

# SIMWA

## Aktivdipol-Verstärker

### Symmetrischer-Impedanz-Wandler

#### für elektrisch kurze Dipol- und selektive Loop-Aktivantennen

Von Guenter Fred Mandel, DL4ZAO,

[www.dl4zao.de](http://www.dl4zao.de)

## Inhalt

1. Einführung .....	1
2. Designziel:.....	3
2.1 Einsatzmöglichkeiten .....	3
3. Schaltungsbeschreibung .....	5
4. Schutzmaßnahmen, ESD .....	6
4.1 Trennung zwischen Betriebsmasse und Erdung.....	6
4.2 Einstrahlung durch starke Sendeanlagen: .....	6
5. Aufbau .....	6
6. Inbetriebnahme .....	8
7. Anschließbare Antennenelemente .....	9
8. Fernspeisung.....	9
9. Aufstellung und Betrieb.....	10
10. Referenzen .....	12
11. Stückliste.....	13

## 1. Einführung

Einfache Aktivantennen wie z.B. die unter Funkamateuren verbreitete MiniWhip und ähnliche Derivate bestehen meist aus einem elektrisch kurzen Antennenelement und einem Impedanzwandler Verstärker an einem Montagemast und einem Koaxialkabel als Leitung zum Empfänger [3]. Die Spannungsverstärkung eines derartigen Impedanzwandlers ist meist kleiner als 1.

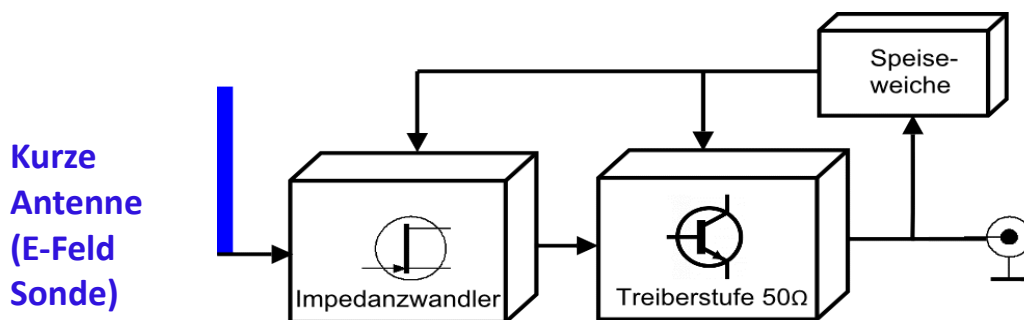


Bild 1 Prinzip E-Feld Aktiv-Antenne

Die Antennenfläche [8] wirkt als Feldsonde und wertet den durch das elektrische Feld einer Funkwelle erzeugten Potentialunterschied zwischen dem Antennenelement und dem Masseanschluss an der Aktivelektronik als Bezugspotential aus. Das Bezugspotential dieses Antennen-Monopols wird dabei durch den metallischen Montagemast oder den Außenmantel des Koaxialkabels zur Verstärker-Elektronik zur Antennen gebracht. Je nach Länge des Mastes oder des Koaxialkabels ergibt sich zu höheren Frequenzen auf dem Mast bzw. auf dem Schirm der Leitung eine zunehmend ungleichmäßige Spannungsverteilung.

Diese Ungleichmäßigkeit variiert mit der empfangenen Wellenlänge und verursacht an der Masseverbindung des Verstärkers einen frequenzabhängigen Potentialunterschied zwischen dem Massepotential dort und der realen Erde [4], [5].

Der Mast bzw. das Koaxialkabel wird zum Teil der Antenne. Die Aktivantenne zeigt aus diesem Grund einen mehr oder weniger ausgeprägten Frequenzgang. Der Ausgangsspegel steigt mit zunehmender Masthöhe.. Viele Betreiber einer MiniWhip klagen daher , dass ihre Aktivantenne oberhalb von 10 MHz in den Empfangsleistungen nachlässt, obwohl das Verstärkerelement allein doch einen glatten Frequenzgang bis weit über 100MHz aufweist. Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB hat diese Effekte messtechnisch nachvollzogen und in einem Artikel „Aktive Antenne mit Mastentkopplung“ [2] beschrieben.

Ein aktiver Dipol mit hoher Gleichtaktunterdrückung vermeidet diesen Abhängigkeit vom Erdpotential. Die Empfangsspannung eines Dipols liegt als Gegentaktspannung zwischen den Dipolästen an. Der Monopol wird dazu mit einem gleichartigen Antennenelement zu einem Dipol ergänzt, der keinen direkten Bezug zu Erde erfordert. Um ausreichende Gleichtaktunterdrückung zu erreichen wird das Massepotential der Aktivelektronik vom Mast bzw. dem Schirm des Koaxialkabels mit einem Strombalun (Gleichtaktdrossel) von der Betriebsmasse für Hochfrequenz getrennt.

Für einen aktiven kurzen Dipol werden die erforderlichen Impedanzwandler symmetrisch für jeden Dipolast aufgebaut und als Differenzverstärker ausgebildet. Daraus entstand die Idee für den SIMWA (Symmetrischer-Impedanz-Wandler).

Durch seine hochohmige Eingangsimpedanz und seinen symmetrischen Aufbau eignet sich der SIMWA auch als Aktivelektronik für eine resonant abgestimmte Loop-Antenne.

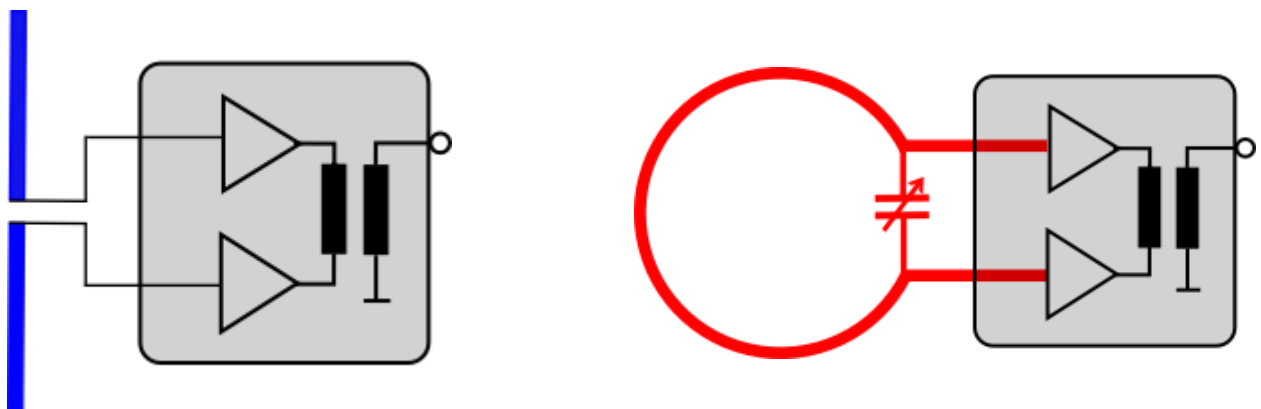


Bild 2 Breitband Dipol E-Feld Aktiv-Antenne selektive „Magnetic Loop“ Aktiv-Antenne

## 2. Eigenschaften:

Ein einfach gehaltener Differenz-Impedanzwandler mit symmetrischem Aufbau als großsignalfestes Verstärkerelement für eine breitbandige Aktivantenne mit einem elektrisch kurzen Dipol oder einer abgestimmten magnetic-Loop im Resonanzbetrieb.

Der Ausgang des SIMWA wird mit einem Balun bzw. einer Gleichtaktdrossel für Hochfrequenz vom Massepotential eines Montagemastes oder des Koaxialkabels entkoppelt, so dass überwiegend der Dipol oder die Loop zum Empfang beitragen.

Spezifikation:

- Frequenzbereich der Aktiv-Elektronik: 100 kHz – 30 MHz +/- 2db, 15 kHz - 150 MHz mit reduzierten Anforderungen an den Frequenzgang
- Stromversorgung: DC 13,8V (12 – 15V) stabilisiert, typisch 120mA.  
Lokal- oder Fern-Speisung über das Koax-Kabel (plus = Innenleiter) per Steckbrücke wählbar.
- Eingangsimpedanz  $Z_{in} > 1M\Omega$  bei 1MHz
- Ausgang: BNC, 50 $\Omega$ , VSWR <2
- Spannungsübertragungsfaktor: -2dB
- Maximale Eingangsspannung für sicheren Betrieb:  $\geq 1V$  eff.
- Maximale Ausgangsleistung: -10dBm
- IP2 > + 70 dBm.
- IP3: > + 30 dBm.
- Abmessungen der Leiterplatte: 80 mm x 50 mm

Bei den beachtlichen Summensignalen, die der Verstärker einer Breitband-Aktivantenne intermodulationsfrei verarbeiten muss, kommt der Linearität des SIMWA eine große Bedeutung zu.

Der SIMWA besteht aus zwei symmetrisch angeordneten identischen Verstärkerzweigen, deren Ausgangssignale mit 180° Phasendifferenz über einen Transformator zusammengeführt werden. Auf einen linearen Impedanzwandler mit FET-Stromsenke als Last folgt ein hochlinearer CATV Transistor als Emitterfolger. Der Ausgang ist mit einem Serienwiderstand moderat zwangsangepasst, so dass auch längere Koaxialkabel reflexionsarm betrieben werden können und der Verstärker auch bei fehlabgeschlossenem Kabel nicht zu unerwünschten Schwingungen neigt.

Für einen universellen Einsatz des SIMWA wird die Schaltung auf das Wesentliche reduziert. Ankoppelung der Antenne sowie Schutzmaßnahmen gegen ESD erfolgen variabel nach den spezifischen Erfordernissen durch externe Beschaltung.

### 2.1 Einsatzgebiete

Der SIMWA eignet sich als Aktivelektronik für Antennen, die einen symmetrischen Verstärker mit hochohmiger Eingangs Impedanz benötigen. (Bild 2)

Als elektrisch kurz gilt eine Antenne, wenn die Länge des Antennen-Elements weniger als 1/10 Wellenlänge der Empfangsfrequenz beträgt.

Mehr zu anschließbaren Antennenelementen siehe Abschnitt 7

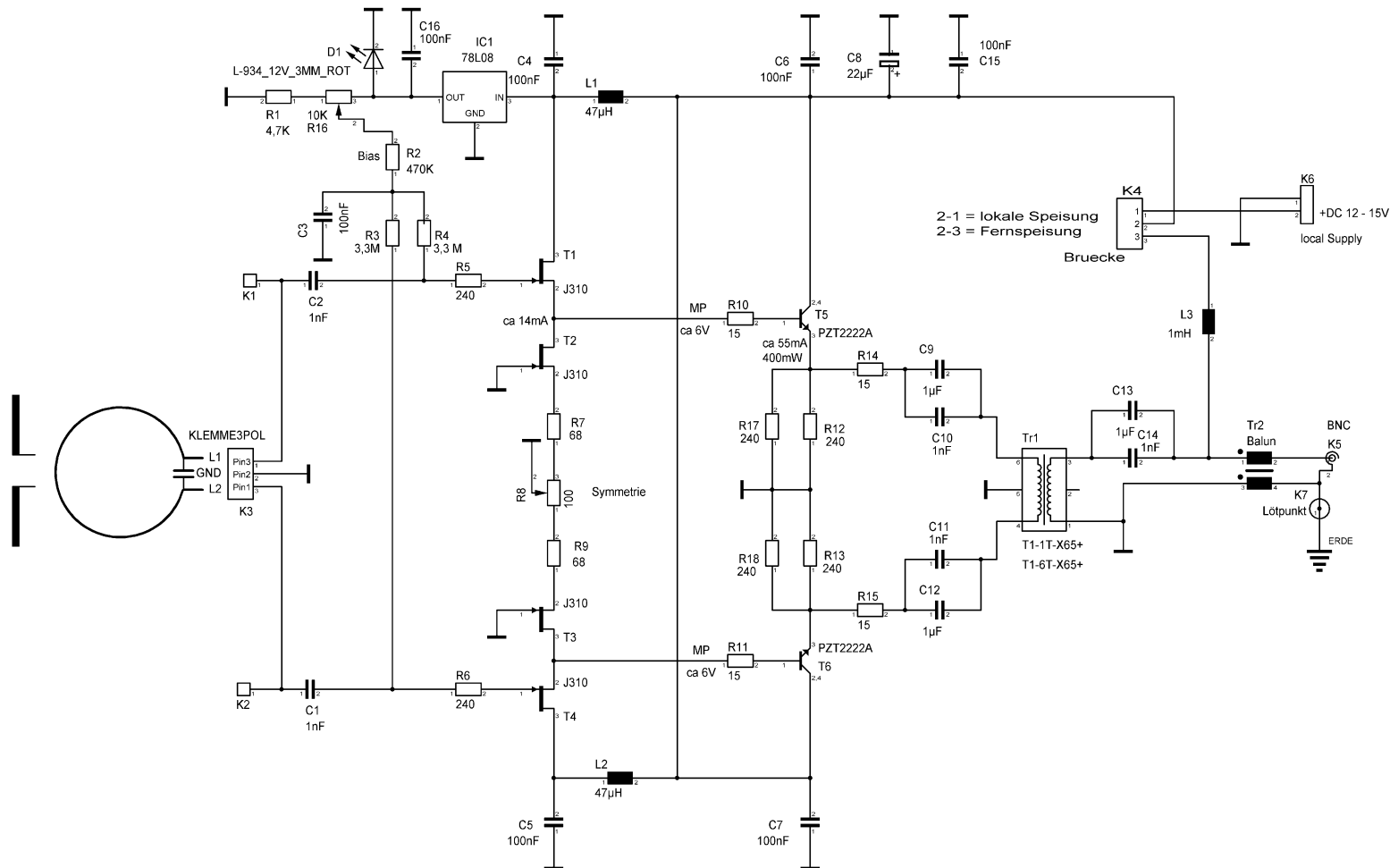


Bild 3 – SIMWA Schaltbild

### 3. Schaltungsbeschreibung

Bild 3 zeigt das Schaltbild des SIMWA. Die beiden identischen Impedanzwandler Eingangsstufen sind mit J310 FET als Sourcefolger ausgeführt. Dem FET wird ein Drain-Strom von ca. 14mA über einen als Stromquelle geschalteten FET T2 eingeprägt. Die Stromquelle wirkt als dynamischer Lastwiderstand mit hoher Impedanz und verbessert die Linearität und das Intermodulationsverhalten. Damit T1 sicher aufgesteuert ist, wird sein Gate mit 5V aus IC1 vorgespannt. Zwischen Source des Impedanzwandlers T1 und Drain der Stromsenke T2 liegt etwa die halbe Betriebsspannung an. Die Basis des nachfolgenden Emitterfolgers mit einem Bipolar-Transistor T5 kann daher gleichstromgekoppelt werden. Der Basisstrom von T5 wird damit auch von der Stromsenke geliefert. Über das Poti R6 kann die Symmetrie zwischen den beiden identischen Verstärkerzügen justiert werden. Eine LED mit integriertem Vorwiderstand dient als Betriebsanzeige und als Grundlast für den Spannungsregler IC1.

Die Verwendung einer FET Stromsenke an Stelle eines Sourcewiderstandes verbessert das Großsignalverhalten. Die Gate-Source-Spannung bleibt konstant und man erhält einen konstanten Offset zwischen Ein- und Ausgangsspannung, der nicht wie bei einem Widerstand vom Grad der Aussteuerung abhängig ist. Die Spannungsverstärkung eines Sourcefolgers ist systembedingt kleiner als 1. Je höher der Wert des Source-Widerstandes als Last ausfällt, desto geringer fällt dieser Spannungsverlust aus. Der hohe Innenwiderstand der Stromsenke T2 als Last für T1 sorgt also für geringe Dämpfung.

Auf die FET Impedanzwandler folgen als 50Ω Treiber NPN Emitterfolger im A-Betrieb mit bipolaren HF Kleinleistungs-Transistoren. Für gute Linearität wird der Transistor mit einem Ruhestrom von ca. 60 mA betrieben. Am Ausgang sorgen R13/R14 für moderate Zwangsanpassung an ein 50 Ohm Koaxialkabel. Die gegenphasigen Signale vom Dipol werden im Transformator Tr1 zusammengeführt. Der Strombalun Tr2 verdrosselt die Verstärkerelektronik für hochfrequenten Wechselstrom. Dadurch wird der SIMWA für hochfrequente Wechselströme vom Potential des Mastes bzw. des Kabelschirms weitgehend entkoppelt.

Mit einer Kurzschluss-Steckbrücke auf der Pfostenleiste K4 kann zwischen lokaler Speisung (Brücke zwischen Pin 2-1) und Fernspeisung (Brücke zwischen Pin 2-3) umgesteckt werden.

Bei Fernspeisung muss der Pluspol der Fernspeisespannung auf dem Innenleiter des Koaxial-Kabels liegen. Die Breitbanddrossel L3 trennt den Signalweg von der DC-Versorgung. Über eine BNC Buchse wird das Koaxialkabel zum Empfänger angeschlossen. Über eine Fernspeiseweiche kann die Versorgungsspannung über das Koax-Kabel zugeführt werden. Masse/GND der Aktivelektronik ist über den Balun vom Erdpotential am Schirm der BNC-Buchse (Erde) für HF-Wechselströme getrennt.

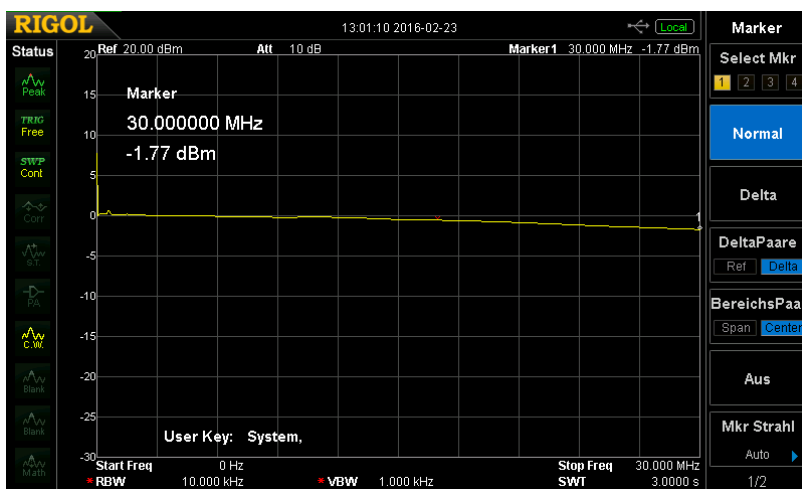


Bild 4 SIMWA - gemessener Frequenzgang bis 30 MHz - Der Verstärker ist bis 150 MHz einsetzbar.

#### 4. Schutzmaßnahmen, ESD

Insbesondere bei Außenmontage sind vor den Anschlussklemmen zum SIMWA Schutzmaßnahmen gegen atmosphärische Überspannungen angeraten.

Ein Schutz der Elektronik vor atmosphärischen Überspannungsimpulsen (ESD) ist auf der Leiterplatte nicht vorgesehen. ESD Schutz kann individuell und abhängig von der angeschlossenen Antenne den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden. Das belässt größtmögliche Flexibilität und ermöglicht eine konsequente Trennung zwischen GND/Betriebserde der Elektronik und ESD Erde.

Ein ESD Schutz erfolgt normalerweise mehrstufig als Grobschutz und als Feinschutz. Als Grobschutz können Antennenelemente über einen 90V Gas-Ableiter gegen Erde geschützt werden. Feinschutz kann mit kapazitätsarmen antiparallelen Dioden realisiert werden. Zur Ableitung von statischen Entladungen, die zu Prasselstörungen führen, helfen Ableitwiderstände gegen Erde.

Wichtiger Hinweis: Als Masseanschluss für ESD Schutzmaßnahmen nicht die Betriebs-Masse/GND der Aktivelektronik benutzen!

##### 4.1 Trennung zwischen Betriebsmasse und Erdung

Im symmetrischen Betrieb ist Betriebsmasse/GND der Aktivelektronik über den Balun Tr2 vom Erdpotential am Koaxschirm (Erde) für HF-Wechselströme entkoppelt. Vor den SIMWA geschaltete ESD Schutzmaßnahmen erfordern zur Ableitung einen direkten Erdanschluss mit dem geerdeten Mast oder mit dem Schirm des geerdeten Koaxialkabels.

##### 4.2 Einstrahlung durch starke Sendeanlagen:

Wird eine Aktiv-Antenne als Breitbandantenne in der Umgebung von starken Sendern wie z.B. UKW, TV oder BOS Sendern betrieben, kann es durch Übersteuerung im Verstärker zu unerwünschten Intermodulationsprodukten kommen. Dagegen hilft ein auf die jeweiligen Erfordernisse angepasste Eingangsselektion vor dem Verstärker. Ein Tiefpassfilter das den Empfangsbereich oberhalb von 50 MHz absenkt kann als UKW-Sperre hilfreich sein.

#### 5. Aufbau

Der SIMWA wird auf einer einseitig kupferkaschierten Leiterplatte mit den Abmessungen 80 x 50 mm aufgebaut. Bis auf die beiden Treibertransistoren T5 und T6 werden ausschließlich bedrahtete Bauelemente verwendet. Die Masseverbindungen sind über eine durchgehende Massefläche realisiert.

Es empfiehlt sich zuerst die beiden SMD Transistoren T5 und T6 unten auf der Leiterbahnseite zu bestücken (Bild 6). Danach werden die bedrahteten Bauteile von oben bestückt. Zuerst die flachen und zum Schluss die hohen Bauteile wie die BNC Buchse. Bei den FET-Transistoren darauf achten, dass die Anschlussdrähte über der Platine nicht länger als 4mm sind. Das Poti R8 zur Symmetrieeinstellung ist vor dem ersten Einschalten annähernd auf etwa die Mitte seines Einstellbereiches zu drehen.

Die Breitband-Drossel L3 für die Fernspeisung wird nach dem Wickelschema auf Bild 5 auf einen 13mm Ferrit Doppellockkern (Siemens N30 oder Amidon 73 Material) mit 3+7+3 Windungen gewickelt. Das ergibt eine Drosselinduktivität von ca. 1 mH. Die Wicklung erfolgt mit Kupferlackdraht der Stärke 0,25 bis 0,4mm. Beim

Wickeln ist darauf zu achten, dass die Lack-Isolation des Drahtes an den Kanten des Ferritkerns nicht beschädigt wird, es besteht die Gefahr, dass dadurch Wicklungen kurzgeschlossen werden. Ideal als Wickeldraht eignen sich an dieser Stelle mehrschichtig isolierte Drähte, wie Rupatex von Pack.

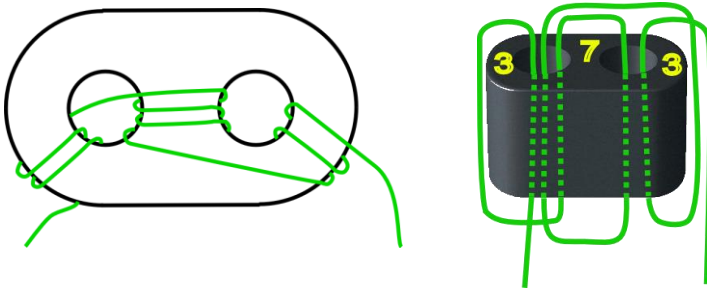


Bild 5 - Wickelschema L4 Breitband Drossel

Der Strombalun (Gleichtaktdrossel) Tr2 an der Schnittstelle zum Koaxkabel sorgt für die hochfrequente Entkopplung vom HF-Massepotential am Kabelschirm. Hierzu werden 2 mal 13 Windungen Kupferlackdraht 0,4mm verdreht auf einen 10mm Siferit N30 Ringkern mit hoher Permeabilität gewickelt.

Das Bild rechts zeigt beispielhaft die Wicklung. Zur besseren Anschaulichkeit ist der Wicklungsanfang mit einem Großbuchstaben, das Wicklungsende mit einem Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Die Wicklung ist symmetrisch - Anfang und Ende können vertauscht werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die A und B Wicklungen nicht über Kreuz vertauscht werden. Es empfiehlt sich, den Balun Tr2 und die Fernspeisedrossel L3 mit etwas PE-Heißkleber auf der Leiterplatte zu fixieren.

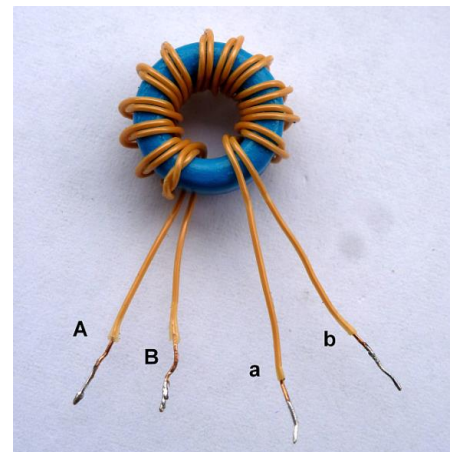


Bild 6 - Aufbauhinweis Strombalun

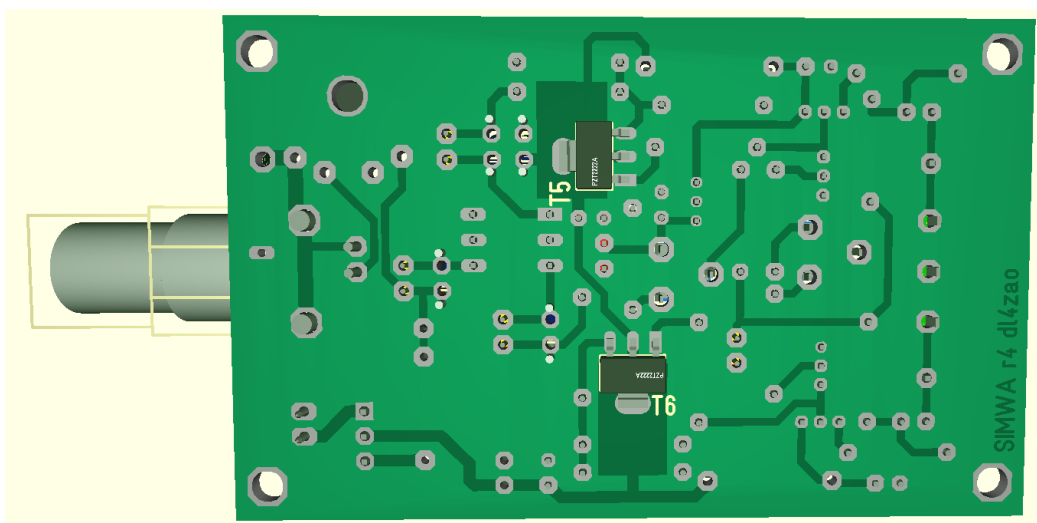


Bild 7 – Leiterplatte SMD Bestückung von unten (Leiterbahnseite)

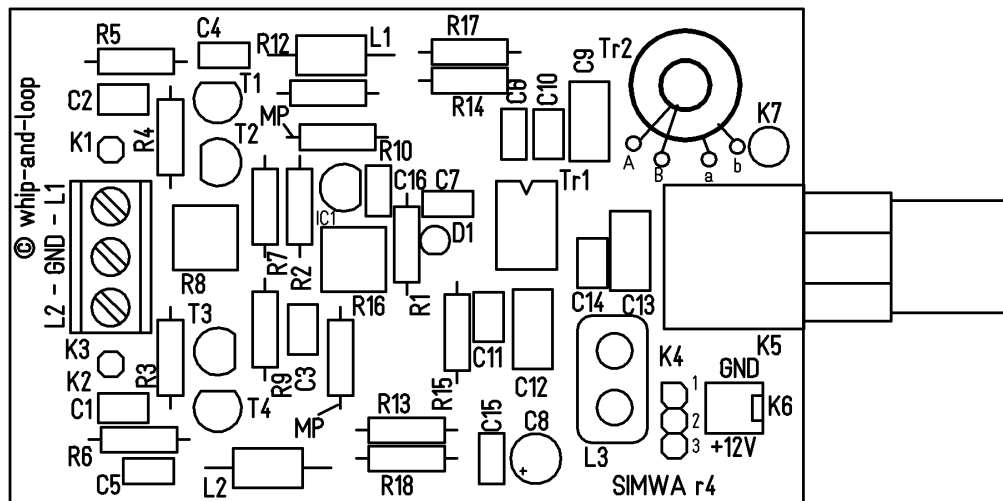


Bild 8 – Leiterplatte - Bestückungseite oben (mit Durchsicht auf Leiterbahnseite)

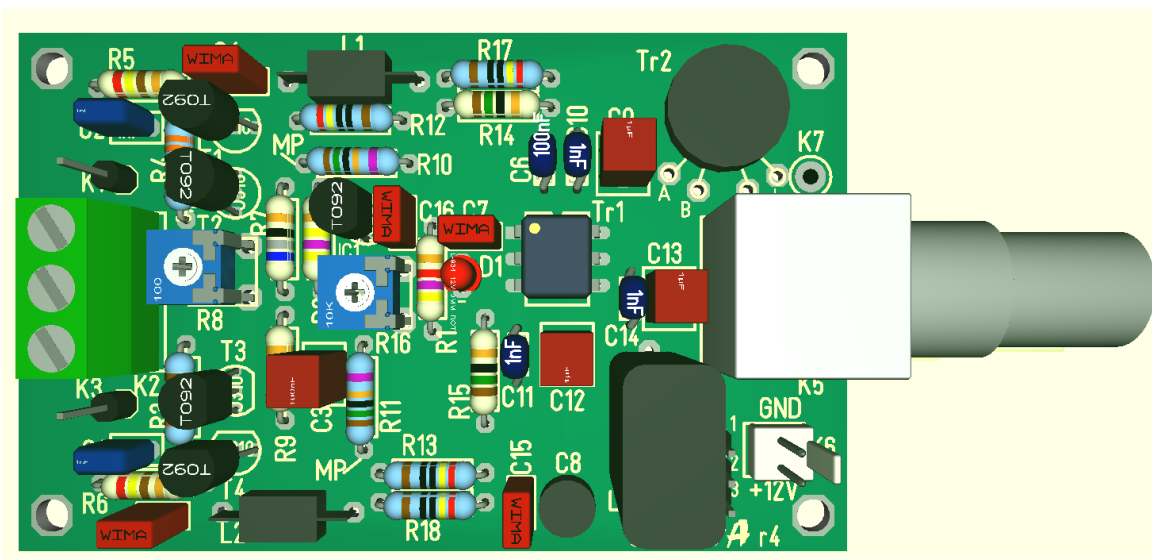


Bild 9 – Leiterplatte – Bestückung oben 3D

## 6. Inbetriebnahme

Vor der 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. Die beiden Potis stellt man etwa auf Mittelstellung.

Die Betriebsspannungs-Versorgung kann entweder lokal über den DC-Anschluss Pfosten K6 oder per Fernspeisung über das Koaxialkabel erfolgen. Dabei auf die richtige Polarität achten: der Pluspol muss auf Pin 1 der Pfostenleiste K5 bzw. bei Fernspeisung auf dem Innenleiter des Koaxialkabels gelegt werden. Mit einer Kurzschluss-Steckbrücke auf der Pfostenleiste K4 kann zwischen lokaler Speisung (Brücke zwischen Pin 2-1) und Fernspeisung (Brücke zwischen Pin 2-3) umgesteckt werden. Die stabilisierte DC Speisespannung darf zwischen 12 bis 13, 8V betragen.



Für die erste Inbetriebnahme empfiehlt sich die lokale Speisung mit einem stabilisierten Netzgerät mit einstellbarer Spannung und Strombegrenzung. Die Strombegrenzung wird auf ca 200mA eingestellt. Dann die Spannung langsam von 0 auf 12V hochregeln. Wenn die Spannung dabei zusammenbricht ist ein Fehler vorhanden, der behoben werden muss.

Wenn alles in Ordnung ist, leuchtet die Betriebsanzeige D1, die Gesamtstromaufnahme soll typisch 110 bis 130 mA betragen. Als nächstes erfolgt die Einstellung des Gate-Vorspannung der FETs. Hierzu wird mit einem Spannungsmesser an den Messpunkten (MP) an R10 und R11 die Spannung gemessen. Mit Poti R16 stellt dort eine Spannung um ca. 6V ein. Danach wird mit Poti R8 DC-Symmetrie eingestellt, hierzu die Spannung an den Messpunkten R10 und R11 abwechselnd messen und auf gleiche Spannung auspegeln.

Stimmen alle Spannungen kann ein Empfänger angeschlossen werden. Beim Anschluss eines kurzen Drahtstückes an die Antennenklemme muss sich eine deutliche Zunahme des Empfangsrauschens feststellen lassen.

## 7. Anschließbare Antennenelemente

- Magnetic Loop im Resonanzbetrieb - selektive, mit einem Drehkondensator zum Parallelschwingkreis ergänzte Schleifen-Antennen..
- Elektrisch kurze Dipole als E-Feld Breitbandantenne. Als Dipolelemente können Drähte, rechteckige Flächen, Stäbe oder Rohre aus Metall verwendet werden.
- Unsymmetrischer Betrieb als E-Feld Breitbandantenne mit einem elektrisch kurzen Monopol (wie MiniWhip). In diesem Falle ist der nicht benutzte Verstärkereingang mit dem Masseanschluss der Antennenklemme zu brücken. GND/Masse des SIMWA ist in dieser Betriebsart mit einem ausreichend großen Gegengewicht oder dem geerdeten Mast als Bezugspotential zu verbinden.

## 8. Fernspeisung

Für die Zuführung der Betriebsspannung über das Koaxkabel ist eine Fernspeiseweiche erforderlich. Zur Versorgung wird eine stabilisierte und geglättete Gleichspannung zwischen 12 und 14 Volt benötigt. Das Netzteil soll mindestens 200mA Strom liefern können. Der Pluspol der Versorgungsspannung muss auf dem Innenleiter 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.

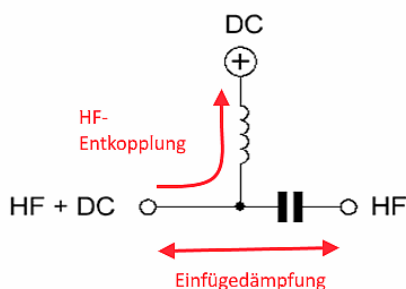


Bild 10: Prinzip einer Fernspeiseweiche

Es kann im Grunde jede Fernspeiseweiche verwendet werden, die die vorstehend genannten Anforderungen erfüllt und für den genutzten Frequenzbereich geeignet ist. Die Bauanleitung einer universellen Fernspeiseweiche (Whip-Tee) kann hier heruntergeladen werden:

<http://www.dl4zao.de/projekte/index.html#a1398>

## 9. Aufstellung und Betrieb

Bei Aktivantennen die vorzugsweise auf die elektrische Feldkomponente ansprechen ist eine Anbringung außerhalb des Störnebels wichtig. Die empfindliche Feldsonde nimmt Nahfeldstörungen aus häuslichen und industriellen Störquellen wie von Schaltnetzteilen, TV-Geräten, Energiesparlampen und Modems auf. Viele Störungen erreichen den Empfänger auch leitungsgebunden über den Schirm des Koaxialkabels. Hier können HF-gerechte Erdung des Kabelschirms und Mantelwellensperren im Leitungsweg zur Störminderung beitragen. [7], [8],

Die Empfangsspannung (Signal + Rauschen) nimmt mit der Höhe über Grund zu. Das Augenmerk ist dabei mehr auf einen guten Signal/Rauschabstand zu richten und weniger auf den absoluten Ausschlag des S-Meters.

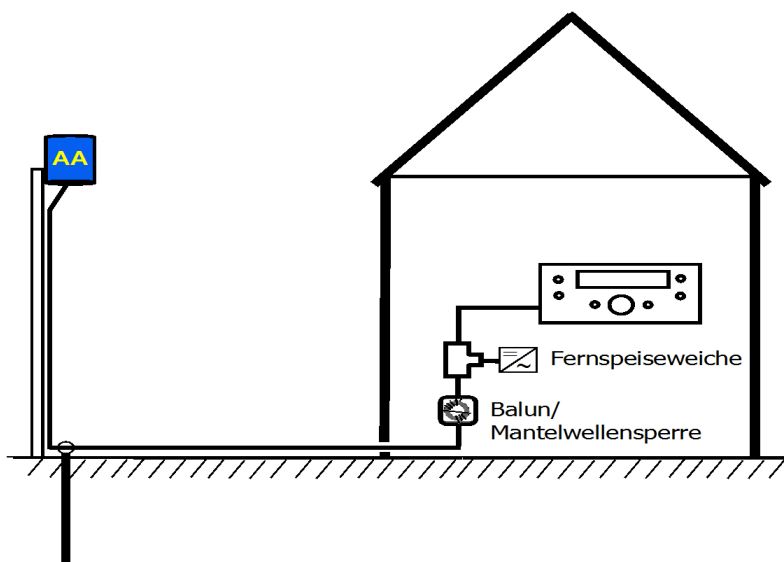


Bild 11 – SIMWA als E-Feld Dipol-Aktivantenne - Aufstellung außerhalb des häuslichen Störnebels

Bei einer dauerhaften Montage der Aktivantenne soll der Masseanschluss am Außenleiter der Koaxbuchse mit einem Erder oder dem geerdeten Montagemast verbunden werden. Eine Erdverbindung ausschließlich über den Koax-Schirm über eine Erdverbindung im Shack bietet keinen Schutz. Zudem besteht die Gefahr, dass durch eine „schmutzige Erde“ zusätzlich Störungen aufgenommen werden [8].

Wird der SIMWA als Verstärker an einer magnetische Antenne wie z.B. an einer selektiven, abgestimmten Loop betrieben, ist wegen der größeren Unempfindlichkeit einer magnetic Loop gegenüber elektrischen Nahfeld-Störungen mit gewissen Einschränkungen Indoor-Betrieb möglich. In diesem Fall kann auf eine Erdung verzichtet werden.

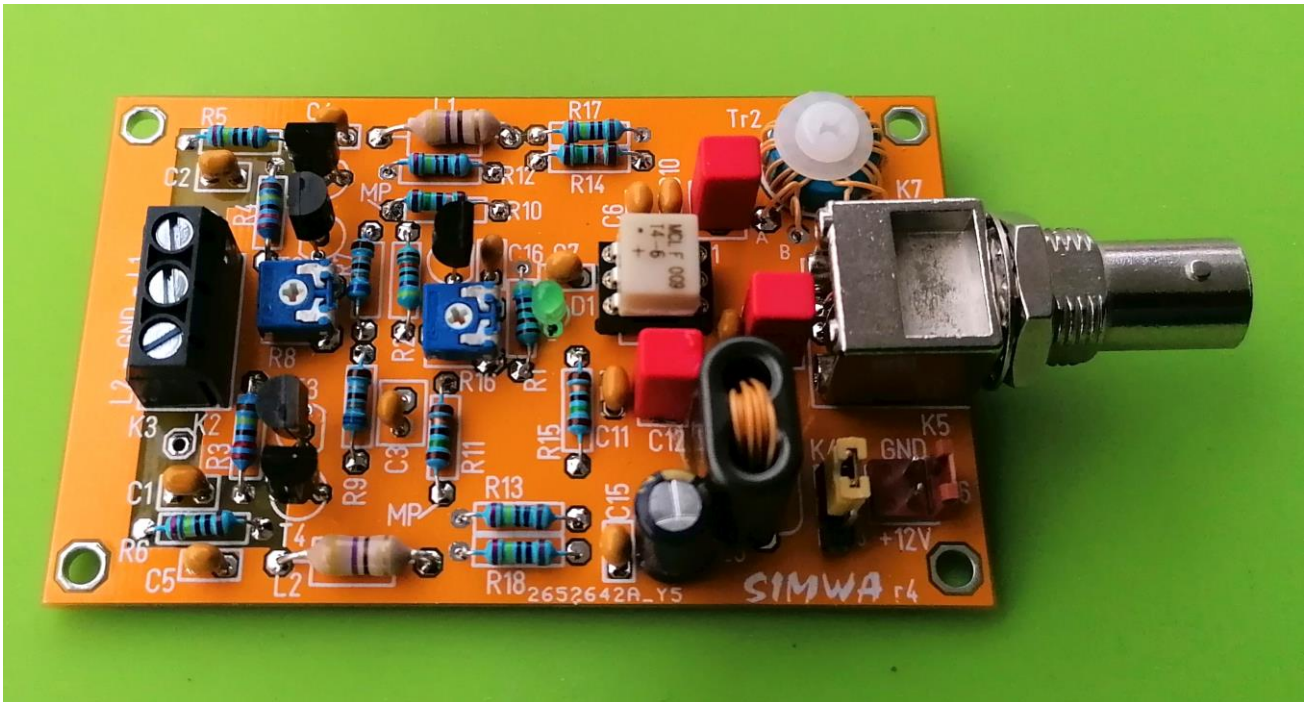


Bild: bestückte Leiterplatte

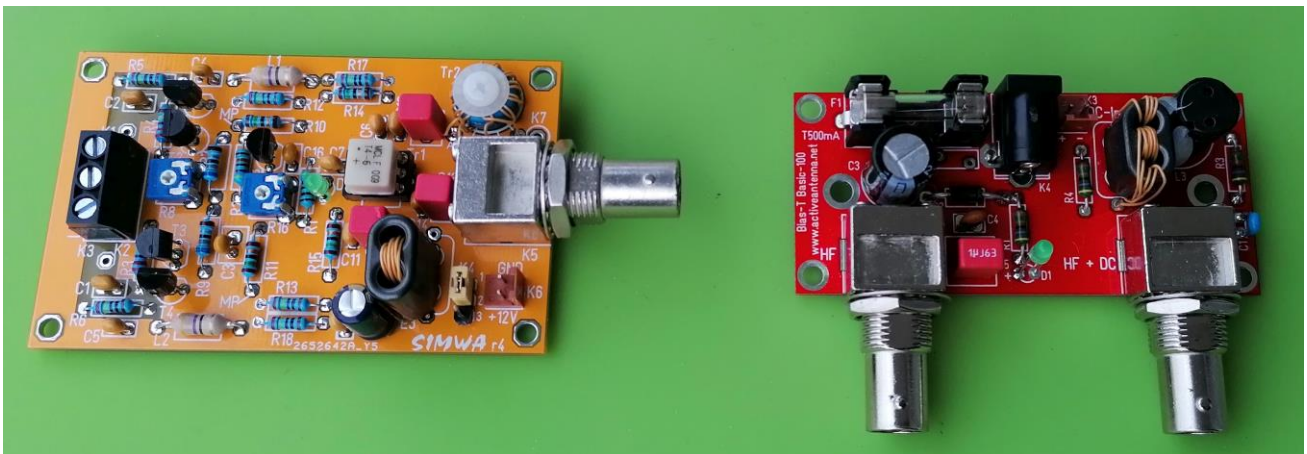


Bild. SIMWA mit Fernspeiseweiche Bias-T Basic 100

## 10. Referenzen

- [1] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, ["Whip und Loop – Aktivantennen für den Empfang"](#).
- [2] Hans-Joachim Brandt, DJ1ZB, „Aktive Antenne mit Mastentkopplung“, CQ-DL 4/2011.
- [3] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, ["M-Whip Aktivantenne"](#).
- [4] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, [„Fundamentals of the Mini-Whip Antenna“](#)
- [5] Owen Duffy, VK1OD, "How does the PA0RDT Mini-Whip work".
- [6] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, ["Capacitance of Antenna Elements"](#)
- [7] Chavdar Levkov, LZ1AQ ["Reducing the Noise in Dipole Mode with Common Mode Filter"](#)
- [8] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, ["Grounding of MiniWhip and other active whip antennas"](#)
- [9] Gerd Janzen "Kurze Antennen", Kosmos 1986, ISBN: 3440054691.

**11 Stückliste**

Pos	Anzahl	Name	Wert	Bezugsquelle / Hersteller	Typ, Gehäuse, Rastermaß,
1	5	C1,C2,C10,C11,C14	1nF Keramik, NP0	Reichelt	Keramik RM2,54
2		-			
3	7	C3,C4,C5,C6,C7,C15,C16	100nF Keramik Vielschicht	Reichelt	Keramik X7R, RM2,54
4	1	C8	22µF	Reichelt	Elko >35V 5000h, RM2,54
5	3	C9,C12,C13	1µF PET Folienkondensator	Reichelt/WIMA	Wima MKS02, 50V, 4x8mm, RM2,54mm
6	1	IC1	78L08, 8V Spannungsregler	Reichelt	TO92
7		-			
8	1	K1	Schraub-KLEMME 3POL	Reichelt	AKL057-03, RM 5,08
9	2	K2,K3	Stiftleiste_1x01_G_2,54	Reichelt	Stiftleiste_1x01_G_2,54
10	1	K4	Steckbrücke 3pol.	Reichelt	Stiftleiste_1x03_G_2,54 + Umsteckbrücke
11	1	K5	BNC Printbuchse UG 1094W1	Reichelt	BNC-BUCHSE_ABGEWINKELT
12	1	K6	PSS254/2G	Reichelt	LP Steckverbinder PSS254/2G
13	1	K7	Lötpunkt	nn	LOETPUNKT
14	2	L1,L2	47µH SMCC	Reichelt	Drossel axial Fastron SMCC 47µ, RM 12,7mm
15	1	L3	Breitband Drossel	Ferrit: Reichelt/Eigen	Drossel Eigen, auf Doppellochkern BN73-202
16	1	D1	L-934GD-12V	2,54, d=3mm	LED mit integr. Vorwiderstand
17	1	R1	4,7K	Reichelt	0207
18	1	R2	470K	Reichelt	0207
19	2	R3,R4	2M	Reichelt	0207
20		-			
21	1	R8	100 Ω Trimpoti	Reichelt	Trimpoti RM 5/2,5, ACP CA6V
22	2	R7, R9	68	Reichelt	0207
23	4	R5,R6,R12,R13,R17,R18	240	Reichelt	0207
24	4	R10,R11,R14,R15	15	Reichelt	0207
25	1	R16	10KΩ Trimpoti	Reichelt	Trimpoti RM 5/2,5, ACP CA6V
26	4	T1,T2,T3,T4	J310	Box73	TO92
27	2	T5,T6	PZT2222A	NXP	SOT223 SMD
28	1	Tr1	T1-6T-X65+, HF-Trafo 0,015-300MHz	box73 / Mini-Circuits	alternativ T1-1T-X65+ Freq: 80kHz – 200MHz
29	1	Tr2	BalUn	Reichelt RIK10	Eigen, auf Ringkern Epcos B64290L38X830
30	1	Leiterplatte	80 X 50mm		