzspitzen mit Überhöhungen und Auslöschungen auf.

Grafik: H.K. Lindenmeier, DUK-ASS Firmenunterlage



1.10 Eigenschaften einer elektrisch kurzen Antenne

Die Leistung, die eine Antenne dem elektromagnetischen Feld entnehmen kann, wird durch ihre Wirkfläche A beschrieben [2].

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$$

D ist dabei der ‚Richtfaktor‘, der in der Literatur für den Halbwellendipol mit 1,64, und für den elektrisch kurzen Dipol mit 1,5 angegeben wird. Analog gelten für den kurzen Monopol ein D von 3,28 bzw 3. Das bedeutet, ein Monopol, der klein gegenüber der Wellenlänge λ ist hat eine Wirkfläche und damit eine Empfangsleistung, die nur etwa 10% geringer ist als ein ausgewachsener resonanter $\lambda/4$ Monopol. Die Wirkfläche eines kurzen verlustlosen Strahlers ist von den Antennenabmessungen unabhängig.

Wenn es so ist, dass eine elektrisch stark verkürzte Antenne gegenüber einer resonanten Antenne nur geringfügig weniger Gewinn oder Wirkfläche hat, warum plagen wir uns dann mit Viertel- oder Halbwellenantennen ab? [6] Die nähere Betrachtung der komplexen Fußpunktimpedanz verdeutlicht, warum eine Leistungsanpassung an die extreme Impedanz bei einem elektrisch kurzen Monopol mit passiven Anpasselementen L und C , unrealistisch ist:

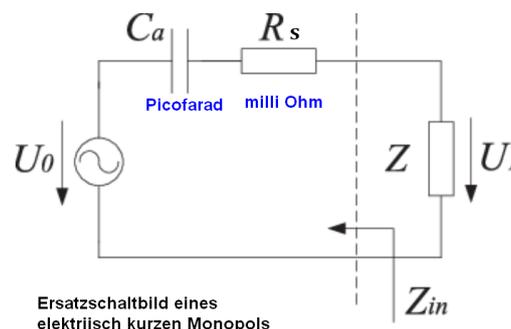
Bei stark verkürzten Antennen besteht der Fußpunktimpedanz Z_{in} aus der Reihenschaltung des Strahlungswiderstandes und des Verlustwiderstandes sowie einer kleinen Kapazität. Der Strahlungswiderstand R_S eines kurzen Monopols der Länge l errechnet sich nach der Beziehung

$$R_S = 395 \times \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$$

Bei Antennenlängen l wie bei der Mini-Whip liegt der Strahlungswiderstand bei tiefen Frequenzen im milliOhm Bereich. Dazu in Serie liegt die Antennen-Kapazität C_a von wenigen Picofarad - ein sehr hoher kapazitiver Blindwiderstand.

1.11 Ersatzschaltbild eines kurzen Strahlers

Ein im Verhältnis zu Wellenlänge sehr kurzes Antennenelement verhält sich im vereinfachten elektrischen Modell wie eine Spannungsquelle mit sehr kleinem Innenwiderstand in Serie mit einem Kondensator C_a von wenigen Picofarad. Die Größe der Serien-Kapazität hängt von den Dimensionen des Antennenelementes ab. Die komplexe Fußpunktimpedanz $Z_{in} = R + jXC$ setzt sich demnach aus einer Reihenschaltung eines sehr kleinen Widerstandes R mit einem großen kapazitiven Widerstand $-jXc$ zusammen. Die Leerlaufspannung U_0 der Quelle ist proportional zu der empfangenen elektrischen Feldstärke.



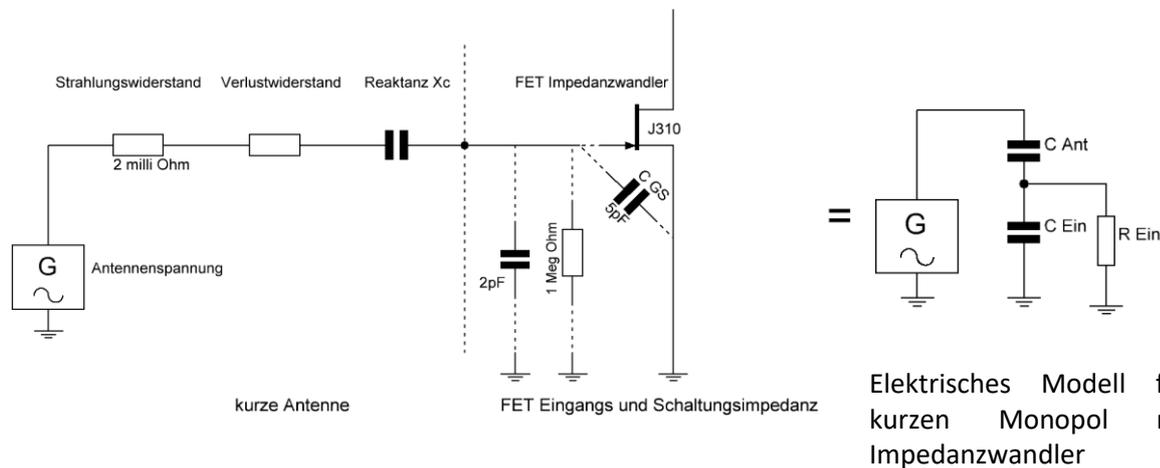
Belastet man die durch den hohen kapazitiven Widerstand dominierte Fußpunktimpedanz Z_{in} mit einem Empfängereingang von $Z = 50\Omega$, bricht durch die Spannungsteilung Z_{in} / Z die Empfangsspannung U_1 auf sehr kleine Werte zusammen. Am Empfänger steht in diesem Falle nicht mehr genügend Empfangsspannung für einen guten Signal-Rauschabstand zur Verfügung.

Um die Leerlauf Empfangsspannung dennoch verlustarm abnehmen zu können, muss die Lastimpedanz Z hoch in Bezug auf Z_{in} sein; Spannungsanpassung statt Leistungsanpassung. Man erreicht dies, durch einen aktiven Impedanzwandler, der die Spannung hochohmig entnimmt und die Leistung verstärkt, so dass eine 50Ω Last bedient werden kann. Integriert man den Impedanzwandler-Verstärker und das kurze Antennenelement zu einer funktionalen Einheit, spricht man von einer Aktivantenne.

1.12 AktivWhip – kurzer Monopol mit Impedanzwandler-Verstärker.

Die Whip kann im Ersatzschaltbild als Generator mit sehr kleinem Innenwiderstand angesehen werden, der über einen Serien-Kondensator von wenigen Picofarad an den Verstärkereingang gekoppelt ist. Der Blindwiderstand X_c der Antennenkapazität C_{Ant} , der bei niedrigen Frequenzen sehr hohe Werte annimmt,

bildet mit dem Eingangswiderstand des FET und dem Blindwiderstand der Gate-Source Kapazität und den Schaltungskapazitäten einen kapazitiven Spannungsteiler, der die Eingangsspannung am Gate des FET vermindert. Je höher die Antennenkapazität C_{Ant} ausfällt, desto geringer macht sich der Effekt der Spannungsteilung bemerkbar. Um die Leerlaufspannung verlustarm abnehmen zu können, ist ein hochohmiger Impedanzwandler mit geringer Eingangskapazität erforderlich. Die Eingangsimpedanz des FET-Impedanzwandlers wird im Wesentlichen durch die parasitären Kapazitäten des FET und des Schaltungsaufbaus bestimmt.



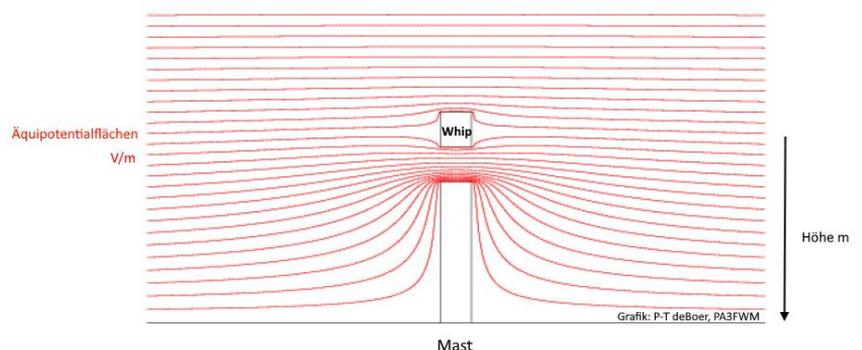
1.13 Funktionsprinzip von kurzen ‚Whip‘ E-Feld Aktivantennen

Die Überlegungen in diesem Abschnitt gelten zur Vereinfachung unter der Annahme, dass die Höhe des Mastes und die des Antennenelements kurz im Verhältnis zur Wellenlänge sind ($L \ll \lambda/4$) und das zu empfangende Signal vertikal polarisiert ist. Diese Voraussetzungen können für Aktivantennen im Bereich von VLF bis zum unteren KW-Bereich als gegeben angenommen werden.

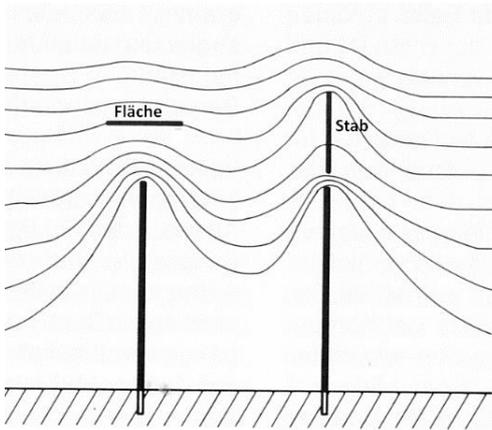
Eine MiniWhip zählt zu den elektrisch kurzen Monopol-Antennen. Zur Antennenlänge zählt die Höhe des Antennenelements (Whip, Stab, Fläche) und die Höhe des Mastes über Erde oder Gegengewicht.

Pieter-Tjerk deBoer, PA3FWM hat sich mit der Funktion der MiniWhip mit wissenschaftlicher Methodik beschäftigt. Er beschreibt in seinem Aufsatz „Fundamentals of the Mini-Whip Antenna“ [6], [7] die Funktionsweise an Hand einer quasistatischen Feld-Simulation. Daraus verkürzt zitiert:

„Eine elektromagnetische Welle erzeugt um die Antenne (gedachte) Feldlinien. Das Potential nimmt mit der Höhe zu, die Feldlinien bilden in der Höhe gestaffelte Flächen von gleicher Spannung gegen Masse (Äquipotentialflächen). Ein leitfähiger Mast bzw. der Schirm eines Koaxialkabels verzerren die Äquipotentialflächen. In der Nähe des Empfangselements ist das Potential kaum anders als in gleicher Höhe weit weg vom Mast. Die Annahme, dass das Potential in einigen Metern Höhe gegen Erde gemessen wird, stimmt also ziemlich gut.“



Das passive Antennenelement (Whip) der Aktivantenne nimmt das Potential der es durchdringenden Äquipotentialflächen an und wirkt als Spannungssonde. Der Impedanzwandler-Verstärker nimmt hochohmig die Spannungsdifferenz zwischen Whip und dem Verstärker-Masseanschluss ab. Der Masseanschluss an der Verstärker-Koaxialbuchse bezieht sein Potential vom Außenschirm des Koaxialkabels beziehungsweise vom leitenden Montagemaßstab. „Verstärker-Masse“ ist dadurch das Potential des Koaxialkabelmantels bzw. bei einem leitfähigen Mast - das Potential des Mastes, auf dem die Aktivantenne montiert ist. Es entspricht bei kurzen Masten ($h_s + h_M / \lambda \leq 0,15$) etwa dem Erdpotential, unterscheidet sich vom tatsächlichen Erdpotential aber mit zunehmender Höhe.



Grafik D. Burchard [10]

Die Grafik links zeigt nochmals die Feldverzerrungen, wie sie durch einen geerdeten Mast, einem Erdungsdraht oder durch den mit Erde verbundenen Schirm des Koaxialkabels verursacht werden.

Ein horizontaler Leiter oder auch eine kleine Fläche als Antennenelement stören den Feldverlauf nur unwesentlich, sie nehmen das Potential der Umgebung an. Auch ein kurzer vertikaler Stab verzerrt das Feld nur geringfügig. Er nimmt das mittlere Potential seiner Umgebung an.

Ein geerdeter Mast oder der geerdete Schirm eines Koaxialkabels verzerrt das Feld erheblich. An der Mastspitze herrscht quasi das Erdpotential

Aus diesem Grund geht die Länge eines Stabes gemittelt nur zur Hälfte, die Höhe eines geerdeten Mastes aber mit voller Länge in die Ermittlung der wirksamen Nutzhöhe h_N der -Aktivantenne ein.

Aus den vorstehend abgebildeten Felddarstellungen lässt sich auch ableiten, dass eine E-Feld Monopol Aktivantenne vertikal polarisierte Wellen empfängt. Die Form des Antennenelements ob Stab oder Fläche und seine Orientierung, senkrecht oder waagrecht, spielt keine Rolle. Die horizontale Richtcharakteristik ist omnidirektional – rundstrahlend.

In einer Impedanzwandler Aktivantenne wird die Leerlaufspannung des Antennenelements mit einem Feldeffektt transistor hochohmig abgenommen. Die Spannungsdifferenz zum Ground-Potenzial am Anschluss der Aktivantenne wird in der Leistung verstärkt, so dass das Signal ein Koaxialkabel zum Empfänger treiben kann. Die Signalspannung am Empfängereingang entspricht – ggf. gemindert um die Spannungsverluste im Verstärker - der Potentialdifferenz zwischen Antennenelement und Mastspitze, bzw. dem Masseanschluss der Aktivelektronik.

1.14 Quellen, Referenzen und weiterführende Literatur

- [1] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, ["Whip und Loop – Aktivantennen für den Empfang"](#)
- [2] Meinke-Gundlach, "Taschenbuch der Hochfrequenztechnik", Kapitel N "Aktive Empfangsantennen".
- [3] Best, Siegfried „Aktive Antennen für DX Empfang“, ISBN 3-7723-1821-5
- [4] Roelof Bakker, PA0RDT – "Mini-Whip"
- [5] ITU Recommendation [ITU-R P.372-16 \(2022\)](#) „Radio Noise“
- [6] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, [„Fundamentals of the Mini-Whip Antenna“](#)
- [7] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, "Von den Maxwell-Gleichungen zur MiniWhip-Antenne - über die Funktionsweise kleiner elektrischer Aktivantennen"; Tagungsband UKW-Tagung 2014
- [8] Jan M. M. Simons, PA0SIM [„The Minwhip in EZNEC“](#)
- [9] Duffy, Owen, VK1OD, ["How does the PA0RDT Mini-Whip work"](#)
- [10] Detlef Burchard - "Aktive Empfangsantenne - Überlegungen, Berechnungen und Versuche" UKW-Berichte 4 /1994
- [11] H. K. Lindenmeier „Interaction of Antennas with Masts“ AGARD Lecture series No.131 1983
- [12] H. K. Lindenmeier "Die Transistorierte Empfangsantenne mit kapazitiv hochohmigen Verstärker als optimale Lösung für den Empfang niedriger Frequenzen", NTZ. 27, 1974, Pages 411-418
- [13] Jörg Logemann, DL2NI „Das ENAMS-System zur flächendeckenden Langzeit Rauschmessung nach ITU-R P.372-13“