

DIN EN IEC 60404-3



ICS 17.220.20; 29.030

Entwurf

Einsprüche bis 2021-08-11
Vorgesehen als Ersatz für
DIN IEC 60404-3:2010-05 und
DIN IEC 60404-3
Berichtigung 1:2010-09

**Magnetische Werkstoffe –
Teil 3: Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von
Elektroband und -blech mit Hilfe eines Tafelmessgerätes
(IEC 68/661/CD:2020);
Text Deutsch und Englisch**

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 68/661/CD:2020);

Text in German and English

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

(IEC 68/661/CD:2020);

Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe 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/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe 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 oder 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 54 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 68/661/CD:2020-06 „Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester“ (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 IEC/TC 68 „Magnetic alloys and steels“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (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 FprEN nur 6 Wochen 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 DKE/K 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60404-3:2010-05 und DIN IEC 60404-3 Berichtigung 1:2010-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Eine senkrechte Linie am Seitenrand zeigt an, wo die Ausgabe 2.2 modifiziert wurde.
- b) Anhang A ist Bestandteil dieser Norm.
- c) Anhang B von Ausgabe 2.2 bezog sich auf die Kalibrierung des SST mit Hilfe des Epstein-Verfahrens. Er wurde gestrichen.
- d) Die Anhänge B (neu), C und D dienen nur der Information.
- e) Anhang C wurde unter Berücksichtigung der neuen Situation bezüglich der P- und R-Qualitäten geändert.

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Allgemeine Prinzipien der Wechselstrommessung.....	6
4.1 Allgemeines.....	6
4.2 Kurzbeschreibung des Tafelmessgerät-Verfahrens.....	7
4.3 Prüfeinrichtung.....	7
4.3.1 Joche.....	7
4.3.2 Wicklungen.....	9
4.4 Luftflusskompensation.....	9
4.5 Probekörper.....	10
4.6 Spannungsquelle.....	10
5 Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung.....	11
5.1 Grundlage des Messverfahrens.....	11
5.2 Prüfgerät.....	11
5.2.1 Spannungsmessung.....	11
5.2.2 Frequenzmessung.....	11
5.2.3 Leistungsmessung.....	11
5.3 Ausführung der Messung der spezifischen Gesamtverluste.....	12
5.3.1 Vorbereitung der Messung.....	12
5.3.2 Einstellen der Spannungsquelle.....	12
5.3.3 Messvorgang.....	12
5.3.4 Vergleichpräzision.....	13
6 Bestimmung der magnetischen Feldstärke, Magnetisierungsstromstärke und spezifischen Scheinleistung.....	13
6.1 Allgemeines.....	13
6.2 Messprinzip.....	14
6.2.1 Scheitelwert der magnetischen Polarisation.....	14
6.2.2 Effektivwert der Magnetisierungsstromstärke.....	14
6.2.3 Scheitelwert der magnetischen Feldstärke.....	14
6.3 Prüfgerät.....	14
6.3.1 Gleichrichtwert-Spannungsmessgerät.....	14
6.3.2 Strommessung.....	15
6.3.3 Messung des Scheitelwerts der Stromstärke.....	15
6.3.4 Spannungsquelle.....	15
6.3.5 Widerstand R_n	15
6.4 Durchführung der Messung.....	15
6.4.1 Vorbereitung der Messung.....	15

6.4.2	Messungsvorgang.....	15
6.4.3	Nichtkornorientierter Werkstoff.....	16
6.5	Bestimmung der Kenngrößen.....	16
6.5.1	Bestimmung von $\hat{J}$	16
6.5.2	Bestimmung von H^-	16
6.5.3	Bestimmung von $H^\wedge$	17
6.5.4	Bestimmung der spezifischen Scheinleistung S_s	17
6.6	Vergleichpräzision.....	18
Anhang A (normativ) Anforderungen bei der Herstellung der Joche.....		19
Anhang B (informativ) Überprüfung und Verifizierung der zuverlässigen Leistung des SST-Aufbaus durch die Verwendung von Referenzproben und Auswirkung der in den Jochen abgeleiteten Verluste.....		20
Anhang C (informativ) Die Beziehung von Epstein- zu SST-Werten bei konventionellem kornorientiertem Elektroband und -blech.....		22
Anhang D (informativ) Digitales Abtastverfahren zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften.....		25
D.1	Allgemeines.....	25
D.2	Technische Einzelheiten und Anforderungen.....	25
D.3	Kalibrierungsaspekte.....	27
Literaturhinweise		28
Bilder		
Bild 1 – Schematische Darstellung des Prüfgeräts.....		8
Bild 2 – Jochmaße.....		8
Bild 3 – Schema der Verbindungen der 5 Spulen der Primärwicklung.....		9
Bild 4 – Schaltung für die Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung.....		10
Bild 5 – Schaltung zur Messung des Effektivwerts der Magnetisierungsstromstärke.....		14
Bild 6 – Schaltung zur Messung des Scheitelwerts der magnetischen Feldstärke.....		14
Bild C.1 – Epstein-SST-Umwandlungsfaktor δP für kornorientierten Werkstoff als Funktion der magnetischen Polarisation J		24
Bild C.2 – Epstein-SST-Umwandlungsfaktor δHS für kornorientierten Werkstoff als Funktion der magnetischen Polarisation J		24
Tabellen		
Tabelle B.1 – Relativer Anteil der Verlustleistung in den Jochen eines Standard-SST, p_y , ermittelt aus den gemittelten Verlustkurven, gemessen an 3 Jochpaaren, Beispiele [9].....		21
Tabelle C.1 – Epstein-SST-Umwandlungsfaktoren δP und δHS für kornorientiertes Material im Polarisationsbereich 1,0 T bis 1,8 T.....		23

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

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60404 gilt für kornorientiertes und nichtkornorientiertes Elektroband und -blech für die Messung der magnetischen Wechselstrom-Eigenschaften bei Netzfrequenzen.

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

Das Tafelmessgerät ist anwendbar auf Tafelproben von Elektroband und -blech jeder Qualität. Die magnetischen Kennwerte im Wechselfeld werden bei sinusförmiger induzierter Spannung, bestimmten Scheitelwerten der magnetischen Polarisierung und für eine festgelegte Frequenz bestimmt.

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

ANMERKUNG In dieser Norm wird durchgehend die Größe „magnetische Polarisierung“ verwendet, wie sie in IEC 60050(221) festgelegt ist. In einigen Normen der Reihe IEC 60404 wird die Größe „Magnetische Flussdichte“ verwendet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

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 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-121 und IEC 60050-221.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

4 Allgemeine Prinzipien der Wechselstrommessung

4.1 Allgemeines

Abschnitt 4 beschreibt die allgemeinen Bedingungen zur Bestimmung der magnetischen Wechselstromeigenschaften von Elektroband und -blech mit Hilfe eines Tafelmessgerätes.

4.2 Kurzbeschreibung des Tafelmessgerät-Verfahrens

Der Probekörper 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 des Probekörpers (siehe Bild 1).

Um die Wirkung des Drucks auf den Probekörper möglichst gering zu halten, muss das obere Joch mit einer Aufhängvorrichtung versehen sein, mit der ein Teil der Gewichtskraft gemäß 4.3.1 kompensiert wird. Es muss dafür gesorgt werden, dass Temperaturänderungen unterhalb solcher Werte bleiben, die wahrscheinlich mechanische Spannungen im Probekörper auf Grund von thermischer Ausdehnung oder Kontraktion zur Folge hätten.

4.3 Prüfeinrichtung

4.3.1 Joche

Jedes der U-förmigen Joche ist aus isolierten Blechen von kornorientiertem Siliziumeisen oder einer Nickel-Eisen-Legierung hergestellt. Es muss eine niedrige Reluktanz und einen geringen spezifischen Gesamtverlust aufweisen. 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 wechselweise überlappende Verbindung hat (siehe Bild 1).

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

Die beiden Polflächen jedes Jochs müssen innerhalb von $0,5 \text{ mm}$ in einer Ebene liegen, und der Spalt zwischen sich gegenüberliegenden Polflächen darf an keinem Punkt $0,005 \text{ mm}$ überschreiten. Außerdem müssen die Joche biegesteif sein, damit keine mechanischen Spannungen in dem Probekörper 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 der Probekörper liegt. Diese Auflagefläche muss zentriert sein und in der Ebene der Polflächen liegen, so dass der Probekörper, ohne jeden Luftspalt, direkten Kontakt mit den Polflächen hat. Es muss darauf geachtet werden, dass die Oberfläche der Auflage in keinem Fall höher liegt als die Ebene der Polflächen des Unterjochs. Eine Position der Auflageebene um maximal $0,5 \text{ mm}$ tiefer als die Polflächenebene ist zulässig.

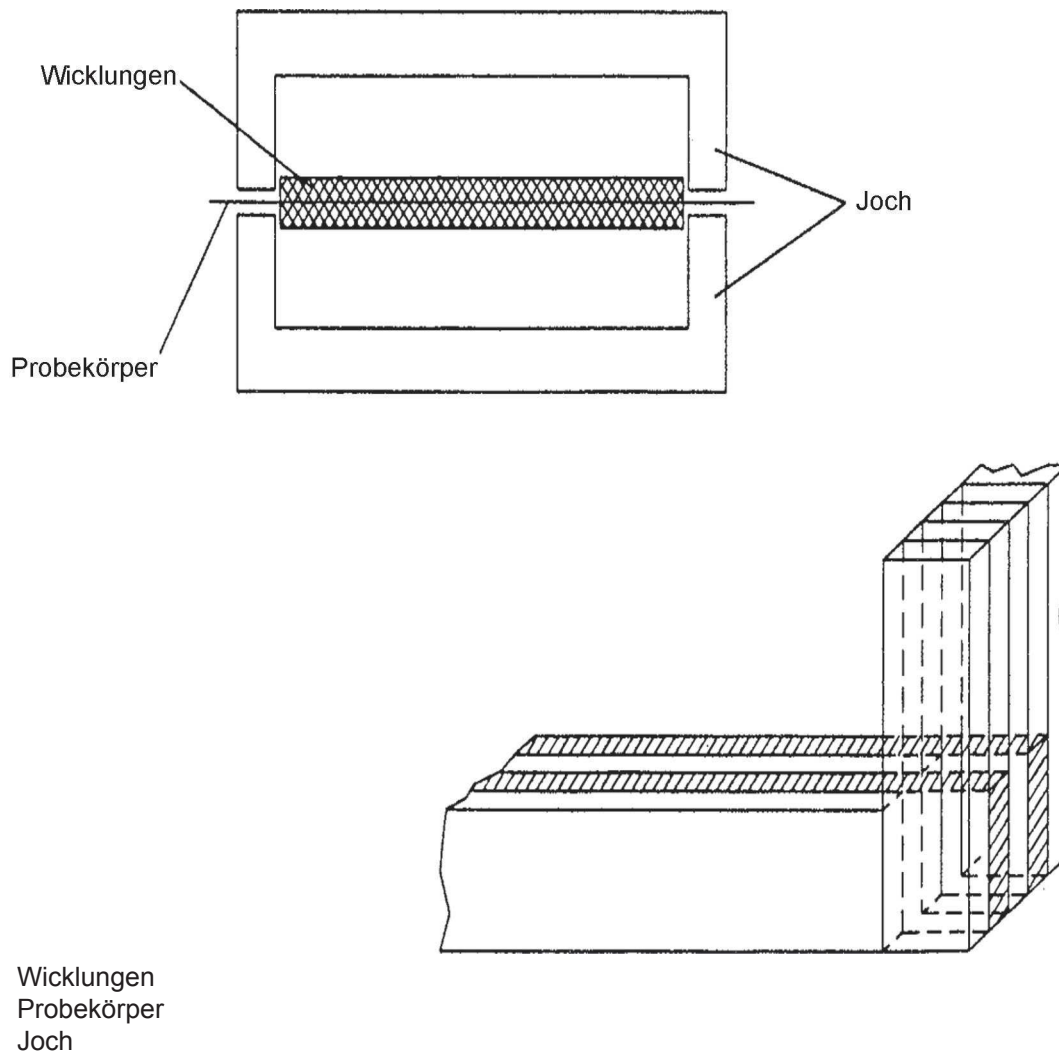


Bild 1 – Schematische Darstellung des Prüfgeräts

Das Oberjoch muss nach oben bewegt werden können, um das Einführen des Probekörpers zu ermöglichen. Nach dem Einführen des Probekörpers 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 den Probekörper eine Kraft zwischen 100 N und 200 N ergibt.

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

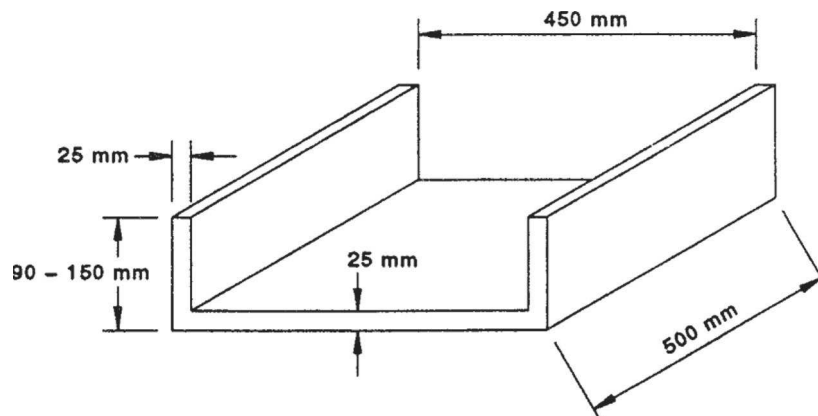


Bild 2 – Jochmaße

4.3.2 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^{+0}_{-2} 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.

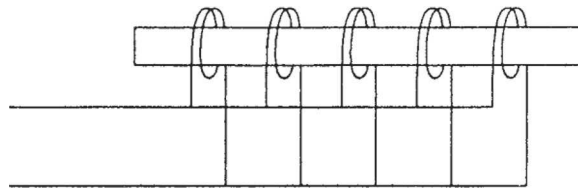
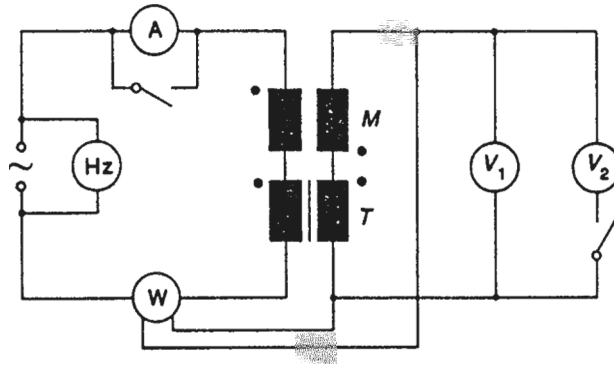


Bild 3 – Schema der Verbindungen der 5 Spulen der Primärwicklung

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

4.4 Luftflusskompensation

Die Wirkung des Luftflusses muss kompensiert werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe einer Gegeninduktivität M (siehe Bild 4) 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.



V_1	misst den Gleichrichtwert der Spannung
V_2	misst den Effektivwert der Spannung
M	Gegeninduktivität
T	Prüfrahmen

Bild 4 – Schaltung für die Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung

Die Abstimmung des Wertes der Gegeninduktivität muss auf folgende Weise geschehen: Wenn durch die Primärwicklung des Tafelmessgeräts, in das kein Probekörper 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.

4.5 Probekörper

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

Der Probekörper muss so breit wie möglich, darf aber höchstens so breit wie die Joche sein.

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

ANMERKUNG Spezifische Einschränkungen der Maße der Probekörper können für spezielle Werkstoffqualitäten in den jeweiligen Spezifikationsnormen festgelegt werden.

Der Probekörper muss ohne überhöhten Grat oder mechanische Verformung geschnitten werden. Der Probekörper muss eben sein. Beim Schneiden eines Probekörpers wird die Kante des Ausgangsbandes als Referenzrichtung verwendet. 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 Probekörper geschnitten werden, eine parallel und die andere senkrecht zur Walzrichtung, es sei denn, der Probekörper ist quadratisch, dann ist nur ein Probekörper erforderlich.

4.6 Spannungsquelle

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

Zusätzlich muss die Schwingungsform der Sekundärspannung so sinusförmig wie möglich gehalten werden. Der Formfaktor der Sekundärspannung muss auf $\pm 1 \%$ von 1,111 gehalten werden. Dies kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden, zum Beispiel mit Hilfe eines elektronischen Verstärkers zusammen mit einer Regelschleife und einem computergesteuerten digitalen Rückführungssystem.

5 Bestimmung der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung

5.1 Grundlage des Messverfahrens

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

5.2 Prüfgerät

5.2.1 Spannungsmessung

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

5.2.1.1 Gleichrichtwert-Spannungsmessgerät

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

5.2.1.2 Effektivwert-Spannungsmessgerät

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

5.2.2 Frequenzmessung

Ein Frequenzmessgerät mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,1 \%$ oder besser muss benutzt werden.

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

5.2.3 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 Spannungspaths 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 Spannungspaths 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.

5.3 Ausführung der Messung der spezifischen Gesamtverluste

ANMERKUNG Für die Anwendung digitaler Verfahren siehe Anhang D.

5.3.1 Vorbereitung der Messung

Die Länge des Probekörpers muss mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,1$ % oder besser gemessen und die Masse auf $\pm 0,1$ % genau bestimmt werden. Der Probekörper muss eingeführt und bezüglich der Längs- und Querachse des Spulensystems zentriert werden, und das Oberjoch, dessen Gewichtskraft teilweise kompensiert ist, muss abgesenkt werden.

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

5.3.2 Einstellen der Spannungsquelle

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

$$\overline{|U_2|} = 4fN_2 \frac{R_i}{R_i + R_t} A\hat{J} \quad (1)$$

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 des Probekörpers in Quadratmeter;
$\hat{J}$	der Scheitelwert der magnetischen Polarisation in Tesla.

Die Querschnittsfläche A ist gegeben durch die Gleichung:

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

Dabei ist

m	die Masse des Probekörpers, in Kilogramm;
l	die Länge des Probekörpers in Meter;
ρ_m	die Dichte des Probenmaterials in Kilogramm je Kubikmeter.

5.3.3 Messvorgang

5.3.3.1 Wenn ein Stromstärkemessgerät in den Primärkreis eingebaut ist, dann muss dieses beobachtet werden, um sicherzustellen, dass der Strompfad des Leistungsmessgeräts nicht überlastet wird. Danach muss das Stromstärkemessgerät kurzgeschlossen und die Sekundärspannung erneut eingestellt werden.

Nach Überprüfung der Schwingungsform der Sekundärspannung muss das Leistungsmessgerät abgelesen werden. Der Wert der Ummagnetisierungsverlustleistung muss dann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$P_s = \left[P \frac{N_1}{N_2} - \frac{(1,111 \overline{|U_2|})^2}{R_i} \right] \frac{l}{m l_m} \quad (3)$$

Dabei ist

$\overline{ U_2 }$	der Gleichrichtwert der Sekundärspannung in Volt;
P_s	die spezifische Ummagnetisierungsverlustleistung des Probekörpers in Watt je Kilogramm;
P	die vom Leistungsmessgerät gemessene Leistung in Watt;
m	die Masse des Probekörpers, in Kilogramm;
l_m	die konventionelle magnetische Weglänge in Meter ($l_m = 0,45$ m);
l	die Länge des Probekörpers in Meter;
N_1	die Windungszahl der Primärwicklung;
N_2	die Windungszahl der Sekundärwicklung;
R_i	der Gesamtwiderstand der Messgeräte im Sekundärkreis in Ohm.

ANMERKUNG Untersuchungen* haben ergeben, dass die innere Länge der Joche einen geeigneten Mittelwert für die effektive magnetische Weglänge l_m für verschiedene Materialien und Polarisationswerte darstellt.

5.3.3.2 Bei nichtkornorientiertem Werkstoff muss bei den Werten der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung, die in den Gütenormen für magnetische Werkstoffe festgelegt sind, der angegebene Wert der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung als Mittelwert der zwei Messungen in Walzrichtung und senkrecht dazu errechnet werden. In anderen Fällen müssen die Werte der spezifischen Ummagnetisierungsverlustleistung parallel und senkrecht zur Walzrichtung getrennt angegeben werden.

5.3.4 Vergleichpräzision

Die Vergleichpräzision dieses Verfahrens mit dem oben beschriebenen Tafelmessgerät ist durch eine relative Standardabweichung von 1 % für kornorientierten und von 2 % für nichtkornorientierten Werkstoff gekennzeichnet.

6 Bestimmung der magnetischen Feldstärke, Magnetisierungsstromstärke und spezifischen Scheinleistung

6.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt die Messverfahren zur Bestimmung folgender Kenngrößen:

- Effektivwert der Magnetisierungsstromstärke $\tilde{I}_1$;
- Scheitelwert der magnetischen Feldstärke $\hat{H}$
- spezifische Scheinleistung S_s . 6.2 Messprinzip

* J. D. Sievert, Determination of AC Magnetic Power Loss of Electrical Steel Sheet: Present status and trends, IEEE Trans. Mag. Vol. 20, No. 5 (1984) 17021707.

6.2 Messprinzip

6.2.1 Scheitelwert der magnetischen Polarisation

Der Scheitelwert der magnetischen Polarisation muss vom gemittelten Gleichrichtwert der Sekundärspannung abgeleitet werden, der nach Unterabschnitt 5.2.1 gemessen wurde.

6.2.2 Effektivwert der Magnetisierungsstromstärke

Der Effektivwert der Magnetisierungsstromstärke muss mit Hilfe eines Effektivwert-Stromstärkemessgeräts in der Schaltung nach Bild 5 gemessen werden.

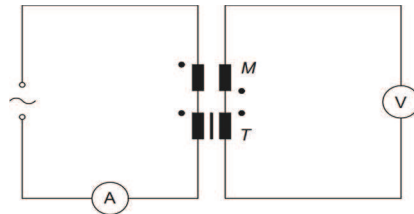


Bild 5 – Schaltung zur Messung des Effektivwerts der Magnetisierungsstromstärke

6.2.3 Scheitelwert der magnetischen Feldstärke

Der Scheitelwert der magnetischen Feldstärke muss vom Scheitelwert $\hat{I}$ der Primärstromstärke abgeleitet werden, der durch Messung des Spannungsabfalls über einen bekannten Präzisionswiderstand R_n mit einem Scheitelwert-Spannungsmessgerät, wie in Bild 6 gezeigt, gemessen werden muss.

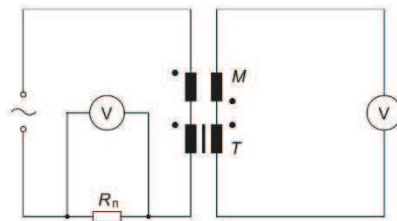


Bild 6 – Schaltung zur Messung des Scheitelwerts der magnetischen Feldstärke

6.3 Prüfgerät

6.3.1 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 Schaltung zur Messung des Effektivwerts der Magnetisierungsstromstärke

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

6.3.2 Strommessung

Der Effektivwert der Primärstromstärke muss entweder mit einem Effektivwert-Stromstärkemessgerät mit niedriger Eingangsimpedanz der Klasse 0,5 oder besser (siehe Bild 5) oder mit Hilfe eines Präzisionswiderstands und eines elektronischen Effektivwert-Spannungsmessgeräts gemessen werden (siehe Bild 6).

6.3.3 Messung des Scheitelwerts der Stromstärke

Die Messung des Scheitelwerts der Spannung über dem Widerstand R_n (siehe Bild 6) muss entweder mit Hilfe eines elektronischen, den Scheitelwert anzeigenden Spannungsmessgeräts hoher Empfindlichkeit oder mit Hilfe eines kalibrierten Oszilloskops ausgeführt werden.

Der Fehler der verwendeten Messanordnung bezogen auf Vollausschlag darf höchstens $\pm 3 \%$ betragen.

6.3.4 Spannungsquelle

Die Spannungsquelle muss der in 4.6 entsprechen.

6.3.5 Widerstand R_n

Das in Bild 6 dargestellte Verfahren erfordert die Verwendung eines induktivitätsarmen Präzisionswiderstands mit einem innerhalb von $\pm 0,5 \%$ bekannten Wert.

Der zu wählende Widerstandswert hängt von der Empfindlichkeit des Scheitelwert-Spannungsmessgeräts ab. Um die Verzerrung der induzierten Spannung minimal zu halten, darf der Wert nicht größer als 1Ω sein.

6.4 Durchführung der Messung

6.4.1 Vorbereitung der Messung

Die Länge des Probekörpers muss mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,1 \%$ oder besser gemessen und die Masse auf $\pm 0,1 \%$ genau bestimmt werden. Der Probekörper muss eingeführt und bezüglich der Längs- und Querachse des Spulensystems zentriert werden, und das Oberjoch, dessen Gewichtskraft teilweise kompensiert ist, muss abgesenkt werden.

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

6.4.2 Messungsvorgang

In der Praxis werden Einzelwerte oder Gruppen von Werten der magnetischen Polarisierung $\hat{J}$ und der magnetischen Feldstärke ($\hat{H}$ oder $\tilde{H}$) bestimmt.

Wenn die magnetische Feldstärke vorgegeben ist und die magnetische Polarisierung bestimmt werden soll, dann muss die Primärstromstärke so eingestellt werden, dass sich die gewünschte magnetische Feldstärke ergibt (siehe unten). Danach muss die Sekundärspannung des Tafelmessgeräts am Gleichrichtwert-Spannungsmessgerät abgelesen werden (siehe 5.3.2).

Ebenso muss, wenn die magnetische Polarisierung vorgegeben ist und die magnetische Feldstärke bestimmt werden soll, die Sekundärspannung auf den vorgegebenen Wert nach der in 5.3.2 gegebenen Beschreibung eingestellt werden.

Für die Bestimmung von $\tilde{H}$ muss der Effektivwert der Primärstromstärke vom Stromstärkemessgerät entsprechend der Schaltung Bild 5 oder vom Spannungsmessgerät entsprechend der Schaltung Bild 6 abgelesen werden.

Für die Bestimmung von $\hat{H}$ muss der Scheitelwert des Spannungsabfalls über den Widerstand R_n vom Scheitelwert-Spannungsmessgerät abgelesen werden.

6.4.3 Nichtkornorientierter Werkstoff

Bei nichtkornorientiertem Werkstoff muss bei den Scheitelwerten der magnetischen Polarisation $\hat{J}$ die in den Gütenormen für magnetische Werkstoffe festgelegt sind, der anzugebende Wert für $\hat{J}$ als Mittelwert der zwei Messungen in Walzrichtung und senkrecht dazu errechnet werden. Für Werte von $\hat{J}$ in anderen Fällen und für die Messung der spezifischen Scheinleistung und den Effektivwert der Magnetisierungsstromstärke müssen die Werte parallel und senkrecht zur Walzrichtung getrennt angegeben werden.

6.5 Bestimmung der Kenngrößen

6.5.1 Bestimmung von $\hat{J}$

Der Scheitelwert der magnetischen Polarisation ist gegeben durch die Gleichung:

$$\hat{J} = \frac{1}{4fN_2A} |\overline{U_2}| \quad (4)$$

Um $|\overline{U_2}|$ zu erhalten, muss der vom Spannungsmessgerät abgelesene Wert mit dem Faktor korrigiert werden.

$$\frac{R_v + R_2}{R_v}$$

Dabei ist

$\hat{J}$	der Scheitelwert der magnetischen Polarisation in Tesla;
f	die Frequenz in Hertz;
N_2	die Windungszahl der Sekundärwicklung;
A	die Querschnittsfläche des Probekörpers in Quadratmeter;
R_v	der Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts in Ohm;
R_2	der Widerstand der Sekundärwicklung des Tafelmessgerätes in Ohm;
$ \overline{U_2} $	der Gleichrichtwert der Sekundenspannung in Volt.

6.5.2 Bestimmung von $\tilde{H}$

Der Effektivwert der magnetischen Feldstärke muss aus dem Effektivwert der Primärstromstärke berechnet werden, der vom Stromstärkemessgerät entsprechend der Schaltung Bild 5 oder vom Spannungsmessgerät entsprechend der Schaltung Bild 6 angezeigt wird:

$$\tilde{H} = \frac{N_1}{l_m} \tilde{I}_1 \quad (5)$$

Dabei ist

$\tilde{H}$	der Effektivwert der magnetischen Feldstärke in Ampere je Meter;
N_1	die Windungszahl der Primärwicklung;
l_m	die konventionelle effektive magnetische Weglänge in Meter ($l_m = 0,45 \text{ m}$);
$\tilde{I}_1$	der Effektivwert der Primärstromstärke in Ampere.

Nachdem mehrere Gruppen entsprechender Werte von $\hat{J}$ und $\hat{H}$ bestimmt worden sind, kann die Magnetisierungskurve $\hat{J}$ als Funktion von $\hat{H}$ gezeichnet werden.

6.5.3 Bestimmung von $\hat{H}$

Der Scheitelwert der magnetischen Feldstärke muss aus dem vom Scheitelwertspannungsmessgerät abgelesenen Wert $\hat{U}_m$ errechnet werden:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{R_n l_m} \hat{U}_m \quad (6)$$

Dabei ist

$\hat{H}$	der Scheitelwert der magnetischen Feldstärke in Ampere je Meter;
R_n	der Widerstandswert des Präzisionswiderstands in Bild 6 in Ohm;
$\hat{U}_m$	der Scheitelwert des Spannungsabfalls über R_n in Volt.

ANMERKUNG Die Amplitudenpermeabilität wird ausgedrückt durch:

$$\mu_a = \frac{\hat{J}}{\mu_0 \hat{H}} + 1$$

6.5.4 Bestimmung der spezifischen Scheinleistung S_s

Die Scheinleistung ist gegeben durch:

$$S = \tilde{I}_1 \cdot \tilde{U}_2 \frac{N_1}{N_2} = \tilde{I}_1 \cdot 1,111 \cdot \overline{|U_2|} \cdot \frac{N_1}{N_2} \quad (7)$$

Dabei ist

S	die Scheinleistung in Voltampere;
$\tilde{U}_2$	der Effektivwert der Sekundärspannung des Tafelmessgeräts in Volt.

ANMERKUNG Die Beziehung $\tilde{U}_2 = 1,111 \cdot |U_2|$ gilt nur für sinusförmige Spannung.

Das Teilen dieser Größe durch die effektive Masse $m_a = \frac{l_m}{l} m$ ergibt die spezifische Scheinleistung:

$$S_s = \frac{S}{m_a} = \frac{\tilde{I}_1 \cdot 1,111 \cdot \overline{|U_2|} \cdot \frac{N_1}{N_2}}{m l_m N_2} \quad (8)$$

Dabei ist

S_s	die spezifische Scheinleistung in Voltampere je Kilogramm;
l	die Länge des Probekörpers in Meter;
m	die Masse des Probekörpers, in Kilogramm;
$\overline{ U_2 }$	der Gleichrichtwert der Sekundärspannung in Volt;
N_1	die Windungszahl der Primärwicklung;