

Whip und Loop

Aktive Antennen für den Empfang

- Antennen-Basics
- Funktion
- Schaltungstechnik
- Selbstbau
- Aufstellung und Betrieb

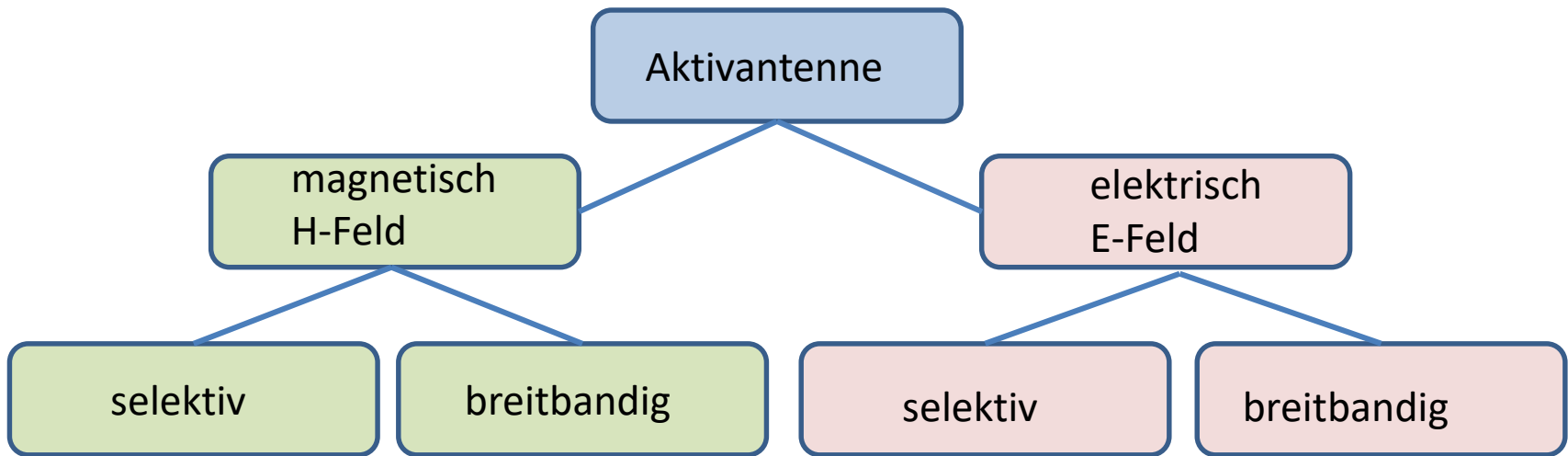
von elektrischen und magnetischen
Aktivantennen

Günter Fred Mandel, DL4ZAO
www.dl4zao.de

Themen-Übersicht

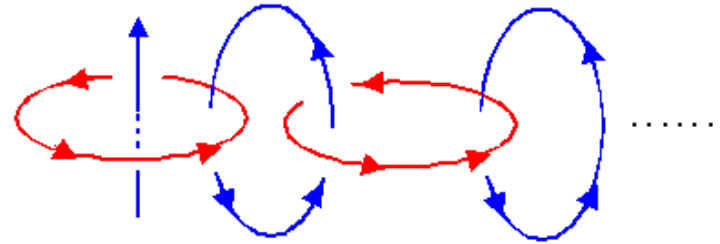
- ⇒ Elektromagnetische Wellen
- ⇒ Antennen Grundbegriffe
- ⇒ S/N Signal / Rauschverhältnis
- ⇒ Eigenschaften Kurzer Antennen
- ⇒ Elektrische und magnetische Antennen
- ⇒ E-Feld Aktivantenne
 - ⇒ Eigenschaften, Schaltungstechnik, Aufstellung
- ⇒ H-Feld Aktivloop
 - ⇒ Eigenschaften, Schaltungstechnik, Aufbau
- ⇒ Aufstellung und Betrieb
- ⇒ Referenzen und weiterführende Literatur

Einteilung unterschiedlicher Aktivantennen



Elektromagnetische Wellen

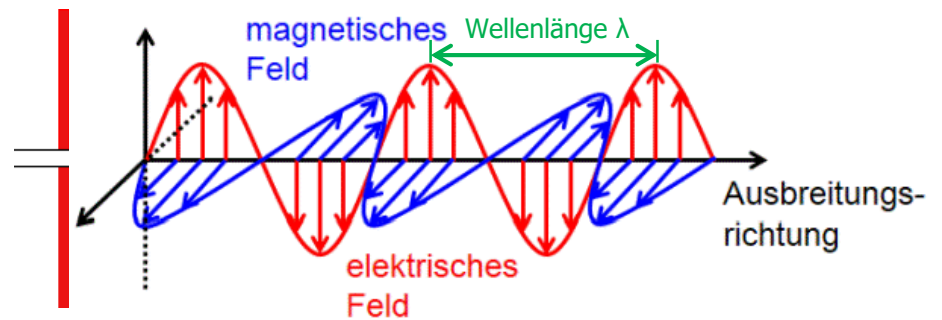
Werden Ladungen bewegt, entsteht eine **elektromagnetische Welle** aus gekoppelten elektrischen und magnetischen Feldern, die sich im Raum fortpflanzt.



Elektromagnetische Wellen bestehen immer aus zwei Feld-Komponenten:

- **E-Feld** (elektrisches Feld,) und
- **H-Feld** (magnetisches Feld,)

Die Größe der elektrischen Feldstärke V/m und der magnetische Feldstärke A/m einer Welle sind über den Feldwellenwiderstand fest miteinander verknüpft.



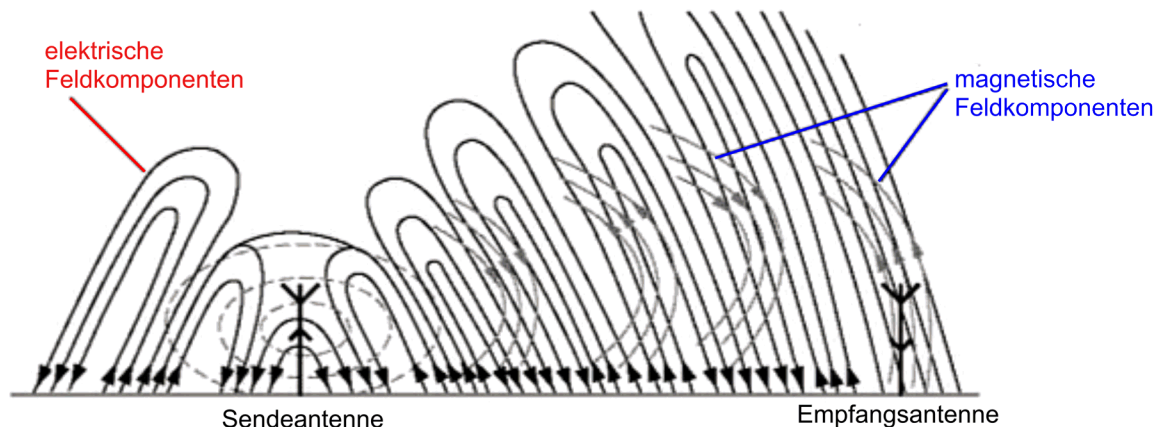
Im Fernfeld: Elektrisches und magnetisches Feld sind in Phase. Sie stehen senkrecht zueinander und senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

Der Feldwellenwiderstand ist eine charakteristische Größe des Übertragungsmediums. Im freien Raum oder in Luft beträgt der Feldwellenwiderstand 377 Ohm.

Die Antenne

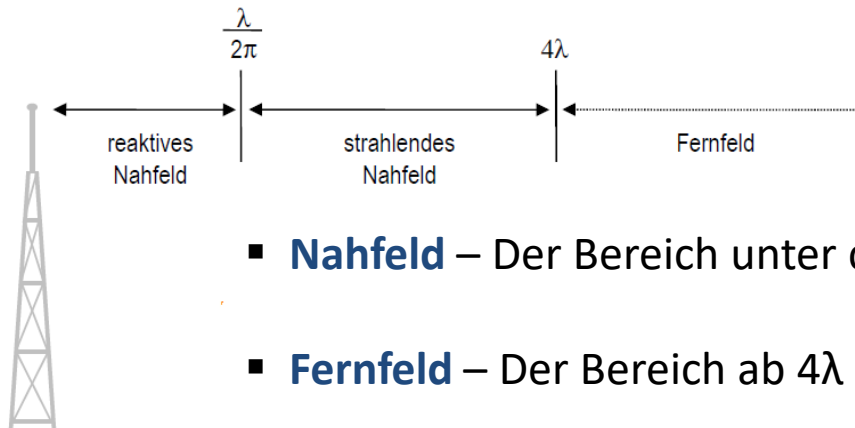
Die Antenne ist das Verbindungsglied zwischen den Wellen im freien Raum und den leitungsgeführten Signalen vom Sender oder zum Empfänger.

- Im **Sendefall** wandelt die Antenne die ihr zugeführte Energie möglichst effizient in elektromagnetische Wellenfelder um, die sich im Raum ausbreiten.
- Im **Empfangsfall** nimmt die Antenne aus einem elektromagnetischen Wellenfeld Energie auf und stellt diese an ihren Anschlussklemmen zur Verfügung.



Die Strahlungseigenschaften einer (passiven) Antenne sind im Sende- und Empfangsweg gleich. Sie verhält sich reziprok (Reziprozitätsprinzip).

Feldzonen um eine Antenne



- **Nahfeld** – Der Bereich unter ca $0,16\lambda$ um die Antenne
- **Fernfeld** – Der Bereich ab 4λ um die Antenne

Im Nahfeld und einer Übergangszone lösen sich die Wellen von der Antenne ab. Hier sind sehr komplizierte elektrische Verhältnisse anzutreffen [1].

Im Fernfeld hat sich die Welle von der Antenne abgelöst und breitet sich im Raum aus. Die magnetischen und elektrischen Feldkomponenten der elektromagnetischen Welle sind in Phase. Die Feldkomponenten weisen ein festes Verhältnis zueinander auf; sie sind über den Feldwellenwiderstand 377Ω miteinander verkoppelt [1].

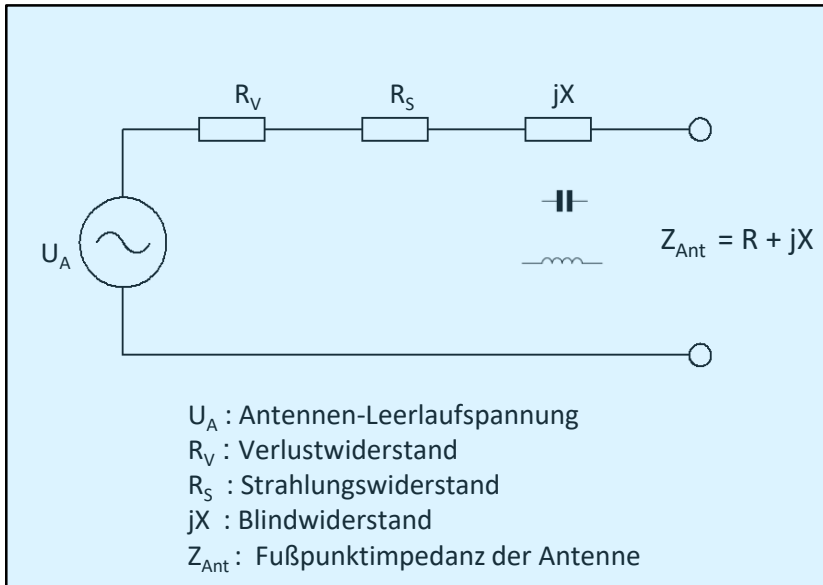


Felder beschreiben Zustände des Raumes. Man veranschaulicht den Verlauf der Feldstärke-Vektoren durch gedachte Feldlinien.

Verändern sich Felder über die Zeit t , spricht man von Wechselfeldern.

Elektromagnetische Wellen sind Wechselfelder. Sie bestehen immer aus zwei Feldkomponenten: eine elektrische (E) und eine magnetische (H) Komponente.

Ersatzschaltbild einer Antenne



Bei der Resonanzfrequenz wird die Fußpunktimpedanz Z_{Ant} der Antenne reell, der Blindwiderstandsanteil jX verschwindet. $jX = 0$

Oberhalb der Resonanz weist sie zusätzlich einen induktiven Blindwiderstand jX_L auf (Strahler zu lang).

Unterhalb weist sie zusätzlich einen kapazitiven Blindwiderstand $-jX_C$ auf (Strahler zu kurz).

Bei der Abstrahlung wird Energie verbraucht, die der Generator ersetzen muss. Der **Strahlungswiderstand** R_S ist der rechnerische Wert eines Widerstands, der die HF-Leistung aufnimmt und abstrahlt. Der Strahlungswiderstand ist abhängig von den geometrischen Abmessung der Antenne (l/λ) und wird von der Dicke des Strahlers (Schlankheitsgrad) und der Antennenhöhe über Grund beeinflusst.

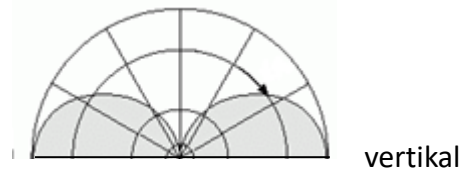
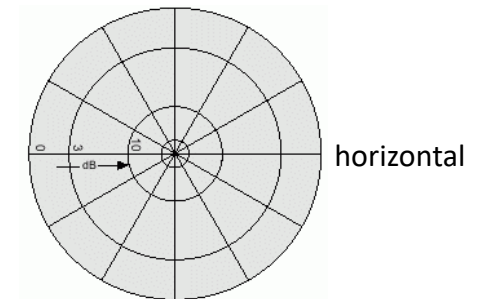
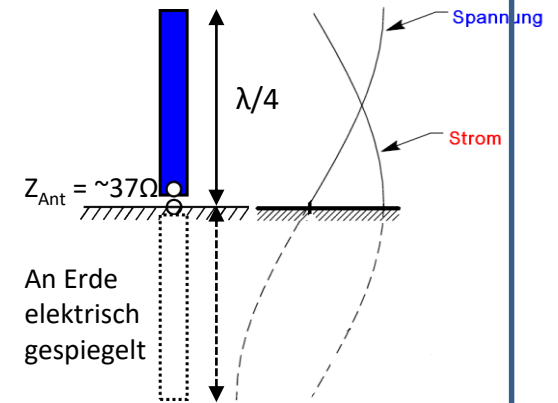
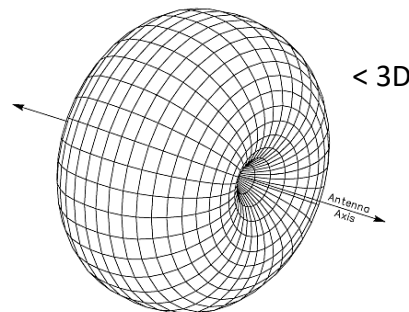
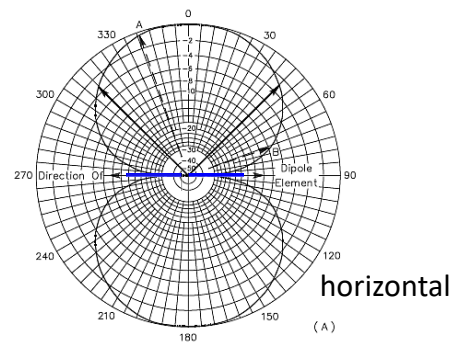
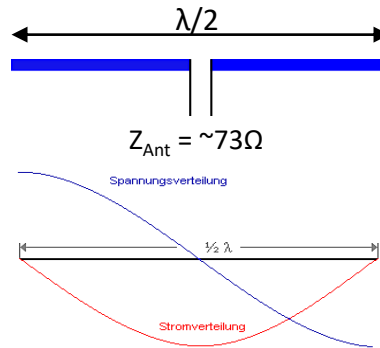
Der **Verlustwiderstand** R_V fasst alle ohmsche Verluste zusammen, er wandelt Leistung in Wärme um. Er besteht hauptsächlich aus den ohmschen Verlusten der metallischen Leiter (Skin-Effekt).

Der **Blindwiderstand** jX einer Antenne wird durch Energiependelungen im Nahfeld verursacht.

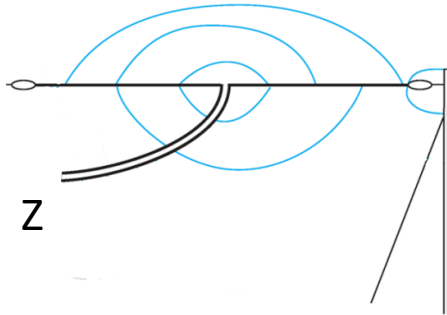
Halbwellendipol und Viertelwellen-Monopol

Kenngrößen von Antennen:

- Polarisisation
- Strahlungsdiagramm (horizontal/vertikal)
- Gewinn
- Strahlungswiderstand
- Fußpunktimpedanz
- Nutzbare Bandbreite
- Wirkungsgrad
- Antennenfaktor (Empfang)



Antenne als Scheinwiderstand (Impedanz)

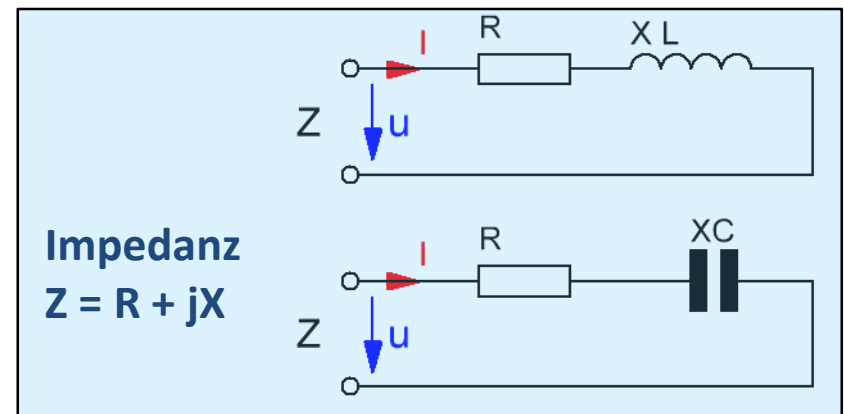


Eine Antenne wirkt nur bei ihren Resonanzfrequenzen wie ein reeller ohmscher Wirkwiderstand R . Auf den Frequenzen darüber und darunter verhält sie sich wie eine Kombination aus reellem Widerstand und einem Blindwiderstand (Induktivität oder Kapazität).

Nur ein reeller Widerstand setzt Energie um. Ein Blindwiderstand speichert Energie und gibt sie wieder ab. Blindwiderstände werden deshalb auch als imaginäre Widerstände bezeichnet und mit einem vorangestellten „j“ gekennzeichnet.

Induktive Blindwiderstände erhalten ein positives Vorzeichen ($+jX$), kapazitive Blindwiderstände ein negatives ($-jX$).

Eine Kombination aus einem Wirkwiderstand R und einem Blindwiderstand $+jX_L$ oder $-jX_C$ nennt man Scheinwiderstand oder Impedanz.



Blindwiderstände sind Wechselstromwiderstände, ihr Wert ist frequenzabhängig:

$$X_{L(Ohm)} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_{C(Ohm)} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

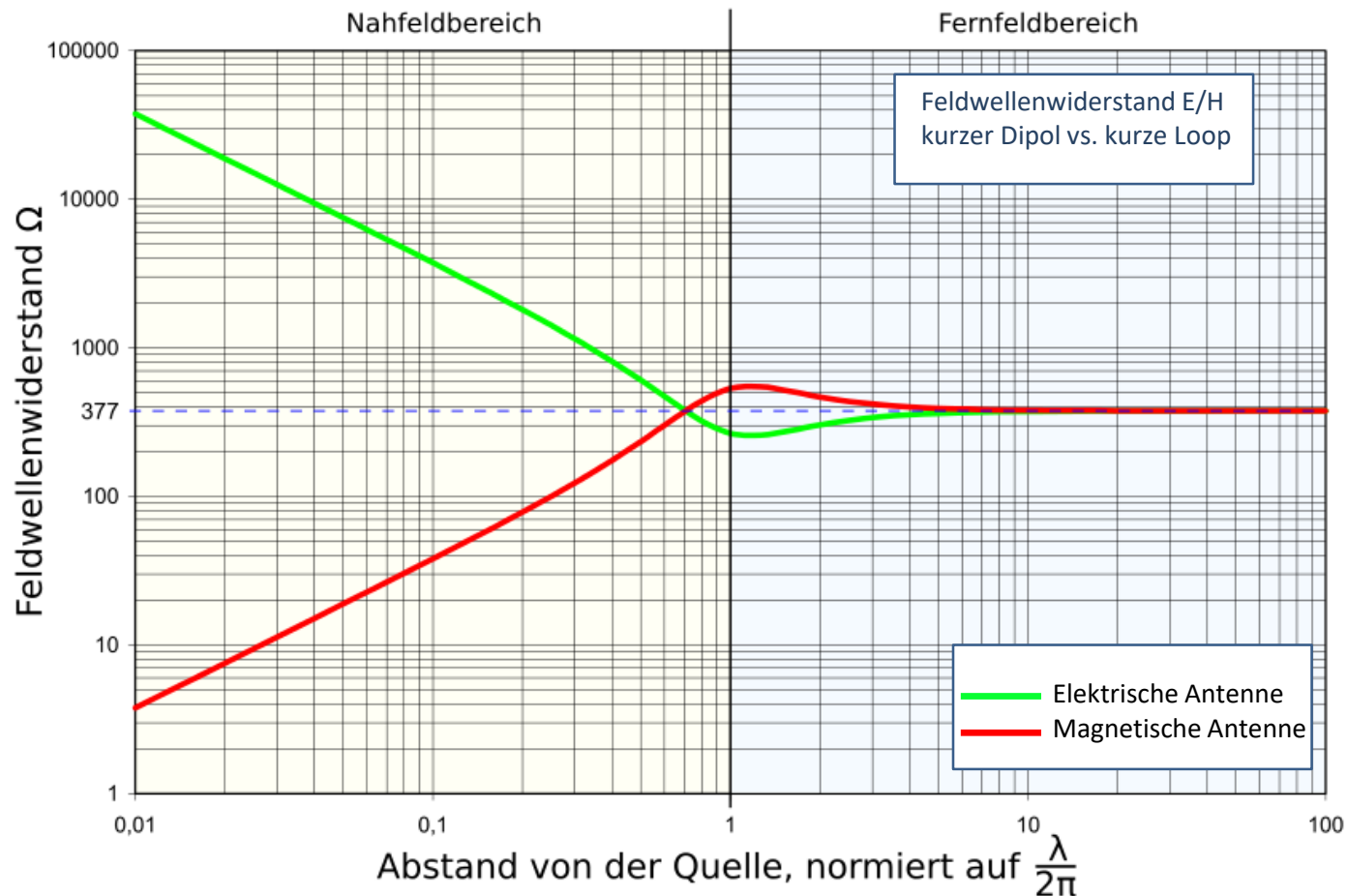


kurze Antennen ($l \ll \lambda$)

- Eine Antenne wird als "kurz,, bezeichnet, wenn die tatsächliche geometrische Länge oder ihr Umfang kürzer als etwa 15% ($0,15\lambda$) ihrer Betriebswellenlänge sind [5].
- Ein kurzer Dipol oder Monopol reagiert im Nahfeld bevorzugt auf das E -Feld (elektrische Antenne)
- Eine kurze Schleife (Loop) reagiert im Nahfeld bevorzugt auf das H -Feld (magnetische Antenne, magnetischer Dipol)

elektrische und magnetische Antennen

Elektrische und magnetische Antennen unterscheiden sich im Nahfeld-Feldwellenwiderstand
Kurzer Dipol oder Monopol: vorzugsweise E-Feldkomponente \Rightarrow elektrische Antenne, hochohmig
Kurze Loop: vorzugsweise H-Feldkomponente \Rightarrow magnetische Antenne, niederohmig



Wirkfläche A_W und effektive Höhe h_{eff}

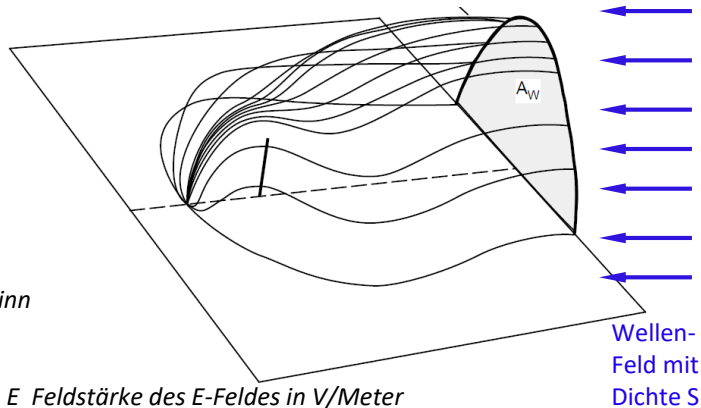
Die Wirkfläche A_W beschreibt die Energie, die eine Antenne aus dem elektromagnetischen Wellenfeld entnehmen kann. A_W ist ein Proportionalitätsfaktor, eine fiktive Fläche durch die der ankommenden Welle Leistung entnommen wird, er ist proportional zum Gewinn einer Antenne:

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

λ 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 377Ω
 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 : $P_{Ant} = S \times A_W$

kurzer Monopol

Eine Monopol wird als "elektrisch kurz" bezeichnet, wenn die Antennenlänge deutlich kürzer als ein Viertel der Betriebswellenlänge ist. (Strahlerlänge $h_S \ll \lambda/4$)

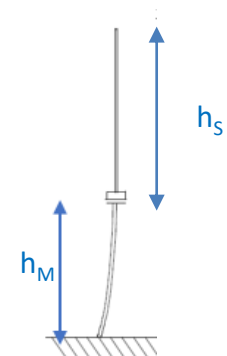
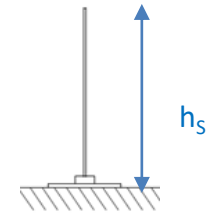
Die Leerlauf-Antennenspannung u (EMK) eines vertikalen kurzen Monopols ist abhängig von seiner Länge und bei Montage auf einem Mast, von der Höhe des Mastes: $u = E \cdot h_{\text{eff}}$

Bei Monopolen direkt auf dem Boden mit der Strahlerlänge h_S ist die wirksame Antennenhöhe h_{eff} gleich der halben Höhe des Strahlers $h_{\text{eff}} = \frac{1}{2} h_S$

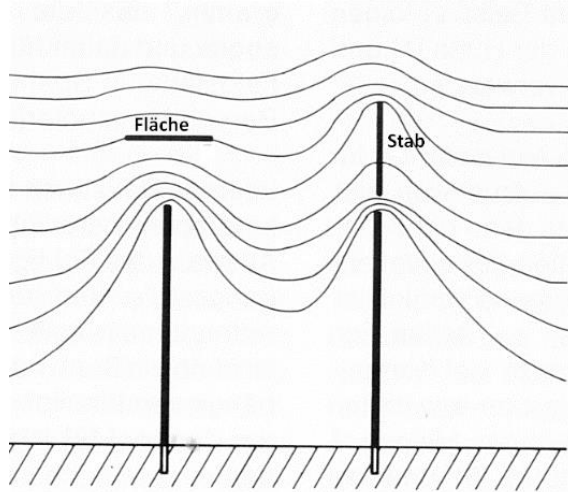
Eine Miniwhip mit einer Platte als Antennenelement ist nichts anderes als ein Monopol mit einer sehr kurzen Strahlerlänge h_S .

Wird die Antenne erhöht auf einem Mast montiert, ist die wirksame Antennenhöhe $h_{\text{eff}} = \frac{1}{2} h_S + h_M$.

Die Masthöhe wird maßgeblicher Bestandteil der Antenne



Feldverzerrungen durch Mast und Kabel



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 (Äquipotenzialflächen)

Die Grafik zeigt die Feldverzerrungen der Äquipotenzialflächen, wie sie durch einen geerdeten Mast oder durch den mit Erde verbundenen Schirm des Koaxialkabels verursacht werden

Eine kleine Platte oder Fläche als Antennenelement stört den Feldverlauf nur unwesentlich, sie nimmt das Potential der Umgebung an.

Ein vertikaler Stab verzerrt das Feld geringfügig. Er nimmt das mittlere Potential des Feldes seiner Umgebung an.

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

Die vorstehenden Überlegungen gelten unter der Voraussetzung, dass die Höhe des Mastes über Grund und die Länge des Antennenelements kurz im Vergleich zur Wellenlänge sind ($<0,15\lambda$), und das zu empfangende Signal vertikal polarisiert ist. Diese Voraussetzungen sind für Aktivantennen im Bereich von VLF bis zum unteren KW-Bereich normalerweise gegeben..

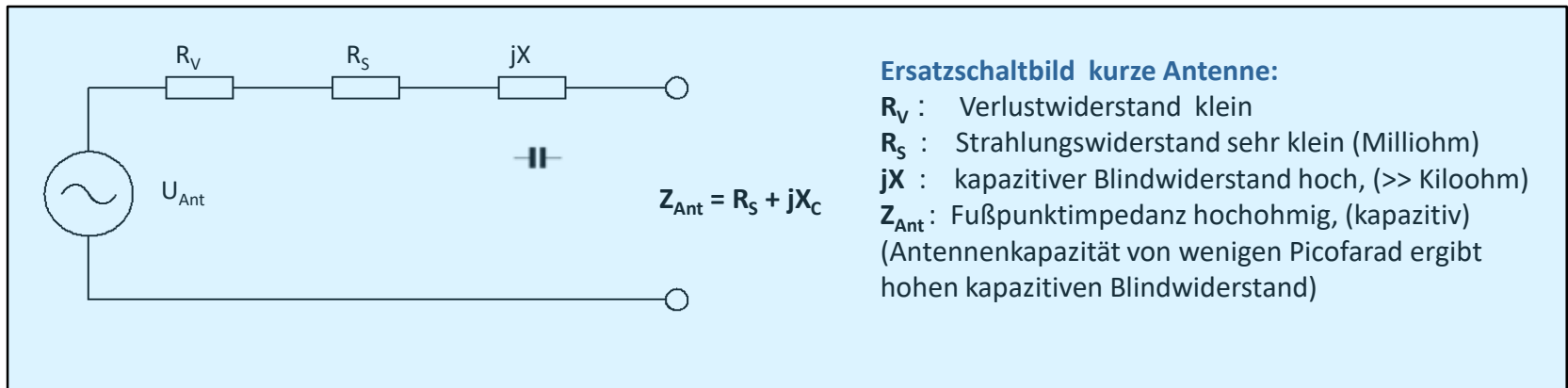
Kurzer Dipol – elektrische Eigenschaften

Ein elektrisch kurzer Monopol oder Dipol reagieren im Nahfeld sensitiv auf den elektrischen Anteil einer EM-Welle. Daher die Bezeichnung als E-Feld Antenne.

Eine elektrisch kurze ($l \ll \lambda$) Antenne weist eine kapazitive Fußpunktimpedanz auf, jX_C wird sehr groß, der Strahlungswiderstand R_S dagegen sehr klein.

➤ Strahlungswiderstand eines elektrisch kurzen Monopols der Länge l : $R_S = 395 \cdot \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$

➤ Strahlungswiderstand eines elektrisch kurzen Dipols der Länge l : $R_S = 790 \cdot \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$



⇨ Z_{Ant} wird im Wesentlichen vom kapazitiven Blindwiderstand X_C bestimmt


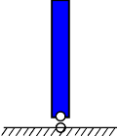
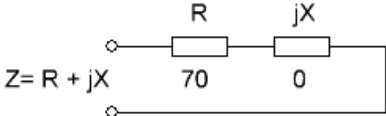
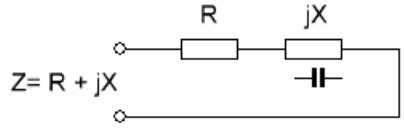
???

Eine elektrisch stark verkürzte Antenne bringt also nur eine etwa 10% geringere Empfangsleistung als ein Viertelwellenstrahler.
Warum plagen wir uns dann mit Full-Size Antennen ab?



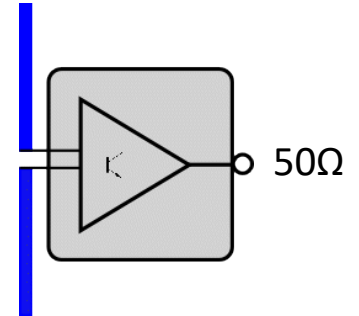
Die Leistung kann von der Antenne nur abgegeben werden, wenn die angeschlossene Last angepasst ist!

Herausforderung: Anpassung an 50Ω

 <p style="text-align: right;">$\lambda/2$ Dipol</p>	 <p style="text-align: right;">Kurzer Monopol $l \ll \lambda$</p>
<p>Länge $l = 2 \times 10\text{m}$</p>	<p>Länge $l = 50\text{cm}$ ($\approx 5\text{pF}$)</p>
<p>Frequenz : 7 MHz ($\lambda = 40\text{m}$) $l/\lambda = 0,5$</p>	<p>Frequenz : 7 MHz ($\lambda = 40\text{m}$) $l/\lambda = 0,0125$</p>
<p>Richtfaktor/Gewinn: 1,64 Wirkfläche A_W : 209</p>	<p>Richtfaktor/Gewinn: 3 Wirkfläche A_W : 382</p>
 <p>Impedanz, Z : $R \approx 70\Omega$</p>	 <p>Impedanz, Z: $R = 0,06\Omega$ $jX_C = 4,5K\Omega$ (kapazitiv)</p>
<p>Um die Resonanz bei 7 MHz gute Anpassung an 50Ω, VSWR = 1,3</p>	<p>Breitbandig gravierende Fehlanpassung VSWR = ∞ Problem: konjugiert komplexe Anpassung an 50Ω</p>
<p>schmalbandige Anpassung ohne zusätzliche Maßnahmen für Sendung und Empfang, mit Antennentuner auch höhere Bandbreite</p>	<p>Impedanzwandlung: hochohmig \Rightarrow 50Ω möglich mit aktiver Elektronik. Lösung: Aktivantenne (nur Empfang) Vorteil: breitbandig VLF ...VHF</p>

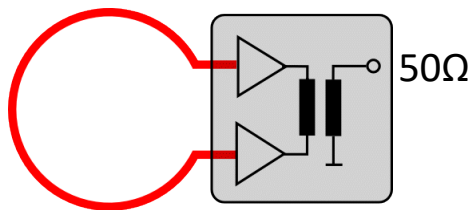
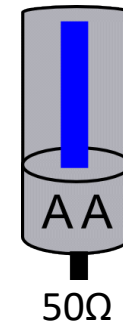
Was ist eine Aktivantenne?

In einer Aktivantenne ist ein aktives Verstärkerelement direkt im Anschlusspunkt eines kurzen Antennenelements integriert und sorgt für breitbandige Anpassung an $50\ \Omega$. Das Reziprozitätsprinzip gilt in diesem Falle nicht mehr.



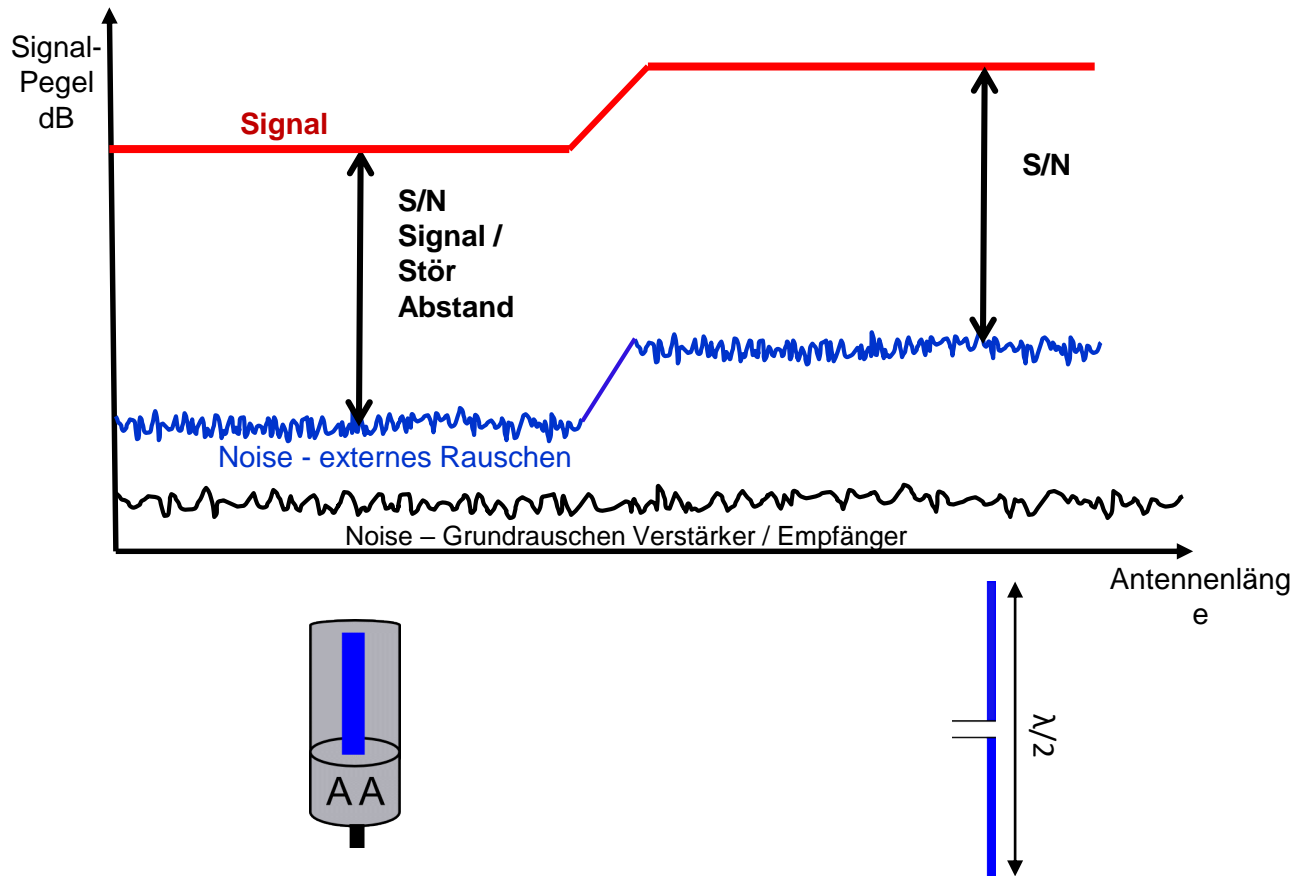
Aktiv-Antennen teilt man in zwei Gruppen:

➤ Aktiv-Antennen, die vorzugsweise die elektrische Komponente der elektromagnetischen Welle auswerten: E-Feld Antenne. (z.B. MiniWhip, MidiWhip)



➤ Aktiv-Antennen, die vorzugsweise die magnetische Komponente der elektromagnetischen Welle auswerten: H-Feld Antenne .
(z.B. Magnetic-Loop, Ferritantenne)

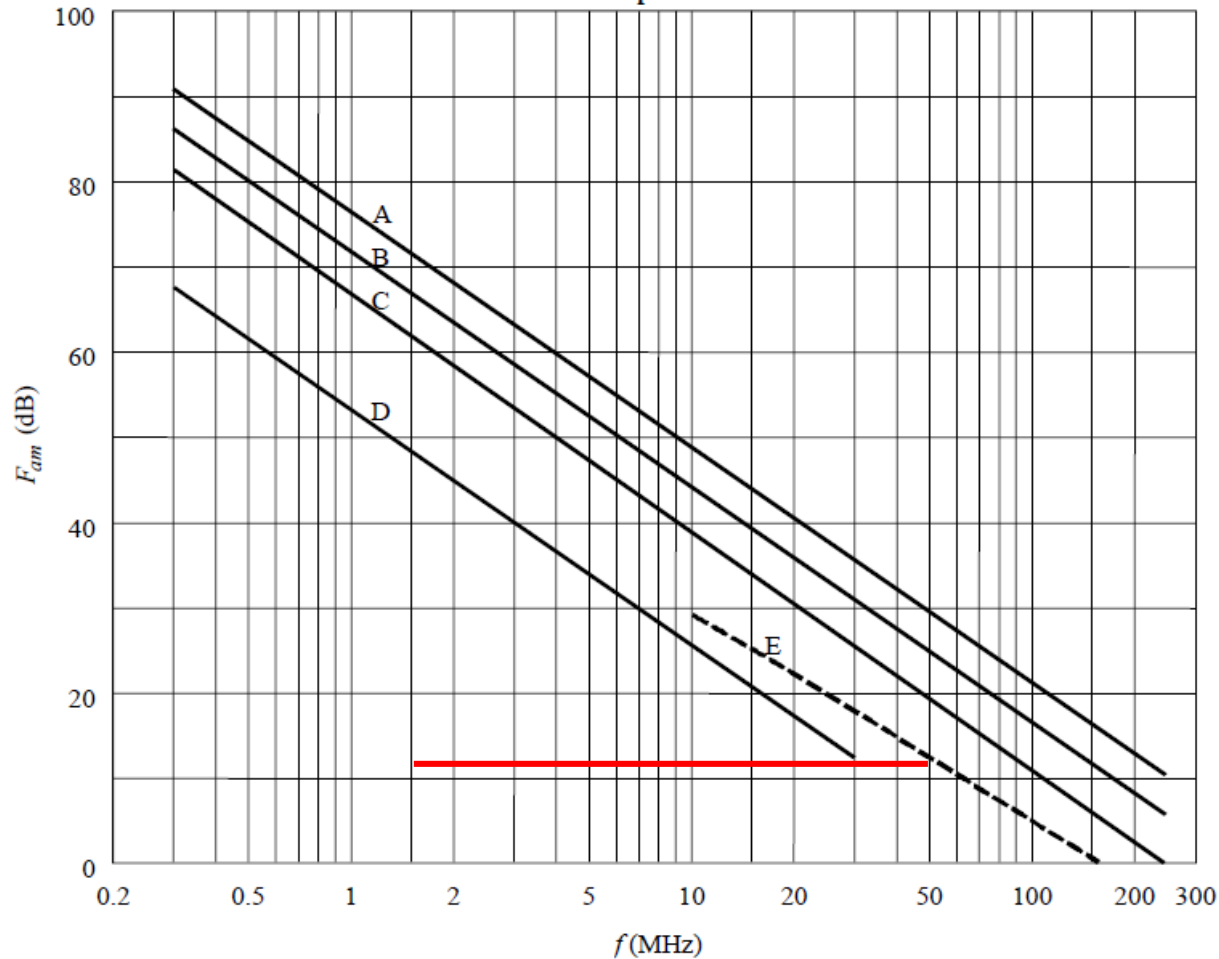
S/N – Signal / Rauschabstand



- Eine Empfangsantenne soll ein möglichst störungsarmes Signal mit ausreichendem Pegel bereitstellen.
- Der Signal/Störabstand (S/N) ist ein maßgebliches Kriterium

Externes Rauschen

Mittlere Werte künstlicher Störleistung einer kurzen vertikalen verlustfreien geerdeten Monopolantenne



ITU 372-11 Radio-Noise

A: Man Made Noise, in Gewerbegebieten

B: Man Made Noise, in städtischen Wohngebieten

C: Man Made Noise, in ländlicher Umgebung

D: Man Made Noise, in ruhiger ländlicher Umgebung

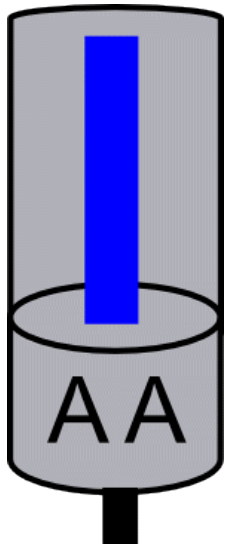
E: Galaktisches Rauschen

Zum Vergleich in Rot: die Rauschzahl eines guten KW-RX

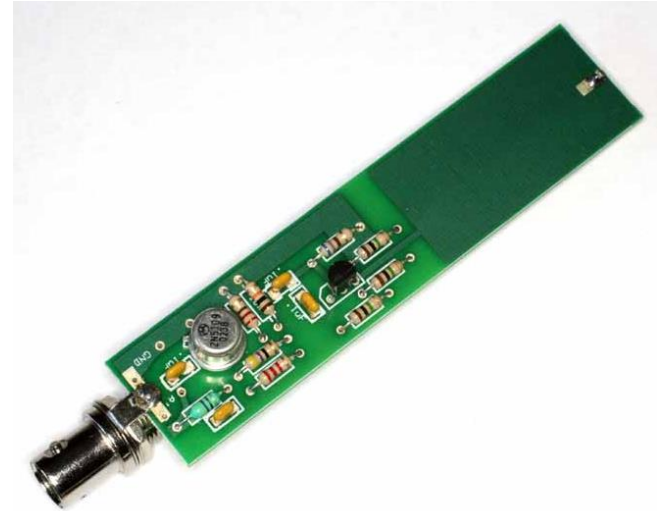
„Man made noise“ Quellen



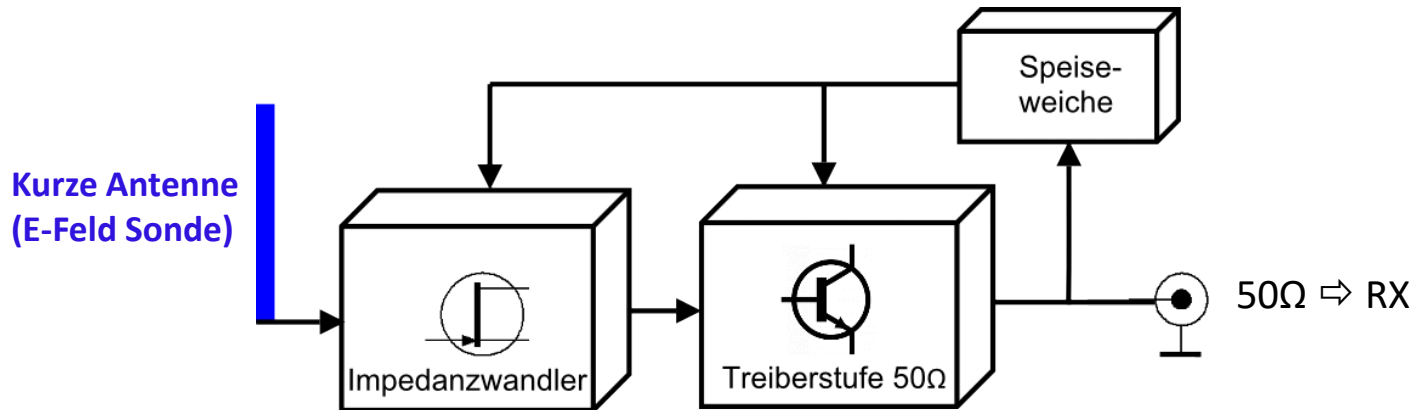
(1) Elektrische Aktivantenne, *E*-Feld Antenne



Active Antenna



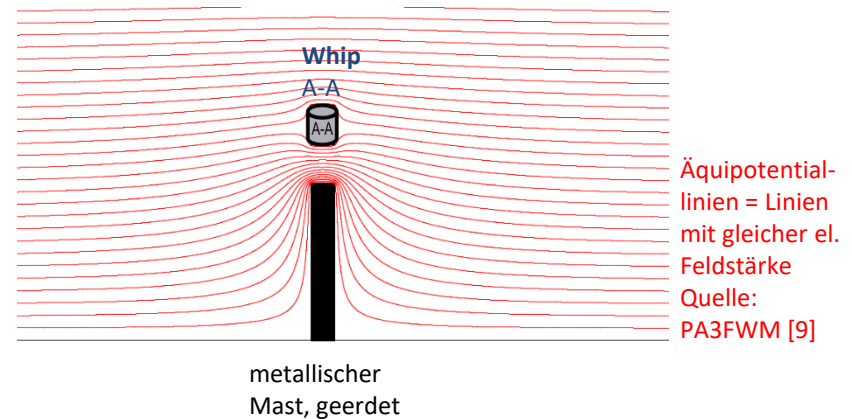
E-Feld Aktivantenne – Funktions-Prinzip



- Ein zu λ elektrisch kurzer Stab oder eine Fläche dient als Antenne und wirkt als kapazitive Feldsonde für die elektrische Feldkomponente des Wellenfeldes.
- Ein Impedanzwandler nimmt die Potentialdifferenz (Spannung) der E-Feld Sonde gegenüber Erdbezugspotenzial oder Gegengewicht hochohmig ab
- Eine Treiberstufe verstärkt die Leistung, damit ein 50 Ohm Koaxialkabel zum Empfänger angeschlossen werden kann. Spannungsverstärkung meist <1 .
- Diese Antenne liefert eine frequenzunabhängige, der elektrischen Feldstärke proportionale Ausgangsspannung

Funktion einer ‚Whip‘ Aktivantenne

Der hochohmige Verstärker der Aktiv-Antenne misst die Potentialdifferenz zwischen dem Antennenelement und dem Masse/Erdanschluss des Verstärkers. Als „Erde“ fungiert bei einem leitfähigen Mast das Potential des Mastes, auf dem die Aktivantenne montiert ist. Bei einem isolierten Mast übernimmt der Koaxmantel die Zuführung des Bezugspotenzials oder wirkt als Gegengewicht.



- Kurze Monopol Antennen empfangen vertikal polarisierte Signale, unabhängig davon, ob das Antennenelement vertikal oder horizontal ausgerichtet ist [10].
- Die Form des eigentlichen Antennenelementes, Stab oder Fläche, ist nicht ausschlaggebend [9].
- Die Höhe von Strahler und Mast beeinflussen die effektive Höhe und somit die Antennenspannung.
- Die Kapazität des Antennenelementes wird durch seine Abmessung bestimmt [5]. Die Kapazität einer Fläche hängt vom Umfang der Fläche ab. Näherungsweise beträgt sie 10pF je Meter [10].
- Der HF-Masseanschluss der Aktiv-Elektronik verlangt für eine ordnungsgemäße Funktion Erdpotential oder ein vergleichbares Gegengewicht zum Potenzial des Antennenelements.

Whip-Aktivantenne, Kabel und Mast interagieren

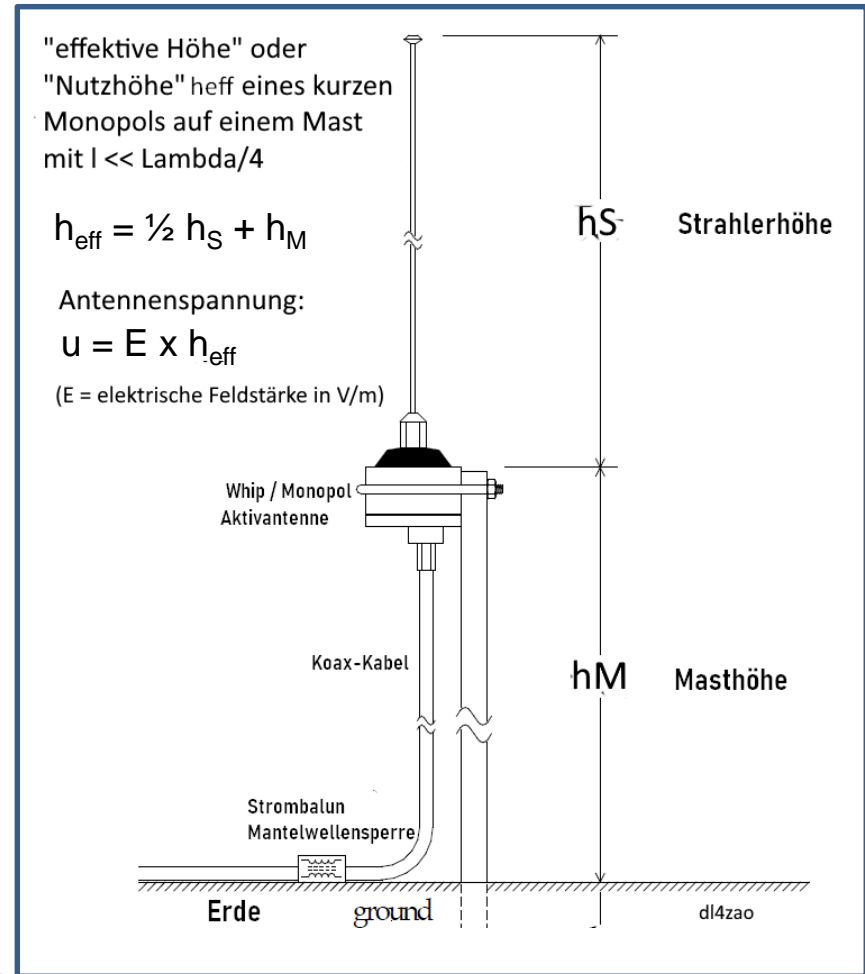
Das Erdpotenzial als Bezugsspannung für die Aktivantenne wird über den geerdeten Mast bereitgestellt. Bei einem isolierten Mast übernimmt ersatzweise der Schirm des Koaxialkabels die Zuführung eines Erd-Bezugspotenzials.

Der Strahler nimmt das mittlere Potenzial der elektrischen Feldstärke seiner Umgebung an.

Die Aktivantenne ‚misst‘ und verstärkt den Potentialunterschied zwischen Antennenelement und Bezugspotenzial.

Die Antennen-Spannung steigt mit der Strahlerlänge und mit der Höhe des Mastes.

Aktivantenne, Koaxialkabel und Mast sind als Gesamtsystem zu betrachten



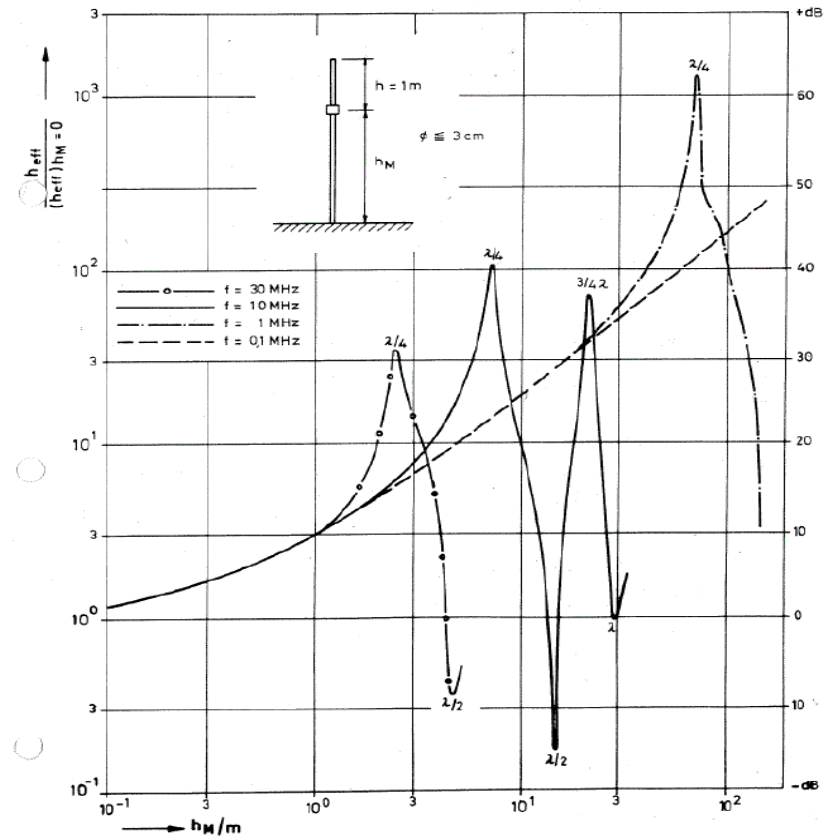
Einfluss zunehmender Masthöhe

Ist Strahler und Masthöhe $h_S + h_M$ nicht mehr klein im Verhältnis zur Betriebswellenlänge λ

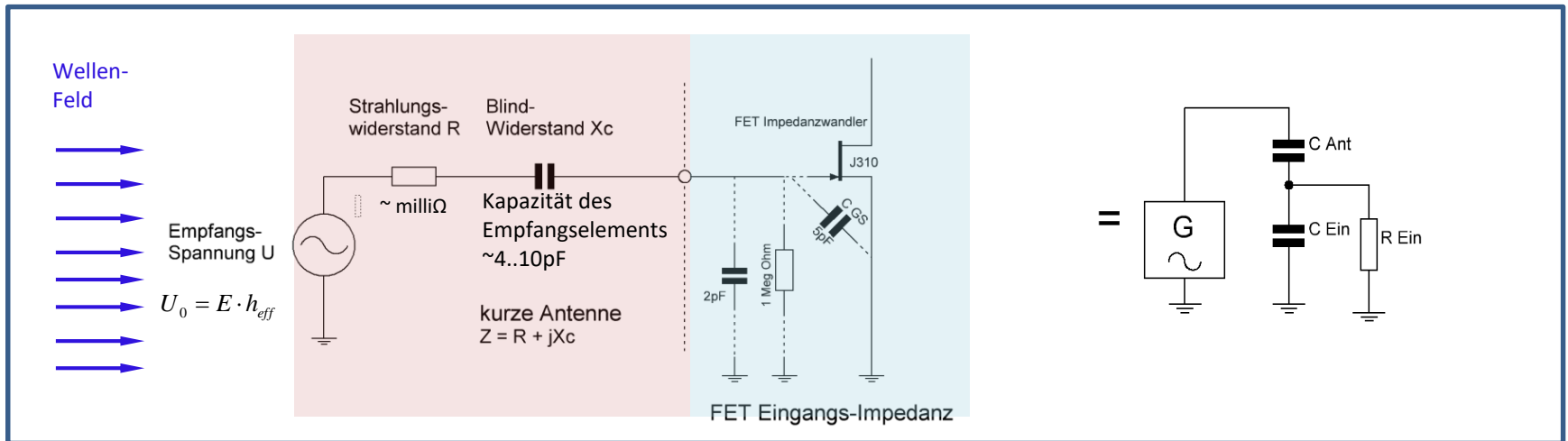
$$(h_S + h_M) / \lambda > 0,15$$

bilden sich zunehmend Mastresonanzen aus, die Empfangsspannung wird frequenzabhängig, die Antenne ist nicht mehr breitbandig.

Das Diagramm zeigt die Auswirkung von Viertelwellen und Halbwellenresonanzen auf die Antennenspannung. Bei Masthöhen von $\lambda/4$ und $\lambda/2$ und Vielfachen davon treten ausgeprägte Resonanzspitzen mit Überhöhungen und Auslöschungen auf.



E-Feld Aktivantenne – Ersatzschaltbild



- Antenne: kurzer Stab oder die Metallfläche einer kupferkaschierten Leiterplatte ($C \sim 4 \dots 20\text{pF}$)
- Die Impedanz der Antenne ($R + jX$) setzt sich aus einem vernachlässigbar kleinen Wirkwiderstand R in Serie zu einem Kondensator von wenigen Picofarad zusammen. Der frequenzabhängige Blindwiderstand jXc ist hoch. Die Empfangsspannung U ist proportional zur Stärke des elektrischen Feldes und nicht frequenzabhängig. (Annahme: Masthöhe kürzer als $0,15 \lambda$)
- Die Antennenkapazität bildet mit der Eingangs-Kapazität des Verstärkers einen unerwünschten Spannungsteiler, der die Empfangsspannung vermindert.

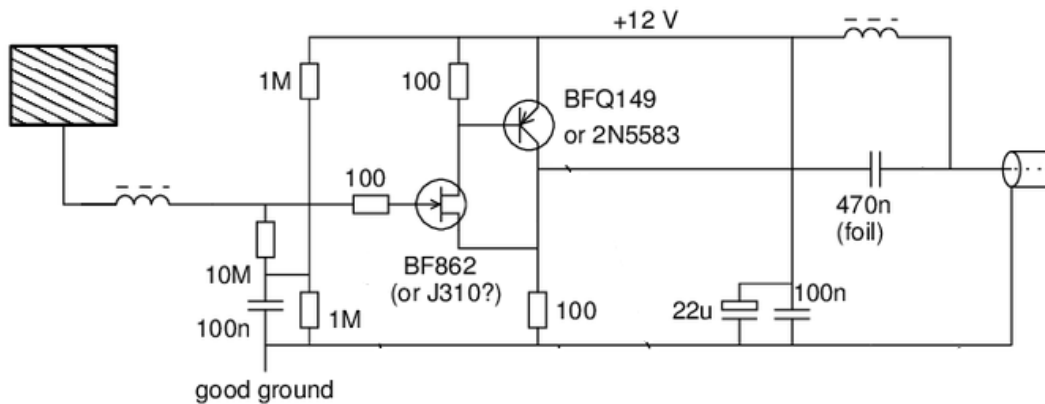
Der Impedanzwandler muss eine hohe Eingangsimpedanz und eine kleine Eingangskapazität aufweisen, um maximale Antennenspannung abnehmen zu können. Man nimmt hier meist einen kapazitätsarmen HF-Feldeffekttransistor.

Was leistet so eine einfache Aktivantenne?

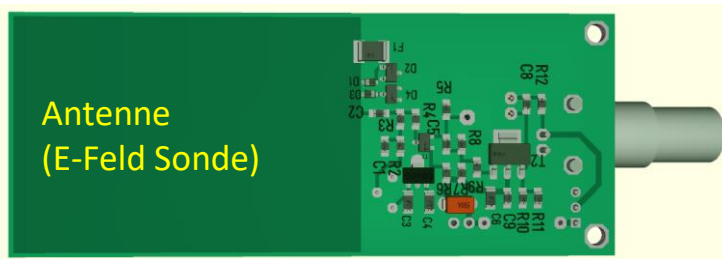
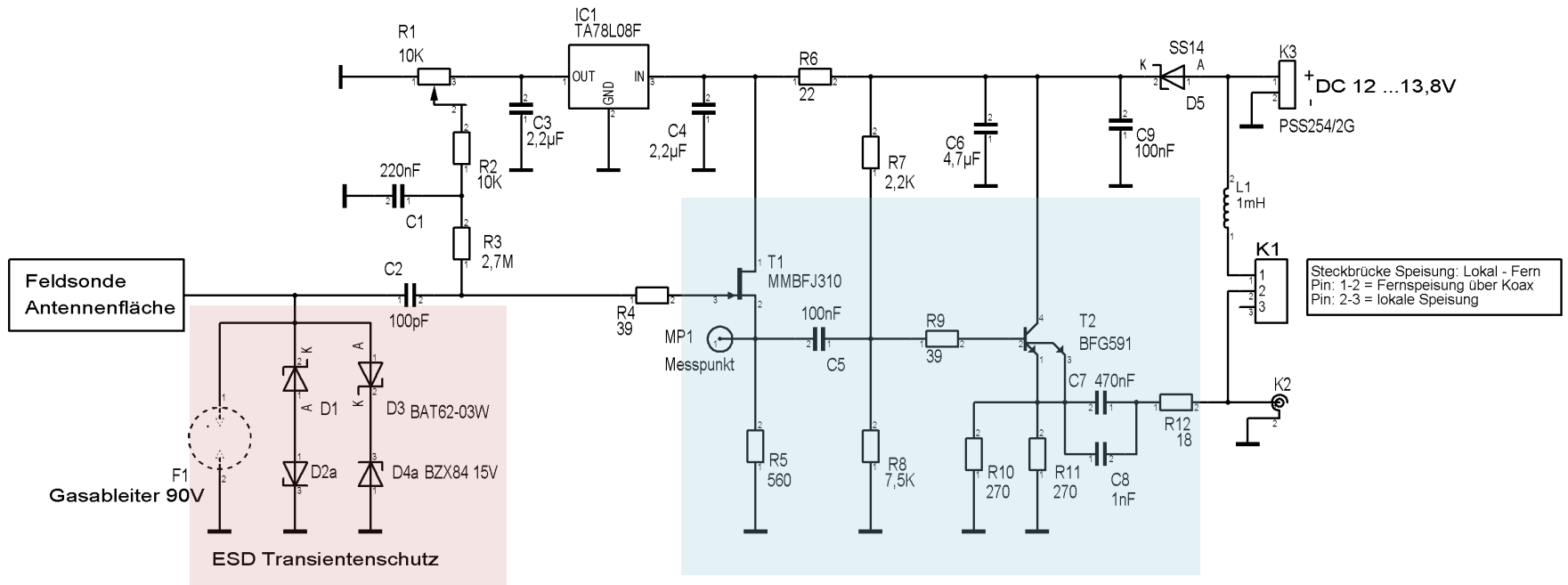
Hier kann man sich im Livestream davon überzeugen:

<http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/>

Der Web-SDR von Pieter-Tjerk deBoer, PA3FWM an der Uni-Twente nutzt eine Variante einer MiniWhip über einem ausgedehnten Blechdach als Antenne.



E-Feld Aktivantenne vom Typ „Mini-Whip“



M-Whip Leiterplatte 100 x 40mm

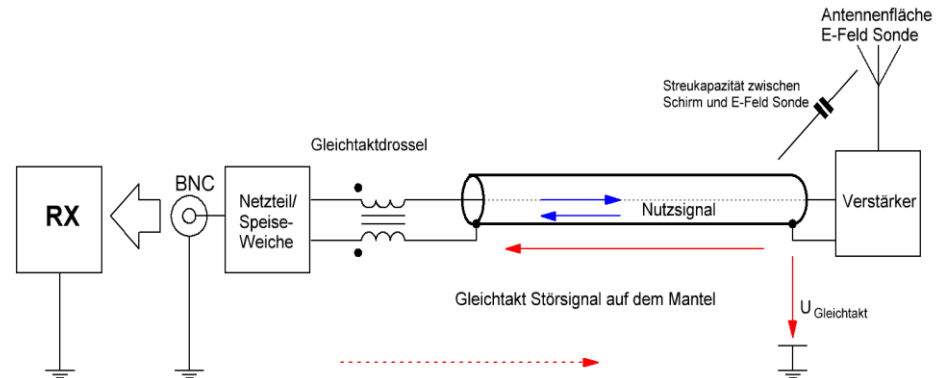


M-Whip wetterfest eingebaut in eine HT-Rohr Muffe

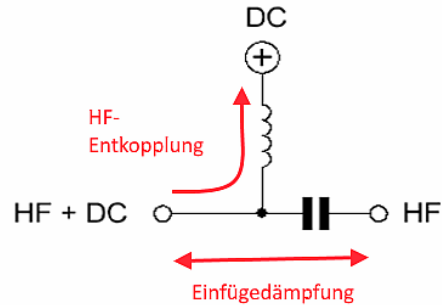
Aufstellung



Viele Störungen werden leitungsgebunden eingeschleppt. Erdung nur über den Schirm des Koaxkabels über den langen Weg zu Erde/PE im Shack birgt große Gefahr, dass durch eine derartige „schmutzige Erde“ el. Nahfeld-Störungen von lokalen Störquellen auf die hochohmige Antenne übertragen und verstärkt werden.



Fernspeiseweiche - „Bias-T“

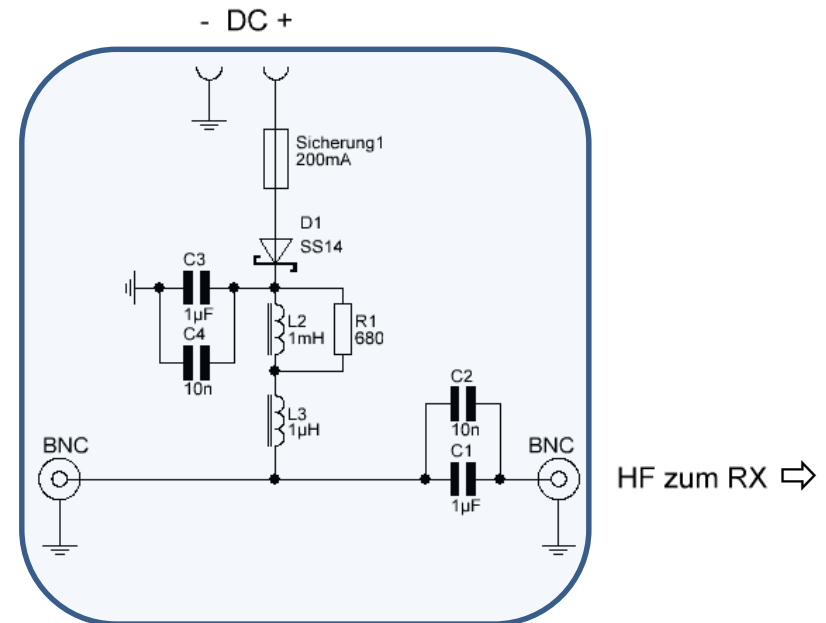


Stabilisiertes Netzteil

Ein Bias-T ist eine T-förmige Frequenzweiche, über die eine DC-Versorgungsspannung rückwirkungsfrei auf das Koaxialkabel eingespeist oder herausgeführt werden kann.

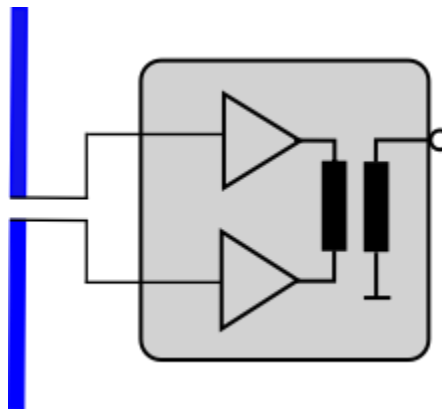
Der DC-Port soll im Nutzfrequenzbereich durch eine hohe Entkopplung vom HF-Weg isoliert sein, damit keine Störungen aus der Stromversorgung zum Empfänger gelangen. Einfügedämpfung und VSWR sollen möglichst klein sein

← HF + DC
Zur Aktiv-
antenne

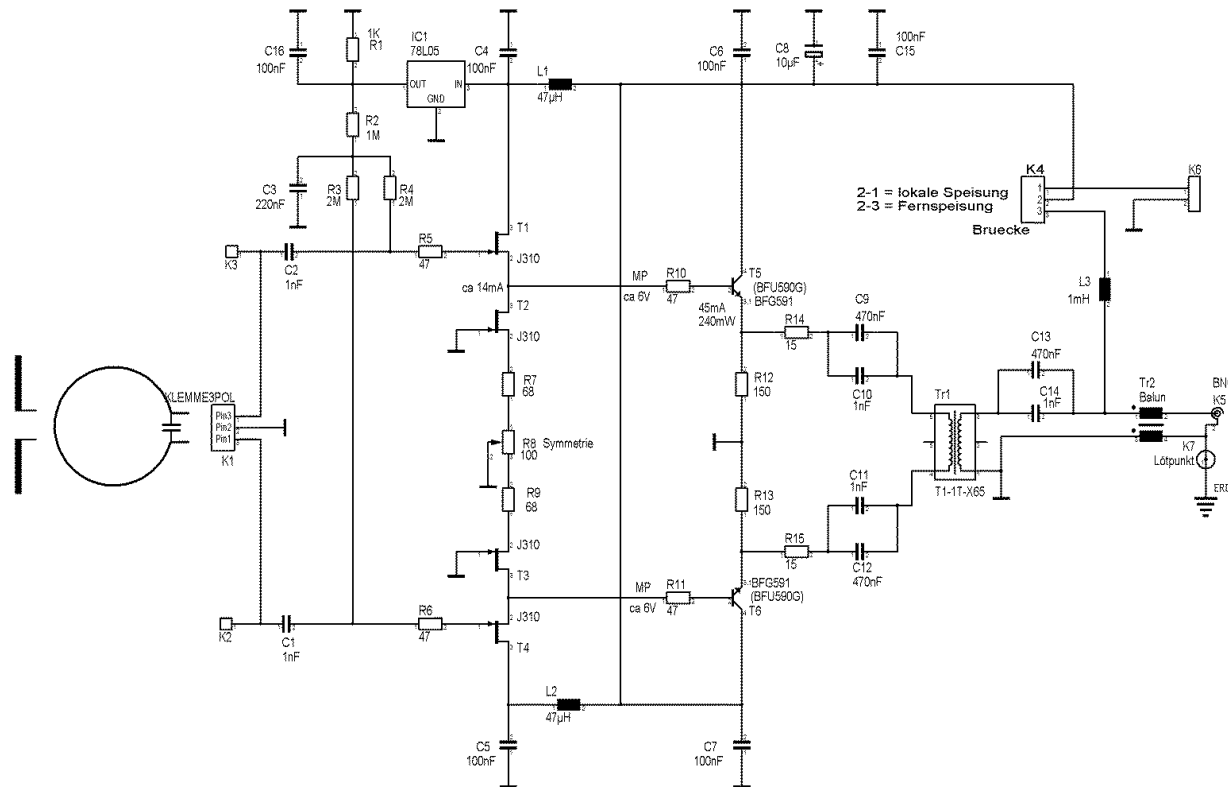


Dipol statt Monopol

- Viele Nutzer einer E-Feld Aktivantenne wie der Miniwhip klagen über nachlassende Empfangsleistungen bei höheren Frequenzen.
- **Ursache:** Kabelschirm oder Montagemast bilden das Bezugspotential der E-Feld Sonde. Das jedoch ist frequenzabhängig und variiert mit der Kabellänge bzw. Masthöhe.
- **Ziel:** Entkopplung der Antenne von Bezugs-Potential „Erde“
- **Idee:** statt eines von einem Bezugspotential (Erde) abhängigen Monopol Antennen-Elements (Miniwhip o.ä.) ein erdsymmetrischer Dipol als Antennenelement

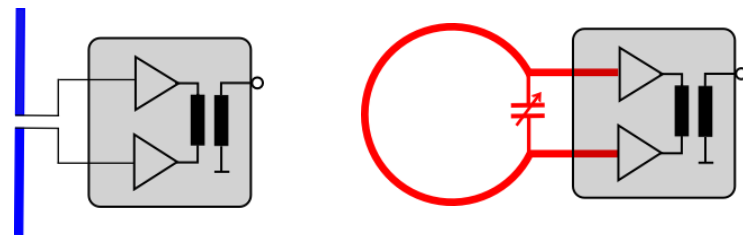


SIMWA - Symmetrischer Impedanzwandler



SIMWA (Symmetrischer-Impedanz-Wandler)
 Hochohmiger symmetrischer Differenz-
 Verstärker. Aktivelektronik für:

- Elektrisch kurze Dipolelemente (breitbandig)
- Resonant abgestimmte Loops (selektiv)



(2) Magnetische Aktivantenne – *H*-Feld Antenne



Active Loop Antenna

magnetische Antennen - Loops

Als magnetische Antennen bezeichnet man elektrisch kurze Schleifenantennen (Small-Loops), die im Nahfeld bevorzugt auf das H -Feld ansprechen.

Magnetantennen sind in der Funktechnik schon lange bekannt und wurden auf Schiffen, Flugzeugen und als Peilantenne verwendet.

Als Ferritstab-Antenne werden sie in Funkuhren und Radiogeräten für den Lang- und Mittelwellenempfang genutzt.



Magnetische Loopantennen sind auch als Sendeantenne brauchbar. Eine Herausforderung ist dabei die Anpassung der extremen Impedanz an 50Ω .

Small Loop Antenna - elektrisch kurze Schleife

Eine Schleife gilt als elektrisch kurz (Small Loop), wenn ihr Umfang kleiner als $1/10$ Wellenlänge der Betriebsfrequenz ist. Sie verhält sich dann wie eine Spule.

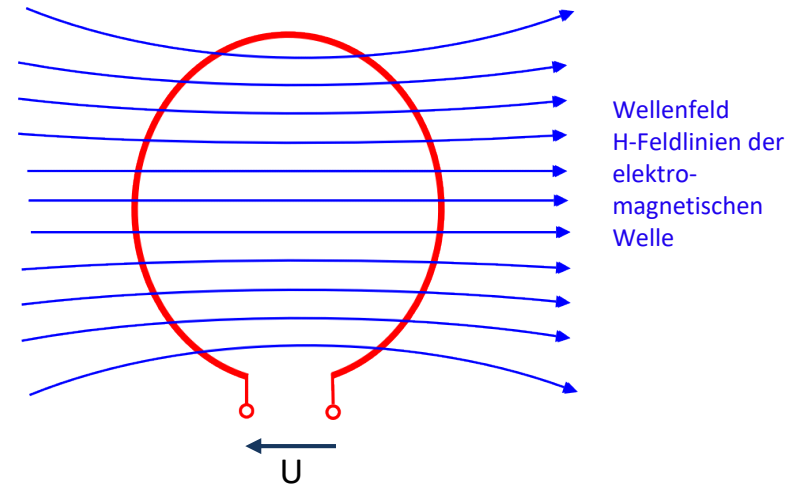
Ein elektromagnetisches Wellenfeld, dessen magnetisches Feld durch die Loopfläche dringt erzeugt an einer optimal auf die Quelle ausgerichteten Loop die Spannung:

$$U_L = H \cdot A \cdot N \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0$$

Alternativ lässt sich auch aus der Feldstärke des elektrischen Fernfelds die Loopspannung berechnen:

$$U_L = \frac{E \cdot A \cdot N \cdot 2 \cdot \pi}{\lambda}$$

$$h_{\text{eff}} = \frac{A \cdot N \cdot \pi \cdot \mu}{\lambda}$$

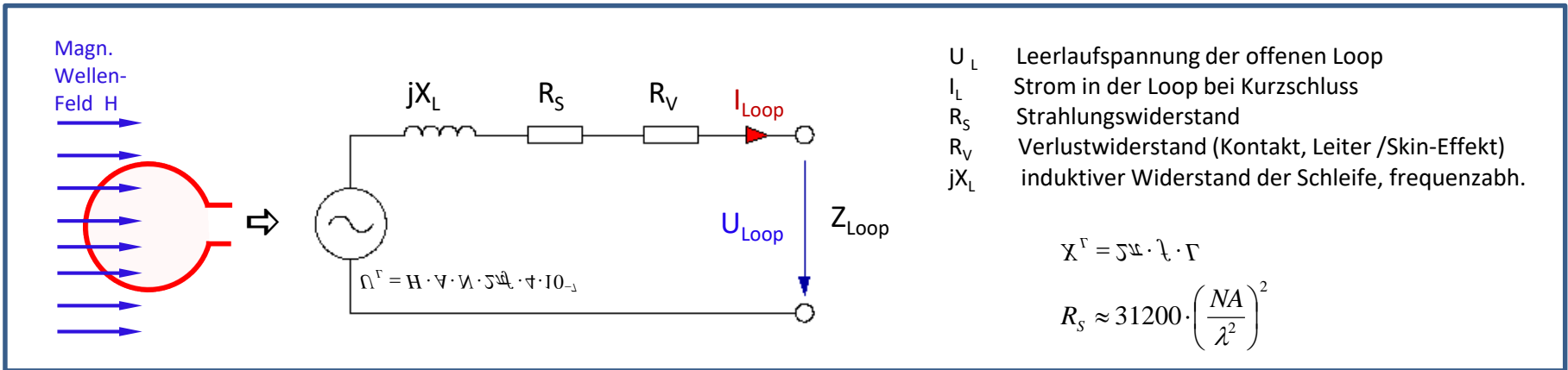


⇒ Die induzierte Leerlaufspannung U an der Loop ist proportional zur Fläche, zur Windungszahl und zur Frequenz. U ist frequenzabhängig!

Legende:

U_L	Induzierte Spannung an der Loop in Volt
H	Magnetische Feldstärke in Ampere/m
E	Elektrische Feldstärke in Volt/m
A	Von der Schleife umschlossene Fläche in m^2
N	Anzahl der Windungen
f	Frequenz in Hz
λ	Wellenlänge in m
μ_0	Permeabilität der Luft > Naturkonstante 4×10^{-7}

Ersatzschaltbild der Loopantenne



Der Strahlungswiderstand R_S einer Loop ist sehr klein, nur wenige Milli-Ohm und meist auch noch beträchtlich kleiner als der Verlustwiderstand R_V .

Schon bei einer niedrigen Frequenz (untere Grenzfrequenz) wird der induktive Widerstand X_L größer als R_S und R_V zusammen.

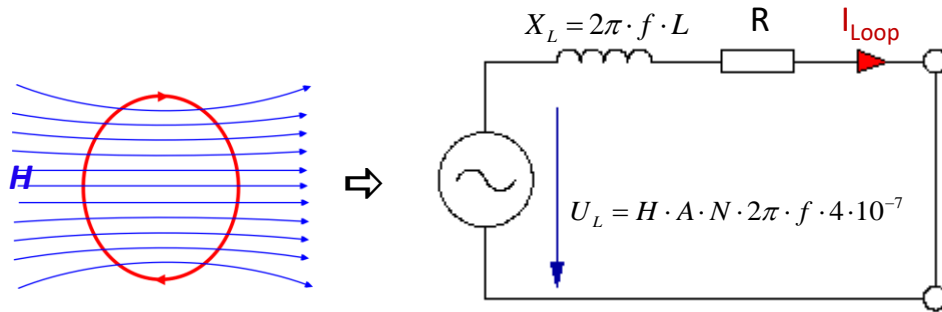
⇒ Die Impedanz Z_{Loop} wird im Wesentlichen vom frequenzabhängigen induktiven Blindwiderstand X_L bestimmt-



Eine kreisförmige Loop mit einer Windung von 1m Durchmesser (3,14m Umfang, 0,78m² Fläche) hat eine Induktivität von ca. 3µH. Das ergibt bei 1Mhz: $X_L = 2\pi \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ H} = 18,85 \Omega$

Der Strahlungswiderstand ist hingegen sehr klein: $R_S = 31200 \cdot \left(0,78\text{m}^2 / 300\text{m}^2\right)^2 = 0,00234 \Omega$

Strom in der kurzgeschlossenen Loop



Bei der Grenzfrequenz f_G sind R und X_L gleich groß: $f_G = \frac{R}{2\pi L}$
 Oberhalb von f_G ist nur noch X_L wirksam, dann gilt:

$$I_L = \frac{U_L}{X_L} = \frac{H \cdot A \cdot N \cdot \cancel{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot 4 \cdot 10^{-7}}{\cancel{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot L}$$

⇒ Oberhalb der Grenzfrequenz f_G ergibt sich eine lineare Umwandlung von magnetischer Feldstärke in Strom. Der Strom in der Loop wird unabhängig von der Frequenz und ist proportional zu H , zur Fläche A und umgekehrt proportional zur Induktivität L der Loop.

Warum? Mit zunehmender Frequenz steigt die Spannung U_L an der Loop, aber auch der dem Strom entgegenwirkende induktive Widerstand X_L . Beide Wirkungen heben einander auf.

Das Verhältnis A/L ist eine maßgebliche Kenngröße für die Leistung einer Loop. Loops mit nur einer Windung weisen ein optimales A/L Verhältnis auf. $I_{Loop} \approx A/L$

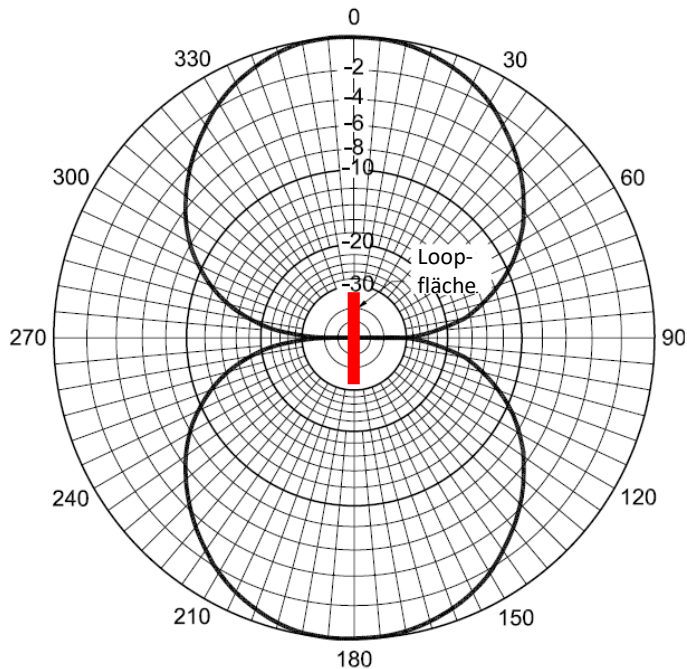
⇒ Fläche ist besser als Windungen

Warum? Die Induktivität einer Spule nimmt proportional zur Fläche zu. Sie nimmt jedoch quadratisch mit der Zahl der Windungen zu.

Je kleiner die Induktivität L der Loop, desto besser das A/L .

⇒ Nur eine Windung ⇒ kreisförmig ⇒ Rohr statt Draht ⇒ 2 Loops parallel/über Kreuz

Small Loop Empfangseigenschaften



- Richtdiagramm ähnlich wie kurzer Dipol
- Scharfe Nullstellen rechtwinklig zur Loopfläche
⇒ geeignet zum Ausblenden von Störungen oder zum Peilen auf Minimum.
- Richtfaktor/Gewinn = 1,5 (wie kurzer Dipol)
- Aperiodisch: Breitbandempfang kHz.....MHz
- Strom und Spannung sind symmetrisch – ohne Bezug zu Erde oder Gegengewicht.
- Weniger empfindlich gegenüber Erdeinflüssen und nahen Objekten als eine elektrische Antenne

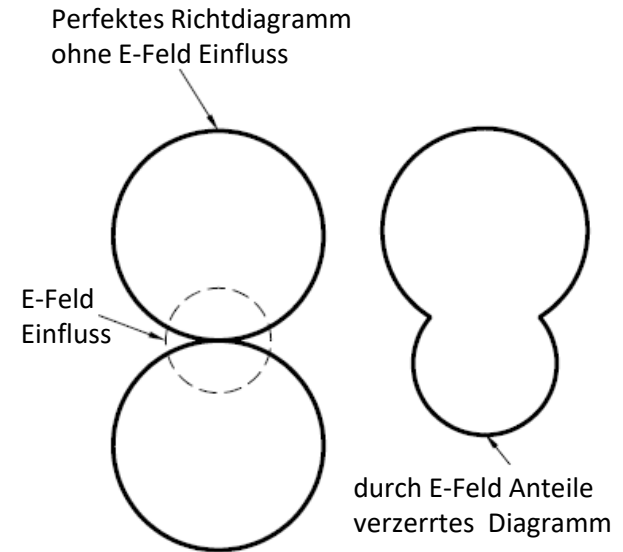
Die Loop ist eine gegen Erde/GND symmetrische Antenne. Ihre Eigenschaften sind nur optimal bei symmetrischer Ankopplung.

Symmetrie

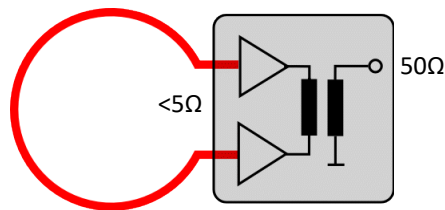
Das durch das magnetische H-Feld induzierte Nutzsignal liegt als Gegentakt-Signal an den Klemmen der Loop.

Daneben fängt der Leiter der Loop auch unerwünschte Teile des E-Feldes auf (Antenneneffekt). Es liegt als Gleichtakt-Spannung gegen Erde vor.

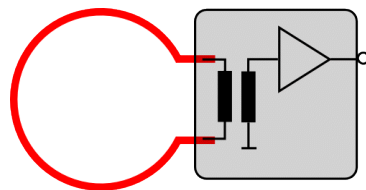
Der Empfang unerwünschter E-Feld Anteile verzerrt das Richtdiagramm. Die scharfen Nullstellen werden zunehmend aufgefüllt.



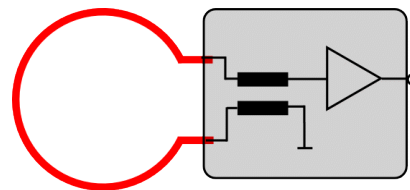
Durch symmetrische Ankopplung des Verstärkers der Aktivloop werden unerwünschte Gleichtaktsignale unterdrückt und nur die Differenzsignale verstärkt.



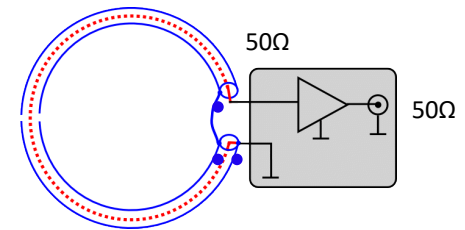
Symmetrischer Differenzverstärker



Trafokopplung



Balun



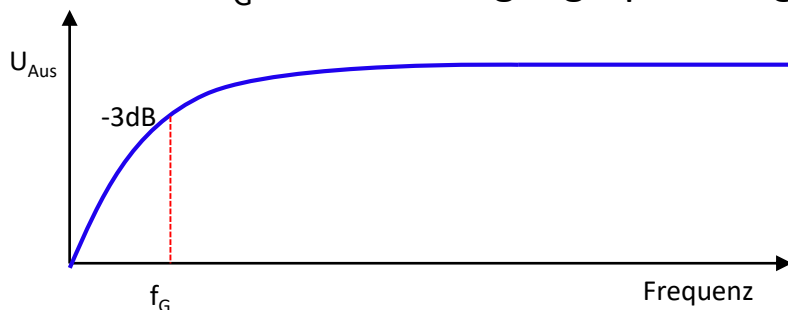
geschirmte Loop

Aperiodische (Breitband) Aktiv-Loop Antenne

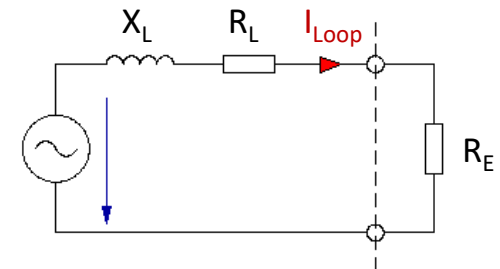
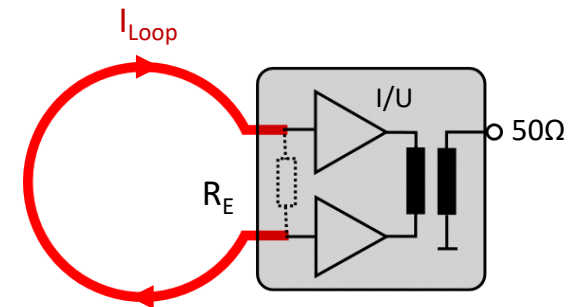
An einem Verstärker mit sehr niedrigem Eingangswiderstand R_E arbeitet die Loop nahezu im Kurzschluss. Der Loopstrom in den Verstärker entspricht linear der magnetischen Feldstärke H und ist unabhängig von der Frequenz.

Der Verstärker arbeitet als symmetrischer Strom-Spannungs Wandler (Transimpedanz-Verstärker). Er wandelt den Strom aus der Loop in eine proportionale Ausgangsspannung um. Sein Ausgang treibt ein 50Ω Koaxkabel.

Die Serienschaltung der Loop-Widerstände R_L und dem Eingangswiderstand R_E und die Induktivität der Loop bestimmen die untere Grenzfrequenz f_G der Aktivantenne. Oberhalb f_G ist der Frequenzgang der Aktivloop flach. Unterhalb f_G fällt die Ausgangsspannung mit 6dB/Oktave ab.



$$f_{G(Hz)} = \frac{R_L + R_E}{2\pi L}$$



Beispielrechnung, Loop mit 1m Durchmesser:
 Induktivität der Schleife $L \approx 3\mu H$
 Strahlungs- + Verlust-Widerstand $R_L \approx 0,2\Omega$
 Eingangswiderstand des Verstärkers $R_E = 2\Omega$

$$f_G = \frac{2\Omega + 0,2\Omega}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{Hy}} = 117\text{kHz}$$

Geschirmte Loop

Eine geschirmte Loop hat zwei symmetrische Schirmhälften. Die Schirme und ein Innenleiterpol sind mit GND verbunden. Der andere Innenleiterpol mit dem Verstärkereingang.

Die verbreitete Auffassung, dass der Schirm das störende E-Feld abschirmt und nur das H-Feld durchlässt ist Folklore. *E und H sind immer gleichzeitig vorhanden!*

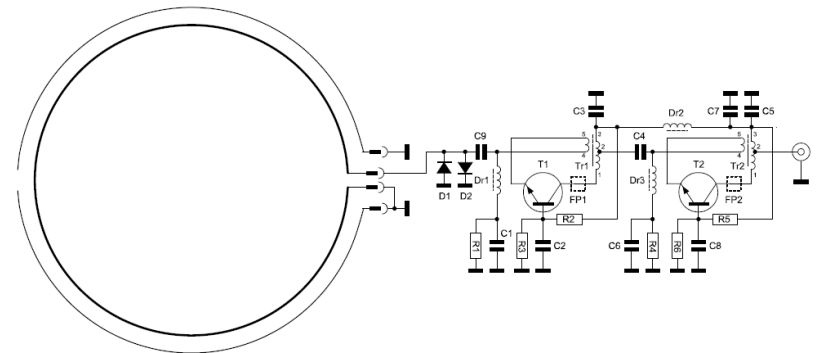
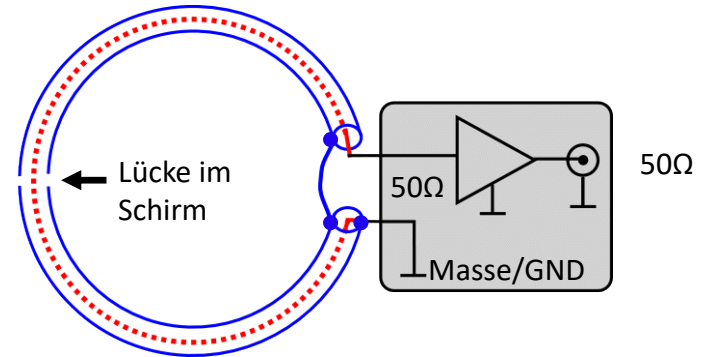
Der koaxiale Schirm mit Lücke wirkt elektrisch wie ein Symmetrierglied. Erzeugt Balance durch gleichbleibende Verhältnisse zwischen Innenleiter und GND. Der Außenmantel wird zur eigentlichen Antenne und transformiert auf den Innenleiter. Theorie hierzu in [13]

Vorteil: kein symm. Differenzverstärker erforderlich.

Nachteile: Die geschirmte Loop muss mit dem Wellenwiderstand der verwendeten Koaxleitung abgeschlossen werden, sonst bilden sich störende Resonanzen aus.

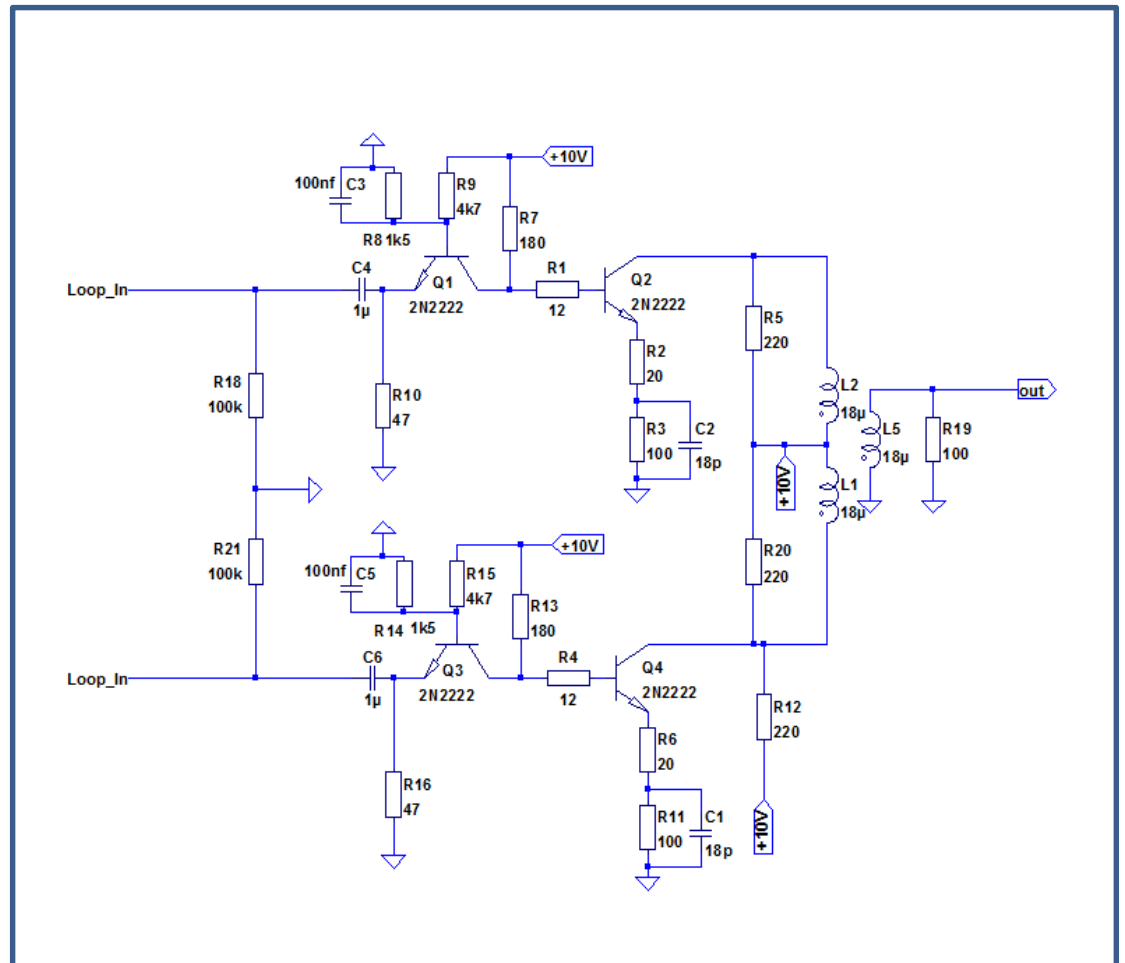
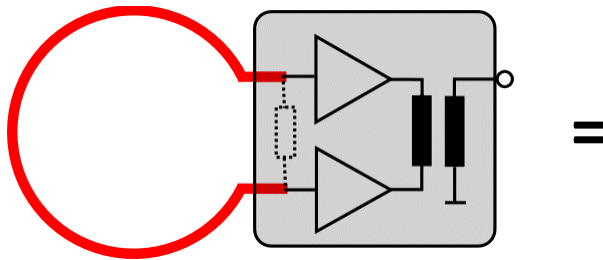
Wegen $R_E = 50\Omega$ verschiebt sich die Grenzfrequenz nach oben. \Rightarrow Einschränkung der Bandbreite

z.B. Koaxleitung 50Ω



geschirmte Aktiv-Loop mit Norton Verstärker nach DJ1HE

Aktiv-Loop Verstärker mit Differenzeingang

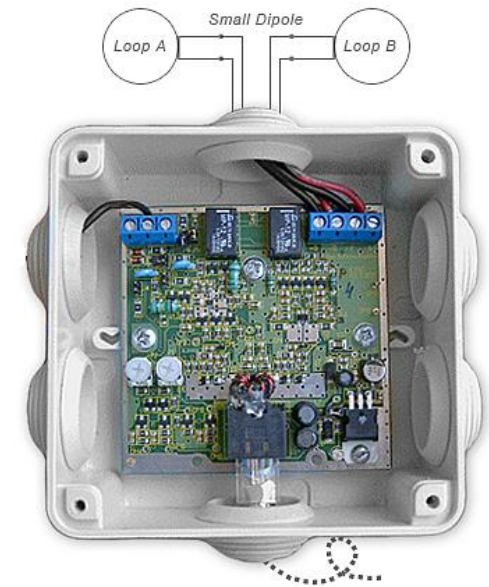


Symmetrischer Breitband Aktivloop Verstärker mit niederohmiger Eingangsstufe in Basisschaltung. Nach LZ1AQ, AAA-1C Active-Antenna-Amplifier

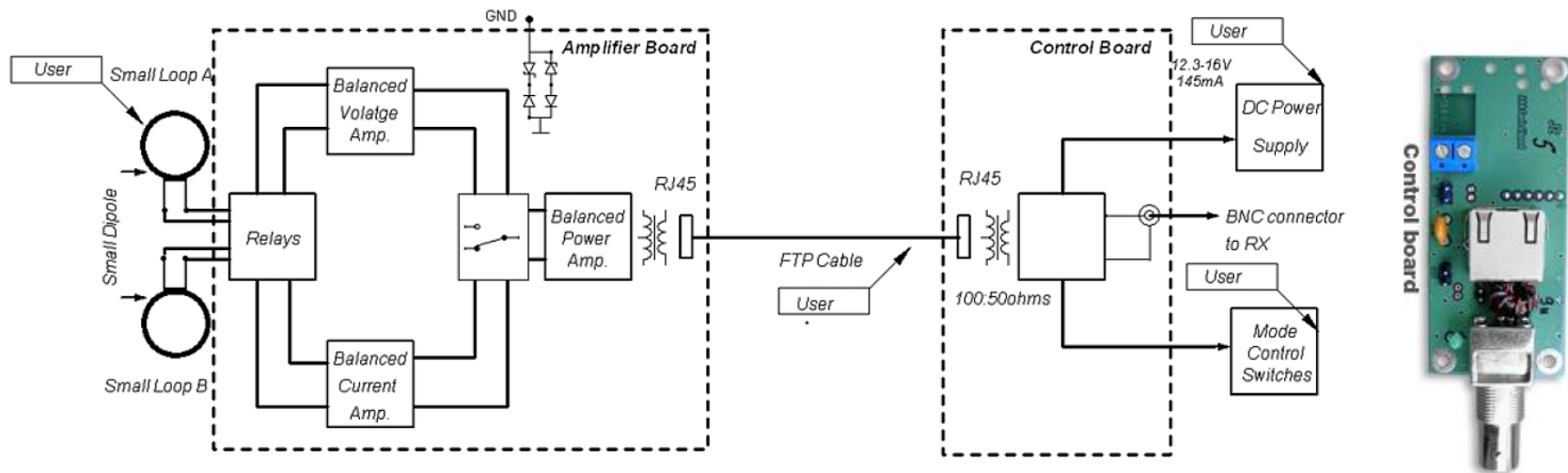
Aktive Kombi-Antenne AAA-1C von LZ1AQ

Die Antennenelektronik von LZ1AQ kombiniert 4 Verstärker-Modi die ferngesteuert umschaltbar sind:

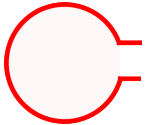
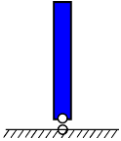
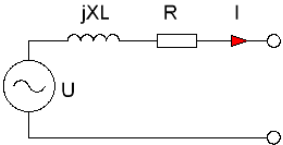
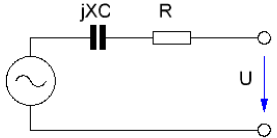
- Zwei niederohmige Verstärker für H-Feld Aktivloops
- Zwei hochohmige Verstärker für E-Feld Monopol/Dipol
- CAT6 Ethernet Kabel als Speise- und Steuerleitung
- Control Board mit Speiseweiche und Übergang auf BNC



Modi: Loop A, Loop B, crossed or parallel loops A&B and dipole, <http://active-antenna.eu/>



Dualität

 <p>Small Active Loop</p>	 <p>Kurzer Monopol</p>
<p>Sensitiv auf die magnetische Feldkomponente H-Feld Sonde</p>	<p>Sensitiv auf die elektrische Feldkomponente E-Feld Sonde</p>
<p>Ausgangsstrom proportional zum H-Feld</p>	<p>Ausgangsspannung proportional zum E-Feld</p>
<p>Strom unabhängig von der Frequenz</p>	<p>Spannung unabhängig von der Frequenz</p>
<p>Ersatzschaltbild</p>  <p>$Z=R+jX$</p> <p>Impedanz Z: R sehr klein, jX_L groß (induktiv)</p>	<p>Ersatzschaltbild</p>  <p>$Z=R+jX$</p> <p>Impedanz Z: R sehr klein, jX_C groß (kapazitiv)</p>
<p>Betrieb nahezu im Kurzschluss Anforderung an die Aktivelektronik: Transimpedanzverstärker (I/U-Wandler) mit sehr kleinem Eingangswiderstand - symmetrisch</p>	<p>Betrieb nahezu im Leerlauf Anforderung an die Aktivelektronik: Impedanzwandler auf 50Ω mit sehr großem Eingangswiderstand - unsymmetrisch</p>
<p>Wenig beeinflusst durch Erde /Umgebung</p>	<p>empfindlich gegen Erde/Umgebung</p>

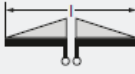
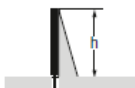
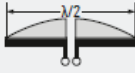
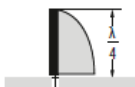
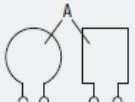
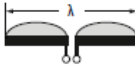
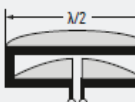

Aktivantennen...

- ... Sind viel kleiner als vergleichbare passive Antennen
- ... Sind breitbandiger als passive Antennen
- ... Können nicht zum Senden benutzt werden
- ... Haben nur geringe Verkopplung mit der Umgebung
- ... Haben eine Richtcharakteristik, die nicht frequenzabhängig ist
- ... Eignen sich ideal als Antenne für Test und Überwachung
- ... Müssen großsignalfest sein
- ... Erfordern korrekte Installation außerhalb von Störfeldern
- ... Sind besser als man vermutet

Referenzen und weiterführende Literatur

- [1] Dr. W. Wiesbeck, Uni Karlsruhe, Skriptum zur Vorlesung „Antennen und Antennensysteme“
- [2] H. K. Lindenmeier “Die Transistorierte Empfangsantenne mit kapazitiv hochohmigen Verstärker als optimale Lösung für den Empfang niedriger Frequenzen”, NTZ. 29 Heft 1. 1976
- [3] Roelof Bakker, PA0RDT – Mini-Whip”
- [4] Gerd Janzen, „Kurze Antennen“, ISBN 3-440-054369-1
- [5] Jörg Logemann, DL2NI „Rauschmessungen konform zu ITU-R P.372-13“, CQ-DL 3/2017
- [5] Dr. Jochen Jirmann, Michael Lass, „Aktiv empfangen mit neuen Ideen“, CQ-DL 2/1997
- [7]ITU Recommendation ITU-R P.372-16 (2022) „Radio Noise“
- [8] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, [“Whip Tipps - Aufstellung, Betrieb und Funktionsweise von ‚Whip‘ Aktivantennen “](#)
- [9] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, “Von den Maxwell-Gleichungen zur MiniWhip-Antenne. Über die Funktionsweise kleiner elektrischer Aktivantennen“. Tagungsband zur 59. Weinheimer UKW-Tagung 2014. Bezug: Verlag box73 [in engl. „Fundamentals of the Mini-Whip Antenna“](#)
- [10] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, [“Capacitance of Antenna Elements”](#)
- [11] William E. Payne, N4YWK, „Receiving Loop Theory“
- [12] Chavdar Levkov, LZ1AQ, „Wide band small receiving loop simplified“ www.active-antenna.eu
- [13] Chris Trask, N7ZWY, „Mastering the Art of Shielded Loops“
- [14] Christof Rohner DL7TZ, “Antenna Basics”, Rhode & Schwarz, 2005

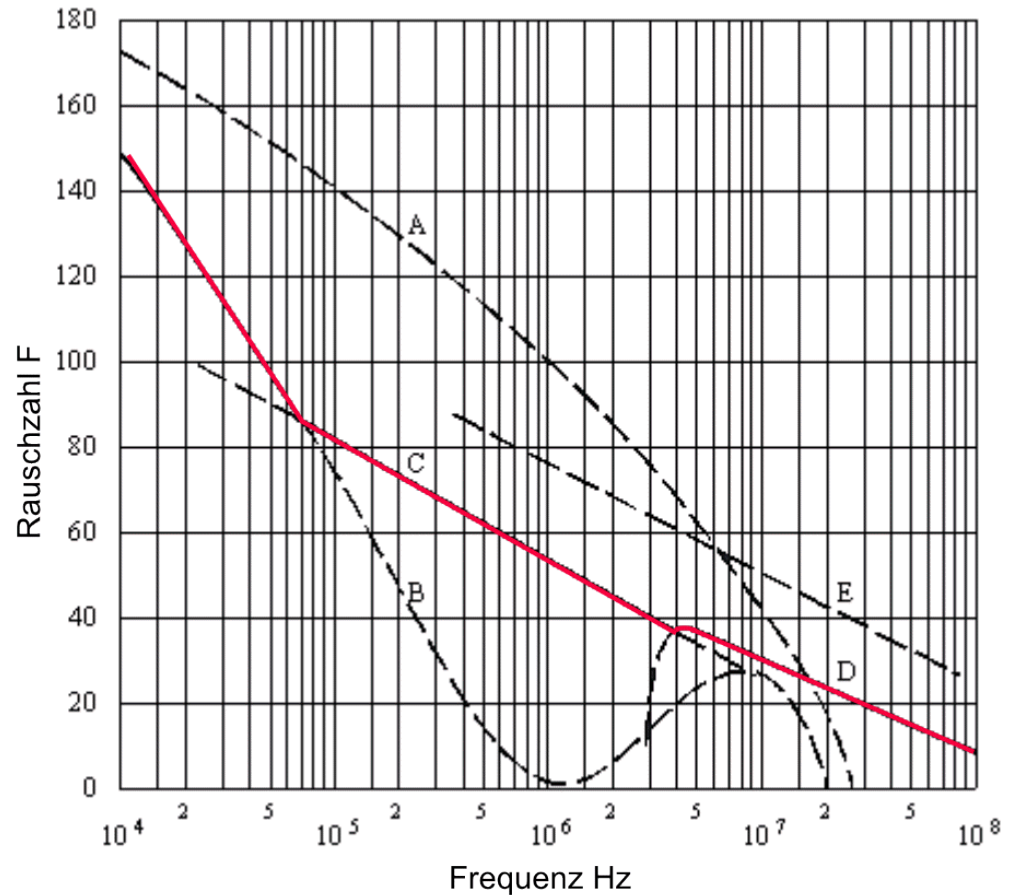
Kennwerte grundlegender Antennenformen

Parameters of selected antenna types				
Type of antenna	Current distribution	Directivity factor $D^{(9)}$	Effective antenna length	Radiation resistance R in Ω
Isotropic radiator		$1 \triangleq 0$ dB		
Short dipole without end capacitance ⁷⁾		$1.5 \triangleq 1.8$ dB	$\frac{l}{2}$	$20 \pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$
Short antenna on infinitely conducting ground without top capacitance ⁸⁾		$3 \triangleq 4.8$ dB	$\frac{h}{2}$	$40 \pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2$
Half-wave dipole		$1.64 \triangleq 2.15$ dB	$\frac{\lambda}{\pi}$	73.2
Quarter-wave antenna on infinitely conducting ground		$3.28 \triangleq 5.2$ dB	$\frac{\lambda}{2\pi}$	36.6
Small single-turn loop in free space		$1.5 \triangleq 1.8$ dB	$\frac{2\pi A}{\lambda}$	$80 \pi^2 \frac{4\pi^2 A^2}{\lambda^4}$
Full-wave dipole		$2.4 \triangleq 3.8$ dB		
Folded half-wave dipole		$1.64 \triangleq 2.15$ dB	$\frac{2\lambda}{\pi}$	$4 \cdot 73.2 \cong 280$
Turnstile antenna (Hertz dipole) radiating in horizontal plane		$0.75 \triangleq 1.2$ dB	1	$40 \pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$

Die effektive Länge, h_{eff} einer Antenne ist ein Umwandlungsfaktor der den Zusammenhang zwischen der Empfangsfeldstärke E und der Leerlaufspannung U einer Antenne beschreibt. $U = E \cdot h_{\text{eff}}$

Der Richtfaktor D ist das Verhältnis der Strahlungsleistungsdichte S_{max} der Antenne in Hauptstrahlungsrichtung verglichen mit der Strahlungsleistungsdichte (W/m^2) des isotropen Kugelstrahlers als Referenzantenne bei gleicher Strahlungsleistung

Externes Rauschen im Bereich 10kHz – 100MHz



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

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

Monopol – Impedanz vs. Höhe im Verhältnis zu λ

