

Unsere bewährte Serie «Wissenswertes über ...» begann im Elektronischen Jahrbuch 1975, sie wird nun fortgesetzt zum Thema Ferrite.

Seit etwa 1950 finden die Ferrite eine zunehmende Anwendung in der Elektrotechnik/Elektronik. Hergestellt werden sie in der DDR im Kombinat VEB *Keramische Werke* Hermsdorf unter der Werksbezeichnung *Manifer*. Manifer ist ein verlustarmer, weichmagnetischer Sinterwerkstoff mit geringer elektrischer Leitfähigkeit. Trotz seiner massiven Form treten praktisch keine Wirbelstromverluste auf, so daß Manifer auch bei höheren Frequenzen verwendbar ist. Unterscheiden muß man zwischen weichmagnetischen und hartmagnetischen Ferriten; alle weichmagnetischen Ferrite tragen die Werksbezeichnung *Manifer*, die hartmagnetischen Ferrite werden als *Maniperm* bezeichnet. Da für die Anwendung im Amateurbereich nur Bauteile aus *Manifer* interessieren, sollen in diesem Beitrag Bauteile aus *Maniperm* nicht behandelt werden. Nur soviel, *Maniperm* wird eingesetzt für unterschiedliche Magnetformen, z.B. Rotor-magnete für Fahrradlichtmaschinen, Magnetringe für Kleinmotoren, Lautsprecher-Magnetsysteme, Haftmagnetsysteme usw.

Ferrite bestehen aus Eisenoxid und Oxiden zweiwertiger Metalle, z.B. BaO, NiO, ZnO, MnO. In Rührwerken oder Trommelmischern werden die Oxide unter Wasserzusatz gemahlen und gemischt. Danach erfolgt eine Brikettierung und ein Vorbrennen bei etwa 1000 °C. Damit beginnt die Ferritbildung. Es folgt ein zweiter Mahl- und Mischprozeß in Backenbrechern, Schwing- oder Kugelmühlen, danach steht eine preßfähige, plastische Masse zur Verfügung, die einer genauen Kontrolle der Kernzusammensetzung unterliegt. Die eigentliche Formgebung der Ferritbauteile erfolgt im Strangpreßverfahren oder in Preßformen aus Sonderstahl. Dann folgt das eigentliche Brennen in einer Schutzgasatmosphäre bei Temperaturen von 1100 °C...1350 °C. Da manche Bauteile engtolerierete Maße aufweisen, erfolgt abschließend ein Schleifen auf Sollmaß.

Die vielen, bei diesem Produktionsprozeß auftretenden Einflüsse,

Tabelle 1 Werkstoffdaten für weichmagnetisches Manifer
Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf

Werkstoff Manifer	obere Frequenz- grenze f_{\max} MHz	Anfangs- permea- bilität $\mu_1 \pm 20\%$	relativer Verlust- faktor $\tan \delta/\mu_1$ in 10^{-6}	bei Frequenz f MHz	relativer Temperatur- koeffizient $\alpha\mu_1/\mu_1$ in $10^{-6}/\text{grad}$	Curie- Temperatur °C	Vorzugsbauformen
1	2	3	4	5	6	7	8
110	3	100	30/60	0,05/1	18	>300	Zylinderkerne
140	2	400	15/45	0,05/0,5	8	>180	Zylinderkerne Topfkerne
143	1,6	600	16/40	0,5/1,6	0,5...2,5	>190	Schalenkerne
150	0,5	800	7/100	0,005/0,5	7,5	>110	Ringkerne Jochringkerne
163	0,5	1000	4/30	0,05/0,5	0,5...2,5	>150	Schalenkerne Schenkelkerne
164	0,5	-	6/40	0,05/0,5	2,5	>160	E-Kerne, U-Kerne für Leistungs- transformatoren
174	-	-	-	-	2,5	>160	E-Kerne, U-Kerne für Leistungs- transformatoren
183	0,2	2200	1,5/6	0,01/0,1	0,5...1,5	>140	Schalenkerne, Ring- kerne, E/X/W-Kerne
184	-	-	-	-	-	>150	E-Kerne, U-Kerne für Leistungstrafos
193	0,1	3500	3/10	0,02/0,1	1,5	>150	Schalenkerne, Ring- kerne, E-Kerne
195	0,1	5000	4/15	0,02/0,1	0,6...1,8	>110	Schalenkerne, Ring- kerne, E/X/W-Kerne
220	50	15	200/480	10/50	<20	>500	Zylinderkerne ohne Gewinde und Loch
230	25	36	150/200	1/10	<16	>400	Zylinderkerne
240	6	120	115/140	0,5/5	<14	>340	Antennenstäbe
250	2,5	240	30/70	0,1/1	<8	>240	Antennenstäbe, Topfkerne
270	-	1500	13/35	0,01/0,1	-	>100	Ringkerne für Entstörzwecke
320	250	10	160/1000	50/200	-80...+50	>500	Zylinderkerne
321	100	20	150/800	20/100	30	>500	Zylinderkerne
330	50	35	80/800	10/50	15	>450	Zylinderkerne
340	10	100	60/80	2/5	2...8	>360	Antennenstäbe
343	10	100	50/80	1,5/5	1...6	>360	Schalenkerne
360	2	300	6/40	0,05/1	0...8	140	Antennenstäbe, Topfkerne

wie chemische Zusammensetzung, Mischungsverhältnisse der Oxide, Temperatur, Brennzeit, Brennatmosphäre usw., würden eine Vielzahl von Ferritwerkstoffen ergeben. Das wäre aber nicht ökonomisch, deshalb wird eine Beschränkung auf eine möglichst geringe Anzahl von *Manifer*-Werkstoffen vorgenommen. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die im Kombinat VEB *Keramische Werke* Hermsdorf produzierten *Manifer*-Werkstoffe, wobei ältere Werkstoffe zur Information ebenfalls mit aufgenommen wurden. Für den Amateurbereich interessieren die *Manifer*-Werkstoffgruppen 100, 200 und 300. Alle anderen *Manifer*-Werkstoffgruppen sind für spezielle Anwendungsgebiete gedacht, sie werden hier nur zur Information erwähnt. Die erste Ziffer des *Manifer*-Werkstoffs gibt die Zugehörigkeit zur entsprechenden *Manifer*-Werkstoffgruppe an.

Manifer-Werkstoffgruppe 100

Diese Gruppe bilden die Mn-Zn-Ferrite. Neben Fe_2O_3 enthält die Zusammensetzung ZnO und MnO in bestimmten Verhältnissen. Die Anfangspermeabilität ist hoch (100 bis 5000), der Frequenz-Anwendungsbereich geht bis etwa 3 MHz. Die sich aus Hysterese-, Nachwirkungs- und Wirbelstromverlusten zusammensetzenden Gesamtverluste müssen klein sein, damit eine hohe elektrische Güte erreicht wird.

Manifer-Werkstoffgruppe 200

Die Gruppe der undotierten Ni-Zn-Ferrite ist eingeordnet unter *Manifer 200*, dabei handelt es sich um veraltete Erzeugnisse. Sie werden nur für einige Spezialzwecke noch gefertigt (z. B. Dämpfungsferrite).

Manifer-Werkstoffgruppe 300

Das sind ebenfalls Ni-Zn-Ferrite, allerdings mit einem Fe-Überschuß und geringen Co-Datierungen (sogenannte Perminvar-Charakteristik). Sie zeigen bei Aussteuerung unter der Öffnungsfeldstärke eine strichförmige Hysteresisschleife; und daher minimale Hysteresisverluste. Durch Variation des Ni-Zn-Verhältnisses kann die Anfangspermeabilität bis etwa 5000, für eine brauchbare praktische Verwendung bis etwa 1500 eingestellt werden. Für hohe Frequenzen werden sie nicht dicht gesintert, damit die Wirbelstromverluste nicht zu stark ansteigen. Perminvar-Ferrite erhalten ihre hohen Güten erst nach

einer feldfreien thermischen Nachbehandlung unterhalb der Curie-Temperatur. Bei Aussteuerung über die Öffnungsfeldstärke steigen die Verluste irreversibel an und können nur durch Wiederholung der thermischen Nachbehandlung auf ihren ursprünglichen Wert verringert werden. Der Frequenz-Anwendungsbereich reicht von 1 bis 250 MHz.

Manifer-Werkstoffgruppe 400

Diese Ferrite sind magnetostruktive Ferrite. Das Fi-Ferrit hat den größten Wert der Sättigungsmagnetostruktion. Anwendungsgebiete sind magnetomechanische Filter und die Ultraschallerzeugung. Die erreichbaren magnetomechanischen Güten sind außerordentlich hoch. Durch geringe CoO-Zusätze kann die Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz sehr klein gehalten werden. Die Abmessungen bestimmen die Resonanzfrequenz. Außerdem ersetzen diese Ferrite teure Quarze und Bariumtitanate. Die Bauformen sind Ringkerne bzw. Zylinderkerne zum Aufbau von Ringschwingern, Dicken-schwingern und Torsionsschwingern. Der Werkstoff *M 410* wird bis 500 kHz verwendet, die magnetomechanische Güte ist >2500 . Die Verwendung für *M 420* ist gegeben für $f = 60$ kHz und der Güte >4000 .

Manifer-Werkstoffgruppe 500

Diese Werkstoffgruppe wird verwendet zur Herstellung der in der Datenverarbeitung benötigten Speicherringe (0,4 bis 2,0 mm Außendurchmesser) und Schaltringkerne (2,0 bis 10,0 mm Außendurchmesser). Für eine Anwendung in der HF-Technik sind diese Speicherringe nicht geeignet.

Manifer-Werkstoffgruppe 600

Mn-Mg-Ferrite mit oder ohne Al-Zusätze sind der Werkstoff für Bauteile der Mikrowellentechnik. Bei Frequenzen >10 GHz werden Ni-Zn-Ferrite eingesetzt, für temperaturstabile Bauteile dient Ni-Al-Ferrit. Diese Werkstoffe werden als Ferrit mit Spinellstruktur bezeichnet. In dieser Gruppe gibt es noch die Granatwerkstoffe, die einen hohen Prozentsatz der Oxide der seltenen Erden Yttrium und Gadolinium enthalten, die aber sehr rein eingesetzt werden müssen. An Stelle der Y-Gd-Mischgranate können auch Bi-Ca-V-Granate ver-

wendet werden. Vorzugsweise Frequenz-Anwendungsbereiche sind

1... 3 GHz: Granatwerkstoffe *M 650, M 651, M 655*;

3...10 GHz: Spinellwerkstoffe *M 610, M 620, M 630, M 631*;

8...25 GHz: Spinellwerkstoffe *M 640, M 641, M 642*.

Bauformen sind Stäbe, Zylinder, Platten oder Scheiben.

Manifer-Werkstoffgruppe 700

Verbindungen dieses Typs bezeichnet man als hexagonale Ferrite mit magnetischer Vorzugsebene. Sie haben eine relativ hohe Anfangspermeabilität von 20 bis 30, die durch Drehung der Magnetisierung in der Vorzugsebene entsteht. Sie können in einem Frequenzbereich von 100 MHz bis 1 GHz eingesetzt werden. Allerdings ist zu ihrer Herstellung eine aufwendige Technologie erforderlich.

Begriffsbestimmungen

Permeabilität μ

Unter Permeabilität eines magnetischen Werkstoffs wird allgemein das Verhältnis der magnetischen Induktion B zur magnetischen Feldstärke H verstanden.

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = \frac{B}{H},$$

wobei μ_0 die Induktionskonstante bzw. die absolute Permeabilität des Vakuums bedeutet.

Der Ausdruck $\mu_r = 1/\mu_0 \cdot B/H$ wird als relative Permeabilität bezeichnet.

Anfangspermeabilität μ_1

Die Anfangspermeabilität μ_1 ist der Grenzwert der relativen Permeabilität für die Feldstärken $H \rightarrow 0$. Sie kann an einem geschlossenen, entmagnetisierten und mit einer Wicklung versehenen Ringkern aus der Beziehung für die Induktivität einer Ringkernspule

$$L = \mu_1 \cdot \mu_0 \cdot w^2 \cdot \frac{A}{l}$$

(L in H) ermittelt werden.

Hierbei ist

μ_1 – Anfangspermeabilität;

μ_0 – Induktionskonstante = $4\pi \cdot 10^{-9}$ Vs/Acm;

A – Kernquerschnitt in cm^2 ;

w – Windungszahl;

l – magnetische Weglänge in cm.

Die in Tabelle 1 angegebenen Eigenschaften wurden mit einem Ringkern ermittelt mit den Abmessungen

36 mm Außendurchmesser,

28 mm Innendurchmesser,

10 mm Höhe.

Die Daten können nicht ohne weiteres auf andere Bauformen übertragen werden. Neben der Kompliziertheit der Bauform und der damit verbundenen Streufelder geht hier besonders das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen des Körpers ein. Große Oberflächen bei kleinen Volumen bewirken im allgemeinen kleinere Permeabilitäten und größere Verluste.

Wirksame Permeabilität μ_w

Die wirksame Permeabilität eines Magnetkerns in einer Spule ergibt sich aus dem Verhältnis der Induktivität L der Spule mit Kern zu der Induktivität L_0 der Leerspule (d.h. derselben Spule ohne Kern) zu

$$\mu_w = \frac{L}{L_0}.$$

Die wirksame Permeabilität μ_w ist kein Werkstoffkennwert und wird nur im Zusammenhang mit Zylinder-, Rohr- und Stabkernen (Antennenstäbe) verwendet. Sie ist außer von der Werkstoff- (d.h. Anfangs-) Permeabilität von der Kernform sowie von den Spulendaten und von der Stellung des Kerns in der Spule abhängig. Der Begriff der wirksamen Permeabilität wird auch bei Anwendungen mit Vormagnetisierung gebraucht.

Gescherte oder effektive Permeabilität μ_e

Durch Einfügen eines Luftspalts in einen Kern mit magnetisch geschlossenem Weg (z.B. Ringkern, Schalenkern, E-Kern) tritt eine «Scherung» ein. An Stelle der Anfangspermeabilität μ_1 erhält man die sogenannte gescherte (Anfangs-) Permeabilität μ_e , da eine Spule mit geschertem Kern eine entsprechend niedrigere Induktivität

$$L_e = \mu_e \cdot \mu_0 \cdot w^2 \cdot \frac{1}{\sum \frac{l}{A}}$$

hat. Für die gescherte Permeabilität ergibt sich daraus

$$\mu_e = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{L_e}{w^2} \cdot \sum \frac{l}{A}$$

Die Induktivität L_e verhält sich zur Induktivität L der Spule mit ungeschertem Kern (d.h. mit Kern ohne Luftspalt) wie die gescherte Permeabilität zur Anfangspermeabilität. Es gilt demgemäß die Beziehung

$$\frac{L_e}{L} = \frac{\mu_e}{\mu_1}$$

Induktivitätsfaktor A_L

Der Induktivitätsfaktor (A_L -Wert) wird für die Berechnung von Spuleninduktivitäten verwendet. Unter dem Induktivitätsfaktor A_L einer Spule wird die auf die Windungszahl $w = 1$ bezogene Induktivität in $nH = 10^{-9}$ H verstanden, d.h., es gilt

$$A_L = \frac{L}{w^2} \quad \text{oder} \quad A_L = \frac{L_e}{w^2}$$

(A_L in nH), je nachdem, ob es sich um einen ungescherten oder gescherten Kern handelt, wobei L bzw. L_e in nH einzusetzen ist.

Für die gescherte Permeabilität μ_e erhält man dann

$$\mu_e = \frac{1}{\mu_0} \cdot A_L \cdot \sum \frac{l}{A},$$

d.h., die gescherte Permeabilität μ_e ist dem A_L -Wert und dem Formfaktor proportional.

Relativer Verlustfaktor $\tan \delta_K / \mu_1$

Durch Scherung, d.h. durch Einfügen eines Luftspaltes in einen geschlossenen magnetischen Kreis, wird der Verlustfaktor des magnetischen Kernwerkstoffs $\tan \delta_K$ praktisch im gleichen Verhältnis wie die Permeabilität reduziert. Es gilt in erster Näherung

$$\frac{\tan \delta_K}{\mu_1} = \frac{\tan \delta_K'}{\mu_e};$$

δ_K - Verlustwinkel des ungescherten magnetischen Kerns;
 δ_K' - Verlustwinkel des gescherten magnetischen Kerns;
 μ_1 - Anfangspermeabilität;
 μ_e - gescherte Permeabilität.

Der Ausdruck $\tan \delta_K / \mu_1$ wird als relativer Verlustfaktor bezeichnet, er ist eine Werkstoffkonstante und gestattet den Vergleich verschiedener magnetischer Ferritwerkstoffe hinsichtlich ihrer Verlusteigenschaften unabhängig von ihrer Anfangspermeabilität.

Relativer Temperaturkoeffizient der Anfangspermeabilität

Der relative Temperaturkoeffizient der Anfangspermeabilität

$$\frac{\alpha \mu_1}{\mu_1} = \frac{1}{\mu_1} \cdot \frac{\Delta \mu_1}{\mu_1 \Delta T}$$

ist eine von der Scherung unabhängige Werkstoffkonstante. Der Temperaturkoeffizient eines gescherten Kernes ergibt sich aus dem in Tabelle 1 angegebenen relativen Temperaturkoeffizienten durch Multiplikation mit der gescherten Permeabilität μ_e .

Curie-Temperatur

Bei Überschreiten der Curie-Temperatur verschwindet die spontane Magnetisierung, da die thermische Energie die Größe der Austauschwechselwirkungsenergie erreicht und demzufolge für eine statistische Verteilung der magnetischen Momente im Spinellgitter sorgt. Die Curie-Temperatur ist eine Funktion der chemischen Zusammensetzung und kann von einigen °K bis etwa 950 °K durch Änderung der Zusammensetzung variiert werden.

Bauteile aus Manifer-Werkstoffen

Zylinderkerne

Sie werden in den Bauformen

- Zylinderkerne ohne Gewinde ohne Bohrung (Bild 1 a oben),
- Zylinderkern ohne Gewinde mit Bohrung (Bild 1 a unten),
- Zylinderkern mit Gewinde (Bild 1 b, Form A und B)

hergestellt. Sie werden vorwiegend als Abgleichelemente von HF-Spulen, z.B. in ZF-Bandfilterspulen, Oszillator- und Vorkreis-spulen von Rundfunkempfängern sowie in der Fernsehetechnik, kommer-

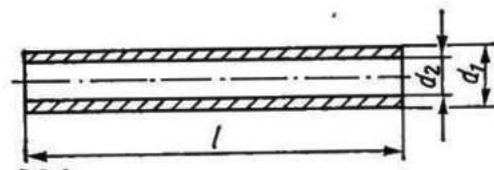
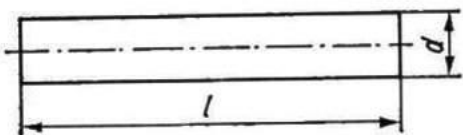


Bild 1a
Zylinderkerne ohne Gewinde

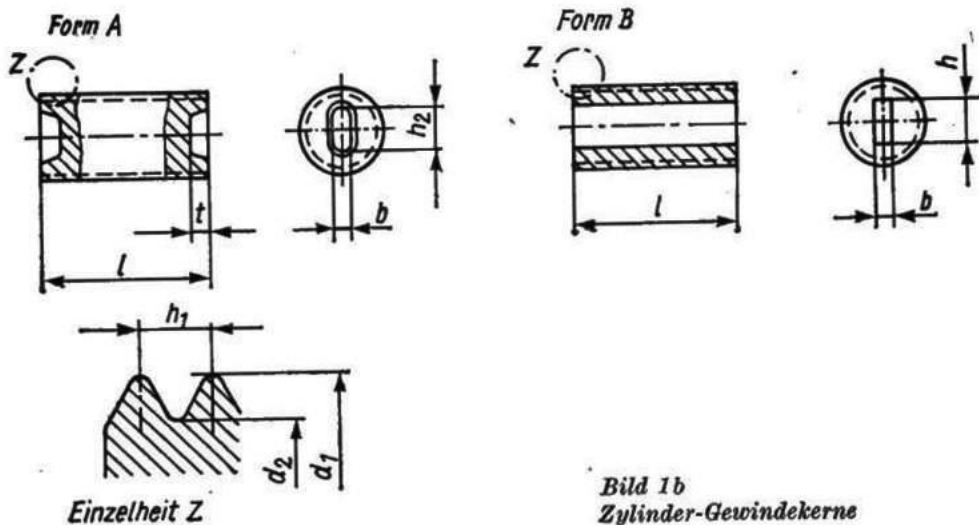


Bild 1b
Zylinder-Gewindekerne

ziellen Technik und übrigen Elektronik, eingesetzt. Zylinderkerne mit Bohrung werden auch für Abstimvariometer und vor allem für Dämpfungszwecke verwendet. Für die Auswahl des geeigneten Werkstoffs sind die in Tabelle 1 zugeordneten Frequenzen bestimmend. Vorzugsweise sind zu verwenden *Manifer 140*, *Manifer 320*, *Manifer 321* und *Manifer 330*.

Durch Eintauchen eines Ferrit-Zylinderkerns in eine Spule kann neben einer Induktivitätserhöhung bei geeigneter Werkstoffauswahl auch eine erhebliche Güteerhöhung gegenüber der Spule ohne Kern erzielt werden. Somit sind die wirksame Permeabilität und der Gütefaktor als wichtigste Kennwerte eines Zylinderkerns anzusehen. Die Güte Q wird für jeden Kerntyp durch einen vorliegenden Grenzkern festgelegt. Dieser Kern ist ein minimaler Grenzkern, d.h., die Güte der ausgelieferten Kerne liegt darüber. Die Meßfrequenz für die Güte wird nach der Betriebsfrequenz festgelegt, siehe Tabelle 2. Tabelle 3 bis Tabelle 5 geben Werte zum Vorzugsprogramm der Zylinderkerne an.

Tabelle 2 Meßfrequenzen für Zylinderkerne

Betriebsfrequenz in MHz	Meßfrequenz in MHz	Werkstoff
1	0,5	Manifer 110, 140, 163
1...3	1	Manifer 110, 140, 163
3...20	10	Manifer 330, 340
20...60	30	Manifer 321
60...150	90	Manifer 320
150...230	230	Manifer 310, 320

Tabelle 3 Zylinderkerne ohne Gewinde ohne Bohrung (Vorzugsprogramm) (Bild 1a, Abmessungen in mm)

$d - 0,1$	$l \pm 0,5$	Werkstoff	Meßfrequenz MHz
1,8	7	163, 320	0,5; 90
2,0	12	140, 330	1,0; 10
	15	140	1,0
2,5	12	140	1,0
3	7	320	90
	12	140, 320, 321, 330	1,0; 90; 30; 10
	15	140, 320, 321, 330	1,0; 90; 30; 10
3,5	10	140, 320, 321, 330	1,0; 90; 30; 10
	12	140	1,0
	15	140	1,0
4,0	15	140, 330	1,0; 10
	30	140	1,0
4,2	12	321	30
	15	140, 330	1,0; 10
5,0	38	164	0,5
6,0	38	140	0,5

Tabelle 4 Zylinderkerne ohne Gewinde mit Bohrung (Vorzugsprogramm) (Bild 1a, Abmessungen in mm)

$d_1 \pm 0,3$	$d_2 \pm 0,3$	$l \pm 0,5$	Werkstoff	Verwendung
3	1	10	150	Dämpfung bis 250 MHz
5	1,5	10	163	Korrekturspule bei 16 kHz
5 - 0,1	1,5	30 ± 0,2	140	Variometer bis 1,7 MHz
5	2,6	5	150	Dämpfung bis 250 MHz
6	1,5	10	150	Dämpfung bis 250 MHz
10	2,0	30	163	Dämpfung

Tabelle 5 Zylinderkerne mit Gewinde (Vorzugsprogramm)
(Bild 1b, Abmessungen in mm)

Form	b	d ₁	d ₂	h ₂	l	h ₁	t	l	Muttergewinde
A	0,7 ± 0,15	3,75 - 0,1	3,25	2,0 - 0,5	12	0,5	1,5 + 0,4	12	M4 × 0,5
B	0,6 + 0,2	3,75 - 0,1	3,25	1,6 + 0,2	12	0,5	-	12	M4 × 0,5
A	0,6 + 0,4	4,7 - 0,16	3,9	1,8 + 0,5	13	0,75	1,2 + 0,5	13	M5 × 0,75
A	0,6 + 0,4	5,7 - 0,15	4,9	2,5 + 0,5	13	0,75	1,2 + 0,5	13	M6 × 0,75
A	1,0 + 0,5	6,7 - 0,15	5,9	3,5 + 0,5	17	0,75	1,5 + 0,5	17	M7 × 0,75
A	1,0 + 0,5	6,65 - 0,15	5,55	3,5 + 0,5	12	1,0	1,5 + 0,5	12	M7 × 1,0
A	1,0 + 0,5	6,65 - 0,15	5,55	3,5 + 0,5	17	1,0	1,5 + 0,5	17	M7 × 1,0
A	1,0 + 0,5	7,7 - 0,15	6,9	4,0 + 0,5	23	0,75	1,5 + 0,5	23	M8 × 0,75

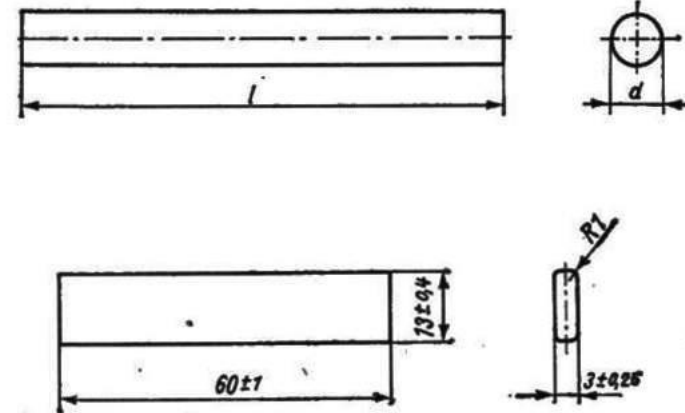


Bild 2
Manifer-Antennenstäbe

Antennenstäbe

Antennenstäbe sind stabförmige Kerne, die zur Aufnahme elektromagnetischer Feldenergie verwendet werden. Sie werden vorwiegend in Transistor-Kofferempfängern und in Taschensupern eingesetzt. Bild 2 zeigt oben die Ausführung mit rundem Querschnitt, darunter die flache Ausführung, die nur mit den angegebenen Maßen produziert wird. Verwendet werden die Werkstoffe *Manifer 340* (Wellenbereiche K-M-L) und *Manifer 360* (Wellenbereiche M-L). Tabelle 6 gibt eine Übersicht über das Produktionsprogramm von Antennenstäben mit rundem Querschnitt. Früher wurden als Material auch *Manifer 240* und *Manifer 250* eingesetzt. Es gilt folgende Farbkennzeichnung:

<i>Manifer 240</i>	rot-gelb,
<i>Manifer 250</i>	rot-grün,
<i>Manifer 340</i>	orange-gelb,
<i>Manifer 360</i>	orange-blau.

Tabelle 6 Antennenstäbe mit rundem Querschnitt (Bild 2)

Durchmesser in mm	Länge in mm	zulässige Durchbiegung in mm
8 ± 0,3	63	0,6
	100	± 0,5
	125	
	160	
10 ± 0,3	145	± 0,5
	160	
	200	
10 ± 0,4	240 - 6	2,4

Die Antennenstäbe werden in bezug auf μ_w und Q einer elektrischen Kontrolle unterzogen. Die Messungen erfolgen dabei nicht in Absolutwerten, sondern als relative Messungen, d.h. durch Vergleich mit festgelegten Null- und Grenzstäben.

Topfkerne

Topfkerne werden zum Aufbau kleiner, streuarmer Induktivitäten verwendet. Vorwiegendes Einsatzgebiet ist die Rundfunktechnik (ZF-Bandfilter, Oszillatorspule, Stereodekoderspulen). Die Kernaussparung mit konischer Aussparung (Bild 3) eignet sich besonders für ZF-Bandfilter. Die magnetische Kopplung eines zweikreisigen ZF-Bandfilters kann durch Drehung der ausgesparten Topfkerne eingestellt werden. Weitere Ausführungsformen zeigt Bild 3. Dazu gibt

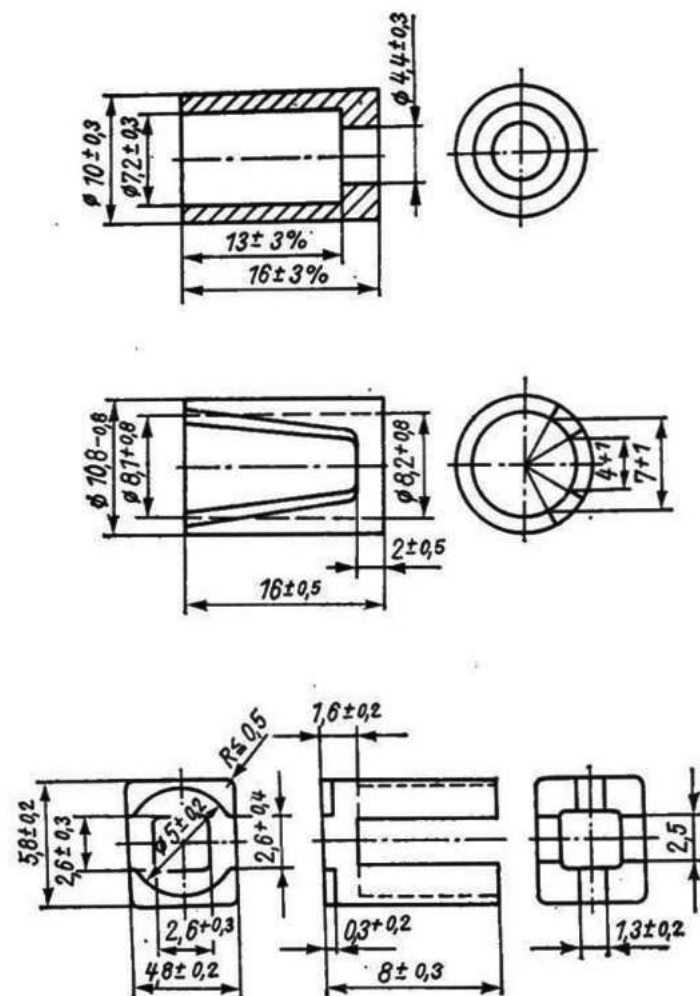


Bild 3 Topfkernformen aus Manifer

es noch eine Ausführung mit geschlossenem Boden, die vom Anwender mit einem Kunststoff-Gewindekopf versehen wird. Der Außendurchmesser ist 7 mm, der Innendurchmesser 5,4 mm und die Höhe 6,2 mm. Topfkerne werden für Frequenzen bis etwa 1,7 MHz aus *Manifer 140*, *Manifer 163* oder *Manifer 360* hergestellt. Für 10,7 MHz steht *Manifer 330* zur Verfügung.

Mehrlochkerne

Drosselkerne werden zur Dämpfung von Störstrahlungen im Bereich der HF-Technik eingesetzt. Die Impedanz eines Leiters wird durch Auffädeln eines Zylinderkerns mit Bohrung erheblich erhöht. Die Verwendung von Breitbanddrosselkernen erfolgt in der Rundfunk- und Fernsehgeräteindustrie zur Vermeidung unerwünschter Kopplungen. Ausführungsformen zeigt Bild 4, die Bewicklung erfolgt seitens der Anwender. Drosselkerne werden aus den Werkstoffen *Manifer 150* und *Manifer 250* hergestellt. Kerne aus *Manifer 150* sind vorzugsweise für Drosseln bis etwa 250 MHz geeignet, während Kerne aus *Manifer 250* günstiger für höhere Frequenzen bis 800 MHz eingesetzt werden.

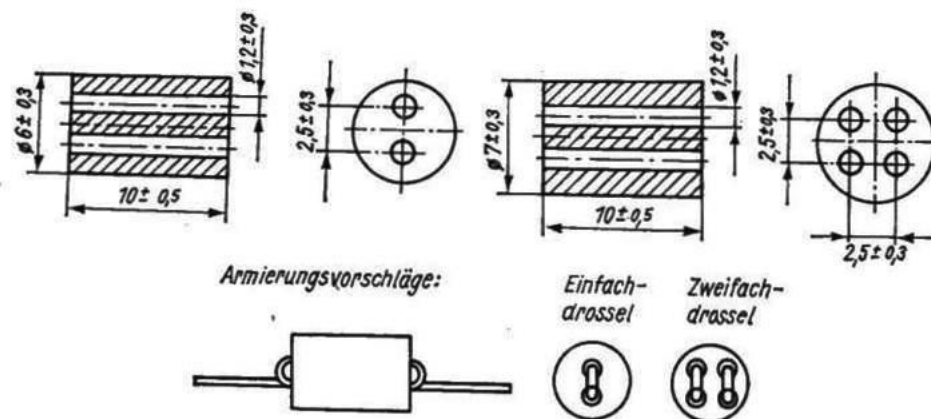


Bild 4 Mehrlochkerne aus Manifer

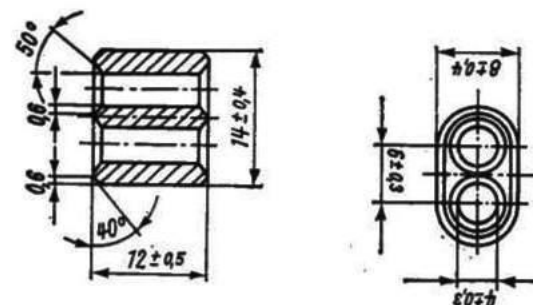


Bild 5 Doppellochkerne für Symmetrieglieder

Doppellochkerne

Doppellochkerne werden zur Herstellung von breitbandigen Symmetrierübertragern im VHF-Bereich, Fernseh- und Hörrundfunkbereich von 40 bis 250 MHz verwendet. Diese Übertrager sind geeignet, Wellenwiderstände von HF-Kabeln, Eingangswiderstände von Fernseh- und UKW-Rundfunkempfangsgeräten oder -verstärkern und Fußpunktswiderstände von Antennen mit 240Ω symmetrisch in 60Ω asymmetrisch oder umgekehrt anzupassen. Bild 5 zeigt diesen Doppellochkern, der aus *Manifer 240* hergestellt wird.

Ringkerne

Ringkerne sind Bauelemente für Geräte der Nachrichten-, Meß- und Regelungstechnik. Außerdem findet man sie bei der Herstellung von Entstördrosseln. Die Bauformen zeigt Bild 6, Tabelle 7 gibt die Vorzugswerte für Ringkerne an. Als Kernmaterial können die Werkstoffe nach Tabelle 1 eingesetzt werden.

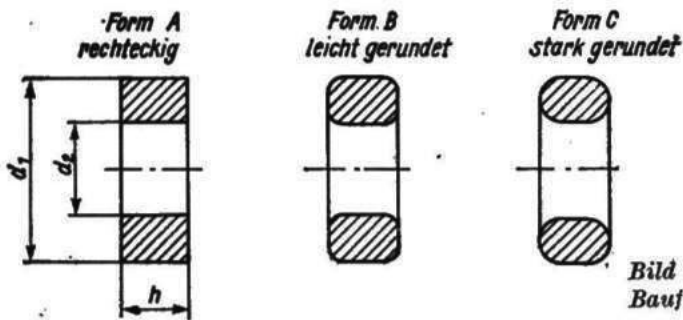


Bild 6 Bauformen der Ringkerne

Tabelle 7 Ringkerne (Bild 6)

d_1 in mm	d_2 in mm	h in mm
25	15	8
		10
		20
40	20	10
		15
		20
60	30	7
		10
		15
		20
		20
80	60	20
120	90	20
		30
		30
120	70	30

Nenngrößen 11x6 und 14x8

Nenngrößen 18x11 bis 36x22

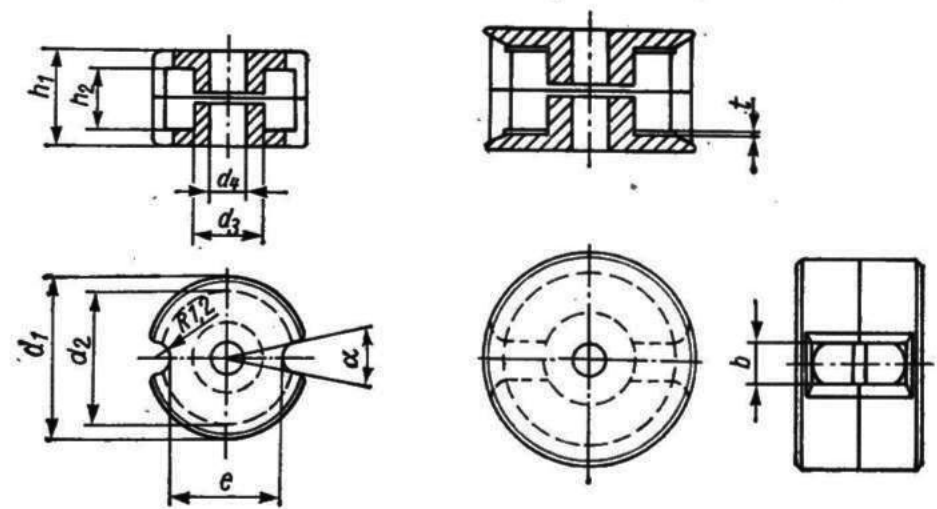


Bild 7 Bauformen der Schalenkerne

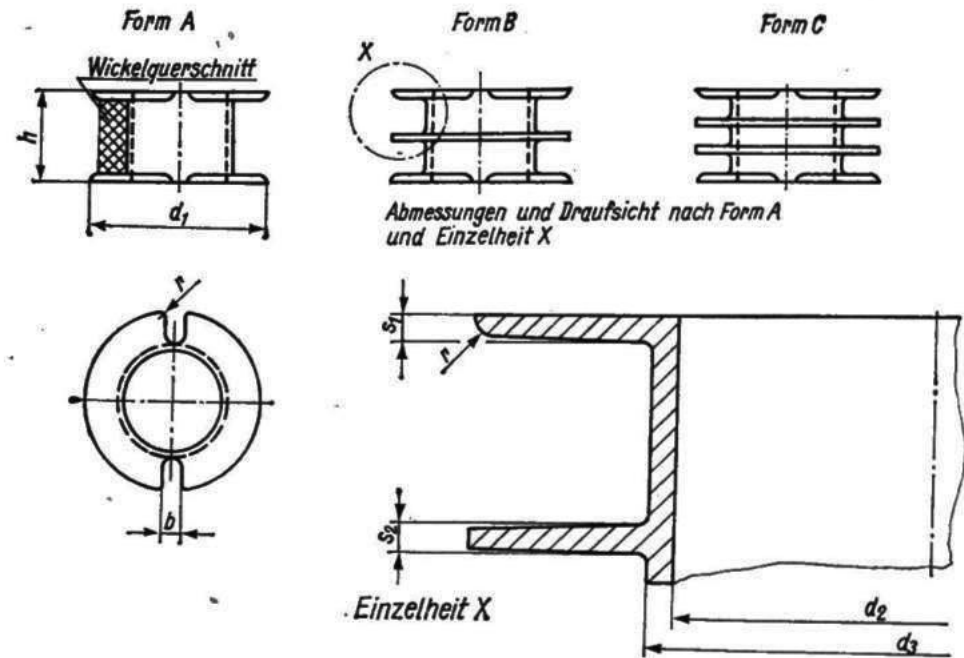


Bild 8 Bauformen der Spulenkörper für Schalenkerne

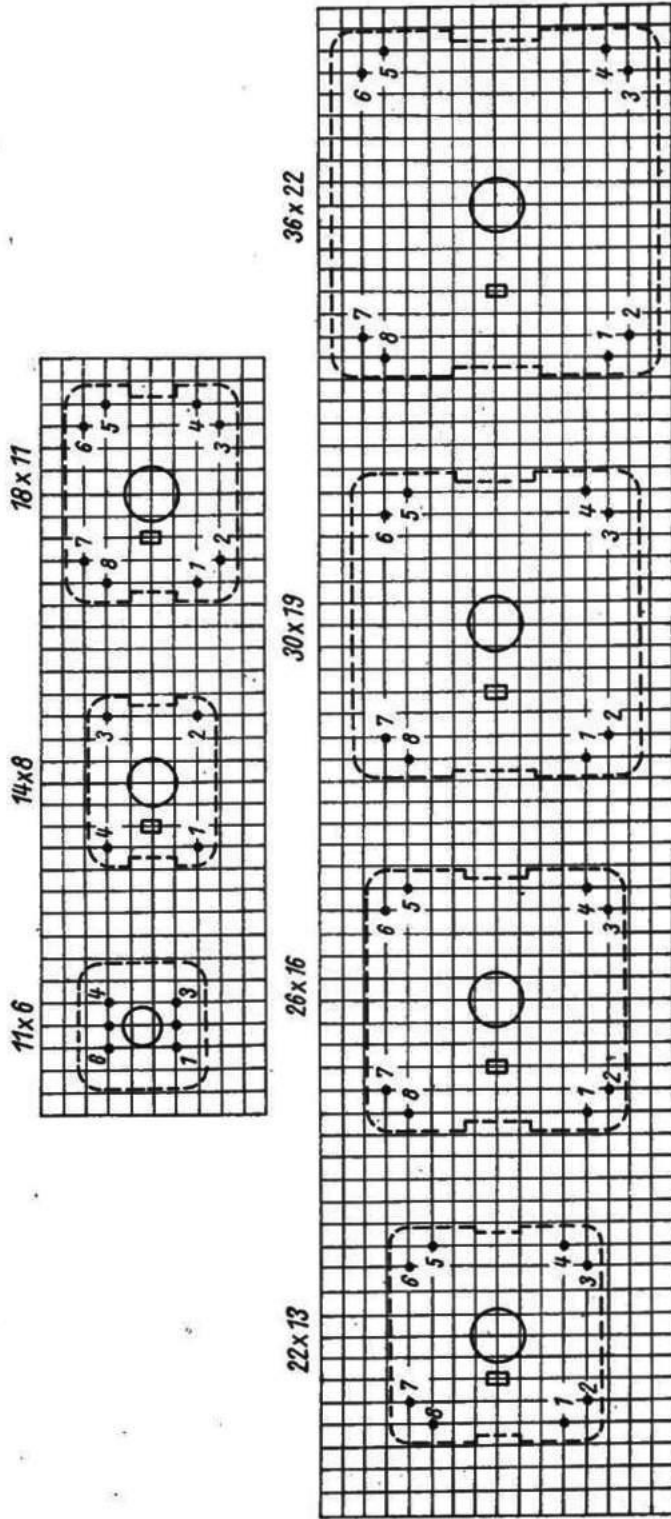


Bild 9 Rastermaße der Schalenkern-Armierungen für gedruckte Verdrahtungen

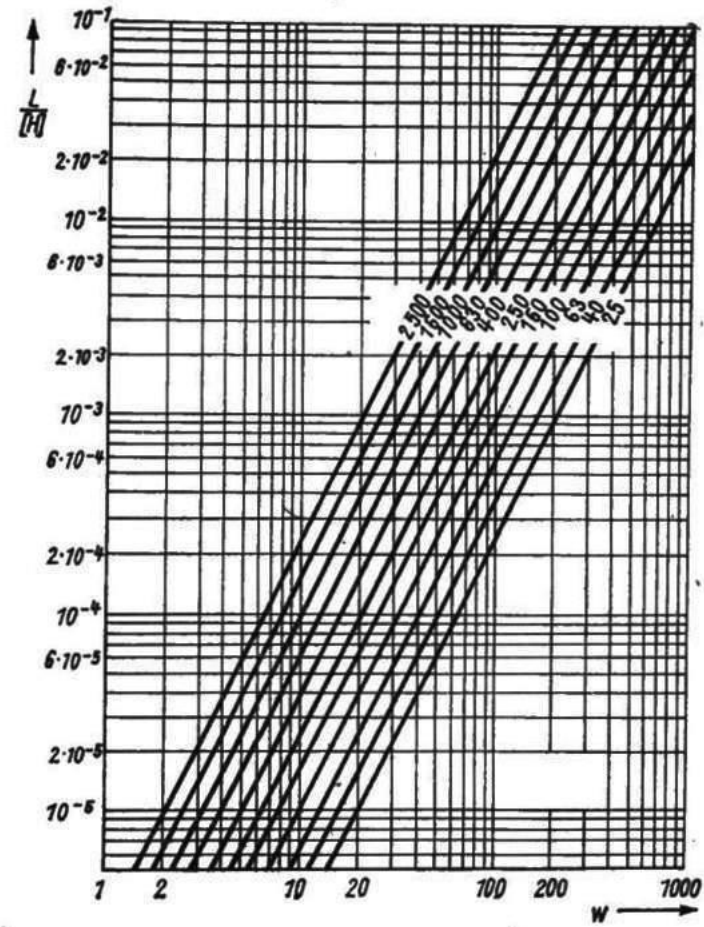


Bild 10 Diagramm zur Bestimmung von Induktivität, Windungszahl oder A_L -Wert bei Schalenkernen

Schalenkerne werden aus den Ferritwerkstoffen *Manifer 143*, *Manifer 163*, *Manifer 183* und *Manifer 343* hergestellt und als Kernmaterial in hochwertigen, konstanten und abgleichbaren Induktivitäten eingesetzt. Zu einem Satz Schalenkerne gehören je zwei Schalenkernhälften, die an den geschlossenen Stoßflächen zusammengesetzt werden. Durch die geschlossene Bauform wird eine gute magnetische Abschirmung der Spule erzielt. Gescherte magnetische Kreise gewährleisten eine hohe zeitliche Konstanz, engtolerierete Induktivitäten sowie eine geringe Abhängigkeit von Vormagnetisierungsfeldern. Luftspalte < 0,2 mm werden asymmetrisch in nur eine Schalenkernhälfte und Luftspalte > 0,2 mm symmetrisch in beide Schalenkernhälften geschliffen. Für die verschiedenen Einsatzgebiete gibt Tabelle 8 die entsprechenden Werkstoffe an.

Für die Schalenkerne gibt es Armaturen für die normale Verdrahtungstechnik und für die Anwendung in gedruckten Schaltungen. Die zusammengehörenden Schalenkernhälften sind sorgfältig mit der Markierung (Farbstrich über beide Schalenkernhälften) in Übereinstimmung zu bringen. Zur Erhöhung der Induktivitätskonstanz und bei Verwendung in stoßbeanspruchten Geräten können die Schalenkernhälften mit Epoxydharz verklebt werden. Bei Schalenkernen mit asymmetrischem Luftspalt ist der Spulenkörper in die Schalenkernhälfte einzukleben, die den Luftspalt hat.

Bild 7 zeigt die Ausführungsformen der Schalenkerne, Bild 8 die verwendbaren Spulenkörper. Tabelle 9 und Tabelle 10 geben die wichtigsten Abmessungen der Schalenkerne und der Spulenkörper an. Für die Schalenkerne mit Armierung für die gedruckte Schaltungstechnik zeigt Bild 9 die Rastermaße. Bild 10 zeigt die Abhängigkeit der Induktivität von der Windungszahl und vom A_L -Wert, damit kann man die Spuleninduktivität einfach und schnell bestimmen.

Tabelle 8 Verwendungszwecke der Schalenkerne

Einsatzgebiet	Frequenzbereich	Werkstoff
Schwingkreisspulen	bis 150 kHz	Manifer 183
Filter hoher Güte	bis 600 kHz	Manifer 163
Übertrager	bis 1,5 MHz	Manifer 143
Spulen hoher Güte	bis 10 MHz	Manifer 343
Pupinspulen	bis 100 kHz	Manifer 183

Tabelle 9 Abmessungen der Manifer-Schalenkerne (Bild 7, Abmessungen in mm)

Neungröße	d_1	Abw.	d_2	Abw.	d_3	Abw.	d_4	Abw.	h_1	Abw.	Abw.	h_2	b	e	α	ϵ	
11 × 6	11,3	-0,4	8,8	+0,4	4,5	-0,2	1,8	+0,2	6,6	+0,3	-0,3	4,0	-	6,8	30°	-	+0,3
14 × 8	14,3	-0,5	11,6	+0,4	6,0	-0,2	3,0	+0,2	8,5	-0,3	-0,3	5,6	-	9,8	22°	-	+0,3
18 × 11	18,4	-0,8	14,9	+0,5	7,6	-0,3	3,0	+0,2	10,7	-0,3	-0,3	7,2	3,3	-	-	-	+0,3
22 × 13	22,0	-0,8	17,9	+0,6	9,4	-0,3	4,4	+0,3	13,6	-0,4	-0,4	9,2	3,3	-	-	-	+0,4
26 × 16	26,0	-1,0	21,2	+0,8	11,5	-0,4	5,4	+0,3	16,3	-0,4	-0,4	11,0	3,3	-	-	-	+0,5
30 × 19	30,5	-1,0	25,0	+0,8	13,5	-0,4	5,4	+0,3	19,0	-0,4	-0,4	13,0	3,8	-	-	-	+0,6
36 × 22	36,2	-1,2	29,9	+1,0	16,2	-0,6	5,4	+0,3	22,0	-0,6	-0,6	14,6	4,3	-	-	-	+0,6

Abw. = Abweichung

Tabelle 10 Spulenkörper für Schalenkerne (Bild 8, Abmessungen in mm)

Form	Schalen- kern	b + 0,2	d_1	Abw.	d_2	Abw.	d_3	Abw.	h	Abw.	r	s_1	s_2	Nutzbarer Wickelraum- querschnitt in mm ²	Mittlere Windungs- länge in cm
A	11× 6	1,6	8,6	-0,2	4,7	+0,1	5,6	-0,1	3,8	-0,1	0,5	0,45	0,4	2,7	2,2
A	14× 8	1,6	11,5	-0,2	6,1	+0,1	7,0	-0,1	5,4	-0,1	0,5	0,45	0,4	6,9	2,8
B		1,6	11,5	-0,2	6,1	+0,1	7,0	-0,1	5,4	-0,1	0,5	0,45	0,4	6,1	2,8
A	18× 11	2,0	14,8	-0,2	7,7	+0,2	8,8	-0,2	7,0	-0,2	0,5	0,5	0,4	14,1	3,6
B		2,0	14,8	-0,2	7,7	+0,2	8,8	-0,2	7,0	-0,2	0,5	0,5	0,4	18,0	3,6
C		2,0	14,8	-0,2	7,7	+0,2	8,8	-0,2	7,0	-0,2	0,5	0,5	0,4	11,9	3,6
A	22× 13	2,5	17,8	-0,2	9,6	+0,2	10,8	-0,2	9,0	-0,2	0,5	0,6	0,5	21,0	4,4
B		2,5	17,8	-0,2	9,6	+0,2	10,8	-0,2	9,0	-0,2	0,5	0,6	0,5	19,3	4,4
C		2,5	17,8	-0,2	9,6	+0,2	10,8	-0,2	9,0	-0,2	0,5	0,6	0,5	17,6	4,4
A	26× 16	2,5	20,9	-0,3	11,7	+0,2	12,9	-0,2	10,8	-0,2	0,5	0,6	0,5	31,6	5,2
B		2,5	20,9	-0,3	11,7	+0,2	12,9	-0,2	10,8	-0,2	0,5	0,6	0,5	29,6	5,2
C		2,5	20,9	-0,3	11,7	+0,2	12,9	-0,2	10,8	-0,2	0,5	0,6	0,5	27,6	5,2
A	30× 19	3,0	24,7	-0,3	13,7	+0,2	15,0	-0,2	12,8	-0,2	0,6	0,7	0,7	44,6	6,1
B		3,0	24,7	-0,3	13,7	+0,2	15,0	-0,2	12,8	-0,2	0,6	0,7	0,7	43,3	6,1
C		3,0	24,7	-0,3	13,7	+0,2	15,0	-0,2	12,8	-0,2	0,6	0,7	0,7	40,3	6,1
A	36× 22	3,0	29,6	-0,3	16,5	+0,2	17,9	-0,2	14,4	-0,2	0,7	0,8	0,8	65,0	7,3
B		3,0	29,6	-0,3	16,5	+0,2	17,9	-0,2	14,4	-0,2	0,7	0,8	0,8	60,3	7,3
C		3,0	29,6	-0,3	16,5	+0,2	17,9	-0,2	14,4	-0,2	0,7	0,8	0,8	56,1	7,3

Abw. = Abweichung