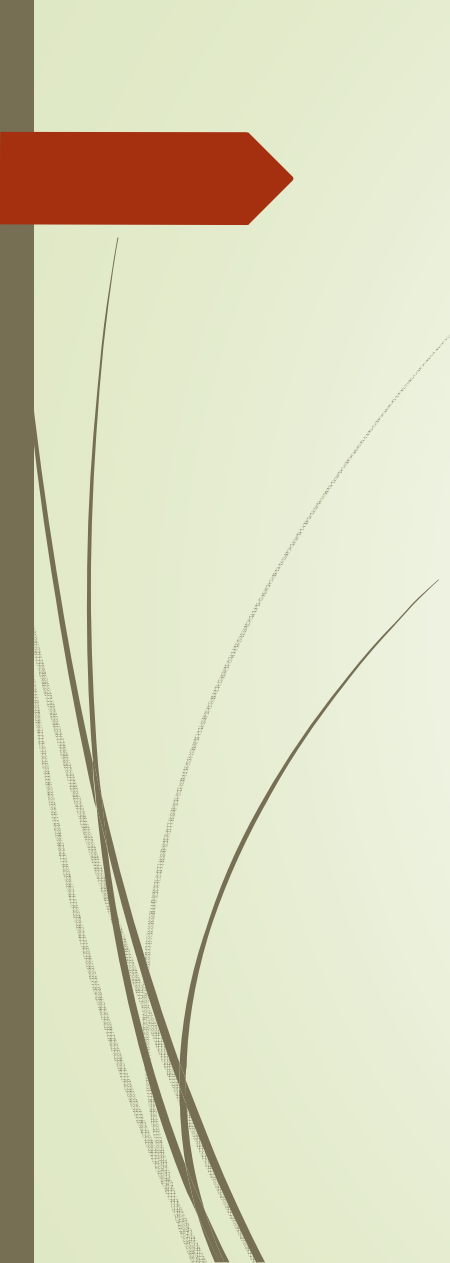




Ferrite und ihr Einsatz aus AFU-Sicht

zweite, komplett überarbeitete Ausgabe

Was man schon immer über Spulen und Drosseln mit Ferritkernen wissen wollte

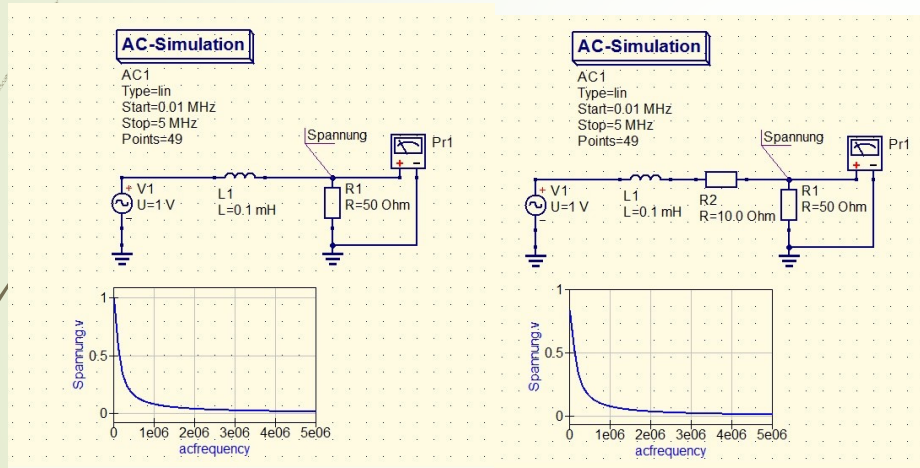


Die Drossel, Induktivität ist ein recht komplexes Bauteil voller Effekte

- Die ideale Drossel, hat eine stabile Induktivität, ist ohne ohmschen Verlust, und gut strombelastbar (DC) die gibt es praktisch nicht!
- Etwas realer hat sie neben der Induktivität L auch in Reihenschaltung die ohmschen Verlustwiderstände aus Drahtwiderstand & Kernverlusten
- Noch realer hat sie eine vom Strom abhängige Induktivität L , Gleichströme können den Kern in die magnetische Sättigung bringen, das L schwindet
- Die Wirklichkeit wie oben + Windungskapazitäten, aufbauabhängige parasitäre Kapazitäten (auch von der Wickeltechnik abhängig) führen zu **Eigenresonanzen**. Das limitiert die Einsatzmöglichkeiten !

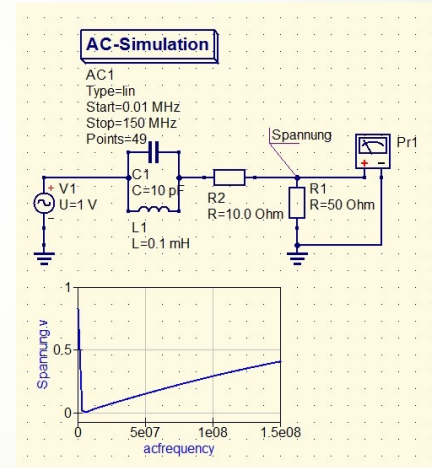
Von der idealen Drosselspule zur realen Drosselspule

Nicht dargestellt die Einflüsse der Kernsättigung (L-Variation stromabhängig)

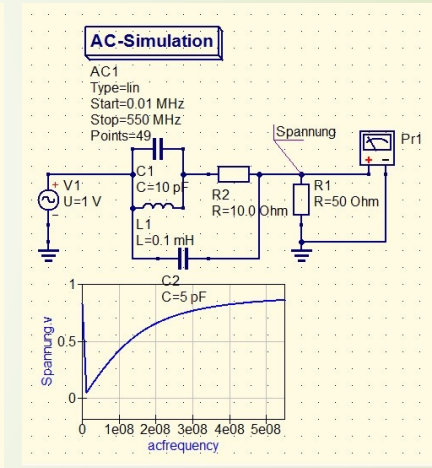


ideal

Mit R(Verlust)



Mit Rv und Cwdg.



Die Realität

Computersimulation mit QUCS / gibt's kostenlos im download !



Wichtig zu wissen und beim Design zu berücksichtigen:

- Den spezifizierten max.Strom nicht zu 100% nutzen
- Nur deutlich unterhalb der Eigenresonanzfrequenz ist die Drossel auch eine Induktivität,
- darüber ist sie ein „gleichstromdurchlässiger Kondensator“ und erfüllt wohl kaum den angedachten Zweck
- Wir sprechen hier nicht über Speicherdrosseln für Schaltnetzteile !
- Die meisten günstig angebotenen Ringkerne sind leider für AFU eher ungeeignet, sie sind Speicherdrosselkerne für Schaltnetzteile der ersten Generationen mit Taktfrequenzen weit unter 1MHz

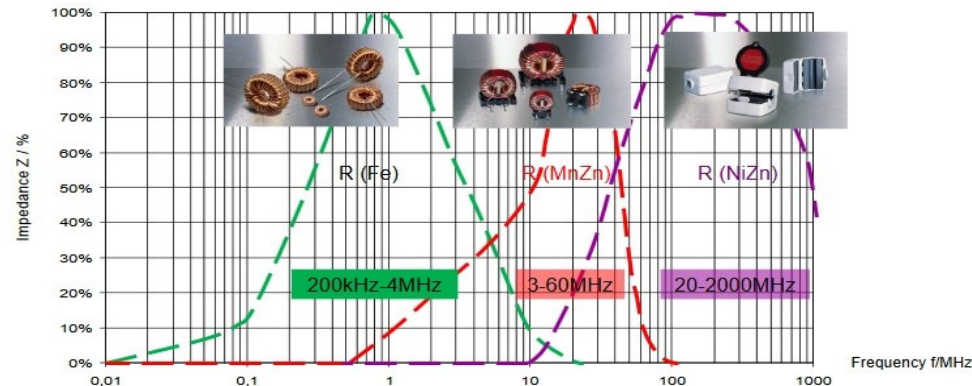
Kernmaterialien für HF-Drosseln & Induktivitäten

- Klassisches Ferritmaterial / gepresstes Eisenpulver für den unteren Frequenzbereich bis gut 1MHz, nur bedingt über 5 MHz einsetzbar
- Mangan-Zink-Kerne für den mittleren Frequenzbereich etwa 3 – <50 MHz
- Nickel-Zink-Kerne für Einsätze ab etwa 10 – >100 MHz

Kernmaterialien - Drosseln (Filtern)



Rauschfrequenzbereich muss bekannt sein



1. Auf das Kernmaterial kommt es an

- Vom Hersteller abhängige Materialcodes geben nur gewissen Aufschluss über den möglichen Einsatzfrequenzbereich. **Ausprobieren!**
- Kaum einheitlichen, herstellerübergreifenden Codes am Markt, amidon & Fair-Rite ähneln sich
- Der AL-Wert ist ein Anhaltspunkt für die erzielbare Induktivität **$L = W^2 * AL (nH)$**
- Hersteller (Beispiele): amidon / Fair-Rite / TDK / und aus China...(Würth-Elektronik)

Mehr erfahren im Link: <https://dk3ss.darc.de/Ringkern-Inspektor.html>

Part Number
5943017501

Kernform		
Material-Code		
Typ-Sachnummer		
59	43	000815

2. Material Codes die wir in vielen AFU-Anwendungen nutzen können (aus Fair-Rite Unterlagen)

 Fair-Rite Products Corp. Your Signal Solution® Check Stock Support Center eBiz Log In Contact Us																
Products Applications Capabilities Technical Resources Requests About Us			Search Fair-Rite													
Property	Unit	Symbol	68	67	61	52	51	43	79	77	97	78	98	95	75	76
Resistivity	ohm-cm	p	10 ⁻⁷	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻⁵	200	100	200	200	200	200	300	50
Application Area	Low flux density devices															
Recommended Frequency Range	MHz		<500	<150	<40	<20	<20	<10	<3	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<0.2	<0.1

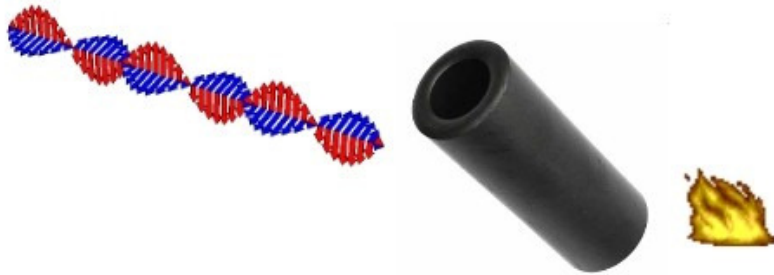
Property	Unit	Symbol	68	67	61	52	51	43	79	77	97	78	98	95	75	76
Material Type			NiZn	NiZn	NiZn	NiZn	NiZn	NiZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn	MnZn
Initial Permeability @ B <10 gauss		μ	16	40	125	250	350	800	1400	2000	2000	2300	2400	3000	5000	10000
Flux Density @ Field Strength	gauss	B	2700	2300	2500	4200	3500	3500	4600	5100	5000	4800	5000	5000	4800	4000
	mT		270	230	250	420	350	350	460	510	500	480	500	500	480	400
	oersted	H	40	20	15	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5
	A/m		3200	1600	1200	800	800	800	400	400	400	400	400	400	400	400
Residual Flux Density	gauss	Br	1000	1000	1000	2900	2300	2200	1500	1800	1500	1500	2000	1200	1000	1800

Kernverluste



Elektromagnetische Energie kann nicht verschwinden, sie wird nur in andere Energieformen umgewandelt.
→ Energieerhaltungsgesetz

z.B. elektrische Energie, die in thermische Energie umgewandelt wird.



Die Kernverluste aus Ferriten wandeln die Rauschenergie in Wärme um.

3. Aufbauvarianten und Kernformen

- **Rohrkern** Sie müssen bereits beim Aufbau über die Leiter bzw. Kabel gezogen werden, die nachträglichen Einbauten sind nur durch Zerlegen und Eingriffe ins Gerät möglich
- **Ringkerne** Vorteil der geschlossene magnetische Kreis, geringe Streuverluste, höhere Induktivität, Nachteil schwieriger zu bewickeln, Kern eher in Sättigung, nur bedingt nachträglich einbaubar
- **Klappferrite** erfreuen sich hoher Beliebtheit, sind jederzeit nachträglich über die fraglichen Leiter zu montieren (Schnappverschluss fest schließen !)
- **Doppellochkerne**





Einkaufstip Klappferrit bei Pollin

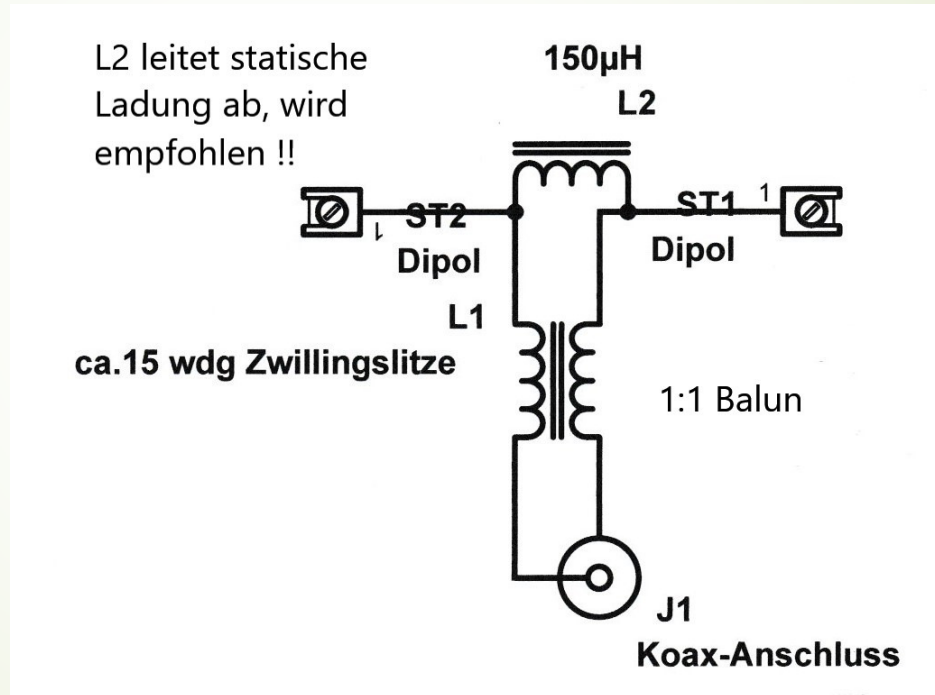
KG-1 Best.-Nr.250001

- Für Kabeldurchmesser bis maximal 7mm geeignet, sehr preiswert & gut
- Passt perfekt auf RG58/U Koaxkabel und Netzwerk-(LAN) Kabel
- Gemessen habe ich bereits auf 1,85MHz einen HF-Widerstand von 25 Ohm
- Im 80m-Band sind es 50 Ohm, siehe auch Tabelle auf der Homepage
- Nachlesen auf <https://dk3ss.darc.de/Klappferrit.html>

Stromkompensierte Drossel

- Der Betriebsstrom fließt hin und zurück über getrennte Wicklungen auf dem selben Kern, dadurch heben sich die entstehenden Magnetfelder auf und es gibt im Normalbetrieb keine Kernsättigung
- Die **isolierende Impedanz** durch die Induktivität entkoppelt Quelle und Last, das ideale Bauelement für die EMV-Anwendungen, **sowie als sogenannter Strombalun zur Symmetrierung der Koaxkabelanschaltung 1:1 an einen Dipol, Besonders bei QRO !**
- Während dieser Drosselform im Nutzstromkreis nahezu verlustfrei ist. Entfaltet **die isolierende Impedanz** durch Entkopplung einen Symmetrieeffekt und durch Absorption von unerwünschter Energie ihren Nutzeffekt

Ein Strombalun, preiswert, einfach gebaut, breitbandig und für QRO



Gleichtaktfilter - So funktioniert es



Es ist ein bidirektionaler Filter

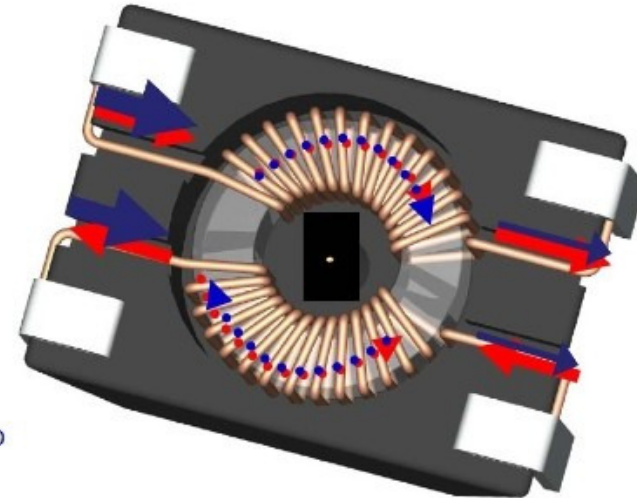
- Vom Gerät zur Außenumgebung
- Von der Außenumgebung zum Innengerät

Vorgesehenes Signal - Differenzmodus

Störsignal (Rauschen) - Gleichtaktbetrieb

Fazit:

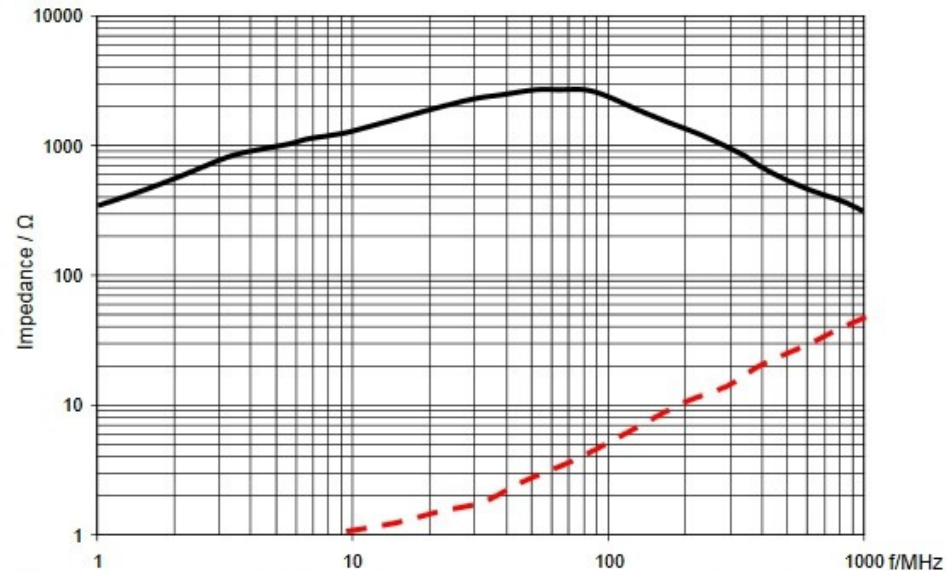
- "Fast" keine Beeinflussung des Signals - Differenzmodus
- Hohe Dämpfung des Störsignals (Rauschen) - Gleichtaktbetrieb



Gleichtaktfilter - Signaltheorien

- Der **differentielle Modus** - Impedanz dämpft auch das **Signal**.

Wann wird das Signal
gedämpft?



- Die Common Mode Impedanz dämpft nur das Rauschen.

2019 V 1.0 | Konzept: Filipek | Prüfung: Conradsenke | Wien: 2019

Gleichtaktdrossel - Aufbau

bifilar



$$L_S \sim 0,01 \dots 0,1 \% * L_R$$

< ? Vorteil ? >

sectional



$$L_S \sim 0,5 \dots 2 \% * L_R$$

2019 V.1.0 | Lorandt Folien | Publio / Confidential | Webinar 2019

Geringere
Spannungsfestigkeit

Höhere
Spannungsfestigkeit

Vortrag im DARC OV-Ludwigsburg P06

@2023 DK3SS Arno

Gleichtaktdrossel - Aufbau



bifilar



- Geringere differentielle Impedanz
- Hochkapazitive Kopplung
- Geringere Streuinduktivität
- Datenleitungen
- Sensorleitung
- USB
- HDMI
- CAN-Bus



WE-CNSW



WE-SLM

- Niedrige kapazitive Kopplung
- Hohe Streuinduktivität



sectional

- Stromversorgung Ein-/Ausgangsfilter
→ CMC für Hauptstromleitungen (AC-Leitung)
- Hochspannungsanwendung (bis 400V)
- Entkopplung der Schaltnetzteile

100Watt an 50Ohm ergibt ca.70V



WE-LF series

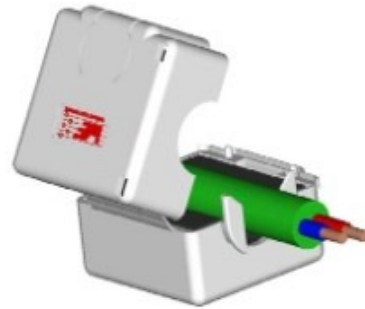


WE-CMB series



Klappferrit - Aufbau

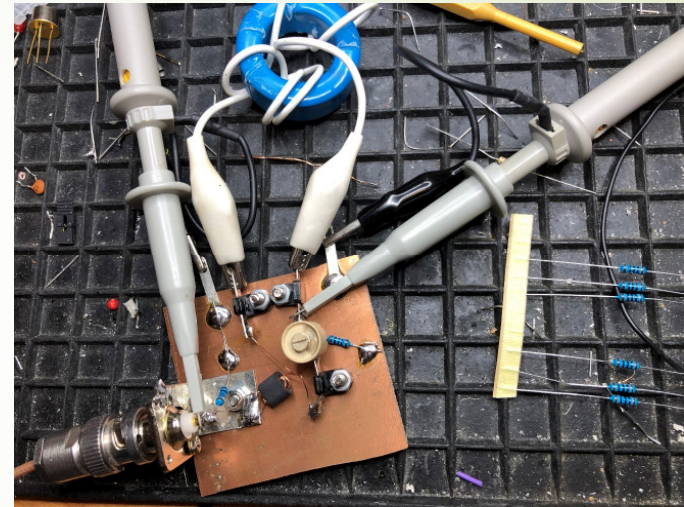
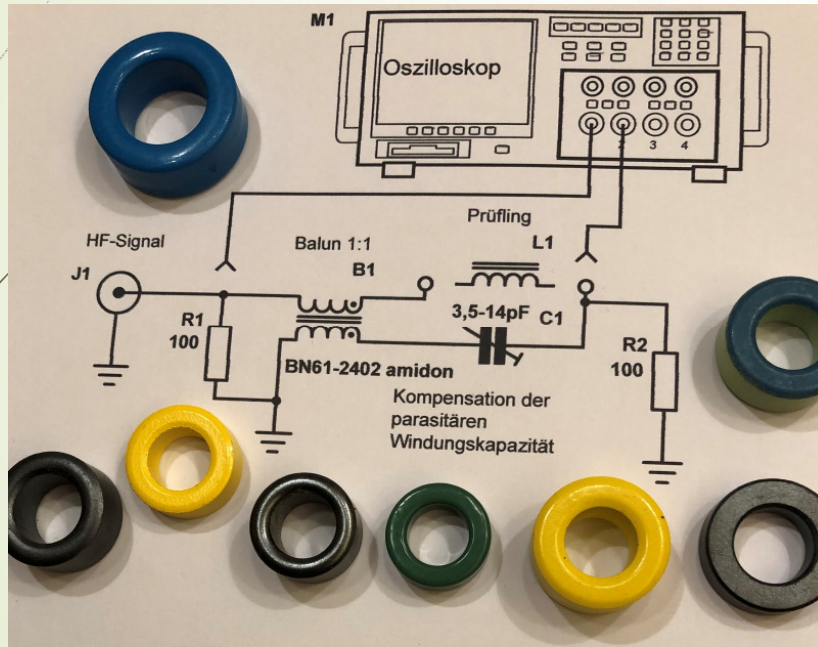
- Klappferrit wirkt wie eine Gleichtaktdrossel
- Absorbiert Gleichtaktstörungen
- Vergleichbar mit der Bifilarwicklung von Gleichtaktdrosseln



Mehr erfahren im Link:
<https://dk3ss.darc.de/Klappferrit.html>

Wie finde ich heraus ob der Kern für die Frequenz geeignet ist ?

Die meisten angebotenen Kerne sind leider ungeeignet !

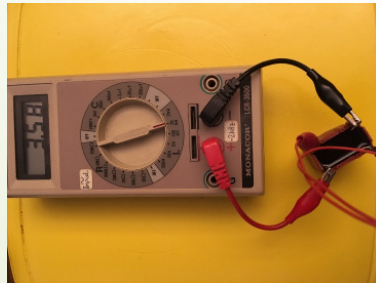


Mehr erfahren auf:

<https://dk3ss.darc.de/Ringkern-Inspektor.html>

Spezialeinsatz für eine stromkompensierte Drossel

- Bau eines DC-Blocs für Kurzwellen ab dem 160m-Band stellt besondere Anforderungen, besonders wenn Gleichströme $\geq 1,25$ Amp. über das Koaxialkabel zur Antenne transportiert werden sollen
- Der Kern darf nicht sättigen damit die große benötigte Induktivität erhalten bleibt um 1,8MHz wirksam zu blocken
- Die Variante Luftspule wäre sehr sehr groß und teuer
- Beim Versender Pollin habe ich ein Exemplar gefunden: 2 x 1mH/8Amp.

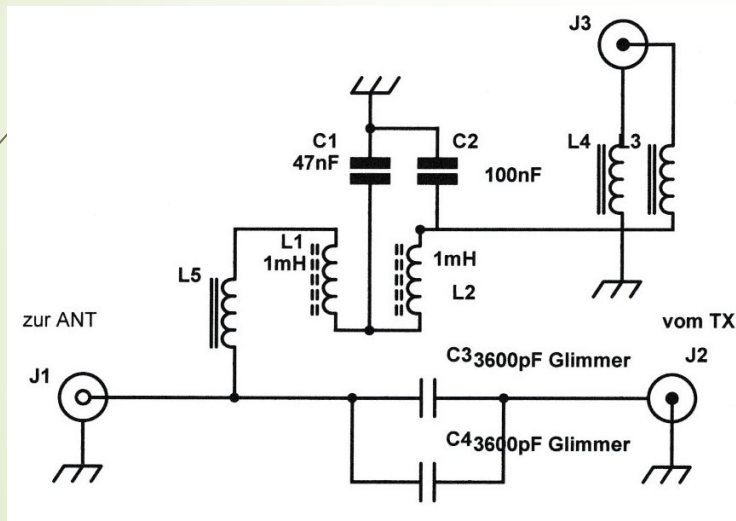


Eine Spule hat ca. 1mH, beide in Reihe phasenrichtig geschaltet erbringen etwa das Vierfache, **aber die Gefahr der Kernsättigung verbietet das oft, besonders bei nennenswerten Strömen**

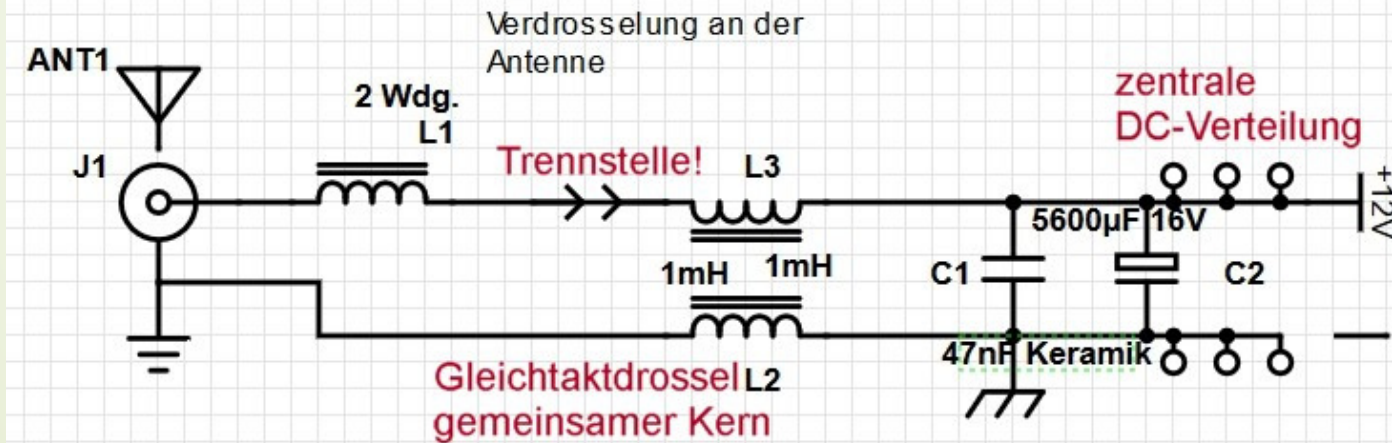
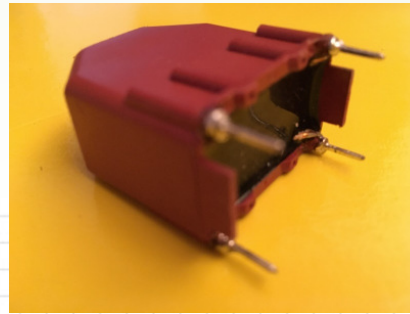
Der Schaltplan dieser Gleichstromeinspeisung (DC-Bloc), wie zum Fernsteuern abstimmbarer Antennen eingesetzt.

Beispiel: magnetische Loop-Antenne

(Siehe auch <https://dk3ss.darc.de/DC-Speisung.html>)

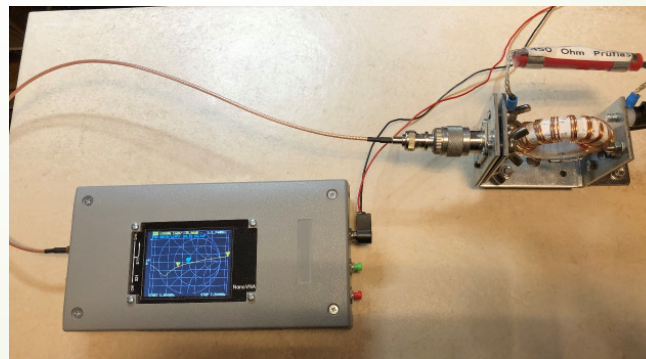


Und so wird der Gleichstrom an der Antenne wieder ausgekoppelt

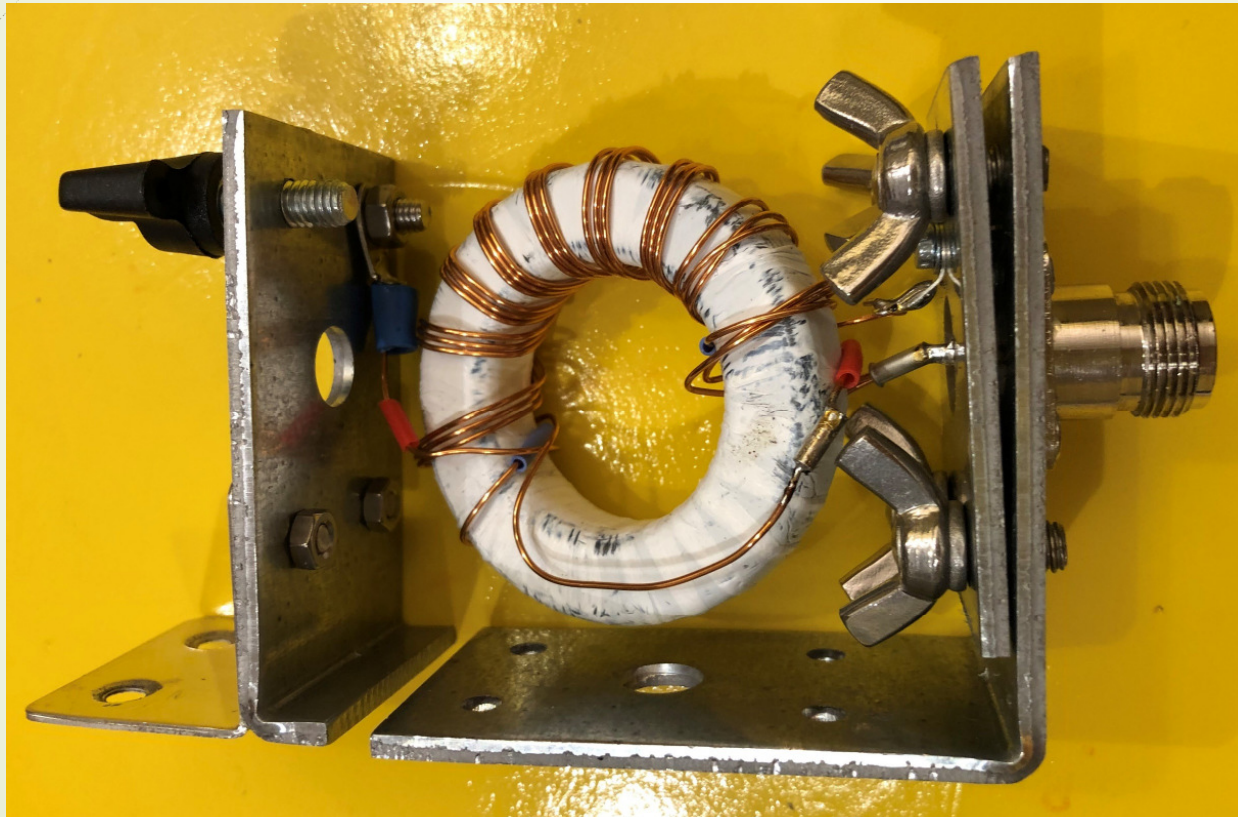


Bau eines Unun 1:9 , auf was kommt es an ?

- Einen ausreichend großen Kern verwenden
- Das Kernmaterial muss zur Betriebsfrequenz passen
- Der Windungsabstand muss groß genug sein um die Eigenresonanzen erst weit oberhalb des Nutzbereichs zu legen
- Das fertige Produkt sollte vermessen werden, z.B mit einem NanoVNA die Anpassung (S11) ←siehe Bild
- Die Messung der Durchgangsdämpfung (S21) ist schwieriger, am einfachsten man baut den Unun 2 mal und kann dann im 50 Ohm-System messen

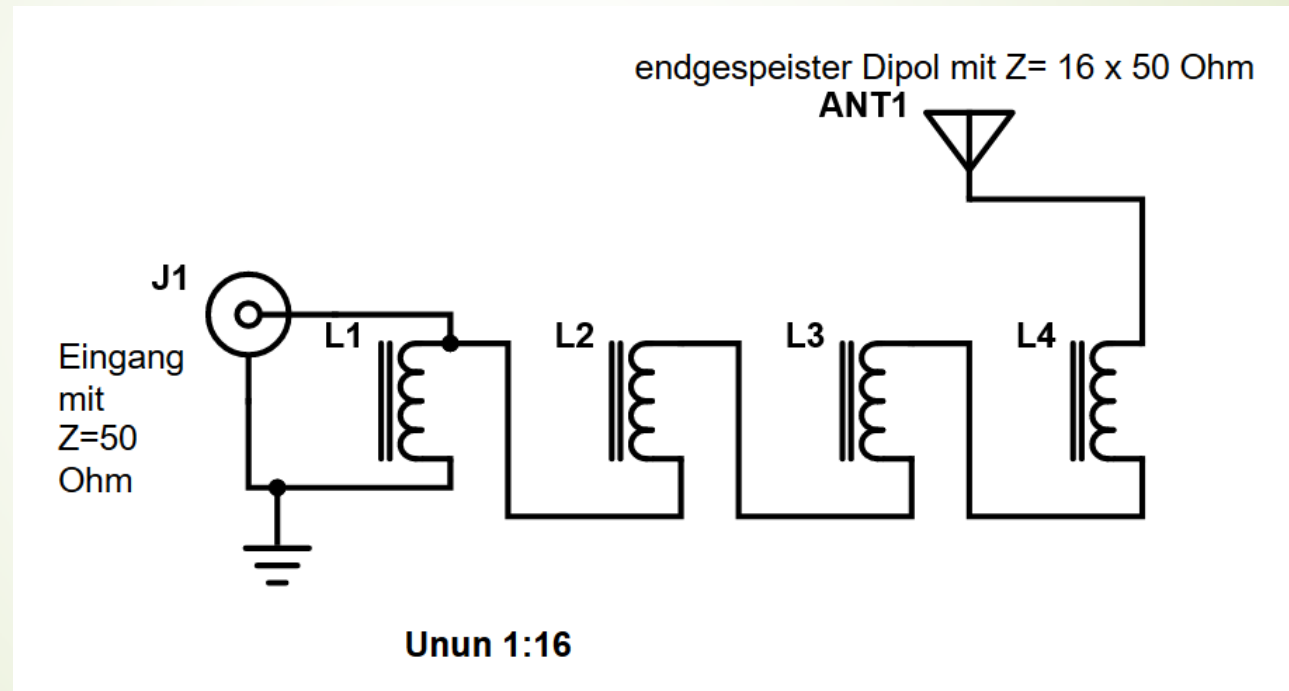


So sieht ein 1:9 Unun aus der Nähe aus



Wird auf eine
Keramikfliese
montiert
Links der Ant.-
Anschluss
Unten eine
Funkenstrecke

Unun 1:16 mit 4er (quadrifilar) Wicklung

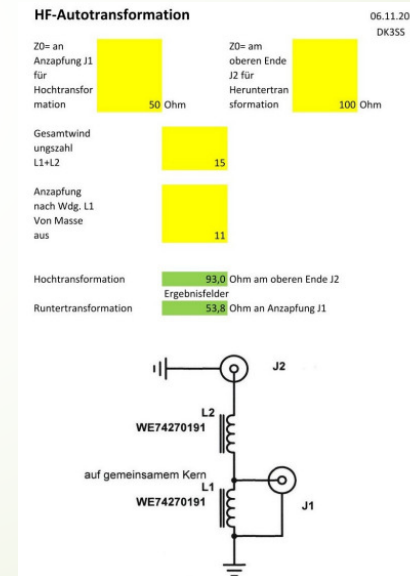
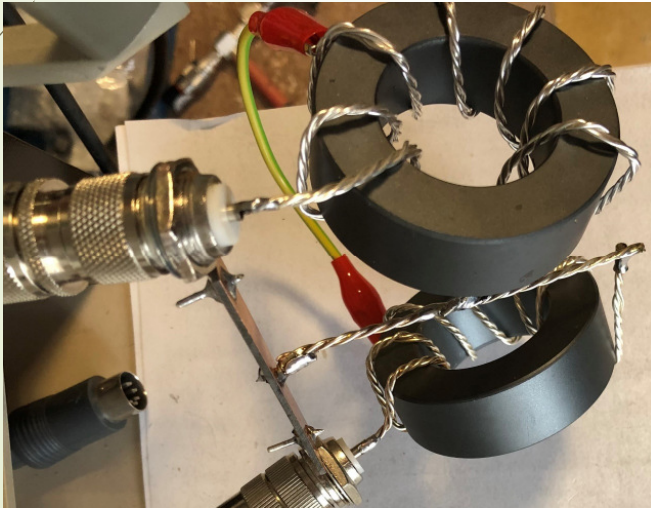


Einige Tipps aus meiner Praxis-Erfahrung

- Wegen der Gefahr von Resonanzen durch parasitäre Kapazitäten rate ich zur Kaskadierung von Ununs aus 1:4, 1:9 und 1:16 - Typen
- Je höher die Transformation, je niedriger der Nutzfrequenzbereich eines einzelnen Ununs
- Ein 1:16 Unun hat weniger Windungen auf dem Kern als ein 1:9
- Es gibt wohl kein Design-Wunder das gleich gut auf 160m und 10m funktioniert
- Kernverluste kann man beim Senden eines Trägers (1 Minute) anhand von Temperaturmessungen mit einem preiswerten IR-Thermometer nachweisen, solange man den Kern noch berühren kann ist alles ok
- Ein überhitzter Kern verliert seine Permeabilität und fällt aus
- Vorsicht ist beim Einsatz von großen Leistungen $>250\text{W}$ geboten

Ist ein „krummer“ Impedanzfaktor gewünscht ?

- Fast beliebige Faktoren >1 und <1 mit einem **HF-Autotrafo** realisieren
- Je niederohmiger, je dicker der Draht, CuL oder versilbert
- Auf das geeignete Kernmaterial und Größe achten !
- Berechnung mit einfachem EXCEL-Tabellenblatt möglich



Messwerte der Ununs mit Flachkabel

KERN WE74270097

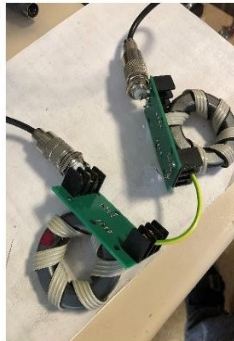
Modell 1:9 30cm Flachkabel

Band	S11 [dB]	S21 [dB]	
160	15	0,20	ok
80	29	0,13	optimal
40	16	0,27	ok
30	11,60	0,4	grenzwertig
20	8,25	0,62	grenzwertig
15	4,8	1,17	unbrauchbar
10	3,1	1,8	unbrauchbar

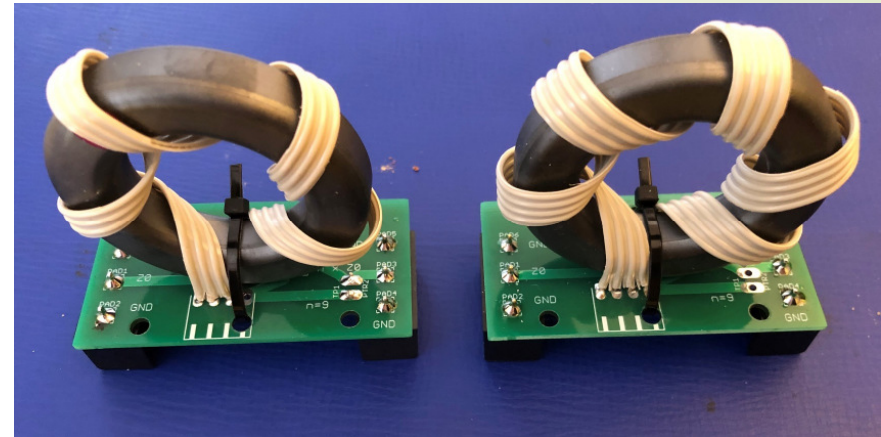
Modell 1:16 34,5cm Flachkabel

160	25	0,1	optimal
80	19	0,12	ok
40	10	0,45	grenzwertig
30			unbrauchbar
20			unbrauchbar
15			unbrauchbar
10			unbrauchbar

DK3SS
12.03.2023



Optimierte Bauweise für Baluns und Ununs mit Flachkabel im 2,54mm-Raster und spezieller Leiterplatte, erlaubt leicht die Design-Optimierungen mit verschiedenen Kernen und Windungszahlen



Measuring toroidal rings

Phil Stevens (philg3ses@gmail.com)

Some years ago, at the Rochdale QRP Convention, I came across two tobacco tins labelled Plain Ferrites. They contained well over 100 ferromagnetic large beads and as the price was one pound for the lot I bought them.

On getting the home I decided to investigate and by suitable measurements determined the beads were not ferrite and had excellent properties for resonant circuits in the 1 to 20 MHz frequency range.

Two properties were determined, the inductance factor Al and the relative permeability μ_r and to achieve these values, two instruments are needed. Some type of instrument is necessary to measure inductance accurately from less than $1\mu H$ to over $100\mu H$. I use a Peak LCR 45, but other devices such as a Q meter or a GDO may be used.

The second instrument is a micrometer or vernier/dial callipers calibrated in mm.



Inductance Factor Al

The following formula is used to calculate the number of turns required for a given inductance. The formula is as follows.

$$Al = L/N^2 \quad \text{or} \quad N = \sqrt{L/Al}$$

Where the units are Al is the inductance factor in **nH/turn**
 L is the inductance in **nH**
 N is the number of turns

A known number of turns were wound on a 'Rochdale Bead', and in my case, I used 10 turns for mathematical convenience and also to get an reasonably measurable inductance. The inductance measured, in this case was $3.4\mu H$ or $3400nH$ which gave a value of:

$$Al = (3400/100)nH/turn - equating to 34 nH/turn.$$

Once the inductance factor for a given core material has been found, the second formula above will give the required number of turns.

For example suppose we wish to use a Rochdale Bead to make a $4\mu H$ or $4000nH$ inductor. Then:

$$N = \sqrt{4000 / 34} = 10.8 \text{ turns}$$

As we cannot wind a part turn then 11 turns would be used

Relative Permeability μ_r

The relative permeability of a ferromagnetic material indicates by what factor the inductance is increased over an identical coil with an air core. It enables one to make a much smaller inductance for a given number of turns. For example, if we wound identical coils on a plastic toroid and a ferromagnetic toroid then the second would have μ_r times the inductance of the first.

We need to measure three physical dimensions of the toroid. These are

Outer Diameter D - metres
 Inner Diameter d - metres
 Thickness T - metres

The measurements are made to one tenth of a millimetre.

The following formula is used.

$$\mu_r = (L * 10^7) / (2 * T * N^2 * \ln(D/d))$$

where μ_r is the permeability and it is dimensionless

L is the inductance in Henries
 T is the thickness in metres
 D is the outer diameter in metres
 d is the inner diameter in metres
 T is the thickness in metres
 N is the number of turns

The symbol 'ln' defines the natural logarithm and can be found on any scientific calculator and computer program. I used GNU Octave (MATLAB) to write a short program to find Al and μ_r . The value of μ_r for the 'Rochdale Beads' was 10.8.

There are two types of magnetic materials used in radio applications, iron-dust and ferrites. Iron-dust cores have low permeability, low inductance factor but a high Q factor. They are used in frequency selective resonant circuit.

The ferrite cores have high permeability, inductance factor but a low Q factor with a wide range in property values. They are used in impedance-matching broadband transformers and baluns.

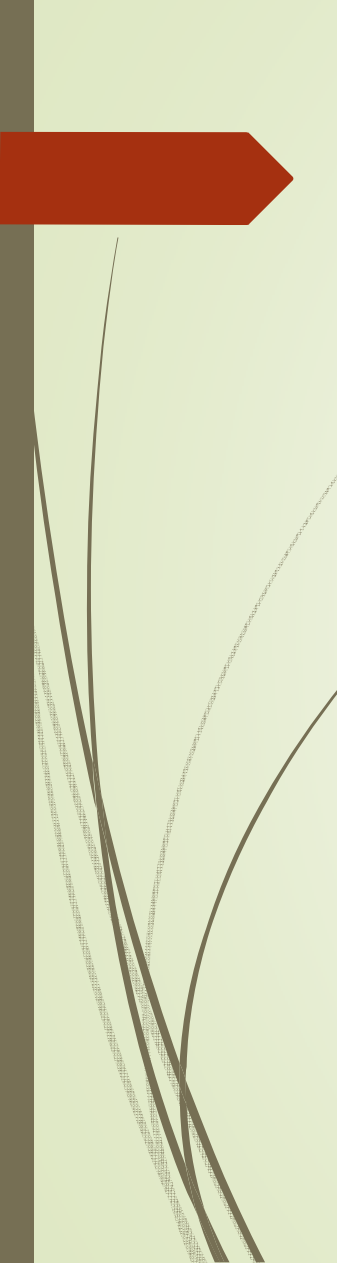
As a rough guide any core measurements giving an Al of less than 50 and μ_r less than 20 will be iron-dust material although there are some ferrites with low values but these are rare.

The manufacturers only give minimum values of Al and μ_r as it is impossible to manufacture cores to exact properties. I found a number of FT50-61 cores in my collection which are certainly not the correct material, giving much too low a value of μ_r . They were probably bought from a rally.

There is much more to toroids than the brief description above, including frequency response and power handling capabilities. Wrong characteristics can lead to low transmitter output powers and poor filter response so measuring beforehand is well worth it.

I hope this article has been useful to you and if you wish to reply please do so but this is not an academic paper.

So please take this into consideration in your response - thank you.



Zum Nachlesen wird diese PowerPoint-Präsentation auf der Homepage des DARC OV P06 Ludwigsburg abgespeichert:

<https://www.darc.de/p06>

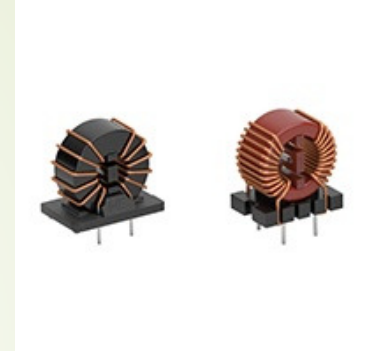
oder der direkte Link:

<https://www.darc.de/der-club/distrikte/p/ortsverbaende/06/aktivitaeten-und-aktuelles/>

Danke für eure Aufmerksamkeit

Noch Fragen ?

dk3ss@darc.de



Bei der Erstellung dieses Vortrags nutzte ich im Grundlagenteil auch einige Präsentationsfolien aus einem Webinar vom 13.03.2019, abgehalten von Würth-Elektronik über Ferritmaterial-Basics und Gleichtaktdrosseln.
Die entsprechenden Seiten tragen das Logo

