

DIN EN IEC 60404-17



ICS 29.030

**Magnetische Werkstoffe –
Teil 17: Verfahren zur Messung der Magnetostriktionseigenschaften von
kornorientiertem Elektroband und -blech mit einem Tafelmessgerät und
einem optischen Sensor
(IEC 60404-17:2021);
Deutsche Fassung EN IEC 60404-17:2021**

Magnetic materials –

Part 17: Methods of measurement of the magnetostriction characteristics of grain-oriented electrical steel strip and sheet by means of a single sheet tester and an optical sensor (IEC 60404-17:2021);

German version EN IEC 60404-17:2021

Matériaux magnétiques –

Partie 17: Méthodes de mesure des caractéristiques de magnétostriction des bandes et tôles magnétiques en acier à grains orientés au moyen d'un essai sur tôle unique et d'un capteur optique

(IEC 60404-17:2021);

Version allemande EN IEC 60404-17:2021

Gesamtumfang 49 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2021-12-09 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2023-04-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN IEC 60404-17:2020-04.

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.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 68 „Magnetic alloys and steels“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

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.

Deutsche Fassung

Magnetische Werkstoffe – Teil 17: Verfahren zur Messung der
Magnetostriktionseigenschaften von kornorientiertem Elektrobund
und -blech mit einem Tafelmessgerät und einem optischen Sensor
(IEC 60404-17:2021)

Magnetic materials – Part 17: Methods of measurement
of the magnetostriction characteristics of grain-
oriented electrical steel strip and sheet by means
of a single sheet tester and an optical sensor
(IEC 60404-17:2021)

Matériaux magnétiques – Partie 17: Méthodes de mesure
des caractéristiques de magnétostriction des bandes
et tôles magnétiques en acier à grains orientés au
moyen d'un essai sur tôle unique et d'un capteur optique
(IEC 60404-17:2021)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2021-12-09 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 68/685/CDV, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 60404-17, erarbeitet vom IEC/TC 68 „Magnetic alloys and steels“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60404-17:2021 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2022-09-09
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2024-12-09

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Komitee des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Gremien ist auf den Internetseiten des CENELEC abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60404-17:2021 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60404-16:2018	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 60404-16:2018 (nicht modifiziert).
IEC 60076-10:2016	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60076-10:2016 (nicht modifiziert).

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.euwww.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60050-103	–	International Electrotechnical Vocabulary – Part 103: Mathematics – Functions	–	–
IEC 60050-121	–	International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism	–	–
IEC 60050-221	–	International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components	–	–
IEC 60050-801	–	International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics	–	–
IEC 60404-8-7	–	Magnetic materials – Part 8–7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state	–	–
IEC 61672-1	2013	Electroacoustics – Sound level meter – Part 1: Specifications	EN 61672-1	2013

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	5
Einleitung.....	8
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen.....	9
3 Begriffe.....	9
4 Allgemeine Grundlagen.....	11
4.1 Grundlage des Verfahrens.....	11
4.2 Probekörper.....	13
4.3 Prüfeinrichtung.....	14
4.3.1 Allgemeines.....	14
4.3.2 Joch.....	14
4.3.3 Wicklungen.....	15
4.3.4 Brücke.....	16
4.3.5 Optischer Sensor.....	18
4.3.6 Optisches Ziel.....	18
4.3.7 Klemme.....	19
4.3.8 Endanschlag.....	19
4.3.9 Flache Glasplatte.....	20
4.4 Luftflusskorrektur.....	20
4.5 Stromversorgung.....	20
4.6 Messgeräte.....	21
5 Messverfahren.....	22
5.1 Messprinzip.....	22
5.2 Vorbereitung der Messung.....	23
5.3 Einstellen der Stromversorgung.....	24
6 Bestimmung der Kenngrößen.....	24
6.1 Bestimmung der magnetischen Polarisation $J(t)$	24
6.2 Bestimmung der magnetostriktiven Dehnung $\lambda(t)$	25
6.3 Bestimmung der Schmetterlingsschleife.....	25
6.4 Bestimmung des Scheitel-Scheitel-Werts λ_{p-p} und des Null-Scheitel-Werts λ_{0-p}	25
7 Vergleichspräzision des Scheitel-Scheitel-Werts λ_{p-p}	26
8 Prüfbericht.....	26
Anhang A (normativ) Anforderungen an das Prüfgerät für Messungen der magnetostriktiven Kenndaten....	27
A.1 Allgemeines.....	27
A.2 Korrekte Einstellung der Grundlänge der Magnetostriktionsmessung.....	27
A.3 Strenge Regelung der sinusförmigen magnetischen Polarisation.....	28

A.4	Isolierung des Prüfgeräts von externem Rauschen.....	29
A.5	Kontrolle der auf den Probekörper wirkenden Reibungskraft.....	30
A.6	Unterdrückung der Schwingungen des Probekörpers aus der Ebene heraus.....	31
A.7	Vermeidung von Resonanzen im Probekörper und in der Prüfeinrichtung.....	32
A.8	Kalibrierung und Überprüfung des Prüfgeräts.....	33
Anhang B (informativ) Messung der magnetostriktiven Kenndaten bei einer von außen angewendeten Druckspannung.....		36
B.1	Allgemeines.....	36
B.2	Prüfkörper.....	36
B.3	Prüfgerät.....	36
B.4	Messverfahren.....	37
B.5	Bestimmung der Kenngrößen.....	38
Anhang C (informativ) Luftflussskompensation durch digitale Mittel.....		39
Anhang D (informativ) Regelung der sinusförmigen Wellenform der induzierten Sekundärspannung im digitalen Verfahren.....		41
Anhang E (informativ) Magnetostriktionskenndaten für die akustische Gestaltung von Transformatoren.....		43
E.1	Leerlaufgeräusch/Geräuschentwicklungsprozess von Transformatoren.....	43
E.2	Leerlauf-Geräuschpegel und magnetostriktive Dehnung von Transformatoren.....	43
E.3	Schwingungspegel, die die magnetostriktive Dehnung charakterisieren.....	44
E.4	Bestimmung von Schwingungspegeln.....	45
E.4.1	Allgemeines.....	45
E.4.2	Schnellepegel.....	45
E.4.3	Beschleunigungspegel.....	46
E.4.4	Vergleichspräzision der Messungen der Schnellepegel und Beschleunigungspegel.....	47
Literaturhinweise.....		48
Bilder		
Bild 1 – Darstellungen von Schmetterlingsschleife, Scheitel-Scheitel-Wert und Null-Scheitel-Wert.....		10
Bild 2 – Schematische Darstellung eines Prüfgeräts (Querschnitt).....		11
Bild 3 – Schematische Darstellung der Prüfraahmen mit unterschiedlichen Jochtypen.....		15
Bild 4 – Querschnitt des Wickelkörpers und der Brücke (schematisch).....		16
Bild 5 – Grundlegende Schaltung des Messsystems.....		21
Bild A.1 – Schmetterlingsschleife eines senkrecht zur Walzrichtung geschnittenen hochdurchlässigen kornorientierten Elektrostahlblechs [3].....		34
Bild B.1 – Schematische Darstellung eines Prüfgeräts für die Messung bei einer von außen angewendeten Druckspannung (Querschnitt).....		36
Tabellen		
Tabelle E.1 – A-Bewertungskoeffizienten bei einer Magnetisierungsfrequenz von 50 Hz.....		46
Tabelle E.2 – A-Bewertungskoeffizienten bei einer Magnetisierungsfrequenz von 60 Hz.....		46

Einleitung

Dieses Dokument gibt Normverfahren für die Messung der magnetostriktiven Kenndaten von kornorientiertem Elektroband und -blech in einem angelegten magnetischen Wechselfeld bei 50 Hz oder 60 Hz an. Die technischen Einzelheiten werden nach intensiven Beratungen von Experten zum Thema Magnetostriktion spezifiziert, so dass eine zufriedenstellende Vergleichspräzision der Messung erwartet werden kann. Die Messung erfordert die Erkennung kleinster Vibrationen des Probekörpers mit einer Auflösung von mindestens 0,01 µm. Um diese schwierige Bedingung zu erfüllen, mussten nicht nur die magnetischen Aspekte, sondern auch die mechanischen Aspekte der Prüfeinrichtung, z. B. der Einfluss von Reibung, der Maxwell-Kräfte, der Resonanz und externer Vibrationen, spezifiziert werden.

Die Verfahren zur Bestimmung der magnetostriktiven Kenndaten der Schmetterlingsschleife, der Scheitel-Scheitel- und der Null-Scheitel-Werte der magnetostriktiven Dehnung werden in diesem Dokument spezifiziert. Ergänzende Kenndaten der Schnellepegel und der Beschleunigungspegel werden in Anhang E beschrieben.

Der technische Bericht IEC TR 62581:2010 [1]¹ hat die Verfahren zur Messung der magnetostriktiven Kenndaten von kornorientiertem Elektro Stahl mittels eines Tafelmessgeräts überprüft. Verschiedene Verfahren wurden für die Messung der Längenänderung der verschiedenen Prüfkörper verwendet. Bei Verfahren, die Sensoren nutzen, die im Kontakt zum Probekörper stehen, ist es jedoch schwierig, die mit den Kontaktverfahren im Zusammenhang stehenden Messabweichungen zu erkennen. Darüber hinaus erfordern die Verfahren die Anwendung besonderer Fähigkeiten zur Durchführung der Messungen. Deshalb stellt dieses Dokument Verfahren bereit, die einen optischen Sensor verwenden, und zwar einen Laser-Doppler-Vibrometer, der die Anforderungen von kontaktlosen, hochauflösenden Messungen mit hoher Vergleichspräzision erfüllt.

Es ist weithin bekannt, dass mechanische Beanspruchung in kornorientiertem Elektro Stahl einen starken Einfluss auf die Magnetostriktion hat [1]. Kornorientierter Elektro Stahl weist ein besonderes Verhalten im Hinblick auf seine Empfindlichkeit gegenüber Druckspannung in Walzrichtung im Vergleich zu anderen Arten von Elektro Stählen auf. Dies hängt von der Kornorientierung des Werkstoffs und der Zugspannung in dem Werkstoff, der durch die Oberflächenbeschichtungen ausgeübt wird, ab. Messverfahren bei einer von außen angewendeten Druckspannung werden in Anhang B beschrieben.

Internationale Ringversuchsvergleiche von Messungen der magnetostriktiven Eigenschaften wurden wiederholt unter Reduzierung des Verfahrensbereichs durchgeführt [2], [3], [4]. Die Vergleichspräzision der Messung war durch eine relative Standardabweichung von mehr als 20 % gekennzeichnet, wenn verschiedene Verfahren zugelassen wurden. Sie reduzierte sich auf 2 %, als Prüfgeräte auf der Grundlage der in diesem Dokument beschriebenen Grundsätze für die Beurteilung von in Walzrichtung unter der Bedingung einer magnetischen Spitzenpolarisierung von 1,7 T und einer Magnetisierungsfrequenz von 50 Hz in Walzrichtung geschnittenen kornorientierten Elektro Stahlbändern verwendet wurden.

¹ Nummern in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60404 gilt für kornorientiertes Elektroband und -blech nach IEC 60404-8-7 zur Messung der magnetostriktiven Kenndaten in einem angelegten magnetischen Wechselfeld bei 50 Hz oder 60 Hz.

Dieses Dokument definiert die allgemeinen Grundsätze und technischen Einzelheiten für die Messung der magnetostriktiven Kenndaten von kornorientiertem Elektroband und -blech mittels eines Tafelmessgeräts und eines optischen Sensors.

ANMERKUNG 1 Das Beschleunigungsmesser-Verfahren [5] ist ebenfalls ein anerkanntes Verfahren für die Messung der Magnetostriktion. Es ist jedoch mehr für die Messung von Magnetostriktion unter einer von außen angewendeten Zug- oder Druckspannung und nicht bei Nullspannung geeignet, da es ein Gewicht auf dem Prüfkörper platziert, um eine Verformung desselben zu verhindern. Da dieses Dokument die Messung bei Nullspannung umfasst, wird das optische Sensorverfahren als optimales Verfahren angegeben.

Dieses Dokument ist anwendbar auf die Messung

- der Schmetterlingsschleife;
- des Scheitel-Scheitel-Werts λ_{p-p} ;
- des Null-Scheitel-Werts λ_{0-p} .

Die magnetostriktiven Kenndaten werden bei sinusförmiger induzierter Sekundärspannung, bestimmten Scheitelwerten der magnetischen Polarisierung und für eine festgelegte Magnetisierungsfrequenz bestimmt.

ANMERKUNG 2 In diesem gesamten Dokument wird der Begriff „magnetische Polarisierung“ benutzt, wie er in IEC 60050-121:1998, 121-11-54 beschrieben ist. In einigen Normen der Reihe IEC 60404 wird der Begriff „magnetische Flussdichte“ benutzt.

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 60050-103, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 103: Mathematics – Functions* (verfügbar unter www.electropedia.org)

IEC 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism* (verfügbar unter www.electropedia.org)

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components* (verfügbar unter www.electropedia.org)

IEC 60050-801, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics* (verfügbar unter www.electropedia.org)

IEC 60404-8-7, *Magnetic materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state*

IEC 61672-1:2013, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-103, IEC 60050-121, IEC 60050-221, IEC 60050-801, IEC 61672-1 und die folgenden Begriffe.

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

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

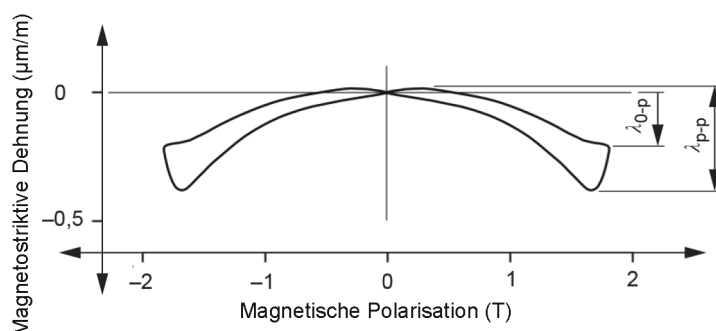
3.1

Schmetterlingsschleife

Schmetterlingskurve

Hystereseschleife der magnetostriktiven Dehnung gegen magnetische Polarisation entlang der Richtung des angelegten magnetischen Wechselfelds über eine Periode der Magnetisierung, wie in Bild 1 dargestellt

BEISPIEL



Legende

- λ_{p-p} Scheitel-Scheitel-Wert
 λ_{0-p} Null-Scheitel-Wert

Bild 1 – Darstellungen von Schmetterlingsschleife, Scheitel-Scheitel-Wert und Null-Scheitel-Wert

3.2

λ_{p-p}

Scheitel-Scheitel-Wert

Amplitude der magnetostriktiven Dehnung zwischen den Scheitelpunkten entlang der Richtung des angelegten magnetischen Wechselfelds unter Verwendung eines absoluten Werts, angegeben in $\mu\text{m/m}$

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Scheitel-Scheitel-Wert kann aus der in Bild 1 dargestellten Schmetterlingsschleife abgelesen werden.

3.3

λ_{0-p}

Null-Scheitel-Wert

Differenz der magnetostriktiven Dehnung entlang der Richtung des angelegten magnetischen Wechselfelds zwischen den Werten der vorgeschriebenen magnetischen Spitzenpolarisation und dem Nullwert der magnetischen Polarisation unter Verwendung eines positiven oder negativen Werts, angegeben in $\mu\text{m/m}$

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Null-Scheitel-Wert kann aus der in Bild 1 dargestellten Schmetterlingsschleife abgelesen werden.

3.4

L_v

Schnellepegel

Indikator der magnetostriktiven Schnelle einschließlich aller Oberschwingungen der betrachteten magnetostriktiven Dehnung in dB

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Frequenzbewertungsfilter „A“ nach IEC 61672-1:2013 kann auf den Schnellepegel angewendet werden und führt zu einem A-bewerteten Schnellepegel L_{vA} , angegeben in dB(A).

3.5

L_a

Beschleunigungspegel

Indikator der magnetostriktiven Beschleunigung einschließlich aller Oberschwingungen der betrachteten magnetostriktiven Dehnung in dB

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Frequenzbewertungsfilter „A“ nach IEC 61672-1:2013 kann auf den Beschleunigungspegel angewendet werden und führt zu einem A-bewerteten Beschleunigungspegel L_{aA} , angegeben in dB(A).

4 Allgemeine Grundlagen

4.1 Grundlage des Verfahrens

Eine Längenänderung eines Prüfkörpers für eine Grundlänge unter einem magnetischen Wechselfeld wird mithilfe eines Tafelmessgeräts und eines optischen Sensors gemessen. Die magnetostriktiven Kenndaten des Materials werden anhand der Längenänderung der Grundlänge des Prüfkörpers für die vorgeschriebenen Spitzenwerte der magnetischen Polarisierung und eine festgelegte Magnetisierungsfrequenz bestimmt.

Eine schematische Darstellung eines Prüfgeräts ist in Bild 2 wiedergegeben. Ein Prüfgerät, bestehend aus Wicklungen, einem Wickelkörper, einer Brücke, einem Joch, einem Klemmstück, einem Gewicht, einem Endanschlag, einem optischen Sensor und anderen Hilfsträgerbauteilen, muss an einem schwingungsfreien Tisch befestigt werden. Die Prüfeinrichtung kann auf eine starre Grundplatte montiert werden, die unmagnetisch und an einem schwingungsfreien Tisch befestigt ist.

ANMERKUNG 1 Messverfahren bei einer von außen angewendeten Druckspannung werden in Anhang B beschrieben.

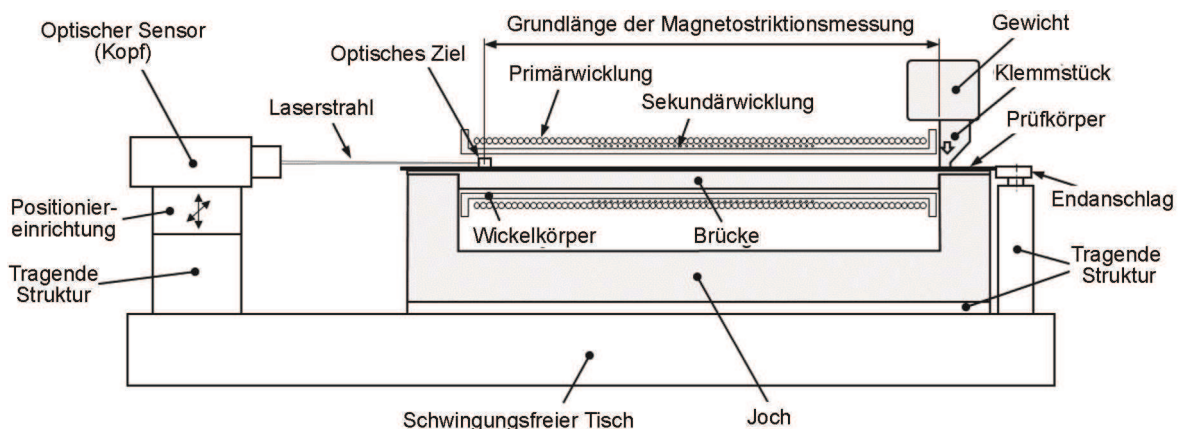


Bild 2 – Schematische Darstellung eines Prüfgeräts (Querschnitt)

Der Prüfkörper muss auf der Brücke innerhalb der folgenden beiden Wicklungen an dem Wickelkörper platziert werden (siehe 4.3.3):

- einer äußeren Primärwicklung (Magnetisierungswicklung);
- einer inneren Sekundärwicklung (induzierte Spannungswicklung).

Ein Flusspfad muss durch das unter dem Prüfkörper platzierte Joch hergestellt werden. Die beiden Polflächen müssen in einer horizontalen Ebene liegen. Der Querschnitt des Jochs muss im Vergleich zum Querschnitt des Prüfkörpers ausreichend groß sein. Verschiedene Arten von Jochtypen können verwendet werden (siehe 4.3.2).

Der Wickelkörper muss symmetrisch zwischen den beiden Polflächen platziert werden, so dass das Magnetfeld symmetrisch innerhalb des Wickelkörpers verteilt ist. Der Wickelkörper muss möglichst lang sein.

Die Brücke zwischen den beiden Polflächen muss in dem Wickelkörper platziert werden, ohne diesen zu berühren. Die Brücke muss ausreichend starr sein, damit der Prüfkörper flach darauf aufliegt, und die

Oberfläche, auf der der Prüfkörper platziert wird, muss flach und glatt mit einer reibungsarmen Beschichtung auf der Oberfläche sein (siehe 4.3.4).

Beide Endteile der Brücke müssen in engem Kontakt mit den Polflächen gehalten werden. Der verbleibende Raum zwischen den Endteilen der Brücke und den Polflächen muss mit einer geringen Menge Hochvakuum-Silikonschmierfett gefüllt werden, während die obere Oberfläche des Brückenbands gleichzeitig flach gehalten wird. Um Verformungen großer Hohlräume zu vermeiden, sollte das Schmierfett punktuell in einem Gittermuster auf der Polfläche aufgetragen werden. Die Brücke wird platziert und fest von oben von der Oberseite einer auf der Brücke platzierten flachen Glasplatte gedrückt. Es muss darauf geachtet werden, die Oberfläche der reibungsarmen Beschichtung nicht mit Schmierfett zu verunreinigen. Die Brücke muss jedoch austauschbar sein, um die Erhaltung einer glatten Oberflächenbeschaffenheit sicherzustellen (siehe 4.3.4 und A.8).

ANMERKUNG 2 Hochvakuum-Silikonschmierfett bietet geeignete Eigenschaften, da es chemisch inert ist, einen geringen Dampfdruck hat und über lange Zeit schwer zu verfestigen ist. Wenn jedoch die Oberfläche der reibungsarmen Beschichtung und/oder die rückseitige Oberfläche des Prüfkörpers mit Schmierfett verunreinigt wird, erhöht sich die auf den Prüfkörper einwirkende Reibungskraft und der Magnetostraktionswert sinkt. Schmierfettflecken können mit Aceton entfernt werden.

ANMERKUNG 3 Eine H-Spule mit der gleichen Länge wie die sekundäre Spule kann in die Brücke in der sekundären Wicklung eingebettet werden, um die auf den Prüfkörper angewendete magnetische Feldstärke $H(t)$ zu erkennen. Dies ist hilfreich, um die Magnetostraktionseigenschaften von kornorientiertem Elektrostahl zu untersuchen.

Der Prüfkörper muss so auf der Brücke platziert werden, dass die Achse des Prüfkörpers mit der horizontalen Symmetrieachse des Wickelkörpers (im weiteren Verlauf einfach „Achse des Wickelkörpers“ genannt) übereinstimmt.

ANMERKUNG 4 Ausrichtungsfehler des Prüfkörpers können zu seitlichen Schwingungen des Prüfkörpers durch die Maxwell-Kraft führen, die die Achsen des Prüfkörpers und des Wickelkörpers ausrichtet, was zu Messabweichungen führt.

Beide Enden des Prüfkörpers müssen die Brücke überragen (siehe A.6). Die außerhalb der Polflächen liegenden Teile des Prüfkörpers dürfen nicht länger als ein paar Millimeter sein (siehe A.7). Das den Klemmstück gegenüberliegende Ende des Prüfkörpers muss frei beweglich sein. Mit diesem Ende darf nichts verbunden sein (siehe A.7). Das andere Ende des Prüfkörpers muss den Endanschlag über die gesamte Breite berühren.

Der Prüfkörper muss während der Messung mithilfe des Klemmstücks und des Gewichts an dem Prüfgerät befestigt sein (siehe 4.3.7). Die dem optischen Sensor zugewandte Seite des Klemmstücks muss auf einer Ebene mit der Innenkante der Polfläche liegen (siehe Bild 2 und A.2).

Mit Ausnahme des optischen Ziels darf kein Gewicht zwischen dem Ende des Prüfkörpers gegenüber der Klemme und dem Klemmstück auf dem Prüfkörper platziert werden (siehe A.5) [12].

Das optische Ziel muss auf dem Prüfkörper so in dem Wickelkörper platziert werden, dass der Abstand zwischen der Mitte des optischen Ziels und der Innenkante der Polfläche $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ beträgt, wenn der Prüfkörper auf der Brücke platziert wird (siehe Bild 2 und 4.3.5).

ANMERKUNG 5 Falls sich das optische Ziel in der Nähe der Polfläche befindet, können Schwingungen des Prüfkörpers aus der Ebene heraus auf der Polfläche zu Messabweichungen führen (siehe A.2).

Der optische Sensor muss in der optimalen Position platziert werden, um den Rauschabstand des Ausgangssignals zu maximieren. Der Laserstrahl muss parallel zur Achse des Wickelkörpers innerhalb $\pm 0,1^\circ$ verlaufen, um Messabweichungen aufgrund vertikaler oder seitlicher Schwingungen des Prüfkörpers zu verhindern.

ANMERKUNG 6 Der optische Sensor hat optimale Abstände zu dem optischen Ziel, um den Rauschabstand des Ausgangssignals zu maximieren. Die optimalen Abstände werden üblicherweise in der Bedienungsanleitung des optischen Sensors angegeben.

ANMERKUNG 7 Die Neigung des Laserstrahls kann eingestellt werden, damit Abweichungen des Laserstrahls von der Achse des Wickelkörpers an beiden Enden desselben nicht mehr als $\pm 0,7 \text{ mm}$ betragen.

Die Position des Laserstrahls an dem optischen Ziel sollte so eingestellt werden, dass die Intensität des durch den optischen Sensor erkannten reflektierten Laserstrahls maximiert wird, um den Rauschabstand des Ausgangssignals zu erhöhen. Der optische Sensor sollte an einem externen Positionierer montiert werden, damit die Position des Laserstrahls leichter eingestellt werden kann (siehe Bild 2).

Die Grundlänge der Magnetostruktionsmessung ist der Abstand entlang der Achse des Wickelkörpers zwischen der Mitte des optischen Ziels und der dem optischen Sensor zugewandten Seite des Klemmstücks (siehe Bild 2).

Die Hilfstragstrukturen in der Nähe des magnetischen Kreises müssen unmagnetisch sein. Es muss darauf geachtet werden, dass ein Kurzschluss um den Magnetfluss durch den magnetischen Kreis vermieden wird.

Alle auf dem schwingungsfreien Tisch angeordneten Gegenstände sollten am Tisch stabilisiert werden, um die Entstehung unerwarteter Resonanzen und die Übertragung von Schwingungsschall auf das Prüfgerät zu verhindern.

Das Prüfgerät sollte von externen Geräuschen entfernt angeordnet werden. Das Prüfgerät darf während der Messung nicht mit der Hand oder mit Werkzeugen berührt werden, da dies Schwingungen des Prüfgeräts induziert, die wiederum zu Messabweichungen führen. Das Prüfgerät sollte so platziert werden, dass die Achse des Wickelkörpers ungefähr im rechten Winkel zur Richtung des geomagnetischen Felds verläuft (siehe A.4).

ANMERKUNG 8 Eine einfache magnetische Abschirmung und ein Windschutz, der das Prüfgerät abdeckt, können den Einfluss des externen magnetischen und akustischen Störrauschens schwächen.

Es ist grundsätzlich wichtig, dass die Oberfläche, auf der der Prüfkörper platziert wird, flach und sauber ist, um die auf den Prüfkörper einwirkende Reibungskraft gering zu halten (siehe A.5). Eine flache Glasplatte muss angewendet werden, um die Ebenheit zu prüfen und aufrechtzuerhalten 4.3.2, 4.3.4 und 4.3.9).

Das Prüfgerät muss überprüft werden, damit keine Schwingungen des Prüfkörpers aus der Ebene heraus und kein Einfluss der Resonanz zu Messabweichungen führt (siehe A.8).

4.2 Probekörper

Der Probekörper muss rechteckig und eben sein. Der Prüfkörper muss frei von Falts Spuren, Dellen und Kratzern mit Restspannung sein. Die hintere Oberfläche des Prüfkörpers muss frei von Substanzen sein, die die Reibung beeinflussen, wie etwa Schmierfett, Klebstoffe, Flüssigkeiten, Pulver usw. (siehe A.5).

Die Länge und Breite des Prüfkörpers muss $500 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ und entsprechend $100 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ betragen.

Sofern nicht anders festgelegt, muss der Prüfkörper parallel zur Walzrichtung geschnitten werden.

Der Probekörper muss ohne überhöhten Grat und mechanische Verformung geschnitten werden. Spannungen, die durch den Schneidprozess in den Probekörper eingebracht werden, müssen so gering wie möglich gehalten werden. Der Prüfkörper muss sehr vorsichtig gehandhabt werden, um die Einleitung zusätzlicher Spannungen zu vermeiden.

ANMERKUNG 1 In den Prüfkörper eingeleitete Spannung kann zu magnetischen Domänen im Winkel von 90 Grad im Material führen, die magnetostruktive Abweichungen verursachen.

ANMERKUNG 2 Eine Laserschneidtechnik kann angewendet werden, sofern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen wird. Dies kann erhebliche Spannungen an den Schnittkanten hinterlassen [6].

Wenn ein Prüfkörper geschnitten wird, wird die Kante des Mutterbands als Bezugsrichtung verwendet. Der Winkel zwischen der Bezugsrichtung und der Schneidrichtung darf nicht mehr als $\pm 1^\circ$ betragen.

4.3 Prüfeinrichtung

4.3.1 Allgemeines

Die Bauteile des Prüfgeräts müssen mit minimalen Ausrichtungsfehlern zusammengebaut werden, um Messabweichungen zu verhindern. Insbesondere die Ebenheit der Oberfläche, auf der der Prüfkörper platziert wird, muss sichergestellt werden.

Um Resonanzen mit den Oberschwingungskomponenten der magnetostriktiven Dehnung zu vermeiden, muss das Prüfgerät frei von Eigenfrequenzen zwischen 50 Hz und 1 000 Hz sein (siehe A.7).

4.3.2 Joch

Das Joch sollte eine niedrige Restmagnetisierung und eine niedrige Reluktanz aufweisen. Das Joch muss so an dem Prüfgerät befestigt werden, dass die beiden Polflächen in derselben horizontalen Ebene liegen.

ANMERKUNG 1 Dass die beiden Polflächen in derselben horizontalen Ebene liegen, kann durch die Tatsache bestätigt werden, dass, wenn eine Flüssigkeit wie Alkohol auf die Polflächen getropft und die Glasplatte darauf platziert wird, sich eine dünne Schicht Flüssigkeit gleichmäßig über die gesamten Polflächen verteilt. Ein Unterschied der Höhe und/oder der Neigung zwischen den zwei Polflächen kann zu Verformungen des Brückenstreifens und Messabweichungen führen (siehe A.6).

ANMERKUNG 2 Aufgrund der elastischen Verformbarkeit des Jochs können die beiden Polflächen je nach Art der Befestigung des Jochs selbst dann nicht mehr in derselben Ebene liegen, wenn das Joch alleine so bearbeitet wurde, dass die beiden Polflächen in derselben Ebene liegen.

Es muss darauf geachtet werden, eine Verschlechterung der magnetischen Eigenschaften des Jochs durch übermäßige Spannung zu vermeiden und Schwingungen des Jochs während der Magnetisierung zu verhindern. Das Joch sollte starr an dem schwingungsfreien Tisch oder der starren Grundplatte an Punkten in der Nähe der Polflächen befestigt werden, damit es nicht durch die Klemmkraft verschoben wird. Die Außenmaße des Jochs entlang der Achse des Wickelkörpers müssen etwas kürzer als 500 mm sein; ein Wert zwischen 494 mm und 496 mm wird empfohlen.

Bei dem Joch kann es sich um ein vertikales einzelnes Joch oder um ein horizontales Doppeljoch handeln (siehe Bild 3). Andere Jochtypen können verwendet werden, sofern aufgrund des Jochs keine Spannung auf den Probekörper ausgeübt wird und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen wird.

Das vertikale Joch muss über zwei Polflächen mit einer Länge von $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ entlang der Achse des Wickelkörpers und einer Breite zwischen 105 mm und 110 mm verfügen. Die Höhe des Jochs muss jeweils zwischen 80 mm und 90 mm liegen.

Das horizontale Joch muss über zwei Polflächen mit einer Länge zwischen 50 mm und 60 mm entlang der Achse des Wickelkörpers und einer Breite zwischen 400 mm und 500 mm verfügen. Die Höhe des Jochs muss etwa 10 mm betragen.

Andere Abmessungen des Jochs können verwendet werden, sofern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nachgewiesen wird.

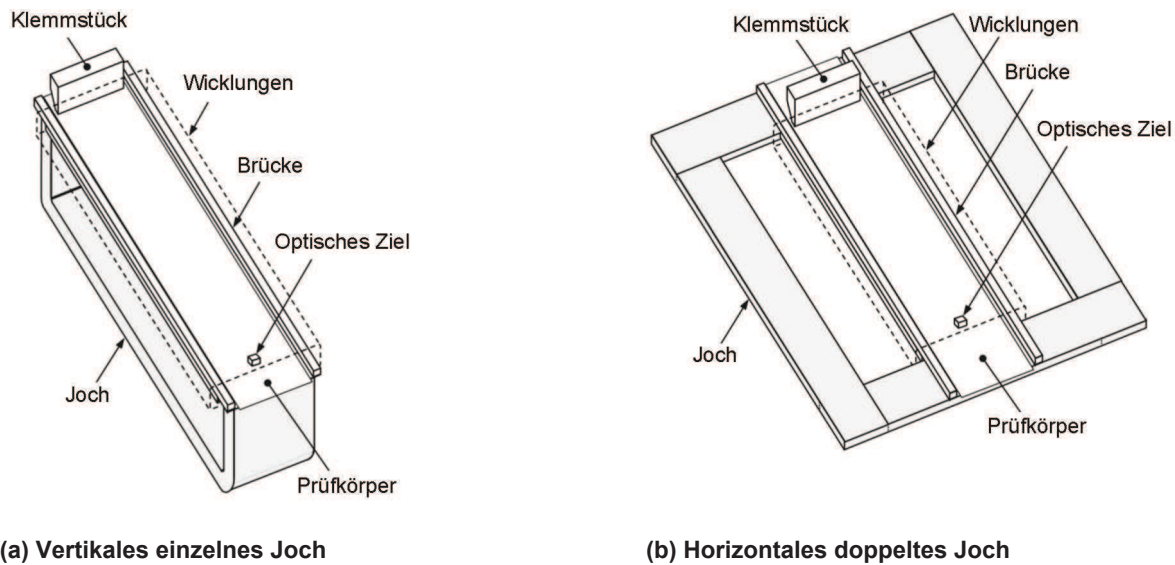


Bild 3 – Schematische Darstellung der Prüfrahen mit unterschiedlichen Jochtypen

ANMERKUNG 3 Durch Experimente wurde bestätigt, dass die Differenz der Messergebnisse im Vergleich zu der in diesem Dokument geforderten Vergleichspräzision ausreichend gering ist, wenn ein vertikales Joch durch ein horizontales Joch ersetzt wird [3].

Das Joch darf aus einem verklebten Stapel oder einem Schnittbandkern von hochdurchlässigen, kornorientierten Elektroblechen hergestellt werden. Bei einem verklebten Stapel müssen die Ecken versetzte Stoßverbindungen aufweisen. Bei einem horizontalen Joch sollten die Bänder auf einer flachen Platte mit in geringer Dichte verteilten Kleberpartikeln auf einer Seite jedes Bandes zur Minimierung der durch die Verklebung verursachten Einleitung von Spannung laminiert werden.

Das Joch muss vor der Verwendung sorgfältig abmagnetisiert werden. Zur Entmagnetisierung des Jochs muss eine Erregerwicklung um das Joch gewickelt werden. Die Entmagnetisierung muss ohne den Prüfkörper in dem Prüfgerät und bei langsamer Reduzierung des durch die Erregerwicklung fließenden Wechselstroms auf null erfolgen, beginnend mit dem Strom, der ein Magnetfeld in dem Joch weit über dem Knie der Magnetisierungskurve des Jochmaterials erzeugt. Der entmagnetisierte Zustand kann bestätigt werden, indem überprüft wird, ob die positiven oder negativen Werte des Magnetisierungsstroms des Prüfkörpers mit der Messung der Magnetostriktion übereinstimmen (siehe A.3). Bei Verwendung eines vertikalen Einzeljochs sollte ein Flussschließer mit den gleichen Abmessungen wie das Joch, z. B. das obere Joch, während der Entmagnetisierung auf den beiden Polflächen angebracht werden.

ANMERKUNG 4 Die Restmagnetisierung des Jochs kann zu asymmetrischen Schmetterlingsschleifen und somit zu Messabweichungen führen.

Ein vertikales Doppeljoch kann angewendet werden, sofern das obere Joch nicht die Längenänderungen des Prüfkörpers beeinflusst und nicht den Pfad des Laserstrahls zwischen dem optischen Sensor und dem optischen Ziel stört.

ANMERKUNG 5 Das vertikale Doppeljoch eignet sich für allgemeine Verlustmessungen mittels des Magnetisierungsstromverfahrens, sofern die Brücke entfernt wird und das obere Joch und untere Joch in Kontakt mit dem Prüfkörper sind. Das H-Spulen-Verfahren unter Verwendung einer in die Brücke in der sekundären Wicklung eingebetteten H-Spule ermöglicht gleichzeitige Messungen von Magnetostriktion und Verlust unabhängig vom Jochtyp. Für das H-Spulen-Verfahren siehe IEC 60404-16:2018 [7].

4.3.3 Wicklungen

Die Primär- und die Sekundärwicklungen müssen um den Wickelkörper gewickelt werden. Der Wickelkörper muss nichtleitend und nichtmagnetisch sein. Die Abmessungen des Wickelkörpers müssen wie folgt sein (siehe Bild 4):