

	DIN EN ISO 16809	
ICS 19.100	Entwurf	Einsprüche bis 2024-08-21 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN ISO 16809:2020-02
Zerstörungsfreie Prüfung – Dickenbestimmung mit Ultraschall (ISO/DIS 16809:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16809:2024 Non-destructive testing – Ultrasonic thickness determination (ISO/DIS 16809:2024); German and English version prEN ISO 16809:2024 Essais non destructifs – Mesurage de l'épaisseur par ultrasons (ISO/DIS 16809:2024); Version allemande et anglaise prEN ISO 16809:2024 Anwendungswarnvermerk Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-06-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil das beabsichtigte Dokument 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 nmp@din.de 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 den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin. Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen. Gesamtumfang 86 Seiten DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)		

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN ISO 16809:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-08-23 AA „Ultraschallprüfung“ im DIN-Normenausschuss DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 5577	siehe	DIN EN ISO 5577
ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
ISO 16811	siehe	DIN EN ISO 16811
ISO 16828	siehe	DIN EN ISO 16828
ISO 22232-1	siehe	DIN EN ISO 22232-1
ISO 22232-2	siehe	DIN EN ISO 22232-2

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 16809:2020-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Terminologie in diesem Dokument wurde von „Messung“ in „Bestimmung“ geändert. Nur die Laufzeit des Ultraschallsignals kann in Bezug zu rückführbaren Vergleichskörpern gemessen werden. Dicke und Schallgeschwindigkeit können daher nur bestimmt werden;
- b) die Terminologie wurde an ISO 16831 angepasst;
- c) zur Bestimmung von Wanddicken können Ultraschallgeräte mit A-Bild-Darstellung nach ISO 22232-1 verwendet werden;
- d) alle Bilder wurden verbessert;
- e) Norm redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 5577, *Zerstörungsfreie Prüfung — Ultraschallprüfung — Terminologie (ISO 5577)*

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung (ISO 9712)*

DIN EN ISO 16811, *Zerstörungsfreie Prüfung — Ultraschallprüfung — Empfindlichkeits- und Entfernungjustierung (ISO 16811)*

DIN EN ISO 16828, *Zerstörungsfreie Prüfung — Ultraschallprüfung — Beugungslaufzeittechnik, eine Technik zum Auffinden und Ausmessen von Inhomogenitäten (ISO 16828)*

DIN EN ISO 22232-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung — Teil 1: Prüfgeräte (ISO 22232-1)*

DIN EN ISO 22232-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung — Teil 2: Prüfköpfe (ISO 22232-2)*

– Leerseite –

Juni 2024

prEN ISO 16809

Zerstörungsfreie Prüfung – Dickenbestimmung mit Ultraschall (ISO/DIS 16809:2024)

Non-destructive testing – Ultrasonic thickness determination (ISO/DIS 16809:2024)

Essais non destructifs – Mesurage de l'épaisseur par ultrasons (ISO/DIS 16809:2024)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Arten der Bestimmung	7
5 Allgemeine Anforderungen	9
5.1 Messgeräte	9
5.2 Prüfköpfe	10
5.3 Koppelmittel	10
5.4 Vergleichskörper	10
5.5 Prüfgegenstände	10
5.6 Qualifizierung des Prüfpersonals	11
6 Anwendung der Prüftechniken	11
6.1 Oberflächenbedingungen und Oberflächenvorbereitung	11
6.2 Messtechnik	11
6.2.1 Allgemeines	11
6.2.2 Bestimmung während der Herstellung	12
6.2.3 Bestimmung der Restwanddicke während des Betriebs	13
6.3 Auswahl des Prüfkopfes	13
6.4 Auswahl des Messgerätes	14
6.5 Besondere Prüfbedingungen	14
6.5.1 Allgemeines	14
6.5.2 Andere Werkstoffe als der Werkstoff des Vergleichskörpers	14
6.5.3 Bestimmung bei Temperaturen unter 0 °C	14
6.5.4 Bestimmung bei höheren Temperaturen	15
6.5.5 Gefährliche Atmosphären	15
7 Einstellung der Messgeräte	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Verfahren zur Einstellung	16
7.2.1 Allgemeines	16
7.2.2 Messgeräte mit numerischer Anzeige	16
7.2.3 Messgeräte mit A-Bild-Darstellung	16
7.3 Überprüfungen von Einstellungen	17
8 Einfluss auf die Genauigkeit	18
8.1 Betriebsbedingungen	18
8.1.1 Oberflächenbedingungen	18
8.1.2 Temperatur des Prüfgegenstands	18
8.1.3 Metallische Beschichtung	19
8.1.4 Nichtmetallische Beschichtung	19
8.1.5 Geometrie	20
8.2 Prüfausrüstung	21
8.2.1 Auflösung	21
8.2.2 Bereich	21
8.3 Beurteilung der Genauigkeit	22
8.3.1 Allgemeines	22
8.3.2 Einflussparameter	22
8.3.3 Berechnungsverfahren	22
9 Einfluss von Werkstoffen	22
9.1 Allgemeines	22
9.2 Inhomogenität	23

9.3	Anisotropie	23
9.4	Schallschwächung	23
9.5	Oberflächenbedingungen	23
9.5.1	Allgemeines	23
9.5.2	Kontaktfläche	23
9.5.3	Reflektierende Oberfläche	24
9.5.4	Korrosion und Erosion	24
10	Prüfbericht	25
10.1	Allgemeines	25
10.2	Allgemeine Angaben	25
10.3	Prüfergebnisse	26
Anhang A (informativ) Korrosion in Behältern und Rohrleitungen		27
A.1	Allgemeines	27
A.2	Bestimmung der Korrosion	27
A.2.1	Messgerät	27
A.2.2	Prüfköpfe	27
A.2.3	Einstellung des Messgerätes	28
A.2.4	Dickenbestimmung	28
A.3	Bewertung von Lochkorrosion	28
A.3.1	Messgerät	28
A.3.2	Prüfköpfe	28
A.3.3	Einstellung des Messgerätes	28
A.3.4	Dickenbestimmung	29
Anhang B (informativ) Einstellungen des Messgerätes		32
Anhang C (informativ) Parameter, die die Genauigkeit beeinflussen		35
C.1	Parameter, die die Genauigkeit der Dickenbestimmung beeinflussen	35
C.2	Berechnungsverfahren	38
Anhang D (informativ) Auswahl der Technik zur Dickenbestimmung		41
Literaturhinweise		44

Bilder

Bild 1 — Arten der Bestimmung	9
Bild 2 — Einstellung der Messgeräte für Messtechnik 3	17
Bild 3 — Vergrößerter Schallweg durch die Beschichtung	20
Bild 4 — Schallweg durch eine Koppelmittelschicht	24
Bild D.1 — Flussdiagramm für die Prüfung während der Herstellung	41
Bild D.2 — Flussdiagramm für die Prüfung während der Herstellung	42
Bild D.3 — Flussdiagramm für die Betriebsprüfung	42
Bild D.4 — Flussdiagramm für die Betriebsprüfung	43

Tabellen

Tabelle A.1 — Korrosion von Stahl — Empfohlene Ultraschalltechniken	30
Tabelle B.1 — Einstellung der Messgeräte mithilfe eines Vergleichskörpers mit mehrfach gestufter Dicke	33
Tabelle B.2 — Einstellung der Messgeräte mit einem Vergleichskörper mit nur einer Dicke oder ohne Vergleichskörper	34
Tabelle C.1 — Tabelle der Parameter, die die Genauigkeit beeinflussen	36
Tabelle C.2 — Beispiel für die Abschätzung der Genauigkeit für ein Stahlblech mit einer Dicke von 10 mm und einer Oberflächenrauheit $R_a = 6,3 \mu\text{m}$	39

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16809:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 16809:2024 wurde von CEN als prEN ISO 16809:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135, *Non-destructive testing*, Unterkomitee SC 3, *Ultrasonic testing*, erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 16809:2017), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- die Terminologie im Dokument wurde von „Messung“ in „Bestimmung“ geändert. Nur die Laufzeit des Ultraschallsignals kann in Bezug auf rückführbare Vergleichskörper gemessen werden. Die Dicke und Schallgeschwindigkeit können deshalb nur bestimmt werden;
- die Terminologie wurde an ISO 16831 angepasst;
- zur Bestimmung von Wanddicken können Ultraschallgeräte mit A-Bild-Darstellung nach ISO 22232-1 verwendet werden;
- alle Bilder wurden verbessert.

E DIN EN ISO 16809:2024-07
prEN ISO 16809:2024 (D)

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Grundlagen für die Dickenbestimmung metallischer und nicht metallischer Werkstoffe durch Kontakttechnik oder Tauchtechnik fest, ausschließlich basierend auf der Messung der Laufzeit von Ultraschallimpulsen.

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).

ISO 5577, *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Vocabulary*

ISO 16831, *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — Characterization and verification of ultrasonic equipment for the determination of thickness*

ISO 22232-1, *Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic test equipment — Part 1: Instruments*

ISO 22232-2, *Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic test equipment — Part 2: Probes*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 5577.

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

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

4 Arten der Bestimmung

Die Dicke eines Prüfgegenstands wird durch genaue Messung der Zeit bestimmt, die ein von einem Wandler erzeugter kurzer Ultraschallimpuls benötigt, um die Werkstoffdicke einmal, zweimal oder mehrere Male zu durchlaufen.

Die Werkstoffdicke wird berechnet, indem die für den Werkstoff des Prüfgegenstands bekannte Schallgeschwindigkeit mit der gemessenen Laufzeit multipliziert und durch die Anzahl der Impulsdurchgänge durch die Wand des Werkstoffs dividiert wird.

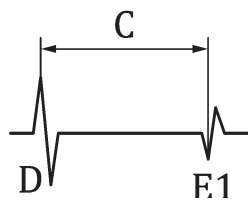
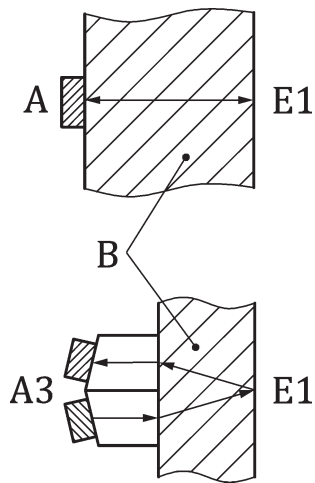
Durch Anwendung einer der folgenden Messtechniken kann dieses Prinzip umgesetzt werden, siehe Bild 1.

Messtechnik 1: Die Laufzeit muss von einem anfänglichen Anregungsimpuls bis zu einem ersten zurückkehrenden Echo, abzüglich einer Nullpunktkorrektur zur Berücksichtigung der Dicke der Verschleißplatte des Prüfkopfes oder der Vorlaufstrecke und der Koppelschicht (Einzelecho-Technik) gemessen werden.

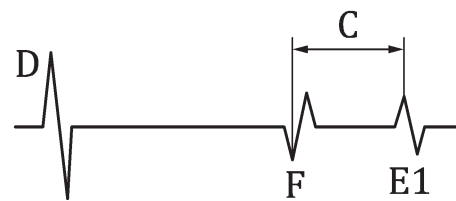
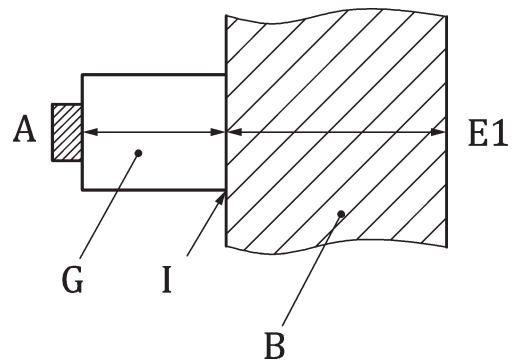
Messtechnik 2: Die Laufzeit muss vom Ende einer Vorlaufstrecke bis zum ersten Rückwandecho (Einzelecho-Technik mit Vorlauf) gemessen werden.

Messtechnik 3: Die Laufzeit muss zwischen aufeinander folgenden Rückwandechos (Mehrfachecho-Technik) gemessen werden.

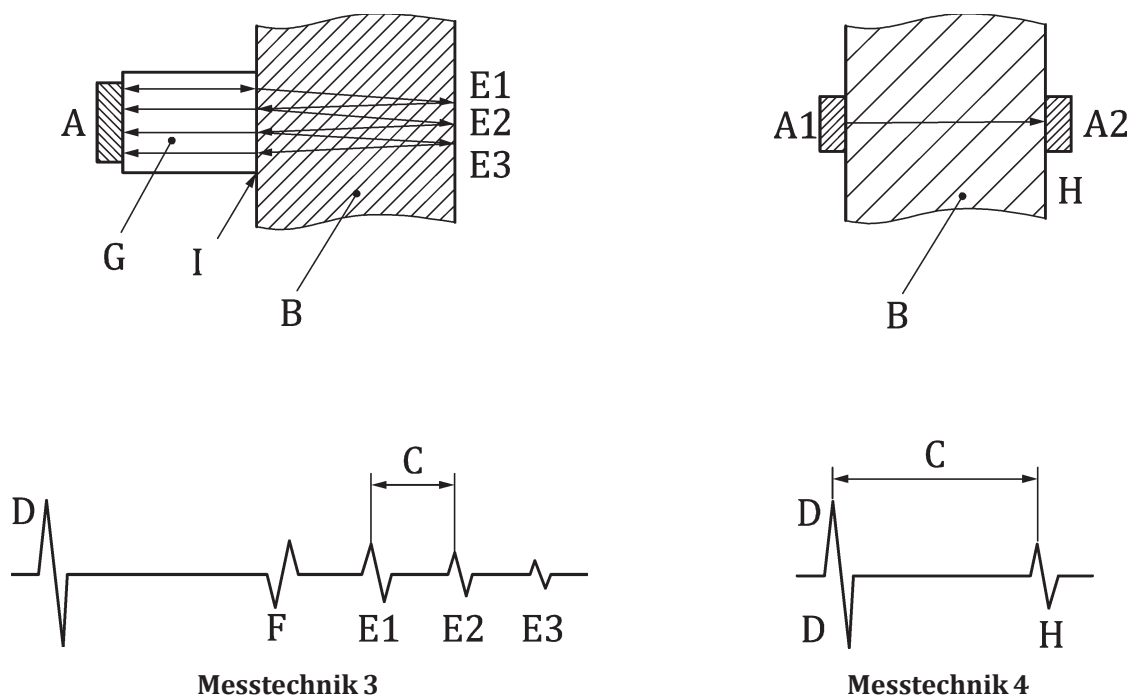
Messtechnik 4: Die Laufzeit eines Impulses muss vom Sender bis zu einem Empfänger, der mit der Rückwand in Kontakt steht (Durchschallungstechnik), gemessen werden.



Messtechnik 1



Messtechnik 2



Legende

A	Sende-/Empfangs-Prüfkopf
A1	Sende-Prüfkopf
A2	Empfangs-Prüfkopf
A3	SE-Prüfkopf
B	Prüfgewand
C	Laufzeit, die in einer bestimmten Messtechnik verwendet wird
D	Anzeige des Sendeimpulses
E1 bis E3	Rückwandechos
F	Grenzfläche
G	Vorlaufstrecke
H	Empfangsimpuls
I	Grenzfläche

ANMERKUNG Das Grenzflächenecho ist in der Regel in Messtechnik 1 nicht sichtbar.

Bild 1 — Arten der Bestimmung

5 Allgemeine Anforderungen

5.1 Messgeräte

Das Ultraschallgerät muss in Abhängigkeit von der Art des Messgerätes die Anforderungen von ISO 16831 oder ISO 22232-1 erfüllen. Die folgenden Arten von Messgeräten müssen verwendet werden, um die Dickenbestimmung durchzuführen:

- für die Dickenbestimmung bestimmte Ultraschallgeräte nur mit einer numerischen Anzeige, die den bestimmten Dickenwert anzeigt;
- für die Dickenbestimmung bestimmte Ultraschallgeräte mit einer numerischen Anzeige, die den bestimmten Dickenwert anzeigt, und mit einer A-Bild-Darstellung;

- c) Ultraschallgeräte, die nicht auf eine Dickenbestimmung beschränkt, sondern vorwiegend für den Nachweis von Fehlstellen ausgelegt sind und eine A-Bild-Darstellung haben. Der Prüfer liest die Stelle eines Signals auf der Zeitachse der Anzeige ab, oder dieser Messgerätetyp kann auch ein Tor und eine numerische Anzeige umfassen, die den bestimmten Dickenwert anzeigt.

Zur Auswahl des Messgerätes siehe 6.4.

5.2 Prüfköpfe

Der Prüfkopf (die Prüfköpfe), die für die TOFD-Technik verwendet werden, müssen zuerst die Anforderungen von ISO 22232-2 erfüllen. Die folgenden Prüfkopfarten müssen verwendet werden; im Allgemeinen handelt es sich dabei um Longitudinalwellenprüfköpfe:

- SE-Prüfköpfe;
- Einschwinger-Prüfköpfe.

Zur Auswahl des Prüfkopfes siehe 6.3.

5.3 Koppelmittel

- a) Zwischen dem Prüfkopf (den Prüfköpfen) und dem Prüfgegenstand muss ein akustischer Kontakt hergestellt werden, üblicherweise durch Auftragen eines Fluids oder Gels.
- b) Das Koppelmittel darf sich nicht nachteilig auf den Prüfgegenstand und die Prüfausrüstung auswirken oder darf für den Prüfer keine Gesundheitsgefährdung darstellen.
- c) Das Koppelmittel muss entsprechend den Oberflächenbedingungen und den Unregelmäßigkeiten der Oberfläche so ausgewählt werden, dass eine ausreichende Ankopplung sichergestellt wird.

Zur Verwendung des Koppelmittels unter besonderen Prüfbedingungen siehe 6.6.

5.4 Vergleichskörper

- a) Die Ausrüstung für die Dickenbestimmung muss mithilfe eines oder mehrerer Probestücke oder mit Vergleichskörpern eingestellt werden, die für den zu Prüfgegenstand repräsentativ sind, d. h. Maße, Werkstoff und Gefüge müssen vergleichbar sein.
- b) Die Dicke der Vergleichskörper oder der Stufen sollte den zu bestimmenden Dickenbereich überdecken.
- c) Entweder die Dicke oder die Schallgeschwindigkeit der Vergleichskörper muss bekannt sein.

5.5 Prüfgegenstände

- a) Der Prüfgegenstand muss die Ausbreitung von Ultraschallwellen zulassen.
- b) Jeder einzelne zu prüfende Bereich muss frei zugänglich sein.
- c) Die Oberfläche des zu prüfenden Bereichs muss frei von jeglichem Schmutz, Fett, Fusseln, Zunder, Flussmitteln und Schweißspritzern, Öl oder sonstigen Fremdstoffen sein, die einen störenden Einfluss auf die Prüfung ausüben könnten.
- d) Falls die Oberfläche beschichtet ist, muss die Schicht gut auf dem Werkstoff haften. Anderenfalls muss sie entfernt werden.
- e) Falls durch die Beschichtung hindurch geprüft wird, müssen deren Dicke und Schallgeschwindigkeit bekannt sein, außer, wenn Messtechnik 3 angewendet wird.

Zu weiteren Einzelheiten siehe 6.1 und Abschnitt 8.

5.6 Qualifizierung des Prüfpersonals

- a) Ein Prüfer, der Ultraschall-Dickenbestimmungen nach diesem Dokument durchführt, muss Grundkenntnisse über die Physik des Ultraschalls, ein auf eine Ultraschall-Dickenbestimmung bezogenes detailliertes Verständnis sowie eine diesbezügliche Ausbildung haben.
- b) Außerdem muss der Prüfer Kenntnisse über das zu prüfende Produkt und den zu prüfenden Werkstoff haben.
- c) Es wird vorausgesetzt, dass die Ultraschall-Dickenbestimmung von qualifiziertem und befähigtem Personal durchgeführt wird. Um diese Qualifizierung nachzuweisen, wird empfohlen, dass das Personal nach ISO 9712 oder gleichwertig qualifiziert ist.

6 Anwendung der Prüftechniken

6.1 Oberflächenbedingungen und Oberflächenvorbereitung

Die Anwendung der Impulsecho-Technik bedeutet, dass dabei der Ultraschallimpuls die Prüffläche zwischen Prüfgegenstand und Prüfkopf mindestens zweimal passieren muss: beim Eintritt in den Gegenstand und beim Verlassen des Gegenstandes.

Daher wird eine saubere und ebene Kontaktfläche bevorzugt, deren Durchmesser mindestens dem Doppelten des Prüfkopfdurchmessers entspricht. Ein unzureichender Kontakt führt zu Energieverlust sowie zur Verzerrung von Signalen und des Schallweges.

- a) Um eine Schallausbreitung zu ermöglichen, müssen alle losen Teile und alle nicht haftenden Beschichtungen durch Bürsten oder Schleifen entfernt werden.
- b) Auf dem Gegenstand festhaftende Schichten, wie Farbanstriche, galvanische Überzüge, Überzüge aus Email, dürfen auf dem Gegenstand verbleiben, wobei es jedoch nur wenige Ultraschallgeräte gibt, die in der Lage sind, diese Schichten von der Dickenbestimmung auszuschließen.
- c) Sehr oft müssen Dickenbestimmungen an korrodierten Oberflächen durchgeführt werden, z. B. an Speicherbehältern und Rohrleitungen.

Um in diesem Fall die Genauigkeit zu erhöhen, sollte die Prüffläche innerhalb eines Bereichs geschliffen werden, der mindestens dem doppelten Prüfkopfdurchmesser entspricht.

Dieser Bereich sollte von Korrosionsprodukten gereinigt werden.

Beim Schleifen sollte darauf geachtet werden, dass die Dicke nicht unter den zulässigen Mindestwert verringert wird.

6.2 Messtechnik

6.2.1 Allgemeines

Die Aufgabe von Dickenbestimmungen mit Ultraschall kann in zwei Anwendungsbereiche eingeteilt werden:

- Bestimmung während der Herstellung;
- Bestimmung der Restwanddicke im Gebrauch.

Für jeden Bereich gelten eigene spezielle Bedingungen, die besondere Techniken erfordern.

E DIN EN ISO 16809:2024-07
prEN ISO 16809:2024 (D)

Unter Anwendung von Kenntnissen über den Werkstoff, die Geometrie und die zu bestimmende Dicke sowie die geforderte Genauigkeit müssen die geeignetste Prüfausrüstung und Messtechnik wie folgt ausgewählt werden (Anhang D gibt dazu eine Anleitung):

- a) in Abhängigkeit von der Dicke und dem Werkstoff müssen Frequenzen im Bereich von 100 kHz bei der Durchschallungstechnik von stark schwächenden Werkstoffen bis zu 50 MHz für dünne Metallbleche angewendet werden;
- b) bei der Anwendung von SE-Prüfköpfen ist eine Kompensierung für den Fehler erforderlich, der durch den V-Weg auftritt;
- c) an gekrümmten Prüfgegenständen muss der Durchmesser der Kontaktfläche des Prüfkopfes deutlich kleiner sein als der Durchmesser des Prüfgegenstandes.

Die Genauigkeit der Dickenbestimmung hängt davon ab, wie genau die Laufzeit gemessen werden kann, sowie von der Art der Zeitmessung (Schnittpunkt mit der Nulllinie, zwischen benachbarten Impulsflanken, zwischen benachbarten Impulsspitzen), von der ausgewählten Messtechnik (bei Messtechnik 3 mit Mehrfachechos ist die Messunsicherheit geringer als bei den Messtechniken 1 und 2) und von den anwendbaren Frequenzen (höhere Frequenzen ergeben wegen der genaueren Laufzeitmessung eine höhere Genauigkeit als niedrigere Frequenzen).

- d) Oftmals ist eine Ultraschall-Dickenbestimmung über einen Bereich des Prüfgegenstands erforderlich. Ist dies der Fall, muss der Abstand zwischen den Prüfstellen berücksichtigt werden.
- e) Ein solcher Abstand muss gleichmäßig sein, und die Verwendung eines Gitternetzes wird empfohlen.
- f) Die Größe des Gitternetzes muss so gewählt werden, dass sich ein Gleichgewicht zwischen dem Vertrauen in die Ergebnisse, dem Nachweis von örtlichen Schwankungen der Dicke und dem verbundenen Arbeitsaufwand ergibt.

Zur Bestimmung der Dicke mit Ultraschall bedeutet, dass die Laufzeit gemessen und dann die Dicke unter der Annahme berechnet wird, dass die Schallgeschwindigkeit konstant ist (siehe Abschnitt 7).

Wenn die Schallgeschwindigkeit innerhalb des vom Ultraschallimpuls durchlaufenen Weges nicht konstant ist, wird die Genauigkeit der Bestimmung stark beeinträchtigt.

6.2.2 Bestimmung während der Herstellung

6.2.2.1 Messtechniken 1, 2 und 3

- a) Wenn die Impulsecho-Technik angewendet wird, geben die Flussdiagramme in Bild D.1 und Bild D.2 eine Anleitung zur Auswahl der besten Technik und Ausrüstung.
- b) Die Dickenbestimmung an sauberen parallelen Oberflächen darf mit einfachen Messgeräten zur Dickenbestimmung mit numerischer Anzeige durchgeführt werden.
- c) An Verbundwerkstoffen, die Echos zusätzlich zum Rückwandecho erzeugen, wird die Verwendung von Dickenmessgeräten mit A-Bild-Darstellung [Typ 5.1 b) oder Typ 5.1 c)] für die Auswahl des zur Dickenbestimmung korrekten Echos empfohlen.

6.2.2.2 Messtechnik 4

Wenn der Werkstoff stark schwächend ist und große Dicken geprüft werden müssen, kann keine Echo-Technik angewendet werden, d. h. es ist ausschließlich die Durchschallungstechnik (Messtechnik 4) anwendbar.

- a) Auf gegenüberliegenden Seiten des Prüfgegenstandes müssen dann zwei Prüfköpfe benutzt werden.
- b) Das Messgerät muss daher den Betrieb mit getrenntem Sender und Empfänger (SE-Betrieb) ermöglichen.

- c) In den meisten Fällen muss die Frequenz niedriger als 1 MHz sein.
- d) Spezielle Niederfrequenzgeräte aus 5.1, Gruppe c), mit Prüfköpfen mit niedriger Frequenz müssen verwendet werden.

6.2.3 Bestimmung der Restwanddicke während des Betriebs

Bei Prüfungen während des Betriebs müssen Dickenbestimmungen an Werkstoffen durchgeführt werden, die Korrosion oder Erosion ausgesetzt sind. Die Oberflächen können rau sein und Lochkorrosion oder andere Unregelmäßigkeiten enthalten (siehe Anhang A), d. h. es handelt sich dabei um Flächen mit geringem Reflexionsvermögen.

- a) Für diese Anwendungen wird die Verwendung von SE-Messköpfen und Messgeräten mit A-Bild-Darstellung empfohlen.
- b) Die Empfindlichkeit muss von Hand eingestellt werden, um die schlecht reflektierenden Flächen aufzufinden.
- c) Wenn eine große Anzahl an Dickenbestimmungen erforderlich ist, müssen die Anzeigewerte Werte mit Angabe der Lage der Prüfstelle sein. Es sind spezielle Prüfprogramme verfügbar, die dies (Datenaufzeichnung) leisten.
- d) Bei Prüfungen während des Betriebs sind die Umgebungsbedingungen von großer Bedeutung. Es kann eine Ausrüstung benötigt werden, die hohen Temperaturen und rauen Umgebungen standhalten kann oder über eine besondere elektrische Abschirmung verfügt.

Die Flussdiagramme in Bild D.3 und Bild D.4 geben eine Anleitung für Dickenbestimmungen während des Betriebs.

6.3 Auswahl des Prüfkopfes

Nachdem eine geeignete Prüftechnik nach 6.2 gewählt wurde, d. h. eine allgemeine Entscheidung für eine Prüfkopfart (Einschwinger- oder SE-Prüfkopf) getroffen wurde, müssen weitere Parameter beachtet werden, um den Prüfkopf an die jeweiligen Prüfbedingungen anzupassen.

Breitband-Prüfköpfe erzeugen einen kürzeren Impuls als Schmalband-Prüfköpfe, wodurch eine für Beginn und Ende der Laufzeitmessung geeignete Impulsflanke oder -spitze und damit eine bessere Auflösung bei Prüfung dünner Bleche oder Schichten erreicht wird.

Darüber hinaus liefert ein breites Frequenzband immer ein stabiles Echo, selbst wenn schwächende Werkstoffe geprüft werden müssen.

- a) Größe und Frequenz des Prüfkopfes müssen so gewählt werden, dass der Dickenbereich durch ein schmales Schallbündel erfasst wird, damit ein Echo von einer klar abgegrenzten Fläche erhalten wird.
- b) Bei SE-Prüfköpfen muss der Fokusbereich den erwarteten Dickenbereich abdecken.
- c) Bei der Bestimmung von geringen Dicken
 - 1) muss eine Vorlaufstrecke angewendet werden;
 - 2) darf ein SE-Prüfkopf mit kleinem Fokusabstand verwendet werden.
- d) Der Werkstoff der Vorlaufstrecke muss so gewählt werden, dass ein geeignetes Grenzflächenecho erzeugt wird. Bei Verwendung desselben Werkstoffes wie für den Prüfgegenstand wird kein Grenzflächenecho erzeugt.

Wenn der Werkstoff der Vorlaufstrecke eine geringere akustische Impedanz als der zu prüfende Werkstoff hat, z. B. eine Vorlaufstrecke aus Kunststoff auf Metall oder bei Anwendung einer Tauchtechnik, tritt eine Phasenverschiebung des Grenzflächenechos auf. Um genaue Ergebnisse zu erhalten, muss dies korrigiert werden. Einige Messgeräte zur Dickenbestimmung nehmen diese Korrektur automatisch vor.

e) Bei Prüfungen an heißen Oberflächen muss die Vorlaufstrecke als Wärmebarriere wirken.

Der für die Vorlaufstrecke ausgewählte Werkstoff muss den Temperaturen des Prüfgegenstandes widerstehen. Der Einfluss der Temperatur auf die akustischen Eigenschaften der Vorlaufstrecke muss bekannt sein (Drift der Schallschwächung und der Schallgeschwindigkeit).

Datenblätter der Prüfkopfhersteller geben den Bereich der Temperaturen an, für die ein Prüfkopf geeignet ist sowie die Dauer, über die er bei diesen Temperaturen benutzt werden kann.

6.4 Auswahl des Messgerätes

Die Wahl der Messgeräte vom Typ 5.1 a), b) oder c) muss wie folgt vorgenommen werden:

- a) Messgeräte vom Typ 5.1 a) dürfen ausschließlich für Messtechniken 1, 2 und 3 (siehe Abschnitt 4) verwendet werden und dürfen vom Hersteller voreingestellt werden, dass sie nur in einer Messtechnik 1, 2 oder 3 funktionieren (siehe Abschnitt 4) und müssen in Abhängigkeit vom Anwendungsbereich (bei der Herstellung oder im Gebrauch) die in 6.2.2.1 oder 6.2.3 angegebenen Bedingungen erfüllen.
- b) Messgeräte vom Typ 5.1 b) dürfen ausschließlich für Messtechniken 1, 2 und 3 (siehe Abschnitt 4) verwendet werden und müssen in Abhängigkeit vom Anwendungsbereich (bei der Herstellung oder im Gebrauch) die in 6.2.2.1 oder 6.2.3 angegebenen Bedingungen erfüllen;
- c) Messgeräte vom Typ 5.1 c) dürfen für Messtechniken 1 bis 4 (siehe Abschnitt 4) verwendet werden und müssen in Abhängigkeit vom Anwendungsbereich (bei der Herstellung oder im Gebrauch) die in 6.2.2 oder 6.2.3 angegebenen Bedingungen erfüllen;

Siehe auch Anhang D.

6.5 Besondere Prüfbedingungen

6.5.1 Allgemeines

- a) Alle gesetzlichen Vorschriften, die die sichere Verwendung von Chemikalien und elektrischen Ausrüstungen regeln, müssen genau befolgt werden.
- b) Wenn eine hohe Genauigkeit der Bestimmungen gefordert wird, müssen die Norm- oder Vergleichskörper dieselbe Temperatur haben wie der Prüfgegenstand.

6.5.2 Andere Werkstoffe als der Werkstoff des Vergleichskörpers

Die Verwendung von Vergleichskörpern aus einem anderen Werkstoff als der Prüfgegenstand wird nicht empfohlen, siehe Tabelle B.1 und Tabelle B.2.

6.5.3 Bestimmung bei Temperaturen unter 0 °C

- a) Für Prüfungen unter 0 °C muss das gewählte Koppelmedium seine akustischen Eigenschaften beibehalten und einen Gefrierpunkt haben, der unterhalb der Prüftemperatur liegt.
- b) Die meisten Prüfköpfe sind für eine Anwendung zwischen –20 °C und +60 °C ausgelegt. Bei Temperaturen unter –20 °C können besonders konstruierte Prüfköpfe erforderlich sein, und die Dauer des Kontaktes muss entsprechend den Empfehlungen des Herstellers begrenzt werden.

6.5.4 Bestimmung bei höheren Temperaturen

- a) Für Prüfungen über 60 °C ist ein Hochtemperatur-Prüfkopf erforderlich, und das Koppelmittel muss für die Anwendung bei der Prüftemperatur ausgelegt sein.
- b) Bei Verwendung von Ausrüstung mit A-Bild-Darstellung wird außerdem empfohlen, dass es über eine Betriebsart verfügen sollte, in der das Bild „eingefroren“ werden kann, damit es für den Prüfer möglich ist, die Signalantwort zu bewerten.
- c) Die Dauer des Prüfkopfkontaktes muss auf die Mindestdauer begrenzt werden, die erforderlich ist, um ein wie vom Hersteller empfohlenes Prüfergebnis zu erhalten.

6.5.5 Gefährliche Atmosphären

- a) Bei der Dickenbestimmung in gefährlichen Atmosphären müssen die geltenden Sicherheitsvorschriften und -normen genau befolgt werden.
- b) In explosiven Atmosphären muss die Kombination aus Prüfkopf, Kabel und Ausrüstung als eigensicher eingestuft sein, und maßgebende Zertifizierungen und/oder Dokumentationen zur Sicherheit müssen vor dem Einsatz überprüft und vervollständigt werden.
- c) In korrosiven Atmosphären darf das Koppelmittel nicht nachteilig mit der Umgebung reagieren und muss seine akustischen Eigenschaften beibehalten.

7 Einstellung der Messgeräte

7.1 Allgemeines

Es sollte beachtet werden, dass dieser Abschnitt nur für die Einstellung der Messgeräte gilt. Die Verifizierung der Eigenschaften der Prüfausrüstung wird nicht betrachtet, kann jedoch entsprechend der Messgerätespezifikation durchgeführt werden.

Ultraschallgeräte messen nicht die Dicke; sie messen die Laufzeit. Die Dicke wird durch Anwendung eines Faktors berechnet, der der Schallgeschwindigkeit des Werkstoffs nach Gleichung (1) entspricht.

$$d = v \times t / m \quad (1)$$

Dabei ist

d die bestimmte Dicke;

v die Schallgeschwindigkeit.

t die gemessene Zeit;

m die Anzahl der Durchgänge (einfache Dicke) durch den Prüfgegenstand (siehe Bild 1).

ANMERKUNG Für Messtechnik 1 und Messtechnik 2 ist m gleich 2, für Messtechnik 3 ist m ein Vielfaches von 2, für Messtechnik 4 ist m gleich 1.

- a) Die Einstellung der Messgeräte muss mit der gleichen Ausrüstung (Messgerät, Prüfkopf, Kabel) vorgenommen werden, die auch bei den Prüfungen benutzt wird.
- b) Die Einstellung der Messgeräte muss nach den Anweisungen des Herstellers oder nach anderen gültigen Normen oder Verfahren durchgeführt werden.

7.2 Verfahren zur Einstellung

7.2.1 Allgemeines

- a) Das Verfahren zur Einstellung des Messgerätes muss der angewendeten Messtechnik, der verwendeten Ausrüstung und dem verwendeten Prüfkopf entsprechen.
- b) Die Einstellung muss unter Betriebsbedingungen vorgenommen werden, die mit den Bedingungen bei der Dickenbestimmung vergleichbar sind.

Anhang B gibt eine Anleitung für die Auswahl der Verfahren zur Einstellung von Messgeräten.

Es gibt Unterschiede zwischen der Einstellung eines Messgerätes mit numerischer Anzeige [Typen 5.1 a) und b)] und eines Messgerätes mit A-Bild-Darstellung [Typ 5.1 c)].

7.2.2 Messgeräte mit numerischer Anzeige

Wenn Messgeräte vom Typ 5.1 c) mit einem Tor und einer numerischen Anzeige verwendet werden, dann können sie auch nach diesem Unterabschnitt verwendet werden.

Bei den Messtechniken 1, 2 und 3 können viele Messgeräte mit numerischer Anzeige angewendet werden.

Die Einstellung des Messgeräts darf nach einer der beiden folgenden Möglichkeiten vorgenommen werden:

- a) durch Anpassen des Anzeigewertes, so dass er mit den gemessenen bekannten Maßen der Reihe von Vergleichskörpern übereinstimmt;
- b) Anpassen oder Einstellen der Schallgeschwindigkeit des Werkstoffs am Messgerät in Übereinstimmung mit der bekannten Schallgeschwindigkeit des Prüfgegenstands.

7.2.3 Messgeräte mit A-Bild-Darstellung

Für Angaben bezüglich der Einstellung der Zeitachse eines Messgerätes mit A-Bild-Darstellung muss auf ISO 16811 verwiesen werden.

Wenn Messgeräte vom Typ 5.1 c) mit einem Tor und einer numerischen Anzeige verwendet werden, dann können sie auch nach 7.2.2 verwendet werden.

Bei Anwendung der Betriebsart 1 mit einem Messgerät mit A-Bild-Darstellung:

- a) muss die horizontale Zeitachse so eingestellt werden, dass die Sendeimpulsanzeige am oder vor dem Nullpunkt und das erste Rückwandecho des Vergleichskörpers an einer Stelle auf dem Bildschirm angezeigt wird, die der bekannten Dicke entspricht, und zwar für unterschiedliche Dicken des (der) Vergleichskörper(s).
- b) darf eine numerische Anzeige auch verwendet werden, wenn das Messgerät über diese verfügt.

Bei Anwendung der Betriebsart 2 mit einem Messgerät mit A-Bild-Darstellung:

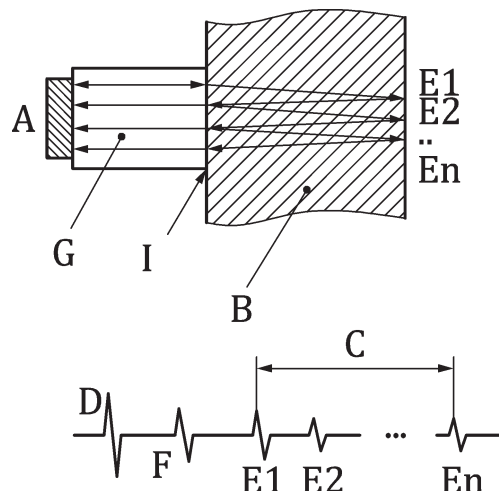
- c) wird die Anzeige des Sendeimpulses so eingestellt, dass sie außerhalb des Bildschirms und das Grenzflächenecho auf der Bildschirmskala bei auf dem Nullpunkt liegt.
- d) wird dann das erste Rückwandecho so eingestellt, dass es bei der Marke liegt, die sich auf die bekannte Dicke des Vergleichskörpers bezieht.

Bei Anwendung der Betriebsart 3 mit einem Messgerät mit A-Bild-Darstellung:

- e) wird das erste Rückwandecho so eingestellt, dass es bei der Marke liegt, die sich auf die bekannte Dicke des Vergleichskörpers bezieht.
- f) wird dann das n -te Rückwandecho so eingestellt, dass es bei der Marke liegt, die sich auf das n -Fache der bekannten Dicke des Vergleichskörpers bezieht.
- g) entspricht bei der Dickenbestimmung des Prüfgegenstandes der Nullpunkt der Bildschirmskala der Oberfläche des Prüfgegenstandes.
- h) Ist die Dicke des Gegenstandes gleich der Lage des n -ten Rückwandechos, dividiert durch n ; wobei n üblicherweise im Bereich von 2 bis 10 liegt. Siehe Bild 2.

Messtechnik 4 kann ausschließlich bei einem Messgerät mit A-Bild-Darstellung angewendet werden:

- i) Das Messgerät muss nach dem Handbuch des Herstellers so eingestellt werden, dass es im Durchschallungsbetrieb arbeitet.
- j) Eine Anzeige des Sendeimpulses sollte zur Darstellung des Nullzeitpunkt-Impulses verfügbar sein.
- k) Das Impulseecho muss so eingestellt werden, dass es mit dem Nullpunkt auf der Bildschirmskala übereinstimmt, und der empfangene Impuls muss so eingestellt werden, dass er mit einer bekannten Dicke auf der Bildschirmskala übereinstimmt.



Legende

- A Sende-/Empfangs-Prüfkopf
- B Prüfgegenstand
- C Laufzeit im Prüfgegenstand
- D Anzeige des Sendeimpulses
- E1 bis En Rückwandechos
- F Grenzflächenenecho
- G Vorlaufstrecke
- I Grenzfläche

Bild 2 — Einstellung der Messgeräte für Messtechnik 3

7.3 Überprüfungen von Einstellungen

Überprüfungen der Einstellungen eines Systems zur Dickenbestimmung müssen mit einem Vergleichskörper durchgeführt werden

- a) nach Abschluss aller Prüfungen,
- b) in regelmäßigen Abständen während der Arbeitssitzung, mindestens einmal täglich,
- c) wenn Prüfköpfe oder Kabel getauscht werden,
- d) bei Wechsel von Werkstoffarten,
- e) bei wesentlichen Veränderungen der Temperatur des Werkstoffes oder der Ausrüstung,
- f) wenn wichtige Bedienelemente angepasst oder als geändert betrachtet werden, und
- g) in anderen Zeitabständen, die in speziellen Verfahrensanweisungen vorgeschrieben werden.

8 Einfluss auf die Genauigkeit

8.1 Betriebsbedingungen

8.1.1 Oberflächenbedingungen

8.1.1.1 Sauberkeit

Die Sauberkeit des Prüfgegenstandes beeinflusst die Dickenbestimmung. Eine ungenügende Oberflächenvorbereitung kann zu widersprüchlichen Ergebnissen führen.

Anhaftender Schmutz und Zunder müssen vor der Prüfung entfernt werden.

8.1.1.2 Rauheit

Die Rauheit beeinträchtigt die Dickenbestimmung (Ablesung zu hoher Werte) und verändert den Reflexions- und den Durchlässigkeitsfaktor an der (den) Grenzfläche(n).

In Fällen, in denen eine beträchtliche Rauheit vorliegt, wird der Schallweg vergrößert und das Grenzflächen-echo verringert. Die relative Messunsicherheit der Laufzeit erhöht sich mit abnehmender Dicke.

Falls die der Prüffläche gegenüberliegende Fläche (Rückwand-Oberfläche) rau ist, kann das Echo verzerrt werden; dies kann zu einer fehlerhaften Dickenbestimmung führen.

8.1.1.3 Oberflächenprofil

Zum Abtasten einer unregelmäßigen Oberfläche mit einem Kontaktprüfkopf ist die Verwendung einer dicken Koppelmittelschicht erforderlich. Dies kann eine Verzerrung des Schallbündels bewirken.

Bei Anwendung von Messtechnik 1, 2 oder 4 kann die Laufzeit die für den Durchgang durch die Koppelmittelschicht benötigte Zeit einschließen, wodurch ein zusätzlicher Fehler entsteht. Bei einem Verhältnis der Geschwindigkeit des Koppelmittels zu der des Werkstoffes von 1/4 kann dieser Fehler folglich dem Vierfachen der tatsächlichen Dicke des Koppelmittels entsprechen.

Das Koppelmittel muss entsprechend den Oberflächenbedingungen und den Unregelmäßigkeiten der Oberfläche so ausgewählt werden, dass eine ausreichende Ankopplung sichergestellt wird.

8.1.2 Temperatur des Prüfgegenstands

Die Temperatur ändert die Schallgeschwindigkeit (sowohl im Prüfgegenstand und in allen Vorlaufstrecken als auch in der Kontaktfläche des Prüfkopfes) sowie die Schallschwächung insgesamt.

Daher müssen bei allen Prüfungen, für die höchste Genauigkeit gefordert wird, die Änderung der Temperatur und ihre Wirkung bezüglich der folgenden zusätzlichen Punkte berücksichtigt werden:

- Bezugskörper: Normale, Vergleichskörper, Prüfkörper;
- Ausrüstung: Messgerät, Prüfkopf (Prüfköpfe), Kabel;
- Prüfprozess und Prüftechnik: Koppelmittel, Prüfgegenstand.

Die Schallgeschwindigkeit verringert sich in den meisten Metallen und Kunststoffen mit zunehmender Temperatur, während beobachtet werden kann, dass sie sich in Glas und Keramik vergrößert.

In Metallen ist der Einfluss der Temperatur auf die Schallgeschwindigkeit üblicherweise unwesentlich. Die Longitudinalwellen- (Druckwellen-)geschwindigkeit nimmt in den meisten Stählen nur um etwa $0,8 \text{ ms}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ab.

Der Einfluss der Temperatur auf Kunststoffe ist erheblich. Bei Acrylglas, das üblicherweise für Vorlaufkörper von Prüfköpfen verwendet wird, beträgt der Faktor $-2,5 \text{ ms}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Diesbezüglich muss eine Kompensierung vorgenommen werden.

8.1.3 Metallische Beschichtung

Wenn die Beschichtung (z. B. Struktur, Zusammensetzung, Dicke, Beschichtungsverfahren, Anzahl der Schichten) nicht berücksichtigt wird, kann eine scheinbare Zunahme der Werkstoffdicke (oder sogar eine scheinbare Abnahme im Falle eines wärmebehandelten Werkstoffs) beobachtet werden. Im Allgemeinen wird durch Beschichtungen (aufgetragene Schichten) der zurückgelegte Schallweg, d. h. auch die Laufzeit der empfangenen Echos, vergrößert (siehe Bild 3).

Die geforderte Genauigkeit muss vorschreiben, ob die Beschichtung berücksichtigt werden sollte.

Beispielsweise gilt für ein Messgerät, das für Stahl eingestellt wurde:

- Stahl 1 mm bei $v = 5\,920 \text{ m s}^{-1}$;
- Zink $20 \text{ }\mu\text{m}$ bei $v = 4\,100 \text{ m s}^{-1}$;
- Tatsächliche Dicke $1 \text{ mm} + 20 \text{ }\mu\text{m} = 1,02 \text{ mm}$;

$$\frac{(1 \times 10^{-3}) \text{ m}}{5\,920 \text{ m s}^{-1}} + \frac{(20 \times 10^{-6}) \text{ m}}{4\,100 \text{ m s}^{-1}} = 1,738 \times 10^{-7} \text{ s} \quad (2)$$

$$1,738 \times 10^{-7} \text{ s} \times 5\,920 \text{ m s}^{-1} = 1,029 \text{ mm} \quad (3)$$

- Bestimmte Dicke 1,029 mm;
- Abweichung 0,009 mm.

Die Dicke der Beschichtung kann bestimmt werden. Die Genauigkeit ist von denselben Parametern wie bei Prüfungen des Grundwerkstoffes abhängig.

8.1.4 Nichtmetallische Beschichtung

Beim Prüfen durch Schichten hindurch treten infolge der unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten der Schicht und des Prüfgegenstandes Fehler auf (siehe Bild 3).

E DIN EN ISO 16809:2024-07
prEN ISO 16809:2024 (D)

Beispielsweise gilt für ein Messgerät, das für Stahl eingestellt wurde:

- Stahl 1 mm bei $v = 5\,920\text{ m s}^{-1}$;
- Farbanstrich 100 μm bei $v = 2\,100\text{ m s}^{-1}$ (dies ist ein allgemeiner Wert, der nicht auf eine bestimmte Art hinweist);
- Tatsächliche Dicke 1 mm + 100 $\mu\text{m} = 1,1\text{ mm}$;

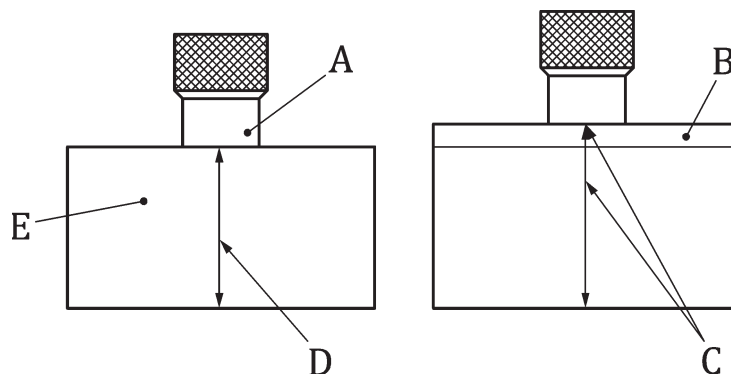
$$\frac{(1 \times 10^{-3})\text{ m}}{5\,920\text{ m s}^{-1}} + \frac{(100 \times 10^{-6})\text{ m}}{2\,100\text{ m s}^{-1}} = 2,165\,4 \times 10^{-7}\text{ s} \quad (4)$$

$$2,165\,4 \times 10^{-7}\text{ s} \times 5\,920\text{ m s}^{-1} = 1,282\text{ mm} \quad (5)$$

- Bestimmte Dicke 1,282 mm;
- Abweichung 0,182 mm.

Es kann auch schwierig sein, die Dickenwerte zu bestimmen, wenn der Schichtwerkstoff:

- ähnliche akustische Eigenschaften wie der Werkstoff des Prüfgegenstandes hat;
- eine erhebliche Dicke im Vergleich zur Dicke des Prüfgegenstandes hat.



Legende

- A Prüfkopf
- B Beschichtung oder galvanische Überzüge
- C vergrößerter Schallweg durch die Beschichtung
- D Schallweg ohne Beschichtung
- E aus Metall bestehender Prüfkörper

Bild 3 — Vergrößerter Schallweg durch die Beschichtung

8.1.5 Geometrie

8.1.5.1 Parallelität

Die gegenüberliegenden Wände des Prüfgegenstandes müssen innerhalb von $\pm 10^\circ$ parallel zueinander sein, andernfalls kann die Dickenbestimmung schwierig oder fehlerhaft sein. Dies ist auf die Verformung oder das Fehlen von Rückwändechos aufgrund einer „räumlichen Integration“ zurückzuführen.

8.1.5.2 Gekrümmte Oberflächen

In diesem Fall kann die kleine Kontaktfläche zwischen dem Prüfkopf und dem Prüfgegenstand die Wirksamkeit des Koppelmittels und damit die Qualität des Signals verringern.

Die Kontaktfläche des Prüfkopfes darf so ausgeformt werden, dass sie an die Krümmung des Prüfgegenstands angepasst ist, um die Übertragung des Ultraschalls zu verbessern.

Der Prüfkopf muss auf den Krümmungsmittelpunkt des Prüfgegenstandes ausgerichtet werden.

Bei SE-Prüfköpfen muss die Schallbarriere in Richtung der stärksten Krümmung des Prüfgegenstands ausgerichtet sein.

Anderenfalls wird eine schlechte Schallübertragung stattfinden und eine schlechte Wiederholpräzision aufweisen.

8.1.5.3 Konkave und konvexe Abtasterflächen

Die Kontaktfläche des Prüfkopfs muss immer eine ausreichende Ankopplung ermöglichen. Kleine Radien erfordern einen Prüfkopf mit kleinem Durchmesser.

8.1.5.4 Dickenbereich

Die genaue Dickenbestimmung hängt von der Gleichmäßigkeit des Werkstoffs über seine gesamte Dicke ab. Örtliche oder allgemeine Änderungen des Gefüges führen zu Änderungen der Schallgeschwindigkeit im Vergleich zu der des Werkstoffes von Vergleichskörpern und daher zu nachträglichen Fehlern.

8.2 Prüfausrüstung

8.2.1 Auflösung

Die wahre Auflösung der Prüfausrüstung ist der kleinste Änderungsschritt der gemessenen Laufzeit, der vom System erkannt werden kann. Zum Beispiel können Messgeräte mit numerischer Anzeige eine scheinbare Auflösung von 0,001 mm anzeigen, aber dennoch nur zur Bestimmung mit einer Auflösung von 0,01 mm in der Lage sein. Für ein Messgerät mit A-Bild-Darstellung [Typ 5.1 c)] wird keine Dickenauflösung angegeben oder angenommen; sie hängt von mehreren Faktoren ab, z. B. von der Digitalisierungsgeschwindigkeit, der Bildschirmauflösung (Anzahl Bildpunkte in Richtung der x- und der y-Achse) und der Einstellung der Zeitachse.

Die Auflösung der Prüfausrüstung wird durch die Auswahl von Art und Frequenz des Prüfkopfes beeinflusst.

Höhere Prüfkopf-Frequenzen führen zu einer größeren Dickenauflösung als niedrige Frequenzen. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Impulse mit höherer Frequenz eine schärfere und klarer abgegrenzte Zeitmessung (Flanke) bieten. Dies ist insbesondere bei Messgeräten mit A-Bild-Darstellung erkennbar.

8.2.2 Bereich

Der Messbereich für die Prüfausrüstung ist der Dickenbereich, den das System praktisch messen kann. Aus der Anzahl der angezeigten Stellen eines Messgerätes mit numerischer Anzeige erschließt sich lediglich ein Bereich von Zahlen die angezeigt werden können.

Es gibt immer eine Mindestdicke, die Ultraschallgeräte bestimmen können. Diese ist im Allgemeinen unabhängig von der Frequenz des Prüfkopfes und der Anwendung. Für die größte Dicke, die bestimmt werden kann, ist im Allgemeinen die Frequenz des Prüfkopfes und/oder die Anwendung (Werkstoffbedingungen) entscheidend.

Der Prüfkopf gibt einen vom Messgerät unabhängigen Dickenbereich vor. Üblicherweise ist der Mindestwert des Dickenbereichs eines Prüfkopfes abhängig von dessen Frequenz und der Schallgeschwindigkeit des geprüften Werkstoffes.

Ein Prüfkopf muss so ausgewählt werden, dass die Mindestdicke kleiner ist als die zu bestimmende Mindestdicke.

Als Richtwert kann davon ausgegangen werden, dass ein Prüfkopf bei der jeweiligen Schallgeschwindigkeit nicht weniger als eine volle Wellenlänge bestimmen kann.

$$\lambda = v/f \quad (6)$$

Dabei ist

λ die Wellenlänge;

f die Frequenz des Prüfkopfes;

v die Schallgeschwindigkeit.

Die Frequenz des Prüfkopfes ist auch entscheidend für die größte Dicke, die bestimmt werden kann. Ein Prüfkopf mit hoher Frequenz hat ein geringeres Durchdringungsvermögen als ein Prüfkopf mit niedriger Frequenz.

Die Art des untersuchten Werkstoffs sollte berücksichtigt werden, da sie sich ebenfalls auf den Dickenbereich auswirkt, der bestimmt werden kann.

Die Auswahl der Prüfkopffrequenz wird durch den Bereich der zu bestimmenden Werkstoffdicke wie auch durch die Art des Werkstoffs vorgegeben.

Die Ausrüstung muss so ausgewählt werden, dass ihr Dickenbereich die interessierende Dicke insgesamt abdeckt.

Bei einem Messgerät mit A-Bild-Darstellung [Typ 5.1 c)] muss die Einstellung des Bereiches so vorgenommen werden, dass sie die gewünschte Auflösung in diesem Bereich ohne Umstellung der Bereiche liefert.

Es wird empfohlen, die Einstellungen der Messgeräte an beiden Enden des zu bestimmenden Dickenbereichs zu überprüfen.

8.3 Beurteilung der Genauigkeit

8.3.1 Allgemeines

Die Beurteilung hängt von mehreren Parametern und vom Berechnungsverfahren ab.

8.3.2 Einflussparameter

Die wichtigsten Parameter werden in Anhang C, insbesondere in C.1, angegeben.

8.3.3 Berechnungsverfahren

Ein grundlegendes Verfahren ist in C.2 dargestellt.

9 Einfluss von Werkstoffen

9.1 Allgemeines

Der Werkstoff des Prüfgegenstandes kann die Auswahl der für die Ultraschall-Dickenbestimmung anzuwendenden Messtechnik beeinflussen.

Geschmiedete oder gewalzte Metalle zeigen im Allgemeinen eine geringe Schallschwächung und eine konstante und eindeutig definierte Schallgeschwindigkeit. Diese Werkstoffe werden problemlos unter Anwendung der in Abschnitt 4 beschriebenen Standardverfahren geprüft.