

**Kernbleche für Transformatoren und Induktivitäten
für nachrichtentechnische
und elektronische Einrichtungen**

IEC 740 Ausgabe 1982 modifiziert

DIN
41 302
Teil 1

Laminations for transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment; IEC 740 (1982) modified

Ersatz für Ausgabe 11.76

Tôles découpées pour transformateurs et inductances destinées aux équipements électroniques et de télécommunications; IEC 740 (1982) modifiée

Die Internationale Norm IEC 740 (1982) – Laminations for transformers and inductors for use in telecommunication and electronic equipment – ist mit nationalen Modifizierungen in diese Deutsche Norm übernommen worden, siehe Erläuterungen.

Die nationalen Modifizierungen gegenüber der IEC 740 (1982) sind

- bei Ergänzungen durch Rasterung und
- bei Änderungen, d. h. diese Festlegung trifft national nicht zu, durch Streichung gekennzeichnet.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	2
Hauptabschnitt 1 – Allgemeines	
1 Anwendungsbereich	4
2 Benennungen und Definitionen	4
Hauptabschnitt 2 – Mechanische Kenndaten	
3 Werkstoffe und Blechdicken	4
4 Allgemeines Aussehen und Zustand	5
5 Maße und Toleranzen	5
6 Bezeichnung der Kernbleche	6
7 Verpackung und Kennzeichnung	6
Hauptabschnitt 3 – Elektrische Prüfungen	
8 Allgemeines	6
9 Magnetische Kenndaten	6
10 Allgemeine Bedingungen für elektrische Messungen	6
11 Messungen bei hoher Feldstärke	7
12 Messungen bei kleiner und mittlerer Feldstärke	8
Hauptabschnitt 4 – Vorzugs-Typreihen von Kernblechen	
13 Allgemeines	10
14 Maße und Kernfaktoren	10

Fortsetzung Seite 2 bis 24

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Deutsche Übersetzung mit Modifizierungen

Internationale Elektrotechnische Kommission

Kernbleche für Transformatoren und Induktivitäten für nachrichtentechnische und elektronische Einrichtungen

Vorwort

- (1) Die offiziellen Beschlüsse oder Vereinbarungen der IEC über technische Fragen, die in Technischen Komitees von Vertretern aller an dem behandelten Thema besonders interessierten Nationalen Komitees erarbeitet werden, bringen das höchstmögliche Maß internationaler Übereinstimmung für das behandelte Sachgebiet zum Ausdruck.
- (2) Sie stellen Empfehlungen zur internationalen Anwendung dar und sind als solche von den Nationalen Komitees angenommen.
- (3) Um die internationale Vereinheitlichung zu fördern, wünscht die IEC, daß alle Nationalen Komitees den Text der IEC-Empfehlungen soweit in ihre nationalen Regeln übernehmen, wie es die Gegebenheiten im jeweiligen Land gestatten. Jede Abweichung zwischen der IEC-Empfehlung und der entsprechenden nationalen Regel sollte in dieser, soweit möglich, deutlich gekennzeichnet werden.
- (4) Die IEC hat kein Verfahren für die Kennzeichnung der Konformität festgelegt und übernimmt keine Verantwortung dafür, wenn ein Gegenstand als konform mit einer ihrer Empfehlungen erklärt wird.

Einleitung

Diese Norm wurde ausgearbeitet vom Technischen Komitee 51: Magnetische Bauelemente und Ferritwerkstoffe.

Ein erster Entwurf über Kernbleche wurde auf der Sitzung in Leningrad 1971 diskutiert. Weitere Entwürfe wurden 1974 in Zürich und 1975 in Den Haag diskutiert. Als Ergebnis der letzten Sitzung wurde entschieden, daß die Vorzugsreihen der Kernbleche separat behandelt werden: Schriftstück IEC 51(Central Office)196, ein Entwurf mit dem restlichen Text wurde den Nationalen Komitees zur Annahme unter der Sechsmonatsregel im Februar 1977 vorgelegt.

Nachträge, Schriftstück IEC 51(Central Office)225, wurden den Nationalen Komitees zur Annahme unter der Zweimonatsregel im August 1979 vorgelegt.

Folgende Nationale Komitees haben sich ausdrücklich für eine Veröffentlichung ausgesprochen:

Ägypten	Kanada	Spanien
Belgien	Korea (Republik)	Südafrika
Dänemark	Österreich	Türkei
Deutschland (Bundesrepublik)	Polen	Ungarn
Frankreich	Schweden	Vereinigtes Königreich
Italien	Schweiz	Vereinigte Staaten
Japan		

Hauptabschnitt 4 dieser Publikation mit den Vorzugsreihen der Kernbleche wurde im beschleunigten Verfahren im Oktober 1979, und danach als Schriftstück IEC 51(Central Office)232, den Nationalen Komitees zur Annahme unter der Sechsmonatsregel im August 1980 vorgelegt.

Folgende Nationale Komitees haben sich ausdrücklich für eine Veröffentlichung des Hauptabschnittes 4 ausgesprochen:

Ägypten	Polen	Südafrika
Belgien	Schweden	Türkei
Deutschland (Bundesrepublik)	Schweiz	Ungarn
Israel	Sowjetunion	Vereinigtes Königreich
Neuseeland	Spanien	Vereinigte Staaten

Andere in dieser Norm zitierte IEC-Publikationen:

- IEC 50 (901) Advance edition of the International Electrotechnical Vocabulary; Chapter 901: Magnetism
(1. Ausgabe des Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuches; Kapitel 901: Magnetismus)
- IEC 50 (901B) Second supplement to Publication 50 (901) (1973)
(2. Nachtrag zur Publikation 50 (901) (1973))
- IEC 68-1 Basic Environmental Testing Procedures; Part 1: General
(Grundlegende Umweltprüfverfahren; Teil 1: Allgemeines)
- IEC 205 Calculation of the Effective Parameters of Magnetic Piece Parts
(Berechnung der magnetisch wirksamen Formkenngrößen)
- IEC 404 Magnetic Materials
(Magnetische Werkstoffe)
- IEC 404-1 Part 1: Classification
(Teil 1: Klassifizierung)
- IEC 404-2 Part 2: Methods of Measurement of Magnetic, Electrical and Physical Properties of Magnetic Sheet and Strip
(Teil 2: Verfahren zur Messung der magnetischen, elektrischen und physikalischen Eigenschaften von Elektroblechen und Bändern für Transformatoren)

Andere in dieser Norm zitierte Publikationen:

- ISO/R 286 ISO System of Limits and Fits – Part 1: General, Tolerances and Deviations
(ISO-System über Toleranzen und Passungen; Teil 1: Grundlagen, Toleranzen und Abmaße)

ISO/R 286 ist in folgenden Normen übernommen: DIN 7150 Teil 1, DIN 7151, DIN 7152, DIN 7160, DIN 7161, DIN 7172 Teil 1, DIN 7172 Teil 2, DIN 7172 Teil 3, DIN 7182 Teil 1.

- ISO/R 1101/1 Technical Drawings – Tolerances of Form and Position – Part 1: Generalities, Symbols, Indications on Drawings
(Technische Zeichnungen, Form- und Lagetoleranzen; Teil 1: Grundlagen, Symbole und Zeichnungseintragungen)

ISO/R 1101 stimmt sachlich weitgehend überein mit DIN 7184 Teil 1.

Kernbleche für Transformatoren und Induktivitäten für nachrichtentechnische und elektronische Einrichtungen

Hauptabschnitt 1 – Allgemeines

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die bevorzugten Größen von Kernblechen verschiedener Formen mit ihren entsprechenden Toleranzen fest, die aus verschiedenen Qualitäten weichmagnetischer Legierungen oder Stähle verschiedener Blechdicken hergestellt werden, ihre Kennzeichnung und Verpackung sowie ein Prüfverfahren zur Bestimmung der elektrischen Eigenschaften der Kerne aus diesen Kernblechen.

Die Hauptanwendung für Kernbleche nach dieser Norm liegt bei Transformatoren und Induktivitäten der Nachrichtentechnik und elektronischen Einrichtungen ähnlicher Techniken.

2 Benennungen und Definitionen

2.1 Allgemeine Benennungen

Die Definitionen der in dieser Norm angewendeten allgemeinen Benennungen beziehen sich auf die IEC 50, Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch (IEV), und insbesondere auf Kapitel 901: Magnetismus, sowie Kapitel 901 B: 2. Nachtrag zur IEC 50 (901), Ausgabe 1973.

Anmerkung: In dieser Norm wird „orientiert“ als Abkürzung für „kornorientiert“ (IEV 901-01-39) angewendet. Im gleichen Sinne steht „nichtorientiert“ für „nicht kornorientiert“.

In dieser Norm werden folgende Definitionen verwendet:

2.2 Kernblech

Kernblech, hergestellt aus Blechen magnetischer Legierungen oder Stähle, das üblicherweise aus einem oder zwei Teilen besteht, die eine vollständige Schicht eines laminierten Kerns bilden.

2.3 Füllfaktor α

Verhältnis des metallischen Querschnitts zum Gesamtquerschnitt (IEV 901-04-36).

Anmerkung: Es wird auch die Benennung „Stapelfaktor“ verwendet.

3.2 Nenn-Blechdicken

Die Blechdicken werden, entsprechend dem verwendeten Werkstoff, aus einem der Werte in Tabelle 2 gewählt.

Tabelle 2. **Blechdicken**

Werkstoffsorte	Dicke in mm (siehe Anmerkung 1)								
	0,65	0,50	0,35	0,30	0,27	0,20	0,15	0,10	0,05
B, C 21	⊗	×	×					⊗	
C 22 (siehe Anmerkung 2)			×	×	×		×	×	⊗
E 1, E 3, E 4 und F 1			×	⊗		×	⊗	×	⊗
E 3 kornorientiert								×	⊗
Anmerkung 1: × bezeichnet Vorzugswerte.									
Anmerkung 2: Zwischen 0,27 und 0,35 mm gilt jede Blechdicke als Vorzugswert, da verschiedene Werkstoffqualitäten in unterschiedlichen Dicken hergestellt werden.									

Hauptabschnitt 2 – Mechanische Kenndaten

3 Werkstoffe und Blechdicken

3.1 Werkstoffe

Die Kernbleche werden aus einem der Werkstoffe in Tabelle 1 hergestellt.

Tabelle 1. **Magnetische Legierungen und Stähle für Kernbleche**

Werkstoff (siehe Publikation IEC 404-1 ¹⁾)	Werkstoffsorte	ungefähre Zusammensetzung, neben Eisen
Stahl mit geringem Kohlenstoffgehalt	B	—
Siliciumeisen, nicht kornorientiert	C 21	0,5 bis 4,5 % Si
Siliciumeisen, kornorientiert	C 22	3 % Si
Nickel-Eisen-Legierungen	E 1	72 bis 83 % Ni
	E 3	45 bis 50 % Ni (kornorientiert und nicht kornorientiert)
	E 4	35 bis 40 % Ni
Kobalt-Eisen-Legierungen	F 1	47 bis 50 % Co (isotrop)

¹⁾ IEC 404-1: Magnetic materials, Part 1: Classification

3.3 Nenn-Füllfaktor

Die Nenn-Füllfaktoren für gebräuchliche Werkstoffe und Blechdicken sollen nicht kleiner sein als die Werte der Tabelle 3. Sie gelten für überlappende, wechselseitig geschichtete Blechstapel, die einem gleichmäßigen Druck von 15 kN/m^2 senkrecht zur Blechebene ausgesetzt sind.

Tabelle 3. **Blechdicken und Füllfaktoren**

Blechdicke mm	Nenn-Füllfaktor		
	Stahl mit geringem Kohlenstoffgehalt sowie nicht kornorientiertes Siliciumeisen	kornorientiertes Siliciumeisen	Nickel-Eisen-Legierung und Kobalt-Eisen-Legierung
0,65	0,95	—	—
0,50	0,95	—	—
0,35	0,94	0,95	0,94
0,30	—	0,94	0,92
0,27	—	0,93	—
0,20	—	—	0,9
0,15	—	0,92	0,87
0,10	0,9	0,9	0,85
0,05	—	0,88	0,8

4 Allgemeines Aussehen und Zustand

4.1 Kernbleche sollen sauber sein, ohne Rost, Öl oder andere Schneidflüssigkeiten. Sie sollen plan sein, keine Grate und andere äußere Unregelmäßigkeiten aufweisen (um die Anforderungen nach Abschnitt 4.3 zu erreichen).

4.2 Wärmebehandelte Kernbleche sollen frei von Verunreinigungen sein.

4.3 Die Isolierung soll vollständig und gleichmäßig sein.

5 Maße und Toleranzen

5.1 Die Maße und Toleranzen der Vorzugs-Typreihen der Kernbleche sind in Hauptabschnitt 4 festgelegt. Die Dickentoleranzen der Kernbleche sind die gleichen wie die der Tafeln oder Bänder.

Die eventuell notwendigen Montagelöcher liegen an den Schnittpunkten der Mittellinien der äußeren Schenkel. Bei der YM-Reihe liegen die Montagelöcher nicht auf diesen Schnittpunkten.

5.2 Die Toleranzen müssen in Übereinstimmung mit den Anforderungen nach ISO/R 286 sein. Die jeweiligen Toleranzen im Kopf der Abmessungsspalten jeder Tabelle des Hauptabschnittes 4 sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

5.3 Die Symmetrie-Toleranzen der Maße a und e der Tabellen des Hauptabschnittes 4 in bezug auf die Mittellinie dürfen die halbe Toleranz der Breite des Mittelschenkels (Maß d) nicht überschreiten.

Anmerkung: Siehe auch ISO/R 1101.

5.4 Wenn größere Kernbleche als in den Tabellen des Hauptabschnittes 4 benutzt werden, müssen die im Kopf der Spalten angegebenen Toleranzen entsprechend gewählt werden. Solche Kernbleche sollten von derselben Form sein wie in den Tabellen und die angegebenen Verhältnisse eingehalten werden.

Tabelle 4. **Toleranzen nach ISO/R 286**

Nennmaßbereich		ISO-Toleranzreihen									
		IT 10		IT 11		IT 12		IT 13		IT 14	
mm	in	μm	0,001"	μm	0,001"	μm	0,001"	μm	0,001"	μm	0,001"
1 bis 3	0,04 bis 0,12	40	1,6	60	2,5	100	4	140	5,5	250	10
3 bis 6	0,12 bis 0,24	48	1,8	75	3	120	5	180	7	300	12
6 bis 10	0,24 bis 0,40	58	2,2	90	3,5	150	6	220	8	360	14
10 bis 18	0,40 bis 0,71	70	2,8	110	4	180	7	270	11	430	16
18 bis 30	0,71 bis 1,19	84	3,5	130	5	210	8	330	13	520	20
30 bis 50	1,19 bis 1,97	100	4	160	6	250	10	390	15	620	24
50 bis 80	1,97 bis 3,15	120	4,5	190	7	300	12	460	18	740	28
80 bis 120	3,15 bis 4,73	140	5	220	8	350	14	540	21	870	36
120 bis 180	4,73 bis 7,09	160	6	250	10	400	16	630	25	1000	40
180 bis 250	7,09 bis 9,85	185	7	290	12	460	18	720	28	1150	44
250 bis 315	9,85 bis 12,41	210	8	320	12	520	20	810	32	1300	50
315 bis 400	12,41 bis 15,75	230	9	360	14	570	22	890	35	1400	56
400 bis 500	15,75 bis 19,7	250	10	400	16	630	25	970	38	1550	60

Die ISO-Toleranzreihe gibt die zulässige Abweichung von den Nennmaßen an.

Zum Beispiel: in Tabelle 10: YE1 1–10, die zulässige Abweichung zu b ($20 \text{ mm} \pm \frac{1}{2} \text{ IT } 12$) ist $\pm \frac{1}{2} \cdot 210 \mu = \pm 0,105 \text{ mm}$; für e ($20 \text{ mm} \pm \frac{1}{2} \text{ IT } 14$) ist $\pm \frac{1}{2} \cdot 520 \mu = \pm 0,26 \text{ mm}$. In Tabelle 11: YEx 2–2, die zulässige Abweichung für d ($2,4 \text{ mm} + 0 - \text{IT } 11$) ist $-0,06 \text{ mm}$.

Nationale Anmerkung: Da die Anwendung der Einheiten inch (in) und Zoll (") im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr aufgrund des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen vom 2. Juli 1969 nicht zulässig ist, werden diese Angaben gegenüber IEC 740 (1982) gestrichen.

6 Bezeichnung der Kernbleche

6.1 Alle Bezeichnungen bestehen aus einer Kombination von Buchstaben, die die Form bezeichnen sowie einer Zahl für die Kernblechgröße.

6.2 Die IEC-Bezeichnung enthält:

- den Buchstaben Y, der die IEC-Bezeichnung von den anderen bestehenden nationalen Bezeichnungen unterscheidet;
- einen oder mehrere Buchstaben, die die Form identifizieren;
- eine Serien-Nummer, die die verschiedenen Typreihen mit denselben Kennbuchstaben unterscheidet;
- einen Bindestrich und eine Zahl, die die ungefähre Breite d des (Mittel-)Schenkels in mm angibt.

Typische Beispiele sind:

YEI 1–40 (siehe Tabelle 10 in Hauptabschnitt 4)

YEE 3–20 (siehe Tabelle 13 in Hauptabschnitt 4)

YM 1–23 (siehe Tabelle 16 in Hauptabschnitt 4)

Die ursprüngliche nationale Bezeichnung ist ebenfalls in den Tabellen des Hauptabschnittes 4 angegeben.

7 Verpackung und Kennzeichnung

7.1 Die Kernbleche müssen für den Versand so verpackt sein, daß keinerlei Beschädigung auftreten kann.

7.2 Wenn nicht anders festgelegt, müssen die beiden Teile zweiteiliger Kernbleche zusammen verpackt werden.

7.3 Alle Verpackungen müssen mit folgenden Angaben gekennzeichnet sein:

- Bezeichnung und Blechdicke der Kernbleche (für den Typ YM zusätzlich der Luftspalt)
- Menge als Gewichtsangabe oder als angenäherte Stückzahl
- Werkstoff nach Tabelle 1
- Loskennzeichnung des Herstellers oder Herstelldatum

e) Hersteller

Kennzeichnungsbeispiel:

Kernblech: YEI 1–40, Blechdicke 0,35 mm

Menge: 100 kg

Werkstoff: Kornorientiertes Siliciumeisen

Herstelldatum: 1/82

Hersteller

Hauptabschnitt 3 – Elektrische Prüfungen

8 Allgemeines

Die elektrischen Prüfungen für Kernblechpakete sollen für die in Tabelle 1 angegebenen Werkstoffgruppen für die in den Tabellen 5, 6, 7 und 8 spezifizierten Meßgrößen durchgeführt werden.

Die folgenden Prüfungen sind Richtlinien für einfache Prüfungen der üblicherweise verwendeten Meßgrößen.

9 Magnetische Kenndaten

9.1 Die Kernfaktoren nach Publikation IEC 205: „Berechnung der magnetisch wirksamen Formkenngrößen“ werden im allgemeinen wie folgt berechnet:

$$C_1 = \sum \frac{l}{A} \quad C_2 = \sum \frac{l}{A^2}$$

Bei Kernblechen werden die Kernfaktoren wie folgt definiert:

$$C_1 = \frac{l_{Fe}}{A_{Fe}} \quad C_2 = \frac{l_{Fe}}{A_{Fe}^2}$$

Hierin bedeuten:

l_{Fe} magnetische Weglänge, berechnet nach Abschnitt 9.2.1

A_{Fe} Kernquerschnitt unter Berücksichtigung des Füllfaktors α nach Abschnitt 9.2.2

(Eisenquerschnitt)

Weiter bedeuten:

Kernvolumen $V_{Fe} = l_{Fe} \cdot A_{Fe}$

Kernmasse $m_{Fe} = V_{Fe} \cdot \rho$, worin ρ die Dichte des Werkstoffes ist.

9.2 Die Kernfaktoren von Kernblechen sind für quadratische Kernquerschnitte und einen Füllfaktor von 0,95 in der entsprechenden Tabelle des Hauptabschnittes 4 für die Vorzugskernblechreihen aufgeführt.

9.2.1 Die magnetische Weglänge l_{Fe} ist das arithmetische Mittel aus der längsten und der kürzesten magnetischen Feldlinienlänge des Kerns, wobei die Radien vernachlässigt werden. Zur genaueren Berechnung eines jeden Kerns siehe Hauptabschnitt 4.

9.2.2 Der Kernquerschnitt A_{Fe} ist das Produkt aus (Mittel-)Schenkelbreite, Schichthöhe und Füllfaktor: $A_{Fe} = d \cdot h \cdot \alpha$. Für die entsprechenden Tabellen des Hauptabschnittes 4 ist $h = d$ und $\alpha = 0,95$, so daß $A_{Fe} = 0,95 d^2$ ist.

Für andere Schichthöhen und Füllfaktoren (siehe Tabelle 3, Hauptabschnitt 2 *) müssen die Tabellenwerte multipliziert werden mit:

$$\text{für } A_{Fe}: \frac{h}{d} \cdot \frac{\alpha}{0,95}$$

$$\text{für } C_1: \frac{d}{h} \cdot \frac{0,95}{\alpha}$$

Bei einer gegebenen Schichthöhe kann der Kernquerschnitt wie folgt bestimmt werden:

$$\text{für YEI, YEL, YEF, YUI und YM: } A_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{l_{Fe} \cdot \rho}$$

$$\text{für YED: } A_{Fe} = \frac{0,9 m_{Fe}}{l_{Fe} \cdot \rho}$$

$$\text{für YES: } A_{Fe} = \frac{1,09 m_{Fe}}{l_{Fe}}$$

IEC 740 (1982) schreibt für YEI, YEx, YUI und YM:

$$A_{Fe} = \frac{m_{Fe}}{l_{Fe} \cdot \rho}$$

und für YES keine getrennte Formel.

10 Allgemeine Bedingungen für elektrische Messungen

10.1 Wenn nicht anders festgelegt, müssen alle Prüfungen im „Normalklima für Prüfungen“ durchgeführt werden, die in der IEC 68-1 „Grundlegende Umweltprüfverfahren, Teil 1: Allgemeines“ (= DIN IEC 68 Teil 1) festgelegt sind.

Temperatur: +15 bis +35 °C

Relative Luftfeuchte: 45 bis 75 %

Atmosphärischer Druck: 860 bis 1060 mbar

In Prüfprotokollen müssen die Prüfbedingungen angegeben werden.

10.2 Die Prüfspulen müssen für eine quadratische Schichtung der Kernbleche geeignet sein. Die Anzahl der Windungen N_1 und N_2 (siehe Bild 1 und Bild 2) müssen den verwendeten Instrumenten angepaßt sein. Die Wicklung N_2

*) Nationale Fußnote: In IEC 740 (1982) wird fälschlicherweise der Hauptabschnitt 1 angegeben.

für die Spannungsmessung muß die innere Wicklung sein und so nah wie möglich am Kern liegen; ihr Widerstand R_2 muß klein sein, verglichen mit dem Lastwiderstand. Der Widerstand im Stromversorgungskreis einschließlich dem Spulenwiderstand R_1 und dem Widerstand des Strommeßgerätes (Amperemeter, Stromverstärker oder Präzisionswiderstand) sollen klein genug sein, um keine merkliche Spannungsverzerrung zu bewirken.

10.3 Die Kernbleche müssen mit den Festlegungen der Hauptabschnitte 2 und 4 übereinstimmen und müssen als Stichprobe unter denjenigen ausgewählt werden, die zur Endverwendung fertiggestellt sind. Sie müssen im Stapel wechselseitig geschichtet und bei zweiteiligen Kernblechen beide Teile in gleicher Anzahl enthalten sein. Während der Prüfung soll der Stapel einem gleichmäßigen Druck von 15 kN/m^2 senkrecht zur Blechebene ausgesetzt werden.

Die Anzahl der Kernbleche, die in die Spule einzufügen sind, muß ausreichend sein, um mindestens die Hälfte eines quadratischen Stapels zu bilden.

10.4 Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, muß bei sinusförmiger Induktion gemessen werden. Während der Prüfung darf der Oberwellenanteil 6 % nicht überschreiten. Wenn zwei Spannungsmesser V_1 und V_2 parallel zur Wicklung N_2 geschaltet werden, mißt der erste den arithmetischen Mittelwert und der zweite den Effektivwert; der Formfaktor kann aus dem Verhältnis von Effektivwert zum arithmetischen Mittelwert bestimmt werden. Wenn dieser Formfaktor nicht mehr als 1 % von 1,11 abweicht und gleichzeitig die Kurvenform, die auf dem Oszilloskop beobachtet wird, keine sichtbare Abweichung zeigt, so ist der Oberwellengehalt der Sekundärspannung und folglich auch der der Induktion niedrig genug.

Anmerkung 1: Der arithmetische Mittelwert kann bestimmt werden mit einem Vektormesser (mechanisch gleichrichtendes Voltmeter). Wenn, wie es allgemein üblich ist, das Instrument in Effektivwert geeicht ist, kann der Mittelwert berechnet werden durch Division des Meßwertes durch 1,11.

Bei der Messung des Effektivwertes zur Ermittlung des Formfaktors soll sichergestellt sein, daß das verwendete Voltmeter den wahren Effektivwert mißt.

Anmerkung 2: Für weitere Betrachtungen hinsichtlich der Kontrolle des Oberwellengehaltes siehe IEC 404-2 „Magnetische Werkstoffe, Teil 2: Messung der magnetischen, elektrischen und physikalischen Eigenschaften von Elektrolechen und -bändern“, Abschnitt 9.

11 Messungen bei hoher Feldstärke

11.1 Allgemeines

Eine der Schaltungen nach Bild 1 sollte verwendet werden. Die Meßbedingungen müssen den Werten der Tabelle 5 entsprechen. Dort ist eine Auswahl von Werten der Induktion für einige Blechsarten angegeben. Der verwendete Wert und die Frequenz sind in den Prüfprotokollen anzugeben.

11.2 Messung der Ummagnetisierungsverluste

Wenn die Schaltung nach Bild 1a verwendet wird, müssen zur Bestimmung des Formfaktors die beiden Schalter geschlossen sein (siehe Abschnitt 10.4). Die Primärspannung wird eingestellt bei geöffnetem Schalter S_1 , so daß die abgelesene Sekundärspannung U_2 auf dem Mittelwert-Spannungsmesser V_2 den nach der Formel errechneten Wert hat:

$$U_2 = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot \frac{N_2}{1 + R_2 \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_w} \right)}$$

Hierin bedeuten:

- f Meßfrequenz
- $\hat{B}$ Induktionsamplitude
- A_{Fe} Kernquerschnitt, siehe Abschnitt 9.1
- N_2 Windungszahl der Spannungswicklung
- R_2 Widerstand der Spannungswicklung N_2
- R_v Widerstand des Spannungsmessers V_2
- R_w Widerstand des Spannungspfad des Wattmeters

Bei geöffnetem Schalter S_1 und geschlossenem Schalter S_2 wird das Wattmeter abgelesen. Unter Vernachlässigung der Kupferverluste in der Wicklung N_1 und im Amperemeter wird der Ummagnetisierungsverlust P_L aus der gemessenen Leistung P_m durch folgende Formel errechnet:

$$P_L = \left[1 + R_2 \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_w} \right) \right] \cdot \left[\frac{N_1}{N_2} \cdot P_m - U_2^2 \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_w} \right) \right]$$

Anmerkung: Das Ergebnis der Messung ist häufig angegeben als spezifischer Ummagnetisierungsverlust P_L/m in W/kg mit m als Kernmasse.

Wenn Meßgeräte mit linearen Vorverstärkern (siehe Bild 1b) oder ähnliche Instrumente mit sehr hohen Eingangsimpedanzen für die Spannungsmessungen mit direkter Anzeige der realen Spannungs- und Leistungswerte verwendet werden, vereinfachen sich diese Formeln wie folgt:

$$U_2 = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \text{ und } P_L = \frac{N_1}{N_2} \cdot P_m$$

Tabelle 5. Meßbedingungen für Ummagnetisierungsverluste und Scheinleistung

Werkstoff	Blechedicke mm	Frequenz Hz	Induktionsamplitude T
Stahl mit geringem Kohlenstoffgehalt und Siliciumeisen, nicht kornorientiert	0,35 bis 0,65	50 oder 60	1,0 1,5
	0,1	400	1,0
Siliciumeisen, kornorientiert	0,27 bis 0,35	50 oder 60	1,5
	0,1 bis 0,15	400	1,5
Kobalt-Eisen-Legierungen	0,2 und 0,35	50 oder 60	2,0
	0,1	400	1,7

Sind diese Impedanzen nicht extrem hoch, jedoch sehr viel höher als R_2 , kann die nachfolgende, vereinfachte Formel angewendet werden:

$$P_L = \frac{N_1}{N_2} \cdot P_m - U_2^2 \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_w} \right)$$

Anmerkung: Wenn eine direkte Anzeige nicht möglich ist, z. B. wenn man äußere Vorverstärker anwendet, so muß man den Verstärkungsgrad dieser Verstärker berücksichtigen.

11.3 Messung der Scheinleistung

Wenn die Schaltung nach Bild 1 a verwendet wird, sind zur Bestimmung des Formfaktors beide Schalter geschlossen, siehe Abschnitt 10.4. Schalter S_1 wird geöffnet und die Primärspannung eingestellt wie in Abschnitt 11.2 beschrieben. Bei den beiden geöffneten Schaltern S_1 und S_2 mißt man den Primärstrom I_1 und die Sekundärspannung U_2 . Die Scheinleistung wird wie folgt berechnet:

$$S = U_2 \cdot \frac{R_v + R_2}{R_v} \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$

Anmerkung: Das Ergebnis der Messung ist häufig angegeben als spezifische Scheinleistung S/m in VA/kg mit m als Kernmasse.

Wenn Meßgeräte mit linearen Vorverstärkern nach Bild 1 b oder ähnliche Instrumente mit sehr hohen Eingangsimpedanzen für die Spannungsmessungen mit direkter Anzeige der realen Spannungs- und Leistungswerte verwendet werden, vereinfacht sich diese Formel wie folgt:

$$S = U_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot I_1$$

Anmerkung: Wenn eine direkte Anzeige nicht möglich ist, z. B. wenn man äußere Vorverstärker einsetzt, muß man den Verstärkungsgrad dieser Verstärker berücksichtigen.

12 Messungen bei kleiner und mittlerer Feldstärke

12.1 Allgemeines

Die Schaltung nach Bild 2 soll angewendet werden. Hinsichtlich der Meßbedingungen siehe Tabellen 6, 7 und 8. Die

gewählten Werte für Frequenz, Induktion und Feldstärke sind in den Prüfprotokollen anzugeben.

Tabelle 6. **Meßbedingungen der Amplitudenpermeabilität bei Kernblechen aus Stahl mit geringem Kohlenstoffgehalt oder bei Siliciumeisen**

Blechdicke mm	Frequenz Hz	Induktionsamplitude T
0,1 bis 0,65	50 oder 60	0,1 1,0

12.2 Messung der Amplitudenpermeabilität

Man stellt die Primärspannung so ein, daß die Sekundärspannung U_2 , gemessen mit dem Spannungsmesser V_2 , den nach folgender Formel berechneten Wert hat:

$$U_2 = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \cdot A_{Fe} \cdot \hat{B} \cdot N_2 \cdot \frac{R_v}{R_v + R_2}$$

worin die Formelzeichen die Bedeutung nach Abschnitt 11.2 haben.

Der Spitzenwert des Primärstromes $\hat{I}_1$ wird mittels eines Spitzenspannungsmessers, der an einem Präzisionswiderstand R_n im Primärkreis angeschlossen ist oder mittels einer Stromzange gemessen. Die Amplitudenpermeabilität μ_a wird wie folgt berechnet:

$$\mu_a = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\hat{B}}{\hat{H}} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{U_2 \sqrt{2}}{\hat{U}_n} \cdot \frac{C_1}{2\pi f} \cdot \frac{1}{N_1 N_2} \cdot \frac{R_v + R_2}{R_v} \cdot R_n$$

Hierin bedeuten:

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9} \text{ Hcm}^{-1}$, magnetische Feldkonstante

$\hat{U}_n$ Spitzenspannungswert über R_n

C_1 Kernfaktor in cm^{-1} (siehe Abschnitt 9.1)

Anmerkung 1: Bei sehr kleinen Strömen strebt μ_a gegen die Anfangspermeabilität μ_i .

Anmerkung 2: In einigen Fällen ist es üblich, die komplexe Permeabilität oder ihre Komponenten zu verwenden. Einzelheiten hierüber sind in der IEC 404-2 (1978) Kapitel III und Anhang B angegeben.

Tabelle 7. **Meßbedingungen der Amplitudenpermeabilität bei Kernblechen aus nicht kornorientierten Nickel-Eisen-Legierungen**

Werkstoffsorte	Blechdicke mm	Frequenzen in Hz			Feldstärken- amplitude A/m
		50/60	300/400	1000	
E 1	0,05	×	×	×	0,2 oder 0,4
	0,10	×	×	—	
	0,20	×	—	—	
	0,35	×	—	—	
E 3 nicht kornorientiert	0,10	×	×	—	0,4
	0,20	×	—	—	
	0,35	×	—	—	
E 4	0,05	×	×	×	0,4 oder 1,6
	0,10	×	×	—	
	0,20	×	—	—	
	0,35	×	—	—	

Anmerkung: Ein Kreuz in der Frequenzspalte bedeutet, daß dies die Vorzugsfrequenz für die Messung der Amplitudenpermeabilität der betreffenden Nickel-Eisen-Legierung und Blechdicke ist.

Tabelle 8. **Meßbedingungen der Amplitudenpermeabilität bei Kernblechen aus kornorientierten Nickel-Eisen-Legierungen**

In Vorbereitung

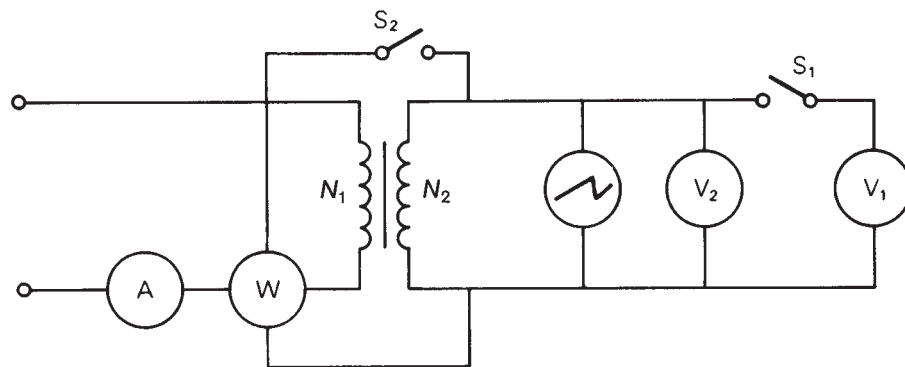


Bild 1a. Messungen bei hohen Feldstärken, direktes Meßverfahren

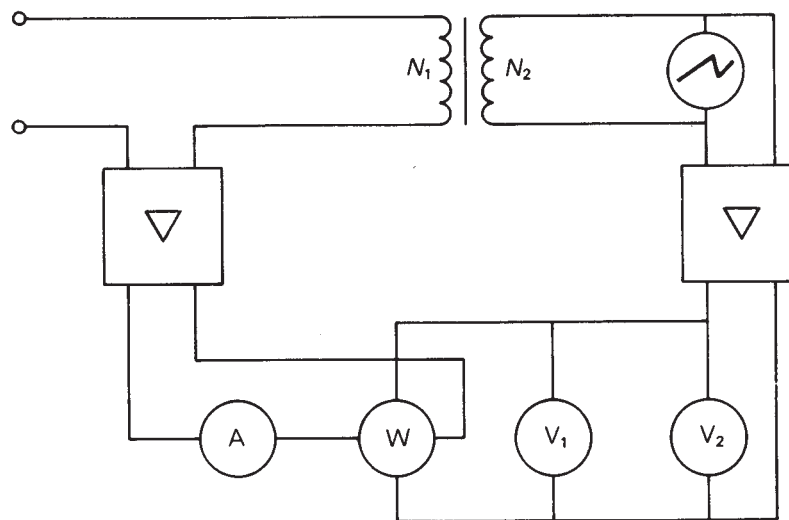


Bild 1b. Messungen bei hohen Feldstärken, indirektes Meßverfahren

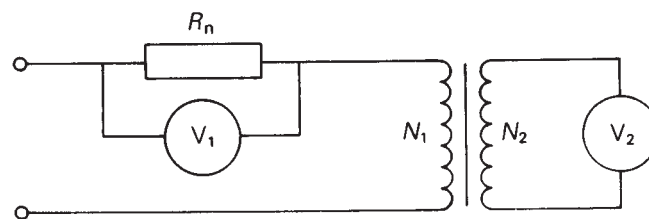


Bild 2. Messungen bei kleinen und mittleren Feldstärken