

DIN IEC 60404-3

ICS 17.220.20; 29.030

Ersatz für
DIN EN 10280:2007-04

**Magnetische Werkstoffe –
Teil 3: Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von
Elektroband und -blech mit Hilfe eines Tafelmessgerätes
(IEC 60404-3:1992 + A1:2002 + A2:2009)**

Magnetic materials –

Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester
(IEC 60404-3:1992 + A1:2002 + A2:2009)

Matériaux magnétiques –

Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des bandes et tôles magnétiques en acier à l'aide de l'essai sur tôle unique
(CEI 60404-3:1992 + A1:2002 + A2:2009)

Gesamtumfang 24 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Allgemeine Grundlagen	5
3.1 Grundzüge des Verfahrens	5
3.2 Messeinrichtung	5
3.3 Luftflusskompensation	6
3.4 Probe	6
3.5 Leistungsquelle	7
4 Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung	7
4.1 Grundzüge des Messverfahrens	7
4.2 Messeinrichtung	7
4.3 Ausführung der Messung der spezifischen Gesamtverluste	8
5 Bestimmung der magnetischen Feldstärke, Magnetisierungsstromstärke und spezifischen Scheinleistung	10
5.1 Grundzüge des Messverfahrens	10
5.2 Messeinrichtung	10
5.3 Ausführung der Messung	11
5.4 Bestimmung der Kenngrößen	11
5.5 Vergleichpräzision	13
Anhang A (normativ) Gesichtspunkte bei der Herstellung der Joche	16
Anhang B (informativ) Kalibrierung der Messapparatur in Bezug auf den Epsteinrahmen	17
Anhang C (informativ) Die Beziehung von Epstein- zu SST-Werten bei kornorientiertem Elektroband und -blech	18
Anhang D (informativ) Digitales Abtastverfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften	21
Literaturhinweise	24
 Bild 1 – Schematische Darstellung des Prüfgeräts	 14
Bild 2 – Jochmaße	14
Bild 3 – Schema der Verbindungen der 5 Spulen der Primärwicklung	14
Bild 4 – Schaltung für die Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung	15
Bild 5 – Schaltung zur Messung des Effektivwerts der Magnetisierungsstromstärke	15
Bild 6 – Schaltung zur Messung des Scheitelwerts der magnetischen Feldstärke	15
Bild C.1 – Epstein-SST-Umwandlungsfaktor δP für kornorientierten Werkstoff als Funktion der magnetischen Polarisation J	20
Bild C.2 – Epstein-SST-Umwandlungsfaktor δH_S für kornorientierten Werkstoff als Funktion der magnetischen Polarisation J	20
 Tabelle C.1 – Epstein-SST-Umwandlungsfaktoren δP und δH_S für kornorientiertes Material im Polarisationsbereich 1,0 T bis 1,8 T	 19

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60404-3:2009-06.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen 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.

Die Änderungen wurden eingearbeitet und durch einen senkrechten Strich am linken Seitenrand im Text gekennzeichnet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 10280:2007-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die normativen Verweisungen wurden überarbeitet;
- b) der Normtitel wurde geändert;
- c) die Bezeichnung des Abschnitts 4.3 wurde genauer formuliert;
- d) ein informativer Anhang D „Digitales Abtastverfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften“ wurde hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 10280: 2001-06, 2007-04

Magnetische Werkstoffe – Teil 3: Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von Elektroband und -blech mit Hilfe eines Tafelmessgerätes

1 Anwendungsbereich

Diese Norm beschreibt die allgemeinen Grundzüge und die technischen Einzelheiten der Messung der magnetischen Eigenschaften von Elektroband und -blech mit Hilfe eines Tafelmessgerätes.

Dieser Teil von IEC 60404 ist im Bereich technischer Frequenzen auf folgende Fälle anzuwenden:

- a) Kornorientiertes Elektroband und -blech bei Flussdichtewerten zwischen 1,0 T und 1,8 T zur Messung
 - der spezifischer Ummagnetisierungsverlustleistung;
 - der spezifischer Scheinleistung;
 - des Effektivwerts der magnetischen Feldstärke.
 bei Scheitelwerten der magnetischen Feldstärke bis zu 1 000 A/m zur Messung
 - des Scheitelwerts der magnetischen Polarisation;
 - des Scheitelwerts der magnetischen Feldstärke.
- b) Nichtkornorientiertes Elektroband und -blech bei Flussdichtewerten zwischen 0,8 T und 1,5 T zur Messung
 - der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung;
 - der spezifischen Scheinleistung;
 - des Effektivwerts der Magnetisierungsstromstärke.
 bei Scheitelwerten der magnetischen Feldstärke bis zu 10 000 A/m zur Messung
 - des Scheitelwerts der magnetischen Polarisation;
 - des Scheitelwerts der magnetischen Feldstärke.

Das Tafelmessgerät ist anwendbar auf Tafelproben von Elektroband und -blech jeder Qualität. Die magnetischen Kennwerte werden bei einer sinusförmigen induzierten Spannung für festgelegte Scheitelwerte der magnetischen Polarisation und eine festgelegte Frequenz bestimmt.

Die Messungen werden durchgeführt bei einer Umgebungstemperatur von $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ an Proben, die vorher abmagnetisiert wurden.

ANMERKUNG In dieser Norm wird durchgehend die Größe „magnetische Polarisation“ verwendet, wie sie in IEC 60050-(901) festgelegt ist. In einigen Normen der Reihe 60404 wird die Größe „Magnetische Flussdichte“ verwendet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-2, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of an Epstein frame*

3 Allgemeine Grundlagen

3.1 Grundzüge des Verfahrens

Die Probe besteht aus einer Elektroblechprobe und wird in den Innenraum zweier Wicklungen eingebracht:

- einer äußeren Primärwicklung (Magnetisierungswicklung);
- einer inneren Sekundärwicklung (Spannungsmesswicklung).

Den Flusspfad schließen zwei identische Joche, deren Querschnitt sehr groß ist im Vergleich zu dem der Probe (siehe Bild 1).

Um die Wirkung des Drucks auf die Probe möglichst gering zu halten, muss das obere Joch mit einer Aufhängvorrichtung versehen sein, mit der ein Teil der Gewichtskraft nach 3.2.1 kompensiert wird.

Es muss dafür gesorgt werden, dass Temperaturänderungen unterhalb solcher Werte bleiben, die wahrscheinlich mechanische Spannungen in der Probe auf Grund von thermischer Ausdehnung oder Kontraktion zur Folge hätten.

3.2 Messeinrichtung

3.2.1 Joche

Jedes der U-förmigen Joche ist aus isolierten Blechen von kornorientiertem Siliziumeisen oder einer Nickel-Eisen-Legierung hergestellt. Es muss einen niedrigen magnetischen Widerstand aufweisen, und die spezifische Ummagnetisierungsverlustleistung darf nicht größer als 1,0 W/kg bei 1,5 T und 50 Hz sein. Es muss in Übereinstimmung mit den im Anhang A genannten Anforderungen hergestellt werden.

Um die Wirkung von Wirbelströmen zu vermindern, und damit sich eine homogenere Flussverteilung über das Innere der Joche einstellt, müssen diese aus einem Schnittbandkern bestehen oder aus einem verklebten Stapel von Blechen, der an den Ecken eine wechselseitig überlappende Verbindung hat (siehe Bild 1).

Die Breite der Polflächen muss $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ betragen.

Die beiden Polflächen jedes Jochs müssen innerhalb von 0,5 mm in einer Ebene liegen, und der Spalt zwischen sich gegenüberliegenden Polflächen darf an keinem Punkt 0,005 mm überschreiten. Außerdem müssen die Joche biegesteif sein, damit keine mechanischen Spannungen in der Probe entstehen.

Die Höhe der Joche muss jeweils zwischen 90 mm und 150 mm liegen. Jedes Joch muss eine Breite von 500^{+5}_{-5} mm und ein Innenmaß von $450 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ haben (siehe Bild 2).

ANMERKUNG Andere Jochabmaße dürfen benutzt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Ergebnisse vergleichbar sind.

Es muss eine nichtleitende, unmagnetische Auflagefläche zwischen den senkrechten Schenkeln der Joche angebracht sein, auf der die Probe liegt. Diese Auflagefläche muss zentriert sein und in der Ebene der Polflächen liegen, so dass die Probe, ohne jeden Luftspalt, direkten Kontakt mit den Polflächen hat.

Das Oberjoch muss nach oben bewegt werden können, um das Einführen der Probe zu ermöglichen. Nach dem Einführen der Probe muss das Oberjoch wieder genau nach dem Unterjoch ausgerichtet werden. Die Aufhängung des Oberjochs muss ermöglichen, einen Teil der Gewichtskraft zu kompensieren, so dass sich auf die Probe eine Kraft zwischen 100 N und 200 N ergibt.

ANMERKUNG Die quadratische Form der Joche wurde gewählt, um bei nichtkornorientiertem Material mit nur einer Probe messen zu können. Durch Drehen der Probe um 90° ist es möglich, die Kennwerte in Walzrichtung und senkrecht dazu zu bestimmen.

3.2.2 Wicklungen

Die Primär- und Sekundärwicklungen müssen mindestens 440 mm lang sein, und sie müssen auf einen nichtleitenden, unmagnetischen rechtwinkligen Spulenkörper gewickelt werden. Der Spulenkörper muss folgende Maße besitzen:

- Länge: 445 mm $\pm$ 2 mm;
- innere Weite: 510 mm $\pm$ 1 mm;
- innere Höhe: 5 mm $\begin{smallmatrix} 0 \\ -2 \end{smallmatrix}$ mm;
- Höhe: $\leq$ 15 mm.

Die Primärwicklung kann bestehen aus:

- entweder fünf oder mehr parallel geschalteten und zusammen die ganze Länge (siehe Bild 3) ausfüllenden Wicklungen derselben Abmessungen und mit derselben Anzahl von Windungen. Zum Beispiel kann bei fünf Wicklungen jede Wicklung aus 400 Windungen von in fünf Lagen gewickeltem Kupferdraht von 1 mm Durchmesser bestehen;
- oder einer kontinuierlich und gleichmäßig gewickelten, die ganze Länge einnehmenden Einzelwicklung. Zum Beispiel kann diese Wicklung aus 400 Windungen von ein- oder mehrlagig gewickeltem Kupferdraht von 1 mm Durchmesser bestehen.

Die Anzahl der Windungen der Sekundärwicklung hängt von den Kenndaten der Messgeräte ab.

3.3 Luftflussskompensation

Die Wirkung des Luftflusses muss kompensiert werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe einer Gegeninduktivität erreicht werden. Die Primärwicklung der Gegeninduktivität wird mit der Primärwicklung des Tafelmessgeräts in Reihe geschaltet, während die Sekundärwicklung der Gegeninduktivität mit der Sekundärwicklung des Tafelmessgeräts gegensinnig in Reihe geschaltet wird.

Die Abstimmung des Wertes der Gegeninduktivität muss auf folgende Weise geschehen: Wenn durch die Primärwicklung des Tafelmessgeräts, in das keine Probe eingeschoben ist, ein Wechselstrom fließt, dann darf die zwischen den nicht verbundenen Spulenausgängen der Sekundärwicklungen gemessene Spannung nicht größer sein als 0,1 % der an der Sekundärwicklung des Tafelmessgeräts allein gemessenen Spannung.

Damit ist der Mittelwert der gleichgerichteten Spannung, die in die kombinierte Sekundärwicklung induziert wird, proportional zum Scheitelwert der magnetischen Polarisierung in der Probe.

3.4 Probe

Die Länge der Probe darf nicht weniger als 500 mm betragen. Wenngleich der Teil der Probe, der außerhalb der Polflächen liegt, keinen großen Einfluss auf die Messung hat, so darf dieser Teil nicht länger sein als für das Einlegen und Herausnehmen der Probe notwendig.

Die Probe muss so breit wie möglich, sie darf aber höchstens so breit wie die Joche sein.

Zugunsten größtmöglicher Genauigkeit darf die Probenbreite nicht kleiner als 60 % der Jochbreite sein.

Die Probe muss ohne überhöhten Grat oder mechanische Verformung geschnitten werden. Die Probe muss eben sein. Beim Schneiden der Probe dient die Kante des Mutterbands als Bezugsrichtung. Für den Winkel zwischen der Walzrichtung und der Schnittrichtung sind folgende Toleranzen erlaubt:

- $\pm 1^\circ$ für kornorientiertes Blech;
- $\pm 5^\circ$ für nichtkornorientiertes Blech.

Für nichtkornorientiertes Blech müssen zwei Proben geschnitten werden, eine parallel und die andere senkrecht zur Walzrichtung, es sei denn, die Probe ist quadratisch, dann ist nur eine Probe erforderlich.

3.5 Leistungsquelle

Die Leistungsquelle muss eine niedrige Ausgangsimpedanz haben und muss in Spannung und Frequenz sehr stabil sein. Während der Messung sind die Spannung und die Frequenz innerhalb von $\pm 0,2 \%$ stabil zu halten.

Zusätzlich muss die Schwingungsform der Sekundärspannung so sinusförmig wie möglich gehalten werden. Es ist anzustreben, den Formfaktor der Sekundärspannung innerhalb von $\pm 1 \%$ von 1,111 zu halten. Dies kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden, zum Beispiel mit Hilfe eines elektronischen Verstärkers zusammen mit einer Regelschleife.

4 Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung

4.1 Grundzüge des Messverfahrens

Das Tafelmessgerät mit der Probe stellt einen Transformator ohne Last dar, dessen Ummagnetisierungsverlustleistung in der in Bild 4 gezeigten Schaltung gemessen wird.

4.2 Messeinrichtung

4.2.1 Spannungsmessung

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

4.2.1.1 Gleichrichtwert-Spannungsmessgerät

Der Gleichrichtwert der Sekundärspannung des Tafelmessgeräts muss mit einem Gleichrichtwert-Spannungsmessgerät gemessen werden. Vorzugsweise ist ein Digitalspannungsmessgerät mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,2 \%$ zu verwenden.

ANMERKUNG Messgeräte dieses Typs sind üblicherweise in Gleichrichtwerte multipliziert mit 1,111 skaliert.

Die Belastung des Sekundärkreises muss so klein wie möglich sein. Folglich sollte der Innenwiderstand des Gleichrichtwert-Spannungsmessgeräts mindestens $1\,000\ \Omega/V$ betragen.

4.2.1.2 Effektivwert-Spannungsmessgerät

Es muss ein auf Effektivwerte ansprechendes Spannungsmessgerät benutzt werden. Vorzugsweise ist ein Digitalspannungsmessgerät mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,2 \%$ zu verwenden.

4.2.2 Frequenzmessung

Ein Frequenzmessgerät mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,1 \%$ ist zu benutzen.

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

4.2.3 Leistungsmessung

Die Leistung muss mit einem Leistungsmessgerät, das bei dem vorliegenden Leistungsfaktor und Crestfaktor eine Messunsicherheit von $\pm 0,5 \%$ oder besser aufweist, gemessen werden.

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

Der Widerstand des Spannungspfads des Leistungsmessgeräts muss mindestens $100\ \Omega/V$ für alle Messbereiche betragen. Falls notwendig, müssen die im Sekundärkreis entstandenen Verlustleistungen von der angezeigten Verlustleistung abgezogen werden.

Der ohmsche Widerstand des Spannungspfads des Leistungsmessgeräts muss mindestens 5 000 Mal so groß wie sein Blindwiderstand sein, es sei denn, dass das Leistungsmessgerät in Bezug auf seinen Blindwiderstand kompensiert ist.

Ein eventuell in den Primärkreis eingebautes Stromstärkemessgerät muss kurzgeschlossen werden, wenn die Sekundärspannung eingestellt wird und die Verlustleistung gemessen wird.

4.3 Ausführung der Messung der spezifischen Gesamtverluste

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

4.3.1 Vorbereitung der Messung

Die Länge der Probe muss auf $\pm 0,1\%$ genau gemessen und die Masse auf $\pm 0,1\%$ genau bestimmt werden. Die Probe muss eingeführt und bezüglich der Längs- und Querachse des Spulensystems zentriert werden, und das Oberjoch, dessen Gewichtskraft teilweise kompensiert ist, ist abzusenken.

Vor der Messung muss die Probe im langsam herunterzufahrenden Wechselfeld, ausgehend von einem Wert, der deutlich oberhalb des Wertes liegt, bei dem gemessen werden soll, abmagnetisiert werden.

4.3.2 Einstellen der Spannungsquelle

Die Spannungsquelle muss so eingestellt werden, dass für den Gleichrichtwert der Sekundärspannung gilt:

$$\overline{|U_2|} = 4 f N_2 \frac{R_i}{R_i + R_t} A \hat{J} \quad (1)$$

Dabei ist

$\overline{|U_2|}$ der Gleichrichtwert der Sekundärspannung in Volt;

f die Frequenz in Hertz;

R_i der Gesamtwiderstand der Messgeräte im Sekundärkreis in Ohm;

R_t der Gesamtwiderstand der Sekundärwicklungen des Tafelmessgeräts und der Gegeninduktivität in Ohm;

N_2 die Windungszahl der Sekundärwicklung;

A die Querschnittsfläche der Probe in Quadratmeter;

$\hat{J}$ der Scheitelwert der magnetischen Polarisierung in Tesla.

Die Querschnittsfläche ist gegeben durch die Gleichung:

$$A = \frac{m}{l \rho_m} \quad (2)$$

Dabei ist

m die Masse der Probe in Kilogramm;

l die Länge der Probe in Meter;

ρ_m die Dichte des Probenmaterials in Kilogramm je Kubikmeter.