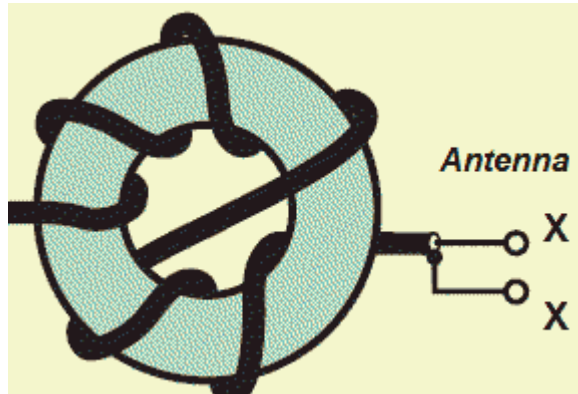


DLOWH Balun-Workshop



Balun

- verstehen
- bauen
- prüfen

dl4zao

Wozu braucht man ein Balun?

- **Gegentaktstrom und Gleichtaktrom 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?**

Energietransport auf dem Koaxkabel



•Ein Koaxialkabel hat drei Leiter (Skinneffekt!) :

- Innenleiter
- Die Abschirmung innen
- Die Abschirmung außen



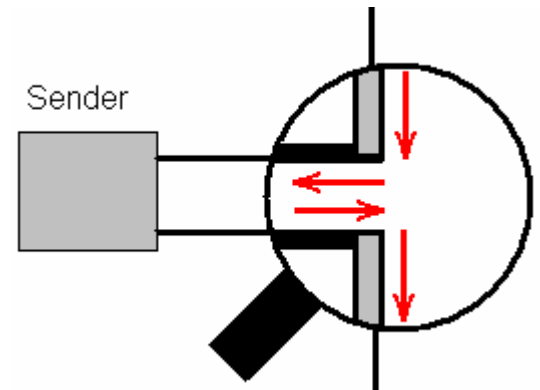
•Der Energietransport erfolgt als TEM Welle im elektromagnetischen Feld zwischen Innenleiter und Abschirmung innen.

Im Symmetriefall gilt:

•Der Strom auf dem Innenleiter und der Strom auf der Innenseite der Abschirmung sind im Betrag gleich, aber entgegengesetzt gerichtet. (Zufluss = Rückfluss)

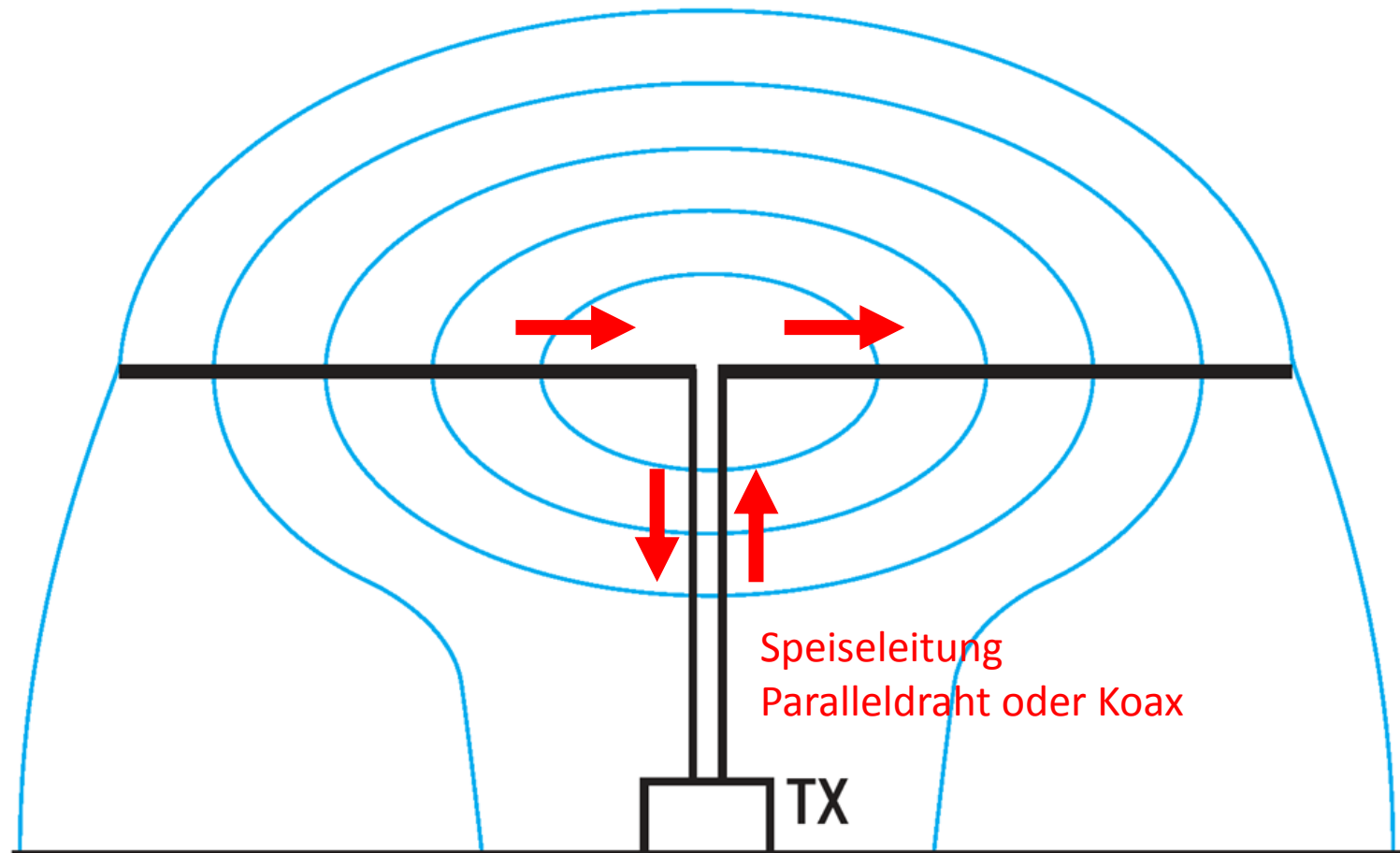
Gegentaktstrom und Gleichtaktstrom:

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

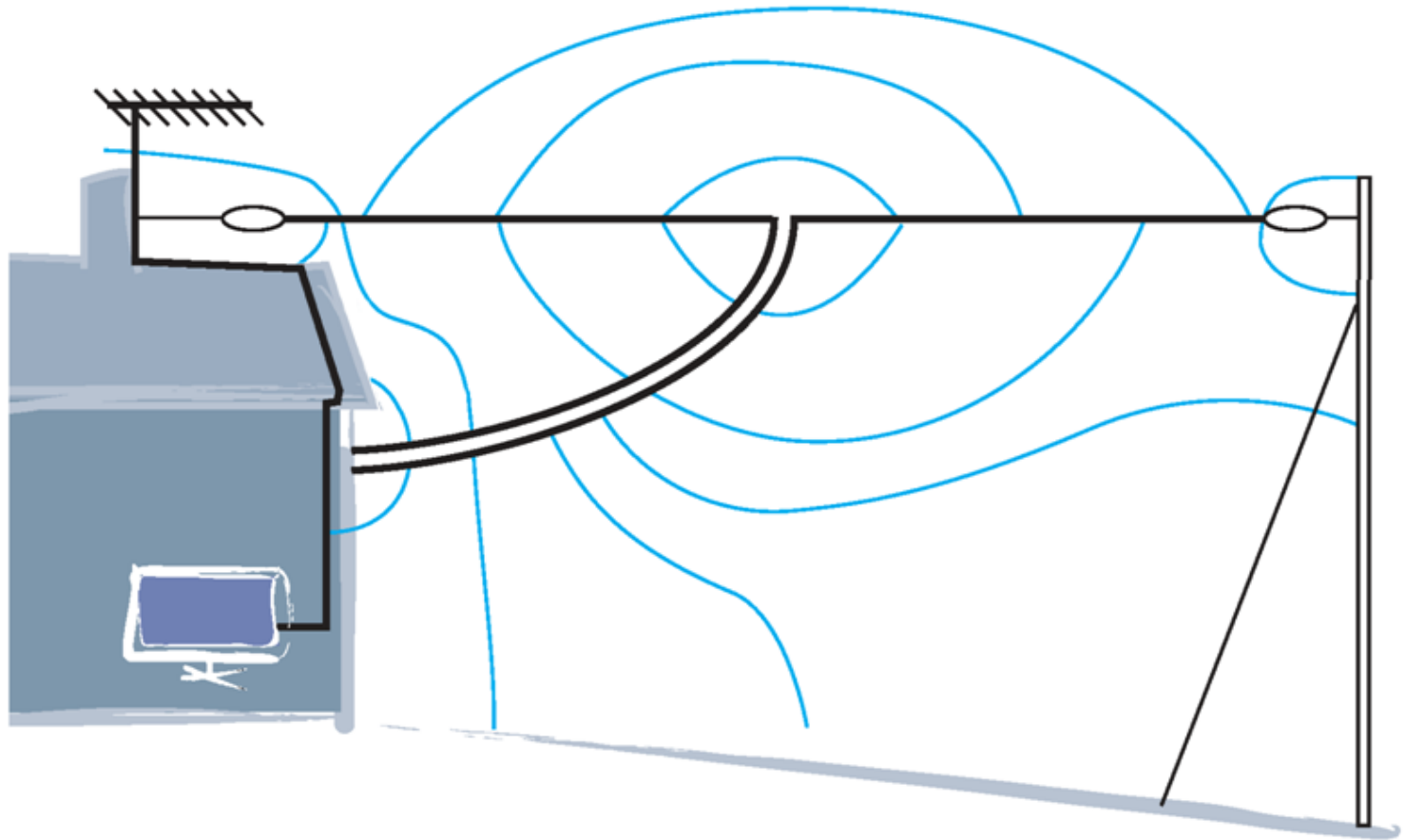


Gleichtaktstrom führt zu Wellenablösung !

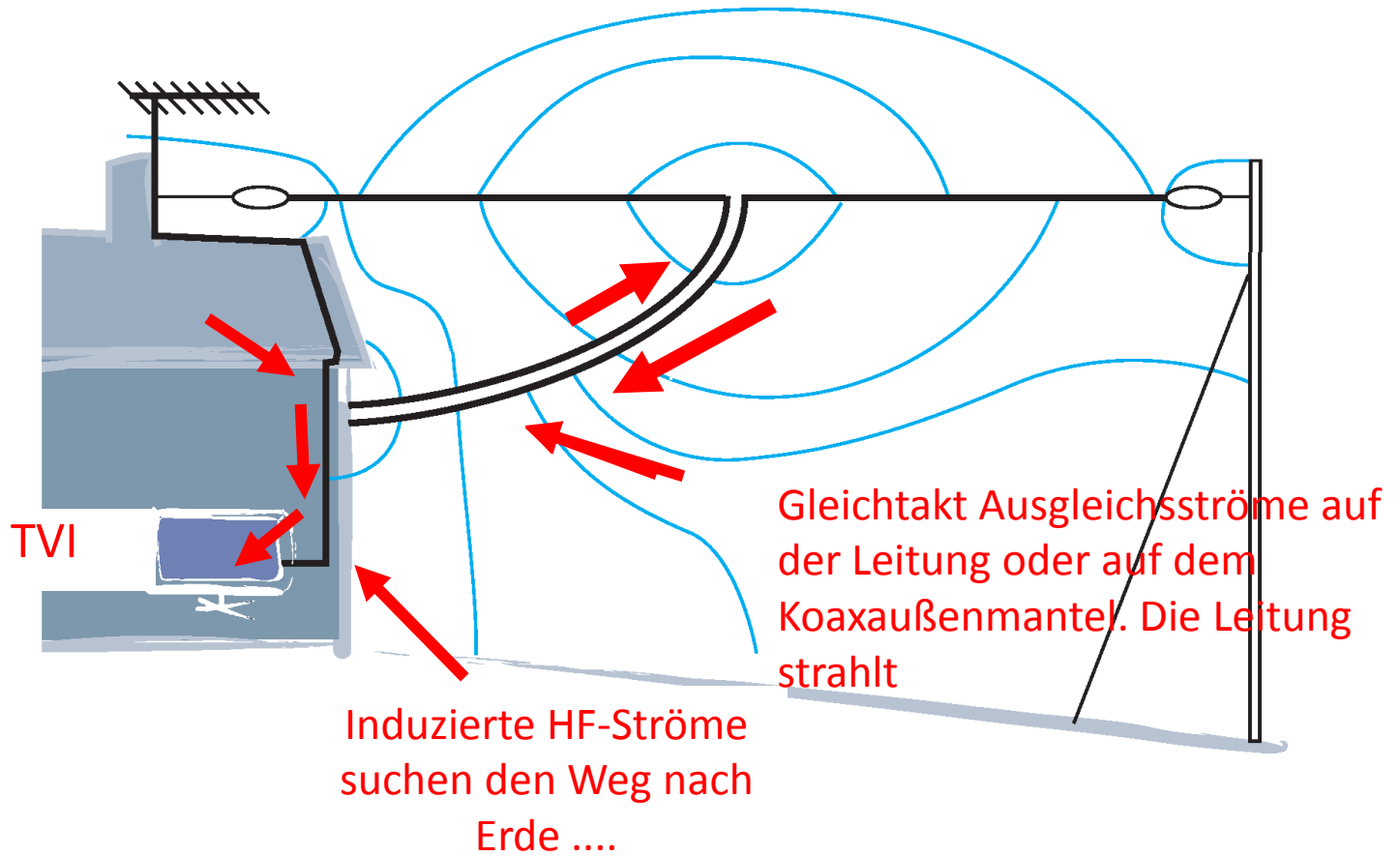
Felder um einen Dipol – so ist es im Lehrbuch abgebildet



Und so ist es in der Realität

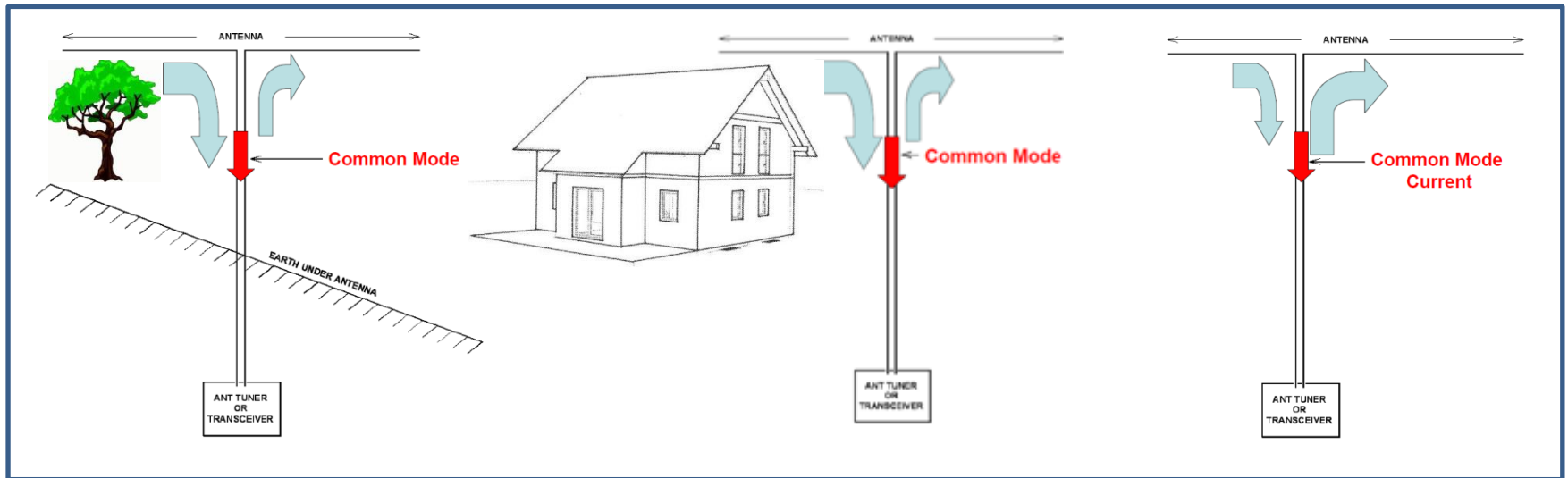


Die Folge: Ausgleichsströme auf der Speiseleitung

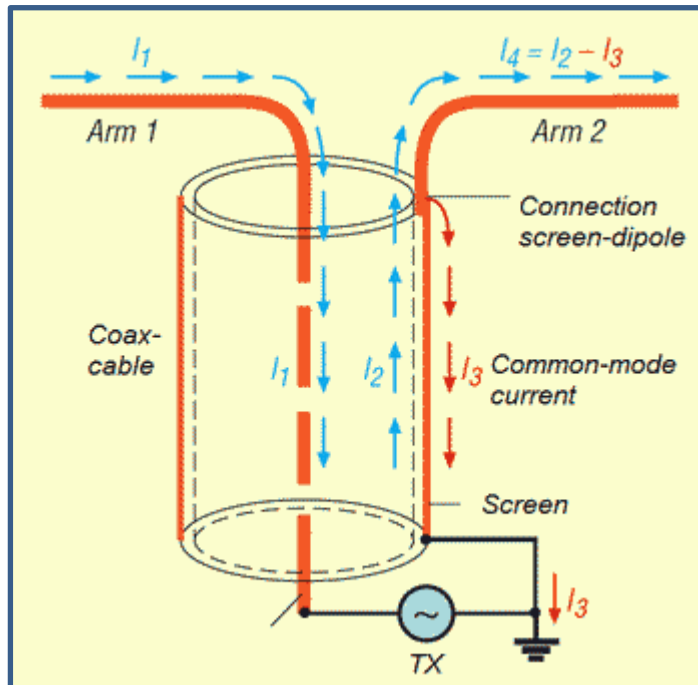


... und verursachen auf vielerlei Art Störungen im Haus

Die wenigsten Antennen sind exakt symmetrisch

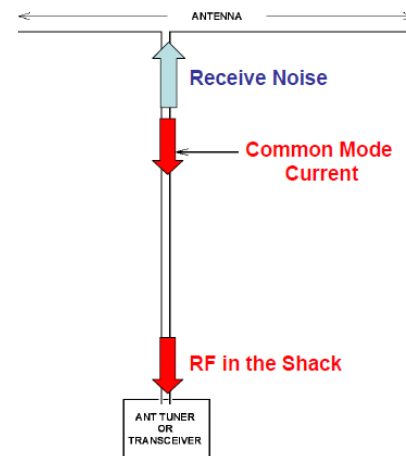


Unsymmetrie – eine Ursache von Gleichtaktströmen



- Unsymmetrien der Antenne führen zu eingekoppelter Energie, auf der Abschirmung außen wird ein Strom induziert (I_3), der zur Erde abfließt.
- Die Ströme zwischen Innenleiter und Außenleiter kompensieren sich nicht mehr, auf dem Außenleiter fließt ein Gleichtaktstrom.

> Die Leitung strahlt ! (raus und rein)



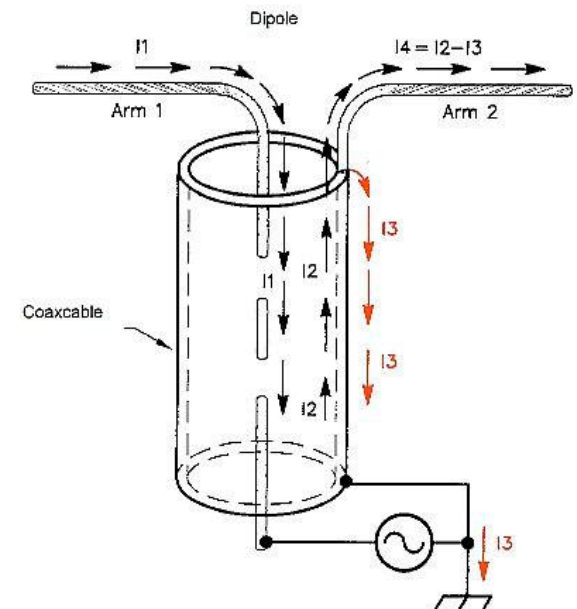
Entstehung von Gleichtaktströmen und Mantelwellen?

Gleichtakt- bzw. Mantelströme entstehen primär durch unterschiedliche Potentiale zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Systemen und sind nichts anderes als dadurch provozierte Ausgleichströme.

•Das Bild zeigt einen Dipol, der direkt (ohne Symmetrierung) an ein Koaxkabel angeschlossen ist. Die Sendeenergie fließt als Strom I_1 (Innenleiter) und Strom I_2 (Innenseite der Koaxabschirmung) zur Antenne.

•Im Idealfall (optimale Symmetrierung) ist I_1 mit I_2 identisch, es fließt kein Strom auf der Außenseite der Koaxabschirmung .

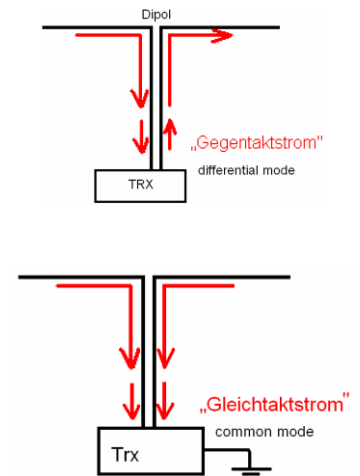
•Ohne Symmetrierung wirkt die äußere Abschirmung des Koaxkabels wie ein Stück geerdeter Antennendraht, der am Speisepunkt leitend mit Arm 2 verbunden ist. Es fließen hochfrequente Gleichtaktströme (I_3) auf dem Außenmantel des Koaxkabels. Man nennt sie deshalb auch Mantelwellen.



Der Strom I_3 fließt auf der Außenseite des Koaxschirmes zurück zur Masse (Gehäuse) unseres Senders und weiter über das Netzteil auf den Schutzleiter (gelbgrün) unserer Netzsteckdose. Der Schutzleiter der Steckdose ist mit der Potentialausgleichschiene der Hausinstallation verbunden, wo alle Schutzleiter des 230 Volt Stromnetzes zentral geerdet sind. Da die Hauserde die Hochfrequenz nicht vollständig ableiten kann, verteilt sich HF-Strom über die gesamte 230 Volt Installation des Hauses. Dieser HF-Strom reicht aber aus, um mannigfaltige Störungen in allen möglichen Geräten zu verursachen.

Wozu braucht man überhaupt einen Balun?

- Gegentaktströme sind für den gewünschten Energietransport in der Leitung verantwortlich, also erwünscht.
- Gleichtaktströme führen zu Mantelwellen, also zu einer Abstrahlung oder zum Empfang von Störungen durch die Leitung, sind also unerwünscht.
- Wir brauchen ein Bauteil, das Gegentaktströme ungehindert fließen lassen und Gleichtaktströme wirksam unterbinden kann.



Dieses Bauteil heißt Balun

Was muß der Balun leisten?

Gegentaktströme durchlassen (alle Balunarten)

Gleichtaktströme sperren (Sperrglied, Strombalun)

Gleichtaktströme ableiten (Symmetrieglied, Spannungsbalun)



Nicht überall, wo Balun draufsteht, ist auch ein Balun drin!

Der Begriff Balun wird leider inflationär gebraucht. Landläufig bezeichnen Viele damit alle Formen von Impedanzübertragern, auch wenn sie keine symmetrierende Eigenschaften haben, sondern im Grunde UnUn heißen müssten.

Was leistet ein Balun?

Ein Balun (**balanced** to **unbalanced**) ermöglicht den Übergang **ohne schädliche Folgen** einer unsymmetrischen Speisung (z.B. Koaxialkabel) auf eine symmetrische Last (z.B. Dipol-Antenne) oder einer symmetrischen Speisung (z.B. Hühnerleiter) auf eine unsymmetrische Last (z.B. Antennen mit „unsymmetrischen“ Anteilen, wie Groundplanes, Windoms, Stromsummenantennen, Langdrahtantennen)

Ein Strom-Balun verfügt über zwei wichtige Eigenschaften:

1. lässt Gegentaktstrom ungehindert hindurch

das bedeutet, der Energiefluss in der Leitung, von der Antenne zum TRX, vom TRX zur Antenne usw. kann ungestört stattfinden.

2. sperrt den Gleichtaktstrom

Als eine Drossel stellt er an der Einbaustelle für den Gleichtaktstrom ein induktivem Widerstand dar.

Wie soll ein Balun idealerweise gebaut sein?

- hoher induktiver Widerstand (mindestens das vierfache der höchsten Lastimpedanz)
- wenig Windungen – kurze Wicklungslänge
- Gute Anpassung - Wellenwiderstand der Wicklung: geometrisches Mittel zwischen Ein- und Ausgangsimpedanz. (schwierig beim Balun hinter einem ATU, da Z dort undefiniert)
- Große Bandbreite
- Symmetrischer Aufbau. Wicklung bifilar / trifilar - kurze Verbindungen
- Hohe Spannungsfestigkeit der Wicklung (am besten mit Teflonsisolierung)
- Geringe Durchgangs-Verluste, dicker Draht, versilberte Litzen, verlustarmes Material
- Kann die geforderte Leistung aushalten – verlustarmes Material, große Kerne

Ein guter Balun ist immer ein guter Kompromiss

Unterschied: Strombalun - Spannungsbalun

Unter dem Begriff Balun werden prinzipiell zwei unterschiedliche Varianten unterschieden:

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

(Symmetrieglied, Symmetriertrafo)

Die Aufgabe eines Spannungsbaluns ist es, an den Ausgangsklemmen, bezogen auf das Erdpotential, gleiche Spannungen zu erzeugen.

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

(Sperrglied, Gleichtaktdrossel)

Die Aufgabe eines Strombaluns ist es, an den Ausgangsklemmen gleiche Ströme zu erzeugen.

Als Konsequenz kann die Ausgangsspannung, die an den Ausgangsklemmen gegen Erde anliegt, irgendeinen Wert anzunehmen der notwendig ist, um die Stromsymmetrie zu gewährleisten.

In der Regel wird ein Balun als Leitungstransformator (Transmission Line Transformer „TLT,“) ausgeführt. Dadurch wird eine großer Bandbreite erreicht. Insbesondere der Spannungsbalun oft mit Übersetzungsverhältnis gewickelt, so dass er unterschiedliche Impedanzen zwischen Ein- Und Ausgang transformiert.

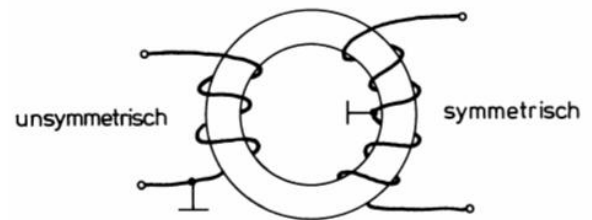
Der induktive Widerstand der Wicklung bei der tiefsten Betriebsfrequenz soll mindestens das vierfache (besser das 10-fache) der höchsten angeschlossenen Impedanz betragen.

Spannungsbalun

Ein **Spannungsbalun** erzeugt an den Ausgangsklemmen symmetrische Spannungen, bezogen auf das Erdpotential.

Beim **Spannungsbalun** erfolgt meist eine starre Symmetrierung, da die Mitte der Ausgangswicklung mit der Masse des Eingangs verbunden ist

*Der **Spannungsbalun** funktioniert nach dem Prinzip des Transformators: Ein Strom in der Primärwicklung erzeugt ein Magnetfeld, Das Magnetfeld erzeugt in der Sekundärwicklung wiederum einen Strom. Die Übertragung der Energie erfolgt über den magnetischen Fluss. Der Kern muss die gesamte übertragene Leistung verkraften.*



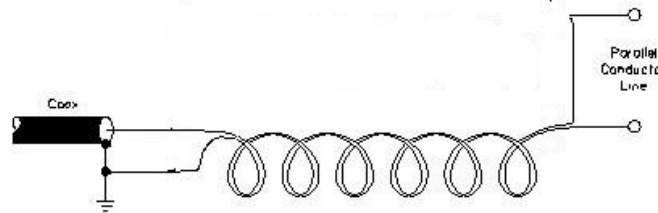
Ist das Windungsverhältnis der Windungszahlen gleich 1, dann ist dies ein 1 : 1 Balun und er hat beidseitig dieselbe Spannung und dieselbe Impedanz. Ist das Windungsverhältnis unterschiedlich, so wird die Spannung entsprechend dem Windungszahlenverhältnis transformiert. Die Impedanztransformation erfolgt im Quadrat der Spannungstransformation.

Der Spannungsbalun ist nicht in der Lage, Mantelströme zu unterbrechen!

Er kann zu diesem Zweck aber mit einem 1:1 Strombalun kombiniert werden (Twin-Hybridbalun).

Der wohl einzige Vorteil des 1:1 Spannungsbaluns liegt darin, daß beide Dipoläste auf Erde liegen und statische Aufladungen abgeleitet werden können.

Strombalun



Der **1:1 Strombalun** ist im Grunde nichts anderes als eine bifilare Drossel, ein Sperrglied. Er besteht aus einer Übertragung-Leitung auf einen Kern gewickelt. Als Leitung dient entweder ein bifilarer Draht, oder ein Koaxialkabel. Anstatt eines Kerns reicht manchmal auch nur Luft.

Die erreichbare Bandbreite des **Strombaluns** ist meist größer, als bei einem Spannungsbalun. Neben dem gebräuchlichen 1:1 Strombalun gibt es noch Strombalun mit 1:4 Impedanzverhältnis.

Betrachtet man die Teilströme auf beiden Leitern der Leitung, so sind diese betragsgleich, aber entgegengerichtet. Das magnetische Feld dieser Teilströme hebt sich weitestgehend auf, so dass im Kern kaum magnetischer Fluss auftritt. Anders beim Auftreten von Mantelströmen bzw. Gleichtaktströmen. Die Drähte der Leitung wirken in diesem Fall wie ein Draht. Der Balun wird zur Drosselspule, die Induktivität der Spule bestimmt die Drosselwirkung.

Für ein gutes SWR soll der Wellenwiderstand der verwendeten Leitung dem geometrischen Mittel zwischen Ein- und Ausgangsimpedanz entsprechen. $Z_{Leitung} = \sqrt{Z_{Ein} * Z_{Aus}}$

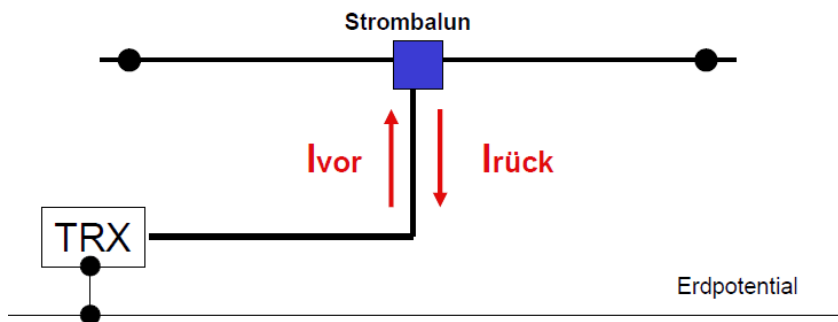
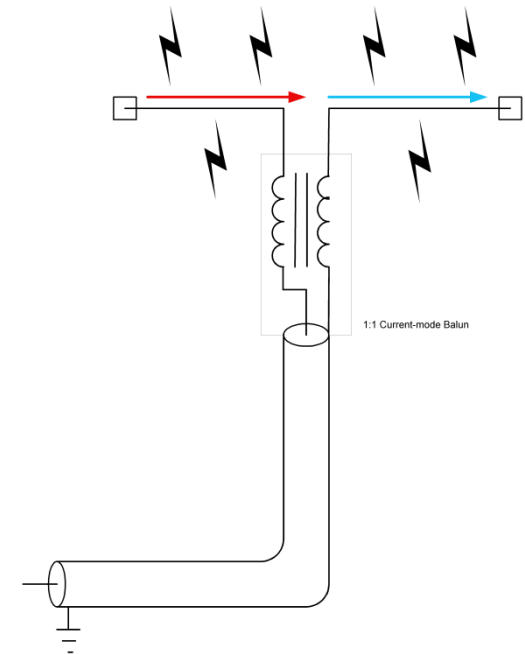
Ein Strombalun ist dazu geeignet, Mantelwellen wirksam zu unterdrücken.

Andere Begriffe für einen Strom-Balun sind: Guanella, Mantelwellendrossel, Gleichakt-drossel, Common-Mode Choke

Der Strom-Balun wirkt als Mantelwellensperre

Ein Strom-Balun, der an der Schnittstelle symmetrisch/unsymmetrisch eingefügt wird, unterdrückt die Bildung von Gleichtaktströmen und damit von Mantelwellen.

Eine Strom-Balun wirkt auf Gleichtaktströme wie eine Leitungs-Drossel. Den Mantelwellen wird ein hoher induktivem Widerstand entgegengesetzt, der den Stromfluß von Gleichtaktströmen behindert. Der Energietransport der TEM Welle im Inneren der Koaxleitung wird dadurch nicht beeinflusst. Nur die Mantelströme auf der **Außenhaut des Schirms** werden bedämpft.



Der Strombalun symmetriert die Ströme auf der Speiseleitung. Mantelwellen auf der Speiseleitung werden unterdrückt, deshalb die Bezeichnung: Mantelwellensperre.

Etwas Theorie muss sein

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

Wichtige Kenngrößen

- Beim Einsatz des Kerns Balun oder Übertrager sollte der induktive Widerstand X_L der Wicklung mindestens viermal so groß sein, wie der höchste angeschlossene Widerstand.

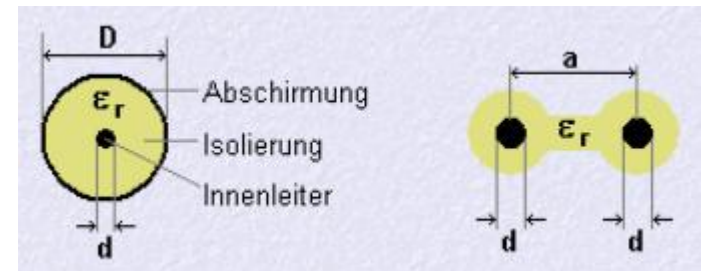
$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Zukünftig: zur Abkürzung der Formeln führen wir den Platzhalter $\omega = 2 \times \pi \times f$ ein

- Für ein gutes SWR soll der Wellenwiderstand der für die Wicklung verwendeten Leitung dem geometrischen Mittel zwischen Ein- und Ausgangsimpedanz eines Baluns oder eines Leitungsübertrages entsprechen.

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

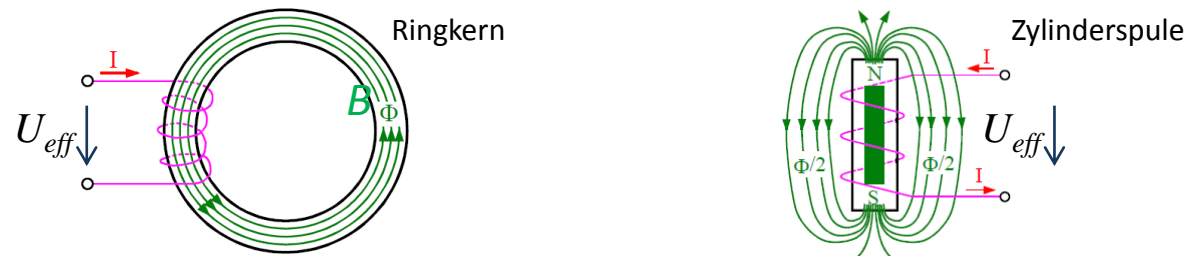
Der Wellenwiderstand Z_0 einer Leitung wird bestimmt vom Verhältnis zwischen dem Durchmesser der beiden Leiter und dem Abstand zwischen den Leitern, sowie der Dielektrizitätszahl ϵ_r des Materials zwischen den Leitern. Handelsübliche PVC isolierte Lautsprecherlitze $2 \times 0,75 \text{ mm}^2$ hat oft etwa 100Ω Wellenwiderstand.



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 Φ ist die Gesamtheit der magnetischen Feldlinien. Die Anzahl der Feldlinien pro Querschnittsfläche A_e wird als magnetische Flussdichte B bezeichnet. Die Einheit ist Tesla ($1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2 = 10000 \text{ Gauss}$).

Die magnetische Flussdichte B ist proportional zu Spannung, Strom und Permeabilität und umgekehrt proportional zu Frequenz, Windungszahl und Querschnittsfläche.



Die maximale magnetische Flussdichte B_{max} eines Ferrit-Ringkerns ist frequenzabhängig. Die Werte für B_{max} in Abhängigkeit von der Frequenz erhält man aus einer Tabelle oder einem Diagramm des Herstellers. B_{max} darf nicht überschritten werden. Die magnetische Flussdichte, die auch von der Spannung abhängig ist, wird mit folgender Formel berechnet:

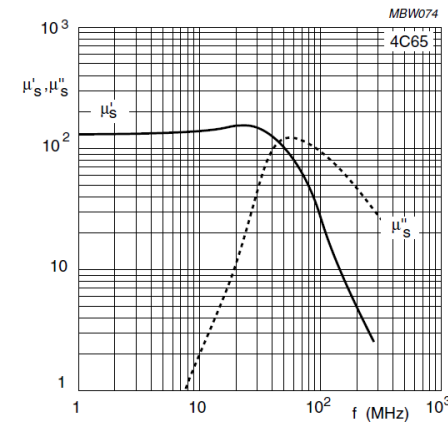
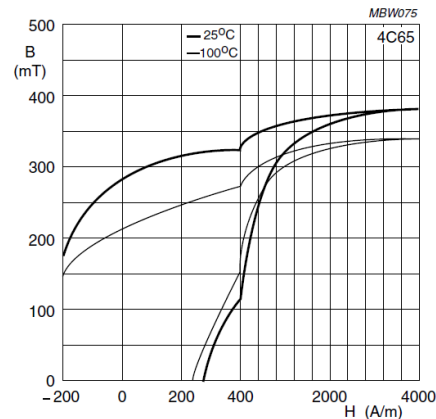
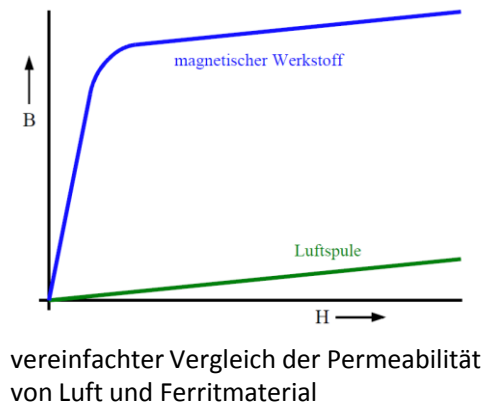
$$\hat{B} = \frac{U_{eff} \times \sqrt{2}}{\omega \times A_e \times N}$$

Hierin ist B der Spitzenwert der magnetischen Flussdichte, U_{eff} die angelegte Spannung, A_e die Querschnittsfläche des Kerns und N die Windungszahl.

Magnetische Leitfähigkeit – Permeabilität μ

Die Permeabilitätszahl μ_r ist eine Verhältniszahl (relativ) für die magnetische Leitfähigkeit eines Materials im Verhältnis zum Vakuum. Die Permeabilität von Vakuum (\sim Luft) ist $\mu = 1$. Ersetzt man z.B. bei einer Spule die Luft, durch die die magnetischen Feldlinien fließt, durch ein Material mit $\mu_r = 10$, ergibt die Spule die zehnfache Induktivität.

Um mit wenigen Windungen eine hohe Induktivität zu erreichen, soll ein Spulen Kern eine hohe magnetische Leitfähigkeit (Permeabilität) aufweisen. Dieses erreicht man mit ferromagnetischen (Eisen) oder ferrimagnetischen (Ferrit) Werkstoffen mit hohem μ_r .



Die Permeabilität von Eisen/Ferritkernen ist nicht konstant. Sie variiert mit der Frequenz, der Temperatur und der magnetischen Feldstärke H . Materialien mit hohem μ_r haben meist auch höhere Verluste. Die Auswahl des richtigen Kerns ist deshalb immer ein Kompromiss.

Der Mini-Ringkernrechner

Download kostenlos: www.dl5swb.de



Wer braucht einen solchen Rechner?

- Funkamateure, die noch selber bauen und eine Spule oder einen Balun dimensionieren wollen.

•Man benötigt die Induktivität und sucht die dazugehörige Windungszahl?

•Alle Formeln und Materialdaten für die gebräuchlichsten Kerne sind eingebaut.

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

mini Ringkern-Rechner 1.2

Info Tools Sprache (Language) Maßeinheiten Hilfe

Ferrit FT 240 - 43 $\mu = 850$

Frequenzbereiche in MHz: 0.01 - 1 (Resonanz), 1 - 50 (Breitband), 30 - 600 (Drossel)

Da 61.00 mm, Di 35.60 mm, h 12.70 mm, AL = 930 mH/(1000 N)²

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/cm³, 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 - Hühnerleiter**
- **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** hingegen wird ein beträchtlicher Teil der Energie über den magnetischen Fluss im Kern übertragen. Das erfordert möglichst große Kerne und verlustarme Materialien.

Eisenpulver Kerne

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

Die Permeabilität (magnetische Leitfähigkeit) bis ca 35μ , ist niedriger als bei Ferritkernen.

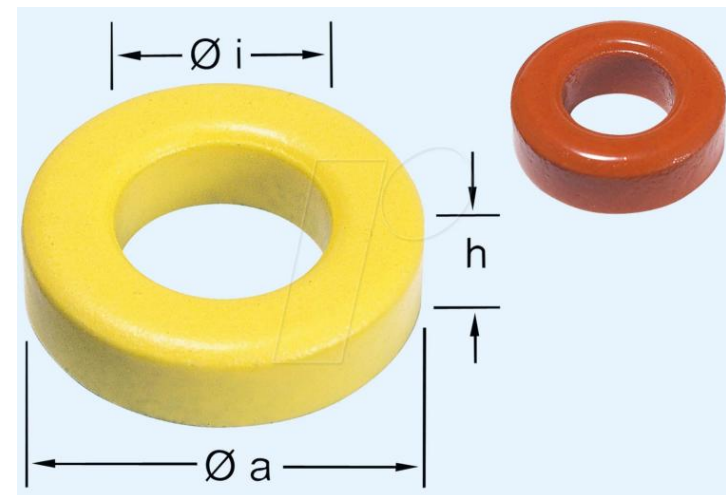
Eisenpulverkerne sind gut für schmalbandige Anwendungen, wie Schwingkreise und Filter mit hoher Güte geeignet. Für Strombalune weniger geeignet, da wegen der geringen Permeabilität zu viele Windungen erforderlich sind. Sie vertragen recht hohe Leistungen.

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

Bei Funkamateuren am gebräuchlichsten sind:

Material #2 (rot), Permeabilität 10μ , 1 bis 30 MHz

Material #6 (gelb), Permeabilität 8μ , 2 bis 50 MHz



Die Permeabilität μ_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 einen 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 Fe_2O_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:

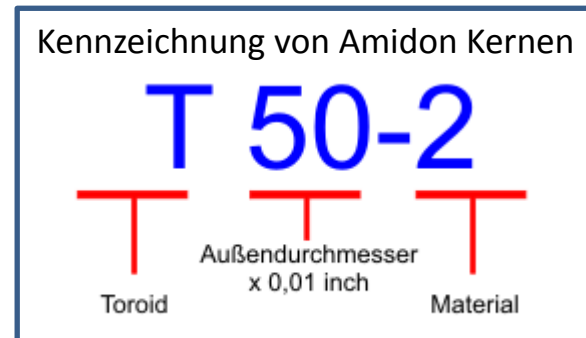
MnZn Ferrite haben hohe Permeabilitäten bis zu 5000μ . Bei hohen Frequenzen größere Verluste durch Wirbelströme.

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

Nickel-Zink Ferrit, NiZn:

Permeabilität bis zu 1500μ ,

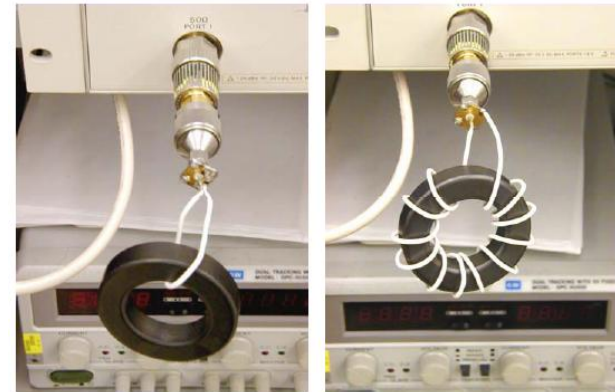
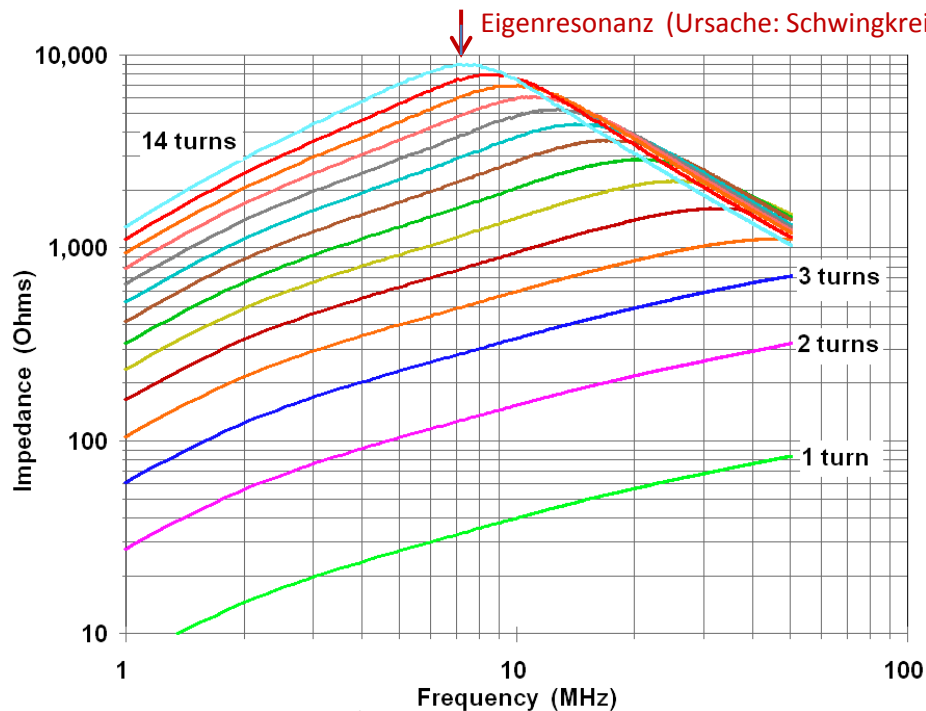
FairRite/Amidon FT #33 , $\mu = 600$
FairRite/Amidon FT #43 , $\mu = 800$
FairRite/Amidon FT #61 , $\mu = 125$
Ferroxcube 4C65, $\mu = 125$
Würth 4W620, $\mu = 620$



*Der Würth Ringkern 74270097 aus 4W620 Material mit den Maßen $\varnothing 61\text{mm} \times 35,5 \text{ mm} \times 13\text{mm}$ Höhe eignet sich sehr gut für Baluns, die auch einige Leistung vertragen. Der DARC Verlag vertreibt den Kern als **RK1**, in der Ausführung mit 20mm Höhe als **RK4** (Würth Nr.:74270191)*

Impedanz (Wechselstromwiderstand) eines Ringkerns

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

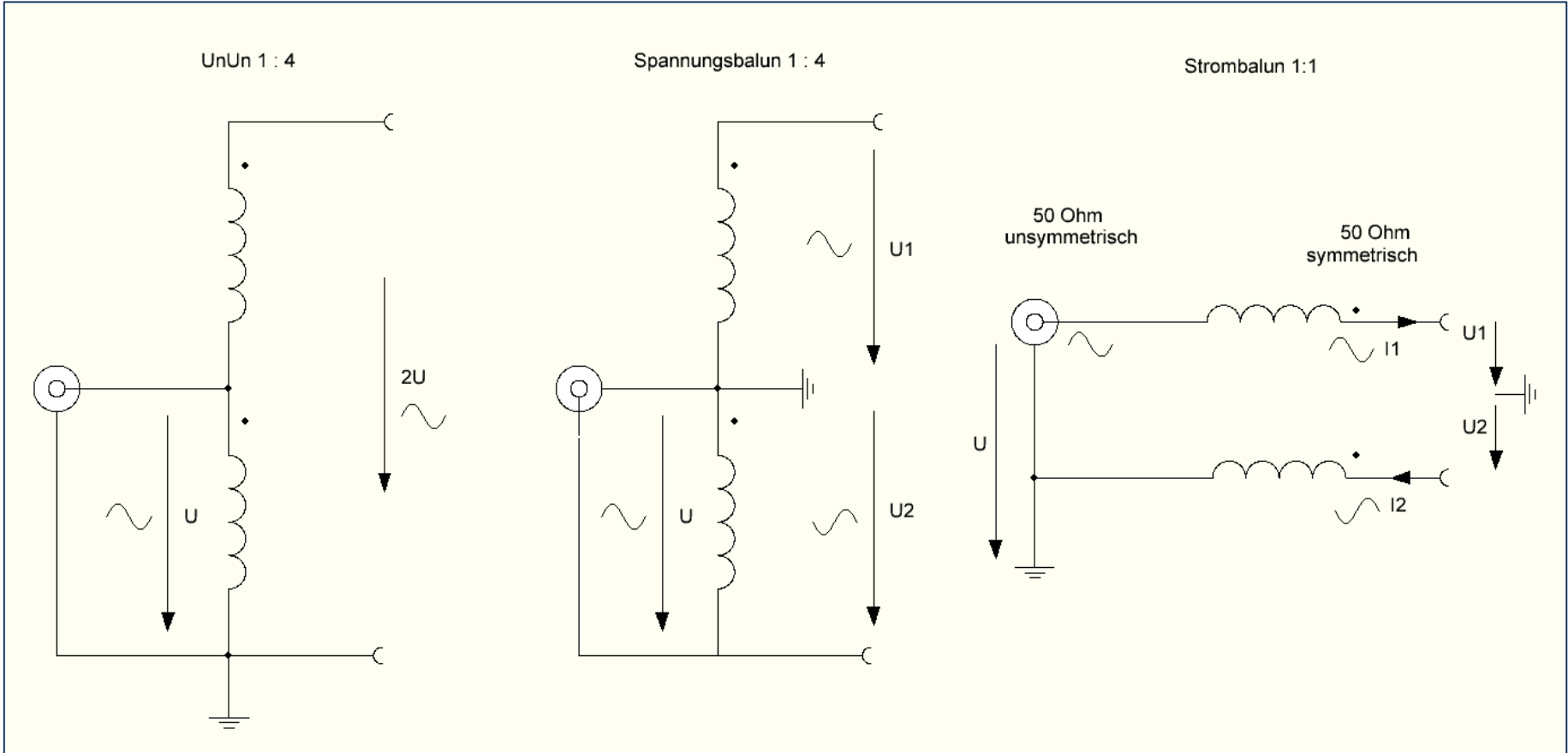


So ist der Messaufbau

Wir merken uns:

- Die Impedanz wächst mit zunehmender Permeabilität μ des Kernmaterials ($Z \sim \mu$)
- Die Impedanz wächst mit dem Quadrat der Anzahl „N“ der Windungen ($Z \sim N^2$)
- Die Windungskapazität wächst mit der Anzahl der Windungen ($Z \sim N$)
- Die Eigenresonanz verschiebt sich mit zunehmender Windungszahl zu tieferen Frequenzen

Gleiche Wicklung – unterschiedlich verschaltet



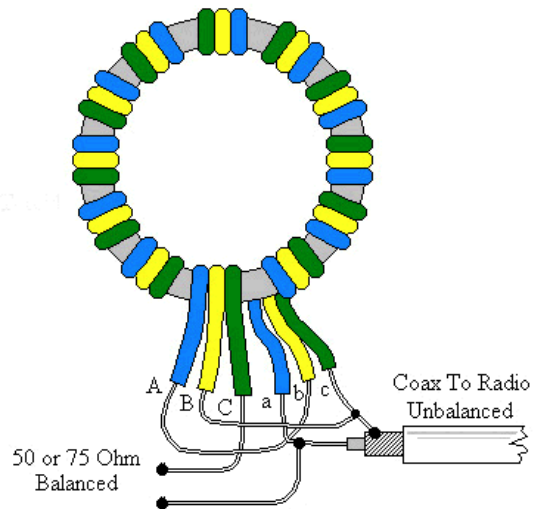
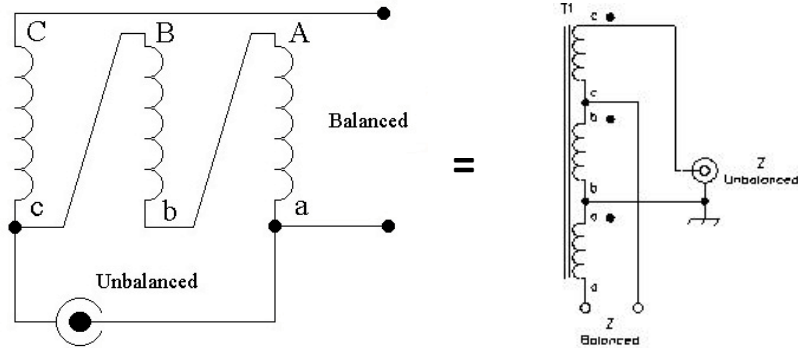
$U_{\text{aus}} = 2 U_{\text{ein}}$
 unsymmetrisch gegen Erde

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

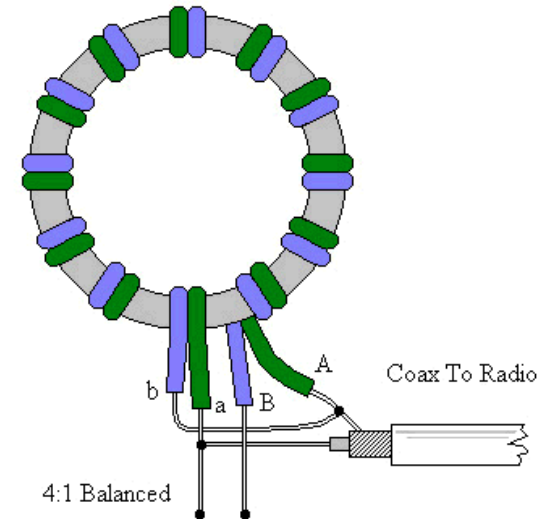
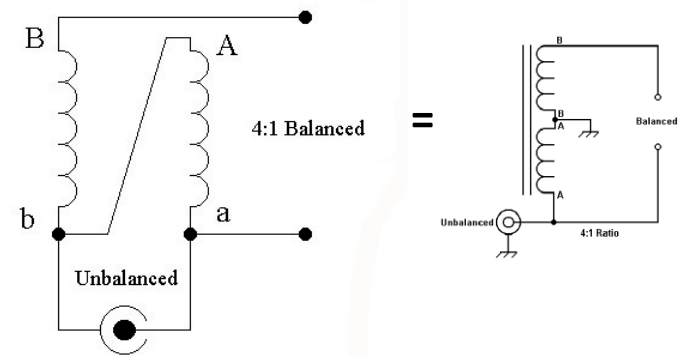
$U_{\text{aus}} = U_{\text{ein}}$
 Ströme I_1 und I_2 sind gleich groß und
 symmetrisch

Spannungsbalun 1:1 und 1:4

Spannungsbalun 1:1



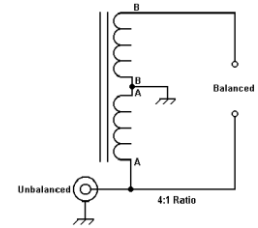
Spannungsbalun 1:4



Wolfgang Wippermann, DG0SA: „ Ein 1:1 Spannungsbalun ist so nützlich, wie ein Heizer auf einer Elektrolok“.

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.

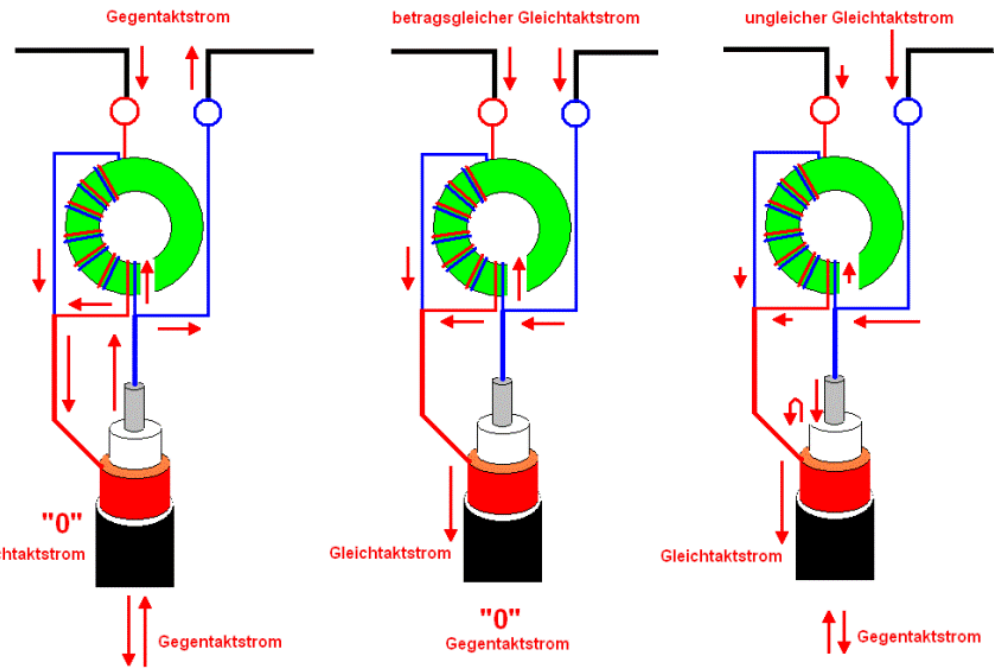


Die Leitung auf dem Kern, rot und blau gezeichnet, kann nur durch Gegentaktstrom durchflossen werden, weil sie für Gleichtaktstrom wegen des Wicklungssinnes wie eine Drossel wirkt. In der Zeichnung ist zu erkennen, dass die Teilströme im Bereich der Zweidrahtleitung immer betragsgleich sind

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 in Richtung 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 verteilt, so wird die Differenz beider Ströme den Umweg ins Innere des Koaxialkabels nehmen und im angeschlossenen Empfänger hörbar. Die Symmetrie ist demnach unbedingt erforderlich für den erfolgreichen Einsatz eines Symmetriegliedes.

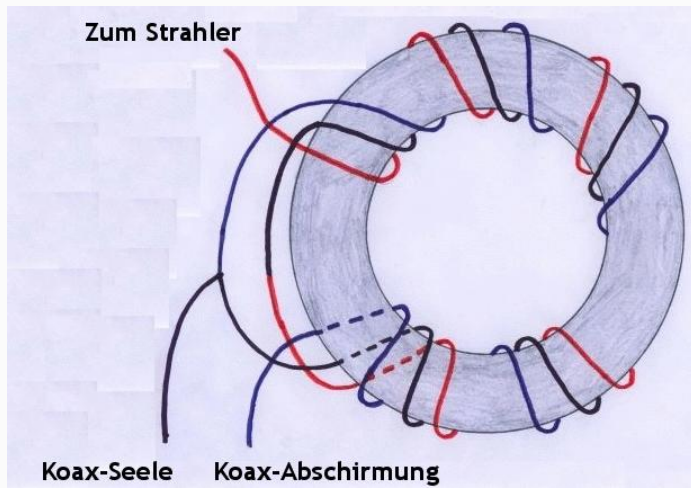
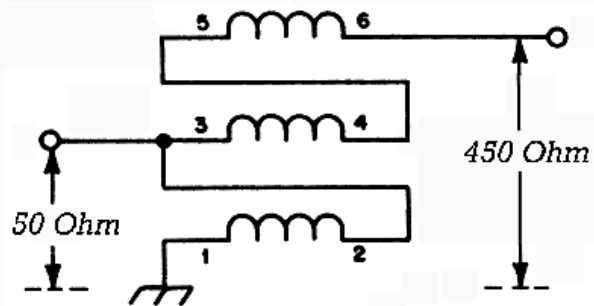


Nur bei exakt symmetrischer Last verhindert ein Spannungsbalun Störungen durch Gleichtaktstrom.

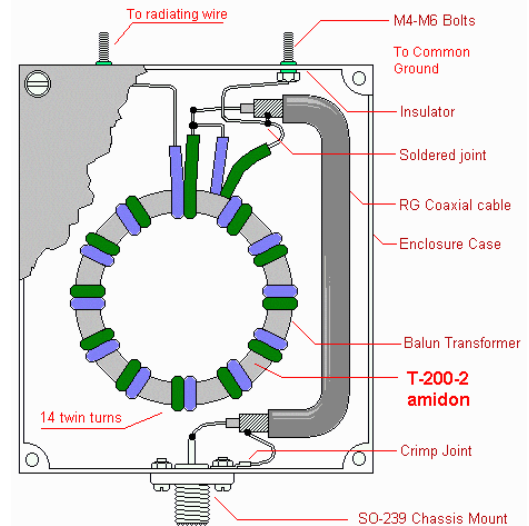
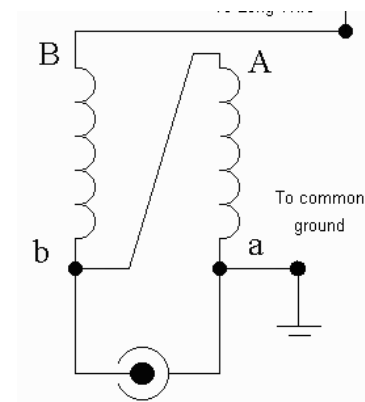
UnUn Breitband Trafo

UnUn 1:9

landläufig: „Magnetic Balun“



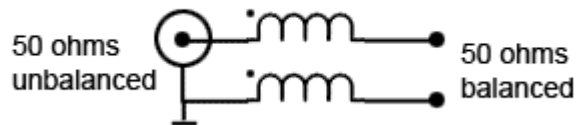
UnUn 1:4



Wir sehen: Ein vertauschter Masse-Anschluss macht aus einem Balun schnell einen UnUn und umgekehrt!

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 / Sperrglied 1:1



Wicklung nach DG0SA (oben) Es werden einmal 10 Wdg 100 Ω Zweidraht-Leitung auf die eine Kernhälfte und 10 Wdg auf die andere Kernhälfte gewickelt. Das Parallelschalten der 100 Ω Leitungen ergibt 50 Ohm Wellenwiderstand. Wickelsinn beachten!

Wicklung nach Joe Reisert (rechts)

Eine Wicklung mit 50 Ohm Koaxkabel (oder Paralleldrahtleitung) wird auf einen Ferritring aufgebracht. Der Wickelsinn ist magnetisch gleichsinnig, trotz scheinbaren Richtungswechsels. Man erreicht durch dieses Weickelschema nur, dass Eingang und Ausgang sich gegenüberliegen. Der Reisert Balun hat ein gutes SWR über einen großen Frequenzbereich und eine gute Trennwirkung.



Hühnerleiter - Balun hinter der ATU

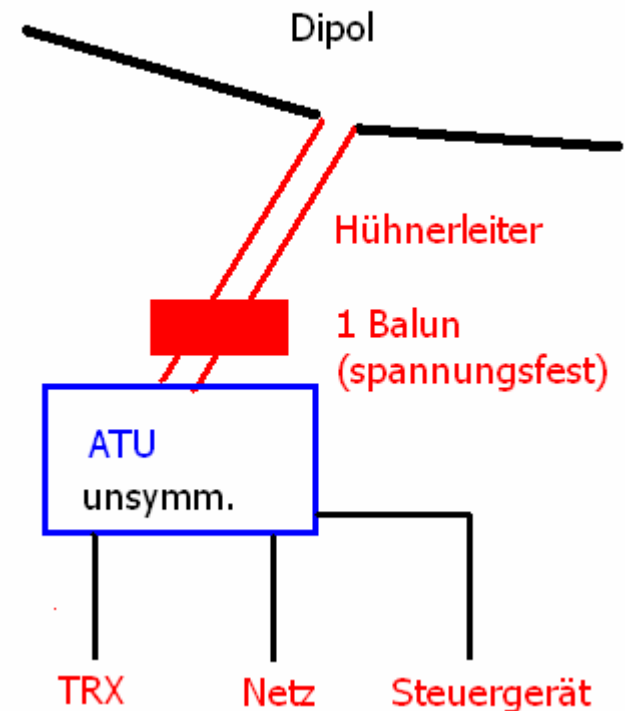
Bei einer Hühnerleiter und einem in der Mitte gespeisten Dipol wird der Ruf nach einem symmetrisch aufgebauten Antennen-Anpassgerät laut.

Den Aufwand dafür kann man sich sparen, ein unsymmetrisches macht es genau so gut, aber nur mit richtigem Balun

Ein 1:1 Strom-Balun für unbestimmte Impedanzen zwischen Antennen -Anpassgerät und Hühnerleiter ist die elegantere Lösung

Der Balun muss spannungsfest sein.
> Großer Kern und teflonisierte Litze/Draht!

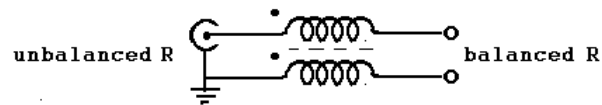
Transformierende Baluns eignen sich wenig, da bei kurzen Antennen ($< \lambda/2$) Flussprobleme im Kern auftreten können.



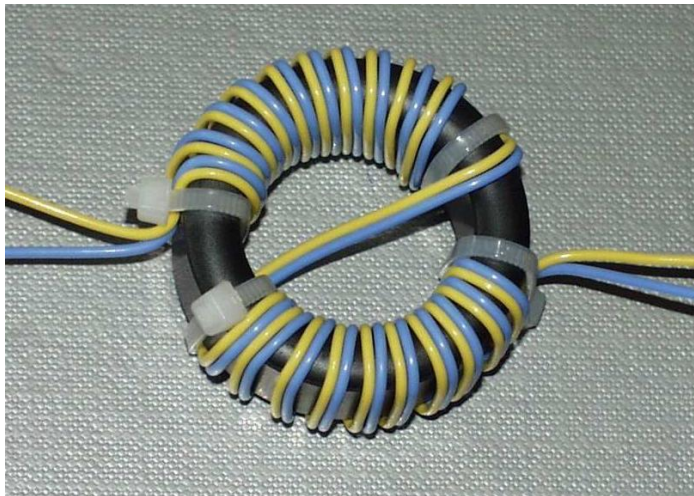
Strombalun 1:1 für undefinierte Impedanzen

Der „Balun für undefinierte Impedanzen“ besteht aus einem Ferritringkern und einer darauf gewickelten Zweidrahtleitung. Es entsteht durch den Energietransport durch die Leitung kein merklicher magnetischer Fluss im Kern! Die Drosselinduktivität soll groß sein, etwa $200 \mu\text{H}$. Das entspricht bei $1,8 \text{ MHz}$ einem Widerstand von $2,2 \text{ k}\Omega$. Er hat statt 12 Windungen (gegenüber Balun 1:1 für 50Ω) immerhin 21 Windungen, denn bei Mehrbandantennen sind die Anforderungen an das Sperrverhalten des Balun höher. Der Balun muss spannungsfest sein. PTFE Isolation der Drähte ist erforderlich. Verdrillte Kupferlackdrähte schlagen beim Abstimmen kurzer Antennen ($l < \lambda/2$) durch.

• winding start



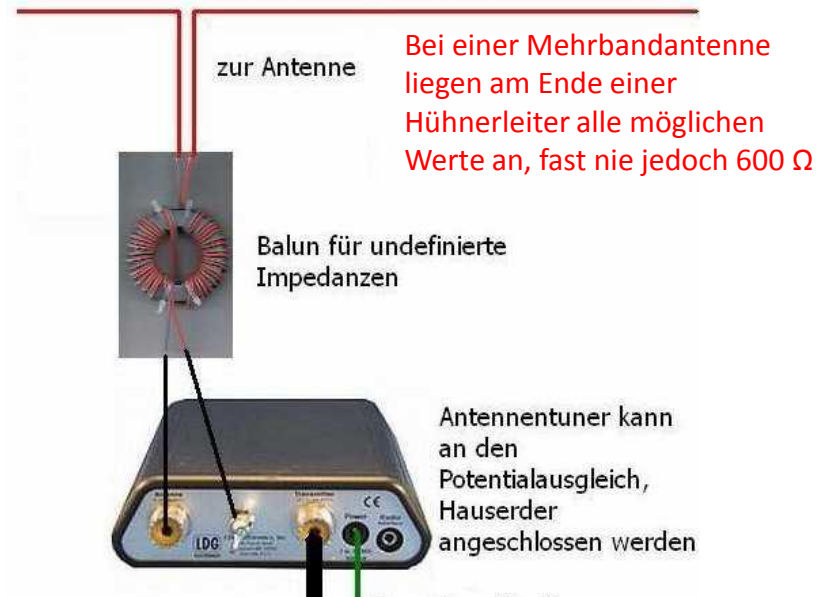
1:1 Current Balun



Balun für undefinierte Impedanzen, Wickelschema nach Reisert

Günter Fred Mandel, DL4ZAO

Balun zwischen ATU und Antenne



Hybridbalun 1:4 – die Kombination von Spannungs- und Strombalun

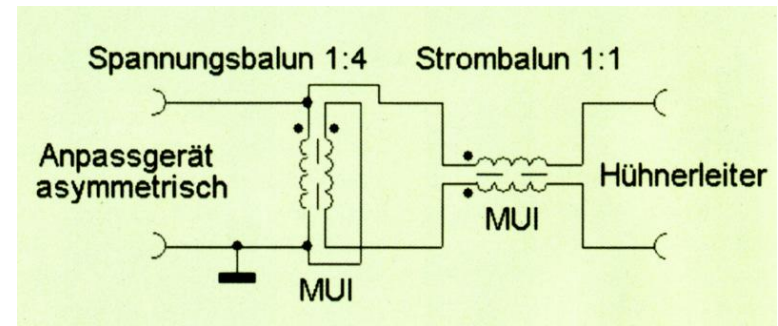
Spannungsbalun und Strombalun werden in Serie geschaltet

Jeder tut das, was er selbst am besten kann und nimmt dem anderen ab, was dieser weniger gut kann.

Der 1:4 Spannungsbalun symmetriert die Last unabhängig von ihrer Impedanz.

Der 1:1-Strombalun für undefinierte Impedanzen schützt als Gleichaktdrossel den Spannungsbalun vor unsymmetrischen Strömen auf der Speiseleitung.

Wichtig ist, dass Spannungsbalun und Strombalun jeweils auf einem eigenen Kern gewickelt werden.



Hybrid-Balun AufbauDF1BT, RK1 oder RK4 Kerne mit Teflonband umwickelt. Vorteilhafter als der Kupferlackdraht wäre teflonisierte Litze.

Baluns mit Übersetzungsverhältnis (als Hybridbalun)

Anwendbar z.B. für:

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

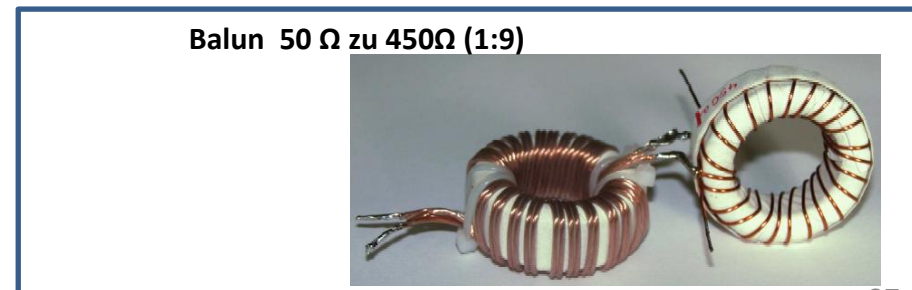
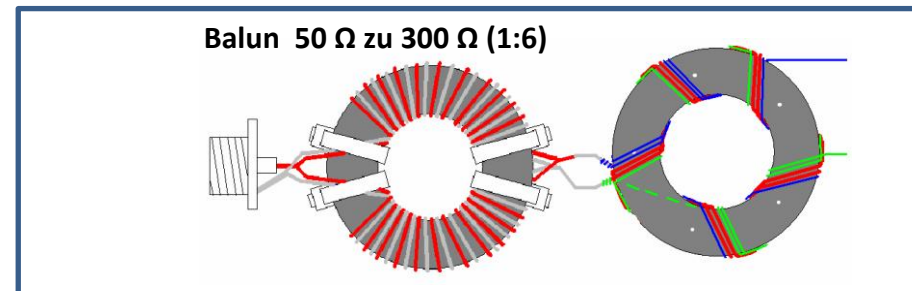
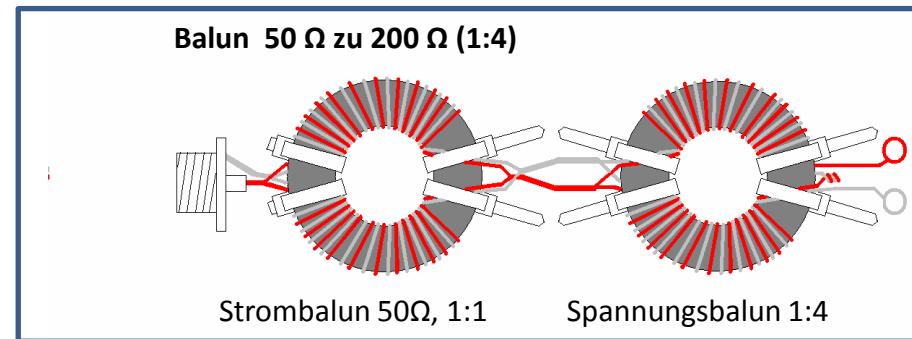
Ein Balun mit Impedanz Übersetzungsverhältnis (1:4; 1:6; 1:9 o.ä.) bei gleichzeitig guter Stromsymmetrierung erfordert mehr als einen Kern.

Am besten erreicht man das durch die Kombination von einem UnUn oder einem Spannungbalun als Transformator und einem Strombalun in Serie.

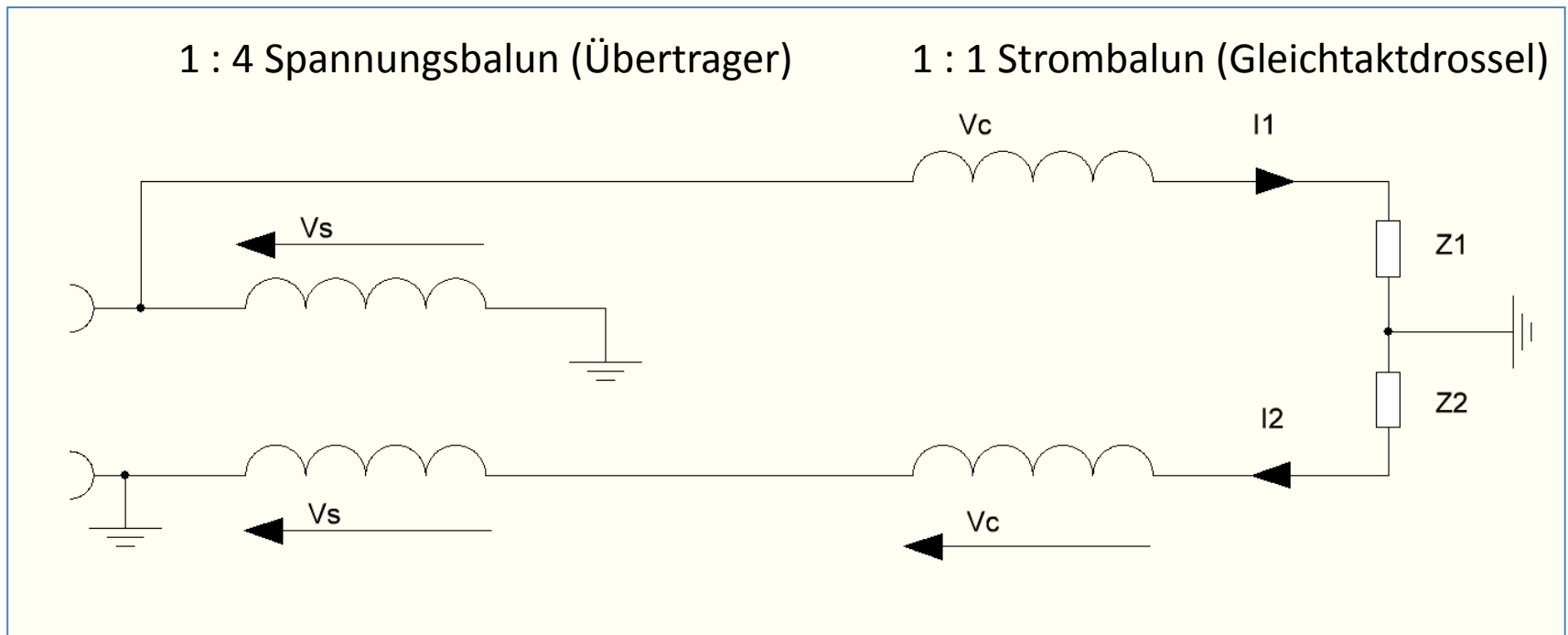
Ein Kern für den Strombalun – Ein Kern für den Breitbandübertrager.

➤ Der Breitbandübertrager transformiert das gewünschte Impedanzverhältnis

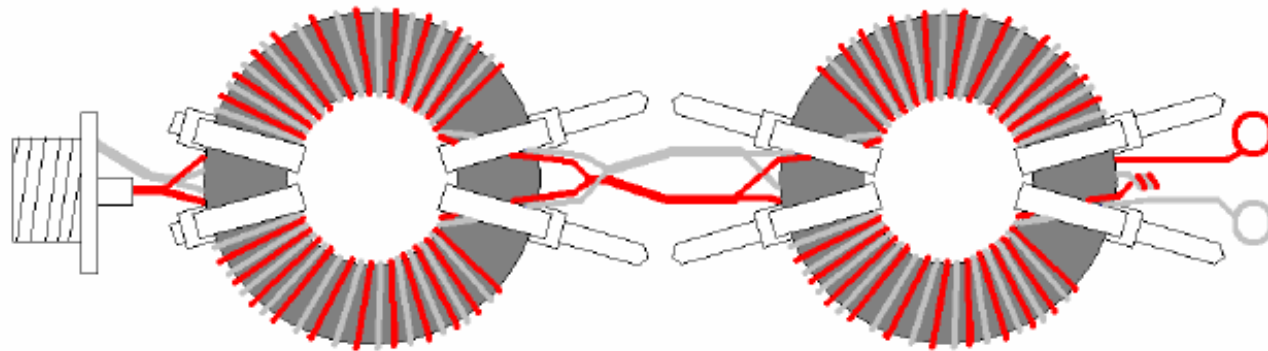
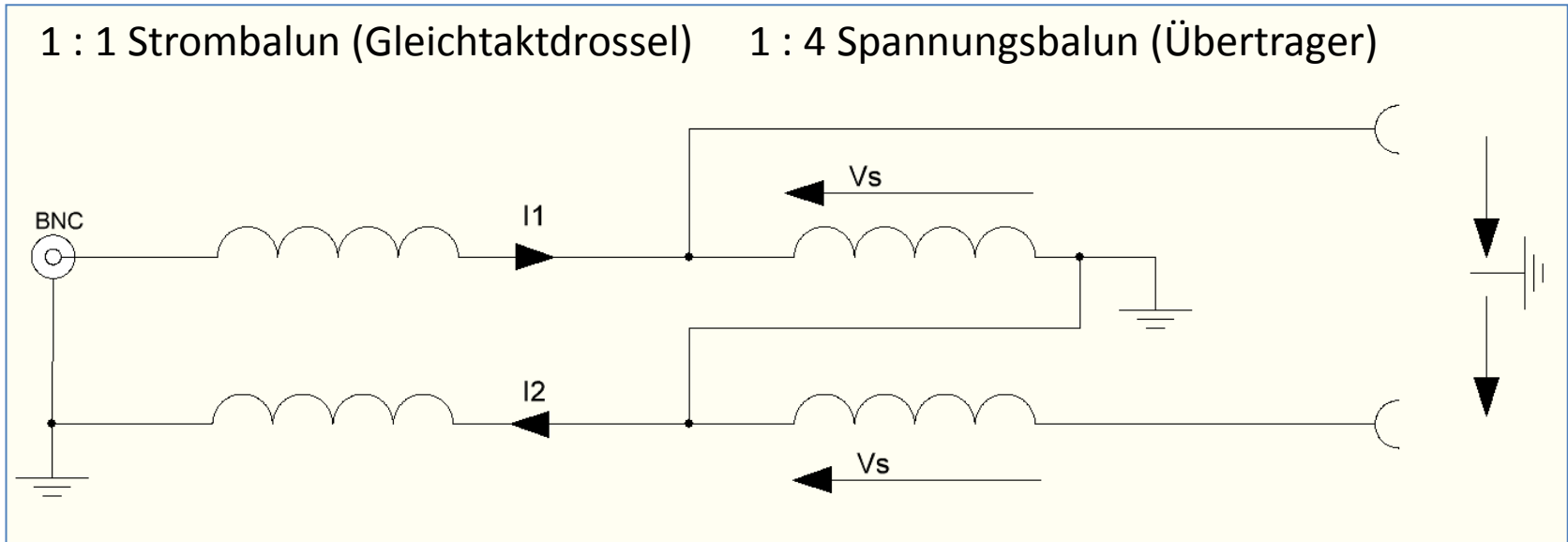
➤ Der 1:1-Strombalun unterdrückt den Gleichtaktstrom



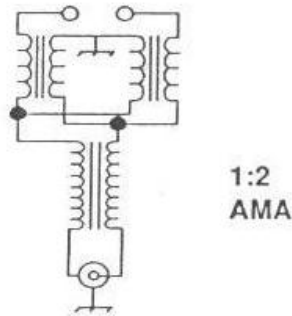
1:4 Hybridbalun nach Roos, ZS1AN



1:4 Hybridbalun nach Wipperman DG0SA



Der Fritzel Balun – „altbewährte" Fehlkonstruktion



Am Beispiel des AMA2:

Ein 1:2 Anpassungsübertrager und ein 1:1 Strombalun (verdrillter Kupferlackdraht) sind auf dem selben 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.

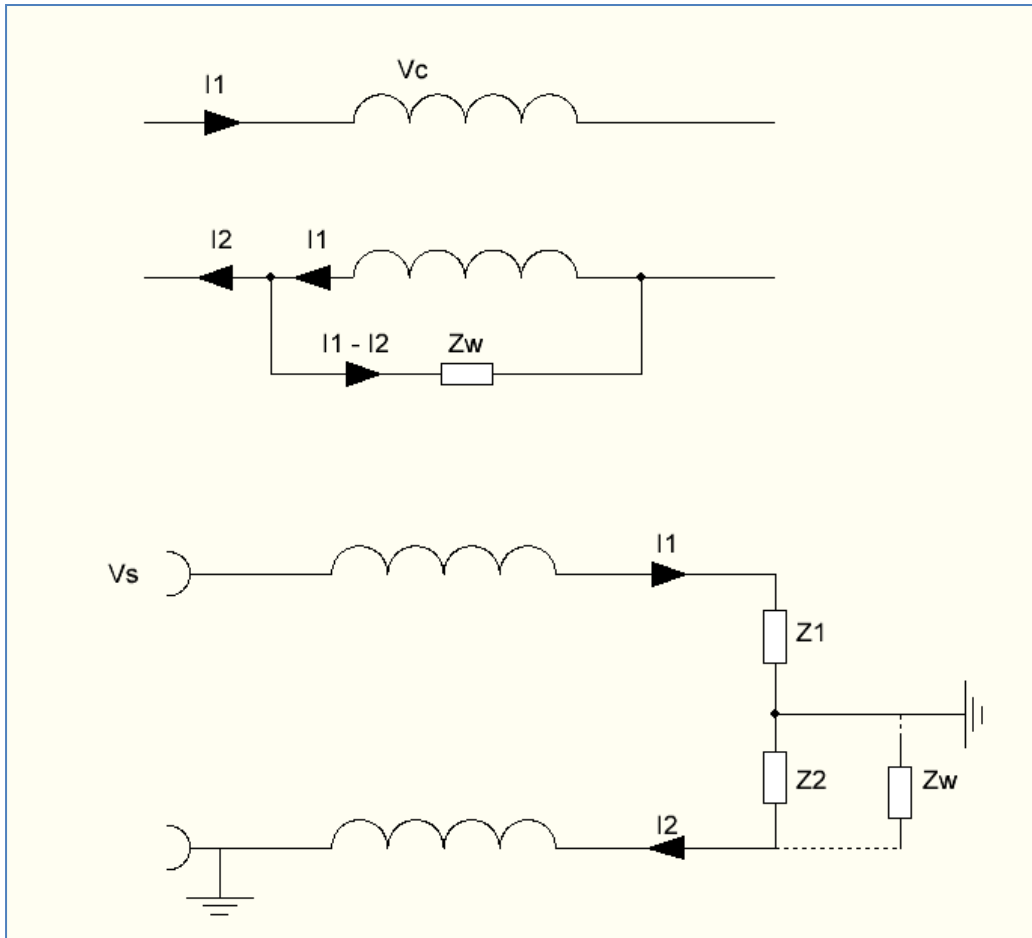
Der Aufbau (einfacher Kupferlackdraht) ist nicht besonders spannungsfest.

Alle 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**
- **Trennwirkung**
- **Rückflussdämpfung - SWR**
- **Symmetrierwirkung**
- **Praktische Bauformen**
- **Links und weiterführende Literatur**

1:1 Strombalun - Ersatzschaltbild



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

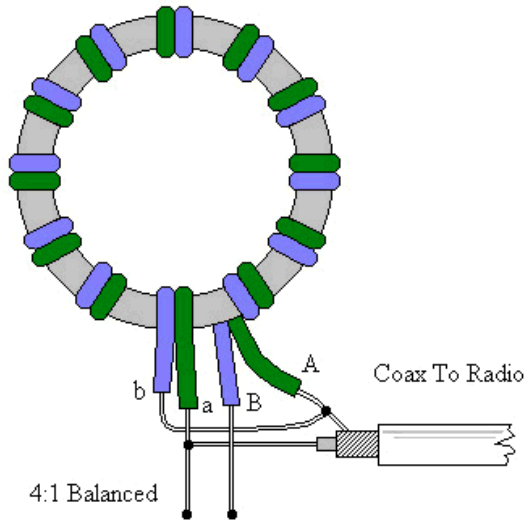
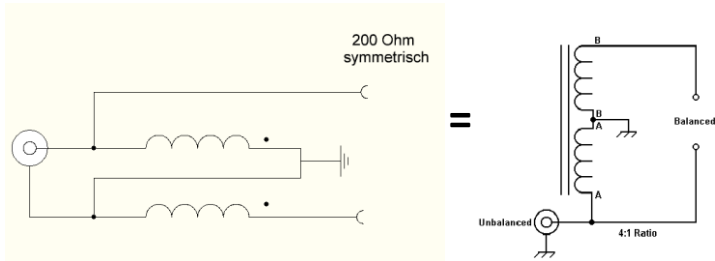
$$I_1 / I_2 = (Z_2 + Z_w) / Z_w$$

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

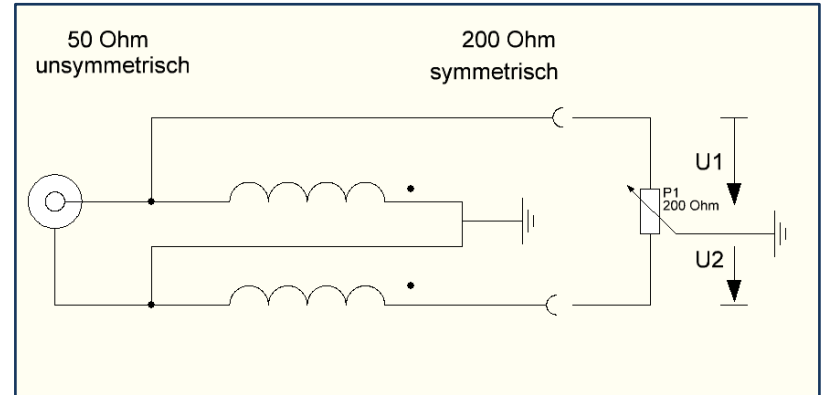
$$\text{Anforderung : } Z_w > 10 Z_2$$

Spannungsbalun 1:4

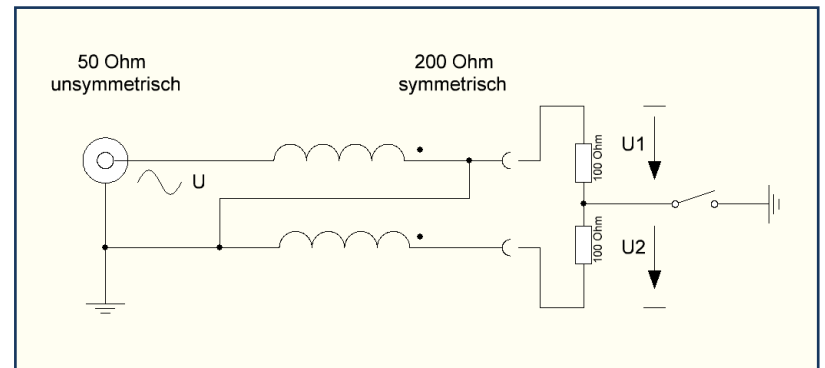
Spannungsbalun 1:4



Messaufbau Symmetrie



Messaufbau SWR



Prüfung Wirksamkeit eines Baluns

Die entscheidenden Fragestellungen :

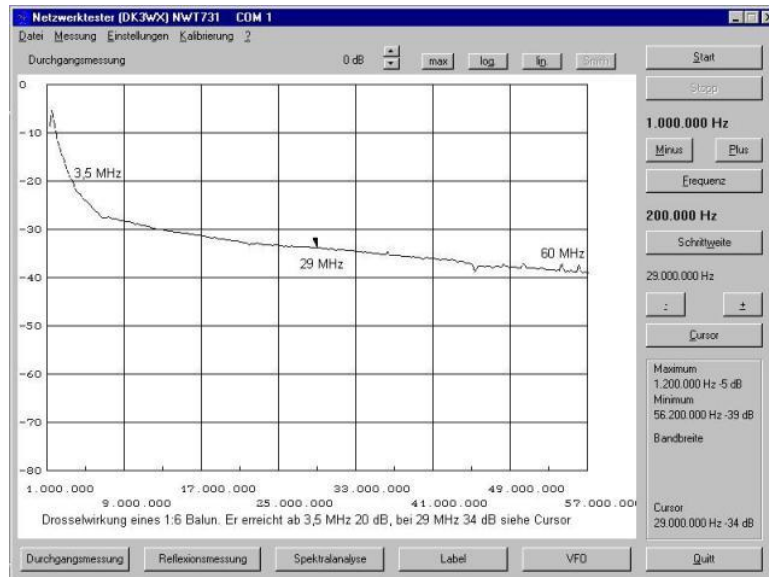
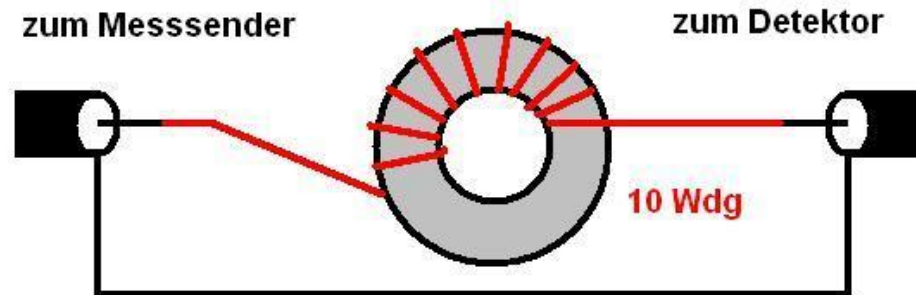
- wirkt der Balun für Gegentaktströme wie eine verlustarme Verbindung zwischen Eingang und Ausgang? (lässt sie ungehindert fließen)
- wirkt der Strom-Balun (Sperrglied) für Gleichtaktströme wie eine Unterbrechung zwischen Eingang und Ausgang? (unterbricht sie)
- wirkt der Spannungs-Balun (Symmetrieglied) für betragsgleiche Gleichtaktströme an seinem Eingang wie eine Unterbrechung zum Ausgang? (balanciert sie aus, leitet sie gegen Masse ab)

Wie prüft man die Wirksamkeit eines Baluns:

- man speist den Balun mit dem Signal eines Meßsenders bei korrektem Abschluß am Balunausgang und misst die Eingangsreflektion (SWR).
- Man verbindet beim Sperrglied beide Anschlüsse des Eingangs und beide Anschlüsse des Ausgangs und mißt was an der Ausgangsseite ankommt.
- Man speist beim Symmetrieglied zwei betragsgleiche Ströme gegen Masse ein und misst, was an der Ausgangsseite ankommt.

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**



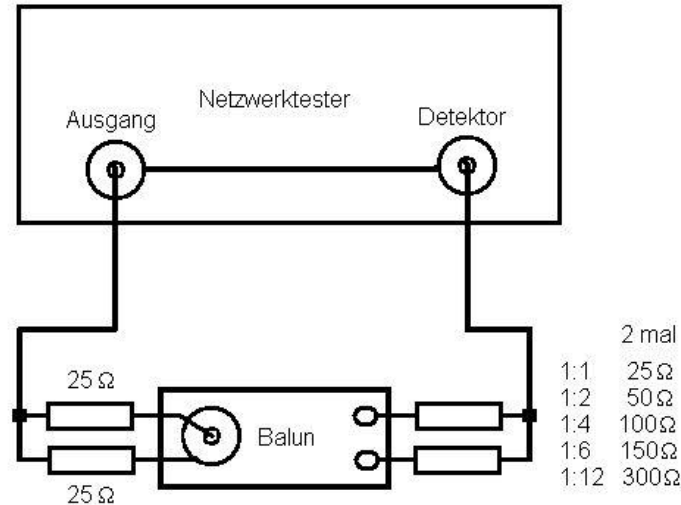
Diskussion des Messergebnisses

Die Drossel liegt im Strompfad zwischen der 50 Ω Quelle und der 50 Ω Last. Die Dämpfung ist dann besonders gut, wenn die Kurve sehr tief hinunter geht. Man achte auf "unten", also auf die untere Nutzfrequenz und "oben", also obere Nutzfrequenz. Man kann sich dann vorstellen, dem Stromfluss stünde ein Widerstand entgegen.

- Wird die 10 dB Linie nach unten durchbrochen, entspricht das einem induktivem Widerstand von 220 Ω .
- Wird die 20 dB Linie nach unten durchbrochen, entspricht das einem induktivem Widerstand von 1,0 k Ω .
- Wird die 30 dB Linie nach unten durchbrochen, entspricht das einem induktivem Widerstand von 3,0 k Ω .
- Wird die 40 dB Linie nach unten durchbrochen, entspricht das einem induktivem Widerstand von 10 k Ω .

Balun Prüfung: Trennwirkung

(Unterdrückung des Gleichtaktstroms)

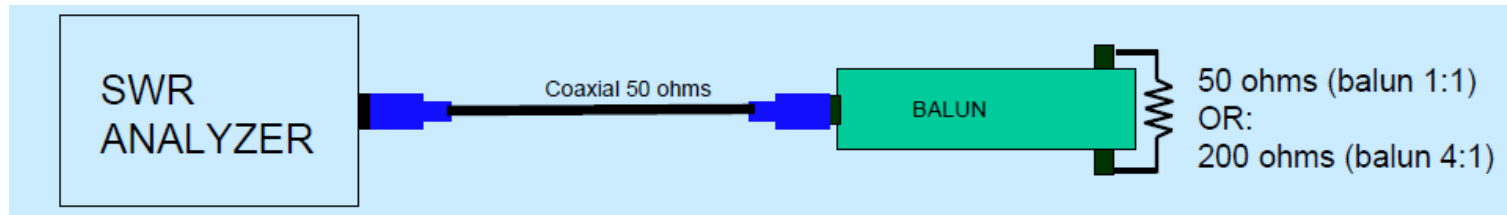


Eine Gleichtaktstrom Quelle und eine symmetrische Last wird dazu mit Widerständen nachgebildet.

Diese Nachbildung bringt einige Ω in den Strompfad ein, was eine zusätzliche Dämpfung im Mess-Ergebnis verursacht. Das Ergebnis muss also um diese Dämpfungswerte korrigiert werden:

- Balun 1:1 vom Ergebnis 2 dB korrigieren
- Balun 1:2 vom Ergebnis 3 dB korrigieren
- Balun 1:4 vom Ergebnis 4 dB korrigieren
- Balun 1:6 vom Ergebnis 8 dB korrigieren
- Balun 1:9 vom Ergebnis 11 dB korrigieren
- Balun 1:12 vom Ergebnis 12 dB korrigieren

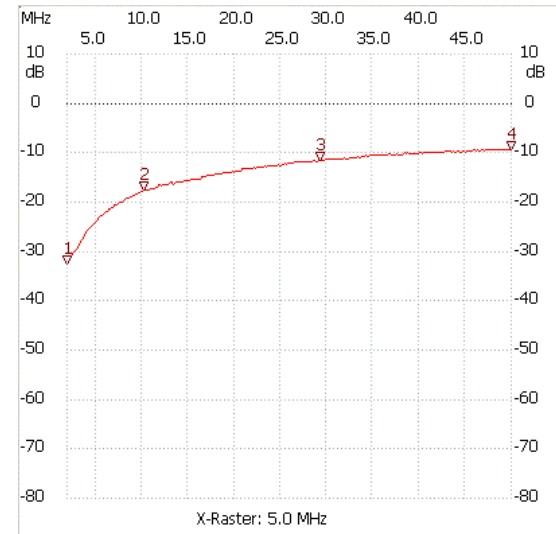
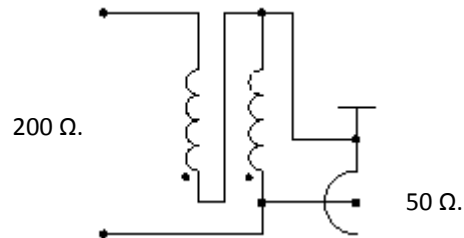
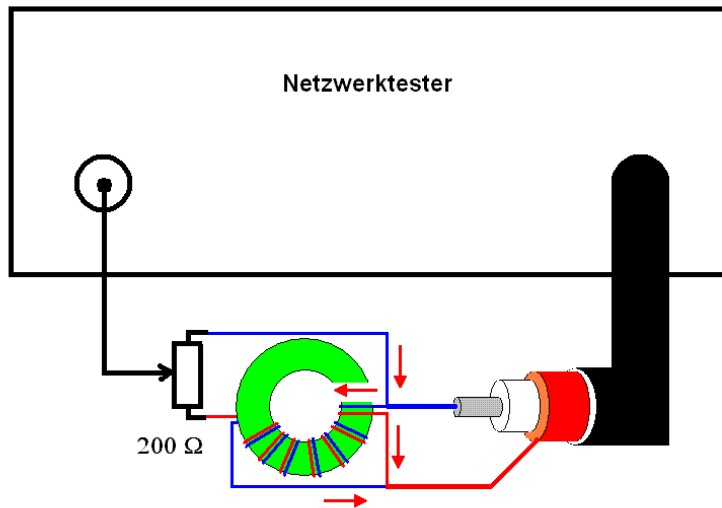
Balun Prüfung: SWR



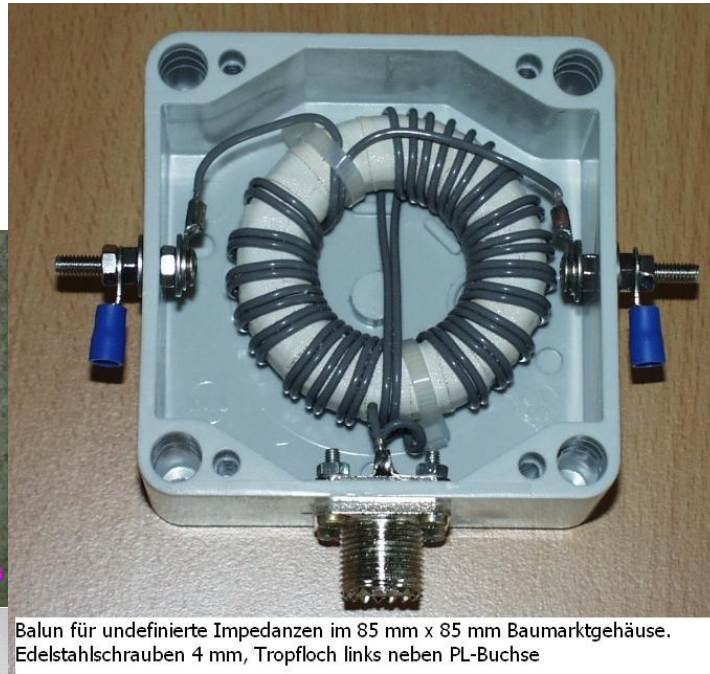
Bemerkung: Die geläufige Regel, dass der induktive Widerstand der Wicklung, gemessen bei der tiefsten nutzbaren Frequenz, zwischen den Anschlussklemmen etwa viermal größer sein soll als der angeschlossene Quell- bzw. Lastwiderstand, führt bestenfalls zu einem SWR von 1,25. Besser ist es, den 9-fachen Wert anzustreben, das entspricht 25 dB Eingangsreflexion entsprechend einem SWR von 1,12.

Balun Prüfung

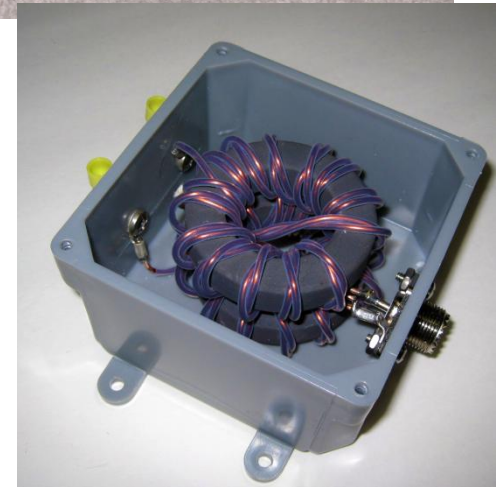
Symmetrierwirkung bei einem 1:4 Spannungsbalun



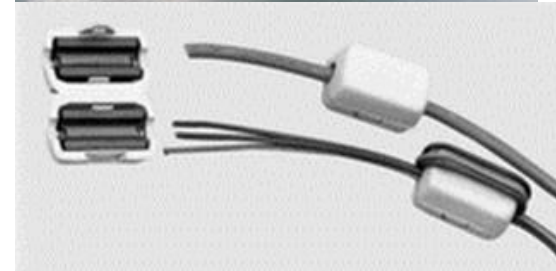
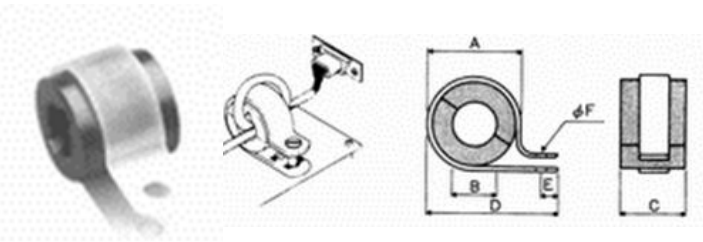
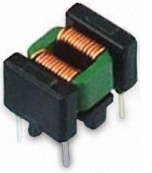
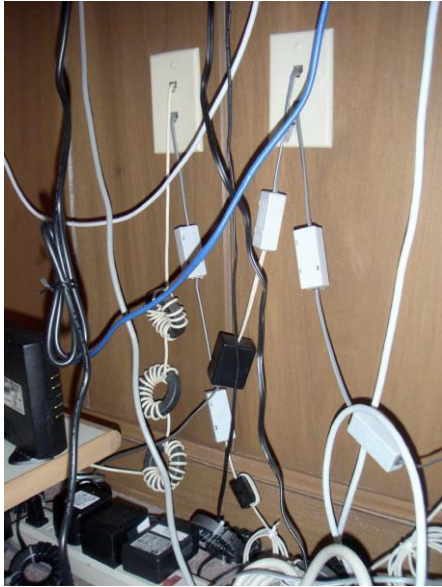
Andere Strombalun Bauformen



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



Der Strombalun zur Entstörung von Geräten gegen Einstrahlung oder Abstrahlung



Quellen und Referenzen

www.wolfgang-wippermann.de

www.baeckerei-heitmann.de/DF1BT/A4_Dokumentation_Mantelwellen_von_DF1BT.pdf

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

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

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

Rauch, W8JI, „Balun Test,“ http://www.w8ji.com/balun_test.htm

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

J. Sevick, W2FMI, *Understanding, Building and Using Baluns and Ununs*, CQ Communications, 2003, chapter 9.

Ron Skelton, W6WO, „Measuring HF Balun Performance“, QUEx Nov/Dec 2010

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

M. Ehrenfried – G8JNJ „The design of Ruthroff broadband voltage transformers“, <http://www.audiosystemsgroup.com/RFI-Ham.pdf>

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

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

Andrew Roos, ZS1AN: „A Better Antenne Tuner Balun“,
http://f1frv.free.fr/main3c_Baluns_fichiers/A_Better_Antenna_Balun_ZS1AN.pdf