

DIN EN 60205

ICS 29.100.10

Entwurf

Einsprüche bis 2016-05-11
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60205:2009-08 und
DIN EN 60205
Berichtigung 1:2015-08

**Berechnung der effektiven Kernparameter magnetischer Formteile
(IEC 51/1111/CD:2015)**

Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts
(IEC 51/1111/CD:2015)

Calcul des paramètres effectifs des pièces ferromagnétiques
(IEC 51/1111/CD:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-03-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 63 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Grundregeln.....	4
3 Gleichungen für die verschiedenen Kerntypen	5
3.1 Ringkerne	5
3.2 U-Kernpaare mit rechteckigem Querschnitt	6
3.3 U-Kernpaare mit rundem Querschnitt	6
3.4 E-Kernpaare mit rechteckigem Querschnitt	7
3.5 ETD/EER-Kernpaare	9
3.6 Schalenkernpaare	10
3.7 RM-Kernpaare	12
3.8 EP-Kernpaare	15
3.9 PM-Kernpaare	16
3.10 EL-Kernpaare	17
3.11 ER-Kernpaare (niedriges Profil)	19
3.12 PQ-Kernpaare	21
3.13 EFD-Kernpaare	24
3.14 E-Planar-Kernpaare.....	25
3.15 EC-Kernpaare.....	27
Anhang A (informativ) Zweck der Überarbeitung	29

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 51/1111/CD:2015 „Calculation of the effective parameters of magnetic piece parts“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 51 „Magnetic components and ferrite materials“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 625 „Magnetische Bauelemente und deren Komponenten“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60205:2009-08 und DIN EN 60205 Berichtigung 1:2015-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) einige Gleichungen wurden abgeändert, um die tatsächliche Form besser zu beschreiben;
- b) Aufnahme neuer „EC-Kerntypen“.

Berechnung der effektiven Kernparameter magnetischer Formteile

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt einheitliche Regeln zur Berechnung von effektiven Kernparametern geschlossener magnetischer Kreise aus ferromagnetischen Werkstoffen fest.

2 Grundregeln

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Grundregeln.

2.1 Alle Ergebnisse sollten in Einheiten angegeben werden, die auf Millimeter beruhen und müssen drei signifikante Stellen aufweisen, wobei zur Herleitung von l_e , A_e und V_e jedoch die Werte von C_1 und C_2 auf fünf signifikante Stellen genau berechnet werden müssen. Alle Winkel werden in Radiant angegeben.

ANMERKUNG Der Zweck, diesen Genauigkeitsgrad festzulegen, dient nur der Sicherstellung, dass bei verschiedenen Herstellern berechnete Parameter identisch sind und nicht, dass die Parameter so genau bestimmt werden können.

2.2 $A_{\min}$ ist der Nennwert des kleinsten Querschnitts. Alle in die Berechnung von $A_{\min}$ eingehenden Maße müssen Mittelwerte der in den entsprechenden Formteilzeichnungen angegebenen Toleranzgrenzen sein.

Die physikalische Mindestquerschnittsfläche $A_{\min}$ wird gegeben als: $A_{\min} = \min(A_i)$

2.3 Die Berechnungen dürfen nur auf die Bestandteile eines geschlossenen magnetischen Kreises angewandt werden.

2.4 Alle Maße, die in die Berechnungen eingehen, müssen Mittelwerte der in den entsprechenden Formteilzeichnungen angegebenen Toleranzgrenzen sein.

2.5 Alle Unregelmäßigkeiten in der Ausführung eines Kerns wie kleine Einschnitte, Kerben, Fasen usw. müssen vernachlässigt werden, außer wenn es anderweitig beschrieben wird.

2.6 Wenn in der Berechnung spitze Ecken eines Formteils berücksichtigt werden, dann muss für die mittlere Flussweglänge dieser Ecke der mittlere Kreisbogen, der die Mittelpunkte der anliegenden Querschnitte verbindet, verwendet werden und für den dazugehörigen Querschnitt der Mittelwert der beiden anliegenden Querschnitte.

Berechnung der effektiven Parameter l_e , A_e und V_e .

Die effektiven Parameter können wie folgt definiert werden:

$$l_e = C_1^2 / C_2 \quad A_e = C_1 / C_2 \quad V_e = l_e A_e = C_1^3 / C_2^2$$

dabei ist

l_e die effektive magnetische Weglänge des Kerns (mm);

A_e die effektive Querschnittsfläche (mm²);

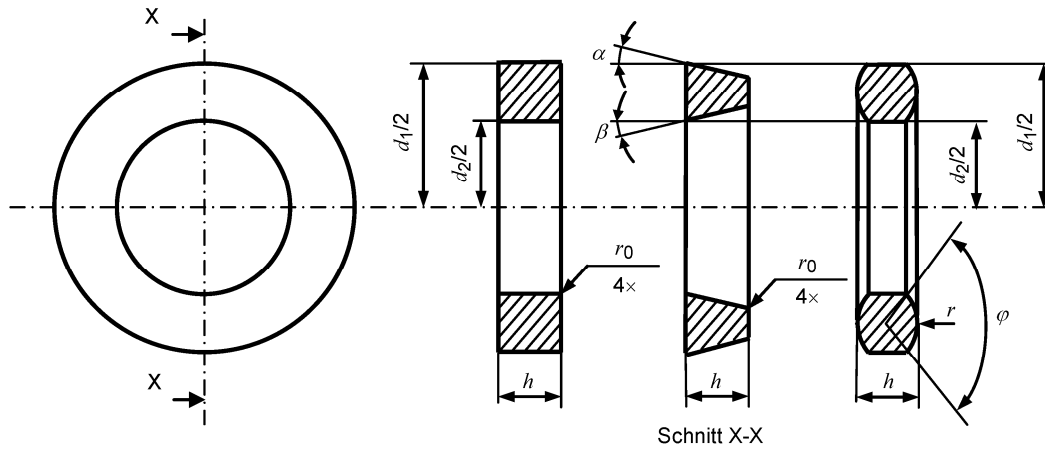
V_e das effektive Volumen (mm³);

C_1 die Kernkonstante (mm⁻¹);

C_2 die Kernkonstante (mm⁻³).

3 Gleichungen für die verschiedenen Kerntypen

3.1 Ringkerne



$$C_1 = \frac{2\pi}{h_e \ln(d_1/d_2)}$$

$$C_2 = \frac{4\pi(1/d_2 - 1/d_1)}{h_e^2 \ln^3(d_1/d_2)}$$

3.1.1 Für Ringkerne mit rechteckigem Querschnitt und scharfen Kanten

$$h_e = h$$

3.1.2 Für Ringkerne mit rechteckigem Querschnitt und einem merklichen mittleren Rundungsradius r_0

$$h_e = h(1 - k_1) \quad k_1 = \frac{1,7168 r_0^2}{h(d_1 - d_2)}$$

3.1.3 Für Ringkerne mit trapezförmigem Querschnitt und scharfen Kanten

$$h_e = h(1 - k_2) \quad k_2 = \frac{h(\tan \alpha + \tan \beta)}{d_1 - d_2}$$

3.1.4 Für Ringkerne mit trapezförmigem Querschnitt und einem merklichen durchschnittlichen Rundungsradius r_0

$$h_e = h(1 - k_1 - k_2)$$

3.1.5 Für Ringkerne mit einem Querschnitt, der kreisförmige Bögen an den Frontseiten besitzt

$$h_e = h - \frac{d_1 - d_2}{4 \sin^2(\varphi/2)} \left(2 \sin \frac{\varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

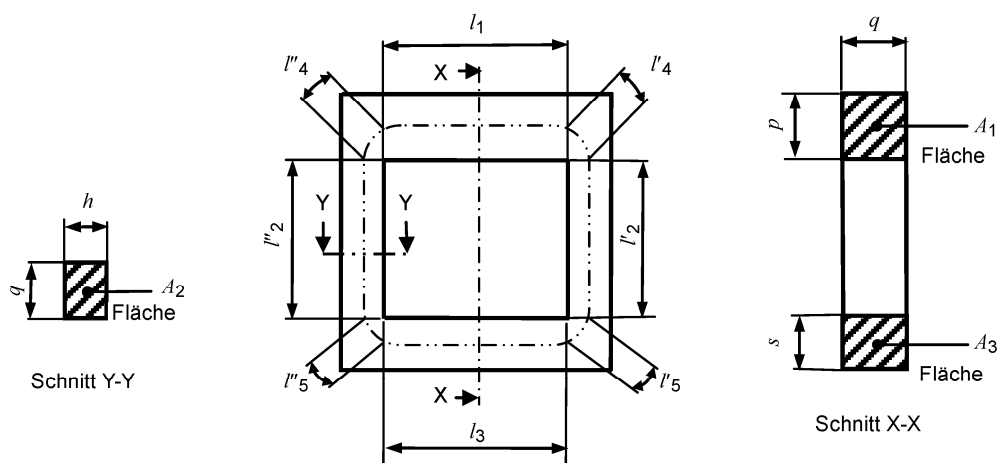
$$\varphi = 2 \arcsin \frac{d_1 - d_2}{4r}$$

ANMERKUNG Wenn die Wicklung gleichmäßig über dem Ringkern verteilt ist, dann ist zu erwarten, dass an allen Punkten innerhalb des Ringkernes die Flusslinien parallel zu seiner Oberfläche verlaufen.

Kein Streufluss wird daher den Ringkern verlassen bzw. in ihn eintreten. Dies rechtfertigt die Verwendung der theoretisch korrekteren Ableitung der effektiven Parameter, die nicht von der Annahme Gebrauch macht, dass der Fluss gleichmäßig über den Querschnitt verteilt sei.

3.2 U-Kernpaare mit rechteckigem Querschnitt

ANMERKUNG Für U + PLT(Blech)-Kerne werden die Gleichungen für U-Kerne verwendet.



Länge des zur Fläche A_2 dazugehörigen Flusspfades:

$$l_2 = l'_2 + l''_2$$

Mittlere Länge des Flusspfades an den Ecken:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(p + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(s + h)$$

Mittlere Fläche zu l_4 und l_5 :

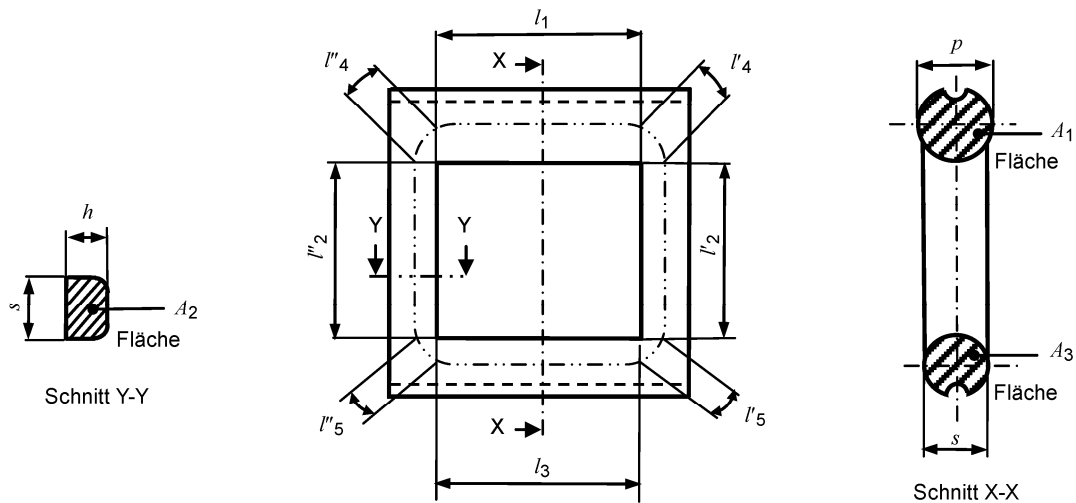
$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

3.3 U-Kernpaare mit rundem Querschnitt

ANMERKUNG Für U + PLT(Blech)-Kerne werden die Gleichungen für U-Kerne verwendet.



Für die Berechnung von A_2 sind alle zur Erleichterung der Herstellung eingeführten Rillen zu vernachlässigen.

Länge des zur Fläche A_2 dazugehörigen Flusspfades:

$$l_2 = l'_2 + l''_2$$

Mittlere Länge des Flusspfades an den Ecken:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4}(p + h)$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}(s + h)$$

Mittlere Fläche zu l_4 und l_5 :

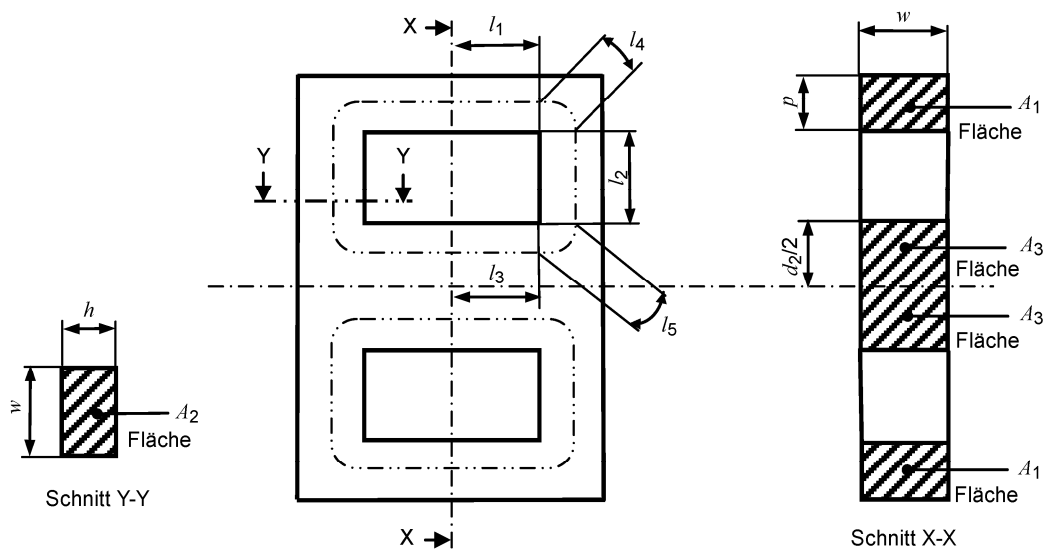
$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

3.4 E-Kernpaare mit rechteckigem Querschnitt

ANMERKUNG Für E + I(Blech)-Kerne werden die Gleichungen für E-Kerne verwendet.



Fläche des halben Mittelschenkels: A_3

Mittlere Länge des Flusspfades an den Ecken:

$$l_4 = \frac{\pi}{8}(p + h)$$

$$l_5 = \frac{\pi}{8}\left(\frac{d_2}{2} + h\right)$$

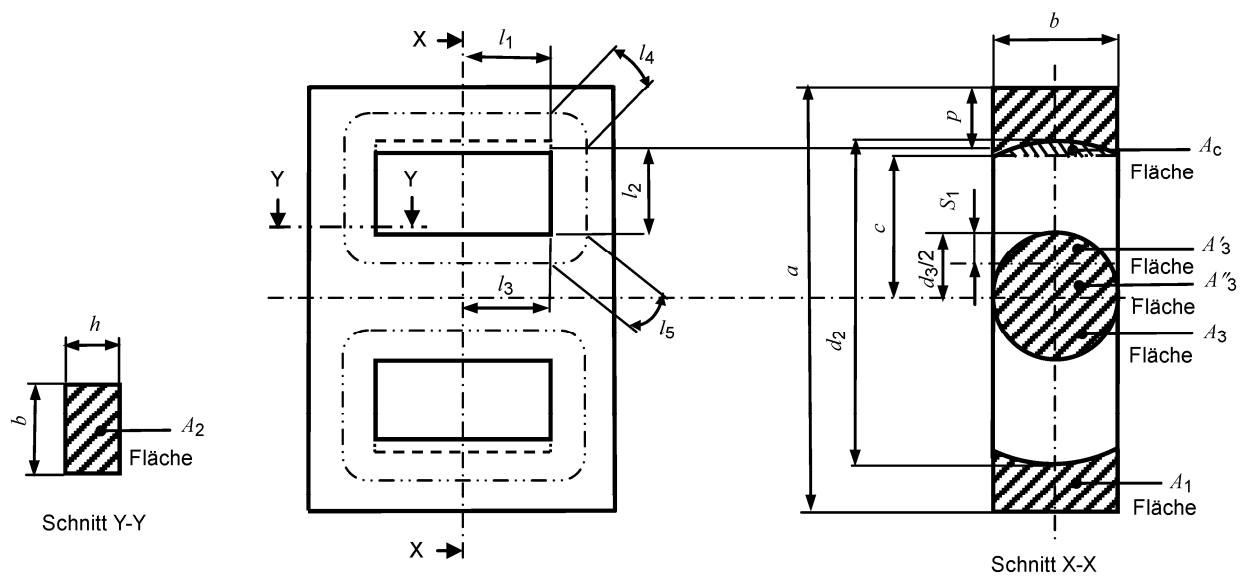
Mittlere Fläche zu l_4 und l_5 :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

3.5 ETD/EER-Kernpaare



A_1 ist die Rechteckfläche $b \left(\frac{1}{2}a - c \right)$ weniger dem Kreisabschnitt A_c .

$$A_c = \frac{1}{4} d_2^2 \arcsin \left(\frac{b}{d_2} \right) - \frac{1}{4} b \sqrt{d_2^2 - b^2}$$

$$A_1 = \frac{1}{2} ab - \frac{1}{4} b \sqrt{d_2^2 - b^2} - \frac{1}{4} d_2^2 \arcsin \left(\frac{b}{d_2} \right)$$

Mittlere Länge des Flusspfads an den Rückwänden:

$$l_2 = \frac{1}{4} \left(d_2 + \sqrt{d_2^2 - b^2} \right) - \frac{d_3}{2}$$

ANMERKUNG l_2 erhält man aus dem Mittelwert von $\frac{1}{2}(d_2 - d_3)$ und $(c - d_3/2)$.

Fläche des halben Mittenschenkels:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

Die Bedingung für $A'_3 = A''_3$ ist:

$$S_1 = 0,298 \, 0 d_3$$

Mittlere Länge des Flusspfades an den Ecken:

$$l_4 = \frac{\pi}{8} (p + h)$$

dabei ist $p = \frac{a}{2} - l_2 - \frac{d_3}{2}$

$$l_5 = \frac{\pi}{8}(2S_1 + h)$$

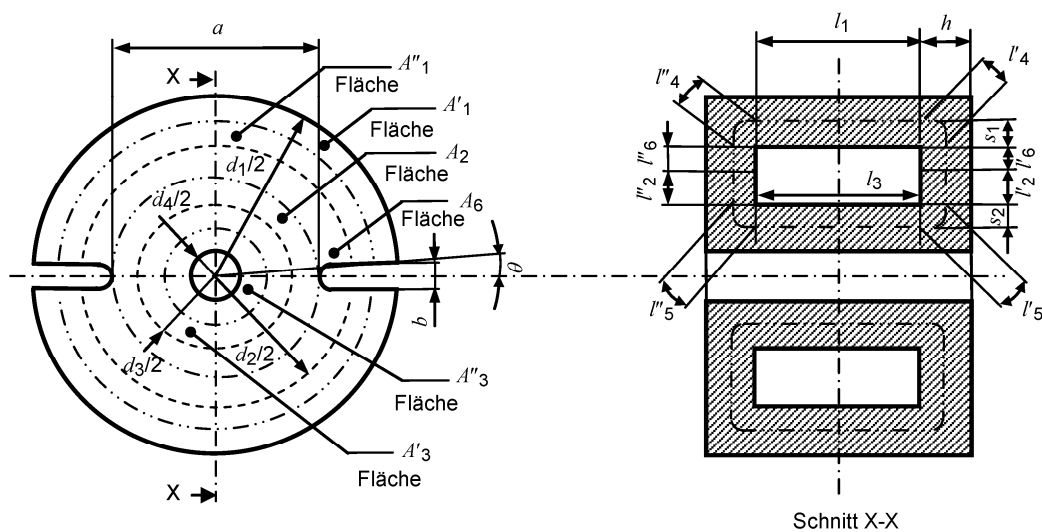
Mittlere Fläche zu l_4 und l_5 :

$$A_4 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_5 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{2A_i^2}$$

3.6 Schalenkernpaare



Außenringfläche:

$$A_1 = A'_1 + A''_1$$

Die Bedingung für $A'_1 = A''_1$ ist:

$$S_1 = -\frac{d_2}{2} + \sqrt{\frac{1}{8}(d_1^2 + d_2^2)}$$

Fläche des Mittenschenkels:

$$A_3 = A'_3 + A''_3$$

Die Bedingung für $A'_3 = A''_3$ ist:

$$S_2 = \frac{d_3}{2} - \sqrt{\frac{1}{8}(d_3^2 + d_4^2)}$$

Ringfläche:

$$A_1 = \frac{1}{4}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2)$$

$$\theta = \arcsin \frac{2b}{d_1 + d_2}$$

dabei ist

b die Schlitzbreite;

n die Anzahl der Schlitze.

Kernformfaktoren zu l_2 :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{1}{\pi h} \ln \frac{a}{d_3}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{a - d_3}{\pi^2 a d_3 h^2}$$

Fläche des Mittenschenkels:

$$A_3 = \frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_4^2)$$

Mittlere Länge des Flusspfades an den Ecken:

$$l_4 = l_4' + l_4'' = \frac{\pi}{4}(2S_1 + h)$$

$$l_5 = l_5' + l_5'' = \frac{\pi}{4}(2S_2 + h)$$

Fläche zu l_4 und l_5 :

A_4 für Kerne mit Rückwandschlitz:

$$A_4 = \frac{1}{8}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2) + \frac{h}{2}(\pi d_2 - nb)$$

A_4 für Kerne ohne Rückwandschlitz:

$$A_4 = \frac{1}{8}(\pi - n\theta)(d_1^2 - d_2^2) + \frac{\pi}{2}d_2h$$

$$A_5 = \frac{\pi}{8}(d_3^2 - d_4^2 + 4d_3h)$$

Kernformfaktoren zu l_6 :

$$\frac{l_6}{A_6} = \frac{1}{(\pi - n\theta)h} \ln \frac{d_2}{a}$$

$$\frac{l_6}{A_6^2} = \frac{d_2 - a}{ad_2(\pi - n\theta)^2 h^2}$$

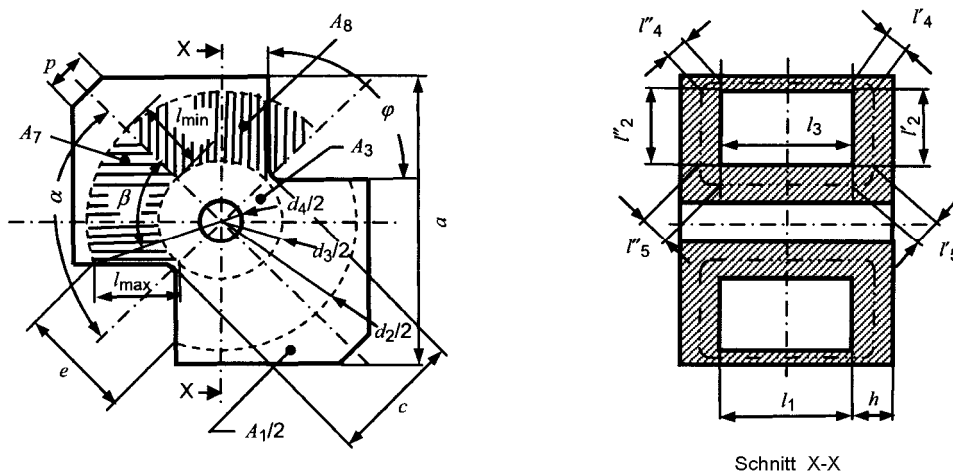
$$C_1 = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{A_i^2}$$

3.7 RM-Kernpaare

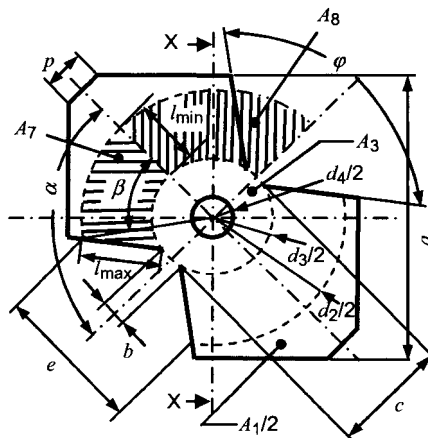
ANMERKUNG 1 Diese Berechnung kann auch für Kerntypen ohne Loch angewendet werden.

ANMERKUNG 2 Für RM + I(Blech)-Kerne werden die Gleichungen für RM-Kerne verwendet.

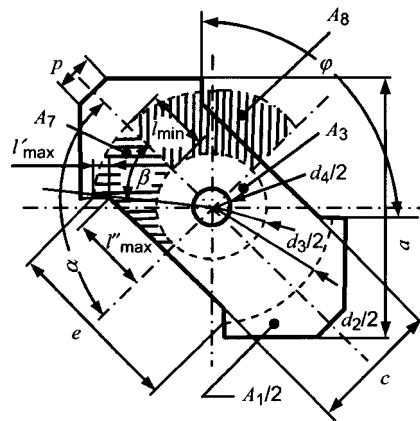
Typ 1 – RM6-S, RM6-R



Typ 2 – RM7



Typ 3 – RM4, RM5, RM8, RM10, RM12, RM14



$$l_{\max} = l'_{\max} + l''_{\max}$$

Gesamtquerschnitt des äußeren Schenkels:

$$A_1 = \frac{1}{2} a^2 \left\{ 1 + \tan \left(\beta - \frac{\pi}{4} \right) \right\} - \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{1}{2} p^2$$

dabei ist $\beta = \alpha - \arcsin \frac{e}{d_2}$

Kernformfaktoren zu l_2 :

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_3} f}{D \pi h}$$

dabei ist $f = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2 l_{\min}}$ $D = \frac{A_7}{A_8}$

$$l_2 = l'_2 + l''_2$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{(1/d_3 - 1/d_2) f}{(D \pi h)^2}$$

Typ 1:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4} (d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2} d_2 d_3 \cos(\alpha - \beta)}$$

Typ 2:

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4} (d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2} d_2 d_3 \cos(\alpha - \beta)} - \frac{b}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}$$

Typ 3:

$$l_{\max} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \frac{\varphi}{2}} \left[e \cdot \operatorname{tg} \beta - c \left(1 - \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

Typ 1: RM6-S

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 + \frac{1}{2} e^2 \tan \beta - \frac{1}{2} e^2 \tan \left(\alpha - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_3^2 \right\}$$

Typ 1: RM6-R

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 + \frac{1}{2} d_2 d_3 \sin(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} (c - d_3)^2 \tan \frac{\varphi}{2} - \frac{\pi}{4} d_3^2 \right\}$$

Typ 2:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{\pi}{4} d_3^2 + \frac{1}{2} (b^2 - e^2) \tan \left(\alpha - \frac{\varphi}{2} \right) + \frac{1}{2} e^2 \tan \beta \right\}$$

Typ 3:

$$A_7 = \frac{1}{4} \left\{ \frac{\beta}{2} d_2^2 - \frac{\pi}{4} d_3^2 + \frac{1}{2} c^2 \tan(\alpha - \beta) \right\}$$

$$A_8 = \frac{\alpha}{8} (d_2^2 - d_3^2)$$

Mittenschenkelfläche:

$$A_3 = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2)$$

Mittlere Länge des Flusspfads an den Ecken und dazugehörige mittlere Flächen:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{4} \left(h + \frac{1}{2} a - \frac{1}{2} d_2 \right)$$

$$A_4 = \frac{1}{2} (A_1 + 2 \beta d_2 h)$$

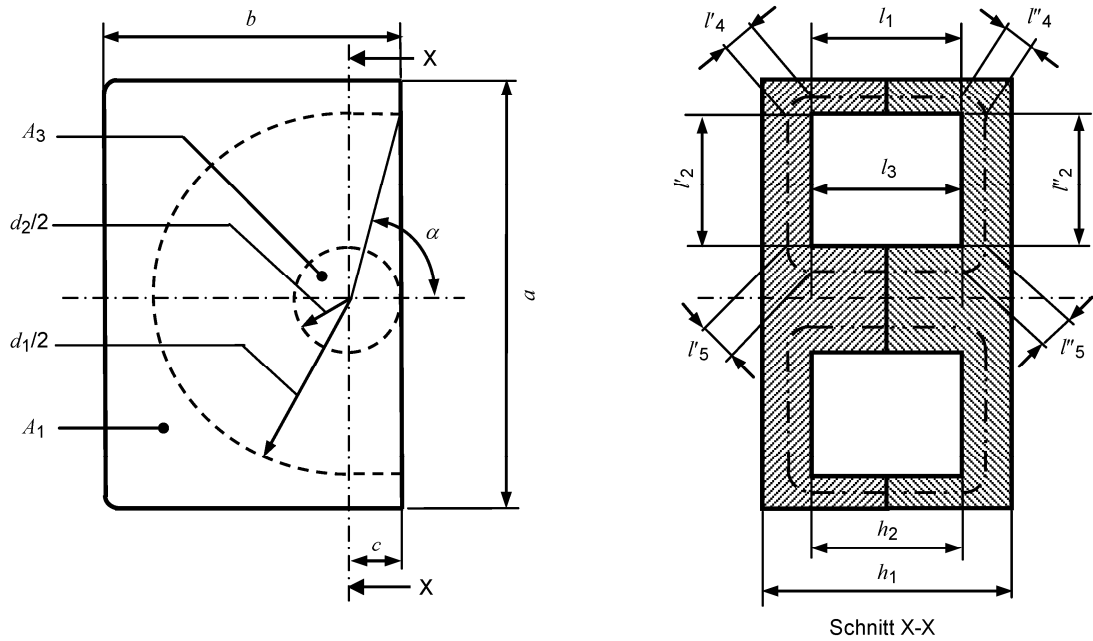
$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4} \left\{ d_3 + h - \sqrt{\frac{1}{2} (d_3^2 + d_4^2)} \right\}$$

$$A_5 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_4^2) + 2 \alpha d_3 h \right\}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

ANMERKUNG Diese Berechnung vernachlässigt den Effekt von Klammer- und Bodenvertiefungen. Diese können besonders bei kleinen Kernen einen Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung haben.

3.8 EP-Kernpaare



Als ein Paar:

$$\frac{l_1}{A_1} = \frac{h_2}{ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 c}$$

$$\frac{l_1}{A_1^2} = \frac{h_2}{(ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 c)^2}$$

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{2}{(\pi - \alpha)(h_1 - h_2)} \ln \frac{d_1}{d_2}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{4(d_1 - d_2)}{(\pi - \alpha)^2 (h_1 - h_2)^2 d_1 d_2}$$

$$\frac{l_3}{A_3} = \frac{h_2}{\pi \left(\frac{d_2}{2} \right)^2} = \frac{4h_2}{\pi d_2^2}$$

$$\frac{l_3}{A_3^2} = \frac{h_2}{\pi^2 \left(\frac{d_2}{2} \right)^4} = \frac{16h_2}{\pi^2 d_2^4}$$

Flächen zu l_4 und l_5 :

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{2} \left(\gamma - \frac{d_1}{2} + \frac{h_1 - h_2}{4} \right)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{(\pi - \alpha) d_1^2 + 2(ab - \pi d_1^2 / 8 - d_1 d_2 / 2)}{4(\pi - \alpha)}}$$

dabei ist γ ein theoretischer Radius, der die Querschnittsfläche des Rings halbiert.

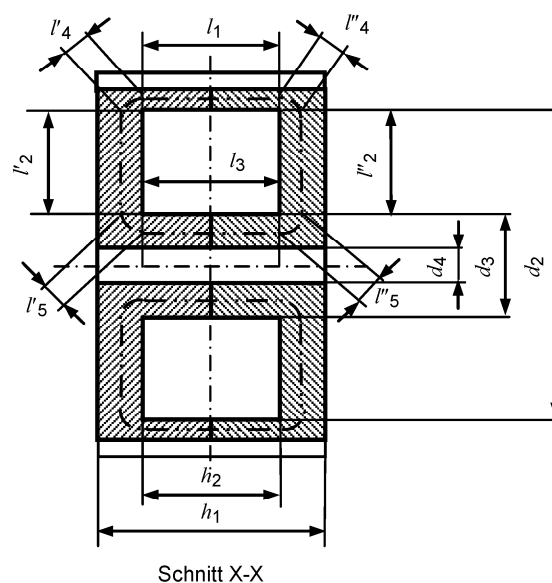
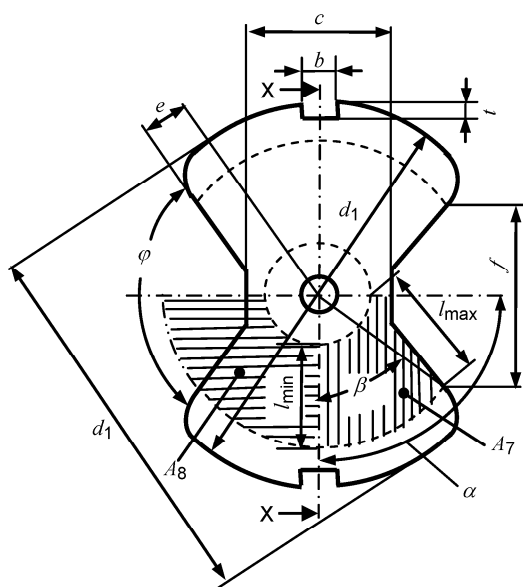
$$A_4 = \frac{1}{2} \left\{ ab - \frac{\pi}{8} d_1^2 - \frac{d_1 d_2}{2} + (\pi - \alpha) d_1 \left(\frac{h_1}{2} - \frac{h_2}{2} \right) \right\}$$

$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{2} \left(0,292\,89 \frac{d_2}{2} + \frac{h_1 - h_2}{4} \right)$$

$$A_5 = \frac{\pi}{2} \left\{ \frac{d_2^2}{4} + \frac{d_2}{2} (h_1 - h_2) \right\}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

3.9 PM-Kernpaare



Gesamtquerschnitt des Schenkels:

$$A_1 = \frac{\beta}{2}(d_1^2 - d_2^2) - 2bt$$

dabei ist $\beta = \alpha - \arcsin \frac{f}{d_2}$

Kernformfaktoren zu l_2 :

$$l_2 = l_2' + l_2''$$

$$\frac{l_2}{A_2} = \frac{\ln \frac{d_2}{d_3} g}{D\pi (h_1 - h_2)/2}$$

dabei ist $g = \frac{l_{\min} + l_{\max}}{2l_{\min}}, \quad D = \frac{A_7}{A_8}$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{1}{4}(d_2^2 + d_3^2) - \frac{1}{2}d_2d_3 \cos(\alpha - \beta)}$$

$$\frac{l_2}{A_2^2} = \frac{(1/d_3 - 1/d_2)g}{\{D\pi(h_1 - h_2)/2\}^2}$$

$$A_7 = \frac{\beta}{8}d_2^2 + \frac{1}{8}f^2 \tan\beta - \frac{1}{8}f^2 \tan\left(\alpha - \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{\pi}{16}d_3^2$$

$$A_8 = \frac{\alpha}{8}(d_2^2 - d_3^2)$$

Fläche des Mittenschenkels:

$$A_3 = \frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_4^2)$$

Mittlere Länge des Flusspfads an den Ecken und dazugehörige mittlere Flächen:

$$l_4 = l'_4 + l''_4 = \frac{\pi}{8}(h_1 - h_2 + d_1 - d_2)$$

$$A_4 = \frac{1}{2}\{A_1 + \beta d_2(h_1 - h_2)\}$$

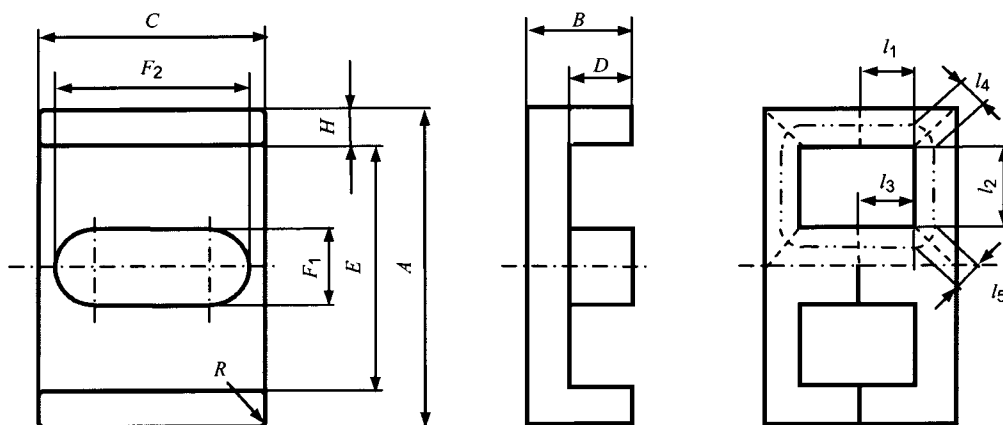
$$l_5 = l'_5 + l''_5 = \frac{\pi}{4}\left\{d_3 + \frac{h_1 - h_2}{2} - \sqrt{\frac{1}{2}(d_3^2 + d_4^2)}\right\}$$

$$A_5 = \frac{\pi}{8}(d_3^2 - d_4^2) + \alpha d_3 \frac{(h_1 - h_2)}{2}$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

3.10 EL-Kernpaare

ANMERKUNG Für EL + PLT(Blech)-Kerne werden die Gleichungen für EL-Kerne verwendet.



Fläche des äußeren Schenkels:

$$A_1 = \frac{1}{2}(A - E)C - 4\left(R^2 - \frac{1}{4}\pi R^2\right)$$

Mittlere Länge des Flusspfades am äußeren Schenkel:

$$l_1 = D$$

Fläche der Rückwand:

$$A_2 = \frac{1}{2}\left(C + (F_2 - F_1) + \pi F_1 / F_2\right)(B - D)$$

Mittlere Länge des Flusspfades an der Rückwand:

$$l_2 = \left(\frac{E}{2} - \frac{F_1}{2}\right)$$

Fläche des Mittenschenkels:

$$A_3 = \frac{1}{2}\left\{\frac{1}{4}\pi F_1^2 + (F_2 - F_1)F_1\right\}$$

Mittlere Länge des Flusspfades am Mittenschenkel:

$$l_3 = D$$

Fläche der Außenecke:

$$A_4 = \frac{A_1 + A_{21}}{2}$$

dabei ist $A_{21} = (B - D)C$

Mittlere Länge des Flusspfades an der Außenecke:

$$l_4 = \frac{\pi}{8}\left(\left(\frac{A}{2} - \frac{E}{2}\right) + (B - D)\right)$$

Fläche der Innenecke:

$$A_5 = \frac{A_{23} + A_3}{2}$$

dabei ist $A_{23} = ((F_2 - F_1) + \pi F_1/2) (B - D)$

Mittlere Länge des Flusspfades an der Innenecke:

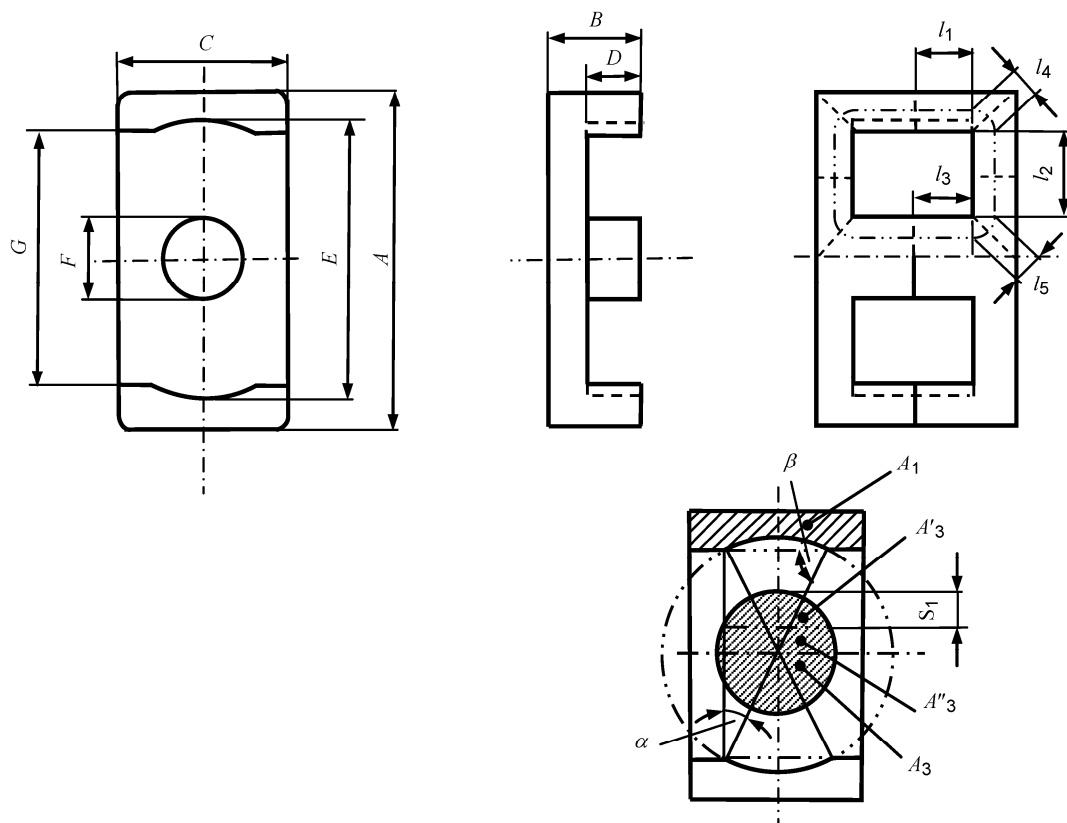
$$l_5 = \frac{\pi}{8} \left(\frac{A_3}{F_2} + (B - D) \right)$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i} \quad C_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{l_i}{A_i^2}$$

$$l_e = C_1^2 / C_2 \quad A_e = C_1 / C_2 \quad V_e = C_1^3 / C_2^2$$

3.11 ER-Kernpaare (niedriges Profil)

ANMERKUNG Für ER + PLT(Blech)-Kerne werden die Gleichungen für ER-Kerne verwendet.



Fläche des äußeren Schenkels:

$$A_1 = \frac{1}{2} C (A - G) - \left(\frac{\alpha}{4} \frac{E^2}{4} - \frac{EG}{4} \sin \alpha \right)$$

dabei ist $\alpha = \arccos (G/E)$