

Zerstörungsfreie Prüfung

Wirbelstromprüfung von Rohren

Kontrollverfahren zur Bestimmung der Eigenschaften eines Wirbelstromprüfsystems mit Durchlaufspulen

DIN
54 141
Teil 2

Non-destructive testing; eddy current test of tubes; reference method for determination and calibration of properties of an eddy current test system with feed-through coils for tube testing

Essais non destructifs; essai par courants de Foucault des tubes; méthode d'étalonnage pour détermination et l'étalonnage des propriétés d'un système d'essai à courants de Foucault avec des bobines circulaires (interne et externe) pour l'essai des tubes

1 Anwendungsbereich und Zweck

Es werden Kontrollkörper und Vorgehensweisen festgelegt, mit deren Hilfe die für die Einstellung, die Anwendung und den Vergleich von Wirbelstromprüfsystemen mit Innen- und mit Außen-Durchlaufspulen bei der Rohrprüfung wesentlichen Eigenschaften definiert, gemessen, variiert, soweit dies vorgesehen, und kontrolliert werden können. Die für eine Prüfung notwendigen Beschreibungen der Zusammenhänge werden in DIN 54 141 Teil 1 dieser Norm gegeben.

2 Bezeichnung

Bezeichnung für die Wirbelstromprüfung von Rohren; Kontrollverfahren zur Bestimmung der Eigenschaften eines Wirbelstromprüfsystems mit Durchlaufspulen (T2):
Prüfung DIN 54 141 – T2

3 Kontrollkörper

Als Kontrollkörper werden Rohre verwendet, in die Kontrollfehler entsprechend der jeweiligen Aufgabenstellung in Form von Bohrungen, Nuten oder Abfräsungen einzubringen sind. Für die Prüfung in den verschiedenen Frequenzbereichen werden Rohre aus unterschiedlichen Werkstoffen verwendet. Für die einzelnen Frequenzbereiche werden folgende Rohre empfohlen, deren Außendurchmesser 25 mm und Wanddicken 2 mm betragen sollten und die eine Gesamtlänge von 10 m, unterteilt in 2-m-Abschnitte, aufweisen sollen:

- für 0,5 bis 6 kHz: Kupfer (z. B. SF-Cu, Werkstoff-Nr 2.0090 nach DIN 1787)
- für 2,5 bis 30 kHz: Kupfer-Zink-Legierung (z. B. CuZn20Al, Werkstoff-Nr 2.0460 nach DIN 17 660)
- für > 10 kHz: Austenit (z. B. X-10 CrNiTi 189, Werkstoff-Nr 1.4541 nach DIN 17 440)
- für 1 bis 50 kHz: Ferromagnetischer Werkstoff (z. B. St 35.2, Werkstoff-Nr 1.0309 nach DIN 2391)

Die Zuordnung von Frequenzbereich und Werkstoff erfolgt im Hinblick auf ausreichende Phasenverschiebungswinkel zwischen Innen- und Außenfehler (siehe Tabelle 1). Prüfeinrichtungsbedingte abweichende Maße sind zugelassen.

Die Rohre sollen in einer Vorprüfung mit üblichen Einstellungen im wesentlichen keine Anzeigen verursachen, die 20 % des Signals einer durchgehenden Bohrung mit 1 mm Durchmesser überschreiten.

Anmerkung: Unter durchgehend versteht man grundsätzlich „einmal radial durch die Wand gebohrt“.

Die Bohrungen sollen mit der üblichen Sorgfalt eingebracht werden, Nuten sind entweder einzudrehen, einzufräsen, einzustoßen oder funkenerosiv einzubringen. Geometrische Verformungen und Kaltverformungen bei der Bearbeitung sind zu vermeiden.

Die Maße aller eingebrachten Kontrollfehler sind zu bestimmen. Die Istmaße dürfen nicht mehr als 10 % von den Sollmaßen abweichen.

Alle Kontrollkörper weisen an einem Ende eine durchgehende Bohrung mit 1,0 mm Durchmesser auf, die zum Vergleich der Kontrollkörper untereinander dient.

Die Lage und Maße der Kontrollfehler auf den Kontrollkörpern sind zu dokumentieren. Die Rohre sind entsprechend dem Anhang A zu kennzeichnen.

4 Bestimmung allgemeiner Eigenschaften eines Wirbelstrom-Prüfsystems mit Durchlaufspulen für die Rohrprüfung

Die in den folgenden Abschnitten genannten Systemeigenschaften sind solche, die nicht ausschließlich von den physikalischen Eigenschaften des Wirbelstromverfahrens bestimmt, sondern von der Ausführung des Prüfsystems wesentlich mitbeeinflusst werden. Diese Eigenschaften werden an einem Kontrollkörper nach dieser Norm als „mittlerem Prüfobjekt“ bestimmt, wobei davon ausgegangen wird, daß die Vergleichbarkeit der Prüfsysteme nach entsprechend gleicher Bestimmungsmethode auch in gleicher Weise auf andere Prüfobjekte übertragbar ist.

Wirbelstromprüfgeräte liefern oft mehrere Ausgangssignale, die zur Auswertung benutzt werden können (z. B. Vektorbetrag v und zwei senkrecht aufeinander stehende Komponenten x und y). In den Abschnitten 4.1 bis 4.10 soll der Vektorbetrag des Wirbelstromsignals verwendet werden. Ist keine Vektorauswertung möglich, sondern steht nur eine Vektorkomponente zur Verfügung (phasenselektive Auswertung), so wird die Auswertrichtung im folgenden mit y -Richtung bezeichnet und das entsprechende Signal protokolliert. Die dann erforderliche Phaseinstellung wird jeweils vorgeschrieben.

Fortsetzung Seite 2 bis 15

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Anmerkung: Bei der Durchführung der Messungen nach den Abschnitten 4.1 bis 4.10 können Umgebungseinflüsse die Meßwerte beeinflussen. Dies sind z. B. Stöße, Vibrationen, ruckartige Vorgänge, Temperatureinflüsse usw., die meßtechnisch nicht befriedigend erfaßbar sind. Bei der Durchführung der Messungen sollte ihr Einfluß klein gehalten werden. Bei nichtstationären Anlagen sind in der Regel solche Messungen unter Laborbedingungen durchzuführen.

4.1 Einfluß der Fehlertiefe

Der Kontrollkörper Nr 1 mit Längsnuten mit Tiefen von 20, 40 und 60 % der Wanddicke, der Breite 0,5 mm und der Länge 30 mm, wird mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit bei üblicher Filtereinstellung zentrisch durch die Prüfspule (Außendurchlaufspule) bzw. die Prüfspule (Innenspule) wird zentrisch durch das Rohr geführt. Die Einstellung der Empfindlichkeit und der Phase, soweit nicht der Vektorbetrag bewertet werden kann, soll so erfolgen, daß der Vektorbetrag bzw. das Signal des 60 % der Wand tiefen Fehlers zu 100 % der maximalen Anzeighöhe angezeigt wird. Die Amplituden der Anzeigen werden gemessen und protokolliert.

Anmerkung: Unter üblicher Einstellung wird die Prüfsystemeinstellung verstanden, die entweder vom Prüfsystemhersteller empfohlen oder vom Anwender für vergleichbare Prüfaufgaben in der Regel benützt wird.

4.2 Bestimmung der Verhältnisse von Außen- und Innenfehleranzeigen

Der Kontrollkörper Nr 2 mit zwei Paaren von Außen- und Innenringnuten mit Tiefen von 20 % und 40 % der Wanddicke und einer Breite von 0,5 mm wird mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit und üblicher Filtereinstellung zentrisch durch das Prüfsystem geführt. Entsprechend der Vorgehensweise in Abschnitt 4.1 werden der größte Vektorbetrag bzw. das größte Signal auf 100 % der maximalen Anzeighöhe eingestellt. Die Amplituden der Anzeigen werden gemessen und protokolliert. Aus diesen Meßwerten werden für die Ringnuten mit Tiefen von 20 % der Wanddicke und 40 % der Wanddicke die Verhältnisse der Außenfehleranzeigen zu den Innenfehleranzeigen gebildet.

4.3 Einfluß der Fehlerlänge

Der Kontrollkörper Nr 3 mit Querabfräsungen (abgetragene Kreissegmente) der Tiefe 0,2 mm sowie den Längen 2,5, 5, 10, 15, 20 und 40 mm wird mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit und üblicher Filtereinstellung zentrisch durch das Prüfsystem geführt. Die Signalamplituden werden gemessen und protokolliert. Kann nicht der Vektorbetrag bewertet werden, so wird die Anzeige der 40 mm langen Abfräsung in y-Richtung gelegt.

Diejenige kürzeste Fehlerlänge, bei der sich die Anzeige von der der 40 mm langen Querabfräsung um nicht mehr als -3 dB unterscheidet, wird als „Grenzfehlerlänge“ bezeichnet.

Die 40 mm lange Querabfräsung wird als Bezugsgröße verwendet, da sich hier bei üblichen Spulenausführungen Ein- und Auslaufsignal nicht mehr beeinflussen.

4.4 Einfluß des Fehlerabstandes

Der Kontrollkörper Nr 4 mit durchgehenden Bohrungen von 1,0 mm Durchmesser, gebohrt auf einer Mantellinie in 6 Gruppen mit jeweils 3 Bohrungen, wird mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit zentrisch durch das Prüfsystem geführt. Die Gruppen besitzen einen Abstand von jeweils 50 mm voneinander. Innerhalb der Gruppen besitzen die drei Bohrungen jeweils Abstände von 4, 6, 8, 10, 15 und 20 mm.

Die Messung erfolgt bei der für die Prüfung üblichen Filtereinstellung, mit einer Empfindlichkeitseinstellung, bei welcher der Vektorbetrag des Signals der Bohrung mit 1,0 mm Durchmesser (Kontrollkörper Nr 4, Kontrollfehler 1) zu 50 % des Anzeigenbereichs angezeigt wird.

Ist keine Betragsbildung möglich, so wird das Einzelbohrungssignal durch Drehung des Phasenstellers in Auswerterichtung gelegt.

Derjenige größte Abstand zweier benachbarter Bohrungen, bei denen sich die Anzeige von derjenigen der 20 mm voneinander entfernten Bohrungen um nicht mehr als ± 3 dB unterscheidet, wird als die „Ortsauflösung des Systems“ bezeichnet.

Die Gruppe der 20 mm entfernten Bohrungen wird als Bezugsgröße verwendet, da sich hier bei üblichen Spulenausführungen die Signale der einzelnen Bohrungen nicht mehr beeinflussen.

4.5 Einfluß der Fehlerlage auf dem Umfang

Der Kontrollkörper Nr 5 mit Bohrungen von 1,0 mm Durchmesser in 120° Winkelabstand auf dem Rohrumfang und in 100 mm Abstand in Rohrlängsrichtung versetzt, wird zentrisch mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit bei üblicher Filtereinstellung durch das Prüfsystem geführt. Empfindlichkeits- und Phaseneinstellung erfolgt wie in Abschnitt 4.4.

Die Amplituden der Anzeigen werden gemessen und protokolliert.

4.6 Einfluß des Rohrendes

Der Kontrollkörper Nr 5 mit 10 durchgehenden Bohrungen von 1,0 mm Durchmesser, die in Abständen von 20 mm voneinander auf einer Rohrmantellinie gebohrt sind und wobei die erste Bohrung in 20 mm Abstand vom Rohrende liegt, wird bei gleichen Einstellungen wie in Abschnitt 4.4 zentrisch mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit durch das Prüfsystem geführt. Der Abstand derjenigen Bohrung vom Rohrende, deren Anzeige sich gerade noch nicht um mehr als ± 3 dB von der Anzeige der am weitesten vom Rohrende entfernten Bohrung unterscheidet, kennzeichnet das nicht ohne Empfindlichkeitsänderung prüfbare Rohrende.

4.7 Prüfung von ferromagnetischen Kontrollkörpern mit magnetischen Sättigungseinrichtungen (nur bei Anwendung des Prüfsystems für ferromagnetische Prüfteile von Belang)

Der ferromagnetische Kontrollkörper Nr 1 mit einer durchgehenden Bohrung von 1,0 mm Durchmesser und einer Außen-Längsnut von 0,4 mm Tiefe, 0,5 mm Breite und 30 mm Länge wird bei einer Tangentialfeldstärke von vorzugsweise größer als $1,6 \cdot 10^5$ A/m am Ort der Prüfspule, gemessen an der äußeren oder inneren Rohroberfläche, zentrisch mit möglichst gleichbleibender

Geschwindigkeit und üblicher Filtereinstellung (Empfindlichkeits- und Phaseneinstellung wie in Abschnitt 4.4) durch das Prüfsystem geführt. Die Amplituden der Anzeigen von Längsnut und Bohrung werden gemessen und protokolliert.

Ist nur eine geringe Feldstärke erreichbar oder erforderlich, so ist diese zu messen und mit weiteren Angaben zum Werkstoff festzuhalten.

Anmerkung: Kann die Mindest-Feldstärke von $1,6 \cdot 10^5$ A/m nicht erreicht werden, sind Vergleiche mit Kontrollkörpern aus anderen Werkstoffen nicht ohne Einschränkungen durchführbar wegen der bei niedrigen Feldstärken auftretenden komplizierten physikalischen Vorgänge.

4.8 Kennlinie der Empfindlichkeitseinstellung

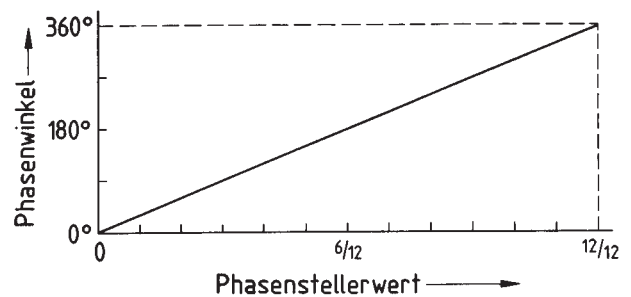
Der Kontrollkörper Nr 5 mit einer durchgehenden Bohrung von 2,0 mm Durchmesser wird bei den üblichen Einstellungen mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit zentrisch durch das Prüfsystem geführt. Die Empfindlichkeitseinstellung des Prüfsystems wird von 100 % des Anzeigebereiches in jeweils dreifachen Messungen mit Mittelung des Meßwertes in mindestens 5 Stufen solange reduziert, bis die Anzeige der Bohrung etwa 10 % der möglichen Maximalanzeige erreicht. Die dabei erhaltenen Signalamplituden werden gemessen und protokolliert. Das Anzeigegerät kann das eingebaute Gerät (z. B. ein Oszilloskop) sein, es kann auch ein extern angeschlossenes Gerät sein, das dann aber ebenfalls für die Messungen nach den anderen Punkten verwendet wird. Die Fehlergrenze des Anzeigeegerätes darf 5 % des Endwertes nicht überschreiten.

4.9 Kennlinien der Phaseneinstellung

Sofern das Prüfsystem Einrichtungen zur Phaseneinstellung besitzt, werden drei Kennlinien aufgenommen. In den Abschnitten 4.9.1 bis 4.9.3 sind in den Diagrammen Beispiele für ideale Zusammenhänge wiedergegeben.

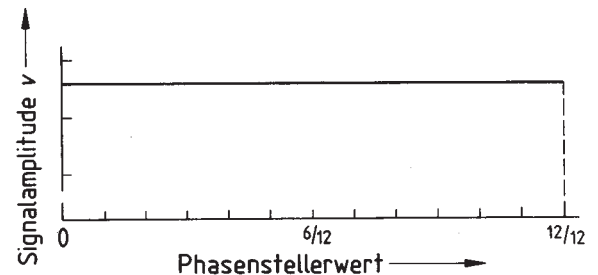
4.9.1 Beziehung Phasenwinkel – Phasensteller

Die Phasenrichtung der 20 % Außenringnut in Kontrollkörper Nr 2 wird auf dem Anzeigegerät festgelegt. Der Phasensteller wird solange gedreht, bis das Fehlersignal seine Phasenrichtung um 360° verändert hat. Die Differenz der bei der Ausgangs- und Endstellung auf dem Stellkopf abgelesenen Werte wird durch 12 geteilt. Danach wird der Phasensteller in Schritten von jeweils $1/12$ der Differenz gedreht und der Phasenwinkel der Phasenrichtung des Signals zur Ausgangsrichtung gemessen und aufgetragen.



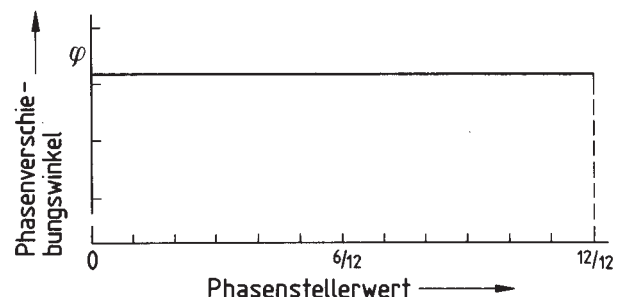
4.9.2 Beziehung Signalamplitude – Phasensteller

Die Signalamplitude v der 20 % Außenringnut in Kontrollkörper Nr 2 bei den verschiedenen Stellungen des Phasenstellers wird über den Phasenstellerwerten aufgetragen.



4.9.3 Beziehung Phasenverschiebungswinkel – Phasensteller

Der Phasenverschiebungswinkel φ zwischen der 20 % tiefen Außen- und Innen-Ringnut bzw. der durch die Wand gehenden Bohrung und der 20 % tiefen Innennut (bei Innenspulen der 20 % tiefen Außennut) im Kontrollkörper Nr 2 wird bei der gewählten Frequenz bestimmt. Sofern er größer als 30° ist, wird der Phasenverschiebungswinkel wieder bei den 12 Phasenstellereinstellungen gemessen und über dem Phasenstellerwert aufgetragen.



Nachstehende Tabelle 1 zeigt als Beispiel den zu erwartenden Phasenverschiebungswinkel φ für 4 Kontrollkörper bei verschiedenen Prüffrequenzen.

Tabelle 1. Phasenverschiebungswinkel zwischen Außen- und Innen-Ringnuten für ausgewählte Werkstoffe mit definierten elektrischen Leitfähigkeiten σ und gegebenenfalls eingestellter Magnetisierung H

Rohrmaße: 25 mm x 2 mm Nutmaße: Tiefe 20 % der Wanddicke
Breite 0,5 mm

f kHz	Phasenverschiebungswinkel φ in ° für Außen- und Innen-Ringnuten			
	Kupfer $\left(\sigma = 52 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}\right)$	CuZn 20 Al (nach DIN 17 660) $\left(\sigma = 12,5 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}\right)$	Austenit $\left(\sigma = 1,4 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}\right)$	Stahl St 35.8 ($H = 1,6 \cdot 10^5 \text{ A/m}$) $\left(\sigma = 5,8 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}\right)$
0,5	30	—	—	—
1	54	—	—	+ 28
3	128	42	—	+ 48
6	200	73	—	+ 60
10	—	110	—	+ 73
20	—	175	32	+ 95
30	—	220	45	+ 115
50	—	—	70	+ 152
100	—	—	120	—
300	—	—	230	—

4.10 Stabilität

Der Kontrollkörper Nr 5 nach Abschnitt 4.5 wird nach Ablauf der vorgeschriebenen Anheizzeit des Gerätes mit den üblichen Prüfeinstellungen in Abständen von 15 Minuten über eine Gesamtdauer von 1 Stunde, jeweils dreimal durch das Prüfsystem gefahren. Während dieser Zeit sollen die üblichen Betriebsbedingungen bezüglich der Umgebungseinflüsse vorliegen. Die Prüfempfindlichkeit wird zu Beginn der Messung so eingestellt, daß die Signalamplitude der Bohrung von 1,0 mm Durchmesser 50 % der möglichen Anzeige beträgt (Phaseneinstellung wie in Abschnitt 4.4). Der Mittelwert aus den jeweils drei Messungen und drei Bohrungen wird bestimmt und protokolliert.

5 Angabe des Ergebnisses

Zur Protokollierung der nach den Abschnitten 4.1 bis 4.10 durchzuführenden Messungen sind die im Anhang A beige-fügten Formblätter zu verwenden.

Zitierte Normen

DIN 1787	Kupfer; Halbzeug
DIN 2391 Teil 1	Nahtlose Präzisionsstahlrohre, mit besonderer Maßgenauigkeit; Maße
DIN 2391 Teil 2	Nahtlose Präzisionsstahlrohre, mit besonderer Maßgenauigkeit; Technische Lieferbedingungen
DIN 17 440	Nichtrostende Stähle; Gütevorschriften
DIN 17 660	Kupfer-Knetlegierungen; Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) (Sondermessing), Zusammensetzung
DIN 54 140 Teil 1	Zerstörungsfreie Prüfung; Induktive Verfahren (Wirbelstromverfahren); Allgemeines

Erläuterungen

Die Norm DIN 54 141 Teil 2 ist vom Arbeitskreis „Kontrollverfahren“ des Arbeitsausschusses NMP 824 „Elektrische und magnetische Prüfverfahren“ ausgearbeitet worden.

Anhang A

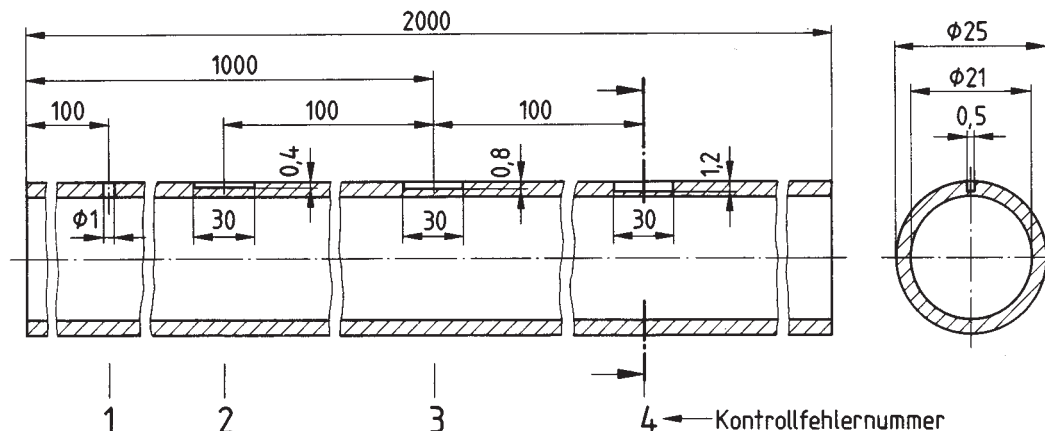
Formblätter zur Protokollierung der Messungen

Für den Anwender dieser Norm unterliegt Anhang A nicht dem Nachdruckvermerk auf Seite 1.

A.1. Bestimmung des Einflusses der Fehlertiefe nach Abschnitt 4.1

Kontrollkörper Nr 1

Längsnuten außen 20 %, 40 %, 60 % der Wand tief,
0,5 mm breit, 30 mm lang; Bohrung 1,0 mm Ø.



Material des Kontrollkörpers:

Tangentialfeldstärke:

Betreiber der
Prüfanlage:

Prüfgerät-Bezeichnung:

Prüfkabel:

Prüfspulenbezeichnung:

Sonstige Teile der
Übertragungsstrecke:

Prüfgeschwindigkeit:

Prüffrequenz:

Prüfempfindlichkeit:

Phaseneinstellung:

Filter-art/-stellung:

Sichtteilempfindlichkeit:

Schreiberempfindlichkeit:

Das ausgewertete Signal ist der Vektorbetrag/die y-Komponente der Kontrollfehleranzeigen.
(Nichtzutreffendes streichen)

Kontrollfehler-Nr:

1

2

3

4

Anzeigehöhe/mm:

Die Überprüfung der Anlage
wurde durchgeführt durch:

1.)

Name

Firma/Institution

Für die Richtigkeit
gleich verantwortlich:

2.)

Ort:

Unterschrift

1.)

Datum:

2.)