

# Warum funktionieren manche Baluns nicht so richtig?

Wolfgang Wippermann, DGØSA

Sieben Jahre sind seit dem Erscheinen des Artikels [1] mit gleicher Überschrift vergangen, eine umfangreiche Korrespondenz in den vergangenen Jahren liegt hinter mir. Zwischenzeitlich hängen auch an meinem Haus Drahtantennen und ich habe meine eigenen Erfahrungen mit häuslichen Störquellen und Mantelströmen (Gleichtaktströmen) gemacht.

**W**enn der häusliche Störpegel im KW-Transceiver ständig bei S9 liegt oder das Telefon im Takt der Aussendungen klingelt, der Ölbrenner in der Heizungsanlage mit dem Mikrofon gesteuert werden kann und die

Sensorlampe Morsezeichen blinkt, dann schlägt die Stunde eines Balun.

Wie kann es jedoch zu solchen Erscheinungen kommen? In den meisten Fällen ist es nicht die Folge der direkten Einstrahlung von Sendeenergie über



### Zur Person

**Dipl.-Ing. Wolfgang Wippermann, DGØSA**  
Jahrgang 1950, Amateurfunkgenehmigung seit 1967, Studium Elektronik an der

Universität Rostock bis 1974  
Amateurfunkpeilen von 1967 bis 1990.  
Besondere Interessen: Simulation und Aufbau funktechnischer Schaltungen; Spulen, Filter, Anpassungen, Baluns und „alles, was gewickelt ist“.

Anschrift:  
Lerchenweg 10  
18311 Ribnitz-Damgarten  
[www.wolfgang-wippermann.de](http://www.wolfgang-wippermann.de)  
[wwippermann@t-online.de](mailto:wwippermann@t-online.de)

die Antenne in das gestörte Gerät, denn die Antenne hängt so hoch und frei, wie es die örtlichen Begebenheiten zulassen. Es ist die Speiseleitung, die dort strahlt, umgekehrt empfängt selbige die häuslichen Störsignale aus den Schalt- netzteilen der Computer und Dimmer, das Knacken der Relais der Hausgeräte, die Störungen aus Heizungsanlagen und nicht zuletzt aus dem 100-Hz-Fernseher.

Liegt es an der Fehlanpassung (schlechtes SWR), dass die Speiseleitung strahlt bzw. dass sie als Empfangsantenne wirkt? Nein, selbst das schlechteste SWR ist nie die Ursache, dass die Speiseleitung strahlt, egal, ob Zweidraht- oder geschirmte Leitung. Auch eine Koaxialleitung kann strahlen, und obwohl eine Zweidrahtleitung keine Ummantelung hat, tritt hier das Gleiche auf, was man beim Koaxialkabel „Mantelwellen“ nennt.

## Gegentakt- und Gleichtaktstrom

Die Sendeenergie gelangt vom Sender zur Antenne über eine Leitung. Wird an einer beliebigen Stelle die Leitung aufgetrennt, zwei Lämpchen eingefügt [2] und leuchten diese mit gleicher Helligkeit, so kann man davon ausgehen, dass hier beide Leiter der Leitung von einem gleich großen Strom durchflossen werden. Mit den Lämpchen ist jedoch nur der Betrag, aber nicht die Richtung des Stromes feststellbar. Die beiden Ströme haben den gleichen Betrag, aber welche Richtung? Es gibt für den Fall, dass beide Lämpchen gleich hell leuchten nur zwei Möglichkeiten: Entweder fließen beide Teilströme in die gleiche Richtung oder in die entgegengesetzte Richtung. Bei Wechselströmen kann mit folgendem Experiment die Richtung der Teilströme zueinander festgestellt werden. Über die Leitung wird ein Ferritringkern geschoben, der einige Windungen Draht erhält. Wenn in dieser Wicklung eine Spannung induziert wird, dann fließen die beiden Teilströme zu einem beliebigen Zeitpunkt immer in die gleiche Richtung. Wenn keine Spannung induziert wird, so haben die Teilströme zu jedem Zeitpunkt eine entgegengesetzte Richtung, und genau das ist auch das Ergebnis des Experimentes bei einer nicht strahlenden Leitung.

Wenn auf einer Leitung Teilströme gleichen Betrages, aber entgegengesetzter Richtung auftreten, so nennt man diese einen Gegentaktstrom.

Was passiert, wenn zusätzlich zu diesem Gegentaktstrom in beide Leiter Teilströme gleicher Frequenz, gleichen Betrages und gleicher Richtung eingepreßt würden? Dann würde sich die Helligkeit der Lämpchen unterscheiden und in der Wicklung des Ferritringkerns eine messbare Spannung induziert. Unterschiedliche Beträge der Teilströme auf den beiden Leitern verstärken den Effekt.

Wenn auf einer Leitung Teilströme gleicher Richtung auftreten, so nennt man diese einen Gleichtaktstrom (Mantelwellen). Sie sind die Ursache für das Auftreten einer Abstrahlung.

## Aufgaben eines Baluns

Gegentaktströme sind für den gewünschten Energietransport in der Leitung verantwortlich, also erwünscht. Gleichtakt-

Seite der Medaille. Denn wie schon gesagt, selbst das übelste Stehwellenverhältnis führt nicht zur Abstrahlung von der Leitung.

Die andere Seite der Medaille ist die Prüfung, ob der Balun einen Gleichtaktstromfluss verhindert. Auch diese Prüfung ist bei den gewünschten Frequenzen vorzunehmen.

Ob ein Balun gut oder schlecht ist, muss man somit an den beiden Eigenschaften festmachen. Vorschriften gibt es dazu keine. Es kommt auch sehr auf den Zweck des Einsatzes an. Meine eigenen Vorgaben sind einfach, im gesamten Frequenzbereich soll die Eingangsreflexion besser als 25 dB und zwischen zwei 50-Ω-Ports die Einfügedämpfung gegenüber Gleichtaktströmen ebenfalls besser als 25 dB sein.

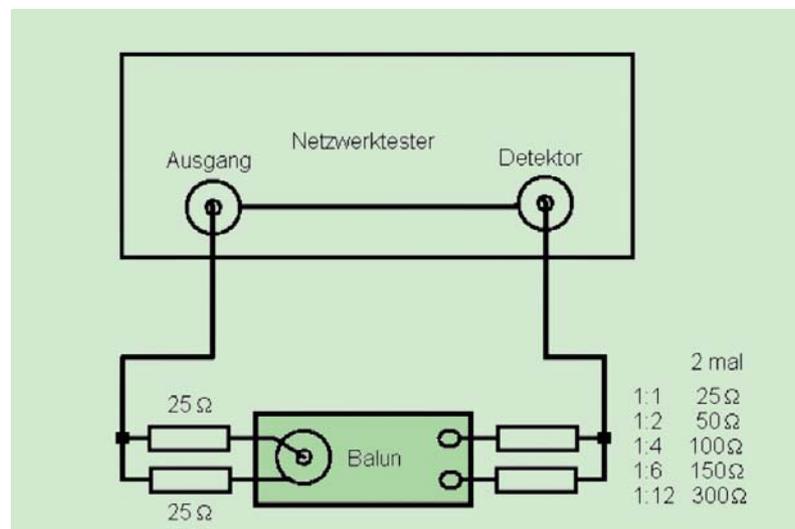


Bild 1: Trennwirkung messen

ströme führen zu einer Abstrahlung von der Leitung, sind also unerwünscht. Wir brauchen ein **Bauteil, das Gegentaktströme ungehindert fließen lassen und Gleichtaktströme wirksam unterbinden kann**. Dieses Bauteil ist der Balun. Man erkennt ihn am Dualismus, für Gegentaktströme und Gleichtaktströme auf einer Leitung unterschiedlich reagieren zu können. Ein Bauteil, das diesen Dualismus nicht aufweist, ist kein Balun. Nicht überall, wo Balun draufsteht, ist auch ein Balun drin. Der inflationäre Gebrauch des Begriffs sollte beendet werden. Es hat keinen Sinn, einen Balun nur daran messen zu wollen, wie gut er eine der beiden Aufgaben erfüllt. In der Literatur wird zumeist die Prüfung bezüglich der Gegentaktströme in den Vordergrund gestellt. Diese Prüfung, ob der Balun bei den gewünschten Frequenzen mit der korrekt gewählten Last ein brauchbares Stehwellenverhältnis liefert, ist immer nur die eine

Das entspräche einem SWR von 1,12 bezüglich der Fähigkeit, Gegentaktströme ungehindert fließen zu lassen und einem „Widerstand gegen die Gleichtaktströme“ von 1,7 kΩ.

Die Fähigkeit eines Balun zur Unterdrückung von Gleichtaktströmen ist frequenzabhängig. Wenn der Balun seinem Wortsinn nach den rückwirkungs-freien Übergang zwischen einem symmetrischen (balanced) zu einem unsymmetrischen (unbalanced) System herstellen soll, so bewirkt die nachlassende Wirkung gegen Gleichtaktströme, dass das symmetrische System aus der Symmetrie gerät, es wird einseitig zunehmend „geerdet“. Durch Einfügen eines weiteren Strompfades an der anderen Seite vom symmetrischen System zum unsymmetrischen System erfolgt eine Kompensation, wenn der Strompfad die gleiche frequenzabhängige Fähigkeit zur Unterdrückung von Gleichtaktströmen wie der Balun auf-

weist. Wenn der Gleichtaktstrom durch den Balun gleich groß ist wie der Gleichtaktstrom durch den „dritten Draht“, so bleibt die Symmetrie des symmetrischen Systems erhalten. Eine fehlerhafte Ausführung des „dritten Drahtes“ führt zu einer negativen Beeinflussung des Gegentaktstromflusses. Wenn die Teilströme durch Balun und den „dritten Draht“ jeweils ein eigenständiges Magnetfeld ausbilden können, ist dies nicht zu befürchten.

Eine Anwendung dieses Prinzips sind Messbrücken, wo aus der Brückenmitte (symmetrisch) auf den Detektor (unsymmetrisch) ausgekoppelt werden soll. Bei anderen Anwendungen des Übergangs symmetrisch/unsymmetrisch, wie bei Antennen/Koaxialkabel, Trx/Zweidrahtleitung und Treiber/Gegentaktendstufen, Gegentaktendstufe/Tiefpassfilter halte ich den Einsatz eines Baluns mit dem zusätzlichen, kompensierenden „dritten Draht“ als übertrieben, wenn der Balun im interessierenden Frequenzbereich zwischen zwei 50- $\Omega$ -Ports eine Einfügedämpfung gegenüber Gleichtaktströmen besser als 25 dB hat.

## SWR-Test

Baut man einen Balun 1:1 oder mit einem anderen Übersetzungsverhältnis, so muss man sich darüber klar sein, dass damit das Übersetzungsverhältnis der Impedanzen am Eingang und am Ausgang des Balun gemeint ist. Gleichzeitig ist aber auch die Angabe der Impedanzen wichtig. Zum Beispiel wird ein Balun 1:4, der für eine Impedanztransformation 50  $\Omega$  auf 200  $\Omega$  entworfen ist, nur bei diesen Impedanzen von Quelle und Last über einen großen Frequenzbereich ein gutes SWR zeigen. Für die SWR-Messung kann ein Antennen-Analyzer oder was man gerade zur Hand hat, ein Netzwerktester, Mess-

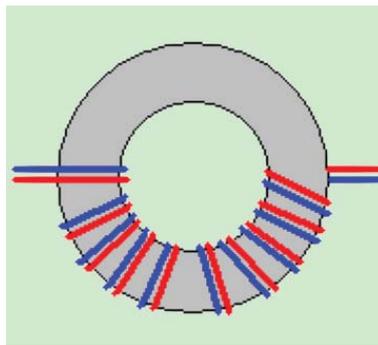


Bild 2: Balun nach Gerth

sender mit Richtkoppler usw. verwendet werden. Schließt man an den Ausgang des 1:4-Baluns einen 200- $\Omega$ -Widerstand an, so kann das SWR über die Frequenz dargestellt werden. Wenn z.B. von 1,8 MHz bis 50 MHz ein brauchbares SWR angezeigt wird, ist der Balun für den Energietransport in diesem Bereich für eine Quelle von 50  $\Omega$  und eine Last von 200  $\Omega$  oder umgekehrt einsetzbar. Schlechte Werte des SWR können vielfältige Ursachen haben. Meist ist es die Impedanz der Leitung, die nicht exakt getroffen wird [1]. Dies zeigt sich in einer Verschlechterung des SWR zu höheren Frequenzen. Eine ähnliche Wirkung hat die Verwendung von Leitungen mit schlechten HF-Eigenschaften (hohe Dämpfungszunahme bei steigender Frequenz). Da aber nur kurze Leitungsstücke verwendet werden, ist dies eher von untergeordneter Bedeutung. Wenn das SWR bei tieferen Frequenzen schlecht wird, liegt es meist an der Bewicklung und dem Kern. Die in [1] vorgeschlagene Bewicklung des 1:4-Baluns führt dazu, dass wegen fehlender Induktivität zwischen den Klemmen des Eingangs und des Ausgangs der Übertragungsweg bei tieferen Frequenzen zunehmend kurzgeschlossen wird. Da hilft dann nur noch, die beiden Teilwickel auf zwei Kerne zu verteilen. Wenn trotz Verwendung zweier Kerne bei der gewünschten tieferen Frequenz das SWR noch zu schlecht ist, liegt es oft an einer zu geringen Windungszahl und an einem Kern mit zu geringer Permeabilität. Mehr Windungen bedeutet aber auch, dass sich nun Abweichungen von der korrekten Leitungsimpedanz bei den höheren Frequenzen stärker auswirken. Durch sorgfältiges Abwägen bei Windungszahl, Wahl des richtigen Kernmaterials und Impedanz der verwendeten Leitungen ist es jedoch möglich, Baluns mit einem SWR von 1,12 im gesamten Bereich von

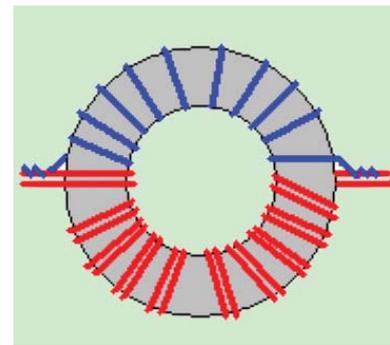


Bild 3: Balun nach Ruthroff

1,8 MHz bis 50 MHz zu bauen. Ob er aber auch die gewünschte Trennwirkung gegenüber Gleichtaktströmen hat, zeigt der nächste Test.

## Trenntest

Für diesen Test wird der Balun beidseitig mit Widerständen abgeschlossen und die Einspeisung erfolgt so, dass der Balun diesmal nur von Gleichtaktströmen durchflossen wird. Diese Ströme soll der Balun nicht durchlassen, d.h. hier wird getestet, ob der Balun den Stromkreis für Gleichtaktströme auftrennt, unterbricht. Da ein Gleichtaktstromfluss unterbunden wird und nur noch Gegentaktströme fließen können, spricht man davon, „der Balun erzwingt Gegentaktströme“. Manchmal wird auch „der Balun erzwingt symmetrische Ströme“ gesagt, was aber eher zur weiteren Verwirrung zu diesem Thema führt. Denn unter symmetrischen Strömen könnte man sich betrags- und richtungsgleiche Ströme vorstellen, die Symmetrieachse liegt ja in der Mitte beider Leiter, aber das sind eben keine Gegentaktströme. Deshalb spreche ich nicht mehr von „symmetrischen Strömen“, sondern bezeichne sie nur noch als Gegentaktströme.

Für den Trenntest des Balun, eingefügt zwischen zwei 50- $\Omega$ -Ports, eignet sich sehr gut der Netzwerktester von Bernd, DK3WX [3], oder die auf seiner Idee aufbauenden anderen Netzwerktester. Beim Trenntest werden am Eingang des Balun zwei Widerstände angeschlossen, deren Summe der Eingangsimpedanz des Balun entspricht. An die beiden anderen Anschlüsse des Balun kommen ebenfalls zwei Widerstände, deren Summe der Ausgangsimpedanz des Balun entspricht. Dies bildet sehr grob den Einsatz des Balun in der Praxis nach, denn der Balun „sieht“ primär die Impedanz der Quelle und sekundär die Impedanz der Last. Bei der Auswertung dieses einfachen Tests ist dann der

## Literatur und Bezugsquellen

- [1] Wolfgang Wippermann, DGØSA: „Warum funktionieren manche Baluns nicht so richtig?“, CQ DL 5/02, S. 341
- [2] Dr. Karsten Eppert, DK4AS: „Balun wickeln mit Überraschungen“, CQ DL 10/07, S. 720
- [3] Bernd Kernbaum, DK3WX: „Neues vom Netzwerktester“, FUNKAMATEUR, 11/02, S. 1336
- [4] Patent Nr. DE 592184, patentiert im Deutschen Reich vom 1. Juni 1932 ab
- [5] Ruthroff CL, „Some Broad-Band Transformers“, Proc IRE, Vol 47, August 1959, S. 1337–1342
- [6] Joe Reisert, W1JR: „Simple and Efficient Broadband Balun“, Ham Radio, September 1978, S. 12–15
- [7] Richard H. Turrin, W2IMU, „Broad-Band Balun Transformers“, QST, August 1964, S. 33–35

Einfluss der Widerstände zu berücksichtigen, also herauszurechnen. Die tatsächliche Trennwirkung ist also geringer, als angezeigt. Man erkennt aber deutlich die Tendenz und darum geht es hier. Im Grunde sind nur zwei Zustände feststellbar: gute Trennwirkung durch richtiges Wickelprinzip, schlechte Trennwirkung durch falsches Wickelprinzip. Ist das Wickelprinzip falsch, nützen der beste Kern und der schönste Draht nichts. Es ist dann auch egal, ob man die Windungszahl verändert, es wird kein Balun aus diesem Konstrukt. Durch die Anordnung des Baluns zwischen Ausgang und Eingang des Netzwerktesters wird ein Gleichtaktstrom über den Balun geschickt. Zu beachten ist, dass Ausgang und Eingang des Netzwerktesters eine gemeinsame Masse haben, die den Stromkreis schließt (**Bild 1**).

Die Wirkung der Widerstände, die von der ermittelten Einfügedämpfung abzuziehen ist, ist in der **Tabelle** zu sehen. Beispiel: Einfügedämpfung eines Baluns 1:12 ergibt sich durch die Prüfung mit dem Netzwerktester mit 10 dB. Abzüglich 8,4 dB verbleibt fast nichts mehr; keine Sperrwirkung gegen Gleichtaktströme bedeutet jedoch, dies ist kein Balun.

Neben Ringkernen können auch Stabkerne oder andere Formen verwendet werden, es ist immer die Art der Bewicklung die entscheidet, ob das Konstrukt ein Balun ist oder nicht. Kernform, Kernmaterial und Anzahl der Windungen, deren spezielle Lage auf dem Kern, z.B. über den Umfang verteilt oder nicht, beeinflussen eher die Qualität des Baluns.

Mit dem SWR-Test und dem Trenntest werden bekannte Baluns untersucht. Nur wer beide Tests besteht, trägt den Namen Balun zu Recht.

## Balun nach Gerth [4]

**Bild 2** zeigt das Schema. Zehn Windungen einer Zweidrahtleitung werden zu einer Spule aufgewickelt. In Weiterentwicklung der Idee von Gerth erfolgt der Wickel auf einen Toroid aus Ferrit.

### SWR-Test:

Ein gutes Ergebnis wird erreicht, wenn die Impedanz der Leitung gleich groß wie die der Abschlusswiderstände gestaltet wird. Bei Verwendung von Kupferlackdraht wird die Impedanz durch den Abstand zwischen den Leitern eingestellt, in der Praxis durch den Verdrillungsfaktor. Teflonband aus der Sa-

nitärinstallation dünn um einen der beiden 1 mm CuL Leiter gewickelt, dann beide miteinander verdrillen, ergibt etwa 50  $\Omega$  Impedanz.

### Trenntest:

Fällt positiv aus, denn die Gleichtaktströme, die sich auf beide Leiter aufteilen, bauen ein magnetisches Feld gleicher Richtung im Kern auf. Die Induktivität des Wickels ist hoch, die Sperrwirkung ebenfalls.

Verwendung von Koaxialleitung mit 50  $\Omega$  Impedanz anstelle der verdrillten, auf 50  $\Omega$  getrimmten Zweidrahtleitung führt zu identischen Ergebnissen.

## Balun nach Ruthroff [5]

**Bild 3** zeigt das Schema. Zusätzlich zu den zehn Windungen der Zweidrahtleitung (Balun nach Gerth) wird eine so genannte „Magnetisierungswicklung“ aufgebracht. Kernmaterial ist Ferrit.

### SWR-Test:

Der zusätzliche Draht verschlechtert das SWR bei tiefen Frequenzen und bildet damit eine untere Frequenzgrenze, während dies beim Balun nach Dr. Felix Gerth nicht der Fall ist.

### Trenntest:

Fällt negativ aus, denn die Gleichtaktströme, die sich auf beide Leiter aufteilen, bauen ein magnetisches Feld in entgegengesetzter Richtung im Kern auf. Die Induktivität des Wickels ist dadurch sehr niedrig und die Sperrwirkung ebenfalls.

### Kein Balun!

Dreht man die Richtung des „dritten Drahtes“ um, so erhält man einen Balun, aber das Problem liegt jetzt im Bereich des SWR. Bei tieferen Frequenzen wird der Übertragungsweg zunehmend durch die sehr geringe Induktivität (zwischen den Eingangsklemmen messbar!) kurzgeschlossen. Meist ist schon unter 7 MHz mit Problemen zu rechnen.

## Balun nach Reisert [6]

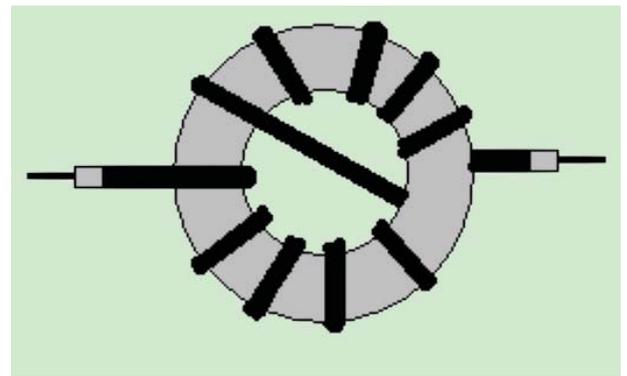
**Bild 4** zeigt das Schema. Zehn Windungen Koaxialkabel werden auf den Kern (Ferrit) aufgebracht. Der Wickelsinn ist magnetisch gleichsinnig, trotz scheinbaren Richtungswechsels.

### SWR-Test:

Die Verwendung von Koaxialkabel mit gleicher Impedanz wie die Abschlusswiderstände lässt das SWR über weite Frequenzbereiche sehr gut ausfallen.

### Trenntest:

Positiv, denn die Gleichtaktströme, die sich auf Innenleiter und Koaxialkabelmantel (innere und äußere Oberfläche



der Schirmung) aufteilen, bauen ein magnetisches Feld gleicher Richtung im Kern auf. Die Induktivität des Wickels ist hoch, die Sperrwirkung ebenfalls.

## Balun nach Turrin [7]

**Bild 5** zeigt das Schema. Zwischen die zehn Windungen der Zweidrahtleitung (schwarz und rot) wird ein dritter Draht (blau) gelegt, der mit dem Anfang des roten Drahtes und Ende des schwarzen Drahtes verbunden wird. Kernmaterial ist Ferrit.

### SWR-Test:

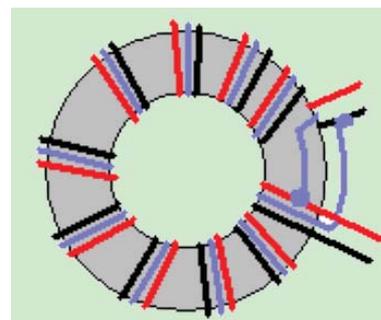
Die nebeneinander liegende Zweidrahtleitung wird durch den zusätzlichen Draht niederohmiger und liegt daher dem Optimum 50  $\Omega$  etwas näher. Bei tiefen Frequenzen wird das SWR schlechter.

### Trenntest:

Fällt negativ aus, denn die Gleichtaktströme, die sich auf die drei Drähte aufteilen, bauen ein magnetisches Feld in entgegengesetzter Richtung im Kern auf. Der blaue Draht ist magnetisch zum roten und schwarzen Draht entgegengesetzt um den Kern gewickelt, mit „rechte Hand Regel“ prüfen. Die Induktivität des Wickels ist niedrig, die Sperrwirkung ebenfalls.

(wird fortgesetzt)

CQDL



### Tabelle

1:1	1:2	1:4	1:6	1:12
2,0 dB	2,8 dB	4,2 dB	5,4 dB	8,4 dB

**Bild 4:**  
Balun nach Reisert

**Bild 5:**  
Balun nach Turrin

**Tabelle:**  
Wirkung der  
Widerstände