

In dieser Vortragsdokumentation möchte ich den „Bastlern und technisch Interessierten“ ohne gigantischen theoretischen Berechnungsformalismus, das ist wirklich so, die Anwendung über die Materialauswahl und den Umgang mit Spulen, darunter auch SMD, mit und ohne Kern, Ring-, Rohr-Stangen und Doppellochkernen etwas näher bringen.

Wer jedoch die theoretischen Formelzeichen für physikalische Größen und Einheiten sucht, wird auf den Seiten 11 bis 13 fündig! Es geht dabei nur um die Einheiten für Ferrite und Zubehör ohne Formeln!

Auch Luftspulen kommen nicht zu kurz, wie wickele ich diese und vor allem wie gleiche ich diese induktivitätsmäßig und „rückreproduzierbar“ wieder ab! Ich werde diese Aktionen im Rahmen des Vortrages an praktischen Beispielen vorführen.

Noch etwas Geschichte:

*Die ersten Hochfrequenzspulen mit „Eisenkernen“ wurden schon 1910 erwähnt. Dazu möchte ich auch noch auf ein Buch, Ausgabe 1963, welches ich 1964 als 13jähriger erworben habe hinweisen: Das Spulenbuch von H. Sutaner, immer noch Interessant, dort sind schon **Materialbezeichnungen** zu finden die 2021 immer noch gültig sind!*

Informationen über Ferrite:

Es gibt viele Firmen die Soft Ferrite herstellen, ich habe eine kleine Tabelle zusammengestellt, dort könnt Ihr einige der wichtigsten Gegenüberstellungen von verschiedenen Materialien mit firmentypischen Bezeichnungen kennenlernen. Dazu eine Aufstellung für die Materialien die für uns hauptsächlich in Betracht kommen. Der Sinn der Vergleichsmaterialauswahl liegt darin, dass für uns Funkfreunde die Beschaffung einfach und somit problemloser möglich sein sollte.

Materialinformation: Ferrite sind nicht aus Eisen!

Ferrite bestehen, anders als es die Bezeichnung vermuten lassen mag, nicht aus Eisen, sondern üblicherweise aus Nickel-Zink bzw. Mangan-Zink Mischungen.

Nickel-Zink-Ringkerne besitzen einen hohen spezifischen Widerstand und geringe Verluste im Frequenzband 0,5 bis 100 MHz bei mittlerer Temperaturstabilität. Sie sind geeignet für Spulen hoher Induktivitäten bei geringen Leistungen. Die geringe Permeabilität lässt sie auch für Breitbandtransformatoren geeignet erscheinen.

Es gibt zwei Hauptgruppen von Materialien: Die Gruppe mit einer Permeabilität zwischen 20 und 800 enthält in der Regel **Nickel-Zink-Typen**. Diese sind für Anwendungen im HF Bereich mit kleinen Leistungen zu empfehlen. Während im Bereich zwischen **2000, 4000, 10.000** und 15.000 allgemein **Mangan-Zink-Typen** für Verdrosselung oder den Einsatz zur Minderung von EMV Problemen Verwendung finden sollten.

Was sind Eisenpulverringkerne:

Eisenpulverringkerne haben eine hohe Sättigungsflussdichte (*Diese Magnetisierung steigt ab einem bestimmten Zeitpunkt jedoch immer langsamer, bis sie schließlich einen Endpunkt erreicht, die so genannte magnetische Sättigung*). Das bedeutet, dass der Kern bei hohen Strömen nicht in die Sättigung geht. Dieses Material ist jedoch weitestgehend ungeeignet zum Bau von Übertragern und sollte ausschließlich zum Aufbau von Spulen z.B. Tiefpässe, zum Bau von Filter (z.B. Preselektor) eingesetzt werden. Carbonyleisen ist ein hochreines Eisen, das durch Zersetzung von gereinigtem Eisenpentacarbonyl entsteht. Carbonyleisen ist ein graues Pulver aus sphärischen Mikropartikeln. In der Elektronik wird Carbonyleisen verwendet, um magnetische Kerne für **Hochfrequenzspulen** herzustellen

Ferrite sind wie alle keramischen Werkstoffe recht hart und spröde und daher bruchgefährdet, darum äußerste Vorsicht bei dem bewickeln der Ringkerne!

Noch etwas, was ist die **Permeabilität** (lat: permeare = ‚durchgehen‘, ‚passieren‘) steht für: Permeabilität (Magnetismus), die Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder. Permeabilität (Festkörper), die Durchlässigkeit von Materie für andere Atome, Moleküle oder Ionen. Diese Permeabilität Angabe ist wichtig für das entsprechende Material und somit Funktionalität für unseren gewählten Einsatz.

In diesem technischen Bauteilebericht möchte ich mich weitestgehend auf Amidon Materialien beziehen. Das hat folgenden Grund: Im Allgemeinen ist die Verfügbarkeit gewährleistet gegenüber den namhaften Herstellern und den Marktführern. Man kann die für uns interessanten Materialien bei einschlägigen Händlern zu vernünftigen Preise problemlos für unsere Zwecke in einigermaßen guter Qualität mit <20 % Toleranz erwerben. Ferrit-Ringkerne sind in zahlreichen Größen von 2,5 mm bis 127 mm Außendurchmesser und mit Permeabilitäten von 20 µ bis mehr als 15.000 µ lieferbar bei Amidon. In den Konstruktionen kommen überwiegend Permeabilitäten ab 20µ bis 4000µ@25°C zur Anwendung!

Für uns kommen diese Materialien zur Anwendung:

1. Eisenpulver-Ringkerne (Eisencarbonyl) z.B. für HF-Spulenaufbauten
2. Nickel-Zink-Ringkerne u.a. HF Leistungsübertrager und Mantelwellensperren
3. Mangan-Zink-Typen überwiegend für die Verdrosselung oder Mantelwellensperren ab dem AC/DC Bereich – dazu gehören auch Steuerleitungen

Die Anwendungen und auch die **Frequenzbereiche in den Datenblättern sollten nicht als absolut gelten**, denn es hängt sehr von der Wickeltechnik und dem Anwendungsfall ab. Hinzu kommen noch andere Einflüsse, dazu zählt auch der Drahtquerschnitt der in die Güte (Q) der Wickelgüter eingeht. *Nur ein Beispiel: Ein kleiner Ferritdoppellochkern, Material N30 kann von 5 MHz bis 1GHz eingesetzt werden mit einer Drahtquerschnittbewicklung von 0,15mm!*

In der folgenden Tabelle habe ich die einfach zu beschaffenden Ferritringkerne von AMIDON einmal mit anderen Referenz Materialien von namhaften Herstellern zusammengestellt. Auffallend ist bei den Eisenpulverringkern gibt es kaum vergleichbare **Materialien!**

Material Vergleichsliste für Amidon Ringkerne (ohne Baugrößenangabe bis auf Eisenpulver) DK8AR 20210410											
Hersteller	Materialtype	Hersteller	Materialtype	Hersteller	Materialtype	Hersteller (EPCOS) TDK	Materialtype	Hersteller	Materialtype	Anfangs- Permeabilität	Hauptanwendung für
Eisenpulver											
Amidon	T130-6 /9,6µ					TDK	T50-6 / 8µ				Spulen
Amidon	T130-2 /11µ					TDK	T130-6 /10µ				Spulen
Ferrite											
Amidon	61 NiZn	Ferroxcube	4C65 NiZn	Kaschke	K120 NiZn	TDK	K1 NiZn	NEOSID	F-82	80-125	Balun/TX-Trafo
Amidon	43 NiZn	Ferroxcube	3C90	Kaschke	K800 NiZn	TDK	K10 NiZn	NEOSID	F-605	600-850	Balun/Mantelwellen
Amidon	77 MnZn	Ferroxcube	3C94	Kaschke	K2000 MnZn	TDK	N27 MnZn	NEOSID	F-2001	2000-2500	Mantelwellen
Amidon	93 MnZn	Ferroxcube	3C11	Kaschke	K4000 MnZn	TDK	N30 MnZn	NEOSID	F-4001	4300	Mantelwellen

Ferroxcube: Weltweit führend bei Hochleistungsferrit. Philips Magnetic Components vorher jetzt FERROXCUBE

Ferroxcube ist eine Bezeichnung, die in Datenblättern vor 1963 auftaucht

Es gibt z.T. noch viele alte Materialkennzeichnungen die deutlich über 60 Jahre alt sind und noch gültig sind. Diese sind übrigens auch in der obigen Tabelle wiederzufinden.

Die Entwicklung geht natürlich weiter, jedoch die „alten Bezeichnungen bleiben auch erhalten“ wenn z.T. auch mit Fortschreibungen des Zahlenindex und auch durch Firmenübernahmen

stattgefunden haben. Daher sollte jeder der sich mit „Kernmaterialien“ befasst auch alte Datenbücher berücksichtigen.

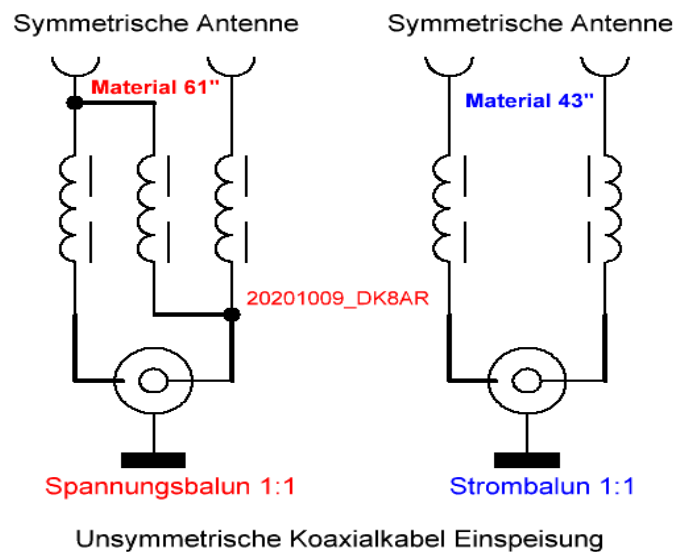
Die gesamte Technik über die Kernmaterialien ist außerordentlich vielseitig und mit jeder Menge theoretischen zusammenhängen verknüpft. Die jedoch zum größten Teil für den Gelegenheitsbastler nur verwirrend ist, deshalb diese Dokumentation, dort gehe ich nur auf das ein, was zum Aufbau von Wickelgütern erforderlich ist.

In dieser Vortragsdokumentation zeige ich die Arbeitsschritte und technische Informationen die für den Funkamateurler ausreichend erscheinen. Dabei geht es mir besonders um das Kennenlernen der verschiedenen Materialien für den jeweiligen Einsatz.

Um es vorweg zu sagen, es gibt für den jeden Anwendungsfall auf den entsprechenden Internetseiten genügend Veröffentlichungen über den Aufbau von Übertragern. Auffallend ist nur, dass dort nur wenig auf die Materialkunde und deren Zusammenhänge eingegangen wird und das ist u.U. sehr fatal. Es steht zwar dort Mat. XYZ jedoch nicht warum und z.T. die Nachteile!

Für Bastler die z.B. ihren Balun selber bauen möchten - zwei Empfehlungen:

1. Für einen Strombalun würde ich das **43“** oder **61“** Material verwenden
2. Für einen Spannungsbalun grundsätzlich das **61“** Material (Wicklungszahl erhöhen)
3. Für die Verdrosselung von allgemeinen AC/DC Leitungen das **77“** Material



Ein **Strombalun** ist geeignet, Mantelwellen wirksam zu unterdrücken und dadurch zu symmetrieren. Er hat die geringste Signaldämpfung nämlich nur durch die Koaxialkabeldämpfung über dessen Bewicklungslänge.

Der **Spannungsbalun** ist nicht in der Lage, Mantelströme zu unterbrechen, er kann jedoch für die unterschiedlichsten Übersetzungsverhältnisse eingesetzt werden! Hinter jedem Spannungsbalun **gehört grundsätzlich eine Mantelwellensperre**.

Zur Info: Bei hohen HF Spannungen entstehen durch das Kernmaterial 43“ Intermodulationsprodukte weil das Kernmaterial im Senderfall in die Sättigung gehen kann!
Achtung auch: Bei Spannungs- oder Strombalune wenn sie im Spannungsbauch von Zuleitungen betrieben werden, dann können Überschläge entstehen!

Ich möchte noch darauf hinweisen, dass speziell die Spannungsbalune bei einer Überlastung im Sendefall, die Folgen sind meistens nicht sichtbar, zum Totalausfall führen, sie sind z.T. irreparabel. Dabei ist von außen nichts zu erkennen, da eine innere Zerstörung stattgefunden hat. Bei Überhitzung von Teflon isolierten Wickeldrähten durch ihre hohe Temperaturstabilität meistens nicht einmal erkennbar, eine innere Strukturveränderung des Ringkernes stattgefunden hat. Solch ein geschädigter Ringkern ist dann nicht mehr verwendbar!

Grundsätzlich für den senderseitigen Einsatz also für Treiber- und Ausgangstransformatoren sowie Leistungsübertrager, dort wo Hochfrequenzleistung in Endstufen (also Ströme) verarbeitet werden, das Amidon NiZn Material #61 eingesetzt werden (oder das professionelle Ferroxcube Material 4C65). Ich empfehle zum Bau von HF Verstärkern für den Treiber Einsatz die Doppelloch Kerne von AMIDON **BN 61**-xxxx einzusetzen (Baugrößen auf der Amidon Seite nachsehen)! Diese Materialien können eine materialspezifische Curie-Temperatur über $>350^{\circ}\text{C}$ erreichen bis das ihre ferromagnetischen Eigenschaften des Materials vollständig verschwunden sind, so dass sie oberhalb nur ganz einfach gesagt „körperlich“ zwar vorhanden, jedoch ohne Wirkung sind (*diamagn/paramagn*).

Um sicherheitshalber das Kernmaterial #61 (4C65) für den Balun Bau einzusetzen, ist auf eine höhere Wicklungszahl gegenüber der des #43 zu achten, um auch das 160Meter Band abzudecken. Auch bei Erwärmung des Balun ist das #61 Material gegenüber anderen Werkstoffen in seiner Temperatur Stabilität deutlich überlegen.

Um z.B. das Kernvolumen also die Permeabilitäten zu erhöhen, gibt es einen einfachen Weg. Man kann die Ringkerne übereinander mit „10sec. Kleber“ zusammenkleben. Aber hier ist einiges zu beachten, den einen Kern leicht mit Kleber bestreichen und dann ganz „exakt“ auf den anderen aufsetzen „eine ruhige Hand“ vorausgesetzt, denn dieser Prozess ist Augenblicklich und nicht mehr veränderbar, sondern nur durch pure Gewalt die zu Schäden an den Kernen führen!

Noch einige Informationen über **Ferritstäbe** für Freunde von Peilempfangsantennen. Wer Interesse hat an den Frequenzen 135kHz oder 472kHz bis 1,7MHz für den empfehle ich das Material 3B1 ($\mu 900$) von Ferroxcube – alternativ das 33 Material von Amidon. Wer jedoch zum Beispiel einen Peil- oder Messempfänger mit Ferritantenne für 160 oder 80Meter betreiben möchte, sollte das Material 4B1 ($\mu 250$) von Ferroxcube - alternativ das #61 Material von Amidon verwenden. Hier gilt um höchste Effektivität zu erreichen ein großer Durchmesser $> 8\text{mm } \varnothing$ und länger als $> 150\text{mm}$ die Stäbe auszusuchen.

Das Material #61 ist breitbandig einsetzbar vom Mittel- bis in den Kurzwellenbereich (etwa bis >30 MHz).

Das Material #33 ist für niedrigere Frequenzen bis in das VLF-Band besser geeignet.

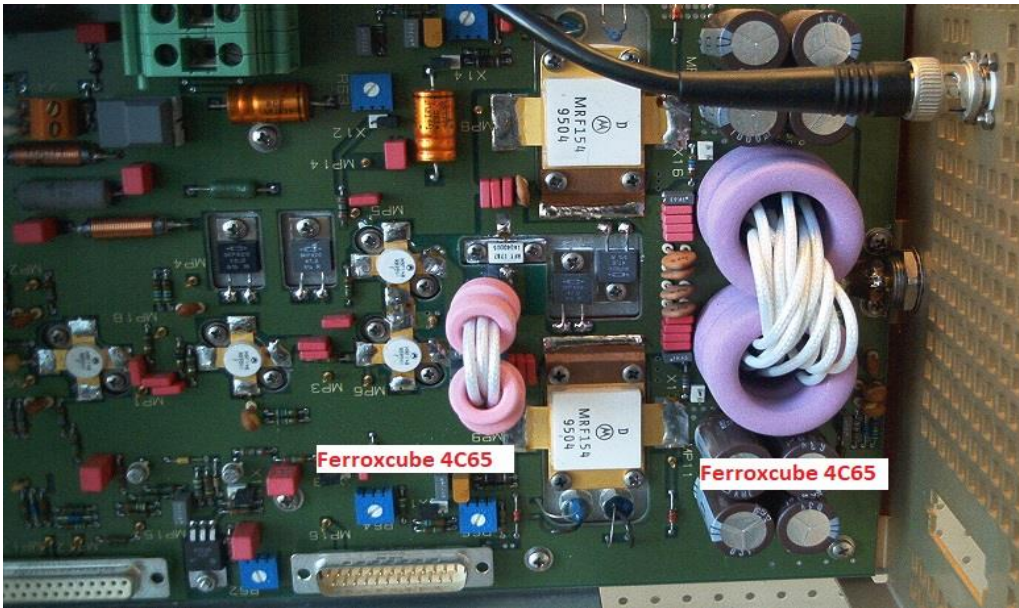
Zum Thema Balun und die Wickeltechniken:

Die oben genannten **Ringkernmaterialien** sollten unbedingt so wie oben beschrieben eingesetzt werden!!!

*Dazu möchte ich noch auf eine Seite hinweisen, leider ist dieser OM nicht mehr unter uns! Anleitungen zum Bau von: **Balun**, Splitter (Combiner) und Filter Herr Wolfgang-Wippermann.*

<https://www.dg0sa.de/inhaltbalun.htm>

Eine professionelle Transistor 1,2kW Endstufe mit 4C65 Ringkernen, möglich ist hier auch der Einsatz des „ #61 Materials“ von Amidon.



MRF154
600 W, 50 V, 80 MHz
N-CHANNEL
BROADBAND
RF POWER MOSFET

Gut zu sehen ist die Technik der Übertrager für Bastler zum Nachbau!

Nun zum Thema Spulen:

Es dürfte bekannt sein, das es viele Varianten gibt, ich möchte daher nur die Vorstellen, die für die meisten Bastler interessant sind. Das bedeutet, ich werde nicht auf sogenannte Spulenbausätze eingehen, weil das ein weiteres sehr komplexes Thema ist.

Vielmehr auf Luftspulen mit und ohne Abstand, links- und rechtsgewickelte Luftspulen, Spulen aufgewickelt auf Eisenpulverringkerne usw.

Eisenpulverringkerne (Carbonyleisen) darunter auch Gewindekerne u.a. im Verbau von LMK Spulenzätzen, ZF Filtern. Dazu gehören auch das Amidon Material #2 und #6 die für Anwendungen im HF Bereich und optimal für den Bau von Filtern und Tiefpässen im Bereich 130kHz bis 50MHz eingesetzt werden können. Die Bewicklung und den Abgleich solcher Wickelgüter stelle ich im praktischen Teil diese Vortrages vor. Es gibt ausreichend Programme im Netz zu Ringkernbewicklungen, Materialtypen usw. um diese auch berechnen zu können.

Ein Programm z.B.: <http://www.dl0hst.de/mini-ringkern-rechner.htm>



Das Thema Luft- und Ringkernspulen wird im praktischen des Vortrages vorgeführt

Wie wickelt man diese und vor allem wie ändere ich die Induktivität in Grenzen durch Abgleich solcher Luft- und Ringkernspulen. Um stets wieder auf die größte Anfangsinduktivität nach Einstellung der geringsten erreichbaren Induktivität wieder zurückzukehren ist eine spezielle „Verbiegung“ der abzugleichenden Luftspule erforderlich!

Warum werden links- und rechtsgewickelte um 90° Grad versetzte, liegend oder stehende Spulen insbesondere bei Luftspulen eingesetzt?

Um eine möglichst hohe Entkopplung der Spulen, insbesondere bei Luftspulen zur Verbesserung der Selektion zum Beispiel bei Aufbauten von einem Band- und Tiefpassfilter, Kombination Tiefpass/Hochpassschaltung zu erreichen, müssen genau diese oben genannten Konstellationen angewendet werden.

Dieses Problem der Anordnung tritt bei der Verwendung von Becherspulen, also solche Spulen die u.a. in einem geschlossenen Ferromagnetischen System verbaut sind, nicht auf. Das ist aber ein komplexer Aufbau und wird wie oben schon angegeben nicht näher beschrieben. Bei Spulen mit Mittel- und Kappenkern ist eine Beeinträchtigung von Verkopplungen auch bei kleinen Abständen auszuschließen.

Wie messe ich unbekannte Ringkerne, Doppelloch, Rohr- oder Klappkerne im Vergleich mit bekannten Materialien aus ist ein Teil der praktischen Vorführung!

Bei Ringkern Anwendungen treten die oben genannten Probleme nicht oder so extrem auf. Aber es ist unbedingt darauf zu achten, **grundsätzlich eine vertikale Einbaulage** (also stehend) **zu wählen**. Denn bei horizontaler Einbaulage womöglich noch auf der Leiterplattenoberfläche ändern extrem die Güte zum Negativen und auch die vorher festgestellten erforderlichen Induktivitäten. Derartige Beeinträchtigungen finden bei Doppellochkernen nicht statt, da es sich um ein geschlossenes magnetisches System handelt. Niemals die Mittellöcher mit Silikon, Kleber oder Wachs füllen, dazu gehören speziell die Doppellochkerne. Zum Fixieren der Wickeldrähte und des Ringkernes eignet sich bestens Sekundenkleber, doch unbedingt darauf achten erst dann, wenn der komplette Abgleich erfolgt ist und die Einbaulage feststeht und nur punktuell verkleben.

Sollten die gewünschten größeren Induktivitäten zum Beispiel bei Einsatz von Eisenpulverringkerne (Carbonyleisen) z.B. bei den Amidon Materialien 2 nicht mit einem Einzelkern in entsprechender Baugröße erzielbar sein, dann kann man zwei oder mehrere Kerne mit Sekundenkleber zusammenbacken – Achtung bei dem Zusammenfügen gibt es nur „*einen*“ Versuch, die Kerne kleben augenblicklich zusammen. Dieses Verfahren der Volumenerhöhung kann auch bei anderen Materialien erfolgen!

Etwas über Klappferrite (Rohrferrite)

Über die Funktionsweise und Auswahl der richtigen Ferritkerne gibt es im Internet genügend „ausreichende“ Informationen.

Nur so viel: Klapp- und Rohrferrite werden überwiegend als Mantelwellenfilter oder EMV Filter zur Störunterdrückung u.a. auch bei Anschlusskabel im PC Bereich eingesetzt u.a. bei den bekannten WLAN Routern. Dabei nicht vergessen, dass es Anwendungsfälle gibt die über 200MHz hinausgehen, selbst dafür gibt es geeignetes Kernmaterial! Auch zur Unterdrückung von wilden Schwingungen wie sie häufig beim Verbau von FE Transistoren auftreten. Dazu gehören die kleinen Röhrchen, die über oder „neben“ den Anschlussbeinen von FET Transistoren in den Schaltungen zur Unterdrückung wilder Schwingungen eingesetzt werden sowie Daten- und Leitungsdurchführungen in kommerziellen Geräten.

Im praktischen Teil dieses Vortrages werde ich das Ausmessen von unbekanntem Klapp Ferriten demonstrieren und noch auf den einen oder anderen Anwendungsfall eingehen.

Nun möchte ich noch für den Praktiker unter euch auf Messungen von Spulen mit oder ohne Kernmaterialien eingehen. *Vorstellen werde ich auch wie man mit einem VNA über das Smith Chart ebenfalls Frequenzmäßig die Induktivitäten ermitteln kann.*

Oder man beschafft sich spezielle Multimeter zum Messen von Induktivitäten und Kapazitäten!

Dazu eine Empfehlung von mir, über ein AADE L/C Meter IIB

Ich hatte mal die Möglichkeit einige aufgebaute AADE Gerätebausätze (durch die Lehrwerkstatt) mit einem professionellen Industrie Messgerät (HP) vergleichen zu können – Das Ergebnis war sehr positiv!

Zu Induktivitätsmessgeräten sei noch folgendes zu sagen:

HF- Bastler die überwiegend im Bereich bis 30 MHz unterwegs sind, dort reicht ein Instrument was mindestens **ab** 0,5uH (500nH) misst. Für solche die auch mal Induktivitäten von < 10nH messen möchten, da würde ich das oben beschriebene Gerät empfehlen, dann aber mit einer selbstgebauten Messaufnahme für SMD Spulen (0805 /1206) oder auch zur Luftspulenaufnahme von einer ½ Windung und Windungsdorn Durchmesser von 2mm (*bekannt unter dem Namen Haarnadel*)!

Die preisgünstigste Lösung, dazu gehört selbstverständlich ein Handheld Induktivitätsmessgerät. Dort hat sich viel in den letzten Jahren getan, der Anwender sollte nur so viel beachten, dass man im Nanohenry (nH). 1. Mikrohenry (µH). Millihenry (mH). Und u.U. auch mal im 1 Henry Bereich entsprechend 1,000,000. Mikrohenry (µH) messen kann. Für Messungen im nH Bereich sollte eine passende Prüfaufnahme gebaut oder gekauft werden!

Ein Tipp für Bastler, wer klein bauen möchte/muss und trotzdem noch eine ausreichende Güte bei SMD Spulen erzielen möchte, dem würde ich den Einsatz von 1206 Baugröße oder größer empfehlen.

Nun etwas über SMD Spulen die seit langer Zeit zur Anwendung kommen

Die Induktivität sagt nichts über die Güte solcher SMD Spulen für ihren Einsatzbereich aus. Daher unbedingt das Datenblatt ansehen, bei welcher Frequenz eine SMD Spule ihre höchste Güte für ihren Einsatz erreicht und wo ihre Eigenresonanz liegt. Um das Maximum aus einem Schwingkreis oder einer Verdrosselung zu bekommen ist die zu erzielende Güte eines der wichtigsten Kriterien, besonders wichtig bei Aufbauten von Schwingkreisen und Filterstrukturen. **Eine SMD Spule darf bei einer gedruckten Schaltung niemals mit einer unter ihr liegenden Leiterbahn gekreuzt werden.** Dort entsteht dann eine erhebliche Beeinträchtigung der Gesamtfunktion! Es gibt SMD Spulen mit Ferrit Träger, Keramikträger usw.

Die Eigenresonanzen sind bei der Wahl von Spulen jeglicher Art grundsätzlich zu berücksichtigen, dann sind unerwünschte Signalbeeinflussungen vorprogrammiert. Wenn nämlich eine solche Resonanz (*Saugkreis*) in die Betriebsfrequenz fällt, dazu gehören insbesondere die DC Drossel für die Versorgung von Transistor- als auch Röhrenschaltungen z.B. auch in Endstufen! Dort sieht es dann so aus, als wäre dort keine Drossel vorhanden oder es bildet sich ein unerwünschter Schwingkreis mit den Abblockkondensatoren zusammen. Dadurch Überlastung der Drossel die dann in Rauch und Asche endet!

Z.B. hier findet man Datenblätter:

<https://www.coilcraft.com/en-us/products/rf/>

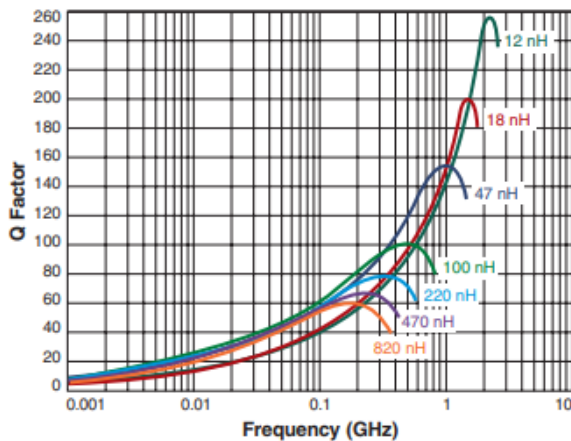
	Produktreihe	Induktivität	Eigenschaften	Länge (mm)	Breite (mm)	Höhe (mm)
	0805HT	1,8 nH - 500 nH	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unsere 0805 Chip Induktoren mit der niedrigsten Höhe - nur 0,035 "hoch! ■ High Q vs nicht drahtgewickelte Induktivitäten 	2,16	1,52	0,89
	0805PS	2,6 nH - 820 nH	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unsere höchsten Q-Faktoren bei einer Größe von 0805 ■ Enge Toleranzen - 2% für die meisten Werte 	2,21	1,73	1,55
	0805HQ	2,5 nH - 51 nH	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hoher Q-Faktor in einem 0805-Keramikchip ■ Hohe SRF - bis zu 10,3 GHz 	2,29	1,73	1,52
	0805CS	2,8 nH - 820 nH	<ul style="list-style-type: none"> ■ Unser originaler Chip-Induktor der Größe 0805 ■ High Q und High SRF - bis zu 12,2 GHz 	2,29	1,73	1,52

Lieferquellen z.B.: <https://www.mouser.de/manufacturers/coilcraft/>

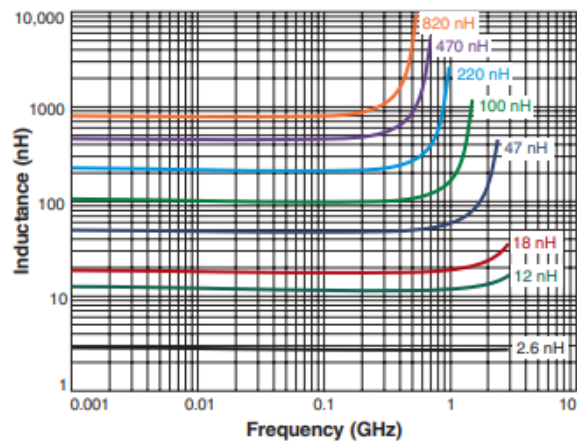
Güte Verlauf entsprechend der Frequenz hier als Beispiel

0805HP Series (2012)

Typical Q vs Frequency



Typical L vs Frequency



Messgerätevorstellung die natürlich keineswegs vollständig ist

Messungen einer Induktivität beispielhaft eine Spule mit Kern deren Induktivität ca. 400nH beträgt.

Messung mit Induktivitätsmesser

im rechten Bild eine VNA Messung mit Smith Darstellung



Vorteil der Smith Messung:

Man kann die Spulen mit einem VNA bei ihren **Einsatzfrequenzen** messen, gleiches gilt übrigens auch bei Kapazitätsmessungen. Grundsätzlich ist zu beachten: Bei der VNA muss vor der L oder C Messung eine OSL Kalibrierung an Port 11 vorgenommen werden. Da ist ein Kurzschluss bei Spulen bzw. open Kalibrierung bei Kondensatormessungen von L oder C bei Handheld **Anzeigeeinstrumenten** natürlich einfacher!



Für den Bastler sei noch bemerkt, ohne Messgeräte geht es nicht!

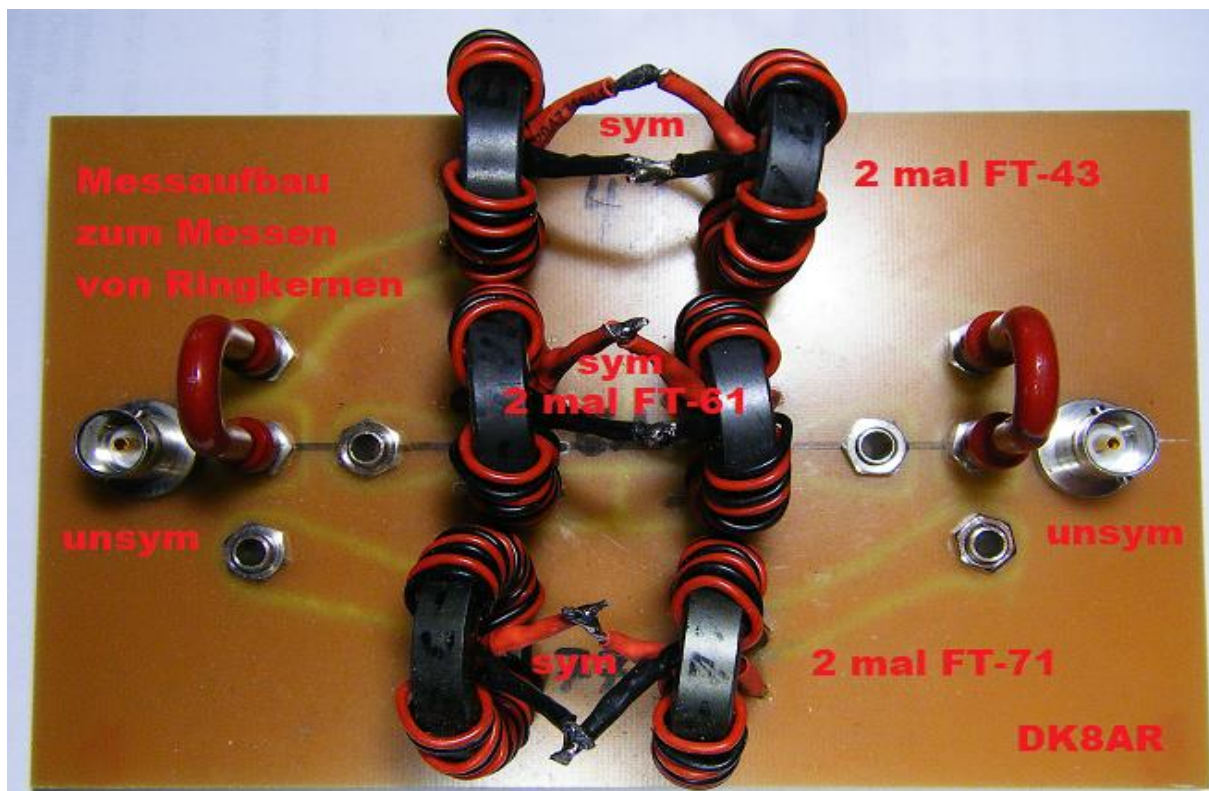
Eine Grundausstattung sollte vorhanden sein, mit Unterscheidung. Wenn man sich **überwiegend mit Hochfrequenzschaltungen befasst**, benötige ich einen Kapazitätsmesser der nicht bis 20mF misst, sondern einen der ab $< 0,5\text{pF}$ bis etwa 200nF Messungen mit einer (sehr) guten Genauigkeit misst.

Das gleiche gilt für Induktivitätsmessgeräte $< 10\text{nH}$ bis 100mH sollten (sehr) gut messbar sein.

Das bedeutet nicht, dass andere Messgeräte nicht benötigt werden die deutlich über die genannten maximalen Werte hinausgehen! Denn ihr wollt ja auch noch irgendwelche Verstärkerstufen mit anderen höheren Werten bei den Kapazitäten als auch bei den Induktivitäten konstruieren und messen. Nicht zu vergessen die Messungen an Netzteilen, Niederfrequenzverstärker usw.

Ich werde Euch die wichtigsten Informationen dieser Dokumentation in praktischen Vorführungen (*nach Corona*) mit Beispielen in Verbindung mit diesem Vortrag so vermitteln, dass ihr wisst wie man mit den vorgestellten Bauteilen und Schaltungen umgeht. Das ist nun mal die Voraussetzung, um das Verständnis für derartige Zusammenhänge zu verstehen!

Messaufbau zum Ermitteln der Übertragungsfunktionen S21 und S11 mit dem VNA, bezüglich der Kerneigenschaften mit unterschiedlichen Materialien. Die Balune sind jeweils als Strombalun gegeneinander verschaltet.



Die folgenden Seiten 11 bis 13 dienen nur der Information über die **Komplexität** über das Thema Spulen, Ringkerne und Co. ohne die dafür erforderlichen Berechnungsformeln! *Es ist eine Wissenschaft für sich...mit einer Unmenge Mathematik...*

Formelzeichen (Symbole) für physikalische Größen und Einheiten

Symbol	Meaning	Unit
A	Cross section of coil	mm ²
A _e	Effective magnetic cross section	mm ²
A _L	Inductance factor; $A_L = L/N^2$	nH
A _{L1}	Minimum inductance at defined high saturation ($\hat{=} \mu_a$)	nH
A _{min}	Minimum core cross section	mm ²
A _N	Winding cross section	mm ²
A _R	Resistance factor; $A_R = R_{Cu}/N^2$	$\mu\Omega = 10^{-6} \Omega$
B	RMS value of magnetic flux density	Vs/m ² , mT
ΔB	Flux density deviation	Vs/m ² , mT
\hat{B}	Peak value of magnetic flux density	Vs/m ² , mT
$\Delta \hat{B}$	Peak value of flux density deviation	Vs/m ² , mT
B _{DC}	DC magnetic flux density	Vs/m ² , mT
B _R	Remanent flux density	Vs/m ² , mT
B _S	Saturation magnetization	Vs/m ² , mT
C ₀	Winding capacitance	F = As/V
CDF	Core distortion factor	mm ^{-4.5}
DF	Relative disaccommodation coefficient $DF = d/\mu_i$	
d	Disaccommodation coefficient	
E _a	Activation energy	J
f	Frequency	s ⁻¹ , Hz
f _{cutoff}	Cut-off frequency	s ⁻¹ , Hz
f _{max}	Upper frequency limit	s ⁻¹ , Hz
f _{min}	Lower frequency limit	s ⁻¹ , Hz
f _r	Resonance frequency	s ⁻¹ , Hz
f _{Cu}	Copper filling factor	
g	Air gap	mm
H	RMS value of magnetic field strength	A/m
\hat{H}	Peak value of magnetic field strength	A/m
H _{DC}	DC field strength	A/m
H _c	Coercive field strength	A/m
h	Hysteresis coefficient of material	10 ⁻⁶ cm/A
h/μ_i^2	Relative hysteresis coefficient	10 ⁻⁶ cm/A
I	RMS value of current	A
I _{DC}	Direct current	A
\hat{I}	Peak value of current	A
J	Polarization	Vs/m ²
k	Boltzmann constant	J/K
k ₃	Third harmonic distortion	
k _{3c}	Circuit third harmonic distortion	
L	Inductance	H = Vs/A

Formelzeichen (Symbole) für physikalische Größen und Einheiten

Symbol	Meaning	Unit
$\Delta L/L$	Relative inductance change	H
L_0	Inductance of coil without core	H
L_H	Main inductance	H
L_p	Parallel inductance	H
L_{rev}	Reversible inductance	H
L_s	Series inductance	H
l_e	Effective magnetic path length	mm
l_N	Average length of turn	mm
N	Number of turns	
P_{Cu}	Copper (winding) losses	W
P_{trans}	Transferrable power	W
P_V	Relative core losses	mW/g
PF	Performance factor	
Q	Quality factor ($Q = \omega L/R_s = 1/\tan \delta_L$)	
R	Resistance	Ω
R_{Cu}	Copper (winding) resistance ($f = 0$)	Ω
R_h	Hysteresis loss resistance of a core	Ω
ΔR_h	R_h change	Ω
R_i	Internal resistance	Ω
R_p	Parallel loss resistance of a core	Ω
R_s	Series loss resistance of a core	Ω
R_{th}	Thermal resistance	K/W
R_V	Effective loss resistance of a core	Ω
s	Total air gap	mm
T	Temperature	$^{\circ}\text{C}$
ΔT	Temperature difference	K
T_C	Curie temperature	$^{\circ}\text{C}$
t	Time	s
t_v	Pulse duty factor	
$\tan \delta$	Loss factor	
$\tan \delta_L$	Loss factor of coil	
$\tan \delta_r$	(Residual) loss factor at $H \rightarrow 0$	
$\tan \delta_e$	Relative loss factor	
$\tan \delta_h$	Hysteresis loss factor	
$\tan \delta/\mu_i$	Relative loss factor of material at $H \rightarrow 0$	
U	RMS value of voltage	V
\hat{U}	Peak value of voltage	V
V_e	Effective magnetic volume	mm^3
Z	Complex impedance	Ω
Z_n	Normalized impedance $ Z _n = Z /N^2 \times \epsilon (l_e/A_e)$	Ω/mm

Formelzeichen (Symbole) für physikalische Größen und Einheiten

Symbol	Meaning	Unit
α	Temperature coefficient (TK)	1/K
α_F	Relative temperature coefficient of material	1/K
α_e	Temperature coefficient of effective permeability	1/K
ϵ_r	Relative permittivity	
Φ	Magnetic flux	Vs
η	Efficiency of a transformer	
η_B	Hysteresis material constant	mT ⁻¹
η_i	Hysteresis core constant	A ⁻¹ H ^{-1/2}
λ_s	Magnetostriction at saturation magnetization	
μ	Relative complex permeability	
μ_0	Magnetic field constant	Vs/Am
μ_a	Relative amplitude permeability	
μ_{app}	Relative apparent permeability	
μ_e	Relative effective permeability	
μ_i	Relative initial permeability	
μ_p'	Relative real (inductive) component of $\bar{\mu}$ (for parallel components)	
μ_p''	Relative imaginary (loss) component of $\bar{\mu}$ (for parallel components)	
μ_r	Relative permeability	
μ_{rev}	Relative reversible permeability	
μ_s'	Relative real (inductive) component of $\bar{\mu}$ (for series components)	
μ_s''	Relative imaginary (loss) component of $\bar{\mu}$ (for series components)	
μ_{tot}	Relative total permeability derived from the static magnetization curve	
ρ	Resistivity	Ωm^{-1}
$\Sigma l/A$	Magnetic form factor	mm ⁻¹
τ_{Cu}	DC time constant $\tau_{Cu} = L/R_{Cu} = A_L/A_R$	s
ω	Angular frequency; $\omega = 2 \Pi f$	s ⁻¹

Nun aber doch noch etwas Formalismus den auch der **Praktiker** wissen sollte, es sind nur sehr wenige Dinge, die aber durchaus ausreichend sind für eine Aussage über Ringkerne:

1. Die **Anfangspermeabilität** Angabe μ_i @ **T=25°C** $f \leq 10$ kHz
2. Die **Curietemperatur** **TC °C** (ist wichtig für den Einsatz damit u.a. nicht die maximal Temperatur überschritten wird)
3. Die Induktivität -- ($L=A_L \times n^2$) L = Induktivität in nH
Der **AL-Wert** in nH/Wdg²

Ein Beispiel:

$L=22$ Wdg. Ferritring T130-2 rot Carbonyleisen

AL-Wert von 11nH/Wdg² (z.T. bei Carbonyleisen wird der AL-Wert in $\mu H/100$ Wdg angegeben)

$L=11 \times 22^2 = 5324$ nH = **5,3 μ H** (z.B. bei 22Wdg.)

Wer oft in amerikanischen Funkfachbüchern z.B. „The ARRL Handbook“ blättert wird oft über Drahtbezeichnungen (AWG) stolpern, dafür habe ich etwas gefunden und auf der Seite 14 und 15 dargestellt. Dort sind Gegenüberstellungen AWG Nr. vs. mm usw.

Technische Informationen

Über Drahtstärkeangaben (AWG) die man in amerikanischer Literatur findet –
American Wire Gauge = Amerikanische Drahtlehre

AWG Tabelle

	AWG	AWG AUFBAU	LEITER QUERSCHNITT	LEITER AUFBAU	AUßEN DURCHMESSER	LEITER WIDERSTAND	LEITER GEWICHT
	Nr.	nxAWG	nxDraht-Ø mm	mm²	mm	Ohm/ km	kg/ km
AWG 36	AWG 36						
	36	massiv	massiv	0.013	0.127	1460.0	0.116
	36	7/44	7x0.05	0.014	0.152	1271.0	0.125
AWG 34	AWG 34						
	34	massiv	massiv	0.020	0.160	918.0	0.178
	34	7/42	7x0.064	0.022	0.192	777.0	0.196
AWG 32	AWG 32						
	32	massiv	massiv	0.032	0.203	571.0	0.284
	32	7/40	7x0.078	0.034	0.203	538.0	0.302
	32	19/44	19x0.05	0.037	0.229	448.0	0.329
AWG 30	AWG 30						
	30	massiv	massiv	0.051	0.254	365.0	0.45
	30	7/38	7x0.102	0.057	0.305	339.0	0.507
	30	19/42	19x0.064	0.061	0.305	286.7	0.543
AWG 28	AWG 28						
	28	massiv	massiv	0.080	0.330	232.0	0.71
	28	7/36	7x0.127	0.087	0.381	213.0	0.774
	28	19/40	19x0.078	0.091	0.406	186.0	0.81
AWG 27	AWG 27						
	27	7/35	7x0.142	0.111	0.457	179.0	0.988
AWG 26	AWG 26						
	26	massiv	massiv	0.128	0.409	143.0	1.14
	26	10/36	10x0.127	0.127	0.533	137.0	1.13
	26	19/38	19x0.102	0.155	0.508	113.0	1.38
	26	7/34	7x0.160	0.141	0.483	122.0	1.25
AWG 24	AWG 24						
	24	massiv	massiv	0.205	0.511	89.4	1.82
	24	7/32	7x0.203	0.227	0.610	76.4	2.02
	24	10/34	10x0.160	0.201	0.582	85.6	1.79
	24	19/36	19x0.127	0.241	0.610	69.2	2.14
	24	41/40	41x0.078	0.196	0.582	84.0	1.74
AWG 22	AWG 22						
	22	massiv	massiv	0.324	0.643	55.3	2.88
	22	7/30	7x0.254	0.355	0.762	48.4	3.16
	22	19/34	19x0.160	0.382	0.787	45.1	3.4
	22	26/36	26x0.127	0.330	0.762	52.3	2.94
AWG 20	AWG 20						
	20	massiv	massiv	0.519	0.813	34.6	4.61
	20	7/28	7x0.320	0.562	0.965	33.8	5.0
	20	10/30	10x0.254	0.507	0.889	33.9	4.51
	20	19/32	19x0.203	0.615	0.940	28.3	5.47
	20	26/34	26x0.160	0.523	0.914	33.0	4.65
	20	41/36	41x0.127	0.520	0.914	32.9	4.63
AWG 18	AWG 18						
	18	massiv	massiv	0.823	1.020	21.8	7.32
	18	7/26	7x0.404	0.897	1.219	19.2	7.98
	18	16/30	16x0.254	0.811	1.194	21.3	7.22
	18	19/30	19x0.254	0.963	1.245	17.9	8.57
	18	41/34	41x0.160	0.824	1.194	20.9	7.33
	18	65/36	65x0.127	0.823	1.194	21.0	7.32
AWG 16	AWG 16						
	16	massiv	massiv	1.310	1.290	13.7	11.66
	16	7/24	7x0.511	1.440	1.524	12.0	12.81
	16	65/34	65x0.160	1.310	1.499	13.2	11.65
	16	26/30	26x0.254	1.317	1.499	13.1	11.72
	16	19/29	19x0.287	1.229	1.473	14.0	10.94
	16	105/36	105x0.127	1.330	1.499	13.1	11.48

AWG Tabelle

	AWG Nr.	AWG AUFBAU nxAWG	LEITER QUERSCHNITT nxDraht-Ø mm	LEITER AUFBAU mm ²	AUßEN DURCHMESSER mm	LEITER WIDERSTAND Ohm/ km	LEITER GEWICHT kg/ km
AWG 14	AWG 14						
	14	massiv	massiv	2.080	1.630	8.6	18.51
	14	7/22	7x0.643	2.238	1.854	7.6	19.92
	14	19/27	19x0.361	1.945	1.854	8.9	17.31
	14	41/30	41x0.254	2.078	1.854	8.3	18.49
	14	105/34	105x0.160	2.111	1.854	8.2	18.79
AWG 12	AWG 12						
	12	massiv	massiv	3.31	2.05	5.4	29.46
	12	7/20	7x0.813	3.63	2.438	4.8	32.30
	12	19/25	19x0.455	3.09	2.369	5.6	27.50
	12	65/30	65x0.254	3.292	2.413	5.7	29.29
	12	165/34	165x0.160	3.316	2.413	5.2	29.51
AWG 10	AWG 10						
	10	massiv	massiv	5.26	2.59	3.4	46.81
	10	37/26	37x0.404	4.74	2.921	3.6	42.18
	10	49/27	49x0.363	5.068	2.946	3.6	45.10
	10	105/30	105x0.254	5.317	2.946	3.2	47.32
AWG 8	AWG 8						
	8	49/25	49x0.455	7.963	3.734	2.2	70.87
	8	133/29	133x0.287	8.604	3.734	2.0	76.57
	8	655/36	655x0.127	8.297	3.734	2.0	73.84
AWG 6	AWG 6						
	6	133/27	133x0.363	13.764	4.676	1.5	122.49
	6	259/30	259x0.254	13.123	4.674	1.3	116.79
	6	1050/36	1050x0.127	13.316	4.674	1.3	118.51
AWG 4	AWG 4						
	4	133/25	133x0.455	21.625	5.898	0.80	192.46
	4	259/27	259x0.363	26.804	5.898	0.66	238.55
	4	1666/36	1666x0.127	21.104	5.898	0.82	187.82
AWG 2	AWG 2						
	2	133/23	133x0.574	34.416	7.417	0.50	306.30
	2	259/25	259x0.404	33.201	7.417	0.52	295.49
	2	665/30	665x0.254	33.696	7.417	0.52	299.89
	2	2646/36	2646x0.127	33.518	7.417	0.52	298.31
AWG 1	AWG 1						
	1	133/22	133x0.643	43.187	8.331	0.40	384.37
	1	259/25	259x0.455	42.112	8.331	0.41	374.80
	1	817/30	817x0.254	41.397	8.331	0.42	368.43
	1	2109/34	2109x0.160	42.403	8.331	0.41	377.39
AWG 1/0	AWG 1/0						
	1/0	133/21	133x0.724	54.75	9.347	0.31	487.28
	1/0	259/24	259x0.511	53.116	9.347	0.32	472.73
AWG 2/0	AWG 2/0						
	2/0	133/20	133x0.813	69.043	10.516	0.25	614.48
	2/0	259/23	259x0.574	67.021	10.516	0.25	596.49
AWG 3/0	AWG 3/0						
	3/0	259/22	259x0.643	84.102	11.786	0.20	748.51
	3/0	427/24	427x0.511	87.570	11.786	0.19	779.37
AWG 4/0	AWG 4/0						
	4/0	259/21	259x0.724	106.626	13.259	0.16	948.97
	4/0	427/23	427x0.574	110.494	13.259	0.15	983.39

Ich möchte noch einmal darauf hinweisen, ich versuche das Thema Spulen und Ringkerne möglichst praxisnah und einfach „ohne Ballast“ zu vermitteln.

*Jeder ältere Funk- oder Radio-Fernsehtechniker kennt noch das Buch von Otto Liman mit dem Titel: „**Funktechnik ohne Ballast**“ Anfang der 1970er Jahre vom Franzis Verlag!*

Genauso versuche ich diese Vortragsdokumentation dem interessierten Bastler nahe zu bringen. Sodas er mit einfachen Messmitteln und Hintergrundwissen bezüglich der Typen- und Kernausswahl seine Bastelobjekte ohne spätere Enttäuschungen verwirklichen kann.

Das ist gerade in der heutigen Zeit wichtig, weil die alten „berufsbedingten Bastler“ am Aussterben sind und damit ihre über viele Jahrzehnte gesammelten Erfahrungen an die „neuen“ Interessierten nicht mehr weitergeben können (wollen).

*Nur wenn sich die junge Entwicklergeneration wieder erinnert neue Sachen in **Hard-** und Software jeglicher Art auf den Markt zu bringen, dann können wir wieder sagen wir sind dabei.*

Ich hoffe euch das Thema „Wickelgüter“ etwas nähergebracht zu haben, insbesondere bezüglich der Typen- und Materialauswahl, denn genau das war der Zweck dieser Doku. Dort werden leider die meisten Fehler gemacht die dann zu erheblichen Misserfolgen zum Scheitern und Frustration der Aufbauten führen.

Wie immer ist diese Vortragsdokumentation auf den entsprechenden Seiten verfügbar.

DK8AR Henri Lüddecke