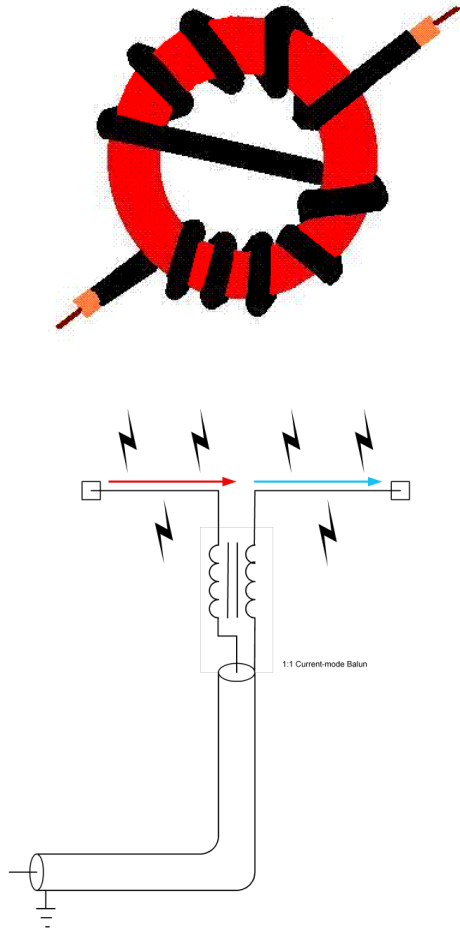


# Balun-Workshop



## Balun

- verstehen
- bauen
- prüfen

Günter Fred Mandel

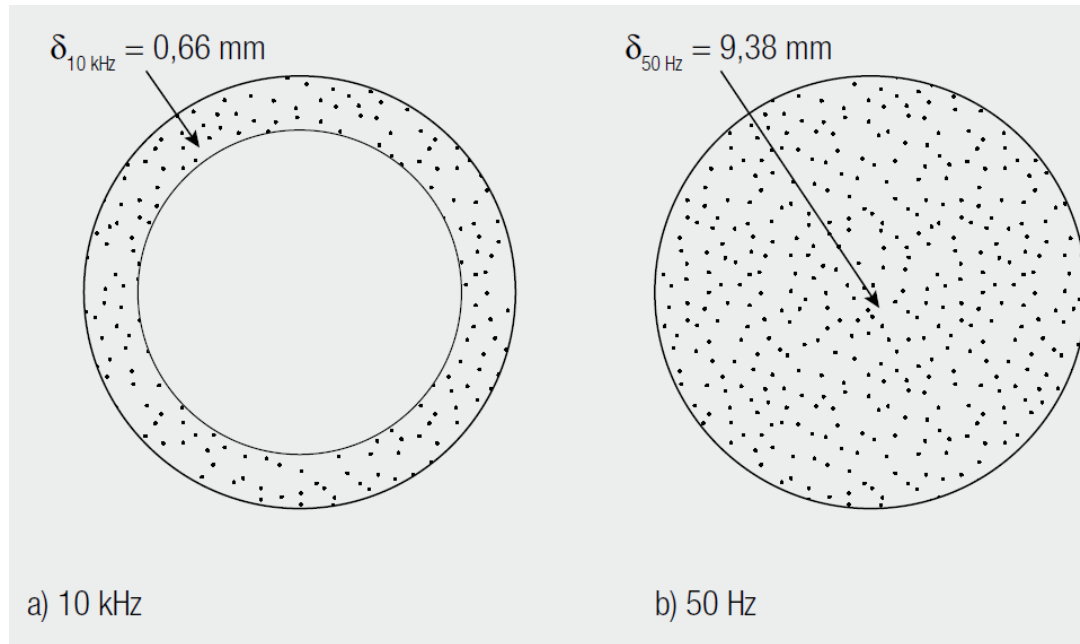
DL4ZAO

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

# Balun Basics

- **Skin Effekt**
- **Gegentaktstrom und Gleichtaktstrom auf der Leitung**
- **Ursachen für Unsymmetrie im Antennensystem**
- **Wie entstehen Mantelwellen**
- **Ausgleichsströme als Störquelle**
- **Was leistet ein Balun**
- **Unterschied: Strombalun und Spannungsbalun**
- **Strombalun als Mantelwellensperre**
- **Wie soll ein Balun idealerweise gebaut sein?**

# Skin Effekt



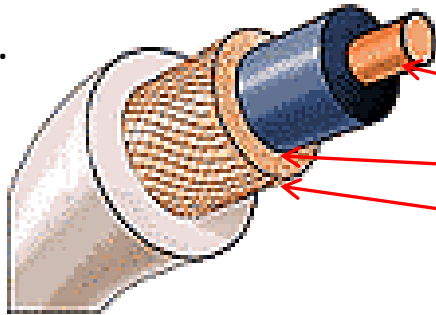
Grafik: Wikimedia

Frequenz	Eindringtiefe
16 kHz	0,524 mm
50 kHz	0,297 mm
160 kHz	0,166 mm
500 kHz	0,0938 mm
1,6 MHz	0,0524 mm
5 MHz	29,7 $\mu$ m
16 MHz	16,6 $\mu$ m
50 MHz	9,38 $\mu$ m
160 MHz	5,24 $\mu$ m
500 MHz	2,97 $\mu$ m
1,6 GHz	1,66 $\mu$ m

In einem von Wechselstrom durchflossenen Leiter ist die Stromdichte im Inneren des Leiters niedriger als in den Außenbereichen. Das Innere des Leiters trägt nahezu nicht mehr zur Stromleitung bei. Der für den Elektronenfluss effektiv wirksame Leiterquerschnitt verringert sich. Der Wirkwiderstand des Leiters nimmt zu.

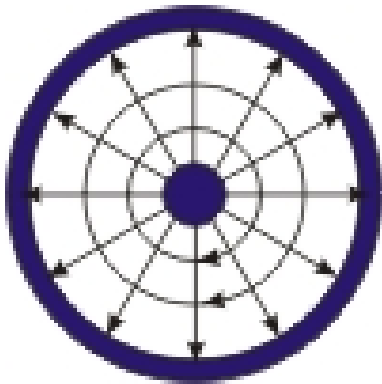
**Durch den Skin-Effekt vermindert sich mit steigender Frequenz die Eindringtiefe des Wechselstromes in einem Leiter**

# Energietransport auf dem Koaxkabel



- Ein Koaxialkabel hat wegen des Skineffektes drei Leiter:

- Innenleiter
- Der Schirm Innenseite
- Der Schirm Außenseite



- Der Energietransport erfolgt als TEM Welle in einem elektromagnetischen Feld zwischen Innenleiter und Abschirmung innen.

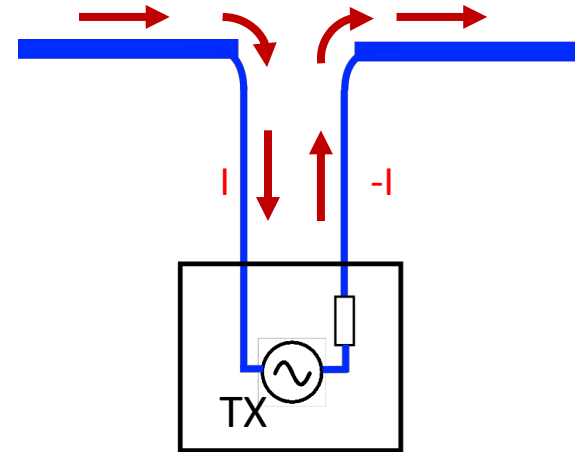
- Der Strom auf dem Innenleiter und der Strom auf der Innenseite des Schirms sind im Betrag gleich aber entgegengesetzt gerichtet.

- Auf der Außenseite des Schirms findet im Idealfall kein Stromfluss statt.

Wegen des Skin-Effekts wirkt die Schirm Außenseite für HF wie eine separate Eindraht-Leitung, sie hat einen unterschiedlichen (geringeren) Verkürzungsfaktor als die koaxiale Leitung im Inneren.

# Gegentaktstrom und Gleichtaktstrom:

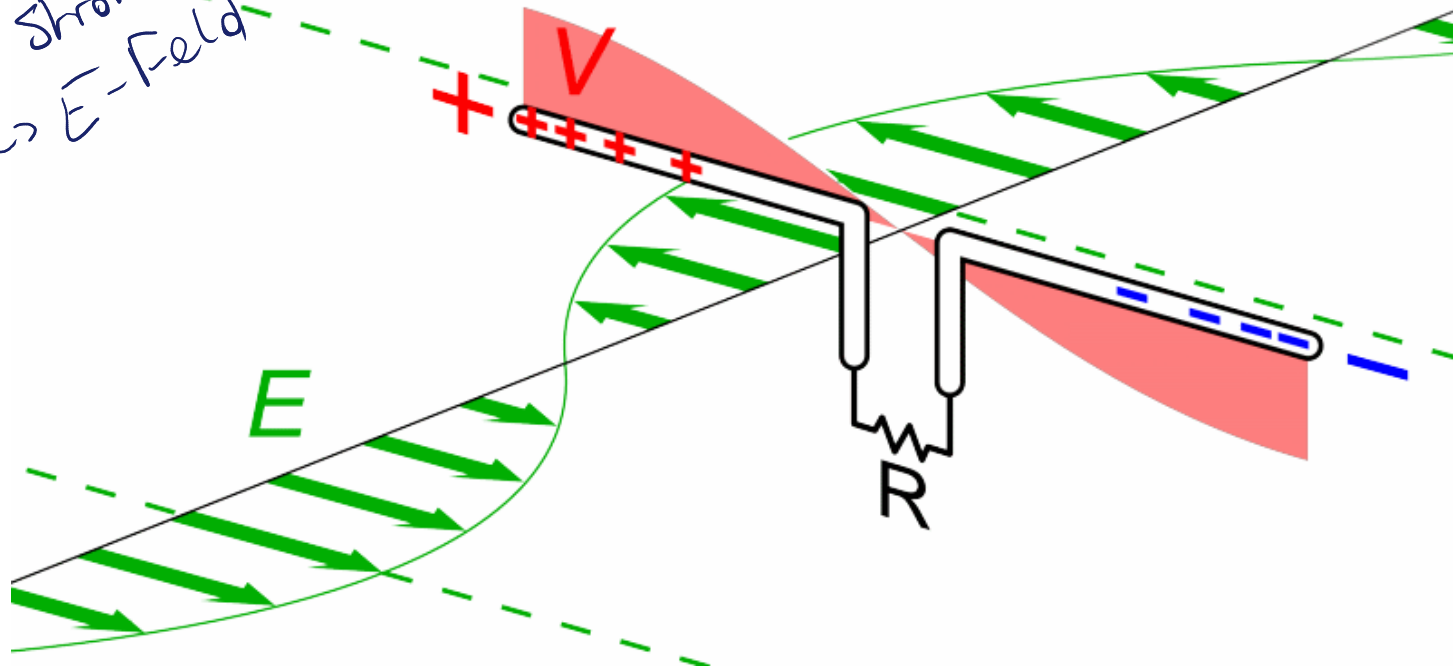
- Der Energietransport erfolgt zwischen Quelle und Last **in** der Leitung als transversale elektromagnetische Welle (TEM-Welle).
- Auf beiden Leitern der Leitung fließen gleiche, aber entgegengesetzt gerichtete Ströme. Das nennt man "Gegentaktstrom".
- Die Gegentakt-Felder in der Leitung heben sich gegenseitig auf. Es findet keine Abstrahlung von Energie von der Leitung statt. Und auch kein Einstrahlung von Störungen auf die Leitung.
- Am Speisepunkt eines Dipols wird aus dem Gegentaktstrom auf der Leitung ein Gleichtaktstrom auf dem Strahler. Gleichtaktströme auf der Antenne führen zu Wellenablösung (Strahlung, elektromagnetische Welle)



**Beschleunigte Ladungen von Gleichtaktströmen auf einer Leitung führen zur Wellenablösung – die Leitung strahlt.**

# Strom und Welle bei einem Dipol

Stromfluss  
auf Leitung  
→ Stromfluss auf Antenne  
→ E-Feld



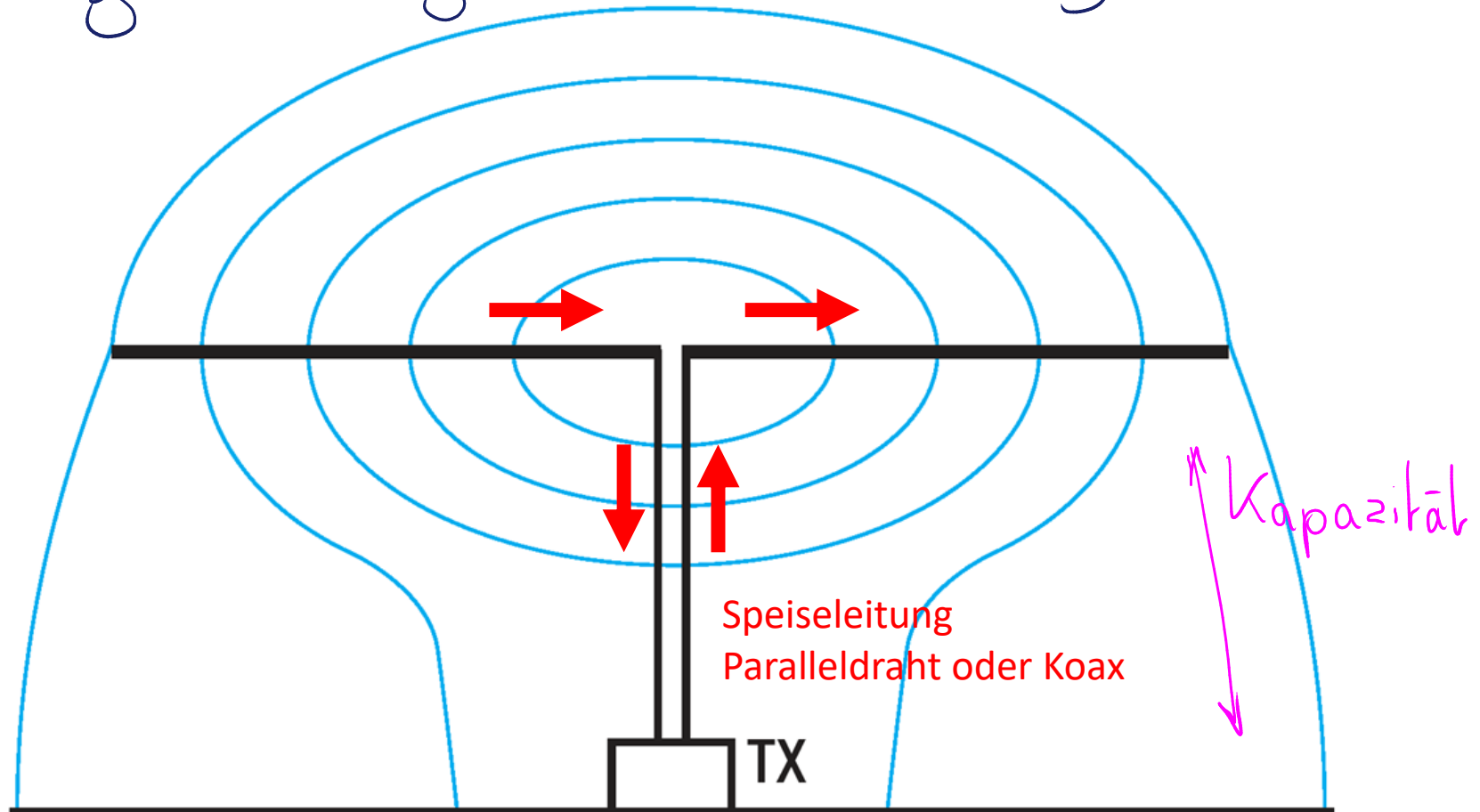
Grafik: Wikimedia

**Gegentaktstrom auf der Leitung – Gleichtaktstrom auf der Antenne**

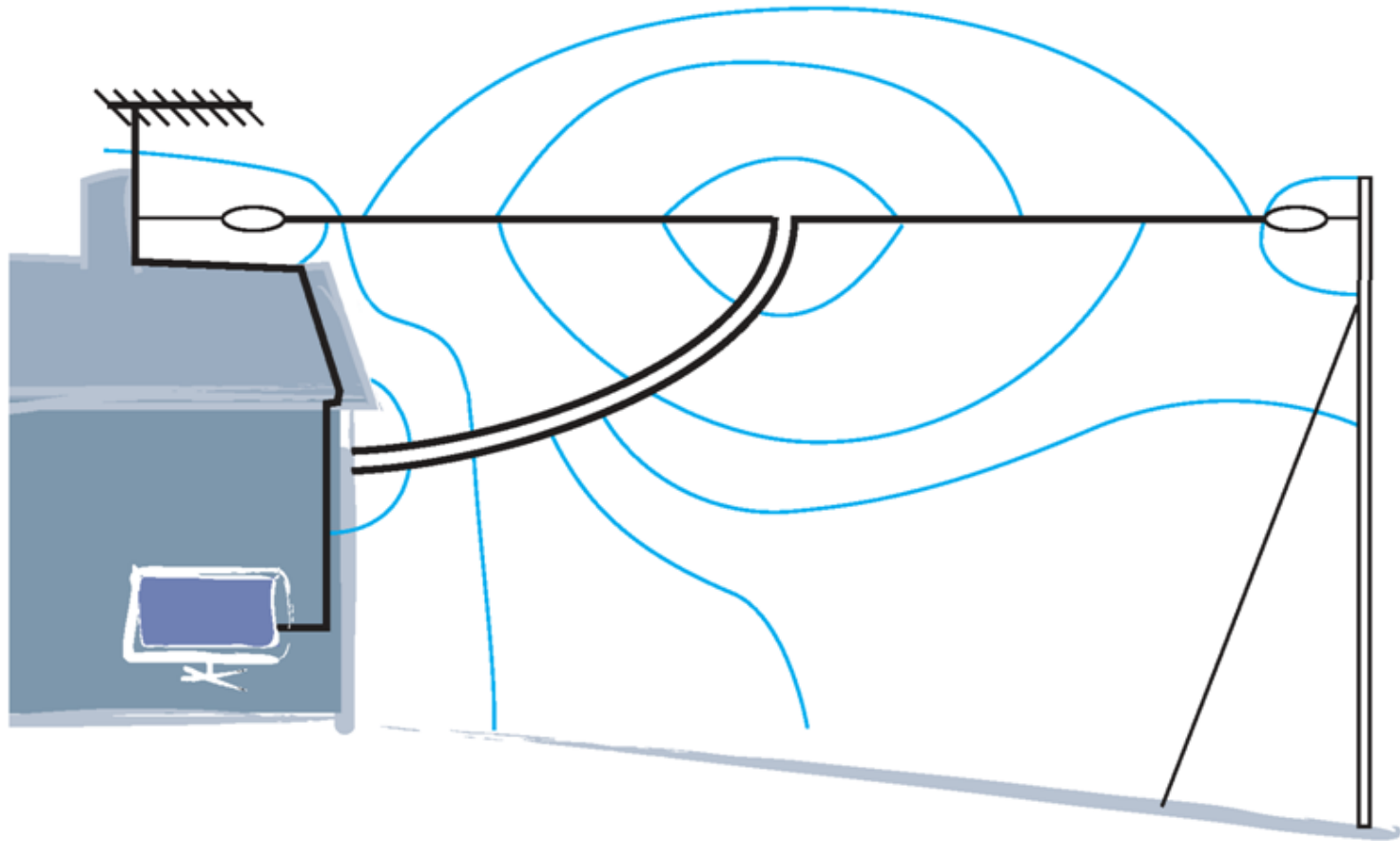
Felder um einen Dipol – so ist es im Lehrbuch abgebildet

„Streu Feld“

Ausgleichsströme gehen nicht auf der Leitung zurück



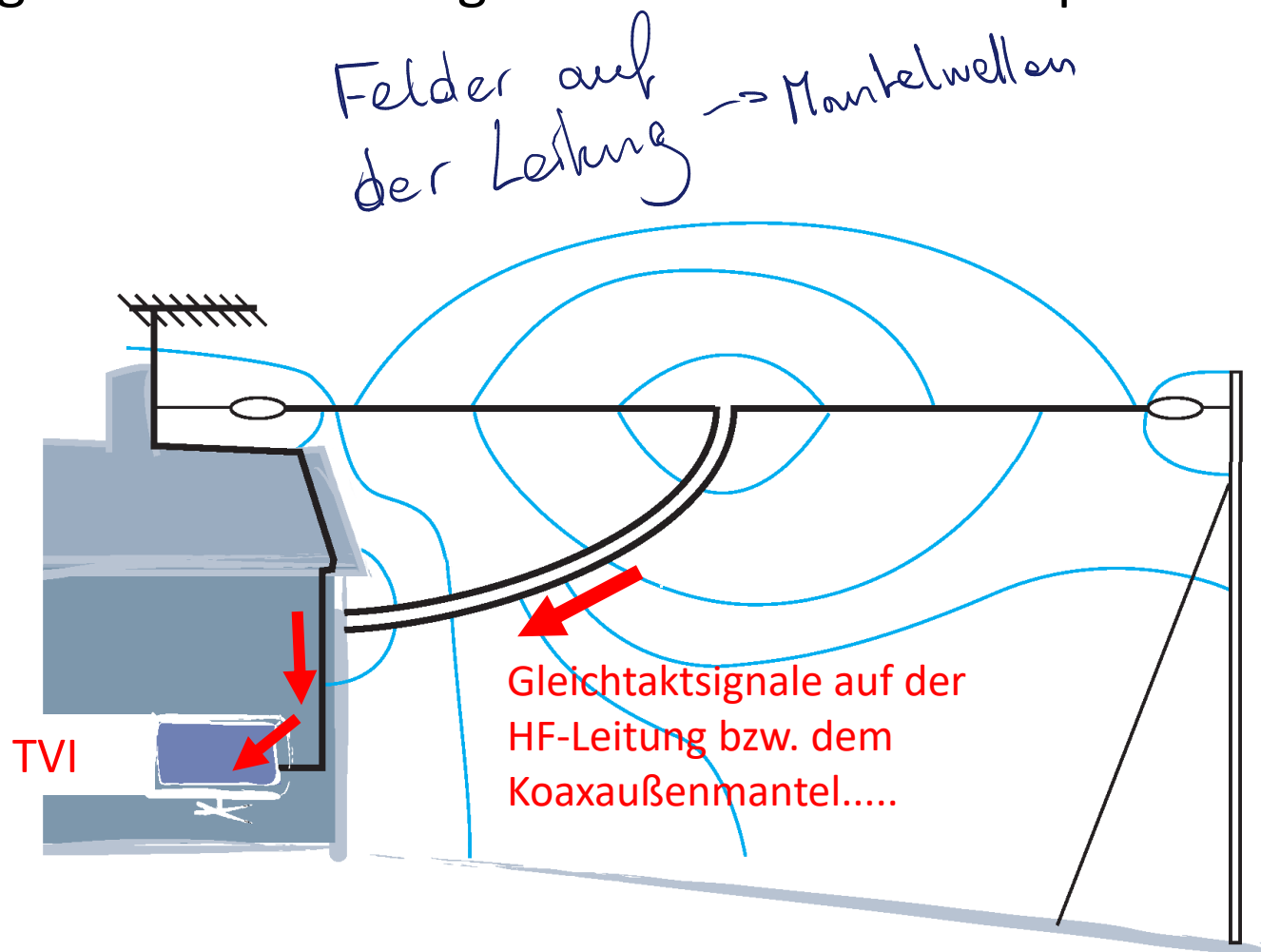
Die Realität: die wenigsten Antennen sind symmetrisch



Unterschiedliche Impedanzen der Dipoläste bedeuten  
Potentialunterschiede gegen Erde.

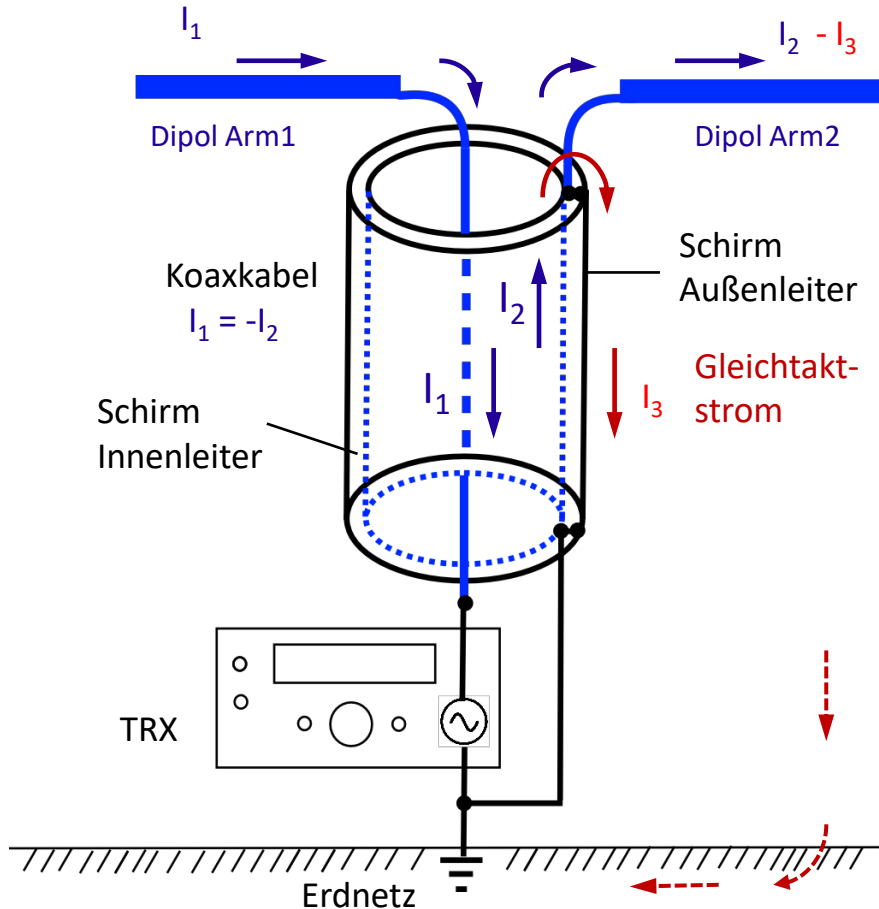


## Folge: Gleichtakt Ausgleichsströme auf der Speiseleitung



... verursachen TVI und empfangen Störungen aus dem häuslichem Störnebel

# Mantelströme - Entstehungsmodell



- Energie fließt als Strom  $I_1$  (Innenleiter) und Strom  $I_2$  (Innenseite des Koaxaschirms) zur Antenne.

- $I_1$  und  $I_2$  sind im Betrag gleich und entgegengesetzt gerichtet.

- Der Außenmantel des Schirms wirkt als separater Leiter zwischen Dipol-Arm 2 und Erde.

- Unsymmetrie der Antenne führt zu einem Potentialunterschied gegen Erde.

- Es fließt hochfrequenter Gleichtaktstrom ( $I_3$ ) über dem Außenmantel des Koaxkabels zu Erde.

**Die Leitung strahlt, sie wirkt als Antenne!**

**Gleichtakt- bzw. Mantelströme sind Ausgleichsströme die durch unterschiedliche Potentiale zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Systemen provoziert werden.**

# Was tun gegen Mantelwellen?

- Gegentaktströme sind für den gewünschten Energietransport in der Leitung verantwortlich, sind erwünscht.
- Gleichtaktströme führen zu Mantelwellen, also zu einer Abstrahlung oder zum Empfang von Störungen durch die Leitung, sind unerwünscht.
- Wir brauchen ein Bauteil, das Gegentaktströme ungehindert fließen läßt und Gleichtaktströme wirksam reduzieren kann.
- Ein Bauteil, das dafür sorgt, dass an symmetrisch/unsymmetrischen Übergängen symmetrische Ströme fließen.



***Ein Strombalun ist geeignet, Mantelwellen wirksam zu unterdrücken***

*Andere Begriffe für einen Strom-Balun sind: Guanella, Mantelwellensperre, Gleichtaktdrossel, Common-Mode Choke*

# Eigenschaften eines Strom-Balun

Ein Strom-Balun verfügt über wichtige Eigenschaften:

## 1. lässt Gegentaktströme ungehindert durch

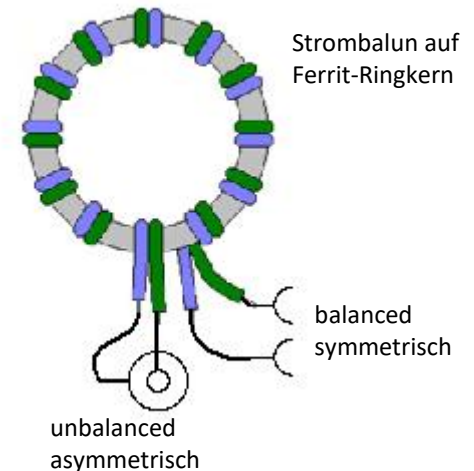
Der Energiefluss durch gleich große aber entgegengesetzte Ströme von der Antenne zum TRX, vom TRX zur Antenne wird nicht beeinflusst.

## 2. stellt Gleichtaktströmen einen möglichst hohen Widerstand entgegen

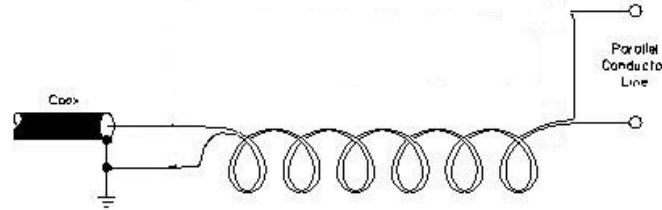
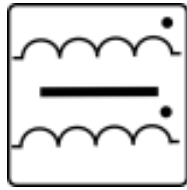
Als eine Drossel stellt er an der Einbaustelle für den Gleichtaktstrom einen Impedanz mit hohem induktivem Widerstand dar (Gleichtaktdrossel, Common-Mode Choke). Mantelströme werden wirksam reduziert bzw. im Idealfall unterdrückt.

Ein Strombalun (**balanced** to **unbalanced**) ermöglicht den Übergang einer unsymmetrischen Leitung (z.B. Koaxialkabel) auf eine symmetrische Last (z.B. Dipol-Antenne) oder einer symmetrischen Leitung (z.B. Paralleldraht-Feederleitung) auf eine unsymmetrische Last wie zum Beispiel Antennen mit unsymmetrischen Eigenschaften, wie Groundplane , außermittig gespeister oder unsymmetrischer Dipol.

Ein Strombalun wirkt als Gleichtaktdrossel und Mantelwellensperre.



# Strombalun



Der **1:1 Strombalun** wirkt für Gleichtaktströme wie eine verlustbehaftete Drosselspule, wie ein Sperrglied. Er besteht aus einer Übertragungs-Leitung, die auf einen Kern gewickelt wird. Als Leitung dient entweder ein paralleler Draht, oder ein Koaxialkabel. Anstatt eines Kerns reicht unter Umständen auch nur das Aufwickeln zu einer Luftspule.

Betrachtet man die Teilströme auf beiden Leitern der Leitung, so sind diese betragsgleich, aber entgegengesetzt gerichtet. Sie sind im Gegentakt. Das magnetische Feld der Ströme hebt sich im Idealfall auf, so dass im Kern in Summe kein magnetischer Fluss auftritt.

Anders beim Auftreten von Unsymmetrie und Mantelströmen in Form von Gleichtaktströmen. Der Balun wird für die Gleichtaktströme zur Drosselspule. Die Induktivität der Spule bestimmt mit ihrem induktiven Widerstand die Drosselwirkung die den Gleichtaktanteilen entgegengesetzt wird.

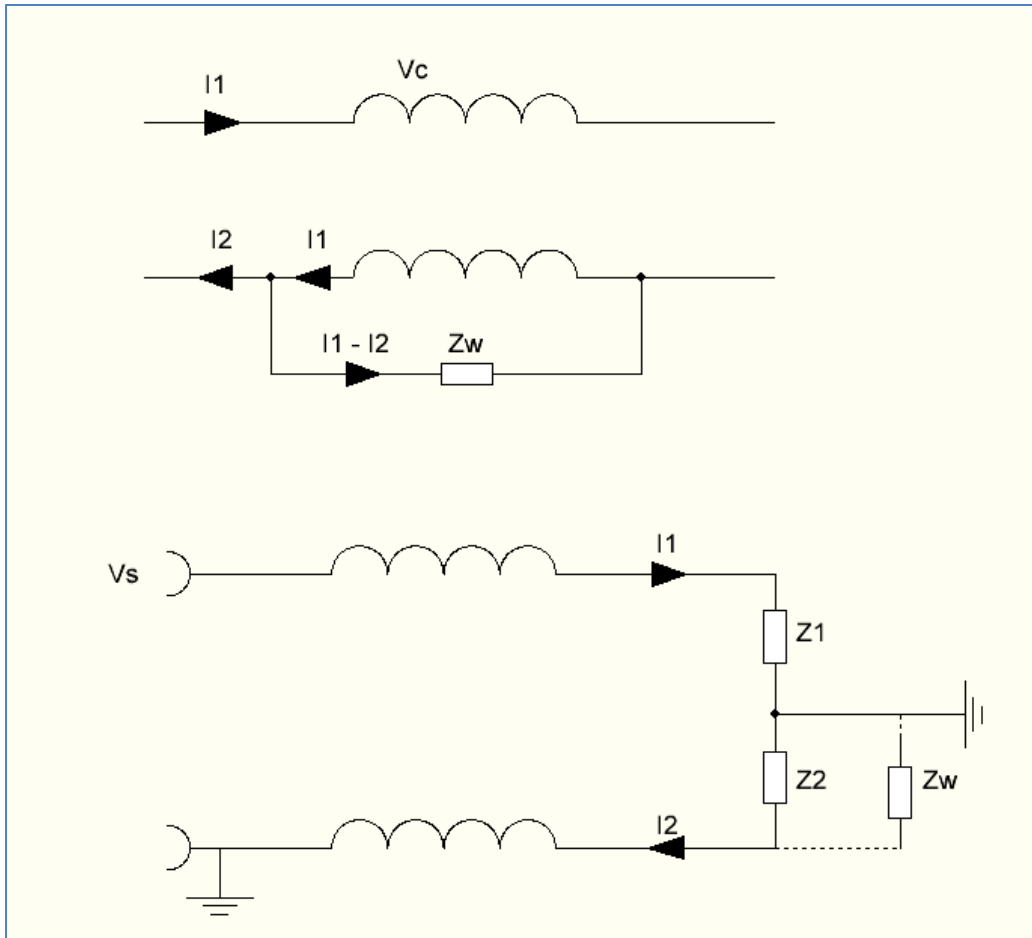
Der Wellenwiderstand der verwendeten Leitung soll dem geometrischen Mittel zwischen Ein- und Ausgangsimpedanz entsprechen.

$$Z_{\text{Leitung}} = \sqrt{Z_{\text{Ein}} * Z_{\text{Aus}}}$$



*Nicht überall, wo Balun draufsteht, ist auch ein Balun drin! Der Begriff Balun (Kunstwort aus: **B**alanced-**U**nbalanced) wird häufig unsachgemäß verwendet. Fälschlich werden auch andere Formen von Impedanz-Übertragern als Balun bezeichnet, auch wenn sie keine symmetrierende Eigenschaften haben, und deshalb UnUn heißen müssten.*

# Strombalun 1:1 - Ersatzschaltbild



Ersatzschaltbild nach Lewallen:  
idealer Leitungsübertrager für  
Gegentaktstrom und  
induktiver Widerstand  $Z_w$  für  
Gleichtaktstrom

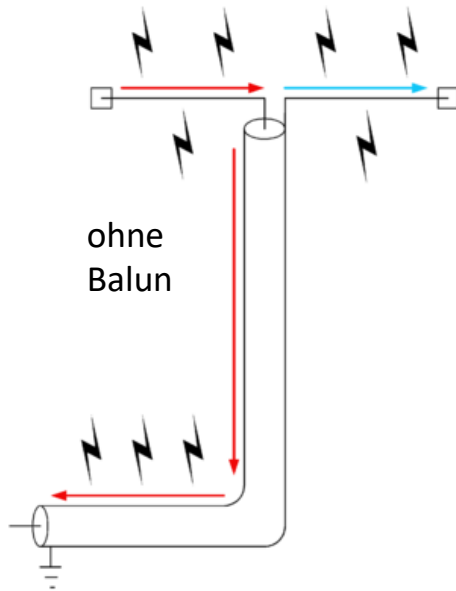
$$I_1 / I_2 = (Z_2 + Z_w) / Z_w$$

$$\text{Unsymmetrie} = Z_2 / Z_w$$

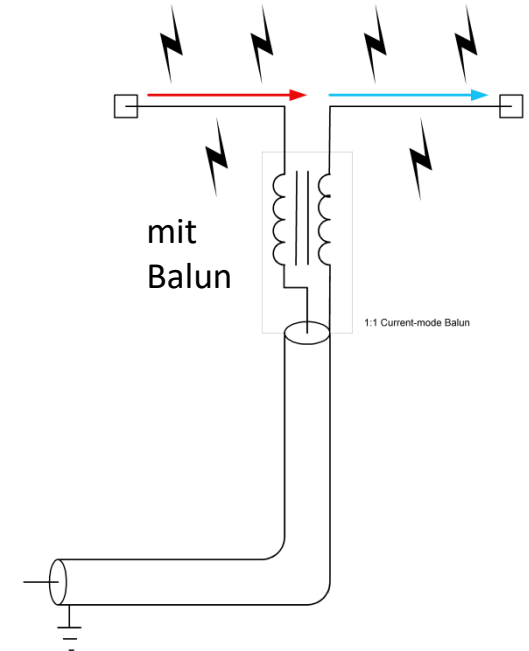
$$\text{Anforderung : } Z_w > 10 Z_2$$

# Der Strom-Balun als effektive Mantelwellensperre

- Bei Gleichtaktströmen wirkt der Schirm ungewollt als Teil der Antenne.
- Ein Strom-Balun unterdrückt Gleichtaktströme. Dem Gleichtaktstrom wird ein hoher Widerstand entgegengesetzt.
- Der Energietransport von Gegentaktsignalen im Inneren der Koaxleitung wird nicht beeinflusst. Nur die Ströme auf dem Außenmantel des Schirms werden unterdrückt.
- Der Balun wirkt am besten, wenn er im Strombauch des Gleichtakt-Stromes eingefügt wird. Dort ist die Gleichtaktunterdrückung am höchsten

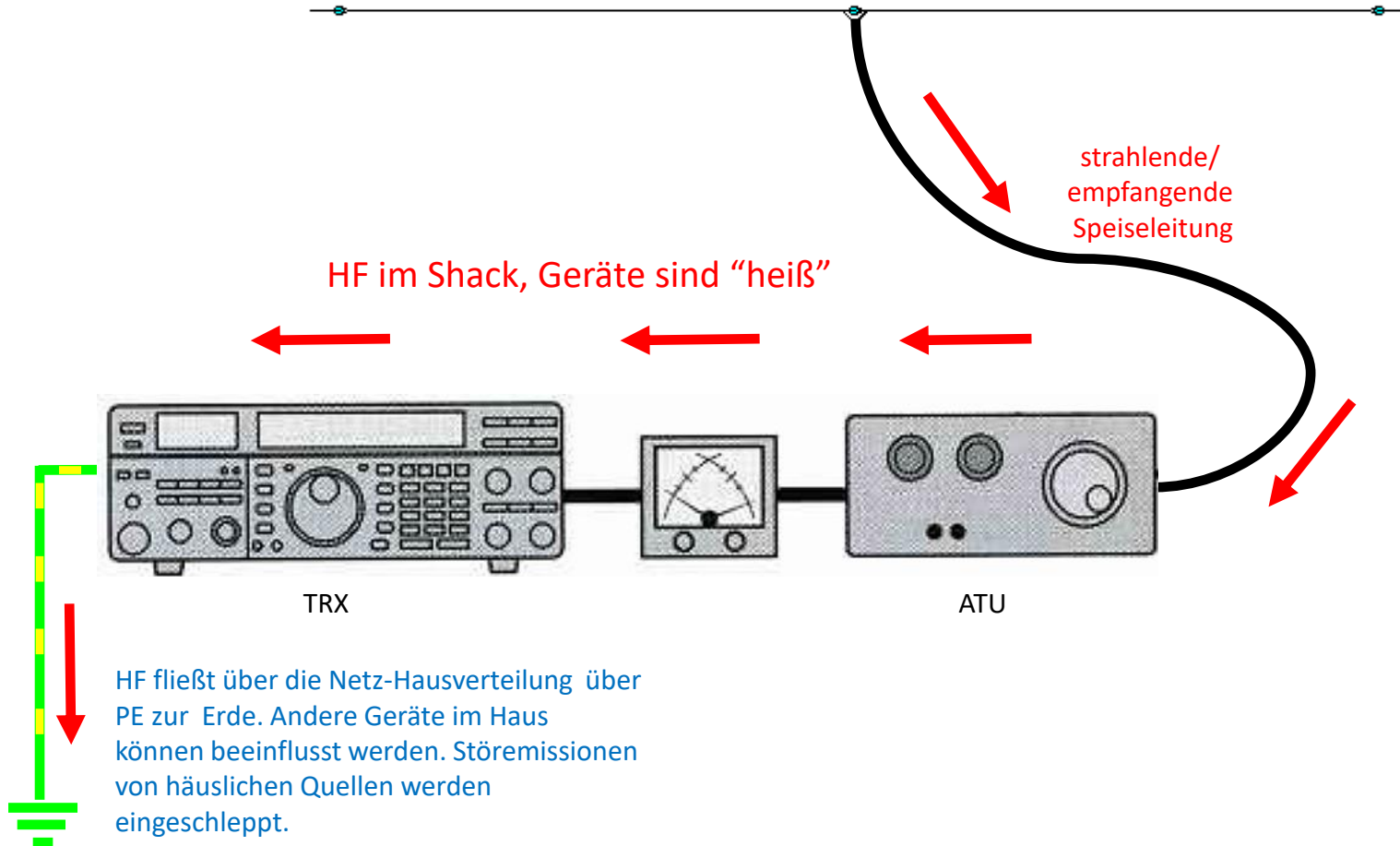


Schirm und Dipolarm wirken wie eine zusätzliche inverted-L Antenne



**Ein Strombalun (Gleichtaktdrossel) unterbricht Mantelströme und erzwingt symmetrische Ströme auf der Leitung**

# Wann braucht man einen Balun ?



Die Aufgabe eines Baluns ist eine effiziente HF-Potentialtrennung zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Systemen. Ein Balun verhindert, dass HF-Ausgleichsströme über Wege fließen, wo sie nicht sollen. Er verhindert beim Senden EMI und beim Empfang das Einschleppen von „man made noise“ Störungen.



# Wie soll ein Balun idealerweise gebaut sein?

- Hohe Impedanz für Gleichtaktströme - ein Mehrfaches der zu verdrosselnden Gleichtakt-Impedanz. (Diese hängt auch von der Koax-Länge und der Einfügestelle des Balun ab: Im Strombauch – niedrige Impedanz, im Spannungsbauch – hohe Impedanz)
- Ziel: hohe Impedanz bei wenigen Windungen und kurzer Wicklungslänge
- Große Bandbreite, Gleichtaktimpedanz mit resistivem Anteil (geringe Spulengüte)
- Wellenwiderstand der aufgewickelten Leitung = geometrisches Mittel zwischen Ein- und Ausgangsimpedanz. (schwierig beim Balun hinter einem ATU, da  $Z$  dort undefiniert)
- Überschlagesicherheit / Spannungsfestigkeit der Wicklung (z.B. Teflonisolierung)
- Geringe Durchgangs-Verluste für gewünschte Gegentaktsignale
- Ausreichend bemessener Kern - kann den max. auftretenden magnetischen Fluss verkraften.

***Ein gut funktionierender Balun ist immer ein Kompromiss***

# Unterschied: Strombalun - Spannungsbalun

Unter dem Begriff Balun werden meist zwei Varianten unterschieden:

➤ **Der „Strombalun“ erzwingt symmetrische Ströme.**

*Ein Strombalun wird als Gleichtaktdrossel (Mantelwellensperre, common mode choke) eingesetzt.*

Die Aufgabe eines Strombaluns ist es, an den Ausgangsklemmen betragsgleiche und entgegengesetzt gerichtete Ströme zu erzeugen. Als Konsequenz kann die Ausgangsspannung, die an den Ausgangsklemmen gegen Erde anliegt, den Wert annehmen der notwendig ist, um die Stromsymmetrie zu erzeugen.

**Der „Spannungsbalun“ erzwingt symmetrische Spannungen.**

*Er dient häufig als Impedanztransformator zur breitbandigen Anpassung von Antenne und Leitung.*

Ein Spannungsbalun erzeugt an seinen Ausgangsklemmen gleiche Spannungen bezogen auf das Erdpotential. Ein Spannungsbalun wird oft mit einem Übersetzungsverhältnis gewickelt, so dass er unterschiedliche Impedanzen zwischen Ein- und Ausgang transformiert.

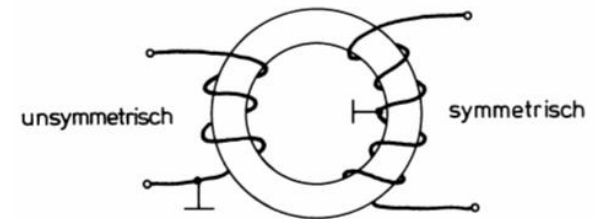
***Ein Strombalun unterdrückt Mantelwellen. Ein Spannungsbalun ist nicht dazu geeignet, Mantelströme wirksam zu unterdrücken!***

***Ein Spannungsbalun kann jedoch zu diesem Zweck mit einem 1:1 Strombalun kombiniert werden (Hybridbalun).***

# Eigenschaften eines Spannungsbalun

Ein **Spannungsbalun** erzeugt an den Ausgangsklemmen starre symmetrische Spannungen in Bezug zu Masse/Erddpotential. Die Mitte der Ausgangswicklung ist oft direkt mit Masse verbunden.

Der **Spannungsbalun** funktioniert nach dem Prinzip des Transformators: Ein Strom in der Primärwicklung erzeugt ein Magnetfeld, das Magnetfeld induziert in der Sekundärwicklung eine Spannung. Die Übertragung der Energie erfolgt über den magnetischen Fluss, der Kern muss die max. transformierte Leistung verkraften.



## Transformation

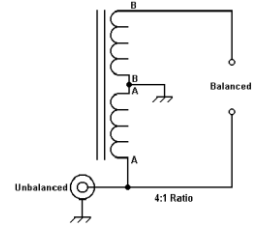
Um eine große Bandbreite zu erhalten wird ein Spannungsbalun meist nach dem Prinzip des Leitungstransformators (Transmission-Line-Transformer, TLT) als Autotrafo ausgeführt.

Ist das Verhältnis der Windungszahlen gleich, spricht man von einem 1 : 1 Balun, er hat beidseitig die gleiche Spannung und die gleiche Impedanz.

Ist das Windungsverhältnis unterschiedlich, so wird die Spannung proportional zum Verhältnis der Windungszahlen und die Impedanz proportional zum Quadrat des Windungszahlen-Verhältnisses transformiert.

# Spannungsbalun 1:4 – Verhalten bei Gleichtaktstrom

Sind die durch eine (Stör-)Quelle eingebrachten Gleichtaktströme auf beiden Leitern der Speiseleitung betragsgleich, so lenkt das Symmetrieglied sie vollständig gegen Masse ab. Wird die Symmetrie nicht gewährleistet, z.B. Speiseleitung nicht rechtwinklig zum Dipol, Dipol nicht exakt symmetrisch ausgeführt, so können Teile des Gleichtaktstromes in der angeschlossenen Last eine Störspannung erzeugen. Gleiches gilt im Sendefall nur anders herum, Teile der Sendeenergie erreichen nicht den Dipol sondern werden von der Speiseleitung abgestrahlt.

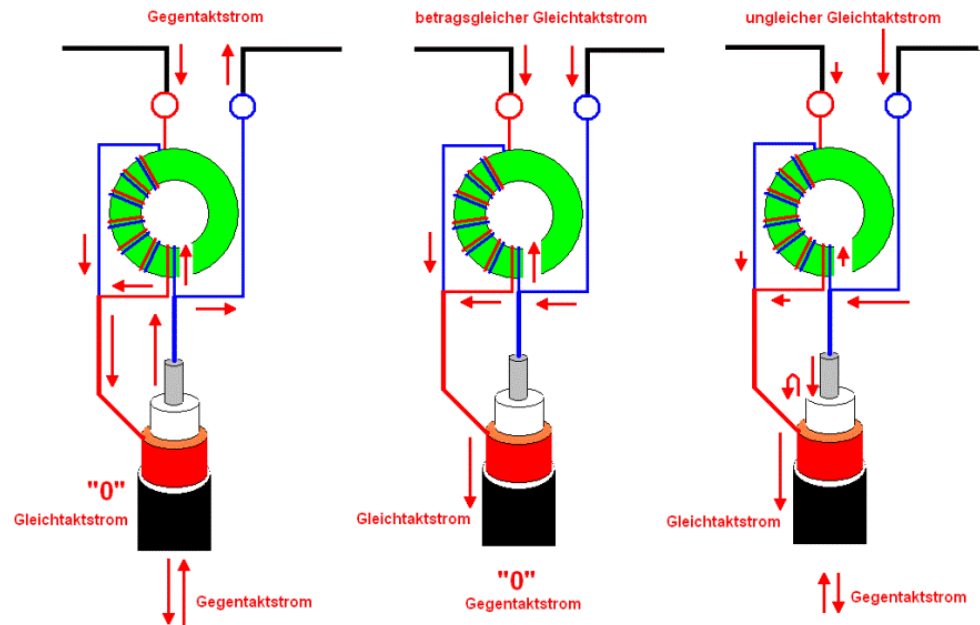


Die Leitung auf dem Kern, rot und blau gezeichnet, kann nur durch Gegentaktstrom durchflossen werden, weil sie für Gleichtaktstrom wegen des Wicklungssinnes wie eine Drossel wirkt. In der Zeichnung ist zu erkennen, dass die Teilströme im Bereich der Zweidrahtleitung immer betragsgleich sind

Bei einer Speisung mit Gegentaktstrom aus dem Koaxialkabel (links im Bild) durchfließt eine Hälfte des Stroms als Gegentaktstrom die Zweidrahtleitung. Die andere Hälfte erreicht den Dipol. Da gleichzeitig eine Spannungstransformation 1:2 erfolgt, gelangt die volle Leistung auf den Dipol, dessen Fußpunktwiderstand das Vierfache der Kabelimpedanz haben muss.

Bei betragsgleichem Gleichtaktstrom auf den beiden Leitern des Dipols gegen Erde bewirkt die aufgewickelte Zweidrahtleitung, dass dieser vollständig in Form eines Gegentaktstromes über die Wicklung geht. Das ist vergleichbar mit einem Kurzschluß gegen Masse. Es bleibt nichts übrig, was in das Koaxialkabel eindringen könnte.

Ist der Gleichtaktstrom nicht betragsgleich auf die beiden Leiter aufgeteilt, wird die Differenz beider Ströme den Umweg übers Innere des Koaxialkabels nehmen. Der Spannungsbalun wirkt nicht als Trennglied und erzwingt keine symmetrischen Ströme.



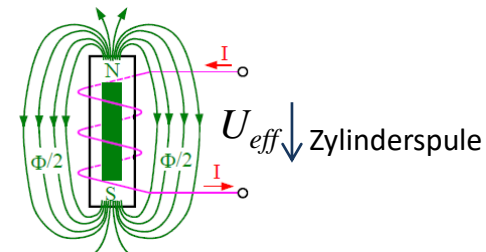
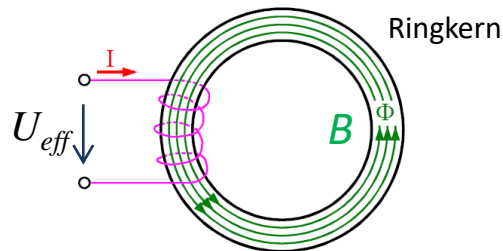
Nur bei exakt symmetrischer Last verhindert ein Spannungsbalun Störungen durch Gleichtaktstrom.

## Etwas Theorie muss sein

- **Magnetische Kenngrößen**
- **Induktiver Widerstand**
- **Permeabilität**
- **Magnetischer Fluss**
- **Mini- Ringkernrechner**

# Magnetischer Fluss in einer Spule

Ein zu einer Spule aufgewickelter Leiter erzeugt bei Stromfluss ein gleichmäßig verlaufendes magnetisches Feld im Innern der Spule. Der magnetische Fluss  $\Phi$  (Phi) ist die Gesamtheit der magnetischen Feldlinien. Die Anzahl der Feldlinien pro Querschnittsfläche  $A$  wird als magnetische Flussdichte  $B$  (Induktion) bezeichnet. Die Einheit ist Tesla :  $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$  ( = 10000 Gauss).



**Die magnetische Flussdichte  $B$  ist proportional zu Spannung, Strom und Permeabilität und umgekehrt proportional zu Frequenz, Windungszahl und Querschnittsfläche. Sie berechnet sich:**

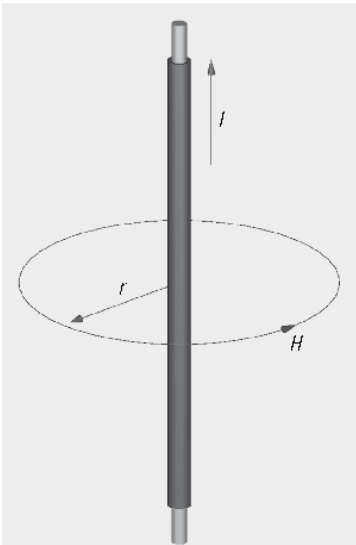
$$B = \frac{U_{eff} \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot A \cdot N}$$

Hierin ist  $B$  der Spitzenwert der magnetischen Flussdichte in Tesla,  $U_{eff}$  ist die angelegte Spannung in Volt,  $A$  ist die Querschnittsfläche des Kerns in  $\text{m}^2$  und  $N$  ist die Windungszahl sowie  $f$  steht für die Frequenz in Hz.

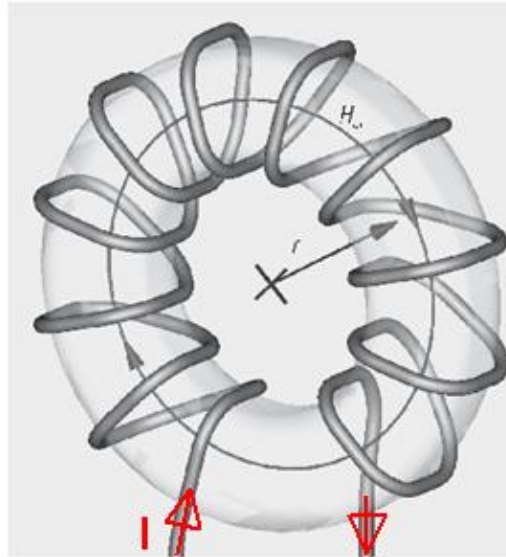
Die Werte für die maximale magnetische Flussdichte  $B_{max}$  eines Kerns erhält man aus dem Datenblatt oder einem Diagramm des Herstellers. Wird sie überschritten, verliert der Kern seine magnetischen Eigenschaften und kann beschädigt werden.

# Magnetisches Feld in einer Spule - Feldstärke H

Das Magnetfeld wird durch die magnetische Feldstärke H gemessen. Sie ist durch die Ströme die das Feld erzeugen, bestimmt. Die Einheit der magnetischen **Feldstärke H** ist **A/m**



Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter



Magnetfeld in einer stromdurchflossenen Ringkernspule

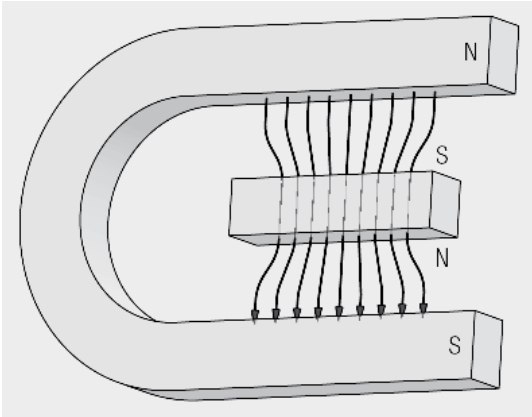
Grafik: Wuerth Elektronik

$$H = \frac{N \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Hierin ist H die magnetische Feldstärke in A/m  
I ist der Strom durch die Spule in A,  
N ist die Anzahl der Windungen  
r ist der mittlere Radius in m

- Die Größe der magnetischen Feldstärke H im Inneren einer Ringkernspule ist abhängig von der Stromstärke I, dem mittleren Durchmesser des Ringes (der Spulenlänge) und der Windungszahl N.
- Die Feldstärke H in Luft und in Ferrit oder Eisen ist gleich groß → die magnetische Feldstärke ist materialunabhängig .

# Magnetische Leitfähigkeit – Permeabilität $\mu$



Bringt man in ein Magnetfeld einen ferromagnetischen Stoff (z.B. Eisen) so stellt man fest, dass sich der magnetische Fluss im Werkstoff konzentriert.

In Analogie zum elektrischen Widerstand wirkt der ferromagnetische Stoff wie ein guter Leiter für die magnetischen Feldlinien. So lässt sich die Permeabilität als magnetische Leitfähigkeit vorstellen.

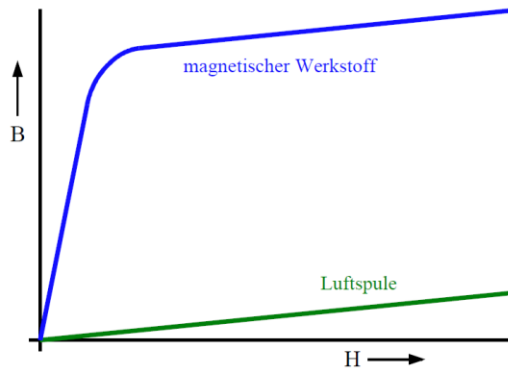
Grafik: Wuerth Elektronik

- Der Faktor, um den die Induktion  $B$  durch Einbringen des Stoffes verändert wird heißt Permeabilitätszahl oder **relative Permeabilität  $\mu_r$** . Es ist eine Verhältniszahl für die magnetische Leitfähigkeit eines Materials im Verhältnis zum Vakuum.
- Die Permeabilität von Vakuum (fast gleich: Luft) ist  $\mu = 1$ . Ersetzt man z.B. bei einer Spule die Luft, durch ein Material mit  $\mu_r = 10$ , ergibt die Spule die zehnfache Induktivität.
- Will man mit wenigen Windungen eine hohe Induktivität erreichen, soll ein Spulenkern eine hohe magnetische Leitfähigkeit (Permeabilität) aufweisen. Dieses erreicht man mit ferromagnetischen (Eisen) oder ferrimagnetischen (Ferrit) Werkstoffen mit hohem  $\mu_r$ .

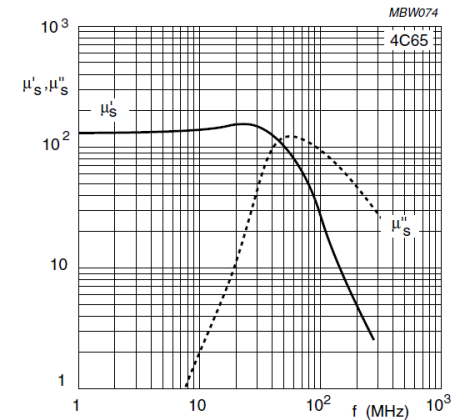
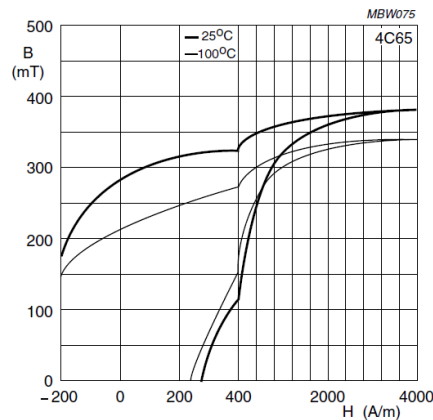


# Permeabilität von Eisen/Ferritkernen

*Die Permeabilität von Eisen/Ferritkernen ist nicht konstant sondern stark nichtlinear. Sie variiert mit der Frequenz, der Temperatur, der magnetischen Feldstärke  $H$ . Materialien mit hoher Anfangspermeabilität  $\mu_r$  haben meist auch höhere Verluste.*



vereinfachter Vergleich der Permeabilität von Luft und Ferritmaterial



**Die Auswahl des geeigneten Kerns für einen Balun ist darum immer ein Kompromiss.**

# Balun: Kenngrößen und Daumenregeln

- Für eine wirksame Unterdrückung von Gleichtaktströmen soll der induktive Widerstand  $X_L$  der Wicklung eines Balun ca. zehnmal so groß sein, wie die zu verdrosselnde Last-Impedanz.

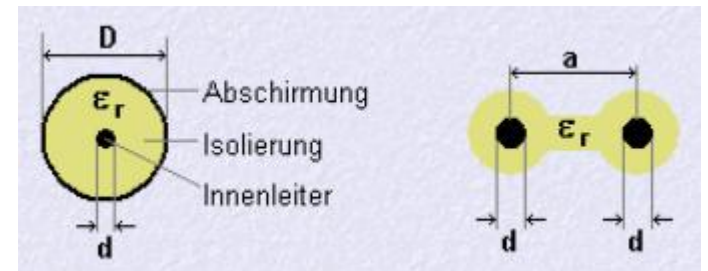
(ergibt dann rd. 20dB Gleichtaktunterdrückung)

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

- Um Fehlanpassung (schlechtes VSWR) zu vermeiden, muss der Wellenwiderstand der als Wicklung verwendeten Leitung dem geometrischen Mittel zwischen Ein- und Ausgangs-Impedanz des Balun bzw. des Leitungsübertragers entsprechen.

$$Z_{\text{Leitung}} = \sqrt{Z_{\text{Ein}} \cdot Z_{\text{Aus}}}$$

*Der Wellenwiderstand  $Z_0$  einer Leitung wird bestimmt vom Verhältnis zwischen dem Durchmesser der beiden Leiter und dem Abstand zwischen den Leitern, sowie der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  des Materials zwischen den Leitern. Handelsübliche PVC isolierte Lautsprecherlitze 2x0,75 mm<sup>2</sup> hat z.B. oft etwa 100  $\Omega$  Wellenwiderstand.*



# Der Mini-Ringkernrechner

Freeware, Download kostenlos im Web



Wer braucht einen solchen Rechner?

- Funkamateure, die eine Spule oder einen Balun dimensionieren wollen und nicht mit komplizierten Formeln und Datenblättern hantieren möchten.

•Man benötigt die Induktivität und sucht die dazugehörige Windungszahl?

•Formeln und Materialdaten für die gebräuchlichsten Kerne sind eingebaut.

•Wilfried Burmeister, DL5SWB+ hat dieses geniale Freeware Tool entwickelt. Für Windows und Linux.

mini Ringkern-Rechner 1.2

Info Tools Sprache (Language) Maßeinheiten Hilfe

$R$   $\mu$   $\text{Cu}$   $\frac{m}{in}$   $\frac{ft}{ft}$  ?

Ferroxcube unbekannte Kerne Luftspulen  
Eisenpulver T .. - .. Ferrit FT .. - .. SIFERRIT

Frequenzbereiche in MHz  
0.01 - 1 1 - 50 30 - 600  
Resonanz Breitband Drossel

FT240 - 43  $\mu_i = 850$   
AL = 930 mH/(1000 N)<sup>2</sup>

Da 61.00 mm Di 35.60 mm h 12.70 mm

Induktivität 200 µH Windungszahl 15 Drahtlänge 77 cm max. D (Draht) 6.13 mm

Anwendung  
Frequenz 1.8 MHz => XL = 2.262 kΩ max. Flux 112 G  
Spannung 100 V Flux 53 G

Kernverluste xxx mW/cm<sup>3</sup> xxx W Temperaturanstieg xxx °C

Induktivität aus Windungszahl berechnen  
8 N 59.520 µH XL = 673.155 Ω

Lieferant: AMIDON

# Balun, so wird's gemacht

- Die „Kernfrage“ : Eisenpulverkerne und Ferritkerne
- Kernkenngrößen, Wicklung und Impedanz
- Balunformen, Schaltbilder und Wickelschemata
  - 1:1 Strombalun - Mantelwellensperre
  - Balun mit Übersetzungsverhältnis
  - Hybridbalun
  - UnUn
- Zusammenspiel: Balun – ATU - Speiseleitung
- Worauf beim Bau zu achten ist - Fallstricke

# Die „Kernfrage“



Bei einem **Strom-Balun**, wird die Nutz-Energie über eine TEM Welle auf der Leitung transportiert. Sie verursacht im Idealfall keinen magnetischen Fluss im Kern, da sich durch den betragsgleichen aber entgegengesetzt gerichteten Strom das Magnetfeld im Kern aufhebt. Die Trennwirkung wird durch den induktiven Widerstandes der Wicklung verursacht, der nur für Gleichtaktströme wirksam wird.

Der Kern bekommt nur dann „etwas zu tun“, wenn der Balun durch Unsymmetrien verursachte Gleichtaktströme kompensiert. Nur Gleichtaktströme verursachen magnetischen Fluss im Kern.

Beim **Spannungsbalun** wird ein beträchtlicher Teil der Energie über den magnetischen Fluss im Kern übertragen. Das erfordert ausreichend dimensionierte Kerne und verlustarme Materialien.

# Eisenpulver Kerne

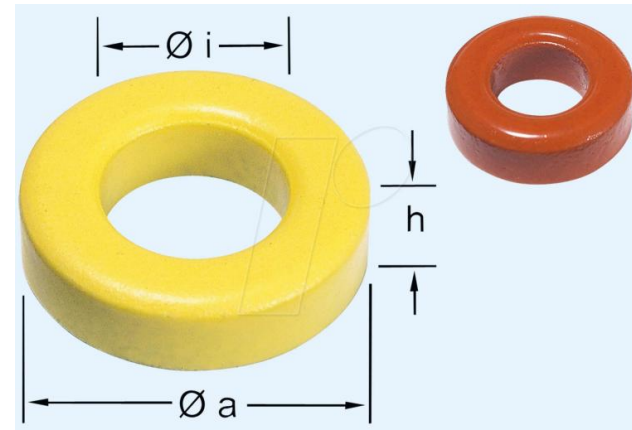
Eisenpulver HF-Kerne bestehen aus besonders reinem Carbonyl-Eisenpulver, das unter hohem Druck kalt gepreßt wird.

Die Permeabilität (magnetische Leitfähigkeit), ist niedriger als bei Ferritkernen.

Eisenpulverkerne eignen sich insbesondere für Anwendungen wie Schwingkreise und Filter, wo eine hohe Güte erstrebenswert ist. Sie vertragen recht hohe Leistungen. Als Balun sind sie weniger geeignet, da man wegen ihrer relativ geringen Permeabilität viele Windungen benötigt, um die erforderliche Induktivität zu erreichen.

Eisenpulver Ringkerne gibt es in verschiedenen Mischungen, mit unterschiedlicher Permeabilität, farblich codiert, von Micrometals / Amidon.

Für Filter und Schwingkreise häufig eingesetzt:  
Material #2 (rot), Permeabilität  $10\mu$ , 1 bis 30 MHz  
Material #6 (gelb), Permeabilität  $8\mu$ , 2 bis 50 MHz



*Die Permeabilität  $\mu_r$  ist eine Maßzahl für die magnetische Leitfähigkeit eines Materials. Die Permeabilität von Luft ist  $\mu_r = 1$ . Ersetzt man bei einer Spule die Luft durch ein Material mit  $\mu_r = 10$ , ergibt die Spule die zehnfache Induktivität.*

# Ferrit Kerne

Bei **Ferriten** handelt es sich um weichmagnetische, gesinterte Werkstoffe. Sie bestehen aus dem Eisenoxyd Hämatit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  unter Zumischung von anderen Metalloxyden und Metallcarbonaten. Ferrite sind nicht oder schlecht leitend und wie Keramik sehr hart und spröde. Man presst sie in unterschiedliche Formen.

## Mangan-Zink Ferrit, MnZn:

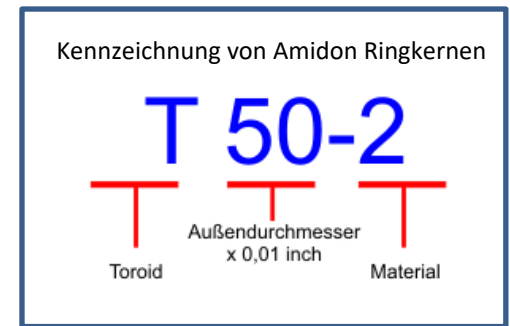
MnZn Ferrite haben Permeabilitäten bis zu  $5000\mu$  und mehr. Bei hohen Frequenzen größere Verluste durch Wirbelströme.

Fair Rite/ Amidon #77,  $\mu = 2000$   
Siemens/TDK-EPCOS N30,  $\mu = 4500$

## Nickel-Zink Ferrit, NiZn:

Permeabilität bis zu  $1500\mu$ ,

FairRite/Amidon FT #33,  $\mu = 600$   
FairRite/Amidon FT #43,  $\mu = 800$   
FairRite/Amidon FT #61,  $\mu = 125$   
Ferroxcube 4C65,  $\mu = 125$   
Wuerth 4W620,  $\mu = 620$

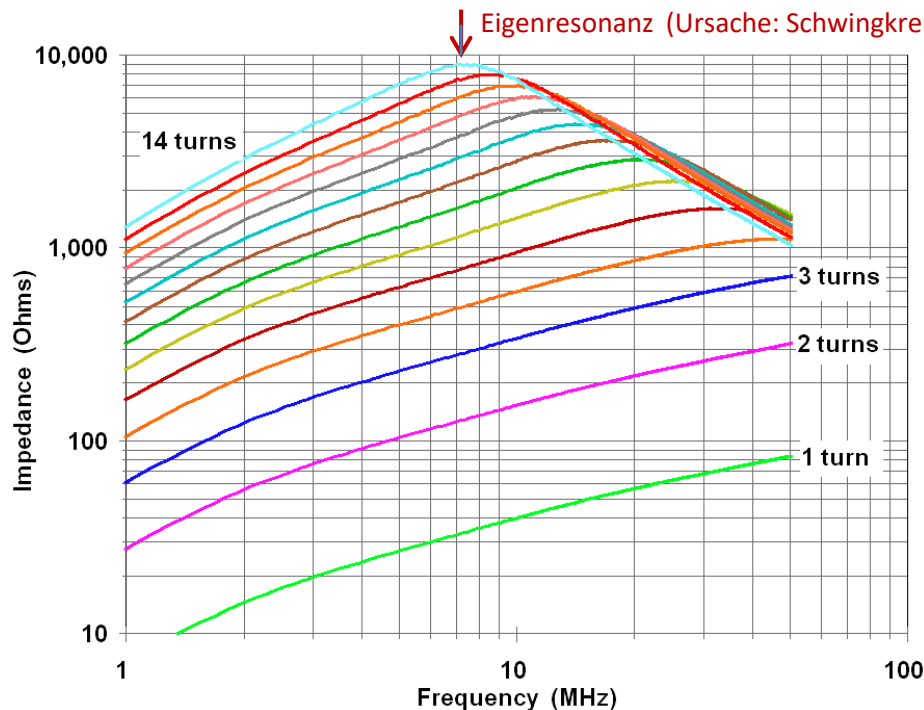


**Als Breitband-Balun im KW-Bereich sind NiZn Ferrite am besten geeignet**

*Der Wuerth Kern 74270097 aus 4W620 Material mit den Maßen  $\varnothing 61\text{mm} \times 35,5\text{ mm} \times 13\text{mm}$  Höhe eignet sich gut als Balun für höhere Leistung. Der DARC vertreibt den Kern als RK1. Vergleichbar ist der FT240-43 von Amidon. Ein dickerer Kern mit 20mm Höhe ist der Wuerth Typ74270191 (RK4)*

# Impedanz (Wechselstromwiderstand) eines Balun

Gemessene Werte eines Amidon #43 Ferrit-Ringkerns ( $\mu = 850$ )



Messung mit 1 und mit 12 Windungen

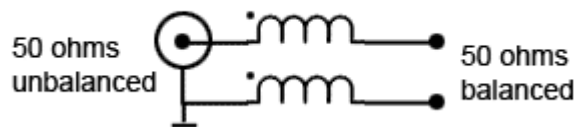
Wir merken uns:

- Die Impedanz des Balun setzt sich aus  $X_L$  sowie  $X_C$  und Verlustwiderstand  $R$  anteilig zusammen
- Die induktive Widerstand  $X_L$  wächst mit zunehmender Permeabilität  $\mu$  des Kernmaterials ( $Z \sim \mu$ )
- Der induktive Widerstand steigt mit dem Quadrat der Anzahl „N“ der Windungen ( $Z \sim N^2$ )
- Die Windungskapazität wächst mit der Anzahl der Windungen ( $Z \sim N$ )
- Aus der Spuleninduktivität und der Wicklungskapazität ergibt sich eine Eigenresonanz
- Die Eigenresonanz verschiebt sich mit zunehmender Windungszahl hin zu tieferen Frequenzen



# Strombalun 1:1 , 50 Ohm

Da es sich bei einem Balun um einen Leitungstransformator handelt, muss die verwendete Leitung entsprechend auch einen Wellenwiderstand von 50 Ohm aufweisen um ein gutes SWR zu erreichen.



Strombalun 1:1

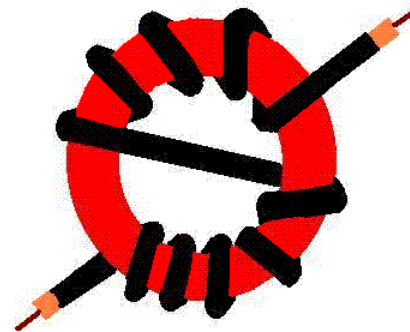
Bild: DG0SA



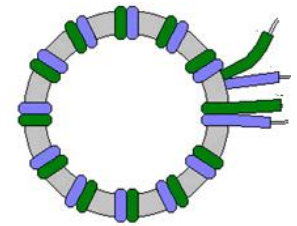
**Wicklung nach DG0SA (oben)** Es werden einmal 12 Wdg 100  $\Omega$  Zweidraht-Leitung auf die eine Kernhälfte und 12 Wdg auf die andere Kernhälfte gewickelt. Das Parallelschalten der 100  $\Omega$  Leitungen ergibt 50 Ohm Wellenwiderstand. Wickelsinn beachten!

## Wicklung nach Joe Reiser (rechts)

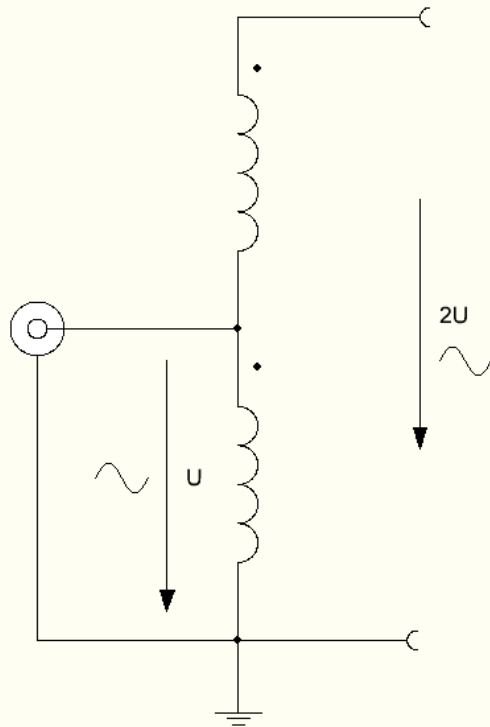
Eine Wicklung mit 50 Ohm Koaxkabel (oder Paralleldrahtleitung) wird auf einen Ferritring aufgebracht. Der Wickelsinn ist magnetisch gleichsinnig, trotz scheinbaren Richtungswechsels. Das Reiser-Wickelschema hat hauptsächlich den konstruktiven Vorteil, dass sich Ein- und Ausgang gegenüberliegen und somit gut in einen Kabelweg einzuschleifen sind. Ein mit Koaxialkabel gewickelter Reiser Balun hat ein gutes SWR und geringes kapazitives Übersprechen, weil Ein- und Ausgang auseinander liegen.



# Gleiche Wicklung – unterschiedliches Ergebnis

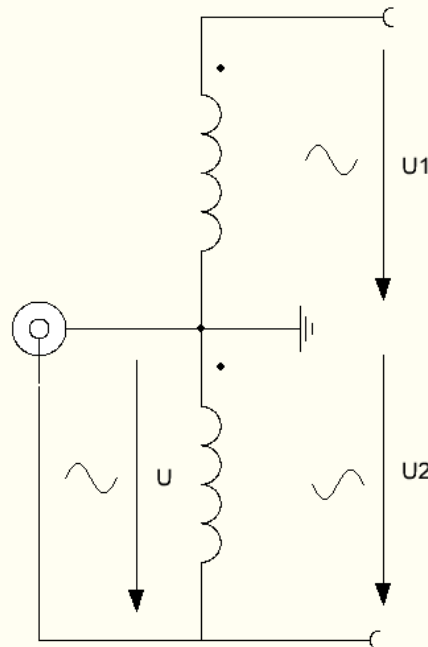


UnUn 1 : 4



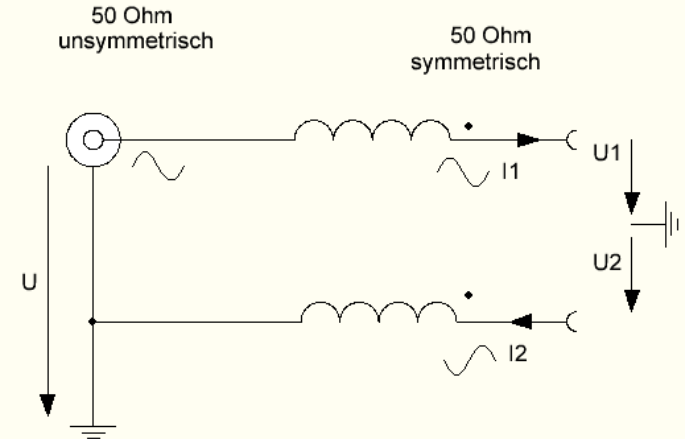
$U_{\text{aus}} = 2 U_{\text{ein}}$   
unsymmetrisch gegen Erde

Spannungsbalun 1 : 4



$U_{\text{aus}} = 2 U_{\text{ein}} = U_1 + U_2$   
 $U_1, U_2$  sind gleich groß und  
symmetrisch gegen Erde

Strombalun 1:1

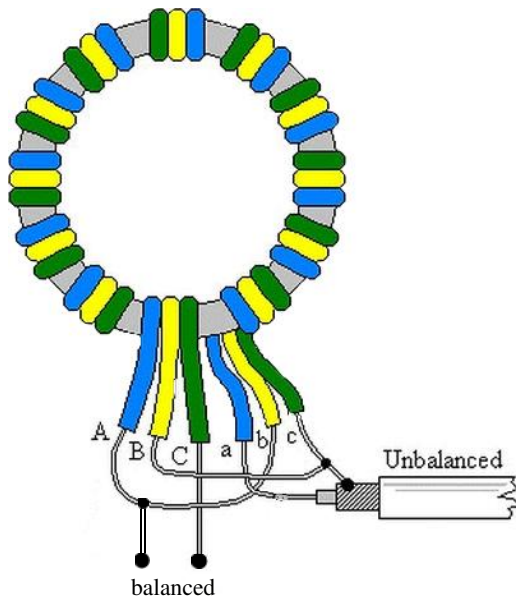
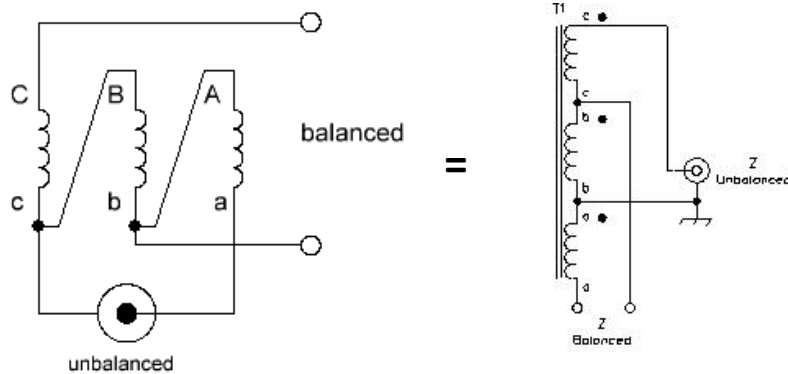


Ströme  $I_1$  und  $I_2$  sind gleich groß und  
symmetrisch

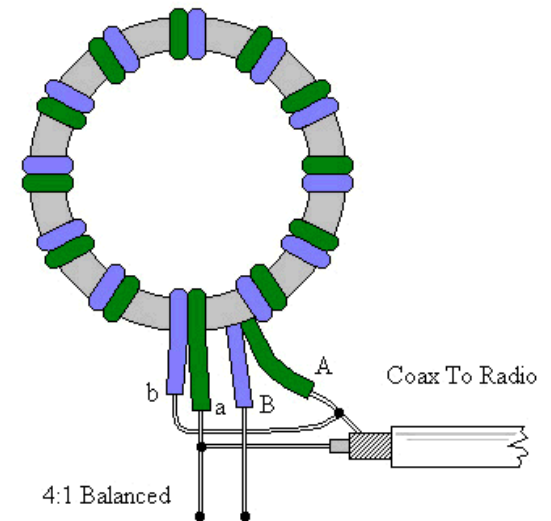
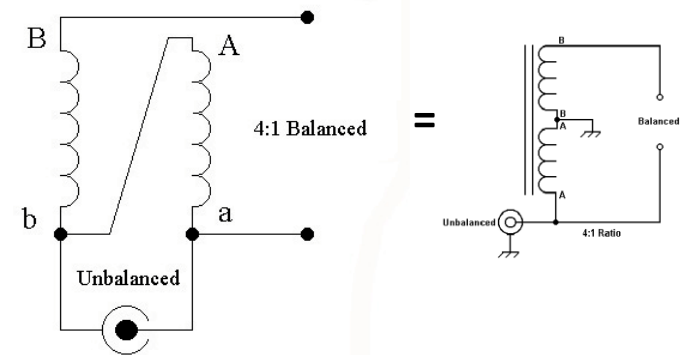
**Achtung ! Vertauschte Anschlüsse machen aus einem Strom-Balun schnell einen Spannungs-Balun oder UnUn**

# Spannungsbalun 1:1 und 1:4

## Spannungsbalun 1:1



## Spannungsbalun 1:4

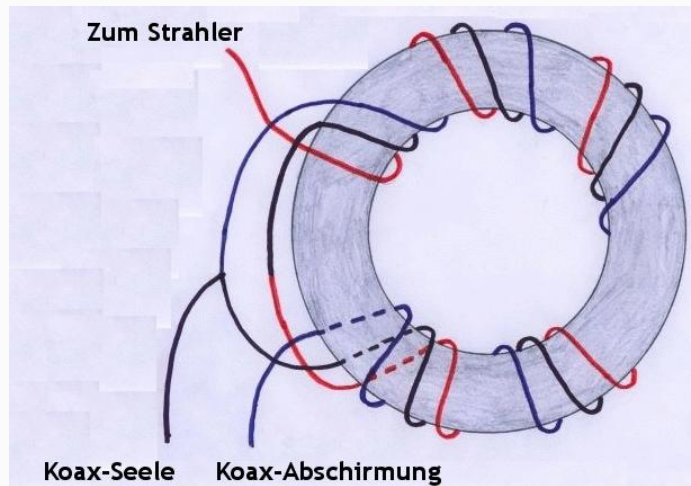
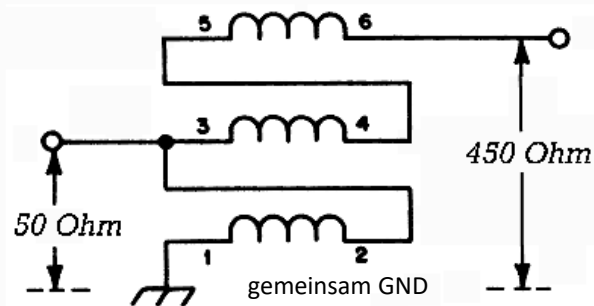


Ein Spannungsbalun erzeugt gegen GND symmetrische Spannungen

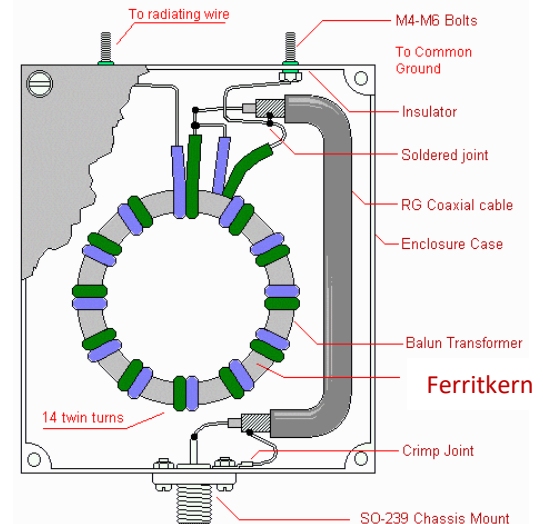
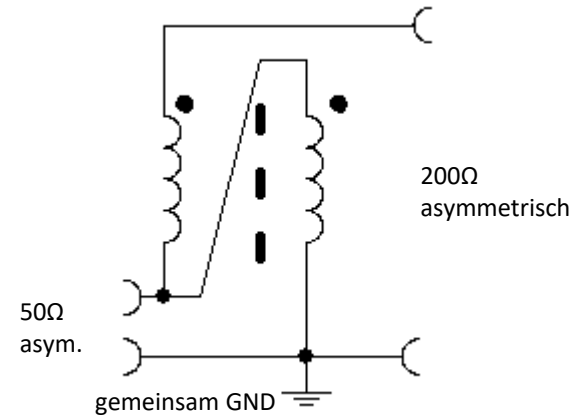
# UnUn Breitband-Trafo zur Impedanzanpassung

## UnUn HF-Trafo 1:9

landläufig: „Magnetic Balun“



## UnUn HF-Trafo 1:4



# Symmetrische Leitung - Balun hinter dem ATU

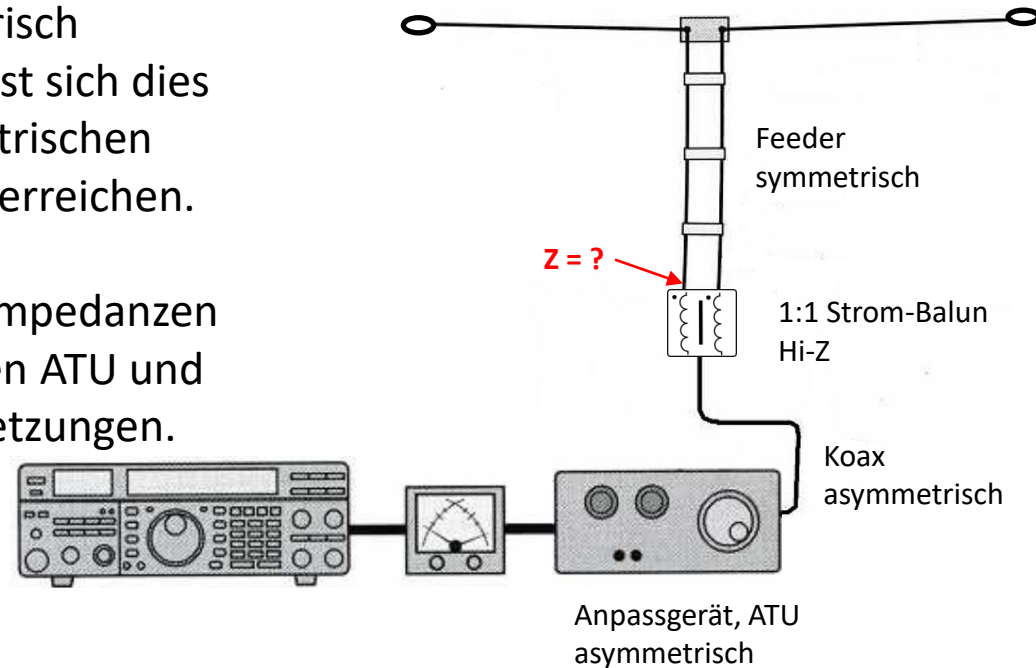
Bei einem in der Mitte gespeisten Dipol an einer Paralleldraht-Leitung, ist eine symmetrische Speisung gefordert.

Statt mit einem aufwendigen, symmetrisch aufgebauten Antennen-Tuner (ATU) lässt sich dies genauso mit einem üblichen unsymmetrischen ATU und dem richtigen Balun dahinter erreichen.

Ein 1:1 Strom-Balun für unbestimmte Impedanzen (mit hoher Drosselinduktivität) zwischen ATU und Feeder erfüllt die geforderten Voraussetzungen.

Der Balun muss spannungsfest sein.  
> Großer Kern und PTFE-isolierte Litze!

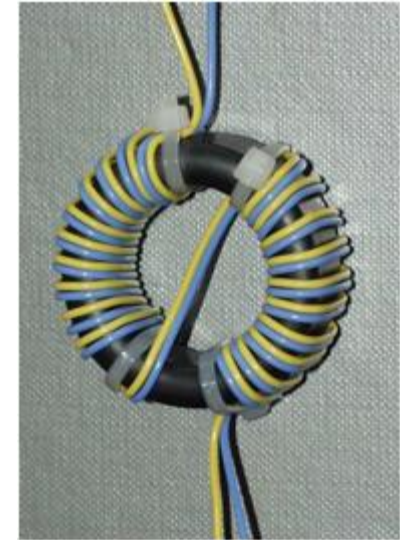
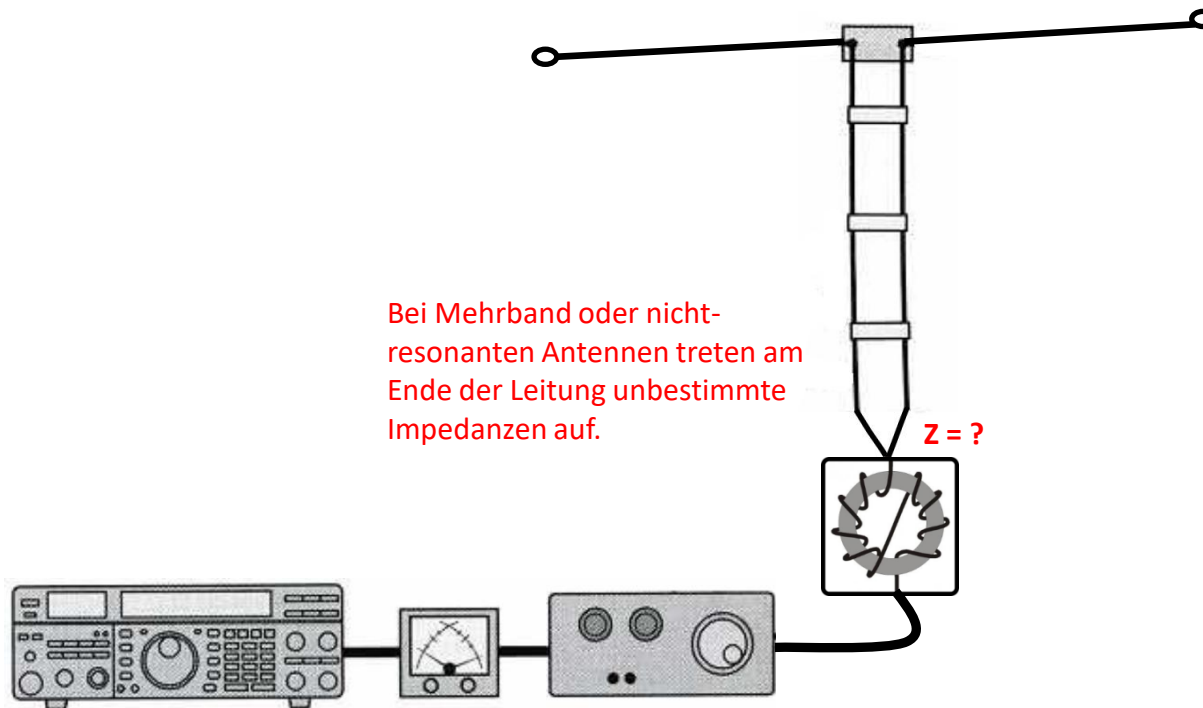
Transformierende Baluns sind kritisch, da an kurzen Antennen ( $< \lambda/2$ ) der maximal erlaubte magnetische Fluss überschritten werden kann.



# Strombalun 1:1 für undefinierte Impedanzen

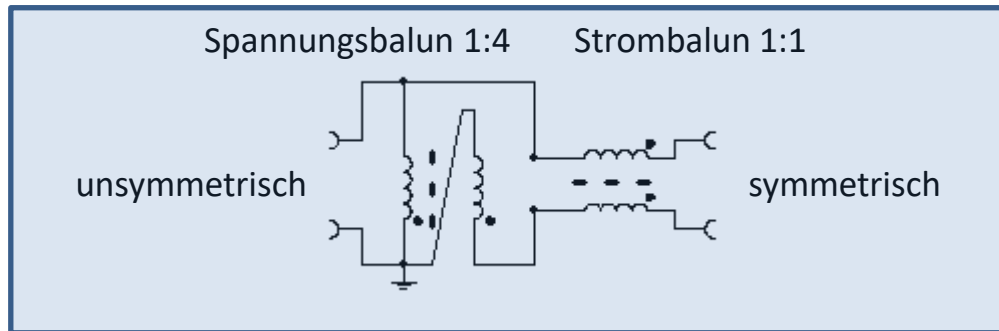
An nicht resonanten- und Mehrband-Antennen treten je nach Band und Leitungslänge extreme Impedanzen auf. Die Anforderungen an das Sperrverhalten des Baluns sind daher höher. Der „Balun für undefinierte Impedanzen“ besteht daher aus einem Ferritringkern und einer Wicklung mit einer Drosselinduktivität, die möglichst groß ist. Eine Induktivität von  $200\mu\text{H}$  entspricht z.B. bei 1,8 MHz einem induktiven Widerstand von  $2,2\text{ k}\Omega$ .

Der Balun muss spannungsfest sein. PTFE Isolation der Drähte ist ratsam. Verdrillte Kupferlackdrähte schlagen beim Abstimmen kurzer Antennen ( $l < \lambda/2$ ) durch.



Strom-Balun mit hoher Drossel-induktivität für undefinierte Impedanzen

# Kombination von Spannungs- und Strombalun zum Hybridbalun



- Ein Spannungs-Balun und ein Strom-Balun werden in Serie geschaltet
- Jeder tut das, was er am besten kann und nimmt dem anderen ab, was dieser weniger gut kann.
- Der Spannungsbalun symmetriert die Spannung an der Last, unabhängig von ihrer Impedanz. Oft ist er noch Anpassungs-Übertrager und transformiert die Impedanz.
- Der 1:1-Strombalun für undefinierte Impedanzen schützt als Gleichtaktdrossel den Spannungsbalun vor unsymmetrischen Strömen auf der Feederleitung.
- Spannungs-Balun und Strom-Balun jeweils auf einem separaten Kern wickeln. Dann erfolgt keine gegenseitige Beeinflussung über den magnetischen Fluss.



# Balun mit Übersetzungsverhältnis (Hybridbalun)

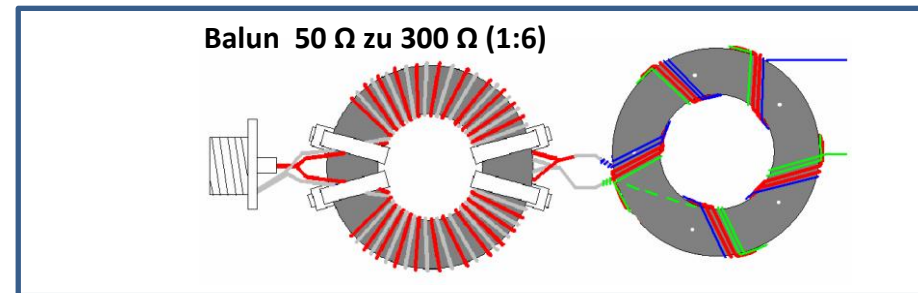
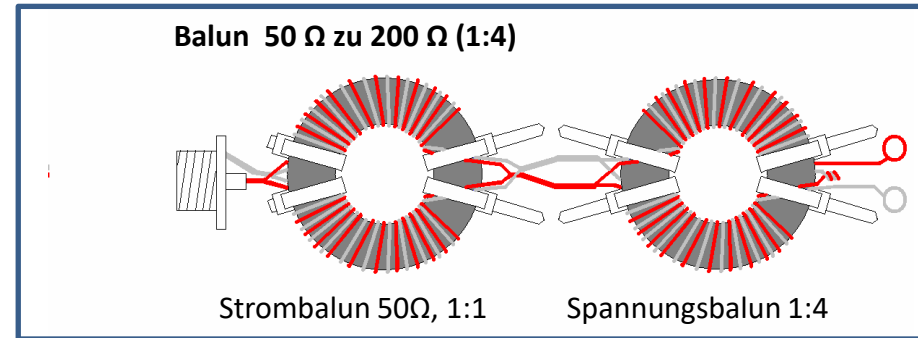
Ein Balun-Übertrager mit Impedanz Übersetzungsverhältnis (z.B 1:4; 1:6; 1:9) der gleichzeitig auch Mantelströme wirksam unterdrückt erfordert zwei Kerne.

Man erreicht das durch die Kombination von einem UnUn oder einem Spannungs-Balun als Impedanz-Transformator in Serie mit einem Strom-Balun als Gleichtaktdrossel. (Hybridbalun)

Ein Kern für den Strombalun – Ein separater Kern für den Breitbandübertrager.

➤ Der Breitbandübertrager transformiert das gewünschte Impedanzverhältnis

➤ Der 1:1-Strom-Balun unterdrückt den Gleichtaktstrom



Anwendungen:

- TRX – Koaxialkabel – Balun – Ganzwellenschleife
- TRX – Koaxialkabel – Balun – Mehrband-Dipol
- TRX – Koaxialkabel – Balun – Stromsummenantenne
- TRX – Koaxialkabel – Balun – Windomantenne
- TRX – Koaxialkabel – Balun – Langdraht

Grafiken: DG0SA

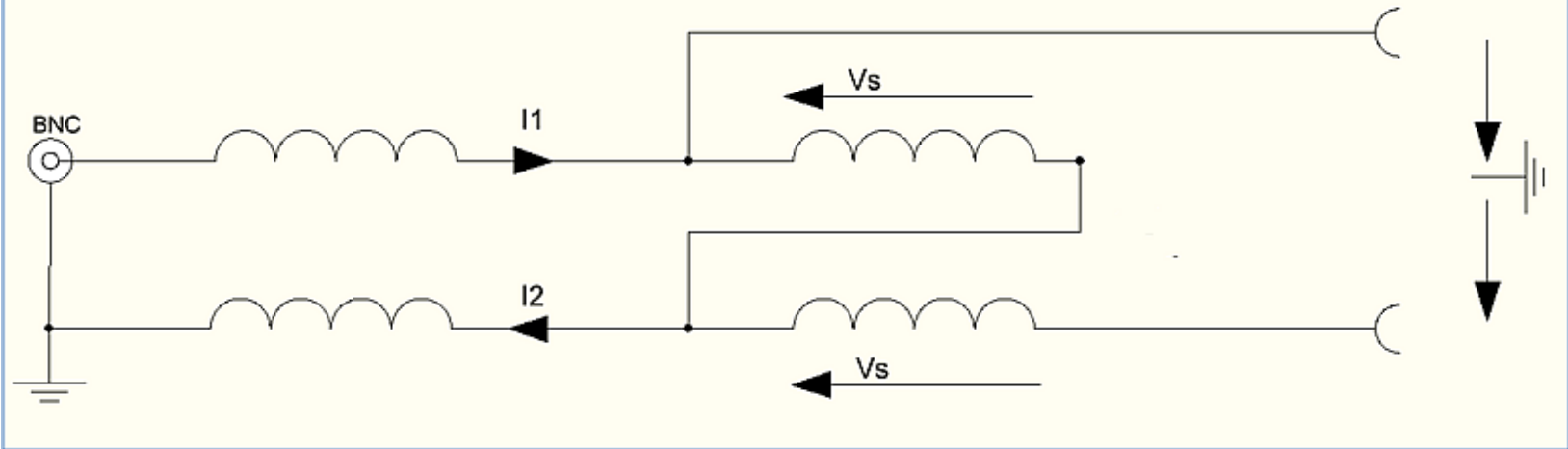


# 1:4 Hybridbalun nach Wipperman DG0SA

(Strombalun auf der 50Ω Seite)

1 : 1 Strombalun (Gleichtaktdrossel)

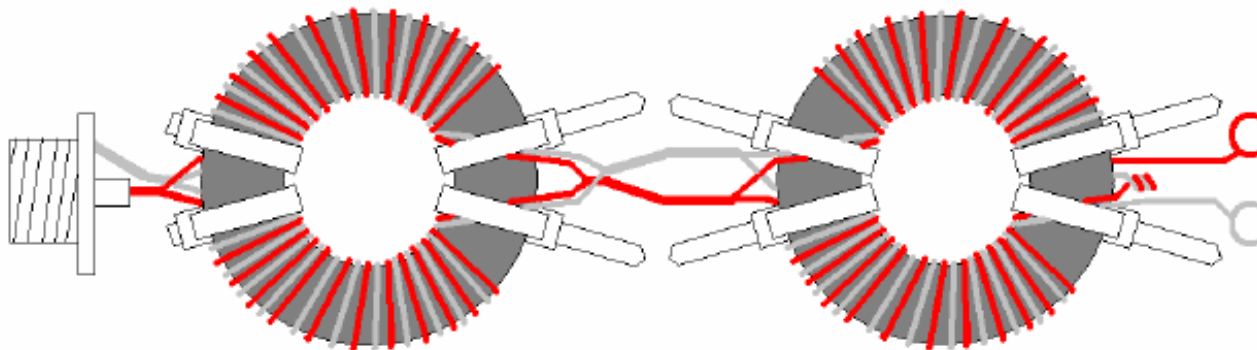
1 : 4 Spannungsbalun (Übertrager)



50Ω  
Unbalanced

50Ω  
Balanced

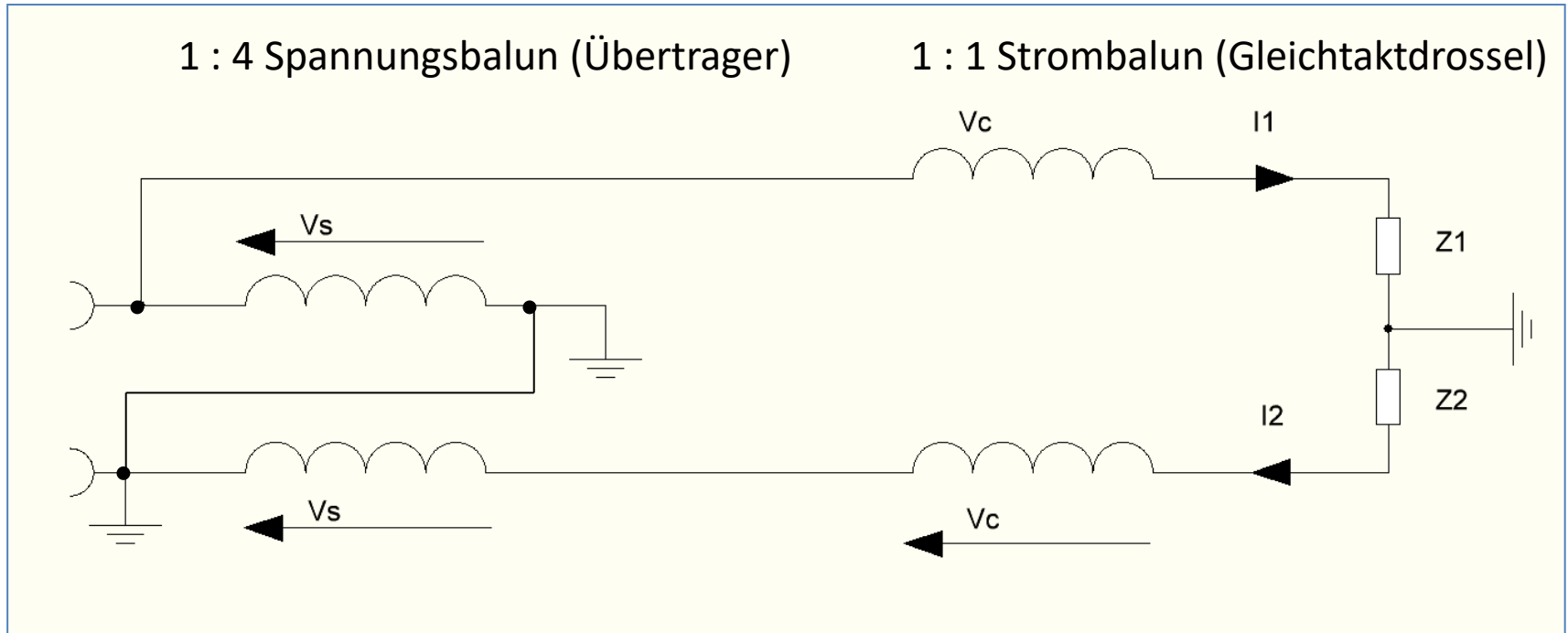
200Ω  
Balanced



50Ω Strombalun aus zwei 100Ω  
Leitungen parallelgeschaltet

# 1:4 Hybridbalun nach Roos, ZS1AN

(Strombalun auf der 200Ω Seite)



50Ω

Unbalanced  
asymmetrisch

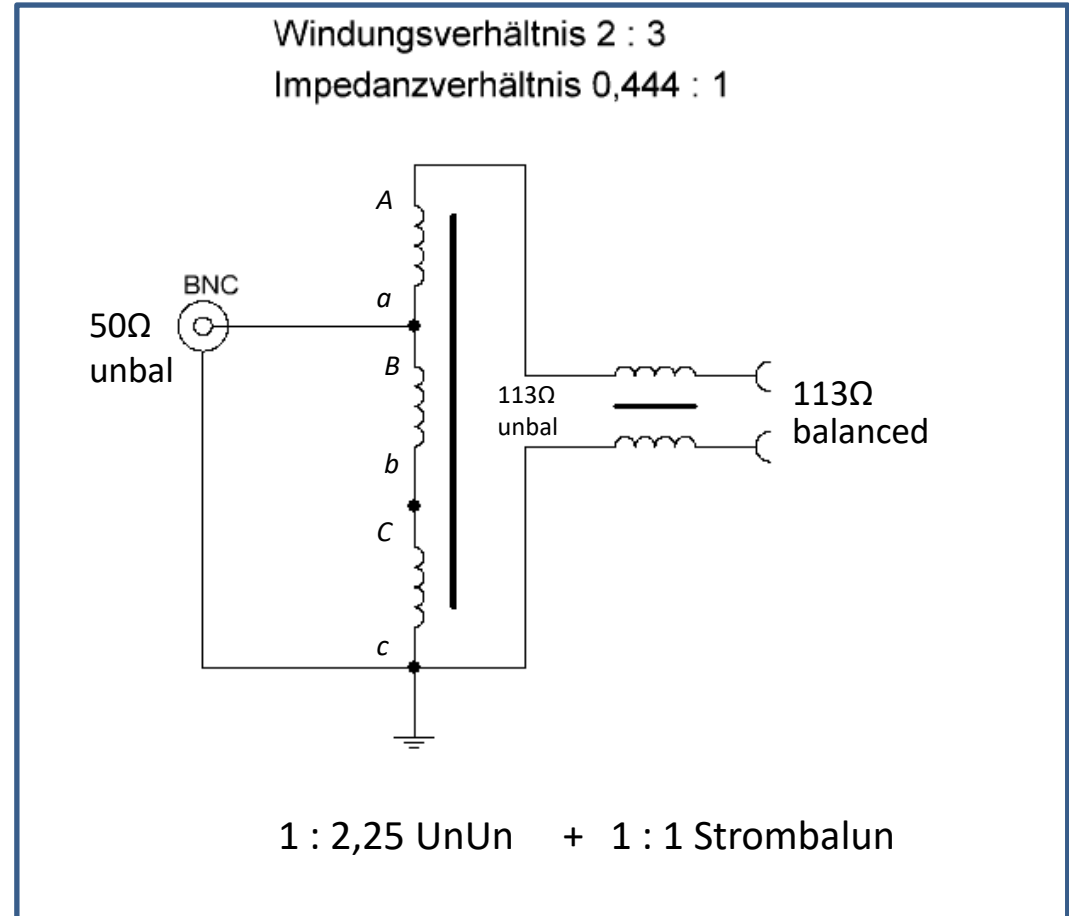
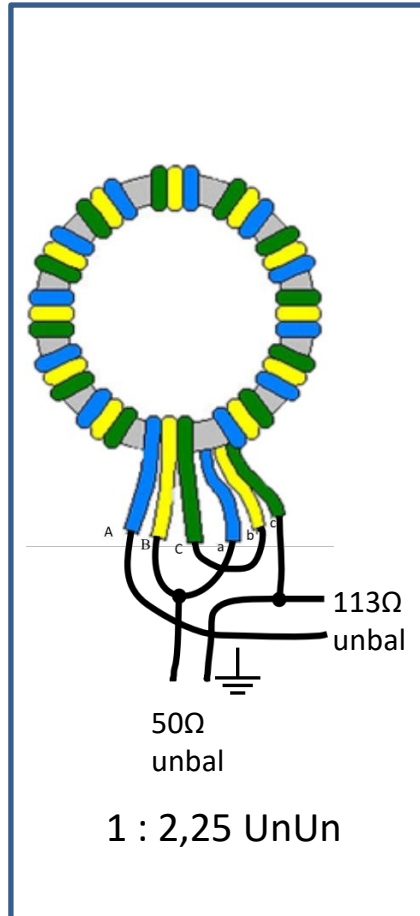
200Ω

Balanced  
symmetrisch

200Ω

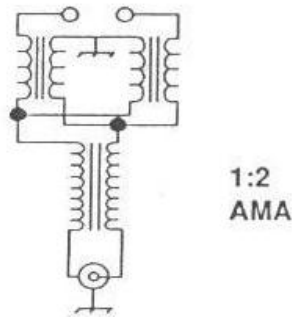
Balanced  
symmetrisch

# 1 : 2,25 Hybrid-Balun



Impedanzverhältnis des Anpassungsübertragers  $1 : \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 1/0,444 = 2,25$

# Der Fritzel AMA Balun – Fehlkonstruktion?



Am Beispiel des AMA2:

Ein 1:2 Anpassungsübertrager und ein 1:1 Strombalun (verdrillter Kupferlackdraht) sind auf nur einem Ringkern gewickelt.

Auf die Wicklung des Strombaluns wirkt der magnetische Fluss, der von dem 1:2 Trafo verursacht wird. Gleichtaktenergie wird über den magn. Fluss in den Strombalun induziert.

Der Strombalun wird dadurch nutzlos.

Der Aufbau (einfacher Kupferlackdraht) ist nicht besonders spannungsfest.

Diverse Fritzel AMA Typen sind nach diesem Prinzip - Trafo und Strombalun auf einem Kern - gefertigt.

# Balun prüfen und messen

- Worauf es ankommt
- Drosselwirkung von Wicklung und Kern
- Sperrdämpfung - Trennwirkung
- Symmetrierwirkung
- Reflexion - SWR
- Praktische Bauformen
- Links und weiterführende Literatur

# Prüfung eines Baluns

➤ **Fragestellung:** Bietet der Balun für Gegentaktströme eine verlustarme Übertragung zwischen Eingang und Ausgang?

**Prüfung:**

Messung der Einfügedämpfung

➤ **Fragestellung:** wirkt der Strom-Balun für Gleichtaktströme wie eine Sperre zwischen Eingang und Ausgang? (= unterdrückt Gleichtaktströme, erzwingt symmetrische Ströme)

**Prüfung:**

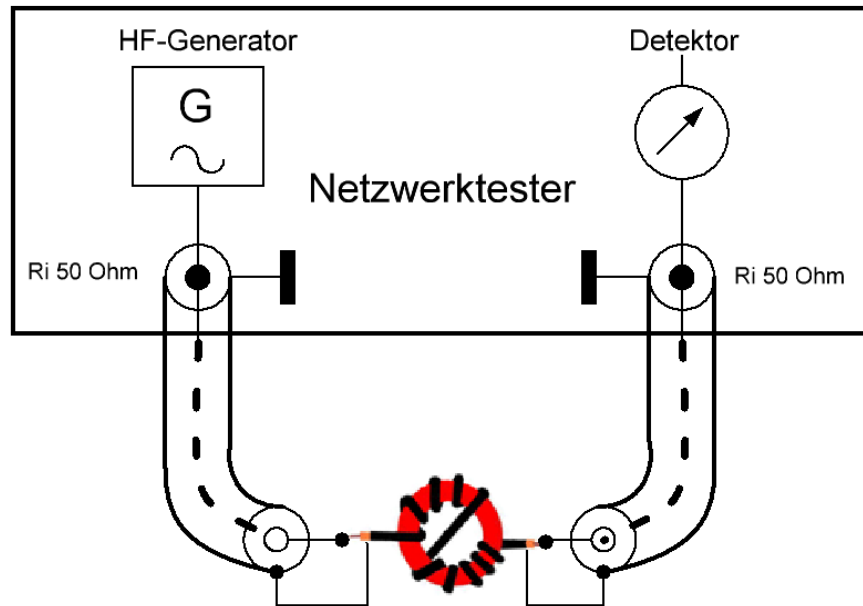
Messung der Sperrdämpfung (Drosselwirkung, Strom-Symmetrierwirkung)

➤ **Fragestellung:** Verursacht der Balun kein schlechtes VSWR. Hat die aufgewickelte Leitung des Balun den korrekten Wellenwiderstand:  $Z_{Leitung} = \sqrt{Z_{Ein} * Z_{Aus}}$

**Prüfung:**

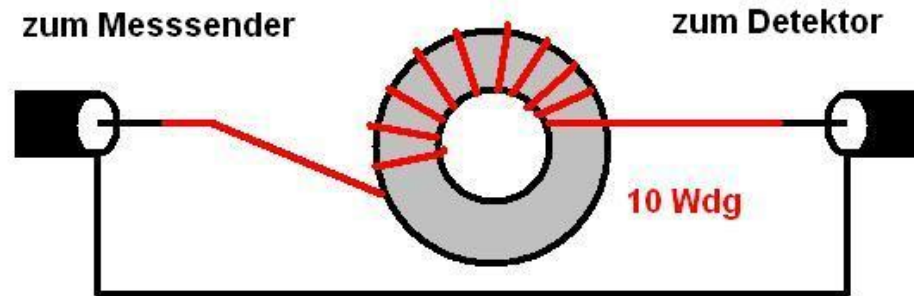
Messung der Eingangs-Reflexionsdämpfung (bzw. des VSWR ) bei korrektem Abschluss mit  $Z_{Aus}$ .

# Balun Prüfung: Einfügedämpfung -Übertragung

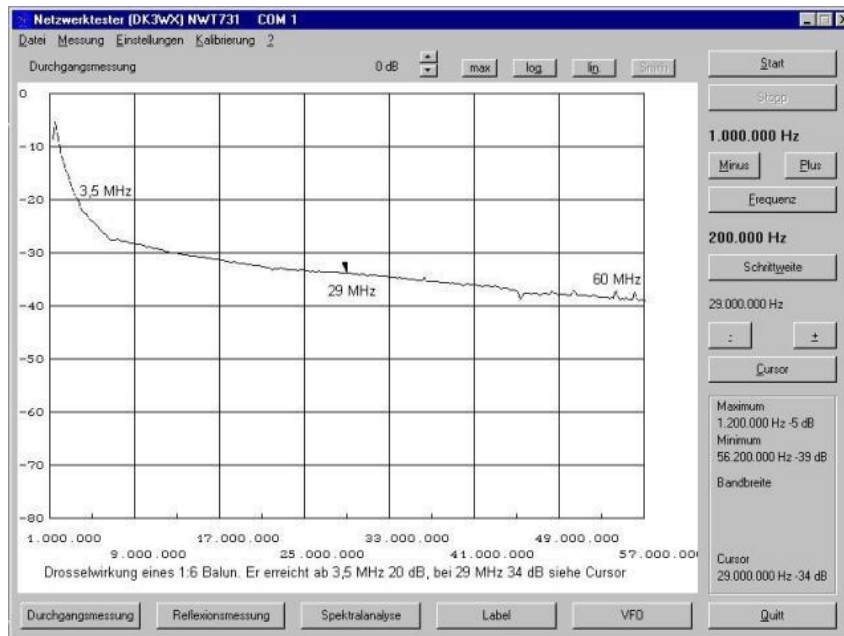


# Drosselwirkung eines Kerns prüfen

Gleichtaktströme haben gleichen Betrag und gleiche Richtung. Für die Prüfung der Drosselwirkung reicht es, auf den Kern einen einfachen Draht zu wickeln. Es ist nicht erforderlich, die ganze mitunter komplizierte Bewicklung aus Leitungen auszuführen um dann festzustellen, dass die Drosselwirkung nicht reicht. **Einfacher Klingeldraht reicht für den Test**



Quelle: www.DG0SA.de



## Diskussion des Messergebnisses

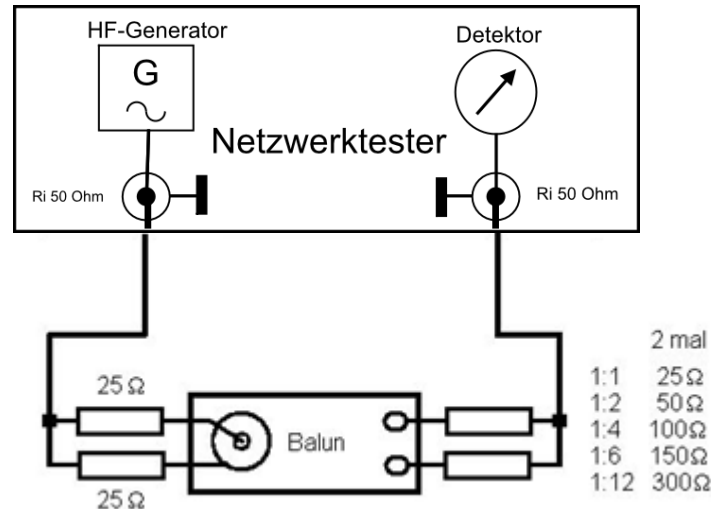
Die Drossel (oder der Balun) liegt im Strompfad zwischen der 50  $\Omega$  Quelle und der 50  $\Omega$  Last. Die Kurve zeigt die Abschwächung im logarithmischen Maßstab in -dB (Y-Achse) über die Frequenz (x-Achse). Die Abschwächung durch die Drossel ist dann besonders gut, wenn die Kurve tief hinunter geht. Angestrebt werden besser als -20dB.

- Wird die -10 dB Linie nach unten unterschritten, entspricht das einem induktivem Widerstand von  $>220 \Omega$ .
- Wird die -20 dB Linie nach unten unterschritten, entspricht das einem induktivem Widerstand von  $>1,0 \text{ k}\Omega$ .
- Wird die -30 dB Linie nach unten unterschritten, entspricht das einem induktivem Widerstand von  $>3,0 \text{ k}\Omega$ .
- Wird die -40 dB Linie nach unten unterschritten, entspricht das einem induktivem Widerstand von  $>10 \text{ k}\Omega$ .

➤ Herleitung und Berechnungsbeispiel im Anhang



# Balun Prüfung: Sperrdämpfung / Drosselwirkung (Unterdrückung von Gleichtaktstrom)

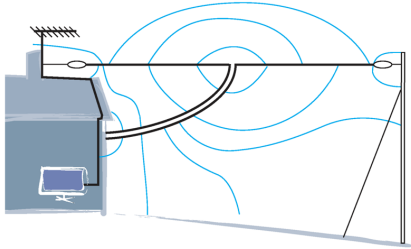


Eine Gleichtaktstrom-Quelle und eine symmetrische Last wird mit Widerständen nachgebildet.

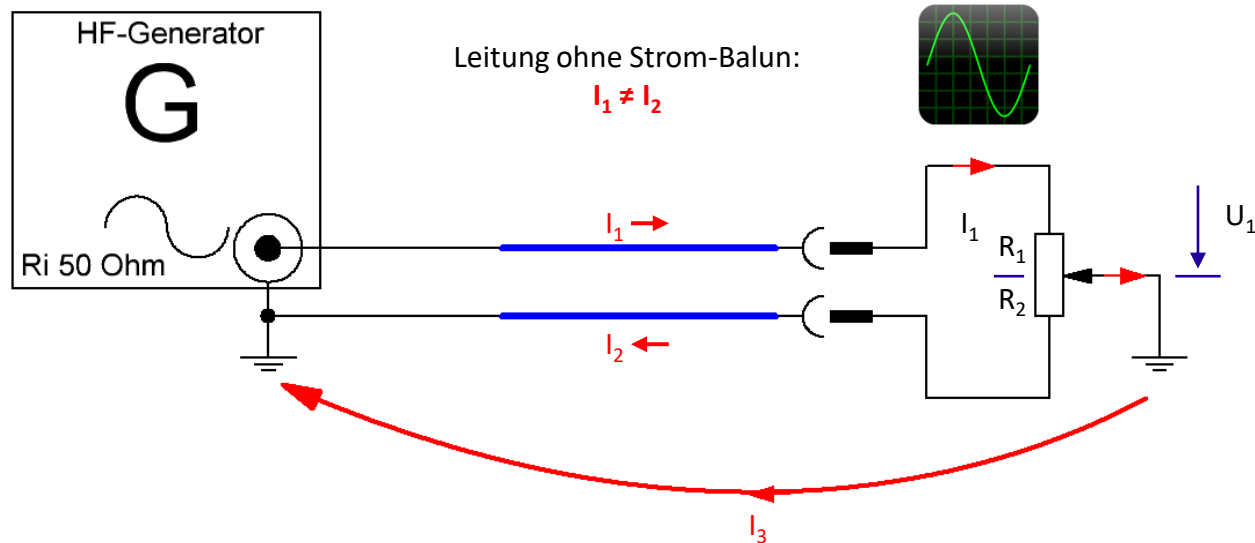
Diese Nachbildung mit Widerständen bringt eine zusätzliche Dämpfung in das Mess-Ergebnis ein. Die gemessene Gleichtaktunterdrückung (-dB) muss also um diese Dämpfungswerte korrigiert werden:

- Balun 1:1 -  $R_L = 2 \times 25\Omega$  - vom Ergebnis +2 dB korrigieren
- Balun 1:2 -  $R_L = 2 \times 50\Omega$  - vom Ergebnis +3 dB korrigieren
- Balun 1:4 -  $R_L = 2 \times 100\Omega$  - vom Ergebnis +4 dB korrigieren
- Balun 1:6 -  $R_L = 2 \times 150\Omega$  - vom Ergebnis +8 dB korrigieren
- Balun 1:9 -  $R_L = 2 \times 250\Omega$  - vom Ergebnis +11 dB korrigieren
- Balun 1:12 -  $R_L = 2 \times 300\Omega$  - vom Ergebnis +12 dB korrigieren

# Testumgebung - Unsymmetrie

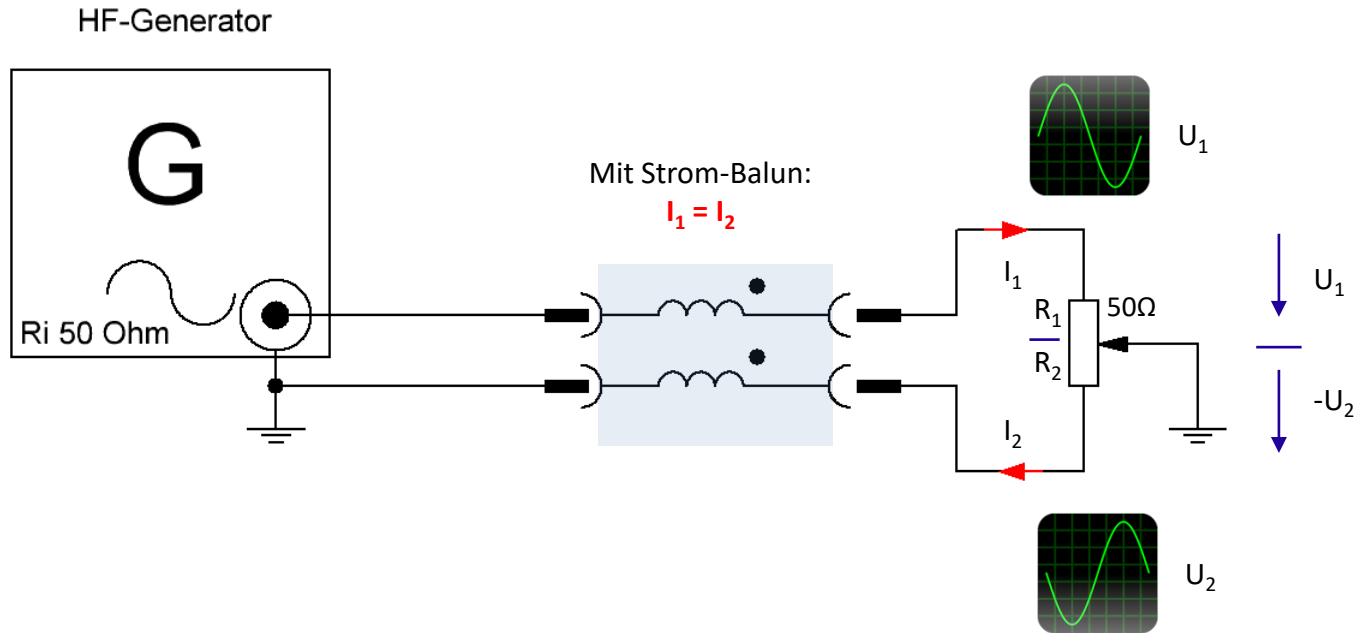


Eine gegen Erde unsymmetrische Antenne wird für die Prüfung durch zwei Kunstwiderstände aus einem Poti simuliert. Der Schleifer des Poti wird mit GND/Erde verbunden. Je nach Stellung des Schleifers werden dadurch zwei gegen Erde unsymmetrisch verteilte Impedanzen simuliert.



Bei einer gegen Erde unsymmetrischen Last ( $R_1 \neq R_2$ ) nimmt ein Teil des Stromes ( $I_3$ ) den Weg über Erde zurück zum Generator. Im Falle eines Koaxialkabels bedeutet das Ausgleichsströme auf dem äußeren Kabelschirm zu Masse/Erde.

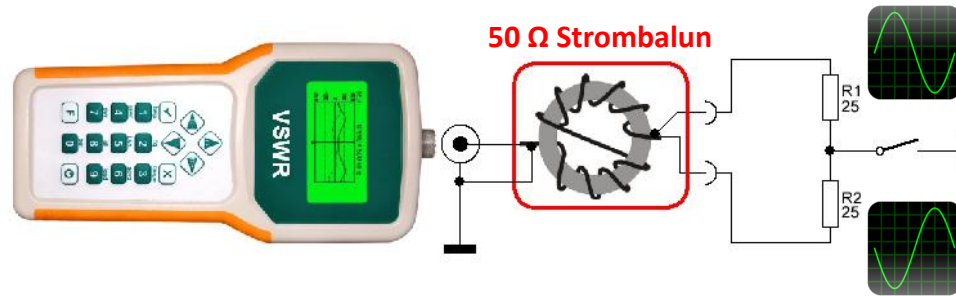
# Prüfung: Strom-Symmetrierwirkung



➤ Bei einer gegen Erde symmetrischen Last (Stellwiderstand genau in Mittelstellung,  $R_1 = R_2$ ) sind  $U_1$  und  $U_2$  vom Betrag gleich groß aber entgegengesetzt. Die Spannung gegen Erde an der Mitte der Teilwiderstände wird zu Null - es fließt kein Strom zur Erde.

➤ Bei asymmetrischer Last (Stellwiderstand außermittig,  $R_1 \neq R_2$ ), ändert sich am Ausgang des Balun das Verhältnis der Spannungen  $U_1$  und  $-U_2$  über den Teilwiderständen in einem Maße, dass der Strom durch den Balun symmetrisch ( $I_1 = I_2$ ) bleibt. Durch die im Balun-Trafo erzwungene Stromsymmetrie kompensiert sich die Summe der Spannung an der Verbindung der Teilwiderstände gegen Erde zu Null. Da die Spannung Null ist, fließt auch null Strom über Erde ab ( $I = U/R$ ).

# Prüfung der Strom-Symmetrierwirkung mittels VSWR Test



## ➤ Test: VSWR ohne Balun (Balun überbrückt, Abschlusswiderstände direkt angeschlossen):

Bei geöffnetem Schalter entspricht der Abschlusswiderstand  $R_1 + R_2 = 50\Omega$  gegen Masse. Ein SWR-Meter zeigt ein SWR von ideal 1. Bei geschlossenem Schalter wird  $R_2$  gegen Masse überbrückt. Ein SWR Meter „sieht“ jetzt nur noch  $R_1 = 25\Omega$  als Abschluss. Wegen des 50% Fehlabschlusses springt das VSWR auf einen Wert von 2.

## Test: VSWR mit Strom-Balun:

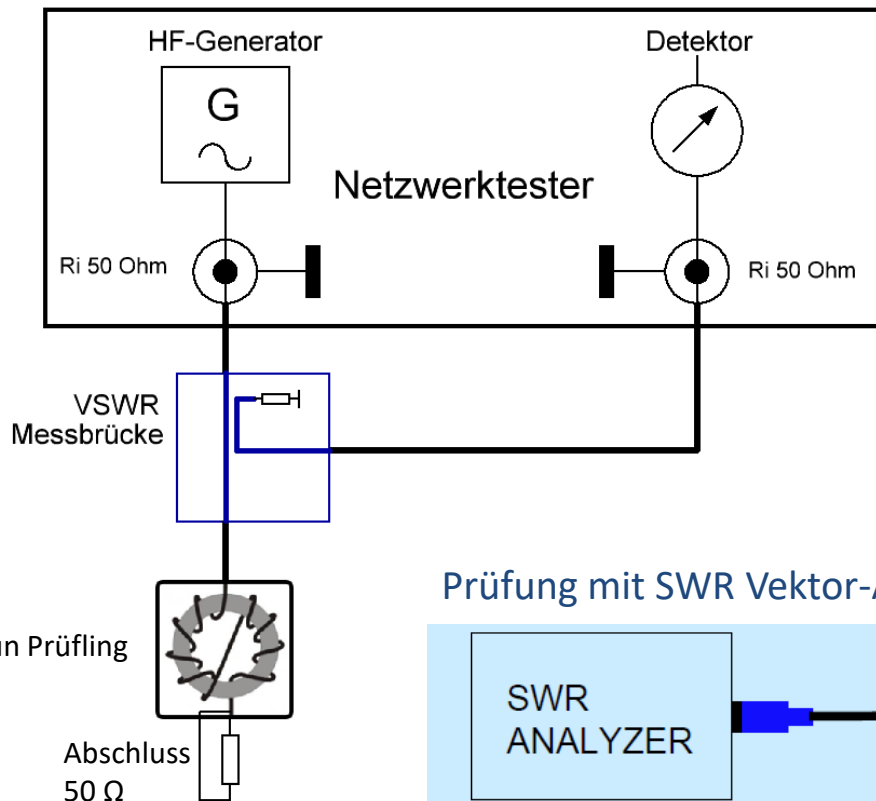
Bei geöffnetem Schalter entspricht der Abschlusswiderstand  $R_1 + R_2 = 50\Omega$  (symmetrisch zueinander, ohne Massebezug). Das SWR-Meter zeigt ein SWR von ideal 1. Wird der Schalter gegen Masse geschlossen, wird bei einem Balun, der Gleichtaktströme gut sperrt, das SWR sich nur wenig verschlechtern. Je geringer die Verschlechterung des SWR ausfällt, desto besser ist seine Symmetrier-Wirkung und somit seine Sperrdämpfung für Gleichtaktströme .

**Erklärung:** Durch die in einem idealen Balun-Trafo erzwungenen symmetrischen Ströme summiert sich an der Verbindung der Teilwiderstände die Spannung gegen Masse weiterhin zu Null. Bei Spannung null gegen Masse wird auch kein Strom über den Schalter fließen, auch wenn dieser geschlossen ist. Eingang und Ausgang des Balun sind wegen seiner Strom-Symmetrierwirkung für HF Gleichtaktströme quasi voneinander isoliert. Der Balun sperrt Gleichtaktströme. Das SWR-Messgerät am Eingang des Balun „sieht“ weiterhin  $50\Omega$  als Abschluss.

# Balun Prüfung: Reflexionen - SWR

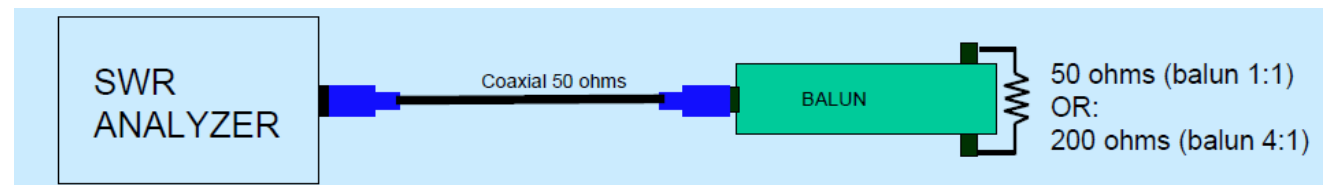
Schlechtes SWR eines Balun ist meist konstruktionsbedingt:

- Wellenwiderstand der Leitung nicht korrekt :  $Z_{Leitung} \neq \sqrt{Z_{Ein} * Z_{Aus}}$
- Anschlussdrähte zu lang
- Wicklungsimpedanz, Wickeltechnik

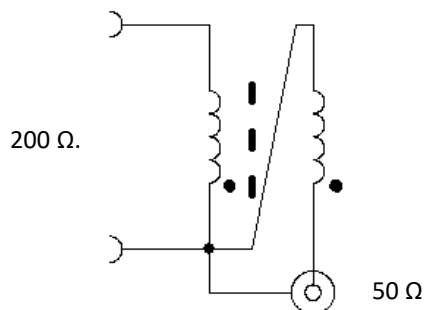
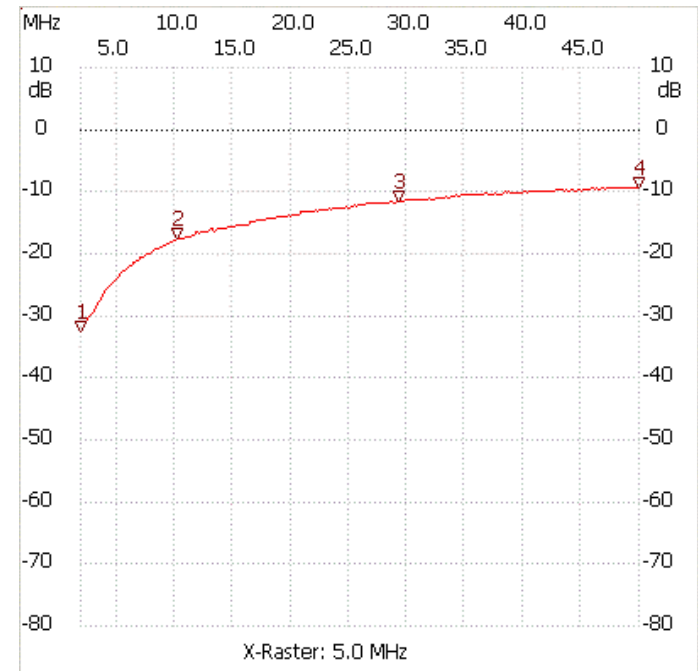
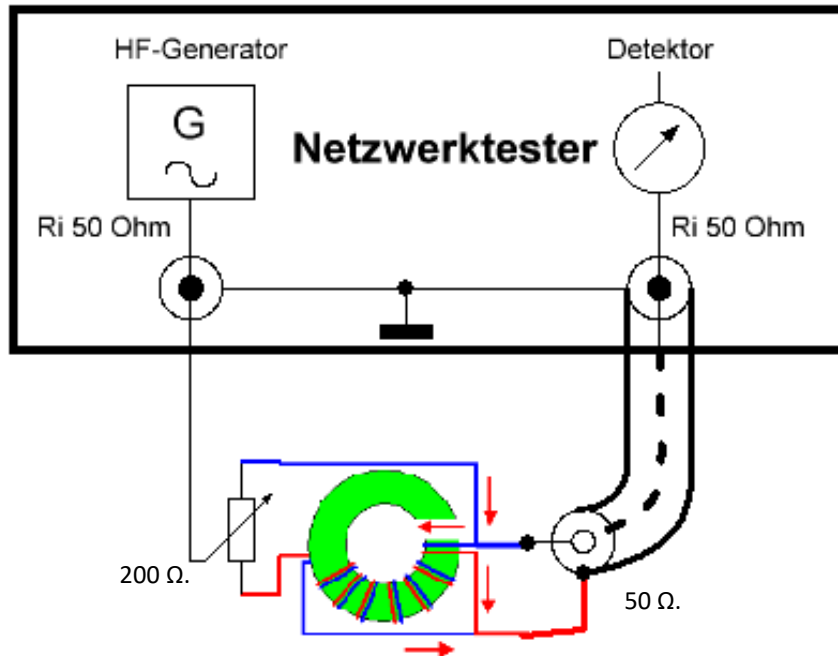


Prüfung mit Netzwerktester und VSWR Messbrücke

Prüfung mit SWR Vektor-Analyzer



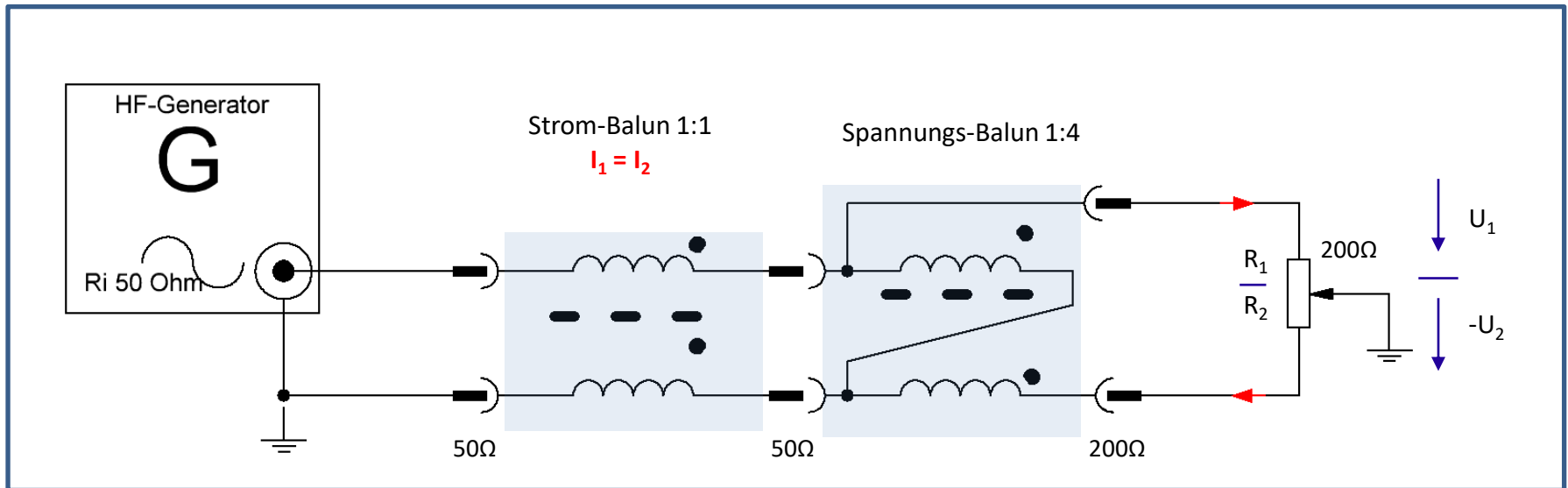
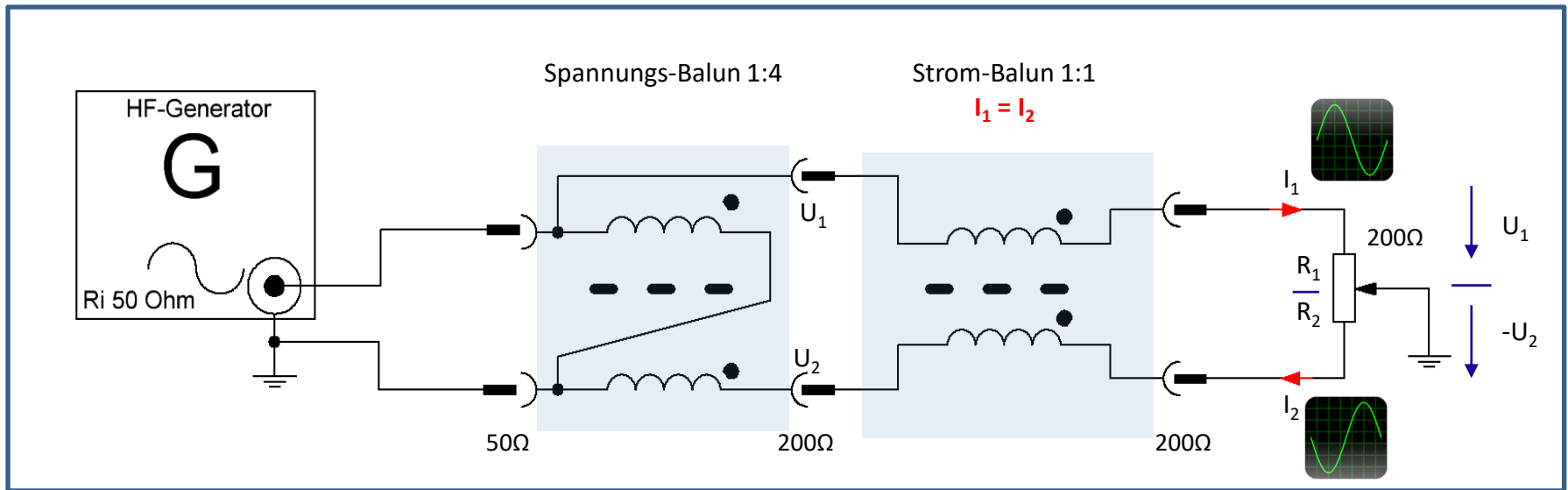
# Prüfung: Symmetrierwirkung bei einem 1:4 Spannungsbalun



Grafik: [www.DG0SA.de](http://www.DG0SA.de)

# Balun Prüfung: Stromsymmetrie bei einem 1:4 Hybridbalun

$$Z_{\text{Ein/Aus}} = 50 \Omega : 200 \Omega$$



# Quellen und Referenzen

Webseite von Wolfgang Wippermann, <http://www.dg0sa.de/>

Alexander von Obert, „So funktioniert ein Balun“ <http://www.techwriter.de/thema/sofunkti.htm>

Hans-Joachim Brandt DJ1ZB - „Spannungs-, Strom- oder Hybrid-Balun?“, CQ DL 04 2009 (Teil1) 05 2009 (Teil2)

Fa. Würth Elektronik, „Trilogie der induktiven Bauelemente“, Kapitel Grundlagen.

R. Lewallen, W7EL, „Baluns, what they do and how they do it“, <http://www.eznec.com/Amateur/Articles/Baluns.pdf>.

Chuck Counselman, W1HIS „Common-Mode Chokes“, <http://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump2.cgi?ID=13273>

J. Sevick, W2FMI, „Understanding, Building and Using Baluns and Ununs“, CQ Communications, 2003..

A Ham's Guide to RFI, Ferrites, Baluns, <http://www.audiosystemsgroup.com/RFI-Ham.pdf>

M. Ehrenfried – G8JNJ „Baluns and Tuners“, <http://q8jnj.webs.com/balunsandtuners.htm>

Chris Trask, N7ZWY: A Tutorial on Transmission Line Transformers, <http://home.earthlink.net/~christrask/TraskTLTTutorial.pdf>

Andrew Roos, ZS1AN: „A Better Antenna Tuner Balun“, [http://f1frv.free.fr/main3c\\_Baluns\\_fichiers/A\\_Better\\_Antenna\\_Balun\\_ZS1AN.pdf](http://f1frv.free.fr/main3c_Baluns_fichiers/A_Better_Antenna_Balun_ZS1AN.pdf)

K. Schmidt, W9CF, „Putting a Balun and a Tuner Together“, <http://fermi.la.asu.edu/w9cf/articles/balun/>

Rauch, W8JI, „Balun Test“, [http://www.w8ji.com/balun\\_test.htm](http://www.w8ji.com/balun_test.htm)

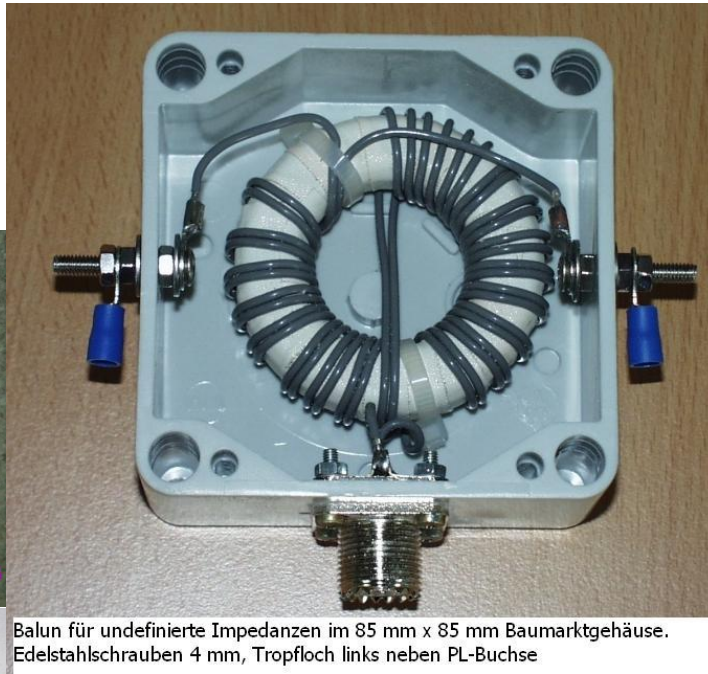
Ron Skelton, W6WO, „Measuring HF Balun Performance“, QUEX Nov/Dec 2010 [http://www.arrl.org/files/file/QEX\\_Next\\_Issue/Nov-Dec\\_2010/Skelton\\_QEX\\_Nov-Dec.pdf](http://www.arrl.org/files/file/QEX_Next_Issue/Nov-Dec_2010/Skelton_QEX_Nov-Dec.pdf)

„Mini Ringkern Rechner“, Wilfried Burmeister, DL5SWB†, [http://www.df7sx.de/wp-content/uploads/2014/10/minirk12\\_install.rar](http://www.df7sx.de/wp-content/uploads/2014/10/minirk12_install.rar)



# Anhänge

# Strombalun /Gleichtaktdrossel Bauformen

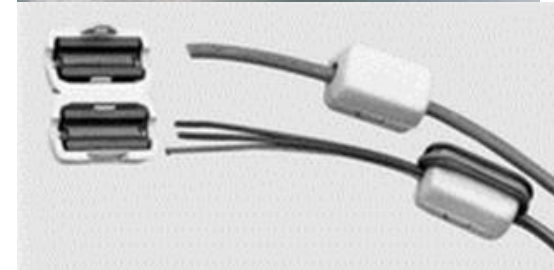
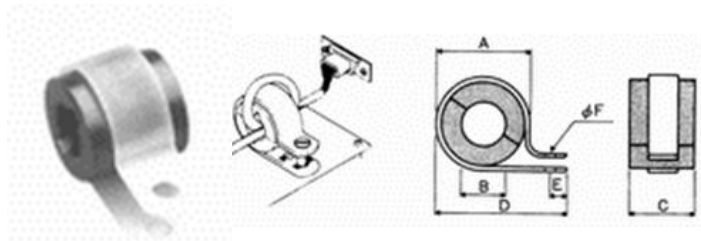
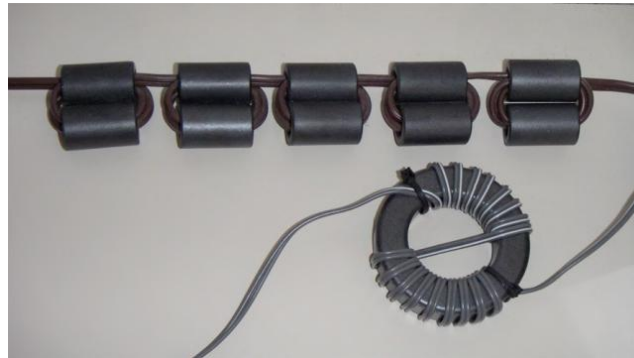
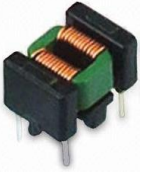


Balun für undefinierte Impedanzen im 85 mm x 85 mm Baumarktgehäuse.  
Edelstahlschrauben 4 mm, Tropfloch links neben PL-Buchse





# Der Strombalun als Mantelwellensperre zur Entstörung von Geräten gegen Einstrahlung oder Abstrahlung



# Analogien zwischen Magnetfeldern und elektrischen Feldern

Vergleicht man magnetische Felder mit elektrischen Feldern, so lassen sich Analogien zwischen einigen Größen herausstellen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst

Magnetisches Feld	Elektrisches Feld
Magnetischer Fluss $\Phi$ [Wb]	Elektrischer Fluss $Q$ [C]
Magnetische Flussdichte $B$ [T]	Stromdichte $J$ [A/m <sup>2</sup> ]
Magnetische Feldstärke $H$ [A/m]	Elektrische Feldstärke $E$ [V/m]
Permeabilität $\mu$	Dielektrizitätskonstante $\epsilon$
Induktivität $L$ [H]	Kapazität $C$ [F]
Magnetische Energie $E_{\text{mag}} = 1/2 L I^2$	Elektrische Energie $E_{\text{elek}} = 1/2 C U^2$

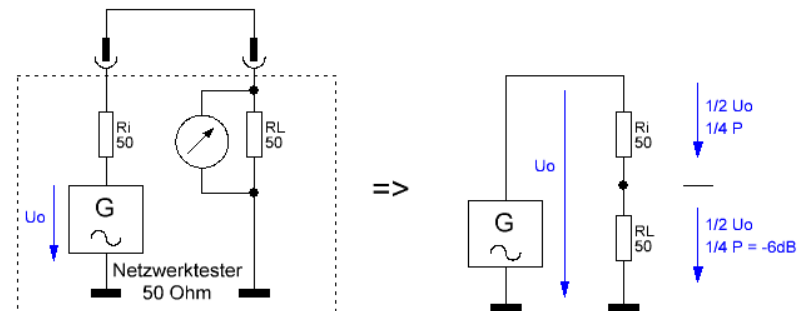
## Gleichtaktdämpfung (Einfügedämpfung) in dB aus dem induktiven Widerstand eines Strom-Baluns bzw. einer Drossel ermitteln

Ein Netzwerktester in einem  $50\Omega$  System besteht aus einem HF-Generator der eine Spannung  $U_0$  erzeugt und einen Innenwiderstand  $R_i$  von  $50\Omega$  aufweist. Der Detektor des Netzwerktesters ist mit einem Lastwiderstand  $R_L$  von  $50\Omega$  angepasst abgeschlossen,  $R_i = R_L$ . Zur Erklärung der Verhältnisse dient folgende Darstellung:

Verbindet man den Ausgang des Netzwerktesters mit dem Eingang des Detektors ergeben sich die Verhältnisse:

Die Widerstände  $R_i$  und  $R_L$  bilden einen Spannungsteiler der die Leerlaufspannung  $U_0$  in die beiden Teilspannungen  $U_{ri}$  und  $U_{RL}$  aufteilt. Da  $R_i$  und  $R_L$  gleich sind, betragen die Teil-Spannung jeweils  $\frac{1}{2} U_0$ . Die Leistung  $P$  an den Widerständen verhält sich proportional zum Quadrat der Verhältnisse der Spannungen. Also  $P = (\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$ . In Dezibel dargestellt ist  $\frac{1}{4}$  der Leistung -6dB.

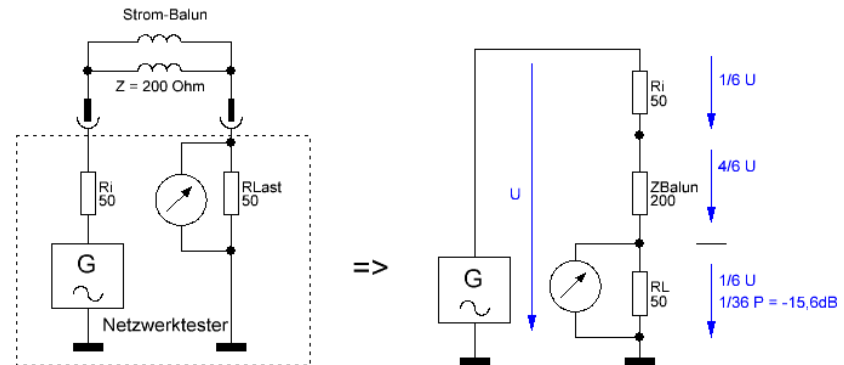
Kalibriert man diese -6dB in die Messung ein, ist das die „Nulllinie“ unseres Netzwerktesters.



Als gängige Daumenregel für die Bemessung der Induktivität eines Balun liest man häufig, dass sein induktiver Widerstand mindestens das Vierfache der angeschlossenen Lastimpedanz betragen soll. In einem  $50\Omega$  System wären das etwa  $200\Omega$ . Die ergeben lediglich eine Gleichtaktdämpfung von ca 10dB. Damit ein Balun Gleichtaktströme effektiv unterdrückt, sind besser 20dB Gleichtaktunterdrückung anzustreben, was einen induktiven Widerstand von ca.  $1000\Omega$  erfordert.

Wenn wir die Gleichtaktunterdrückung des Balun mit einem Netzwerktester prüfen, fügen wir ihn als Drosselspule zwischen Generator Ausgang und Detektor-Eingang ein.

Es ist ersichtlich, dass die Widerstände  $R_i$  zusammen mit  $Z_{\text{Balun}}$  und  $R_L$  einen Spannungsteiler aus drei Widerständen darstellen, der die Leerlaufspannung  $U_0$  nun in drei Teilspannungen  $U_{R_i}$ ,  $U_{\text{Balun}}$  und  $U_{R_L}$  aufteilt.



Die Spannungen teilen sich in unserem Beispiel proportional zu den Widerstandswerten im Verhältnis 50:200:50 auf. Gekürzt:  $1/6 + 4/6 + 1/6$ . Da sich die Leistung am Widerstand proportional zum Quadrat der Spannungen verhält, steht am Detektor unsers Netzwerkanalyzers nur noch eine Leistung von  $(1/6)^2 = 1/36$ . Im logarithmischen Maßstab als dB dargestellt entspricht das -15,6dB. ( $10 \log 1/36$ )

Durch das Einfügen eines Balun mit 200  $\Omega$  Impedanz ist die Leistung am Detektor von unserem ursprünglichen Kalibrierwert -6dB auf -15,6dB, also um etwa 9,6dB gesunken. Die Gleichtaktunterdrückung eines Balun mit einem induktiven Widerstand von 200 Ohm beträgt in einem 50 $\Omega$  System also gerundet 10dB.

Aus dem Vorgenannten ergibt sich die mit dem NWT gemessene Gleichtaktunterdrückung mit Hilfe der Spannungsteiler-Formel nach dem Zusammenhang:

$$\text{Gleichtaktunterdrückung [dB]} = 10 \log \left( \frac{R_L}{R_L + R_i + Z_{\text{Balun}}} \right)^2 + 6\text{dB}$$

Vereinfacht in einem 50 $\Omega$  System:

$$\text{Gleichtaktunterdrückung [dB]} = 10 \log \left( \frac{50}{100 + Z_{\text{Balun}}} \right)^2 + 6\text{dB}$$

Ein Balun mit  $Z = 200\Omega$  ergibt gerundet 10dB Gleichtaktunterdrückung, mit,  $Z = 1k\Omega$  ergäben sich 20dB, mit  $Z = 3k\Omega$  erreicht man 30dB.