



- Aktiv-Antennen-Basics - kurze Monopolantenne
- Einfluss der Masthöhe – effektive Höhe heff
- Rauschen und Störungen
- FET-Impedanzwandler - Verstärker
- Installation und Betrieb
- praktische Schaltungen

**Guenter Fred Mandel, DL4ZAO**

Mini-Whip Kompendium © 2025, [www.dl4zao.de](http://www.dl4zao.de)

Alle Rechte vorbehalten

# Zur Geschichte der „Mini-Whip“

Die Idee, Antennen mit aktiven Bauelementen zu kombinieren, wurde zur technischen Realität, als in den 1970er Jahren Feldeffekttransistoren weithin verfügbar wurden. Seitdem ist der Empfang von sehr langen Wellen bis hin zu Kurzwellen mit kleinen kapazitiven Breitbandantennen anstelle von langen und teuren passiven Drahtantennen leicht möglich geworden.

Diverse Forschungsarbeiten wurden seitdem von Lindenmeier [9,10], Landstorfer und anderen veröffentlicht. Whip-Aktivantennen von Herstellern wie R & S, RFT, Schwarzbeck, RF-Systems, Dressler usw. wurden in großem Umfang für Funküberwachungs-, Militär-, Seefahrts- und EMV-Laboranwendungen eingesetzt. Bald entdeckten Funkamateure und Kurzwellenhörer die Vorteile dieser einfachen aktiven Antennenkonzepte. Schaltungen und Bauanleitungen für aktive Stabantennen sind seither in Büchern und Zeitschriften veröffentlicht worden.

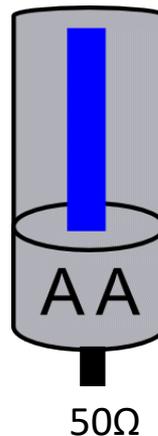
Vor einigen Jahren hatte Roeloff Bakker, PA0RDT, die clevere Idee, anstelle eines Stabes ein Stück kupferbeschichtete Leiterplatte als Antennenelement zu verwenden und einen einfachen Verstärker auf demselben Stück der Leiterplatte unterzubringen. Er veröffentlichte diese aktive Antenne in einem Artikel [3] und nannte sein Design „Mini-Whip“. Seitdem wurde die Mini-Whip zu Tausenden kopiert und nachgebaut. Der Name „Mini-Whip“ ist heute ein gängiges Synonym für aktive Whip Antennen.

Obwohl das Funktionsprinzip in wissenschaftlichen Kreisen umfassend verstanden ist, findet man in der Amateurfunk-Community noch viele Missverständnisse darüber, wie diese Antenne funktioniert. Dank der Arbeiten von Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM [5] [6] [7], sowie Blogs von Owen Duffy und anderen, wurde das Verständnis der grundlegenden Theorie der Mini-Whip näher beleuchtet.

Dieses Kompendium soll Grundkenntnisse über die Funktion vermitteln, Beispiele für praktische Schaltungen zeigen und Ratschläge geben, wie man das Beste aus Aktiv-Whips herausholen kann.

# „Whip“ Aktiv-Antenne

Bei einer Aktivantenne ist ein Verstärker direkt am Anschlusspunkt des Antennenelements (Strahler) integriert.



Aktiv-Antennen mit einem im Verhältnis zur Empfangswellenlänge kurzen Monopol – einem Stab (englisch ‚Whip‘) als Strahler und einem Impedanzwandler als Verstärker sind in ihrem Nahfeld-Verhalten hochohmig und reagieren überwiegend sensitiv auf die elektrische Feldkomponente von Radiowellen. Es sind Breitbandantennen mit glattem Frequenzgang von VLF - KW.

***Die Mini-Whip ist ein Aktiv-Monopol mit einem sehr kurzen Antennenelement***

# Mini-Whip – clevere Umsetzung eines bekannten Prinzips



Aktive Stabantenne  
HE011, Rohde & Schwarz  
ca. 1975



Die Ur-Mini-Whip  
Roeloff Bakker  
PA0RDT



Mini-Whip  
China ebay



Mini-Whip Pro  
dl4zao

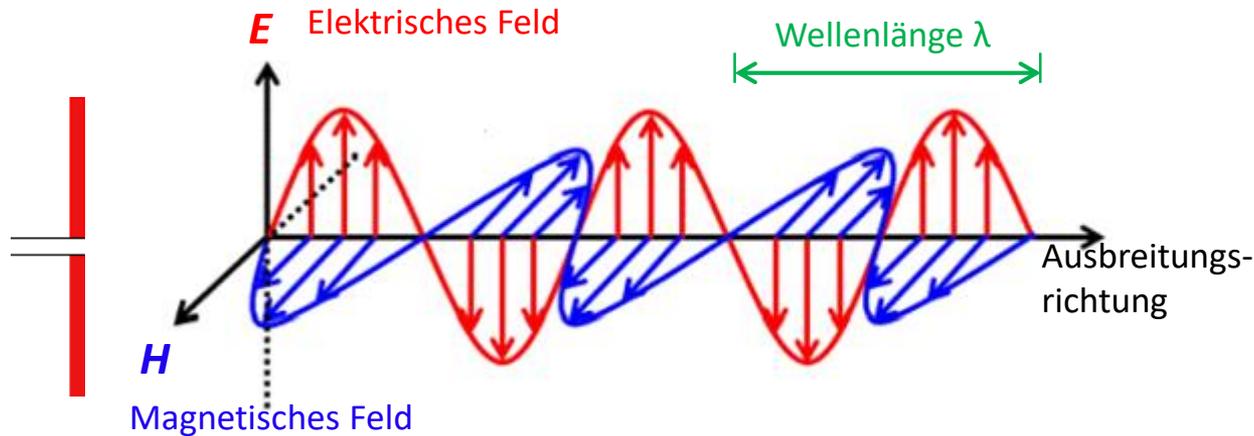
Blue-Whip  
dl4zao



Boni-Whip  
Bonito / NTI

**„Mini-Whip“ ist heute zum Synonym für Monopol Aktivantennen geworden**

# Elektromagnetische Wellen (Radiowellen)

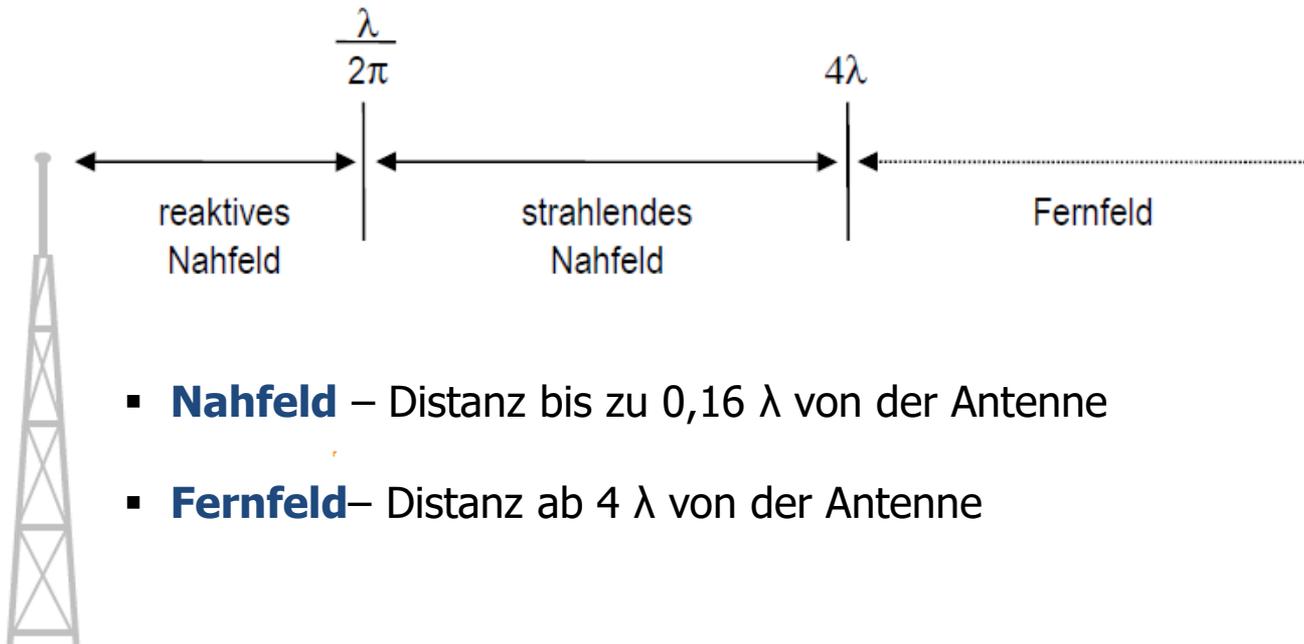


- **E-Feld** elektrische Feldstärke in V/m
- **H-Feld** magnetische Feldstärke in A/m

**Wellenwiderstand**  $Z_0 = \frac{E}{H}$       Dimension: (V/m) / (A/m) =  $\Omega$

Die Größe der elektrischen und der magnetischen Feldstärke sind über einen Proportionalitätsfaktor, den „Feldwellenwiderstand“ fix miteinander verknüpft. Der Feldwellenwiderstand im Vakuum oder in der Luft ist eine physikalische Konstante und beträgt  $\approx 377 \Omega$ .

# Feldzonen um eine Antenne



- **Nahfeld** – Distanz bis zu  $0,16 \lambda$  von der Antenne
- **Fernfeld** – Distanz ab  $4 \lambda$  von der Antenne

Im Nahfeldbereich sind elektrisches und magnetisches Feld um 90 Grad verschoben und verhalten sich daher reaktiv. Die Felder bleiben elektrisch mit der Antenne verbunden und pendeln als Blindenergie. Es wird (fast) keine Energie als Welle abgestrahlt.

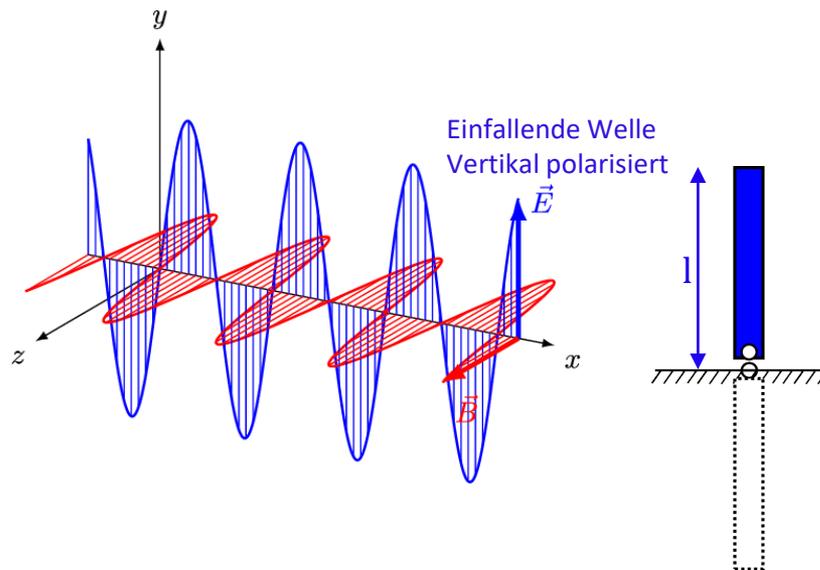
Der Übergang des elektromagnetischen Feldes von reaktiv zu strahlend, wird als strahlender Nahfeldbereich bezeichnet. Die Grenzen sind unscharf definiert.

Im Fernfeld hat sich die elektromagnetische Welle von der Antenne gelöst und breitet sich aus. Elektrisches und magnetisches Feld sind in Phase; es wird Energie abgestrahlt.

# Kurze Monopole und Dipole als E-Feld Sonde

Elektromagnetische Wellen sind immer aus beiden Feld-Komponenten E und H zusammengesetzt. Sie stehen senkrecht zueinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Im Fernfeld einer Antenne sind die elektrische und die magnetische Feldkomponente in Phase.

Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle ist definiert als die Ausrichtung der elektrischen Feldkomponente.



Kurze Monopole deren Länge  $l$  kleiner als  $0,15 \lambda$  ist reagieren überwiegend empfindlich auf das vertikal polarisierte elektrische Feld einer Funkwelle.

Ein sehr kurzer Monopol kann daher als E-Feld-Sonde betrachtet werden.

Die Nahfeld-Impedanz eines kurzen Monopols ist hochohmig.

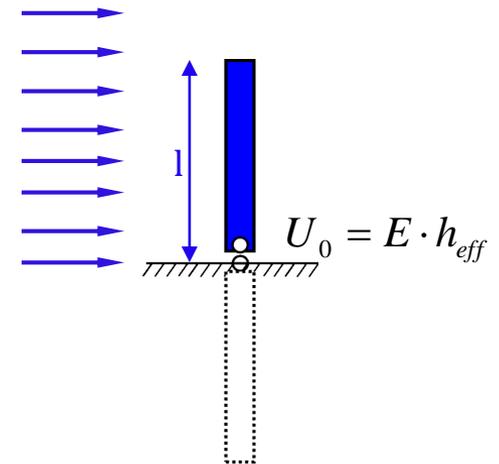
# Monopol (Whip) über leitender Erde – effektive Höhe $h_{\text{eff}}$

Die effektive Höhe  $h_{\text{eff}}$  ist ein Umrechnungsfaktor, er beschreibt die Leerlauf-Spannung, die an den Klemmen der Antenne induziert wird, wenn eine Welle eintrifft. Die effektive Höhe ist nicht identisch mit der physikalischen Höhe oder Länge.

Bei einer einfallenden vertikal polarisierten Welle der elektrischen Feldstärke  $E$  entsteht an einem Monopol auf ideal leitendem Boden eine Leerlaufspannung  $U_0$  gegen Erde:

$$U_0 = E \cdot h_{\text{eff}}$$

Vertikal polarisierte  
einfallende Welle  
E-Feld in Volt/m



$h_{\text{eff}}$  eines kurzen Monopol von  $l < 0.15 \lambda$  auf einer leitenden Fläche (aus der Literatur) ist:

$$h_{\text{eff}} = \frac{1}{2} \cdot l$$

- Beispiel: Eine Welle mit einer Feldstärke  $E$  von  $1 \mu\text{V}/\text{m}$  induziert in einem Stab oder einer Peitsche von 1m Höhe eine Leerlaufspannung:  $U_0 = E \cdot \frac{1}{2} l = 0.5 \mu\text{V}$

# $h_{eff}$ beim Monopol auf einem Mast

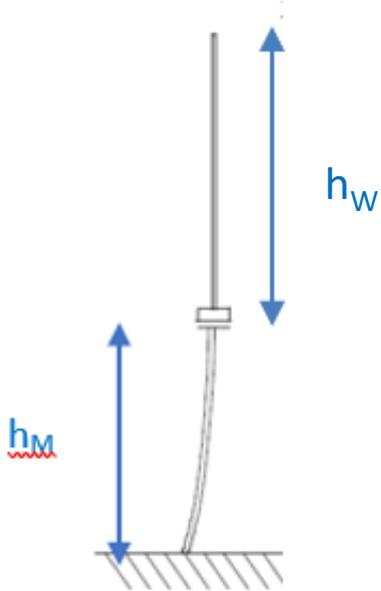
Bei einer Whip auf einem leitfähigen geerdeten Mast beträgt die effektive Höhe  $h_{eff}$  :

$$h_{eff} = 1/2 h_W + h_M$$

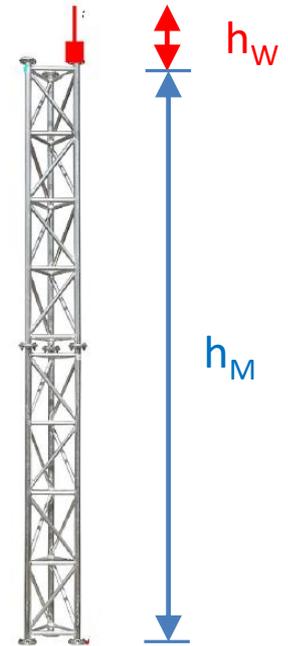
Die induzierte Leerlaufspannung  $U_0$  beträgt:

$$U_0 = E \times h_{eff}$$

$$U_0 = E \times 1/2 h_W + h_M$$



$h_W$  = physikalische Höhe der Whip  
 $h_M$  = physikalische Höhe des Masts

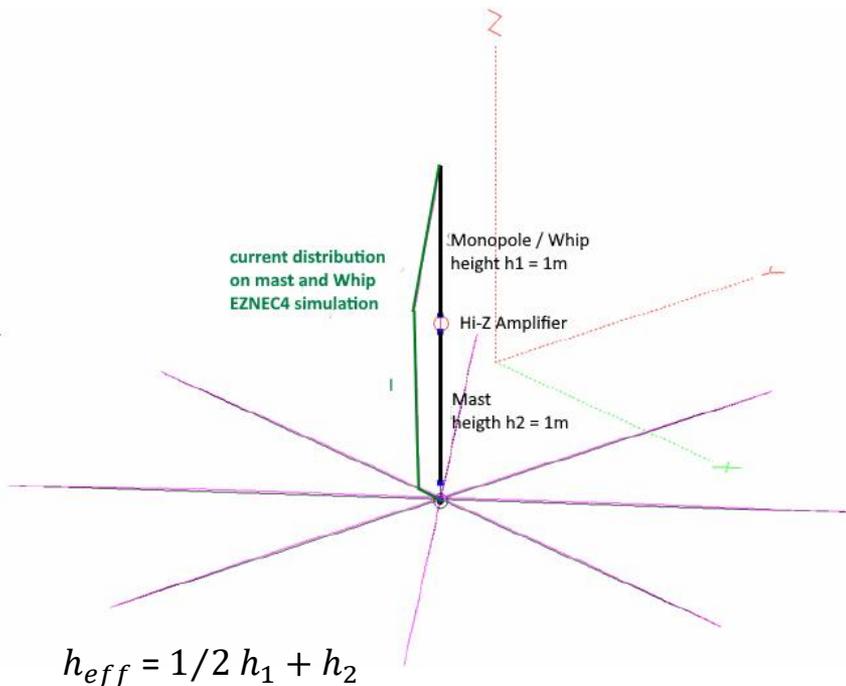


**mini-whip** auf einem Mast

- Bei einem Monopol auf einem Mast, ist der Mast in die Antennenstruktur integriert und wird Teil der Antenne. Die Spannung  $U_0$  steigt proportional mit der Höhe. Die Masthöhe  $h_M$  dominiert die effektive Höhe  $h_{eff}$  und damit die Signalspannung. Die Höhe des Mastes hat einen doppelt so großen Einfluss auf  $h_{eff}$  wie die eigentliche Länge der Whip.
- Bei nichtleitenden Mast übernimmt der geerdete Schirm des Koaxialkabels dessen Rolle.

Voraussetzung: Gesamthöhe von Mast und Whip ist kürzer als  $0.15 \lambda$

# 1m Whip/Stab auf einem 1m Mast - EZNEC Simulation



Eine andere Möglichkeit die effektive Höhe zu betrachten besteht darin, den Mittelwert der normierten Stromverteilung über die Länge der Antenne zu betrachten und diesen Wert mit der physischen Länge der Antenne zu multiplizieren.

Die Stromverteilung einer Mini-Whip (Monopol mit  $l < 0,15 \lambda$ ) wird durch ein rechtwinkliges Dreieck mit maximalem Strom unten und Null Strom an seiner Spitze approximiert. Das Dreieck hat die Hälfte der Stromfläche eines Rechtecks, also beträgt  $h_{eff} = 1/2$ .

Die mittlere Stromverteilung auf dem Mast ist näherungsweise rechteckig. Also  $h_{eff} \approx 1$

Beispiel:  
Whip Höhe 1m  
Mast Höhe 1m  
E der Welle ist  $1\mu\text{V/m}$

$$h_{\text{eff}} (\text{mast} + \text{whip}) = (1\text{m} \times 0.5) + (1\text{m} \times 1) = \mathbf{1.5\text{ m};}$$

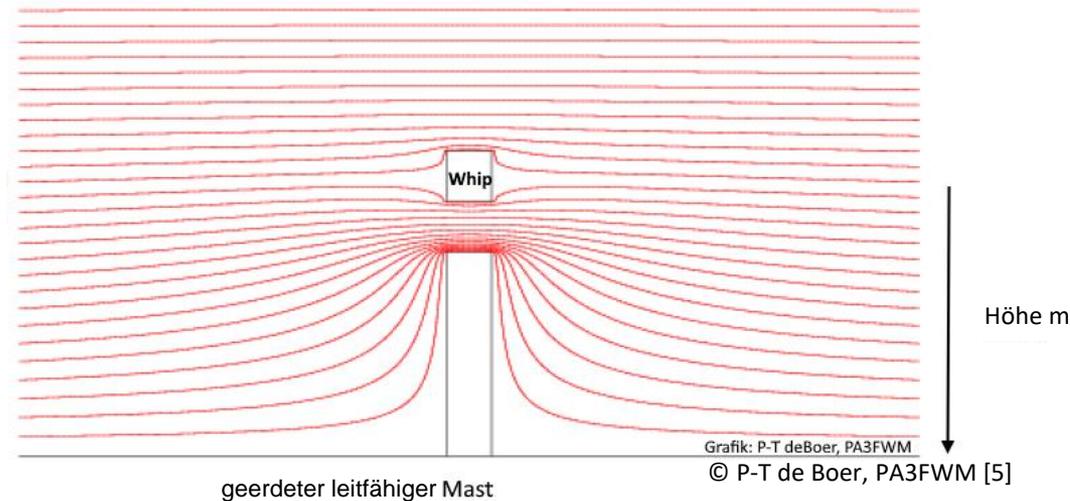
$$U_0 = E \times h_{\text{eff}} = 1\mu\text{V/m} \times 1.5 = \mathbf{1.5\ \mu\text{V}}$$

Voraussetzung: Gesamthöhe von Mast und Whip ist kürzer als  $0,15 \lambda$

# Whip auf einem Mast – Feld-Simulation (PA3FWM)

Äquipotenzialflächen. Jede Linie entspricht einem Potenzial, ausgedrückt in Volt V/m in Bezug zu Erde

Masse / Erde Potenzial



Ein kurzer geerdeter leitfähiger Mast verzerrt das elektrische Feld, das Potential an der Spitze des Mastes kann als Erdpotential\* angenommen und als Masse-Bezugspotential verwendet werden. Bei einem nicht leitenden Mast wird der Massebezug stattdessen über die Abschirmung des Koaxialkabels oder über eine separate Erdungsleitung hergestellt.

Das Whip Element nimmt das durchschnittliche Potenzial der Feldlinien an, die es umgeben

\* Voraussetzung: Gesamthöhe von Mast und Whip ist kürzer als  $0.15 \lambda$

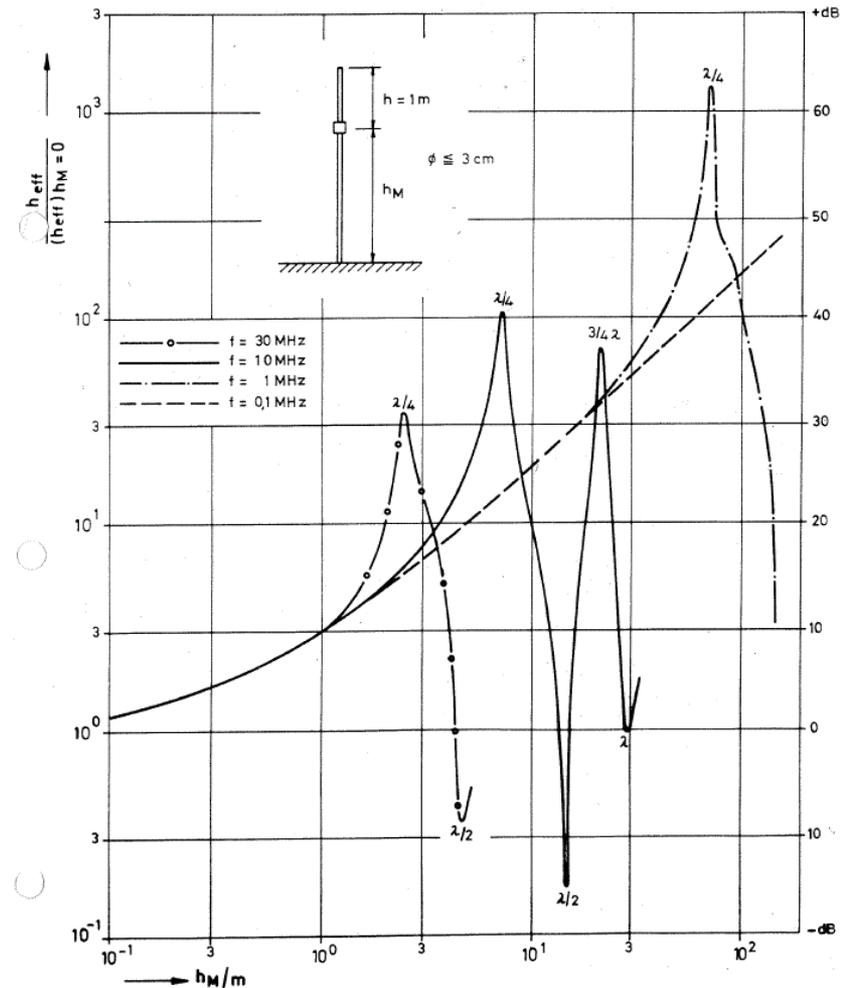
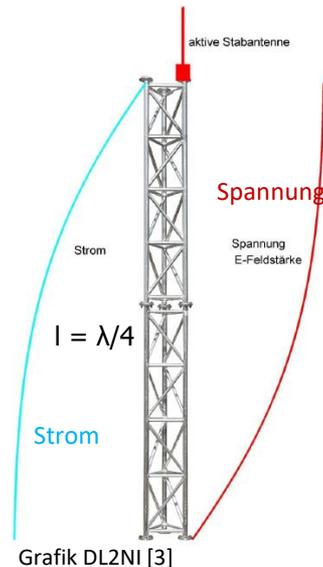
# Höhe von Mast and Whip größer als $0,15 \lambda$

Die Stromverteilung über einen Mast mit einer Höhe von einer Viertelwellenlänge oder einer Halbwellenlänge wird sinusförmig.

Bei Vielfachen der Masthöhe von  $\lambda/4$  bilden sich Mast-Resonanzen aus, es entstehen Überhöhungen und Einbrüche der  $h_{\text{eff}}$  und damit der Signalspannung.

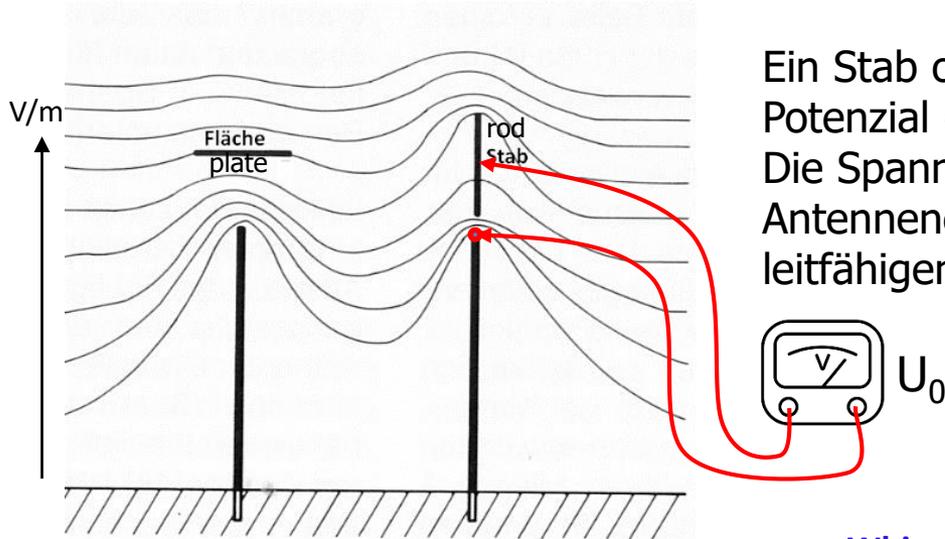
Eine Whip verliert ihren flachen Frequenzgang.

Beispiel: Ein 10 m hoher Mast hat eine erste Resonanzstelle bei 7 MHz



Source: Lindenmeier [10]

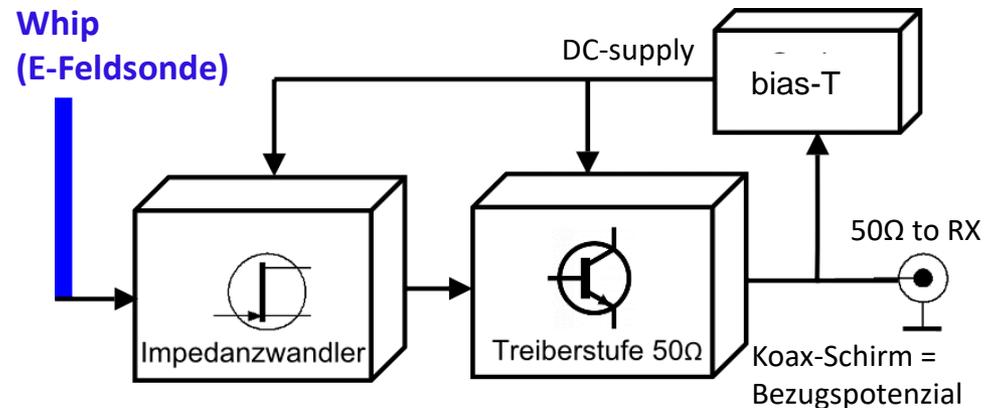
# Mini-Whip Aktiv-Antenne – Funktionsweise



Ein Stab oder eine leitende Platte nimmt das mittlere Potenzial durchdringenden Feldlinien an (E-Feld-Sonde). Die Spannung  $U_0$  ist die Potentialdifferenz zwischen dem Antennenelement und dem Potential an der Spitze des leitfähigen geerdeten Mastes.

Ein Verstärker mit hoher Eingangsimpedanz (Hi-Z) "misst" die Potentialdifferenz zwischen der "Sonde" und dem "Masse"-Anschluss der Verstärkerschaltung als Spannung  $U_0$ .

Der Verstärker ist ein FET-Spannungsfollower mit hoher Eingangsimpedanz und niedriger Eingangskapazität, um die Leerlaufspannung nicht zu belasten. Gefolgt von einem Ausgangstreiber, der die Leistung liefert, um ein 50-Ohm Koaxialkabel zu treiben.



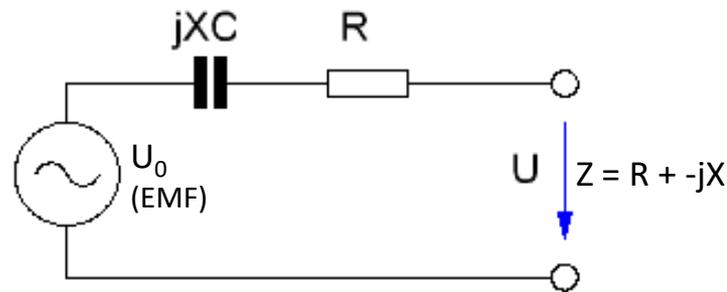
Das Bezugspotenzial Erde/Masse am Verstärker ist für den ordnungsgemäßen Betrieb als Aktiv-Antenne unerlässlich.

# Eingangsimpedanz eines kurzen Monopols ( $l \ll \lambda$ )

Die Eingangsimpedanz einer Antenne hängt von der Dicke und Länge der Whip im Verhältnis zur Empfangswellenlänge ab. Eine Antenne wird als „kurz“ bezeichnet, wenn ihre geometrische Länge weniger als 0,15 der Betriebswellenlänge ( $l < \lambda/2\pi$ ) beträgt. Ein kurzer Dipol oder Monopol reagiert dann bevorzugt auf die elektrische Feldkomponente einer Funkwelle, daher die Bezeichnung: elektrische Antenne oder E-Feld-Antenne.

Beim Empfang verhält sich ein kurzer Monopol wie eine Spannungsquelle mit einem Kondensator und einem kleinen Widerstand R in Reihe. Die Spannung  $U_0$  ist proportional zur empfangenen Feldstärke E.

Ersatzschaltbild einer kurzen Monopol-Antenne beim Empfang



$$Z_{\text{Ant}} = R + jX_C \text{ (Antennen Impedanz)}$$

$R$  = sehr klein, wird vernachlässigt

$$jX_C = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)$$

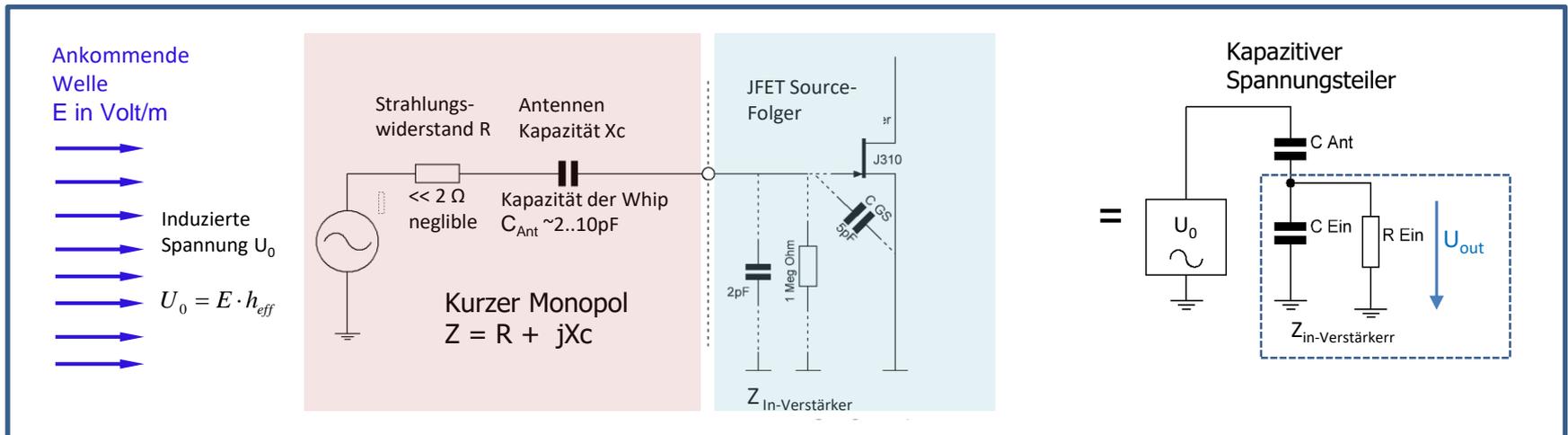
(hohes  $jX_C$  bedeutet ein hoher kapazitiver Blindwiderstand)

Der Realteil  $R$  der Impedanz  $Z$  eines kurzen Monopols setzt sich aus seinem Verlust-Widerstand seinem Strahlungswiderstand zusammen. Beide sind sehr klein und können vernachlässigt werden. Der frequenzabhängige Blindwiderstand  $jX_C$  hingegen ist insbesondere bei tiefen Frequenzen sehr groß (= kleine Kapazität).

⇒ Die Eingangsimpedanz  $Z_{\text{Ant}}$  einer kurzen Whip wird von deren hohen Serienreaktanz  $X_C$  der Antennenkapazität dominiert, die je nach Größe der Whip mit 2 bis 10 pF angenommen wird.

# kurzer Monopol + Hi-Z-Input Verstärker = Mini-Whip

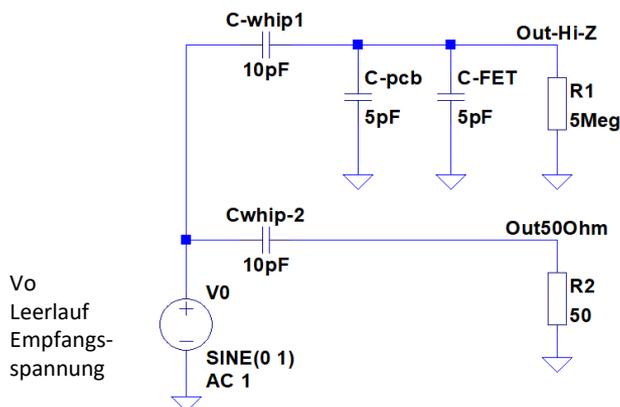
- Die Whip verhält sich wie eine Spannungsquelle in Reihe mit einem vernachlässigbar kleinen Widerstand und einem kleinen Kondensator  $C_{Ant}$  ( $X_c$  ist hochohmig)
- Die Eingangsimpedanz  $Z$  des FET-Verstärkers wird weitgehend von den parasitären Kapazitäten des JFET und der Leiterplatte gegen Masse bestimmt. Dies führt zu einer Ersatzschaltung, die man als kapazitiven Spannungsteiler kennt.



Um dem Antennenelement die maximale Spannung entnehmen, muss die Eingangsimpedanz des Verstärkers hoch und kapazitätsarm sein, um die Leerlaufspannung nicht zu belasten. Ein Hi-Z-Eingang ist besonders wichtig bei niedrigen Frequenzen, wo der frequenzabhängige Blindwiderstand  $X_c$  hoch ist. Ein JFET-Source-Folger erfüllt diese Anforderung.

Eine große Kapazität des Antennenelements führt zu einer höheren Ausgangsspannung des JFET-Verstärkers, da der Spannungs-Verlust durch die kapazitive Spannungsteilung geringer ausfällt. Die Spannung am FET-Eingang kann jedoch niemals höher als  $U_0$  werden.

# kurzer Monopol – Spannung an 50 Ω vs. an Hi-Z Last



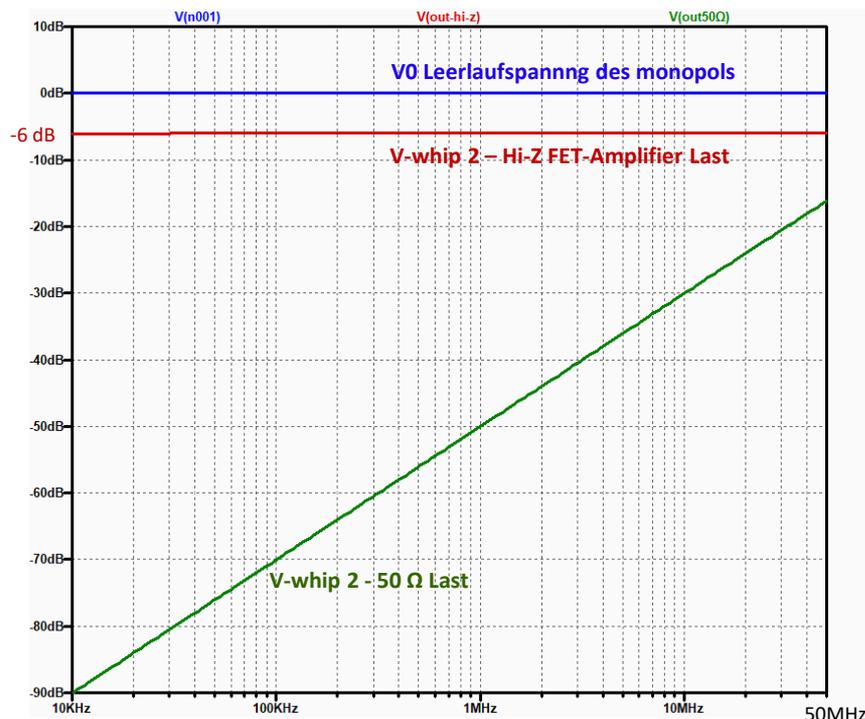
Simulation:

two short monopole whip antennas, each assumed with  $10\text{ pF}$  capacity of their antenna element .

$V_0$  is the induced open circuit voltage of the whip.

whip 1 connected to a FET Amplifier with high  $Z_{in} = (5\text{pF } C_{gs} + 5\text{ pF } \text{pcb parasitic cap.}) \parallel 5\text{ M}\Omega R_{in}$

Whip 2 directly connected to a  $50\text{ }\Omega$  load, e.g an RX

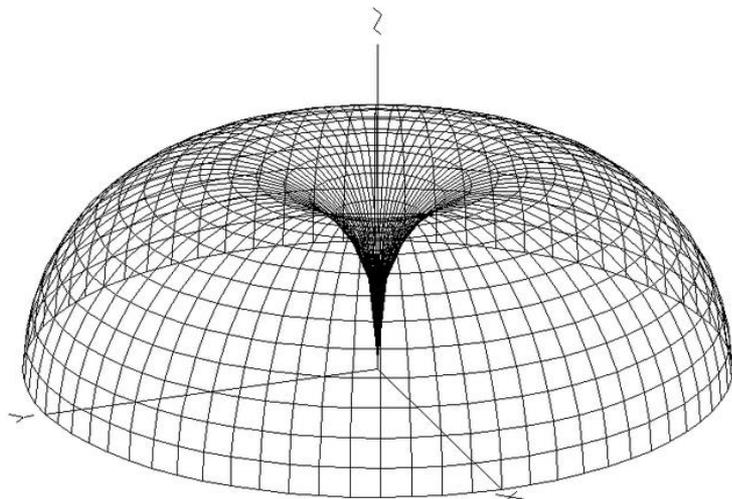


Die Spannung von Whip 1 (Hi-Z-Last) hat einen flachen Frequenzgang. Sie funktioniert wie eine Breitbandantenne. Etwa  $6\text{ dB}$  Verlust aufgrund der kapazitiven Spannungsteilung von  $X_C$  des Antennenkondensators und des FET-Verstärkers  $Z_{in}$  (Kondensatoren von  $10\text{ pF} \parallel 5\text{ M}\Omega$ )

Die Spannung von Whip 2 an  $50\text{ }\Omega$  Last ist stark frequenzabhängig. Hoher Verlust bei tiefen Frequenzen aufgrund der Spannungsteilung von  $X_C$  der Antennenkapazität mit  $50\text{ }\Omega$  Last.

# Mini-Whip Richtdiagramm und Polarisation

EZNEC Simulation über idealem Boden.  
3D Richtcharakteristik:



Das Strahlungsdiagramm ist der oberen Hälfte eines idealen vertikalen Dipols sehr ähnlich. Aktive Mini-Whip-Antennen sind perfekte Rundstrahlantennen mit maximaler Empfindlichkeit für einfallende Signale mit niedrigem Elevationswinkel.

Senkrecht nach oben besteht eine ausgeprägte Nullstelle. Eine Mini-Whip ist daher nicht sonderlich gut für den Empfang von NVIS-Signalen geeignet.

Aktiv-Whips empfangen hauptsächlich vertikal polarisierte Wellen [5]. Sie empfangen am effektivsten bei Frequenzen unter 10 MHz, können aber auch noch bis zu VHF-Frequenzen eingesetzt werden.

## Mini-Whip – praktische Aspekte

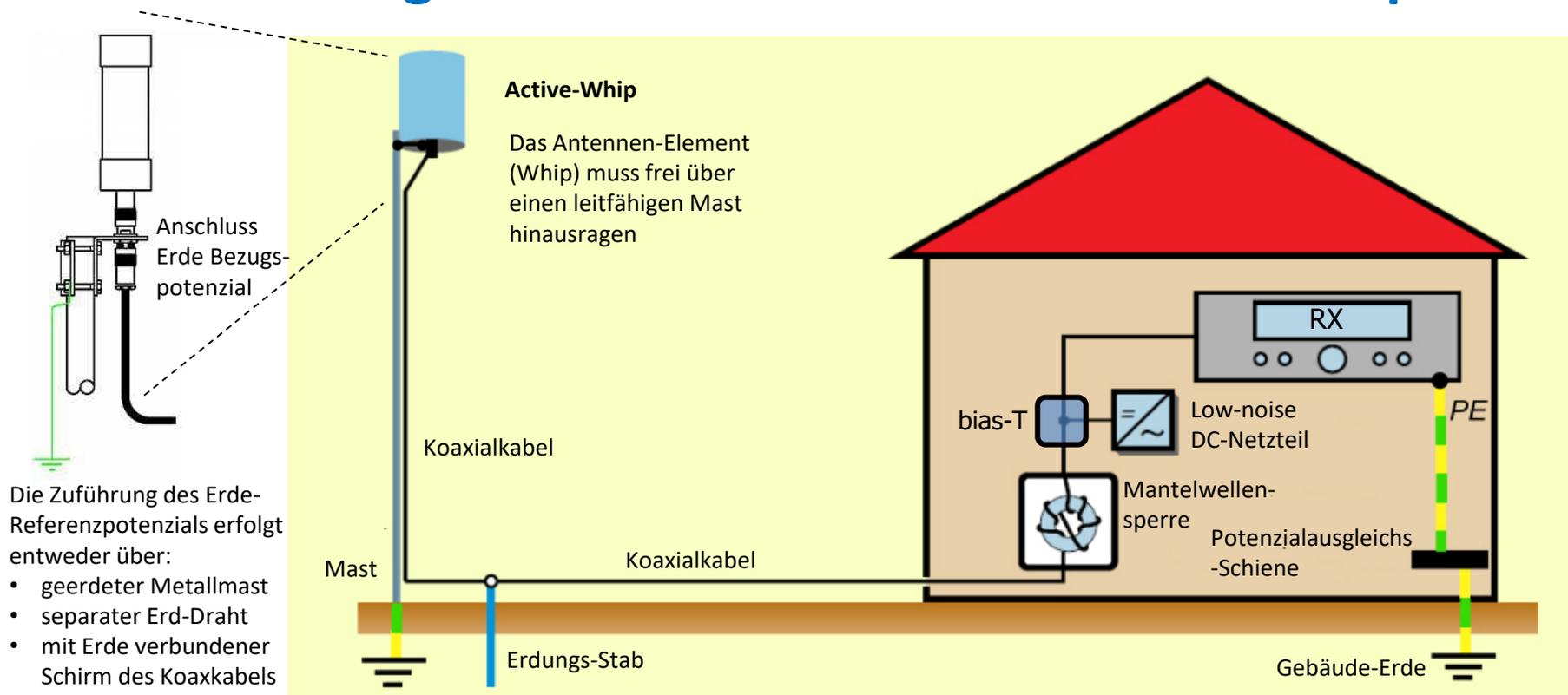


***Oft wird bemängelt, eine Mini-Whip sei störbehaftet. Bei sachgemäßer Aufstellung und Erdung ist sie jedoch eine sehr leistungsfähige Empfangsantenne***

***Die Mini-Whip ist keine Wunderantenne, aber eine aktive Breitbandantenne mit beeindruckenden Fähigkeiten.***

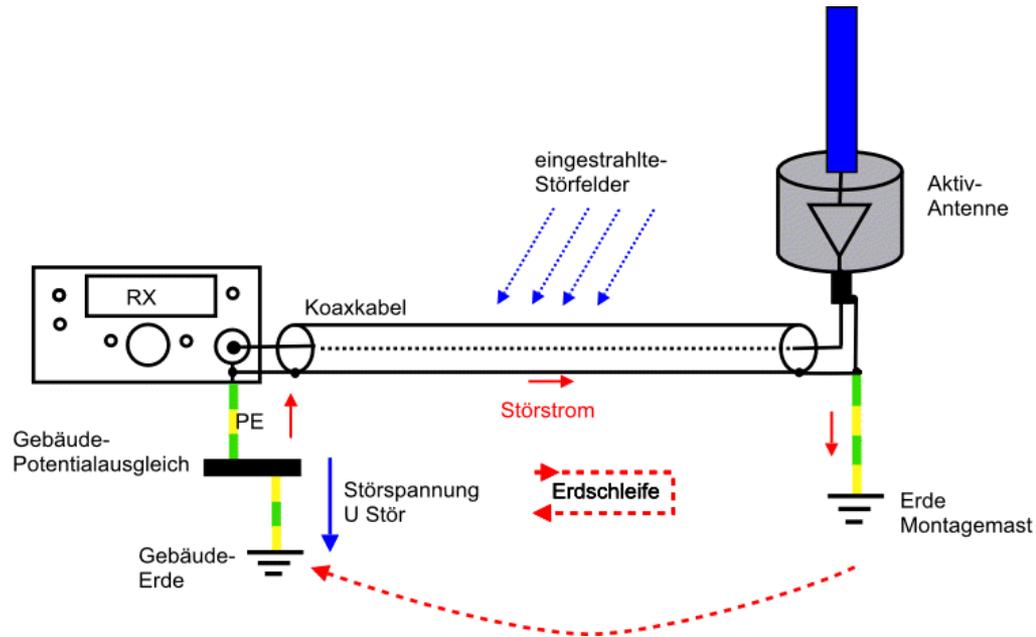
***Ein Referenz-Beispiel für die Leistungsfähigkeit einer MiniWhip zeigt der [Twente Wide Band Web SDR.](#)***

# Vorschlag für die Installation einer Aktiv-Whip



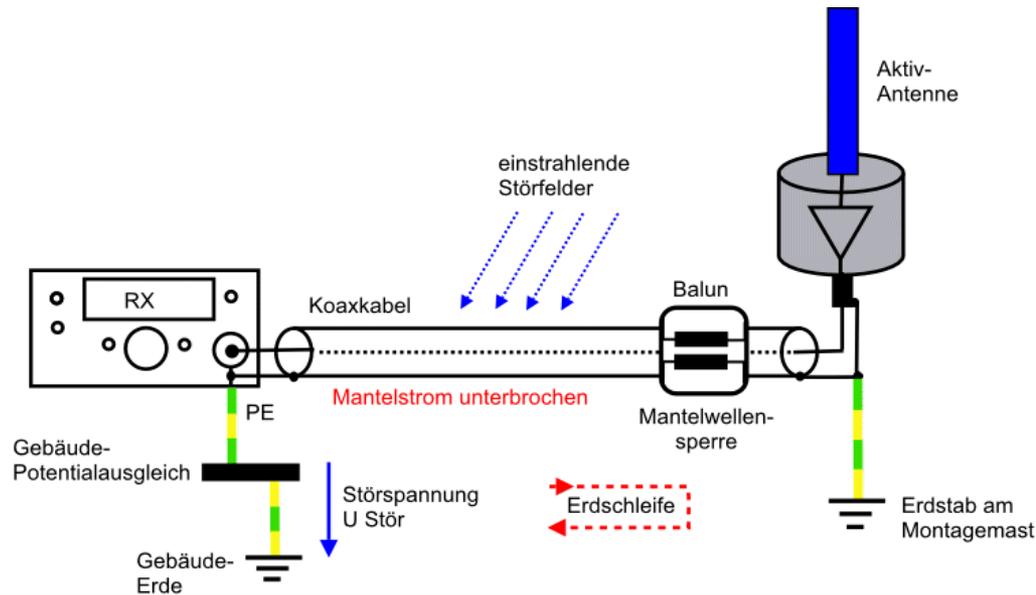
Stellen Sie eine Aktiv-Whip entfernt von häuslichen Störquellen auf. Eine Masthöhe von 2 - 5 m ist für die meisten Empfangsfälle ausreichend. Bei einem nichtleitenden Mast wird ein Erdungsdraht zwischen der Aktiv-Whip und einem Erdungsstab am Mastfuß erforderlich. Andernfalls muss die Abschirmung des Koaxialkabels mit einem Erdungsstab am Mastfuß verbunden werden. Wird das Erdpotential der Mini-Whip nur über den Schirm des Koaxialkabels über einen langen Weg mit einer „schmutzigen“ Erde im Shack verbunden, besteht das Risiko, dass Störungen eingekoppelt werden.

# Gleichtaktströme/Mantelwellen als Störquellen



Eine Spannungsdifferenz zwischen der Antennenerde und einer störbehafteten Gebäude Erdung kann über die Abschirmung des Koaxialkabels einen Gleichtaktstrom verursachen, der sich auf das Empfangssignal überträgt. Auch eingestrahelte Störungen können störende Gleichtaktströme induzieren. Die Intensität der eingeschleppten Störungen kann mit dem Erdungswiderstand der Antenne und der Bodenfeuchte variieren.

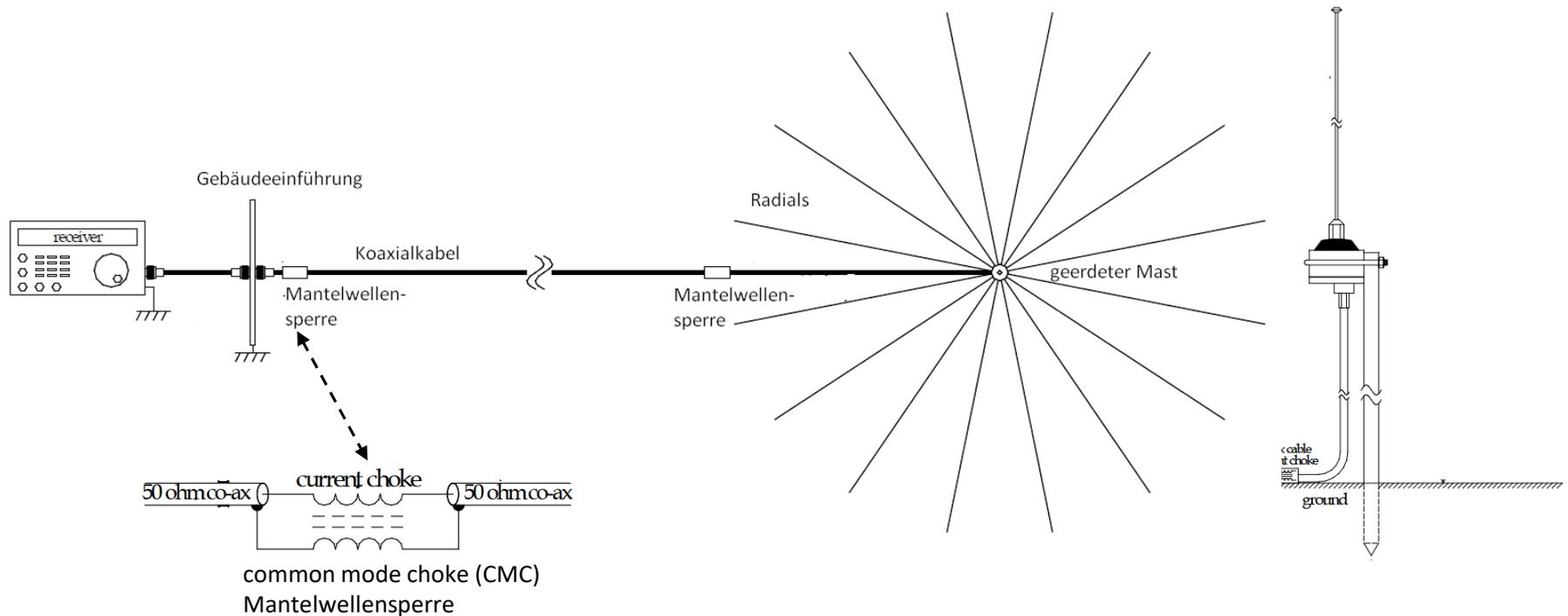
# Abhilfe: Mantelwellensperre (Common-Mode-Choke)



Eine oder mehrere in das Koaxialkabel eingefügte Gleichtaktrosseln (CMC) als Mantelwellensperre schaffen Abhilfe. Der induktive Widerstand  $X_L$  einer CMC verhindert störende Gleichtaktströme auf dem Kabelschirm. Der Signalstrom im Inneren des Koaxialkabels wird dadurch nicht beeinflusst. Die CMC sperrt am besten, wenn ihr induktiver Blindwiderstand  $X_L$  groß im Vergleich zum Erdungswiderstand ist.

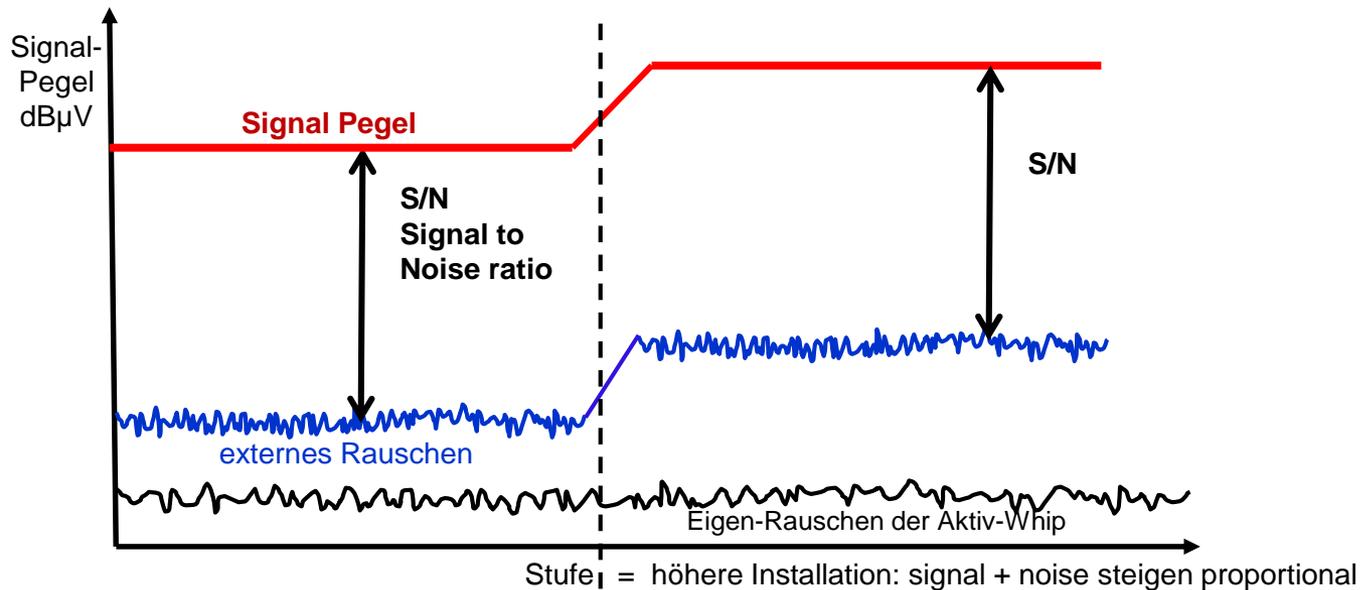
Es ist zu beachten, dass eine CMC, sofern sie zwischen Erde und der Aktiv-Whip eingefügt ist, auch die Zuführung der Erde-Referenzpotenzials über den Kabelschirm verhindert. In diesem Fall muss der Erdbezug anderweitig sichergestellt werden, z. B. über einen leitfähigen Mast oder einen Erdungsdraht.

# Professionelles Set-Up mit zusätzlichen Radials



Eine wirksame Erdung mit Radials und die Verwendung von Gleichtaktdrosseln (Strom-Balun, Common-Mode-Choke) im Koaxialkabel helfen, das Eindringen von abgestrahlten und leitungsgebundenen Störungen zu unterdrücken. Der induktiv Widerstand  $X_L$  einer CMC verhindert unerwünschten HF-Stromfluss über den Schirm des Koaxialkabels.[21].

# Signal to Noise Ratio SNR

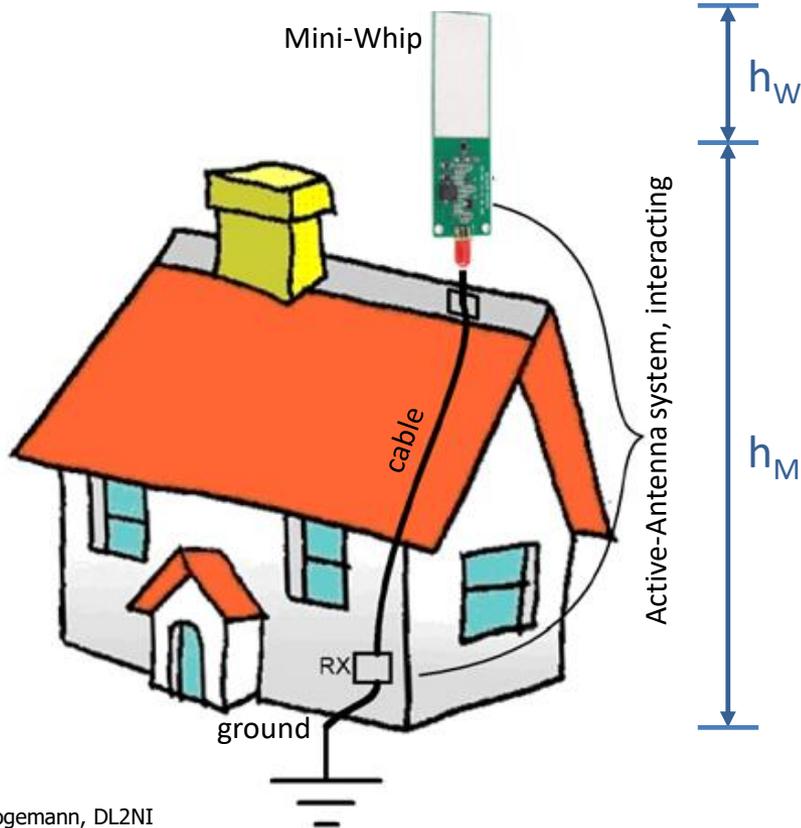


Beim Empfang ist ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis (S/N oder SNR) wichtig, nicht der größte S-Meter-Ausschlag. Mit der Installationshöhe erhöht sich der Pegel der empfangenen Signale proportional, was jedoch nicht unbedingt zu einer Verbesserung des SNR führt, da auch das extern empfangene Rauschen um den gleichen Faktor zunimmt.

Bei hohen Signalpegeln besteht die Gefahr der Übersteuerung des Verstärkers und von Intermodulationsverzerrungen, die als Zischen oder Geistersignale auftreten.

Daumenregel: Die Montagehöhe der Antenne sollte gerade so groß gewählt werden, dass das externe Empfangsrauschen größer ist als das Eigenrauschen der aktiven Antenne.

# Mini-Whip auf dem Dach – Top or Flop?



J. Logemann, DL2NI

Ein Haus wirkt wie ein Mast. Die Höhe zwischen der Aktiv-Whip und Erde bestimmt die effektive Höhe  $h_{\text{eff}}$ .

Antenne und Kabel liegen unmittelbar im Nahfeld von häuslichen Störquellen wie z. B. Schaltnetzteilen, LED-Leuchten, Computern etc.

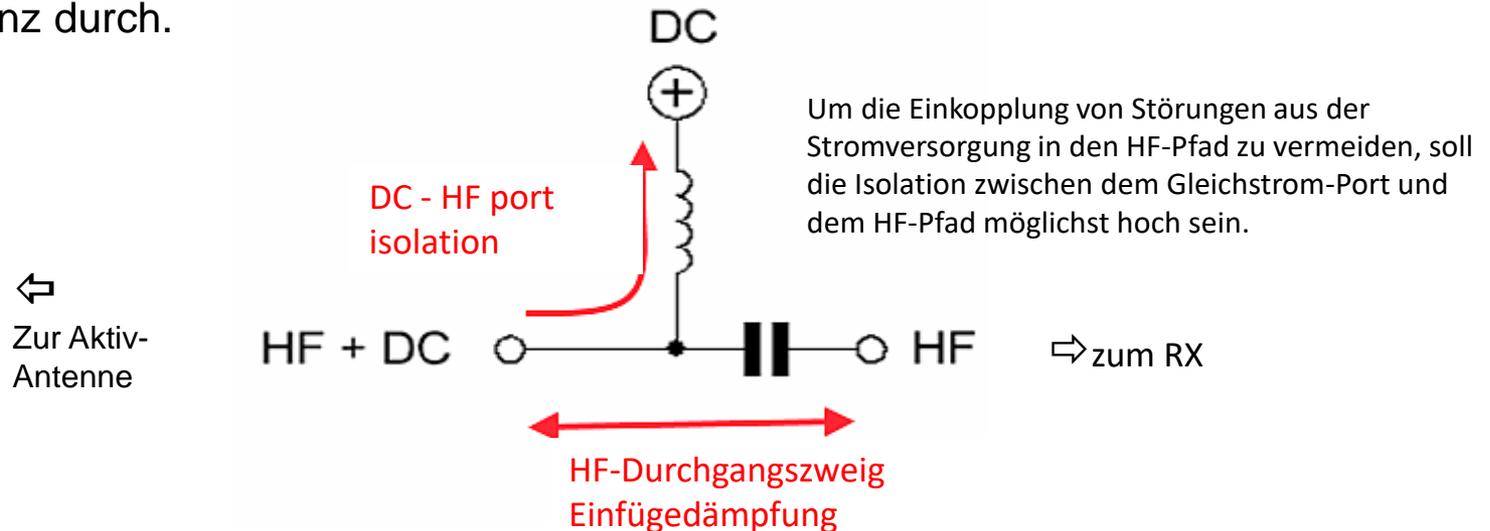
Hohe Anbringung erzeugt hohe Signalpegel. Dadurch besteht die Gefahr von Übersteuerung und von Intermodulationsprodukten.

Wenn die Distanz zwischen Montagehöhe und Erde  $0,15 \lambda$  übersteigt, entstehen durch die Resonanzen frequenzabhängige Überhöhungen und Einbrüche im Signalverlauf.

Jedoch: eine ausgedehnte leitende Fläche wie z.B. ein Blech-Flachdach kann als Gegengewicht Erde ersetzen.

# Oft unterschätzt: die Qualität von Bias-T und der DC-Stromversorgung

Eine Fernspeiseweiche – englisch Bias-T – ist eine T-förmige Frequenzweiche, über die eine DC-Versorgungsspannung rückwirkungsfrei auf eine Hochfrequenzleitung gekoppelt werden kann. Ein Kondensator blockt die DC-Spannung zum Empfänger hin ab, lässt aber Hochfrequenz durch.



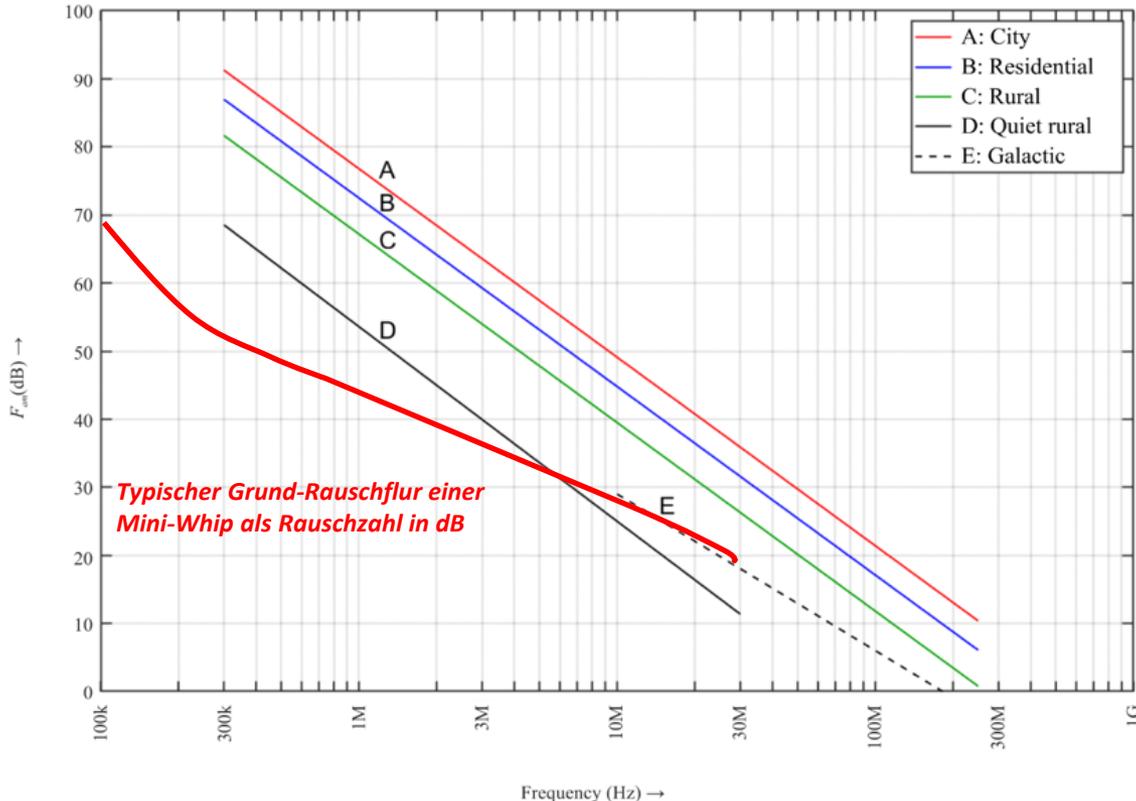
Grundanforderungen über den spezifizierten Nutzfrequenzbereich:

- Isolation zwischen DC-Port and HF-Port > 50 dB
- Minimale Einfügedämpfung, flacher Frequenzgang ohne Welligkeit
- Gute Anpassung auf das Koaxialkabel - niedriges VSWR

Die DC-Stromversorgung soll möglichst sauber und frei von Störungen sein. Ein linear geregeltes Netzteil ist vorzuziehen. Schaltimpulse von unzureichend gefilterten Schalt- netzteilen und deren Oberwellen koppeln in den HF-Pfad ein und verursachen Störungen

# Externes Rauschen – ITU-R P.372-17

Mittelwerte der man-made noise Störungsleistung eines kurzen vertikalen Monopol über idealleitender Erde



FET-Source-Folger haben von Natur aus eine hohe Rauschzahl. Vor allem bei niedrigen Frequenzen bestimmt das thermische Rauschen der Gate-Widerstände in Verbindung mit der Eingangskapazität des FETs den Eigen-Rauschpegel.

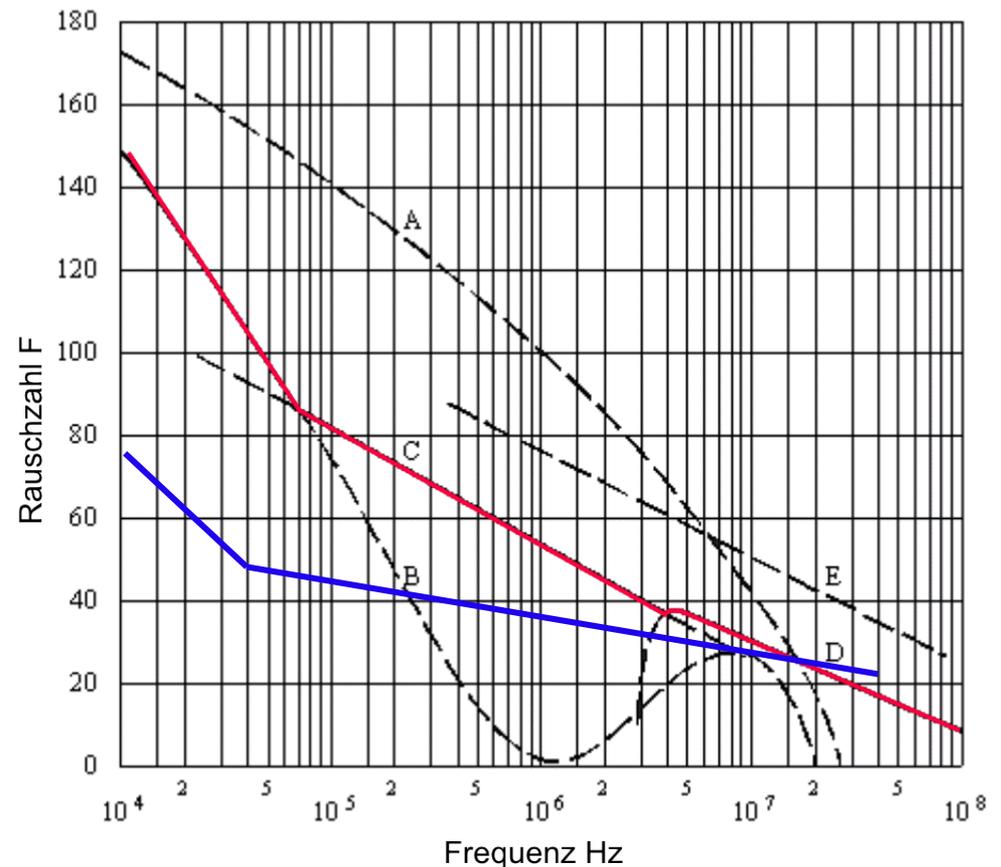
Bis zu Frequenzen von etwa 20 MHz überwiegt jedoch das externe Rauschen (Diagramm) in den meisten Fällen das interne Grundrauschen einer Aktiv-Whip-Antenne.

Das Signal-Rauschverhältnis (SNR) einer Mini-Whip mit omnidirektionaler Richtcharakteristik wird maßgeblich vom extern empfangenen Rauschen bestimmt.

# Externes-Rauschen im Bereich 10kHz – 100MHz

- Das atmosphärische Rauschen stammt hauptsächlich von Blitzentladungen irgendwo auf der Welt, deren Impulse sich durch Reflexion an der Ionosphäre über die ganze Erde verbreiten.
- Galaktisches Rauschen über 5 MHz hat seine Ursache in der Aktivität der Sonne und der Fixsterne des Milchstraßensystems. Von Resten des Urknalls stammt das Hintergrundrauschen - es ist frequenz- und richtungsabhängig.
- Man Made Noise entsteht durch elektrische und elektronische Geräte in Industrie und Haushalt.

Die Grafik (aus ITU-R P372-17) zeigt das externe Rauschen als Rauschzahl F in dB über dem thermischen Grund-Rauschen einer Antenne bei Raumtemperatur.



A : atmosphärisches Rauschen, überschritten in 0,5% der Zeit

B : atmosphärisches Rauschen, überschritten in 95% der Zeit

C : man made noise in ländlicher Umgebung

D : galaktisches Rauschen

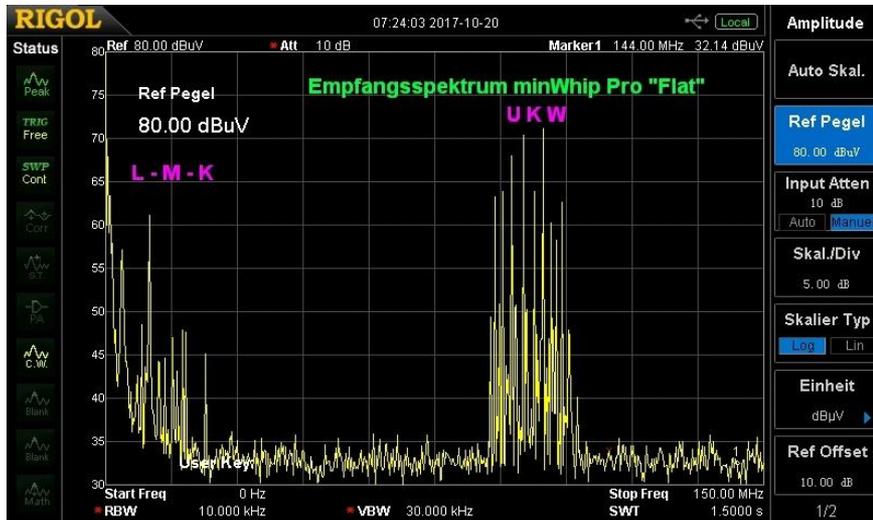
E : man made noise in städtischer Umgebung

**Rote Linie** : minimaler zu erwartender Rauschpegel

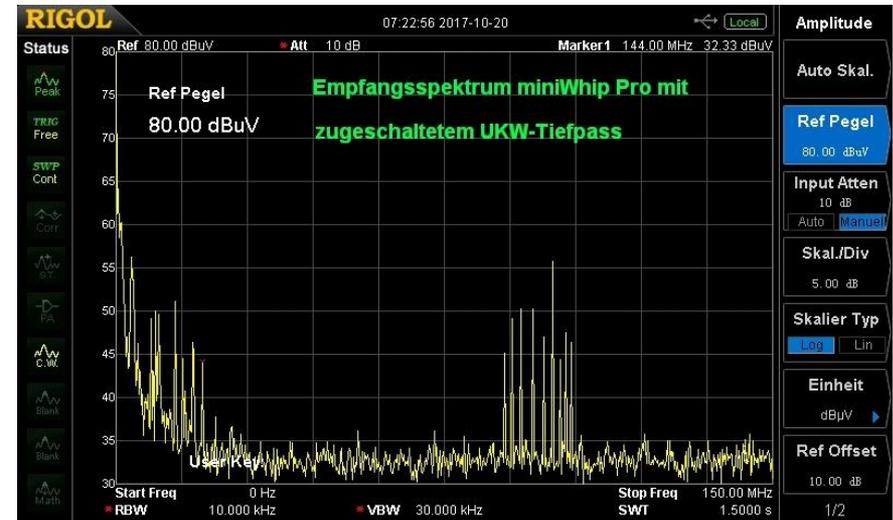
**Blaue Linie**: typische Rauschzahl einer FET Aktivantenne - Näherung

# Empfohlen: Abschwächung von UKW-Signalen

An Standorten mit starken UKW-Sendern sollte der Verstärkereingang mit einem Tiefpassfilter versehen werden, um Übersteuerungen und Intermodulationen zu vermeiden.



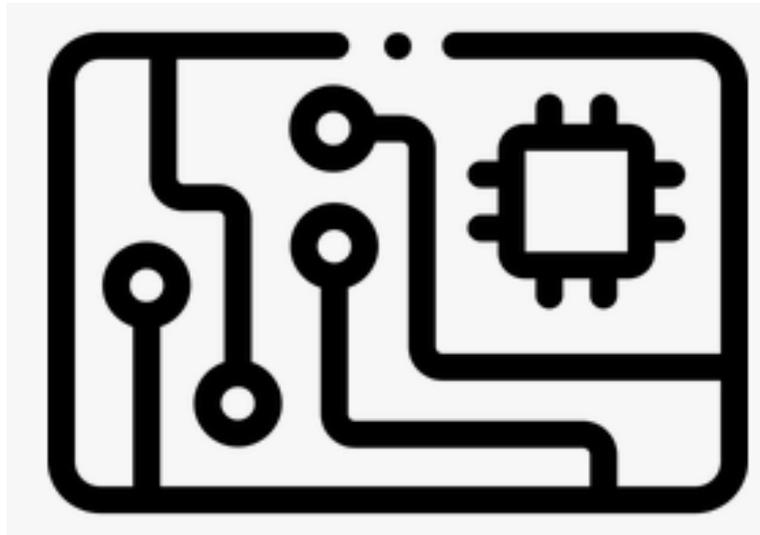
receive spectrum with flat frequency response



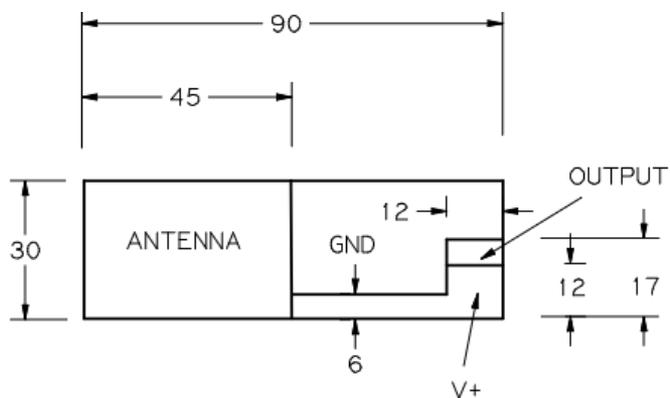
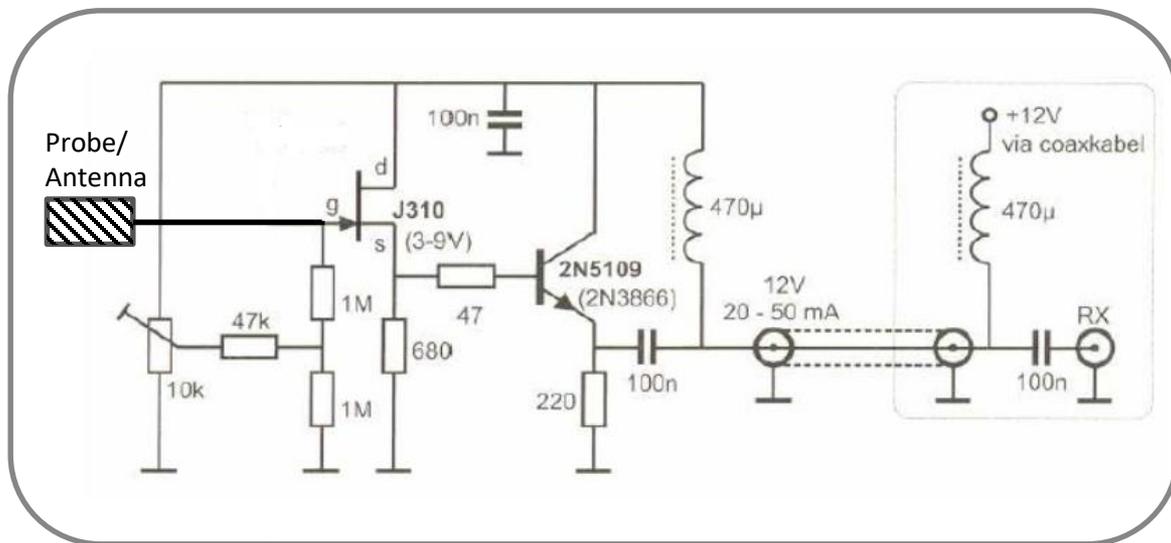
receive spectrum with FM lowpass activated

Mini-Whip-Verstärker haben eine hohe Verstärkungsbandbreite. Je größer die Bandbreite, desto mehr starke Signale muss der Verstärker gleichzeitig verarbeiten. Schon kleine Nichtlinearitäten im Verstärker können zu unerwünschten Intermodulationsprodukten führen. Intermodulationsprodukte mehrerer Signale treten in Form von Rauschen und Geistersignalen auf (Artefaktsignale bei Frequenzen, wo sie nicht sein sollten). Ein linearer Verstärker mit hohem IP2 und IP3 ist daher erforderlich.

# Praktische Schaltungsbeispiele



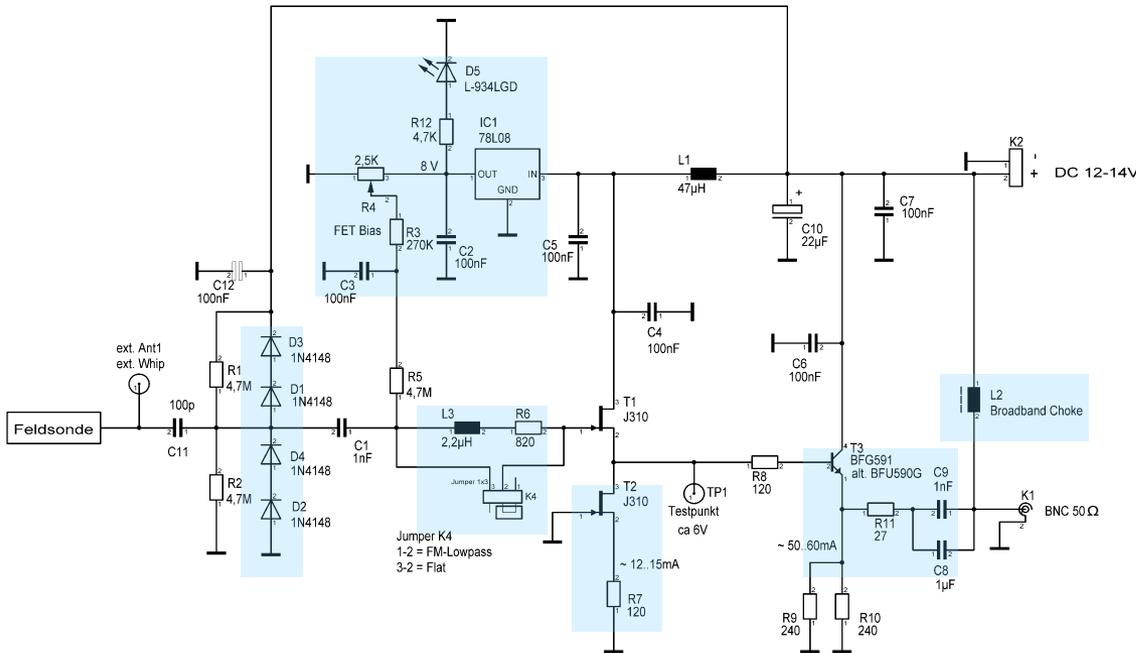
# Die ursprüngliche Mini-Whip von Roeloff Bakker, PA0RDT



Amplifier specs measured by AA7U.  
 Frequency range: 10 kHz – 20 MHz  
 Power: 12 – 15 volts at 50 mA.  
 Second order output intercept point: > + 50 dBm.  
 Third order output intercept point: > + 30 dBm.  
 Maximum output power: in excess of – 15 dBm  
 PCB Dimensions:  
 Length: 80 mm, diameter: 32 mm

# DL4ZAO Mini-Whip Pro+

Entwurfsziel: Beseitigung kleinerer Unzulänglichkeiten der ursprünglichen Mini-Whip Schaltung. Größtenteils Verwendung von durchkontaktierten Bauteilen, um Nachbauern den Einstieg zu erleichtern.



## Liste der Verbesserungen (schattierte Bereiche):

- ESD-Schutz mit vorgespannten Dioden
- FM-Tiefpass, kann überbrückt werden
- Stabilisierte einstellbare FET-Vorspannung
- FET-Source-Follower arbeitet auf eine Konstantstromsenke T2. Die Verstärkung des Source-Followers liegt nun näher bei 1. Das verbessert Rauschzahl und Linearität
- Ausgangswiderstand zur Verbesserung des Reflexionsfaktors verhindert parasitäres Schwingen bei kapazitiver Last (offenes Koax) des Emitter-Folgers
- Verlustbehaftete 1 mH Vorspannungsdrossel mit unterdrückter Eigenresonanz.
- Modernere, aktiv gefertigte SMD-Transistoren

# Verbesserte Mini-Whip – verwendet am Web-SDR Twente

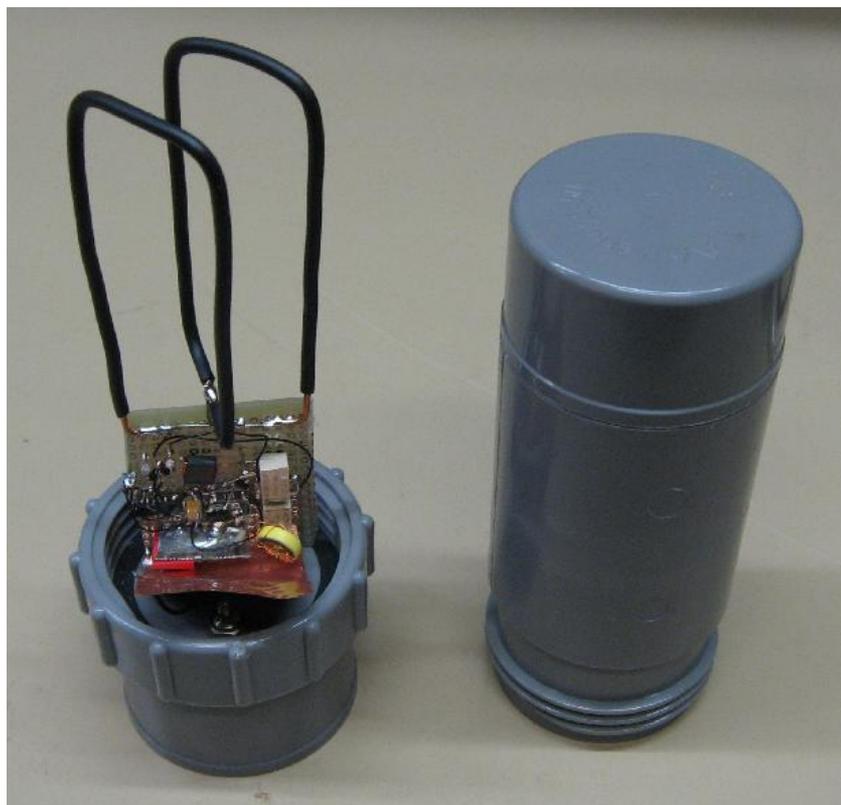


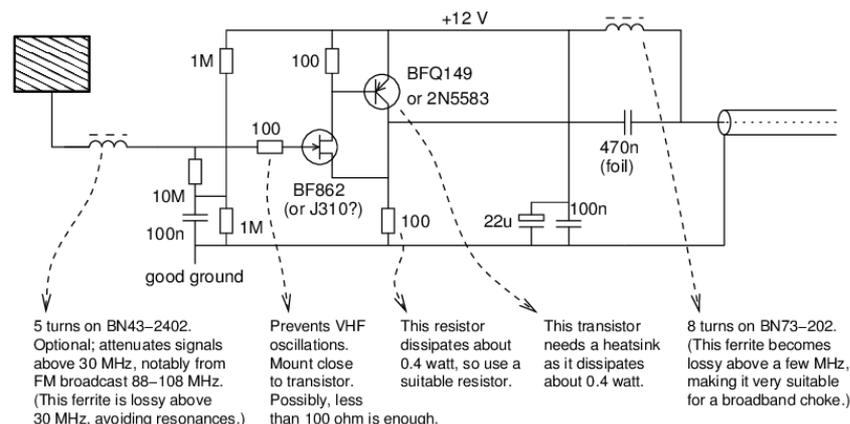
photo: © P-T. de Boer PA3FWM

JFET/PNP Kombi, veröffentlicht in einer National Semiconductor Application Note von 1970 (TI AN-32). Wiederentdeckt und verbessert von PA3FWM.

## Simple and improved MiniWhip circuit

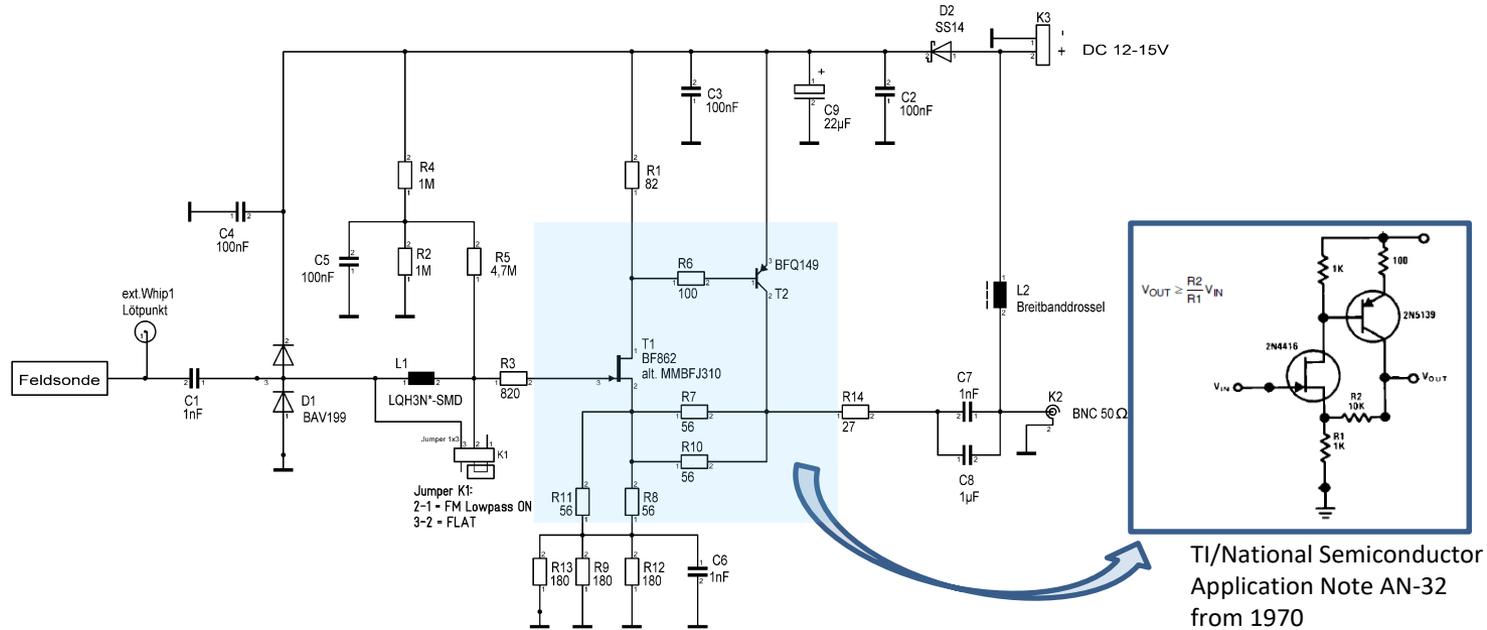
PA3FWM, Dec. 2017

Also usable for other e-field probe antennas; measured IP2 +70 dBm, IP3 +40 dBm.



Anstelle einer Kupferfläche oder eines Stabs als Antennenelement verwendet PA3FWM in Twente dicke Drähte, die um eine hypothetische Antennenfläche gebogen sind. Dadurch entsteht der gleiche Antenneneffekt wie bei einer ausgefüllten Fläche [7].

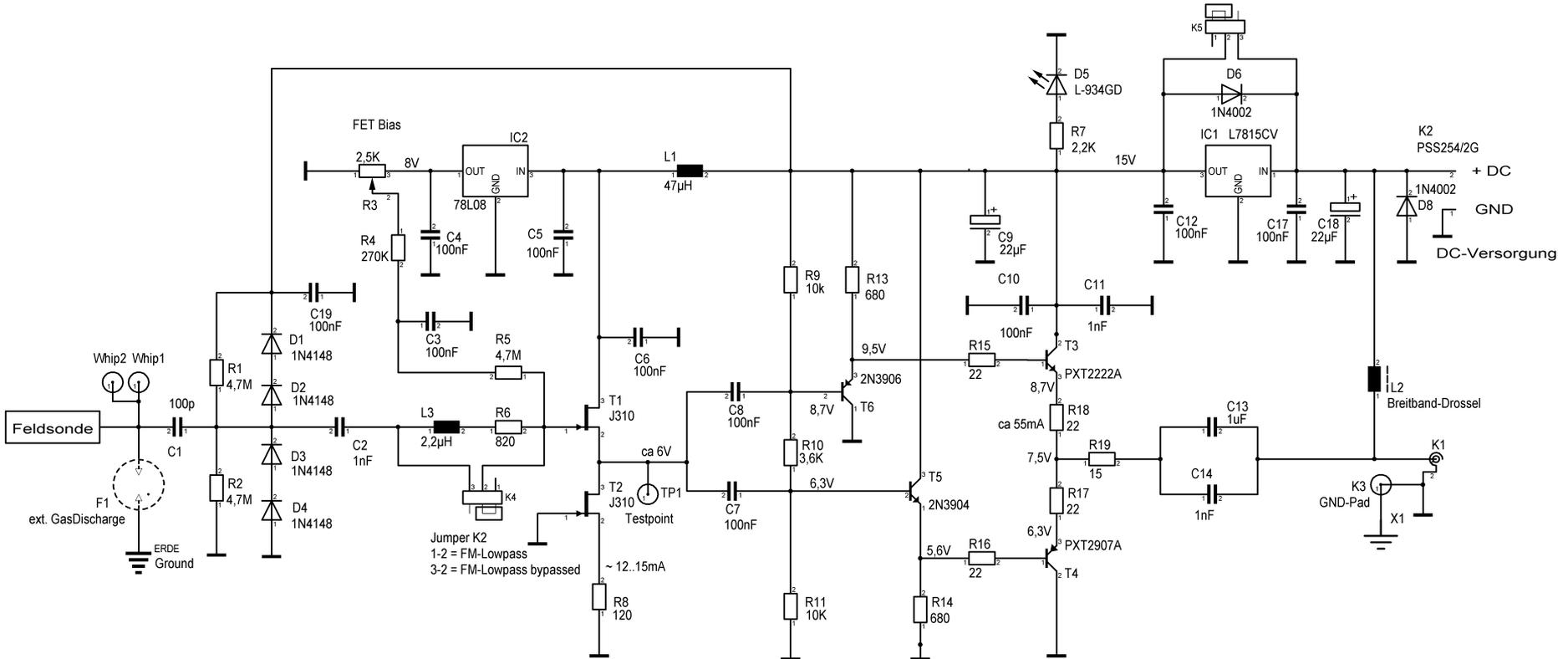
# DL4ZAO UniWhip – FET-PNP Kombination



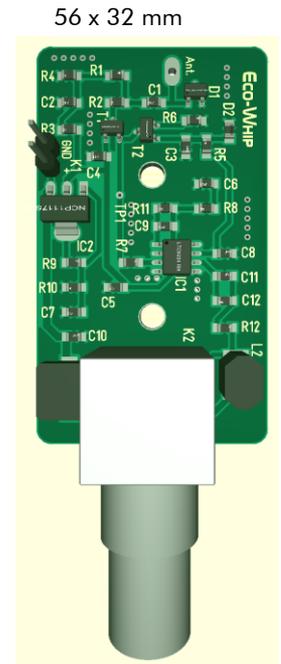
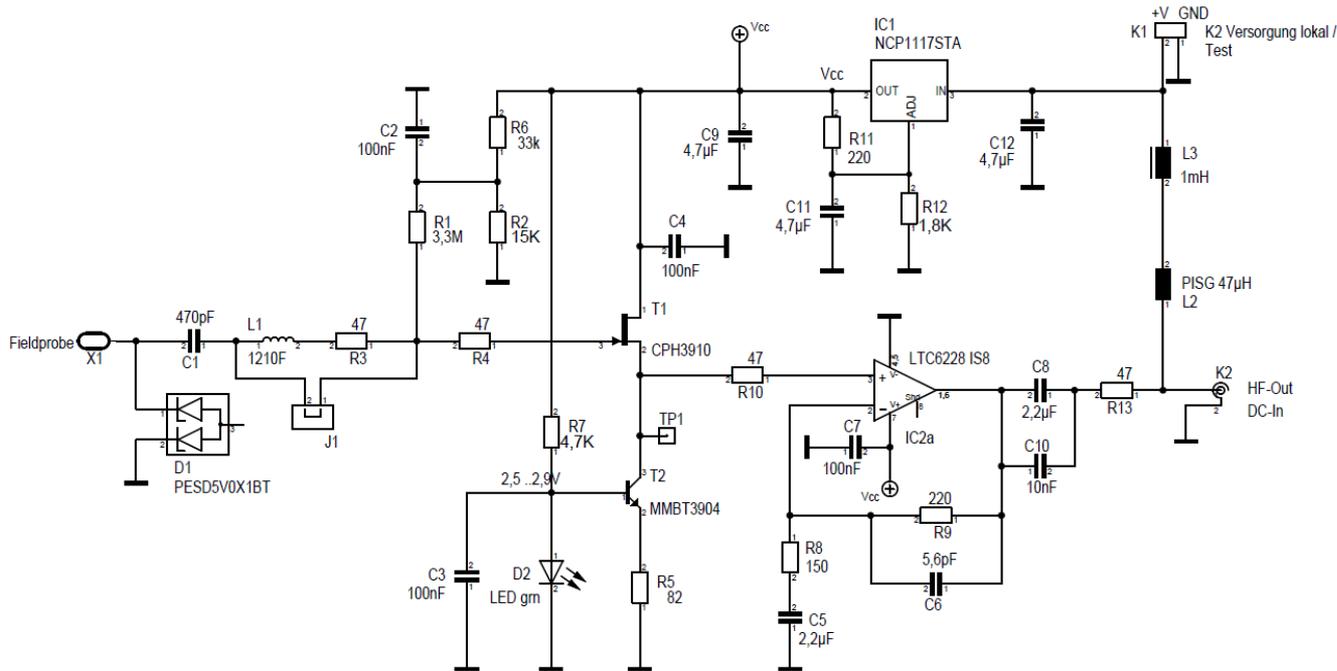
Umfangreicher Testbericht mit unterschiedlichen Whip-Elementen  
[https://www.fenu-radio.ch/UniWhip\\_by\\_DL4ZAO.htm](https://www.fenu-radio.ch/UniWhip_by_DL4ZAO.htm)

# DL4ZAO „Blue-Whip“

verbesserter IP2 and IP3 durch eine gepufferte Gegentakt-Ausgangsstufe

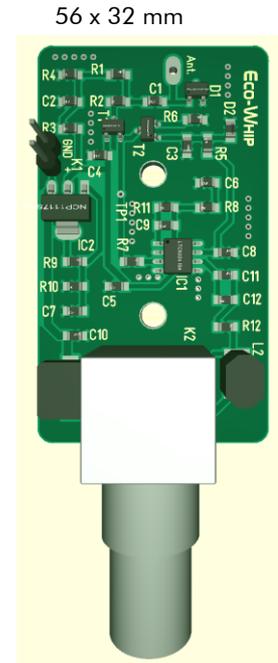
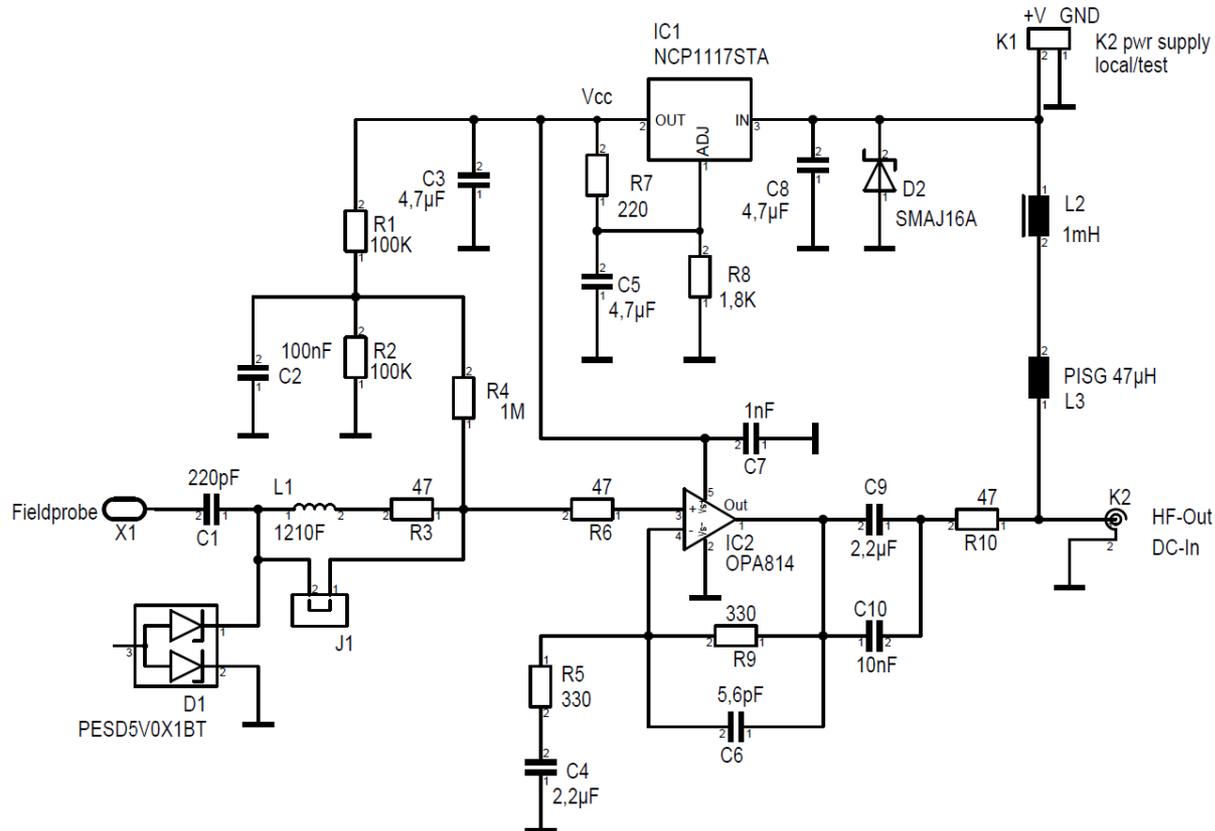


# DL4ZAO Whip-4U



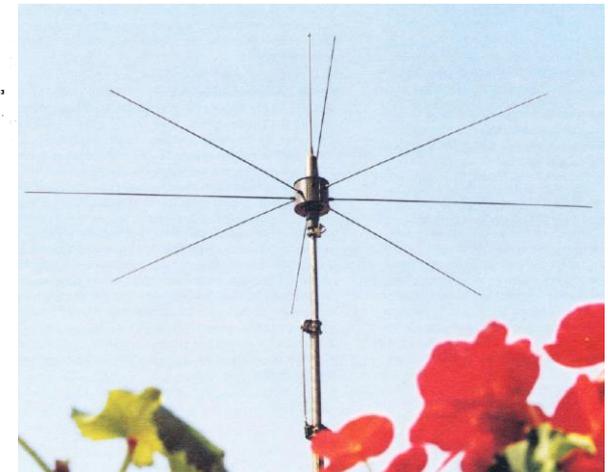
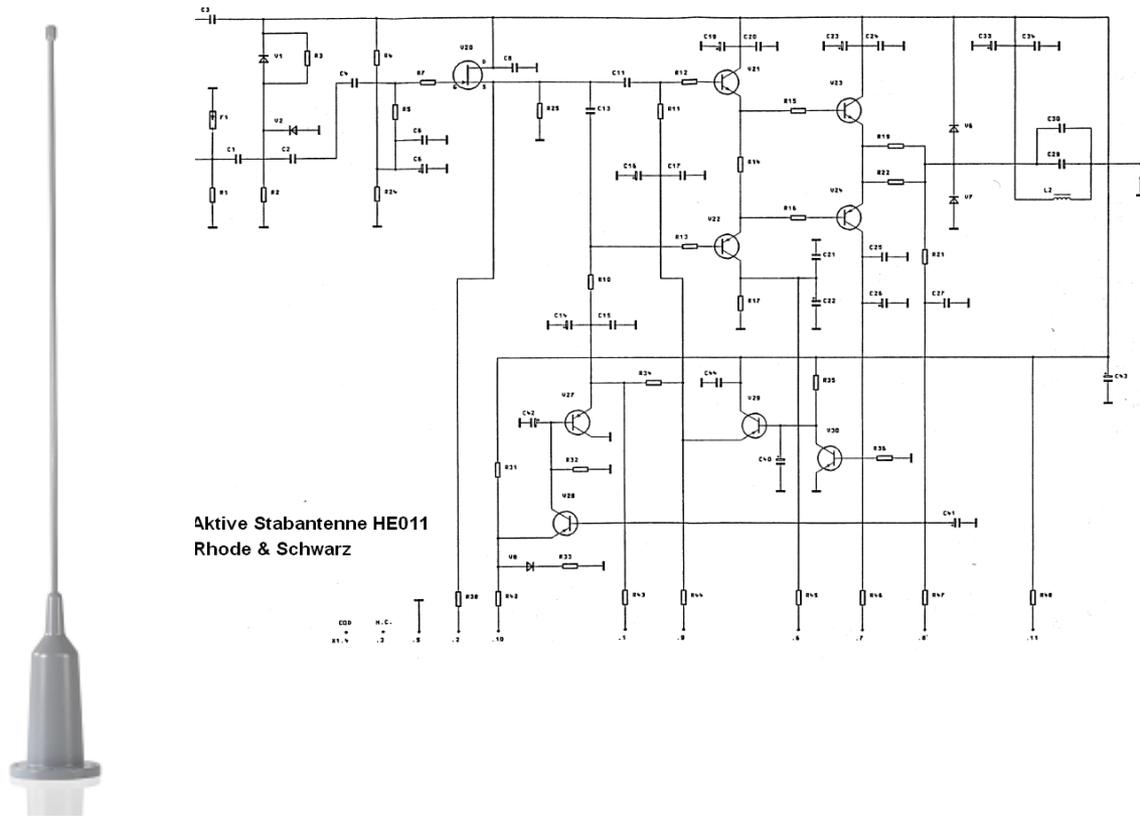
Der FET-Sourcefolger arbeitet auf eine temperaturkompensierten Stromsenke, um den austuerungsabhängigen Spannungsoffset des FET zu eliminieren. Die Verstärkung des Op Amps wird so dimensioniert, dass die Verluste am Eingang ausgeglichen werden und eine Spannungs-Verstärkung von 1 erreicht wird. Die Whip-4U hat eine ausgezeichnete Linearität mit hohem IP3. Die Stromaufnahme beträgt nur  $\approx 40$  mA.

# DL4ZAO Eco-Whip, 18 mA Stromverbrauch



Diese Schaltung hat eine Spannungsverstärkung von eins und eine überbrückbare UKW-Absenkung. Der low power JFET Op Amp kann z.B. für portabel Betrieb aus einem 9V Batterieblock gespeist werden; in dem Fall entfällt der Spannungsregler. Es wird ein externes Antennenelement verwendet.

# Rohde & Schwarz HE011



Die Rohde & Schwarz HE011 ist eine professionelle aktive Stabantenne aus dem Jahr 1975. Zusammen mit dem omnirektional empfangenden Turnstile Aktivdipol HE003 kann ein fernschaltbares, horizontal und vertikal polarisiertes Rundstrahl-Antennensystem für Funküberwachungszwecke realisiert werden.

# Mini-Whip Wissen kurz zusammengefasst

- Eine Mini-Whip reagiert vornehmlich auf die elektrische Feldkomponente einer Funkwelle. Sie empfängt vertikal polarisierte Wellen. Der Frequenzgang ist flach, so lange  $l < 0,15 \lambda$
- Whip, Mast, Verstärker, Kabel und Erde/Gegengewicht interagieren und bilden als Aktivantenne ein Gesamtsystem.
- Die Stärke des empfangenen Signalpegels steigt proportional mit der Höhe der Antenne über Grund bzw. der effektiven Höhe  $h_{\text{eff}}$ .
- Masthöhen über einem Richtwert von  $0,15 \lambda$  führen bei den resonanten Frequenzen zu Überhöhungen und Einbrüchen des Signalpegels. Es besteht Gefahr von Übersteuerung des Verstärkers und es können Intermodulationsprodukte (Geistersignale) entstehen.
- Ein gutes SNR ist die maßgebliche Größe, nicht ein hoher S-Meter Ausschlag. Eine Installationshöhe zwischen 1m und 5m gilt als empfehlenswerter Kompromiss um ein ausreichendes SNR über einen weiten Frequenzbereich zu erzielen.
- Eine gute HF-Erde zum Mini-Whip-Verstärker - entweder über einen geerdeten leitfähigen Mast, über ein Erdungskabel oder über den Schirm des Koaxialkabels ist für den störungsfreien Betrieb wichtig.
- Man platziert eine Mini-Whip am besten außerhalb des häuslichen Störnebels. Mantelwellensperren helfen, störende Gleichtaktströme auf dem Kabelmantel zu unterbinden.

# Referenzen und weiterführende Literatur

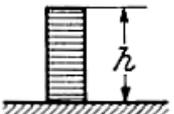
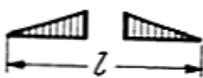
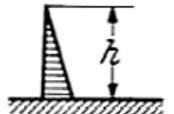
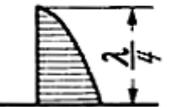
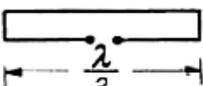
- [1] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, <https://www.dl4zao.de> practical circuits of active whips, loops, dipoles
- [2] Roelof Bakker, PA0RDT – „Mini-Whip“
- [3] J. D. Kraus, R. Marhefka – „Antennas and Wave Propagation“ 4th. ed.
- [4] Jan M Simons, PA0SIM [„The \(mini\) whip in EZNEC Pro2+“](#)
- [5] **Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, [„Fundamentals of the Mini-Whip Antenna“](#)**
- [6] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, [„Grounding of mini-whip and other active whip antennas“](#)
- [7] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, [„Capacitance of Antenna Elements“](#)
- [8] Detlef Burchard „Active Reception Antennas“, VHF-Communications 2/1996
- [9] H. Lindenmeier, Relation between minimum antenna height and bandwidth of the signal-to-noise ratio in a receiving system“. Antenna and Propagation Symposium at Amherst
- [10] H. Lindenmeier, “The transistorized receiving antenna with a capacitive high impedance amplifier an optimum solution for receiving at low frequencies, Nachrichtentechn. Z. 27 (1974)
- [11] Dr. F. Landstorfer, „Ein neues Ersatzschaltbild für die Impedanz kurzer Strahler“, NTZ 1973, S490ff
- [12] Wayne Martinsen „A High Performance Active Antenna for the High Frequency Band“ DST-Group
- [13] ITU Recommendation ITU-R P.372-17 „Radio Noise“

*Viel Spaß mit der  
Mini-Whip*



# Anhänge

# Kennwerte einfacher Antennenformen

Antennenart	Stromverteilung	Gewinn	Wirksame Antennenfläche	Effektive Antennenhöhe	Strahlungswiderstand $R_S/\text{Ohm}$
Isotrope Antenne		1	$\frac{\lambda^2}{4\pi}$		
Hertzscher Dipol mit Endkapazität		1,5	$\frac{1,5\lambda^2}{4\pi}$	l	$80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$
Kurze Antenne auf leitendem Boden mit Dachkapazität		3	$\frac{3\lambda^2}{16\pi}$	h	$160\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2$
Kurzer Dipol ohne Endkapazität		1,5	$\frac{1,5\lambda^2}{4\pi}$	$\frac{l}{2}$	$20\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$
Kurze Antenne auf leitendem Boden ohne Dachkapazität		3,0	$\frac{3\lambda^2}{16\pi}$	$\frac{h}{2}$	$40\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2$
$\lambda/2$ -Dipol		1,64	$1,64 \frac{\lambda^2}{4\pi}$	$\frac{\lambda}{\pi}$	73,1
$\lambda/4$ -Antenne auf leitendem Boden		3,28	$3,28 \frac{\lambda^2}{16\pi}$	$\frac{\lambda}{2\pi}$	36,6
Kleiner Einwindungsrahmen im freien Raum	Rahmenfläche F beliebige Form	1,5	$\frac{1,5\lambda^2}{4\pi}$	$\frac{2\pi F}{\lambda}$	$80\pi^2 \frac{4\pi^2 F^2}{\lambda^4}$
Ganzwellendipol $\lambda$ -Dipol		2,41	$2,41 \frac{\lambda^2}{4\pi}$		199,1
Gefalteter $\lambda/2$ -Dipol		1,64	$1,64 \frac{\lambda^2}{4\pi}$	$\frac{2\lambda}{\pi}$	$4 \cdot 73,1 \approx 280$

# Wirkfläche $A_W$ und effektive Höhe $h_{eff}$

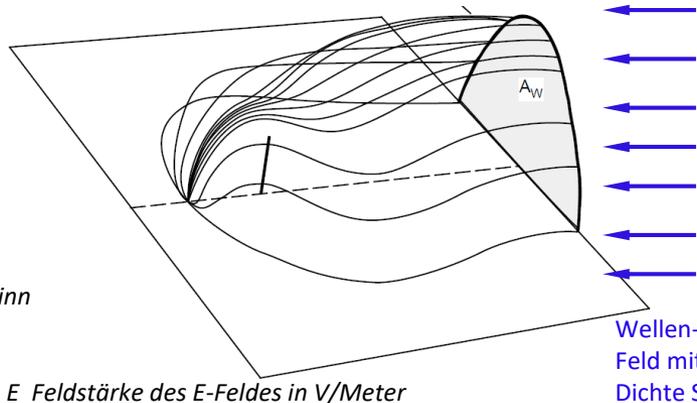
Die Wirkfläche  $A_W$  beschreibt die Energie, die eine Antenne aus dem elektromagnetischen Wellenfeld entnehmen kann.  $A_W$  ist ein Proportionalitätsfaktor, eine fiktive Fläche durch die der ankommenden Welle Leistung entnommen wird.  $A_W$  ist proportional zum Gewinn einer Antenne:

$$A_W = \frac{\lambda^2}{4\pi} G$$

$\lambda$  Wellenlänge in m  
 $G$  Richtfaktor/Antennengewinn

$$h_{eff} = 2 \sqrt{A_W \frac{R_S}{Z_0}}$$

$E$  Feldstärke des E-Feldes in V/Meter  
 $R_S$  Strahlungswiderstand  
 $Z_0$  Feld-Wellenwiderstand  $377\Omega$   
 $S$  Leistungsdichte  $W/m^2$



Der Gewinn  $G$  oder Richtfaktor  $D$  beschreibt die Fähigkeit einer Antenne Leistung in einer Vorzugsrichtung gebündelt abzustrahlen. Er ist ein Verhältnismaß für die in Hauptstrahlrichtung abgestrahlte Leistungsdichte einer Antenne im Verhältnis zu einer Bezugsantenne. In diesem Falle einem Kugelstrahler (Isotropstrahler)

Antennentyp	Gewinn G
Isotropstrahler	1
$\lambda/2$ Dipol	1,64
Kurzer Dipol	1,5
$\lambda/2$ Monopol	3,28
Kurzer Monopol	3

Die effektive Höhe  $h_{eff}$  beschreibt als Proportionalitätsfaktor die Leerlaufspannung  $U_0$ , die an einer Antenne in einem elektromagnetischen Wellenfeld mit der elektrischen Feldstärke  $E$  entsteht.

Spannung an der Antenne: 
$$U_0 = E \cdot h_{eff}$$

Eine Wellenfeld mit der Leistungsdichte  $S$  erzeugt eine max. Empfangsleistung :  $P_{Ant} = S \times A_W$

# Energiebilanz einer Empfangsantenne

Für die Empfangsantenne ist der Empfänger ein Belastungswiderstand  $Z$ . Unter Empfangsleistung verstehen wir nicht die tatsächlich an den Empfänger, an  $Z$ , abgegebene Leistung, sondern die der Antenne maximal entnehmbare Leistung, die dem Empfänger „angebotene“ Leistung. Um sie tatsächlich dem Empfänger zuzuführen, müßte man den Empfänger an den Innenwiderstand  $Z_i = R_i + jX_i$  der Antenne anpassen, d. h. den Lastwiderstand  $Z = R_i - jX_i$  wählen, und auf diesen Zustand bezieht sich unsere Definition unabhängig davon, ob der Empfänger tatsächlich angepaßt ist oder nicht. Die angebotene Empfangsleistung  $P_e$  ist mit dieser Definition unabhängig von Empfängereigenschaften.

Sei nun  $S = |\overline{\mathcal{E}}|$  das Zeitmittel der Strahlungsdichte der einfallenden Welle am Empfangsort, so genügt die Feldstärke der Gleichung

$$\mathcal{E}_{\text{eff}}^2 = Z_0 S.$$

Die Empfangsantenne richten wir auf maximalen Empfang aus; für die maximal induzierte EMK gilt

$$E_{\text{max}}^2 = h_{\text{eff}}^2 \mathcal{E}_{\text{eff}}^2 = h_{\text{eff}}^2 Z_0 S.$$

Einem Zweipol mit dem Innenwiderstand  $Z_i = R_i + jX_i$  und der EMK  $E$  kann man die Maximalleistung

$$P = \frac{E^2}{4R_i}$$

entnehmen, und zwar nur bei Anpassung der Last. Die an den Antennenklemmen angebotene Empfangsleistung wird

$$P = \frac{h_{\text{eff}}^2 Z_0}{4R_i} S.$$

Diese Leistung hängt noch von Verlusten im Antennenmaterial ab, die wir ganz wie beim Sendefall abtrennen wollen. Wir beziehen daher die angebotene Empfangsleistung  $P_e$  endgültig auf den Strahlungswiderstand

$$P_e = \frac{h_{\text{eff}}^2 Z_0}{4R_i} S.$$

Die an den Antennenklemmen tatsächlich dem Empfänger angebotene Leistung  $P$  ergibt sich zu

$$P = \eta_a P_e = P_e \frac{R_i}{R_i + R_e},$$

so daß wie im Sendefall für ideale Materialien der Antenne  $P = P_e$  ist.

Den Proportionalitätsfaktor zwischen Empfangsleistung und Strahlungsdichte nennen wir die Absorptions- oder Wirkfläche  $F_a$  der Antenne

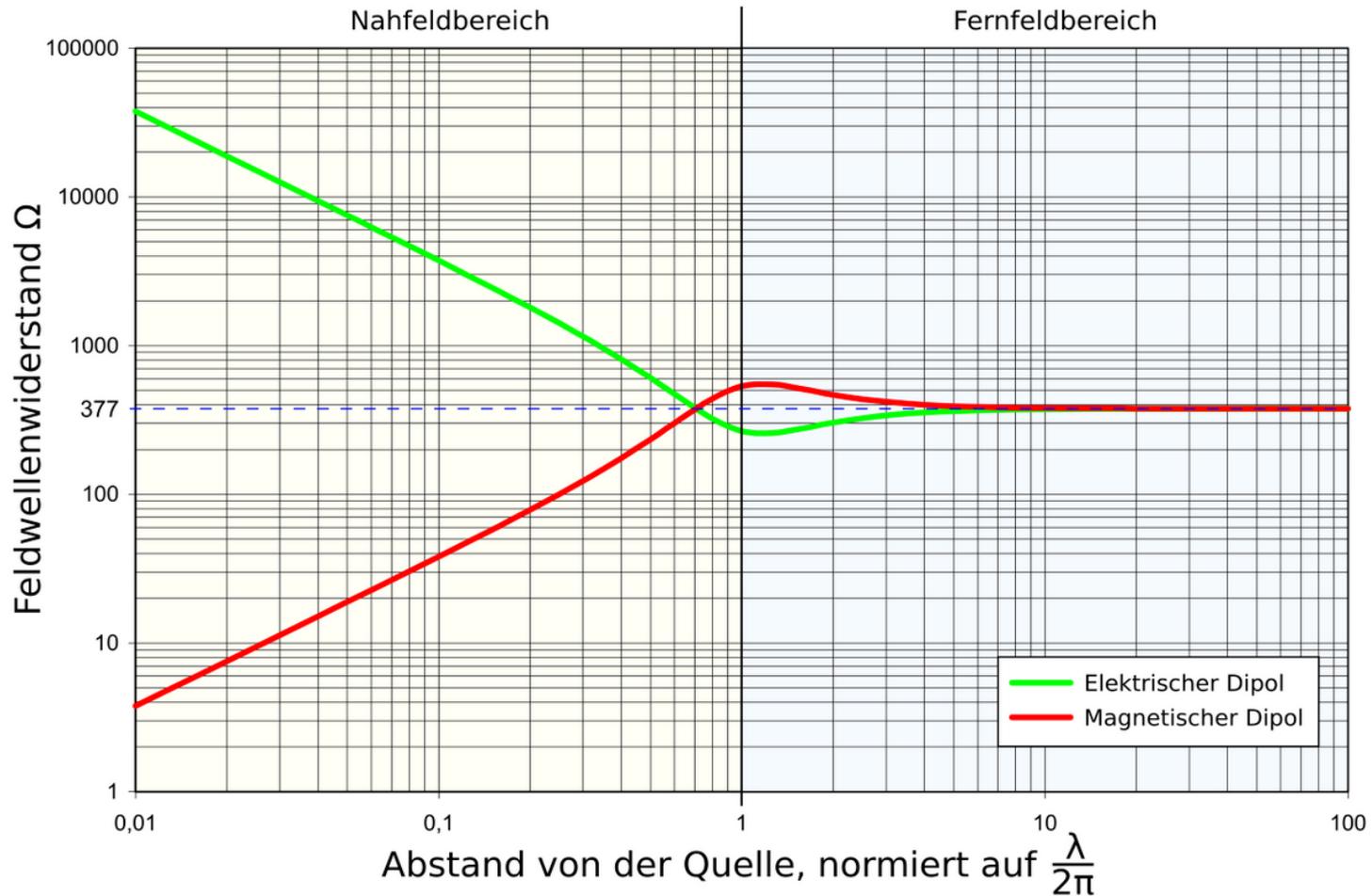
$$F_a = \frac{h_{\text{eff}}^2 Z_0}{4R_i}, \quad (49)$$

$$P_e = F_a S. \quad (50)$$

Aus Lehrbuch der Drahtlosen Nachrichtentechnik  
Korshenewsky, Runge

# Feldwellenwiderstand als Funktion des Abstandes von elektrischem und magnetischem Dipol.

## Darstellung des Impedanzverlaufes im Nah- und Fernfeld.



Quelle: BSI TR-03209-1 - Elektromagnetische Schirmung von Gebäuden - Theoretische Grundlagen