# *MidiWhip* Aktivantenne

Version th – mit bedrahteten Bauelementen

Günter Fred Mandel, DL4ZAO

**Manual und Baubeschreibung**

## Inhalt

**Die MidiWhip** ..... **2**

**Beschreibung** ..... **2**

**Eigenschaften:** ..... **2**

**Funktionsprinzip** ..... **3**

**Beschreibung der Schaltung** ..... **3**

**Aufbau und Bestückung der Leiterplatte** ..... **5**

**Wickeln der Fernspeisedrossel** ..... **5**

**Bestückung der Platine** ..... **6**

**Inbetriebnahme** ..... **7**

**Fernspeisung** ..... **8**

**Tipps zur Aufstellung** ..... **8**

**Aktivantenne störungsarm betreiben** ..... **9**

**Kurz Zusammengefasst** ..... **10**

**Stückliste** ..... **11**

**Weiterführende Literatur** ..... **13**

***Kleines Werkstattbrevier (pdf) zum Herunterladen***
*http://www.dl4zao.de/_downloads/Werkstattbrevier.pd*

# Die MidiWhip

- Empfangs Antenne für Amateurfunk, SWL und Broadcast DX
- Bedeutend kleiner als vergleichbare passive Antennen
- breitbandiger als passive Antennen, nutzbar von VLF bis VHF
- Steht in der Empfangsleistung großen Antennen nicht nach
- Ideal für Bandbeobachtung, Radiomonitoring und für SDR

**Beschreibung**

Die Midi-WhipAktivantenne ist eine E-Feld Aktivantenne nach dem Impedanzwandler Prinzip. *(Die Bezeichnung „Whip" hat sich als Synonym für Impedanzwandler-Aktivantennen eingebürgert*)

Eine Eingangsstufe mit einem Feldeffektransistor als Stromquelle verbessert die Linearität. Zum Schutz gegen atmosphärische Überspannungen wurde eine Schutzschaltung am Eingang hinzugefügt. Bei den beträchtlichen Summensignalen, die der Verstärker einer Aktivantenne intermodulationsfrei verarbeiten muss, kommt der Linearität der Treiberstufe eine große Bedeutung zu. Insbesondere, wenn die Feldsondenfläche mit einem Stab oder einer Zusatzfläche verlängert wird, ist ein einfacher Emitterfolger als 50Ω Treiber wie bei der weit verbreiteten Miniwhip oft nicht ausreichend. Hieraus entstand die Idee der **MidiWhip**: Auf einen linearen Impedanzwandler mit einer FET Stromquelle als dynamischer Last folgt eine Gegentaktendstufe im AB-Betrieb.

- Lineare Eingangsstufe mit zwei rauscharmen FETs für verbessertes Großsignalverhalten
- Einstellbare stabilisierte Vorspannung zum Abgleich auf optimalen IM2 Abstand
- Komplementär-Emitterfolger Endstufe
- Überbrückbares Tiefpassfilter zur Absenkung starker UKW-Sender
- Patentwickel Fernspeisedrossel mit hoher Bandbreite und geringen Eigenresonanzen
- ESD Schutz des Eingangs

**Eigenschaften:**

- Abmessungen der Platine: 200 x 40mm, davon 135 x40mm integrierte Antennenfläche (E-Feldsonde)
- Antenenfläche kann bei Bedarf gekürzt und mit externem Antennenstab (Whip) ergänzt werden
- Frequenzbereich: 15kHz bis 100MHz (3dB Bandbreite), 50kHz bis 100MHz (1dB Bandbreite),
- Frequenzbereich mit UKW-Absenkung: 15kHz -40MHz (3dB Bandbreite),
- Spannungsübertragungsfaktor -3,5dB
- Versorgung lokal oder ferngespeist über das Koaxkabel (Fernspeiseweiche erforderlich)
- Versorgungsspannung wahlweise:
  DC 12-15V stabilisiert und gesiebt, Stromaufnahme ca 100mA
  DC 18 – 22V mit optional bestückbarem 15V Festspannungsregler,
- Intermodulation 2. Ordnung, IP2 besser + 70 dBm.
- Intermodulation 3. Ordnung, IP3 besser + 30 dBm.
- Ausgangsimpedanz: Geeignet um 50 Ohm Koaxialkabel zu treiben
- Anschlussbuchse: BNC-50Ω
- Maximale Ausgangsleistung: größer +10dBm

Die Schaltung auf einer kleine Platine mit einer überschaubaren Anzahl von Bauelementen eignet sich als Selbstbauprojekt für Einsteiger. Mit Ausnahme der Transistoren für die Endstufe werden nur konventionelle bedrahtete Bauelemente verwendet.

**Funktionsprinzip**
Die MidiWhip ist eine Aktivantenne, die vorwiegend die elektrische Feldkomponente (E-Feld) einer Radiowelle auswertet. Zum grundsätzlichen Prinzip einer E-Feld Aktivantenne:

Ein im Verhältnis zur Wellenlänge kurzer Stab oder die Metallfläche einer kupferkaschierten Leiterplatte bilden die Antenne. Der nachfolgende Verstärker hat einen hohem Eingangswiderstand und einen kleinen Ausgangswiderstand, um ein 50 Ω Kabel treiben zu können (Impedanzwandler). Durch die sehr hohe Eingangsimpedanz wird es möglich, eine Spannung aus dem elektrischen Feld abzunehmen. Die Empfangsspannung ist proportional zur Stärke des elektrischen Feldes und nicht frequenzabhängig. Die MidiWhip ist eine Breitbandantenne.

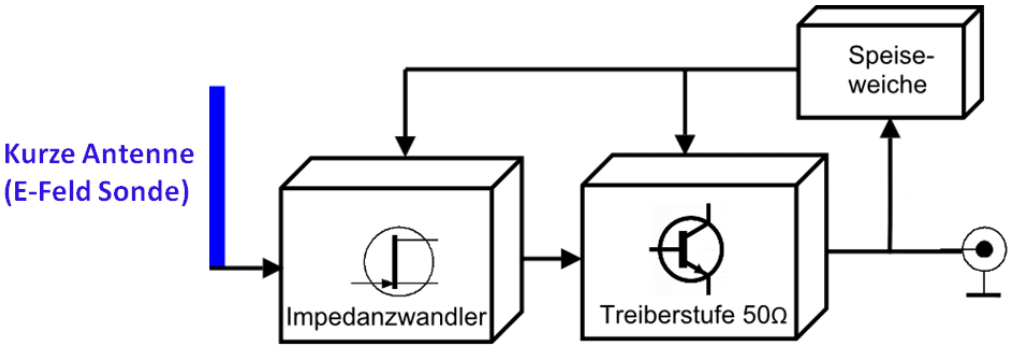



Bild 2 Impedanzwandler E-Feld Aktivantenne - Funktionsprinzip

**Beschreibung der Schaltung**

Bild 3 zeigt das Schaltbild der *Midi-Whip*. Die hochohmige Impedanzwandler-Eingangsstufe T1 ist mit einem J310 FET als Sourcefolger ausgeführt, der mit konstantem Strom betrieben wird. Dem FET T1 wird ein Drain-Strom von ca. 14mA über den als Stromquelle geschalteten T2 eingeprägt. T2 wirkt als dynamischer Lastwiderstand mit hoher Impedanz und verbessert die Linearität und das Intermodulationsverhalten. Damit T1 sicher aufgesteuert ist, wird sein Gate mit über eine stabilisierte Spannung aus dem Spannungsregler IC1 vorgespannt. Die Einstellung des Arbeitspunktes ist einfach. Mit dem Poti R4 wird die Spannung an Messpunkt MP1 so eingestellt, dass am Messpunkt zwischen Source des Impedanzwandlers T1 und Drain der Stromsenke T2 etwa 6 bis 7V anliegen.

Auf den FET Impedanzwandler folgt eine Emitterfolgerstufe. Zwei komplementäre Medium Power Transistoren im SMD Gehäuse bilden die 50Ω Ausgangsstufe. Diese beiden Transistoren sind die einzigen SMD Bauteile. Das SOT89 Gehäuse ist aber groß genug, dass auch ein SMD Anfänger gut damit zurecht kommt. Anstelle von hochgezüchteten GHz HF-Transistoren mit ihren kritischen Eigenschaften und ihrer Schwingneigung wurden hier schnelle Industrietypen gewählt. Sie sind sehr robust und können als Emitterfolger bis weit in den VHF-Bereich vorteilhaft eingesetzt werden. Um eine gute Linearität zu erreichen arbeitet die Ausgangsstufe im A-Betrieb mit einem Ruhestrom von etwa 60mA. Der Ausgang der Treiberstufe ist mit einem Serienwiderstand R15 moderat zwangsangepasst, so dass auch ein fehlabgeschlossenes Koaxialkabel keine Schwingneigung verursacht.

Vor dem Eingangs-FET ist ein Feinschutz vor atmosphärischen Spannungen vorgesehen. Vorgespannte Dioden leiten Überspannungsimpulse ab. Wird ein externer Antennenstab verwendet, ist es ratsam, zusätzlich einen Gasableiter nach Betriebserde als Grobschutz einzusetzen. Eine LED D5 dient als Betriebsanzeige.

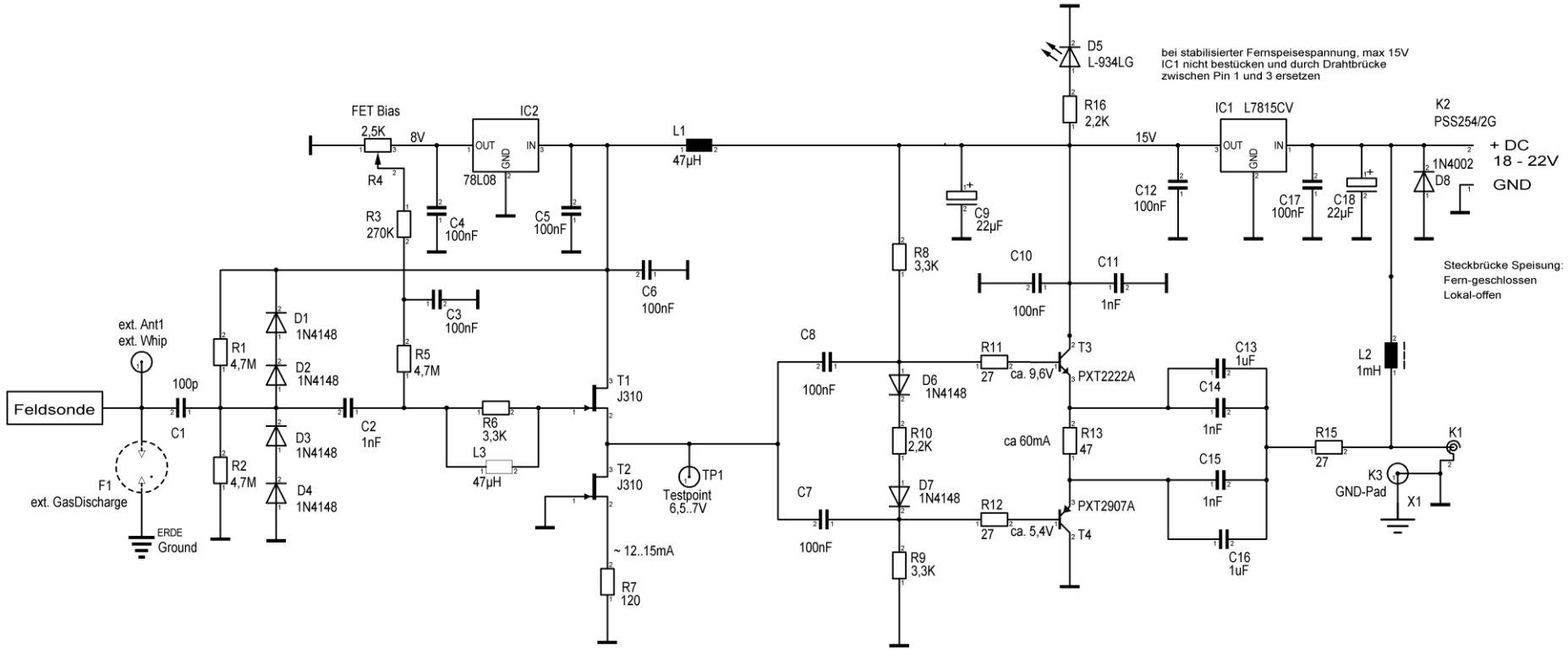



Bild 3 - Schaltbild der Midi-WhipAktivantenne

Die Midi-Whip kann in ein HT PVC Rohr wettergeschützt eingebaut werden. Falls die integrierte Antennenfläche bei VLF nicht ausreicht, kann man die Antennenfläche kürzen und stattdessen einen externen Antennenstab (Whip) über den Lötanschluss „Whip1“ anschließen. Die Pegel nehmen dadurch zu, allerdings steigt die Gefahr, dass durch viele große Einzelsignale Intermodulationsprodukte auftreten.

Die Versorgung für das Aktivteil erfolgt entweder lokal oder per Fernspeisung über das Koaxkabel, Pluspol auf dem Innenleiter. Die speziell gewickelte Breitbanddrossel L2 auf einem Doppellochkern lässt den Betrieb von VLF bis VHF zu. Es sind zwei Bestückungsvarianten möglich:

- Variante: mit 15V Fest-Spannungsregler IC1 bestückt: erfordert eine DC-Versorgungsspannung zwischen 18 und 24 Volt.
-
- Variante ohne Festspannungsregler: Bei Versorgung mit 15V DC stabilisiert.
  Hierzu ist Lötpin 1 und Lötpin 3 des nicht bestückten Festspannungsreglers IC1 mit einer Drahtbrücke zu überbrücken.

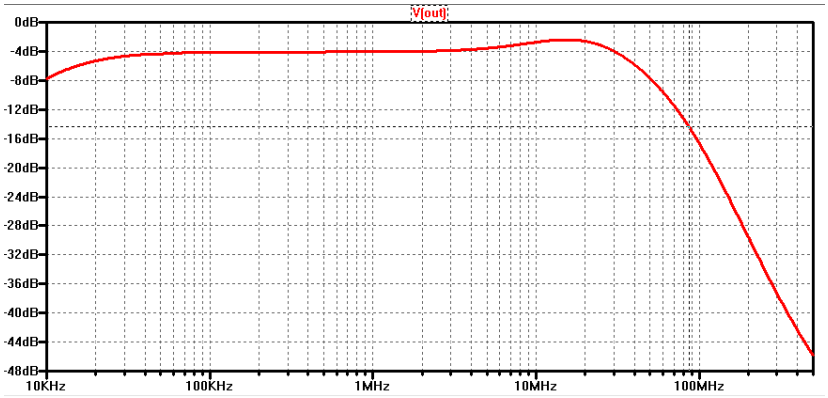


Bild 4 Übertragungsverhalten der Midi-Whip mit UKW-Absenkung L3/R6

**Aufbau und Bestückung der Leiterplatte**

**Wickeln der Fernspeisedrossel**

Vor dem Beginn Bestückungsarbeiten wird die Fernspeisedrossel L2 wie auf Bild 5 gezeigt auf einen Ferrit Doppellochkern Amidon BN73-0202 gewickelt. Als Wickeldraht eignet sich lötbarer Kupferlackdraht vom Durchmesser 0,25…0,4 mm. Beim Wickeln ist darauf zu achten, dass die Lackisolierung an den scharfen Kanten des Ferritkerns nicht abgescheuert wird damit keine Kurzschlüsse entstehen. Es werden mindestens 3 + 7 + 3 Windungen entsprechend dem gezeigten Wickelschema gewickelt. Die Windungszahl ist unkritisch, es dürfen auch einige Windungen mehr sein. Vor dem Einbau werden die Drahtenden sorgfältig verzinnt. Es empfiehlt sich, später beim Einbau den Doppellochkern der Fernspeisedrossel mit einem Klecks Heißkleber an der daneben liegenden BNC-Buchse zu fixieren.

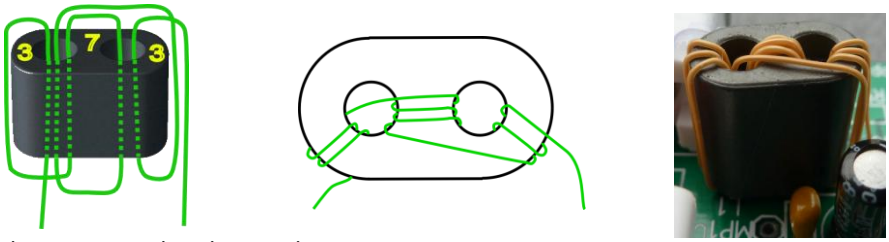


Bild 5
Wickelschema L4 Breitband Drossel 1mH

**Bestückung der Platine**

Die doppelseitige Leiterplatte in der Kurzversion hat die Abmessungen 200 x 40mm. Auf der Leiterplatte ist der Verstärkerteil untergebracht sowie eine Kupferfläche mit den Abmessungen 135x40mm als Basis-Antenne und Feldsonde. Falls gewünscht kann die Antennenfläche gekürzt werden und stattdessen am Lötpin „ext. Ante“ ein externer Antennenstab (Whip) angeschlossen werden. An Stelle der BNC-Einbaubuchse kann auch eine externe HF-Buchse über kurze Drähte an die entsprechenden Pads auf der Leiterplatte angeschlossen werden.

- Zuerst bestückt man die beiden SMD Transistoren T3 und T4 auf der Unterseite, der Kupferseite der Platine (Bild 9). Diese Transistoren im recht großen SOT89 SMD Gehäuse lassen sich auch von einem SMD-Anfänger ohne Schwierigkeiten einlöten. Danach werden die bedrahteten Bauteile von oben bestückt und sauber verlötet und abgeschnitten. Zuerst die flachen und zum Schluss die hohen Bauteile wie z.B. die BNC Buchse. Ganz zuletzt die Fernspeisedrossel.

- Beim Bestücken der Dioden und Transistoren ist sorgfältig auf die richtige Polung zu achten. Die Kathode der Dioden ist auf dem Gehäuse mit einem Ring gekennzeichnet. Die Kathode der Betriebsanzeige-LED D5 erkennt man an dem kürzeren Anschlussbeinchen. Elkos C9 und C18 müssen ebenfalls richtig gepolt eingebaut werden. Der Minusanschluss eines Elko (GND/Masse) ist mit einem schwarzen Balken und/oder einem Minuszeichen gekennzeichnet.

Bild 6 – Leiterplatte Langversion - Abmessungen

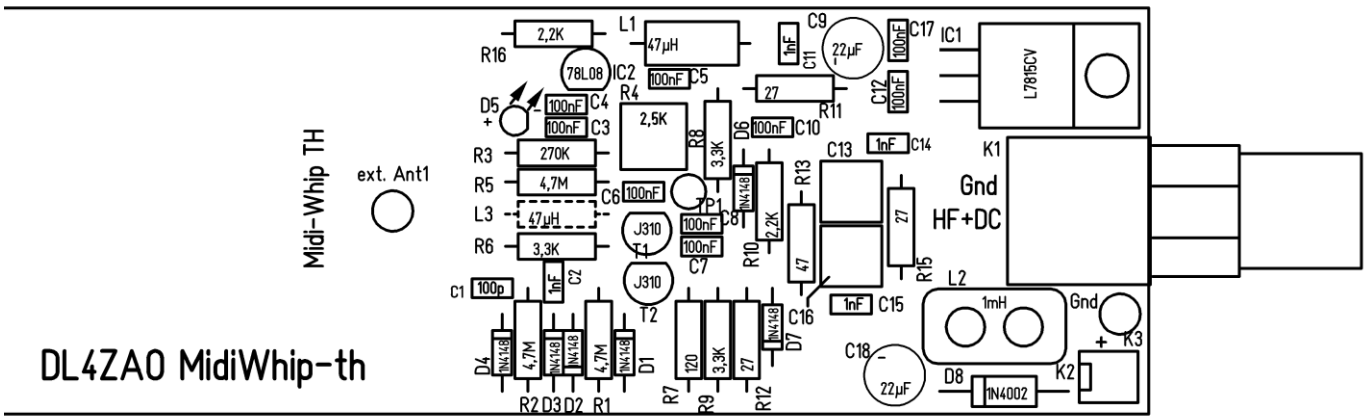



Bild 7 – Leiterplatte Bestückungszeichnung von oben (vergrößert, nicht maßstabsgetreu)

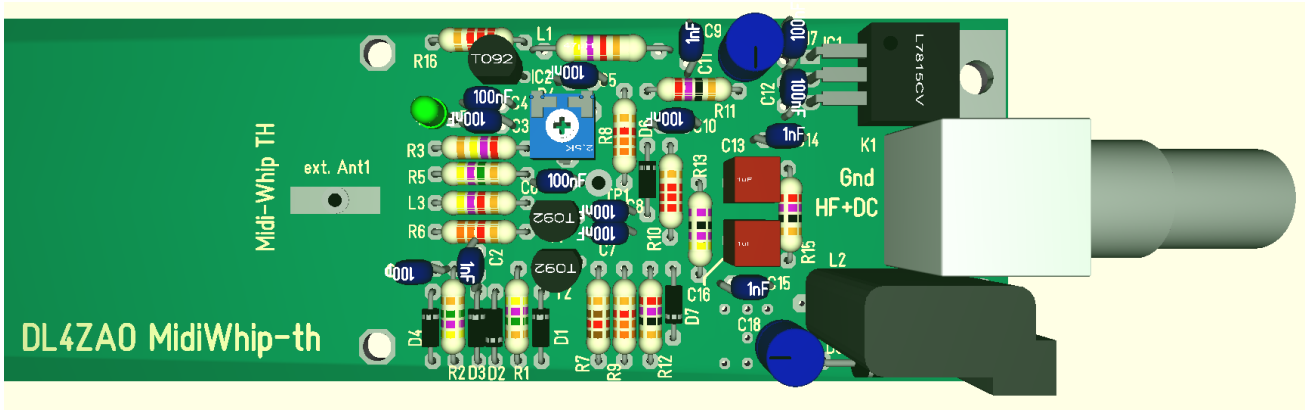



Bild 8 – Bauteile oben

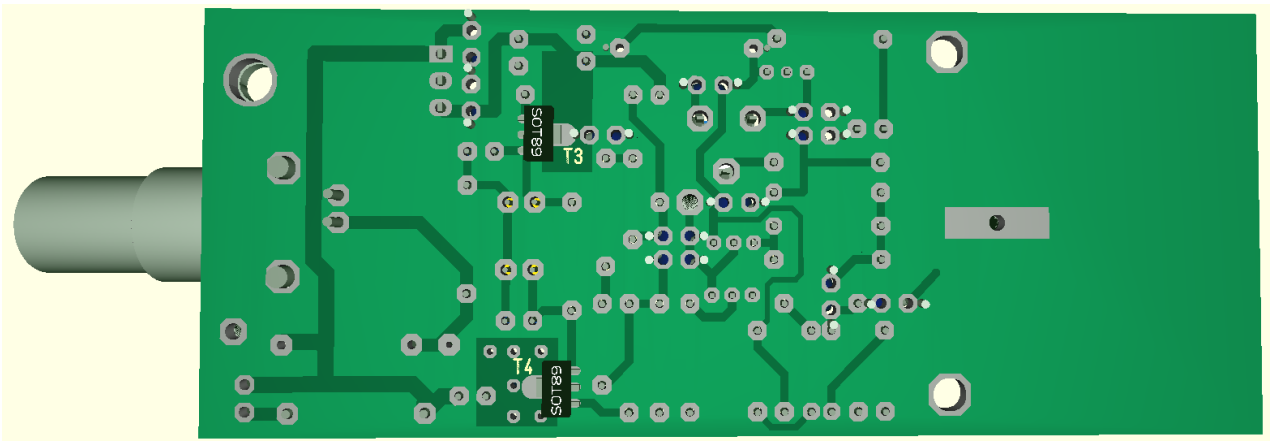



Bild 9 – Bauteile unten

**Inbetriebnahme**

- Im ersten Schritt die korrekte Bestückung der Bauteile sorgfältig kontrollieren und am besten mit einer Lupe die Lötstellen und Leiterbahnen auf Kurzschlüsse und schlechte Lötstellen prüfen. Auch nochmal sorgfältig die richtige Polarität und Einbaurichtung der Dioden, Transistoren und des Elkos prüfen. Das Poti R4 wird auf Mittelstellung gedreht.

- Die Betriebsspannungs-Versorgung kann entweder lokal über den DC-Anschluss Pfosten K2 oder per Fernspeisung über das Koaxialkabel erfolgen. Dabei auf die richtige Polarität achten: der Pluspol muss auf Pin 2 der Pfostenleiste K2 bzw. bei Fernspeisung auf dem Innenleiter des Koaxialkabels liegen.

- Für die erste Inbetriebnahme empfiehlt sich die lokale Speisung mit einem stabilisierten Netzgerät mit einstellbarer Spannung und Strombegrenzung. Die Strombegrenzung wird auf 100mA eingestellt. Dann die Spannung langsam von 0 auf 12V hochregeln. Wenn die Spannung dabei zusammenbricht ist noch ein Fehler vorhanden und muss erst beseitigt werden. Wenn alles in Ordnung ist, leuchtet die Betriebsanzeige D7 und die Gesamtstromaufnahme sollte bei einer Betriebsspannung von 15V typisch um 80mA betragen. Bei 12V Betriebsspannung etwas weniger.

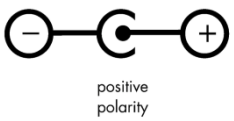
- Mit Poti R4 wird dann die Gatevorspannung von T1 so eingestellt. Man misst mit einem Messgerät die Spannung an Messpunkt MP1 gegen Masse/GND. Dann wird das Poti so gedreht, dass an MP1 etwa die halbe Betriebsspannung gemessen werden kann, also eine Spannung zwischen 6 und 7,5V Volt.

- Stimmen alle Spannungen, kann über eine Fernspeiseweiche ein Empfänger angeschlossen werden. Es muss sich eine deutliche Zunahme des Empfangsrauschens feststellen lassen.

**Fernspeisung**

Für die Zuführung der Betriebsspannung über das Koaxkabel ist eine Fernspeiseweiche erforderlich. Zur Versorgung wird eine stabilisierte und geglättete Gleichspannung zwischen 12 und 15 Volt benötigt. Wird der 15VSpannungsregler bestückt, darf die äußere Versorgungsspannung zwischen mindestens 18 und max. 22V betragen. Es muss sichergestellt sein, dass für den Spannungsregler mindestens 2,5V Regelreserve (Dropout Spannung) vorhanden sind. Das Netzteil soll mindestens 150mA Strom liefern können.

Der Pluspol der Versorgungsspannung muss auf dem Innenenleiter liegen, der Minuspol auf dem Schirm des Koaxialkabels. Die Frequenzweiche soll eine geringe Einfügedämpfung und eine ausreichende Entkopplung zwischen dem DC-Port und den HF-Ports über den genutzten Frequenzbereich aufweisen.



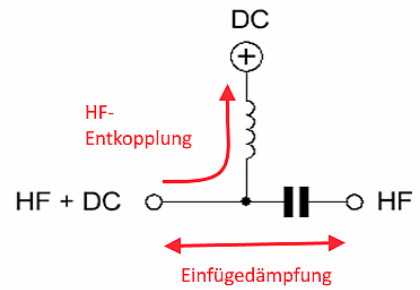




Bild 10: Prinzip einer Fernspeiseweiche

Es kann im Grunde jede Fernspeiseweiche verwendet werden, die die vorstehend genannten Anforderungen erfüllt und für den genutzten Frequenzbereich geeignet ist.

Die Bauanleitung von geeigneten Fernspeiseweichen kann hier heruntergeladen werden:

**www.dl4zao.de/projekte**

**Tipps zur Aufstellung**

Der ideale Aufstellungsort für eine Whip wäre direkt über einer ausgedehnten Metallfläche wie z.B. einem Blechdach als Massefläche. Bei den Wenigsten werden derart ideale Voraussetzungen anzutreffen sein. Bei der Montage auf einem Mast wird das Bezugspotential für die Aktivantenne vom Schirm der Koaxleitung oder z.B. einem geerdeten Tragmast transportiert. Das Empfangssignal entsteht aus der Spannung (Potentialdifferenz) zwischen dem Antennenelement, der Whip, und dem Potential des Koaxschirms

unmittelbar an der Verstärkerbuchse als Masse-Bezug. Über den Abstand bis zur HF-Erde variiert dieses Massepotential abhängig von der Frequenz bis hin zur ungewollten Ausbildung von Resonanzen. Aus diesem Grund hat die Länge des Koaxkabels bis zum Erdungspunkt einen merklichen Einfluss auf die Empfangseigenschaften.

Die Qualität eines empfangenen Signals ist nicht allein von die Höhe der Eingangsspannung am Empfänger abhängig, sondern wird in erster Linie durch den Abstand zwischen Nutzsignal und dem Rauschen bestimmt, dem sogenannten Signal-to Noise Ratio (abgekürzt: S/N oder SNR). Eine Aktivantenne kann nicht zwischen dem gewollten Nutzsignal und dem gleichzeitig empfangenen externen Rauschen unterscheiden. Die Empfangsspannung (Signal + externes Rauschen) einer Whip nimmt mit der Länge bzw. der Oberfläche des Antennenelements und mit der Höhe über Grund zu. Um Übersteuerung in der Aktivelektronik zu vermeiden ist es ratsam, das Augenmerk in erster Linie auf ein ausreichendes SNR und weniger auf einen möglichst hohen Ausschlag des S-Meters zu richten Die Länge einer Whip und ihre Montagehöhe wählt man sinnvoll nur so groß, bis eine weitere Vergrößerung nur eine Zunahme des Gesamtpegels aber keine Verbesserung des SNR mehr bewirkt.

**Aktivantenne störungsarm betreiben**

Aktivantennen wie die Midi-Whipplatziert man am besten außerhalb des häuslichen Störnebels. Die hochohmige Feldsonde fängt Nahfeldstörungen von Störquellen wie Schaltnetzteilen, TV-Geräten, Energiesparlampen und Modems leicht auf. Bei der Montage an einem leitfähigen Träger, soll die Whip darüber hinausragen.

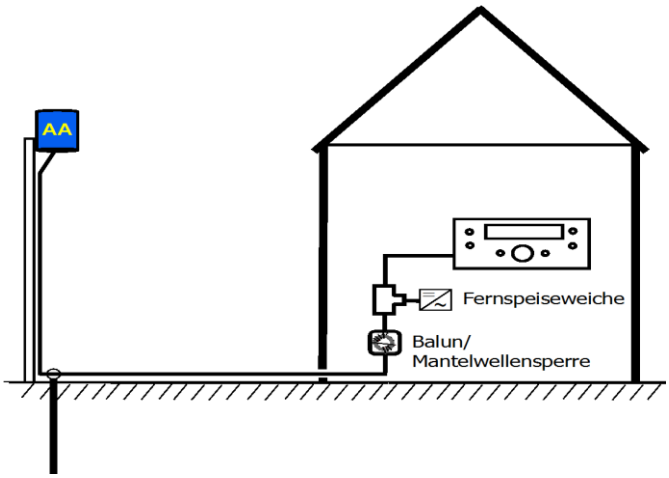


Bild 11.

Viele Störungen werden leitungsgebunden über Einstrahlung auf den Schirm des Koaxialkabels (Mantelwellen) oder durch Ausgleichsströme über Erdschleifen eingeschleppt. Das Koaxkabel ist meist über den Empfänger mit dem PE der Hausverteilung verbunden, so können über diesen Weg Störspannungen und Ströme eingekoppelt werden.

Die Ausbreitung von unerwünschten Störströmen über das Koaxialkabel lässt sich durch Wahl eines geeigneten Aufstellungsorts, Verdrosselung der Leitung und HF-gerechte Erdung minimieren. Den Koaxschirm verbindet man auf möglichst kurzem Weg mit einer HF-gerechten Erde. Große Kabellängen zwischen Aktivantenne und HF-Erde beeinträchtigen die Empfangseigenschaften. Mantelwellensperre(n) im Leitungsweg unterdrücken das Einschleppen von Störungen. Verlegt man die Speiseleitung in der Erde oder auf der Erde mindert das zusätzlich die Gefahr von eingestrahlten Störungen. Störarme Leitungsführung und Erdung erscheint manchmal wie Stoff für Druiden, aber ohne Zaubertrank hilft meist Probieren

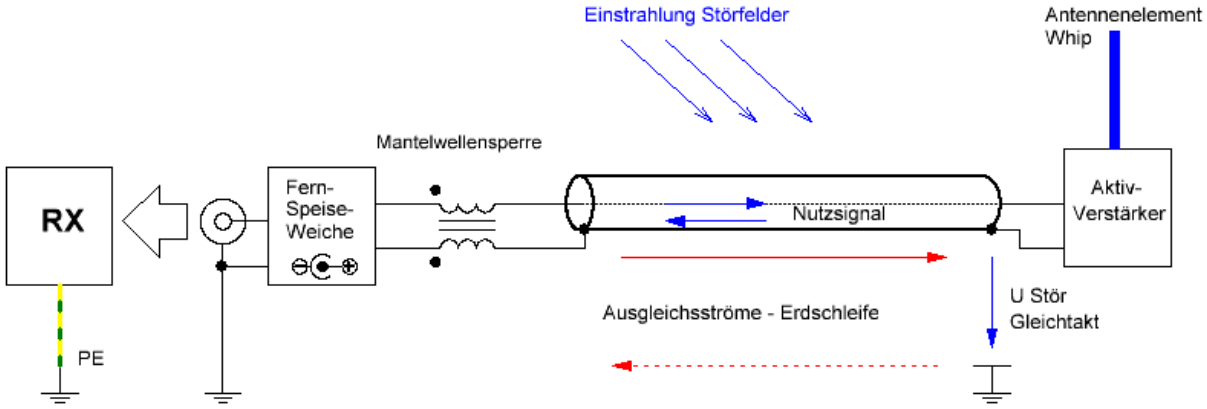



Bild 12: Störungseinkoppelung über Erdschleife und Schirm der Speiseleitung

Der Masseanschluss des Verstärkers bzw. der Außenleiter der Koaxbuchse sollte auch aus Schutzgründen auf kurzem Wege mit einem Erder oder dem geerdeten Montagemast verbunden werden. Eine Erdverbindung ausschließlich über den Koax-Schirm über eine Erdverbindung im Shack bietet keinen ausreichenden Schutz gegen Überspannungen. Zudem besteht die Gefahr, dass durch eine „schmutzige“ PE-Haus-Erde zusätzlich Störungen eingeschleust werden.

**Kurz Zusammengefasst**

- Der hochohmige Verstärker der Midi-WhipAktivantenne sondiert die Potentialdifferenz (Spannung) zwischen dem Antennenelement und “Erde” des Verstärkers.
- Die Ausgangsspannung nimmt mit der Höhe und mit der Größe des Antennenelements zu. Allerdings nimmt neben dem Nutzsignal auch das externe Rauschen zu. Deshalb besser auf einen ausreichenden Signal/Rauschabstand achten und erst in zweiter Linie auf einen hohen Absolutpegel.
- Ein kurzer Kabelweg zu einer HF-gerechten Erdung oder ein ausreichendes metallisches Gegengewicht am Fußpunkt bzw. Masseanschluss der Aktivantenne ist wichtig.
- Erfolgt die Erdung nur über den Schirm eines langen Koaxkabels und über die Erdverbindung im Shack, besteht die Gefahr, dass durch eine derartige „schmutzige Erde“ Störungen auf die Antenne übertragen und verstärkt werden. Der Schirm des Koaxkabels wird ungewollt zum Teil der Antenne.

**Stückliste**

| Pos | Anzahl | Name | Wert | Rastermass / Gehäuse | Anmerkungen |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | C1 | 100pF | RM2,54mm | Keramik Kondensator NP0 |
| 2 | 9 | C3,C4,C5,C6,C7,C8,C10,C12,C17 | 100nF | RM2,54mm | Keramik Kondensator X7R |
| 3 | 2 | C9,C18 | 22µF - 35V Elko | Elko radial, 105°C, RM 2,5mm, d=6mm | Low ESR |
| 4 | 4 | C2, C11,C14,C15 | 1nF | Keramik Kondensator NP0 2,54mm | Keramik Kondensator NP0 |
| 5 | 2 | C13,C16 | 1uF 50V | RM2,54mm | Folienkondensator/Wima MKS02 |
| 6 | 6 | D1,D2,D3,D4,D6,D7 | 1N4148 | DO35 | Si-Kleinsignal-Diode |
| 7 | 1 | D5 | L-934LG | 2,54mm | 2mA LED, 3mm grün/Kingbright |
| 8 | 1 | D8 | 1N4002 | DO41 | Si Diode 1A |
| 9 | 1 | IC1 (optional) | L7815CV Festspannungsregler | TO220 | ST-Micro o. gleichwertig |
| 10 | 1 | IC2 | L78L08 Festspannungsregler | TO92 | ST-Micro o. gleichwertig |
| 11 | 1 | K1 | BNC-BUCHSE 50Ω | BNC-Einbaubuchse, abgewinkelt | e.g. UG1094W1 |
| 12 | 1 | K2 | PSS254/2G | 2,54mm 2pol, Nylon Steckverbinder | e.g. Reichelt PS25/2G BR |
| 13 | 1 | L1,L3 | 47µH | Festinduktivität 9x4mm axial | Fastron Serie SMCC |
| 14 | 1 | L2 | 1mH | Auf Amidon Doppellochkern BN73- 0202 | Eigen gewickelt, siehe Text |
| 15 | 3 | R1,R2,R5 | 4,7M | 0207 | Metallschicht |
| 16 | 1 | R4 | 2,5K | Einstellpoti, RM5mm, liegend, 6mm | CA6V/ACP, Piher PT6-L |
| 17 | 1 | R3 | 270K | 0207 | Metallschicht |
| 18 | 3 | R6, R8, R9 | 3,3K | 0207 | Metallschicht |
| 19 | 1 | R7 | 120 | 0207 | Metallschicht |
| 20 | 3 | R11, R12, R15 | 27 | 0207 | Metallschicht |
| 21 | 2 | R10, R16 | 2,2K | 0207 | Metallschicht |
| 22 | 1 | R13 | 47 | 0207 | Metallschicht 0,6W |
| 23 | - | - | - | - | - |
| 24 | 2 | T1,T2 | J310 | TO92 | JFET, Fairchild, ON-Semi |
| 25 | 1 | T3 | PXT2222A | SOT89 - SMD | NPN Transistor, NXP |
| 26 | 1 | T4 | PXT2907A | SOT89 - SMD | PNP Transistor, NXP |
| 27 | 1 | F1 | Gasableiter 90V | (extern, optional) | Bourns |

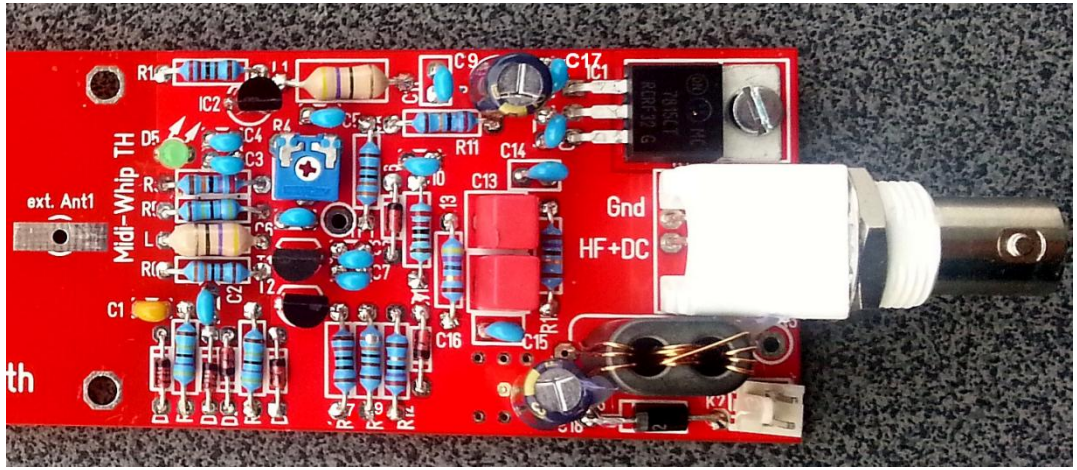



Foto Midiwhip Bestückung von oben

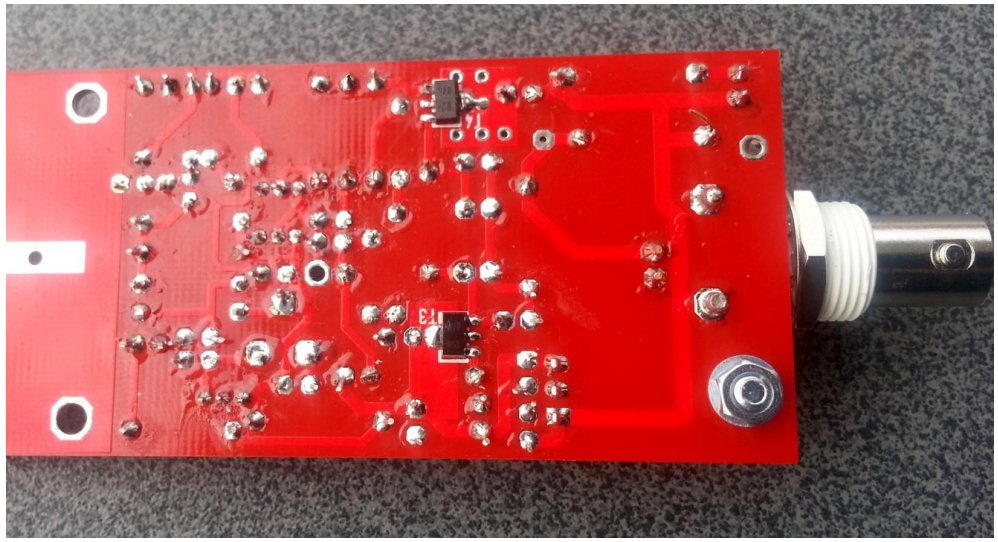


Foto Midiwhip Bestückung von unten

Midiwhip mit Fernspeiseweiche Bias-T Basic

**Weiterführende Literatur**

[1] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, *„Fundamentals of the Mini-WhipAntenna“*

[2]Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, *“Grounding of Mini-Whip and other active whip antennas”*

[3] Detlev Burchard, “*Active Reception Antennas*”, VHF Communications, 2 and 3 /1996

[4] Owen Duffy, VK1OD, *“How does the PA0RDT Mini-Whip work”*

[5] Roeloff Bakker, “*The pa0rdt-Mini-Whip, an active receiving antenna for 10 kHz to 20 MHz*”

[6] ITU Recommendation ITU-R P.372-12 (2015) „Radio Noise“

[7] Janzen *“Kurze Antennen”,* 1986

[8] Siegfried Best *„Aktive Antennen für DX Empfang“,* ISBN 3-7723-1821-5

[9] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, “*Midiwhip-Aktivantenne*”, www.dl4zao.de

[10] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, *“Whip und Loop – Aktivantennen für den Empfang“*

***Urheberrechtsvermerk***

*Dieses Dokument darf unter der Voraussetzung, dass Quelle und Name des Autors genannt werden für private und nichtkommerzielle Zwecke kopiert und unter den gleichen Bedingung weitergegeben werden. Rechte Dritter sind zu berücksichtigen.*

*Günter Fred Mandel*