

DIN EN 60404-13

ICS 29.030

Einsprüche bis 2015-02-05
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60404-13:2008-05

Entwurf

**Magnetische Werkstoffe –
Teil 13: Verfahren der Messung des spezifischen elektrischen
Widerstandes, der Dichte und des Stapelfaktors von Elektroband
(IEC 68/478A/CD:2014)**

Magnetic materials –
Part 13: Methods of measurement of resistivity, density and stacking factor of electrical
steel strip and sheet
(IEC 68/478A/CD:2014)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-12-05 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 im 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 47 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Eisen und Stahl (FES)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einführung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Grundzüge des Messverfahrens	7
4.3 Prüfling.....	9
4.4 Messgerät.....	10
4.5 Messverfahren.....	11
5 Bestimmung der Dichte	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Auf Messung des Widerstands beruhende Verfahren	13
5.3 Gaspyknometer-Verfahren (Verfahren VI)	15
5.4 Prüfbericht	16
6 Bestimmung des Stapelfaktors.....	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Prüfling.....	16
6.3 Messverfahren.....	16
6.4 Vergleichspräzision	17
6.5 Prüfbericht	17
Anhang A (informativ) Ein Beispiel der Messeinrichtung für den spezifischen elektrischen Widerstand mit Benutzung einer quadratischen Tafelprobe (Verfahren II).....	19
Anhang B (informativ) Berechnung der Dichte (Verfahren V) basierend auf Silizium- und Aluminium-Gehalt	20
Anhang C (informativ) Ein Beispiel der Dichtebestimmung nach dem Gaspyknometer-Verfahren	21
C.1 Einführung	21
C.2 Prüfling.....	21
C.3 Messeinrichtung	22
C.4 Kalibrierung	22
C.5 Messverfahren.....	22
C.6 Wiederholpräzision	23
Literaturhinweise.....	24
 Bilder	
Bild 1 – Schaltung zur Messung des Widerstandes eines Epseinstreifens (Verfahren I)	7
Bild 2 – Schaltung zur Messung des Widerstandes an einer quadratischen Tafelprobe (Verfahren II).....	8
Bild 3 – Experimentelle Ergebnisse und Ausgleichsgerade für die Dichte ρ_m in Abhängigkeit vom Produkt $\rho_m \cdot \rho$ für nicht-orientiertes Elektrobänd	13
Bild 4 – Schematische Darstellung der Stapelprobe und der Pressbacken in Seitenansicht (a) und Aufsicht (b)	17

	Seite
Bild A.1 – Schematischer Schnitt durch einen Kontakthalter	19
Bild C.1 – Schematische Darstellung des Zwei-Kammer-Drucktyp-Gaspyknometer	22

Tabellen

Tabelle C.1 – Anzahl der Probenscheiben mit dem Durchmesser 36 mm	21
---	----

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 68/478A/CD:2014 „Magnetic materials – Part 13: Methods of measurement of resistivity, density and stacking factor of electrical steel strip and sheet“ (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 68 „Magnetic alloys and steels“ 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 171 „Magnetische Legierungen und Stahl“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 68 „Magnetic alloys and steels“ erarbeitet.

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.

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 60404-13:2008-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Normentext wurde entsprechend den aktuellen Vorgaben für Dokumente überarbeitet;
- b) die normativen Verweisungen wurden auf den aktuellen Stand gebracht;
- c) einzelne Abschnitte wurden neu angeordnet;
- d) ein neuer Abschnitt wurde hinzugefügt.

— Entwurf —**Magnetische Werkstoffe –****Teil 13: Verfahren der Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes, der Dichte und des Stapelfaktors von Elektroband****Einführung**

Während der Entwurfsarbeit an dieser Normausgabe wurden in der betroffenen Arbeitsgruppe die Änderungen diskutiert, die sich auf die folgenden beiden Punkte konzentrieren:

Als erstes wird der Inhalt der Norm durch vertauschen der Reihenfolge der Abschnitte für die Dichte und für den spezifischen elektrischen Widerstand logischer angeordnet, weil nämlich die Verfahren III und IV für die Dichtemessung auf den Verfahren I beziehungsweise II für die Messung des spezifischen elektrischen Widerstands basieren.

Zweitens wird das Gaspyknometer-Verfahren für die Dichtemessung als ein neuer Abschnitt eingeführt. In IEC 60404-13:1995 ist das Verfahren des Eintauchens in Flüssigkeit nach ISO 1183, das sich auf ISO 2738:1987 und ISO 1183:1987 bezieht, nunmehr in drei Teile unterteilt, und ISO 1183-1:2004 und ISO 1183-3:1999, die sich auf plastische Werkstoffe beziehen, beschreiben das Eintauchverfahren beziehungsweise das Gaspyknometer-Verfahren für die Messung der Dichte. Diese beiden Verfahren sind Verfahren der direkten Messung der Dichte von Feststoffen. Im Fall des Elektrobands können beide Verfahren benutzt werden, jedoch ist das Flüssigkeits-Eintauchverfahren in der praktischen Anwendung schwierig, da die Blechproben eine relativ große Oberfläche haben. Hingegen ist das Gaspyknometer-Verfahren für Elektroband brauchbar, und einige ins Einzelne gehende Anforderungen und Instruktionen, welche ISO 1183-3:1999 ergänzen, sollten in Betracht gezogen werden. Diese Norm führt das Gaspyknometer-Verfahren als direktes Messverfahren ein und der informative Anhang C ist beigelegt, um ein Beispiel für die Messung der Dichte von Elektroband zu beschreiben.

In diesem Schriftstück sind die in die vorige Norm 60404-13 Ed. 2.0 eingeführten Änderungen in blauer Schrift gesetzt.

1 Anwendungsbereich

Gegenstand dieses Teils von IEC 60404 ist die Festlegung der Verfahren zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes, der Dichte, und des Stapelfaktors von Elektroband. Diese Größen werden zur Ermittlung der physikalischen Kennwerte magnetischer Werkstoffe benötigt. Insbesondere ist die Dichte erforderlich, um das Einstellen festgelegter Werte der magnetischen Polarisation, des spezifischen elektrischen Widerstandes und des Stapelfaktors ohne Kenntnis der Dicke der Probe zu ermöglichen.

Da diese Eigenschaften von der Temperatur abhängen, müssen die Messungen bei einer Umgebungstemperatur von $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, sofern in den folgenden Abschnitten nicht anders festgelegt, ausgeführt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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(113), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 113: Physics for electrotechnology*

IEC 60050(121), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*

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*

IEC 60404-3, *Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester*

ISO 1183-1:2004, *Plastics – Part 1: Immersion method, liquid pycnometer method and titration method*

ISO 1183-3:1999, *Plastics – Part 3: Methods for determining the density and relative density of non-cellular plastics*

ISO 2738:2000, *Sintered metal materials, excluding hard metals – Permeable sintered metal materials – Determination of density, oil content and open porosity*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050(113), IEC 60050(121) und ISO 1183-3:1999.

4 Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes

4.1 Allgemeines

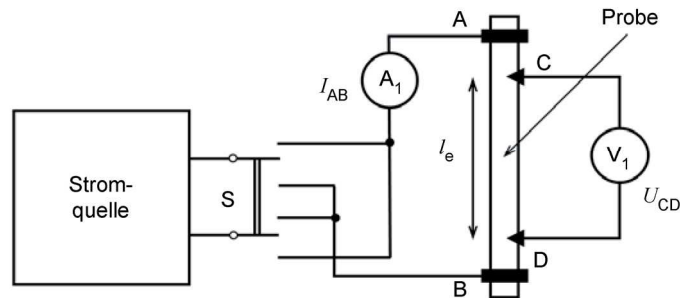
In dieser Norm werden zwei Verfahren für die Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes beschrieben. Verfahren I benutzt Epstein-Streifenproben, Verfahren II quadratische Tafelproben als Referenzverfahren.

Das Verfahren zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes, ρ , das auf der Messung der geometrischen Abmaße einschließlich der Dicke beruht, ist auf alle Arten von Materialproben anwendbar. Jedoch ist das Verfahren zur Bestimmung der Dichte ρ_m gemäß Abschnitt 5 auf die in 5.1 angegebenen Werkstoffe begrenzt.

4.2 Grundzüge des Messverfahrens

4.2.1 Verfahren zur Bestimmung von ρ für einen Epsteinstreifen (Verfahren I)

Die Schaltung für die Messung des Widerstandes eines Epsteinstreifens ist wie in Bild 1 gezeigt zu verbinden. Zwei elektrische Kontakte A und B müssen an beiden Seiten oder an den Stirnseiten des Prüflings angebracht werden, um den elektrischen Strom in Längsrichtung durch die Probe zu leiten. Zwei elektrische Kontakte C und D müssen innerhalb der Kontakte A und B auf der Längsachse der Probenoberfläche angebracht werden, um die elektrische Spannung über die Länge l_e zu messen.



Legende

A, B, C, D	elektrischer Kontakt
A_1	Gleichstromstärkemessgerät
V_1	Gleichspannungsmessgerät
l_e	Abstand zwischen C und D
I_{AB}	elektrischer Strom, der zwischen A und B fließt
S	Schalter für Stromumkehr
U_{CD}	elektrische Spannung zwischen C und D

Bild 1 – Schaltung zur Messung des Widerstandes eines Epsteinstreifens (Verfahren I)

Wenn ein elektrischer Strom homogen durch den Prüfling fließt, muss der Widerstand R der Strecke l_e nach dem Ohmschen Gesetz bestimmt werden gemäß

$$R = \frac{U_{CD}}{I_{AB}} \quad (1)$$

Dabei ist

- R der Widerstand der Strecke l_e zwischen den Kontakten C und D in Ohm;
- U_{CD} die Spannung zwischen den Kontakten C und D in Volt;
- I_{AB} der elektrische Strom, der zwischen den Kontakten A und B fließt, in Ampere.

Der spezifische elektrische Widerstand muss nach der folgenden Beziehung bestimmt werden:

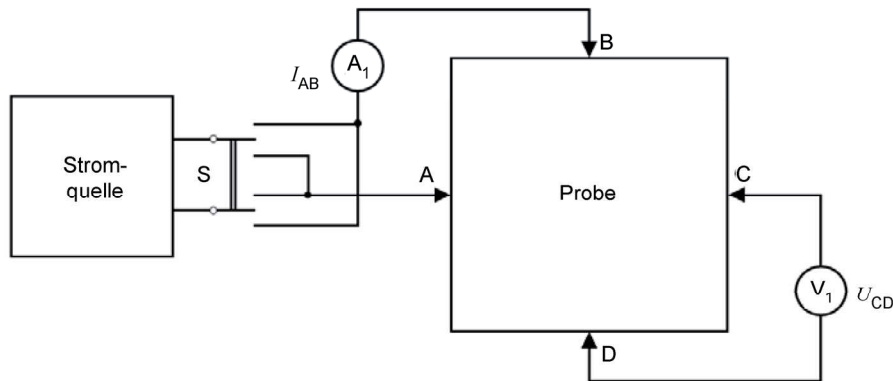
$$\rho = \frac{R \cdot b \cdot d}{l_e} \quad (2)$$

Dabei ist

- ρ der spezifische elektrische Widerstand des Probenwerkstoffs in Ohmmeter;
- b die Probenbreite in Meter;
- d die Probendicke in Meter;
- l_e der Kontaktabstand zwischen C und D in Meter.

4.2.2 Verfahren zur Bestimmung von ρ für eine quadratische Tafelprobe (Verfahren II)

Die Schaltung für die Messung des Widerstands einer quadratischen Tafelprobe ist wie in Bild 2 gezeigt zu verbinden. Vier elektrische Kontakte A, B, C und D müssen symmetrisch an den Mittelpunkten der Probekanten angebracht werden. Die Kontakte müssen möglichst schmal sein. Während ein elektrischer Strom durch die Kontakte A und B fließt, muss die elektrische Spannung zwischen den Kontakten C und D gemessen werden.



Legende

- A, B, C, D elektrischer Kontakt
- A_1 Gleichstromstärkemessgerät
- V_1 Gleichspannungsmessgerät
- I_{AB} elektrischer Strom, der zwischen A und B fließt
- S Schalter für Stromumkehr
- U_{CD} elektrische Spannung zwischen C und D

Bild 2 – Schaltung zur Messung des Widerstandes an einer quadratischen Tafelprobe (Verfahren II)

Der Widerstand $R_{AB, CD}$ muss nach der folgenden Beziehung bestimmt werden:

$$R_{AB, CD} = \frac{U_{CD}}{I_{AB}} \quad (3)$$

Dabei ist

- $R_{AB, CD}$ der aus der Spannung zwischen den Kontakten C und D pro Einheit der elektrischen Stromstärke zwischen den Kontakten A und B, in Ohm;
- U_{CD} die elektrische Spannung zwischen den Kontakten C und D, in Volt;
- I_{AB} die elektrische Stromstärke des Stroms, der zwischen den Kontakten A und B fließt, in Ampere.

Entsprechend kann der Widerstand $R_{BC, DA}$ ebenfalls aus der Spannung zwischen den Kontakten D und A pro Einheit der Stromstärke zwischen den Kontakten B und C bestimmt werden.

Auf der Grundlage der Theorie der konformen Abbildung zweidimensionaler Felder wurde gezeigt [1-3]¹⁾, dass, für einen Körper einheitlicher Dicke und beliebiger Form, die folgende Beziehung gilt:

$$\rho = \frac{\pi \cdot d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{AB, CD} + R_{BC, DA}}{2} \cdot F_\rho \quad (4)$$

¹⁾ Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

— Entwurf —

Dabei ist

ρ der spezifische elektrische Widerstand des Probenwerkstoffs in Ohmmeter;

b die Probenbreite in Meter;

F_p eine Funktion, die allein von $\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}$ abhängt.

Wenn das Verhältnis $\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}$ nahe bei 1 liegt, nimmt F_p den Wert 1 an, so dass sie als Faktor fortgelassen werden kann [1]. Um sicherzustellen, dass das Verhältnis nahe bei 1 liegt, müssen die Kontakte symmetrisch an den Mittelpunkten der Kanten der quadratischen Tafelprobe, wie in Bild 2 gezeigt, angeordnet sein.

ANMERKUNG Es ist gezeigt worden, dass das Verfahren II dem Verfahren I gleichwertig ist. Die Ergebnisunterschiede sind geringer als die Streuung zwischen einzelnen Streifenproben der gleichen Werkstoffsorte [3].

4.2.3 Bestimmung der Dicke d

4.2.3.1 Allgemeines

Die in den Gleichungen (2) und (4) benutzte Dicke des Prüflings d muss wie in 4.2.3.2 oder 4.2.3.3 festgelegt bestimmt werden.

4.2.3.2 Direkte Messung der Dicke

Die Dicke des Prüflings d muss mit einer Messschraube gemessen werden. Jedoch wird dieses Verfahren wegen der Schwierigkeit, die Probendicke mit ausreichender Genauigkeit zu messen, nicht empfohlen.

4.2.3.3 Berechnung der Dicke aus der Dichte ρ_m

Die Dicke des Prüflings d muss aus dem Wert der Dichte ρ_m , der gemäß 5.3 und Anhang B bestimmt wird, oder der in der Literatur veröffentlichten Tabellen der physikalischen Eigenschaften oder den Angaben der Hersteller entnommen wird, berechnet werden. Die Dicke d muss mit Hilfe der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$d = \frac{m}{\rho_m \cdot b \cdot l} \quad (5)$$

Dabei ist

m die Masse des Prüflings in Kilogramm;

ρ_m die Dichte des Werkstoffs des Prüflings, in Kilogramm pro Kubikmeter;

b die Breite des Prüflings in Meter;

l die Länge des Prüflings in Meter.

4.3 Prüfling

4.3.1 Epstein-Streifenproben

Die Epstein-Streifenprobe, die beim Verfahren I (gemäß 4.2.1) benutzt wird, muss folgende Abmaße haben:

- Breite $b = 30 \text{ mm}$;
- Länge $280 \text{ mm} \leq l \leq 320 \text{ mm}$.

Sie muss mit ihrer Längsachse parallel zur Walzrichtung geschnitten werden.

Es ist nicht erforderlich Oxidschichten oder andere Isolationsschichten zu entfernen außer an den Stellen, an denen Kontakte angebracht werden müssen.

4.3.2 Quadratische Tafelproben

Die Abmaße der quadratischen Tafelproben für Verfahren II (entsprechend 4.2.2) müssen folgende Werte haben, um mit IEC 60404-3 übereinzustimmen:

- Breite $b = 500$ mm;
- Länge $l = 500$ mm.

Jedoch können die Abmaße der quadratischen Tafeln variieren innerhalb der Werte:

- $300 \text{ mm} \leq b \leq 510 \text{ mm}$;
- $300 \text{ mm} \leq l \leq 510 \text{ mm}$.

4.4 Messgerät

4.4.1 Allgemeine Anforderungen für Verfahren I und II

Die folgende Geräteausstattung ist erforderlich:

- eine Messschraube gemäß 4.2.3.2, geeignet für die Messung der Probendicke mit einer Genauigkeit von $\pm 0,001$ mm;
- eine Waage gemäß 4.2.3.3, geeignet zur Bestimmung der Masse des Prüflings mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ %;
- eine Leistungsquelle stabiler niedriger Spannung und Gleichstromquelle für Stromstärken von 1 A bis 10 A (wenn nicht ein 4-Kontakt-Widerstandsmessgerät wie in 4.5.2 und 4.5.3 beschrieben benutzt wird);
- eine Widerstandsmesseinrichtung (z.B. Stromstärkemessgerät und Spannungsmessgerät der Klasse 0,1 oder besser, oder eine Kelvin-Brücke oder ein 4-Kontakt-Widerstandsmessgerät entsprechender Genauigkeit), mit welcher der Widerstand R der Probe auf ± 1 % gemessen werden kann;
- eine Vorrichtung zur Kontaktierung der Probe, die aus einer Grundplatte mit Kontakthalterungen (siehe 4.4.2 und 4.4.3) besteht und eine ebenen Stützplatte zwischen den Kontakthalterungen, die kleiner als die Probe ist (an den Seiten, an denen sich Kontakte befinden), aber um nicht mehr als 5 mm (10 mm bei Tafelproben) auf jeder Seite. Die Dicke der Stützplatte muss zulassen, dass die Kontakte die Probe, die auf der Stützplatte liegt, berühren.

4.4.2 Anforderungen für Verfahren I

Es muss eine Längenmesseinrichtung benutzt werden, mit der die Länge l der Probe auf $\pm 0,2$ % und deren Breite auf $\pm 0,7$ % gemessen werden kann.

Die Einrichtung, die für elektrischen Kontakt mit der Streifenprobe sorgt, weist vier Kontakte auf: zwei Potentialabgriffe (Spitzen), die an einer abnehmbaren Brücke angebracht sind und zwei Stromzuführungen, die an der Grundplatte befestigt sind. Die vier Kontakte müssen so angeordnet werden, dass die beiden Potentialabgriffe C und D zwischen den Stromzuführungen A und B (siehe Bild 1) und auf der Mittelachse der Streifenprobe liegen. Die Stromzuführungen müssen aus zwei Federblättern bestehen, die den Kontakt mit der Probe über die gesamte Breite herstellen. Der Abstand l_e zwischen den Potentialabgriffen muss größer als 200 mm sein. Der kleinste Abstand zwischen den Potentialabgriffen und den Stromzuführungen darf nicht kleiner sein als die Breite der Probe (der Abstand l_e der Spitzen muss einmal auf mindestens $\pm 0,5$ mm bestimmt werden).

4.4.3 Anforderungen für Verfahren II

Es muss eine Längenmesseinrichtung benutzt werden, mit der die Länge l und die Breite b auf $\pm 0,1$ % genau gemessen werden kann.

— Entwurf —

Vier Kontakte müssen mit einer relativ scharfen Kante (z.B. mit einem Krümmungsradius von 1 mm) an jeweils einem Halter, der auf der Grundplatte angebracht ist, befestigt werden. Die Kontakte müssen auf ± 1 mm symmetrisch zu den Probenachsen (siehe Bild 2) angebracht werden.

ANMERKUNG 1 Anhang A zeigt ein Beispiel einer Einrichtung für Verfahren II.

ANMERKUNG 2 Andere Verfahren wie zum Beispiel Anschweißen von Leitungsdrähten an die Probe in den Punkten A, B, C und D können für guten elektrischen Kontakt sorgen.

4.5 Messverfahren

4.5.1 Bestimmung der Dicke d der Probe

Die Dicke d der Probe muss gemäß 4.2.3.2 oder 4.2.3.3 bestimmt werden. Im letzteren Fall ist die Länge l und die Breite b der Probe mit der erforderlichen Längenmesseinrichtung zu bestimmen und die Masse der Probe zu wiegen.

4.5.2 Verfahren mit Streifenproben (Verfahren I)

Im Fall der Bestimmung der Dicke d gemäß 4.2.3.2 muss die Breite b der Probe mit der Längenmeseinrichtung bestimmt werden.

Die Schaltung muss wie in Bild 1 gezeigt verbunden werden. Ein elektrischer Strom I_{AB} der Stärke zwischen 1 A und 5 A, die von der Dicke und den Eigenschaften des Werkstoffs abhängt und der ausreicht um einen Spannungswert U_{CD} mit der geforderten Genauigkeit zu ergeben, muss durch die Probe gespeist werden. Wenn ein 4-poliges Widerstandsmessgerät mit der geforderten Messgenauigkeit benutzt wird, ist ein niedriger Wert der elektrischen Stromstärke zulässig. Die Werte der Spannung U_{CD} und der elektrischen Stromstärke I_{AB} müssen aufgezeichnet werden. Zur Verminderung von Beiträgen durch Thermospannungen muss dann die Richtung des elektrischen Stroms umgekehrt und auf den gleichen Wert eingestellt, der Spannungswert U_{CD} aufgezeichnet und der Mittelwert der beiden Ablesungen berechnet werden.

Der Widerstand R muss dann mit Gleichung (1) berechnet werden.

Der spezifische elektrische Widerstand ρ muss gemäß Gleichung (2), oder mit Gleichung (2) kombiniert mit Gleichung (5) berechnet werden, je nachdem welches Verfahren zur Bestimmung der Dicke benutzt wurde.

4.5.3 Verfahren mit quadratischen Tafelproben (Verfahren II)

Die Schaltung muss nach Bild 2 aufgebaut werden. Ein Strom mit einer Stärke zwischen 2 A und 10 A, ausreichend für einen Spannungswert U_{CD} der geforderten Genauigkeit, ist über die Kontakte A und B durch die Probe zu schicken. Wenn ein 4-Kontakt-Widerstandsmessgerät mit der geforderten Messgenauigkeit benutzt wird, ist eine niedrigere Stromstärke zulässig. Die Spannung U_{CD} und die Stromstärke I_{AB} sind aufzuzeichnen. Zur Vermeidung von Beiträgen durch Thermospannung muss der Strom danach umgekehrt, auf denselben Wert gesetzt, die Spannung U_{CD} wiederum aufgezeichnet und der Mittelwert der beiden Ablesungen berechnet werden.

Der Widerstand $R_{AB, CD}$ muss dann mit Gleichung (3) berechnet werden. Entsprechend muss der Widerstand $R_{BC, DA}$ nach dem gleichen Verfahren gemessen werden.

Der spezifische elektrische Widerstand muss gemäß Gleichung (4) oder mit Gleichung (4) in Kombination mit Gleichung (5) berechnet werden, je nachdem welches Verfahren zur Berechnung der Dicke benutzt wurde.

4.6 Vergleichspräzision

Die Vergleichspräzision der Verfahren zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes nach Abschnitt 4 ist gekennzeichnet durch eine relative Standardabweichung von 1,0 %.

4.7 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss sich auf diese Norm beziehen und, soweit zutreffend, die folgenden Angaben enthalten:

- alle Details die notwendig sind zur vollständigen Identifikation der Probe wie Typ und Güteklasse des Werkstoffs, Nenndicke;
- Verfahren der Probennahme;
- Breite b und Länge l der Probe in Meter;
- die Dicke oder die Masse m der Probe, in Meter oder Kilogramm;
- das angewandte Verfahren;
- Umgebungstemperatur, bei der die Messung ausgeführt wurde, in Grad Celsius;
- das Prüfergebnis des spezifischen elektrischen Widerstandes ρ in Ohmmeter, gerundet auf den nächsten $0,1 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ – Wert.

5 Bestimmung der Dichte

5.1 Allgemeines

Die folgenden vier Verfahren zur Bestimmung der Dichte werden in dieser Norm beschrieben:

- Verfahren III, basierend auf der Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes mit einem Epstein-Streifen;
- Verfahren IV, basierend auf der Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes mit einer quadratischen Tafelprobe;
- Verfahren V, basierend auf der Berechnung der chemischen Zusammensetzung der Probe (informatives Verfahren);
- Verfahren VI, Gaspyknometer-Verfahren in Übereinstimmung mit ISO 1183-3:1999. Dieses ist ein Referenzverfahren.

Verfahren III und IV sind indirekte Messverfahren, die auf den Verfahren I und II von Abschnitt 4 zur Bestimmung des spezifischen elektrischen Widerstandes beruhen. Die Verfahren III und IV, wie in 5.2 beschrieben, sind lediglich auf nicht-kornorientierten Elektrostahl mit dem nachstehenden Bereich der chemischen Zusammensetzung anwendbar:

- Silizium: $C_{\text{Si}} \leq 4 \%$;
- Aluminium: $0,17 C_{\text{Si}} - 0,28 \leq C_{\text{Al}} \leq 0,17 C_{\text{Si}} + 0,28$ und $C_{\text{Al}} \geq 0$;
- Gesamtheit anderer Legierungsanteile: $C_{\text{res}} \leq 0,4 \%$.

Dabei ist

C_{Si} der Massenanteil von Silizium in Prozent (%);

C_{Al} der Massenanteil von Aluminium in Prozent (%);

C_{res} der Massenanteil von den gesamten Legierungsbestandteilen, die nicht Silizium und Aluminium sind, in Prozent (%).

ANMERKUNG 1 Wenn die chemische Zusammensetzung nicht bekannt ist, muss sie vor der Benutzung dieses indirekten Verfahrens festgestellt werden. Im Allgemeinen wird die chemische Zusammensetzung von Elektrostahl vom Hersteller vertraulich behandelt.

Verfahren V ist ein hier informativ aufgeführtes Verfahren, das auf der theoretischen Berechnung der chemischen Zusammensetzung der Probe basiert und das auf Grund von Übereinkunft zwischen den beteiligten Parteien verwendet werden sollte. Ein Beispiel der Berechnung der chemischen Zusammensetzung durch Berücksichtigung der Silizium- und Aluminium-Anteile gibt Anhang B an.

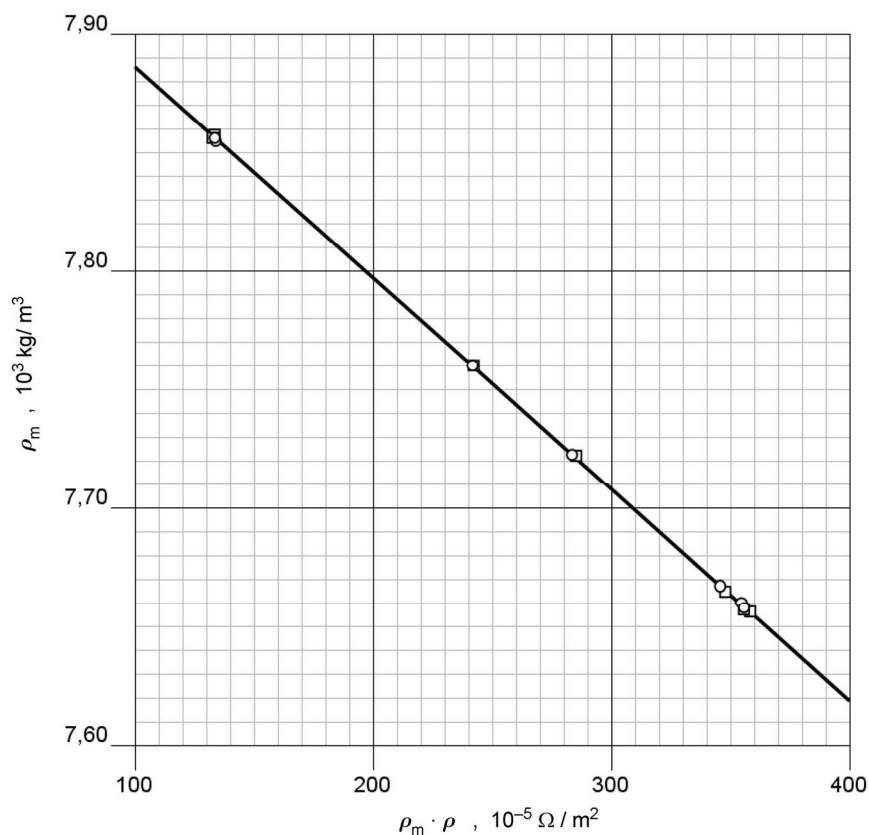
Verfahren VI ist ein in 5.3 festgelegtes direktes Messverfahren, das auf korn-orientierten und nicht-orientierten Elektrostahl anwendbar ist.

ANMERKUNG 2 Für die Bestimmung der Dichte war früher das Flüssigkeits-Tauchverfahren nach ISO 2738:2000 und ISO 1183-1:2004 als Fundamentalverfahren zur Benutzung in Schiedsfällen vorgesehen. Jedoch hat die Erfahrung gezeigt, dass die Benutzung dieses Verfahrens bei Tafelproben aus Elektrostahl mit ihrer relativ großen Oberfläche wegen des Einflusses an der Oberfläche haftender Luftblasen, die nicht leicht zu entfernen sind, schwierig ist. Im Gegensatz dazu kann das Gaspyknometer-Verfahren nach ISO 1183-3:1999 zu höherer Messpräzision bei Elektrostahl-Tafelproben führen.

ANMERKUNG 3 Hersteller können die Werkstoffdichte durch Prüfen dicker Proben, deren Volumen durch Vermessen der Abmaße im Laufe des Herstellungsprozesses des Werkstoffs bestimmt wird, leichter ermitteln.

5.2 Auf Messung des Widerstands beruhende Verfahren

5.2.1 Grundzüge der Messung



Legende

Die Symbole ○ und □ sind für die Verfahren mit dem spezifischen elektrischen Widerstand nach Verfahren I bzw. II (siehe [3] für Einzelheiten).

Bild 3 – Experimentelle Ergebnisse und Ausgleichsgerade für die Dichte ρ_m in Abhängigkeit vom Produkt $\rho_m \cdot \rho$ für nicht-orientiertes Elektroband

Im Fall der für Verfahren III und IV in 5.1 festgelegten Werkstoffe hat die Erfahrung gezeigt, dass die Beziehung zwischen Dichte ρ_m und dem Produkt aus Dichte und spezifischem elektrischen Widerstand, $\rho_m \cdot \rho$, einfach, nämlich nahezu linear ist, wie aus Bild 3 zu ersehen ist [3]. Somit ist es möglich, die Dichte des Werkstoffs durch Bestimmung des Produkts $\rho_m \cdot \rho$ auf der Basis der Messung des Widerstands, der Masse und geometrischer Abmaße der Probe zu bestimmen.

ANMERKUNG 1 Sowohl die Dichte ρ_m als auch der spezifische elektrische Widerstand ρ sind Funktionen des Silizium- und Aluminium-Gehalts.

Die in Bild 3 gezeigte lineare Funktion, Ergebnis eines linearen Ausgleichs experimenteller Daten, folgt der empirischen Beziehung:

$$\rho = 7\,975 - 89\,000 \times (\rho_m \cdot \rho) \quad (6)$$

Dabei ist

$\rho_m \cdot \rho$ der Wert des Produkts aus Dichte und spezifischem elektrischen Widerstand in Ohm-Kilogramm pro Quadratmeter.

ANMERKUNG 2 Diese Beziehung wurde durch sorgfältige und statistische Anwendung des Flüssigkeits-Tauchverfahrens (Immersionsverfahren) gewonnen [4], wobei die üblichen Verunreinigungen in nicht-orientiertem Werkstoff berücksichtigt wurden. Das Produkt $\rho_m \cdot \rho$ für die beiden verschiedenen Probenarten für die Epsteinrahmen (Verfahren I) beziehungsweise für das Tafelverfahren (Verfahren II) werden in Übereinstimmung mit Abschnitt 4 bestimmt.

5.2.2 Verfahren mit Epsteinstreifen (Verfahren III)

Im Fall der Verwendung von Epsteinstreifen entsprechend der Festlegung in 4.2.1 ist die Beziehung zwischen dem Produkt $\rho_m \cdot \rho$ und dem Widerstand R der Probe gegeben durch Gleichung (7), die von den Gleichungen (3) und (5) abgeleitet wurde:

$$\rho_m \cdot \rho = \frac{R \cdot m}{l_e \cdot l} \quad (7)$$

Dann wird der Wert der Dichte ρ_m mit Ableitung aus Gleichung (6) und (7) wie folgt errechnet:

$$\rho_m = 7\,975 - 89\,000 \times \frac{m}{l_e \cdot l} \cdot R \quad (8)$$

5.2.3 Verfahren mit quadratischer Tafelprobe (Verfahren IV)

Im Fall der Verwendung einer quadratischen Tafelprobe entsprechend der Festlegung in 4.2.2 ist die Beziehung zwischen dem Produkt $\rho_m \cdot \rho$ und dem Widerstand der Probe gegeben durch Gleichung (9), die von den Gleichungen (4) und (5) abgeleitet werden:

$$\rho_m \cdot \rho = \frac{\pi \cdot m}{l \cdot b \cdot \ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (9)$$

Dann wird der Wert der Dichte ρ_m mit Ableitung aus Gleichung (6) und (9) wie folgt errechnet:

$$\rho_m = 7\,975 - 89\,000 \times \frac{\pi \cdot m}{l \cdot b \cdot \ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (10)$$

5.2.4 Messverfahren

Für Verfahren III muss der Widerstand R wie in 4.5.2 festgelegt gemessen werden. Der Wert von ρ_m muss entsprechend dem aus Gl. (7) bestimmten Wert von $\rho_m \cdot \rho$ durch Ablesung von Bild 3 bestimmt werden. Er kann ebenfalls mit Gleichung (8) bestimmt werden.

Für Verfahren IV müssen die Widerstände $R_{AB, CD}$ und $R_{BC, DA}$ wie in 4.5.3 festgelegt gemessen werden. Der Wert von ρ_m muss entsprechend dem aus Gl. (9) bestimmten Wert von $\rho_m \cdot \rho$ durch Ablesung von Bild 3 bestimmt werden. Er kann ebenfalls mit Gleichung (10) bestimmt werden.

5.2.5 Vergleichspräzision

Die Vergleichspräzision von jedem der beiden auf dem Produkt $\rho_m \cdot \rho$ in Übereinstimmung mit 5.2 beruhenden Verfahren ist charakterisiert durch eine relative Standardabweichung der Dichte von 1,0 %.

5.3 Gaspyknometer-Verfahren (Verfahren VI)

5.3.1 Grundzüge des Verfahrens

Das Gaspyknometer-Verfahren dient der Bestimmung des Volumens (und damit die Dichte) von Festkörpern wie in ISO 1183-3:1999 festgelegt.

ANMERKUNG 1 Das Gaspyknometer ist nicht ein besonderes Verfahren für magnetische Werkstoffe. Es wird jedoch verbreitet in der Industrie benutzt zur Bestimmung des Volumens von regelmäßigen oder unregelmäßigen Werkstoffformen wie porösen, pulverisierten oder granularen Feststoffen.

5.3.2 Prüfling

Es ist erforderlich alle Oxide oder andere isolierende Beschichtungen der Probe durch Schleifen oder durch andere brauchbare physikalische oder chemische Verfahren.

Die Probe sollte zu einer der verwendeten Pyknometerzellengröße angepassten Form geschnitten oder gestanzt werden.

Um eine Höhere Genauigkeit der Messung zu erreichen, sollte die gewählte Probenmenge für die benutzte Pyknometerzelle optimal sein. Es wird empfohlen, dass die Masse der Probe nicht unter 200 g betragen sollte.

Vor Beginn der Messungen sollte die Probe frei von Fettschicht oder Rost sein. Wenn eine Vorbehandlung erforderlich ist, sollte dafür Sorge getragen werden, dass jede Verunreinigung, die Einfluss auf die Messung der Dichte der Probe haben könnte, vermieden wird. Wenn die Probe zum Trocknen nach der Behandlung erhitzt wird, sollte man sie vor der Messung der Dichte auf Umgebungstemperatur abkühlen lassen.

5.3.3 Prüfgerät

Das Prüfgerät zur Bestimmung des Volumens (und damit der Dichte) einer Probe aus Elektroband sollte den Festlegungen der Norm ISO 1183-3:1999 entsprechen.

5.3.4 Messverfahren

Das Messverfahren muss die Probenpräparation entsprechend 5.3.2 einschließen und den in ISO 1183-3:1999 festgelegten Instruktionen folgen.

ANMERKUNG Anhang C demonstriert ein Beispiel der Dichtebestimmung nach dem Gaspyknometer-Verfahren mit einer Elektrobandprobe.

5.3.5 Vergleichspräzision

Es ist zu erwarten, dass die Vergleichspräzision des Gaspyknometer-Verfahrens in Übereinstimmung mit Abschnitt 6, wie in ISO 1183-3:1999 festgelegt, besser als annähernd 0,2 % ist.