

DIN EN ISO 16809



ICS 19.100

Entwurf

Einsprüche bis 2019-01-23
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 14127:2011-04

**Zerstörungsfreie Prüfung –
Dickenmessung mit Ultraschall (ISO 16809:2017);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16809:2018**

Non-destructive testing –
Ultrasonic thickness measurement (ISO 16809:2017);
German and English version prEN ISO 16809:2018

Essais non destructifs –
Mesurage de l'épaisseur par ultrasons (ISO 16809:2017);
Version allemande et anglaise prEN ISO 16809:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-11-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an 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, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 89 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 16809:2017 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 16809:2018 durch das Technische Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitskreis NA 062-08-23 AA „Ultraschallprüfung“ im 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 internationalen 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 14253-2	siehe DIN EN ISO 14253-2
ISO 16811	siehe DIN EN ISO 16811

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14127:2011-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Begriffe wurden an die aktuelle Version der ISO 5577 angepasst;
- b) Gleichung (5) und Gleichung (6) wurden korrigiert;
- c) das Dokument wurde redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 5577, Zerstörungsfreie Prüfung — Ultraschallprüfung — Terminologie

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

DIN EN ISO 14253-2, Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Prüfung von Werkstücken und Messgeräten durch Messen — Teil 2: Anleitung zur Schätzung der Unsicherheit bei GPS-Messungen, bei der Kalibrierung von Messgeräten und bei der Produktprüfung

DIN EN ISO 16811, Zerstörungsfreie Prüfung — Ultraschallprüfung — Empfindlichkeits- und Entfernungsjustierung

— Leerseite —

Zerstörungsfreie Prüfung — Dickenmessung mit Ultraschall (ISO 16809:2017)

Essais non destructifs — Mesurage de l'épaisseur par ultrasons (ISO 16809:2017)

Non-destructive testing — Ultrasonic thickness measurement (ISO 16809:2017)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Messtechniken	6
5 Allgemeine Anforderungen	8
5.1 Prüfgeräte	8
5.2 Prüfköpfe	8
5.3 Koppelmittel	8
5.4 Vergleichskörper	8
5.5 Prüfgegenstände	8
5.6 Qualifizierung des Personals	9
6 Anwendung des Verfahrens	9
6.1 Oberflächenbedingungen und Oberflächenvorbereitung	9
6.2 Messtechnik	10
6.2.1 Allgemeines	10
6.2.2 Messung während der Herstellung	10
6.2.3 Wiederkehrende Messung der Restwanddicke	11
6.3 Auswahl des Prüfkopfes	11
6.4 Auswahl des Prüfgerätes	12
6.5 Vom Bezugswerkstoff abweichende Werkstoffe	12
6.6 Besondere Messbedingungen	12
6.6.1 Allgemeines	12
6.6.2 Messungen bei Temperaturen unter 0 °C	12
6.6.3 Messungen bei höheren Temperaturen	13
6.6.4 Gefährliche Atmosphären	13
7 Geräteeinstellung	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Verfahren zur Einstellung	14
7.2.1 Allgemeines	14
7.2.2 Digitale Dickenmessgeräte	14
7.2.3 Gerät mit A-Bild-Darstellung	14
7.3 Überprüfungen von Einstellungen	15
8 Einfluss auf die Genauigkeit	15
8.1 Betriebsbedingungen	15
8.1.1 Oberflächenbedingungen	15
8.1.2 Oberflächentemperatur	16
8.1.3 Metallische Beschichtung	16
8.1.4 Nichtmetallische Beschichtung	17
8.1.5 Geometrie	18
8.2 Prüfausrüstung	19
8.2.1 Auflösung	19
8.2.2 Messbereich	19

8.3	Beurteilung der Genauigkeit.....	20
8.3.1	Allgemeines	20
8.3.2	Einflussparameter.....	20
8.3.3	Berechnungsverfahren.....	20
9	Einfluss von Werkstoffen.....	20
9.1	Allgemeines	20
9.2	Inhomogenität	20
9.3	Anisotropie	20
9.4	Schallschwächung	21
9.5	Oberflächenbedingungen.....	21
9.5.1	Allgemeines	21
9.5.2	Kontaktfläche.....	21
9.5.3	Reflektierende Oberfläche.....	22
9.5.4	Korrosion und Erosion	22
10	Prüfbericht.....	23
10.1	Allgemeines	23
10.2	Allgemeine Angaben.....	23
10.3	Messdaten	24
Anhang A (informativ)	Korrosion in Behältern und Rohrleitungen	25
A.1	Allgemeines	25
A.2	Messung der allgemeinen Korrosion	25
A.2.1	Messgerät	25
A.2.2	Prüfköpfe.....	25
A.2.3	Einstellung des Messgerätes.....	26
A.2.4	Messung	26
A.3	Messung von Lochkorrosion	26
A.3.1	Messgerät	26
A.3.2	Prüfköpfe.....	26
A.3.3	Einstellung des Messgerätes.....	26
A.3.4	Messung	26
Anhang B (informativ)	Geräteeinstellungen.....	30
Anhang C (informativ)	Parameter, die die Genauigkeit beeinflussen	33
C.1	Parameter, die die Genauigkeit beeinflussen	33
C.2	Berechnungsverfahren.....	36
Anhang D (informativ)	Auswahl der Messtechnik	39
Literaturhinweise.....		43

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 16809:2017 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 135 „Non-destructive testing“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 16809:2018 durch das Technische Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird ISO 16809:2012 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 16809:2017 wurde von CEN als prEN ISO 16809:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (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 Themen 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-Direktiven, 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-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

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

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: 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 zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 16809:2012), die technisch überarbeitet wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- es wurden redaktionelle Verbesserungen vorgenommen;
- die Terminologie wurde an die letzte Ausgabe von ISO 5577 angepasst;
- Gleichung (5) und Gleichung (6) wurden korrigiert.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Grundlagen für die Messung der Dicke metallischer und nicht metallischer Werkstoffe mit Ultraschall durch unmittelbaren Kontakt mit dem Prüfgegenstand 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*

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: unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

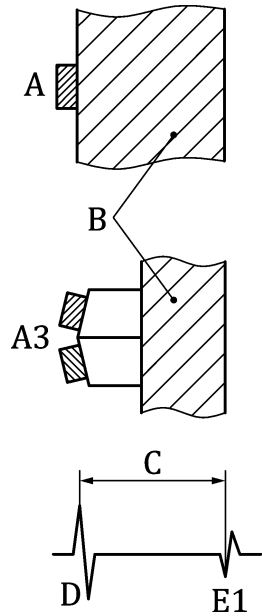
4 Messtechniken

Die Dicke eines Teils oder einer Konstruktion 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.

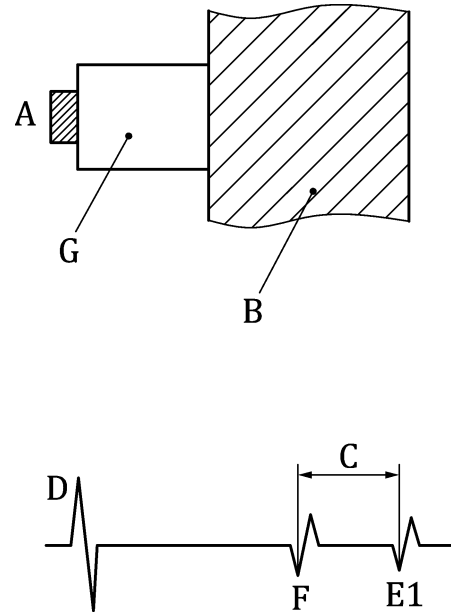
Die Werkstoffdicke wird berechnet, indem die für den Werkstoff bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen mit der Laufzeit multipliziert und durch die Anzahl der Impulsdurchgänge durch die Wand des Werkstoffs dividiert wird.

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

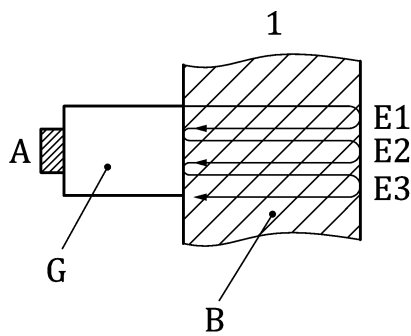
- 1) **Messtechnik 1:** Messen der Laufzeit von einem anfänglichen Anregungsimpuls bis zu einem ersten zurückkehrenden Echo, abzüglich einer Nullpunktkorrektur zur Berücksichtigung der Dicke der Verschleißplatte des Prüfkopfes und der Koppelschicht (Einzelecho-Technik).
- 2) **Messtechnik 2:** Messen der Laufzeit vom Ende einer Vorlaufstrecke bis zum ersten Rückwandecho (Einzelecho-Technik mit Vorlauf).
- 3) **Messtechnik 3:** Messen der Laufzeit zwischen aufeinander folgenden Rückwandechos (Mehrfachecho-Technik).
- 4) **Messtechnik 4:** Messen der Laufzeit eines Impulses vom Sender bis zu einem Empfänger, der mit der Rückwand in Berührung steht (Durchschallungsverfahren).



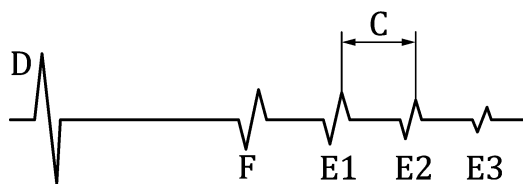
Messtechnik 1



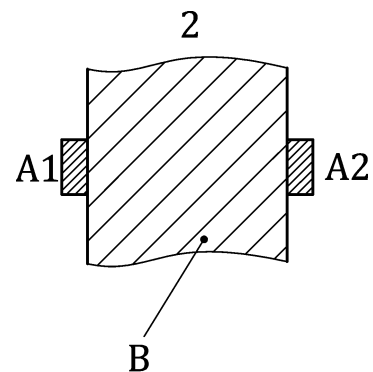
Messtechnik 2



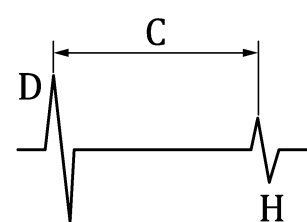
3



Messtechnik 3



4



Messtechnik 4

Legende

A Sende-/Empfangs-Prüfkopf
A1 sendender Prüfkopf
A2 empfangender Prüfkopf
A3 SE-Prüfkopf
B Prüfgegenstand
C Schalllaufzeit

D Anzeige des Sendeimpulses
E1 bis E3 Rückwandechos
F Grenzflächenecho
G Vorlaufstrecke
H Empfangsimpuls

Bild 1 — Messtechniken

5 Allgemeine Anforderungen

5.1 Prüfgeräte

Die folgenden Arten von Prüfgeräten müssen verwendet werden, um die Messung der Dicke durchzuführen:

- a) für die Dickenmessung mit Ultraschall bestimmte Geräte mit einer numerischen Anzeige des gemessenen Wertes;
- b) für die Dickenmessung mit Ultraschall bestimmte Geräte mit einer numerischen Anzeige des gemessenen Wertes und einer Anzeige des A-Bildes (Anzeige der Wellenform);
- c) Geräte, die vorwiegend für den Fehlernachweis ausgelegt sind und eine A-Bild-Darstellung von Signalen haben. Diese Geräteart kann auch eine numerische Anzeige von Dickenwerten einschließen.

Siehe 6.4.

5.2 Prüfköpfe

Die folgenden Prüfkopfarten müssen verwendet werden; im Allgemeinen handelt es sich dabei um Longitudinalwellenprüfköpfe:

- SE-Prüfköpfe;
- Einzelelement-Prüfköpfe.

Siehe 6.3.

5.3 Koppelmittel

Zwischen dem Prüfkopf (den Prüfköpfen) und dem Werkstoff muss ein akustischer Kontakt hergestellt werden, üblicherweise durch Auftragen eines Fluids oder Gels.

Das Koppelmittel darf sich auf den Prüfgegenstand und die Prüfausrüstung nicht nachteilig auswirken oder darf für den Prüfer keine Gesundheitsgefährdung darstellen.

Für die Verwendung des Koppelmittels unter besonderen Messbedingungen, siehe 6.6.

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

5.4 Vergleichskörper

Das Messsystem muss mithilfe einer oder mehrerer Probe(n) oder mit Vergleichskörpern kalibriert werden, die für den zu messenden Gegenstand repräsentativ sind, d. h. Maße, Werkstoff und Gefüge müssen vergleichbar sein. Die Dicke der Vergleichskörper oder der Stufen sollte den zu messenden Dickenbereich überdecken. Entweder die Dicke oder die Schallgeschwindigkeit der Vergleichskörper muss bekannt sein.

5.5 Prüfgegenstände

Der zu messende Gegenstand muss die Ausbreitung von Ultraschallwellen zulassen.

Jeder einzelne zu messende Bereich muss frei zugänglich sein.

Die Oberfläche des zu messenden Bereichs muss frei von jeglichem Schmutz, Fett, Fusseln, Zunder, Flussmitteln und Schweißspritzern, Öl oder sonstigen Fremdstoffen sein, die einen nachteiligen Einfluss auf die Prüfung ausüben könnten.

Falls die Oberfläche beschichtet ist, muss die Schicht gut auf dem Werkstoff haften. Anderenfalls muss sie entfernt werden.

Falls durch die Schicht gemessen wird, müssen ihre Dicke und Schallgeschwindigkeit bekannt sein, außer, wenn Messtechnik 3 angewendet wird.

Zu weiteren Einzelheiten, siehe Abschnitt 8.

5.6 Qualifizierung des Personals

Ein Prüfer, der Ultraschall-Dickenmessungen nach diesem Dokument durchführt, muss Grundkenntnisse über die Physik von Ultraschall, ein auf Ultraschall-Dickenmessungen bezogenes detailliertes Verständnis sowie eine diesbezügliche Ausbildung haben. Außerdem muss der Prüfer Kenntnisse über das Produkt und den zu prüfenden Werkstoff haben.

Es wird vorausgesetzt, dass die Ultraschall-Dickenprüfung von qualifiziertem und befähigtem Personal durchgeführt wird. Um diese Qualifizierung nachzuweisen, wird empfohlen, dass das Personal nach ISO 9712 oder gleichwertig qualifiziert ist.

ANMERKUNG Für die Kategorien III und IV gibt es nach der Richtlinie 97/23/EG über Druckgeräte, Anhang I, 3.1.3 eine Anforderung, dass Personal von einer unabhängigen Prüfstelle, die von einem Mitgliedstaat anerkannt wurde, zugelassen sein muss.

6 Anwendung des Verfahrens

6.1 Oberflächenbedingungen und Oberflächenvorbereitung

Die Anwendung des Impulsecho-Verfahrens bedeutet, dass der Ultraschallimpuls die Kontaktfläche 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, zur Verzerrung von Signalen und des Schallweges.

Um eine Schallausbreitung zu ermöglichen, müssen alle losen Teile und alle nicht haftenden Beschichtungen durch Bürsten oder Schleifen entfernt werden.

Auf dem Prüfgegenstand festhaftende Schichten, wie Farbanstriche, galvanische Überzüge, Überzüge aus Email, dürfen auf dem Gegenstand verbleiben, wobei es jedoch nur wenige Dickenmessgeräte gibt, die in der Lage sind, diese Schichten von der Messung auszuschließen.

Sehr oft sind Dickenmessungen an korrodierten Oberflächen durchzuführen, z. B. an Speicherbehältern und Rohrleitungen. Um die Messunsicherheit zu verringern, sollte die Kontaktfläche innerhalb eines Bereichs geschliffen werden, der mindestens dem doppelten Prüfkopfdurchmesser entspricht. Dieser Bereich sollte frei von Korrosionsprodukten sein.

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

6.2 Messtechnik

6.2.1 Allgemeines

Die Anwendung von Dickenmessungen mit Ultraschall kann in zwei Anwendungsbereiche eingeteilt werden:

- Messungen während der Herstellung;
- wiederkehrende Messungen zur Ermittlung der Restwanddicke.

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

Unter Anwendung von Kenntnissen über den Werkstoff, die Geometrie und die zu messende Dicke sowie die geforderte Genauigkeit müssen die geeignetste Messausrüstung 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 Durchschallung von stark schwächenden Werkstoffen bis zu Frequenzen von 50 MHz für dünne Metallbleche angewendet werden;
- b) bei der Anwendung von SE-Prüfköpfen ist eine Kompensation für den Fehler erforderlich, der durch den V-Weg auftritt;
- c) an gekrümmten Gegenständen muss der Durchmesser der Kontaktfläche des Prüfkopfes deutlich kleiner sein als der Durchmesser des Prüfgegenstandes.

Die Genauigkeit der Dickenmessung hängt davon ab, wie genau die Laufzeit gemessen werden kann, sowie von der Art der Zeitmessung (Schnittpunkt mit der Nulllinie, zwischen benachbarten Impulsflanken oder -spitzen), 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).

Oftmals ist eine Ultraschall-Dickenmessung über einen Bereich des zu messenden Bauteils erforderlich. Ist dies der Fall, sollte der Abstand zwischen den einzelnen Messungen berücksichtigt werden. Ein solcher Abstand sollte gleichmäßig sein, und die Verwendung eines Gitternetzes wird empfohlen. Die Größe des Gitternetzes sollte so gewählt werden, dass sich ein Gleichgewicht zwischen dem Vertrauen in die Ergebnisse und dem verbundenen Arbeitsinhalt ergibt.

Messen 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 Geschwindigkeit innerhalb des vom Ultraschallimpuls durchlaufenen Weges nicht konstant ist, wird die Genauigkeit der Messung stark beeinträchtigt.

6.2.2 Messung während der Herstellung

6.2.2.1 Messtechniken 1, 2 und 3

Wenn die Impuls-Echo-Technik angewendet wird, geben die Flussdiagramme in Bild D.1 und Bild D.2 eine Anleitung zur Auswahl der besten Technik und Ausrüstung.

Die Dickenmessung an sauberen, parallelen Flächen darf mit Dickenmessgeräten mit einfacher numerischer Anzeige erfolgen.

An Verbundwerkstoffen, die Echos zusätzlich zum Rückwandecho erzeugen, wird die Verwendung von Dickenmessgeräten mit A-Bild-Anzeigen [Typ 5.1 b) oder Typ 5.1 c)] für die Auswahl des zur Dickenmessung zugehörigen Echos empfohlen.

6.2.2.2 Messtechnik 4

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

Auf gegenüberliegenden Seiten des Prüfgegenstandes müssen dann zwei Prüfköpfe angewendet werden. Das Ultraschallgerät muss daher den Betrieb mit getrenntem Sender und Empfänger (SE-Betrieb) ermöglichen. In den meisten Fällen muss die Frequenz niedriger als 1 MHz sein. Spezielle Niederfrequenzgeräte aus der Gruppe c) in 5.1 mit Prüfköpfen mit niedriger Frequenz müssen verwendet werden.

6.2.3 Wiederkehrende Messung der Restwanddicke

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

Für diese Anwendungen wird die Verwendung von SE-Prüfköpfen empfohlen. Die Empfindlichkeit muss von Hand eingestellt werden, um die schlecht reflektierenden Bereiche aufzufinden.

Wenn eine große Zahl von Messungen erforderlich ist, müssen die Anzeigewerte Werte mit Angabe der Lage der Messstelle sein. Um dies zu erreichen, sind spezielle Prüfprogramme verfügbar (Messwerterfassung).

Bei wiederkehrenden Prüfungen 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 wiederkehrende Dickenmessungen.

6.3 Auswahl des Prüfkopfes

Nachdem nach 6.2 ein geeignetes Messverfahren gewählt wurde, d. h. eine allgemeine Entscheidung für eine Prüfkopfart (Einfach- oder SE-Prüfkopf) getroffen wurde, sind weitere Parameter zu beachten, um den Prüfkopf an die jeweiligen Messbedingungen 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 Messung dünner Bleche oder Schichten erreicht wird.

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

Größe und Frequenz des Prüfkopfes müssen so gewählt werden, dass der Messbereich durch ein schmales Schallbündel erfasst wird, damit ein Echo von einer eindeutig festgelegten Fläche erhalten wird.

Bei SE-Prüfköpfen muss der Fokusbereich den erwarteten Dickenbereich abdecken.

Beim Messen geringer Dicken muss eine Vorlaufstrecke verwendet werden. Die Messung muss mit dem Echo von der Grenzfläche (Vorlaufstrecke/Prüfgegenstand) und dem ersten Rückwandecho aus dem Prüfgegenstand erfolgen (Messtechnik 2) oder die Messtechnik 3 muss für die Messung angewendet werden. 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. wenn die Vorlaufstrecke aus Kunststoff, der Prüfgegenstand aber aus Metall besteht, tritt eine Phasenverschiebung des Grenzflächenechos auf. Um genaue Ergebnisse zu erhalten, muss dies korrigiert werden. Einige Dickenmessgeräte führen diese Korrektur automatisch durch.

Bei kleinen Dicken darf ein SE-Prüfkopf mit kleinem Fokusabstand verwendet werden.

Bei Messungen 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 Geschwindigkeit). 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 Prüfgerätes

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

- a) Prüfgeräte vom Typ 5.1 c) müssen für die Messtechniken 1 bis 4 (siehe Abschnitt 4) verwendet werden und müssen die in 6.2.2 und 6.2.3 angegebenen Bedingungen erfüllen;
- b) Prüfgeräte vom Typ 5.1 b) dürfen ausschließlich für die Messtechniken 1, 2 und 3 (siehe Abschnitt 4) verwendet werden und müssen die in 6.2.2.1 und 6.2.3 angegebenen Bedingungen erfüllen;
- c) Prüfgeräte vom Typ 5.1 a) dürfen vom Hersteller voreingestellt werden, so dass sie nur in einer der Messtechniken 1, 2 oder 3 arbeiten (siehe Abschnitt 4).

Die Prüfgeräte müssen so ausgewählt werden, dass sie die einzelnen Anforderungen nach 6.2.2.1 oder 6.2.3 erfüllen.

Siehe auch Anhang D.

6.5 Vom Bezugswerkstoff abweichende Werkstoffe

Siehe Tabelle B.1 und Tabelle B.2.

6.6 Besondere Messbedingungen

6.6.1 Allgemeines

Alle gesetzlichen Vorschriften, die die sichere Verwendung von Chemikalien und elektrischen Ausrüstungen regeln, müssen genau befolgt werden.

Wenn eine hohe Genauigkeit der Messungen gefordert wird, sollten die Kalibrier- oder Vergleichskörper dieselbe Temperatur haben wie der Prüfgegenstand.

6.6.2 Messungen bei Temperaturen unter 0 °C

Für Messungen unter 0 °C muss das gewählte Koppelmittel seine akustischen Eigenschaften beibehalten und einen Gefrierpunkt haben, der unterhalb der Prüftemperatur liegt.

Die meisten Prüfköpfe sind für eine Anwendung zwischen -20 °C und +60 °C ausgelegt. Bei Temperaturen unter -20 °C können besonders konstruierte Prüfköpfe erforderlich werden, und die Dauer des Kontaktes sollte entsprechend den Empfehlungen des Herstellers begrenzt werden.

6.6.3 Messungen bei höheren Temperaturen

Für Messungen über 60 °C ist ein Hochtemperatur-Prüfkopf erforderlich, und das Koppelmittel muss für die Anwendung bei der Prüftemperatur ausgelegt sein.

Bei Verwendung einer Ausrüstung mit A-Bild-Darstellung wird außerdem empfohlen, dass die Ausrüstung über eine Betriebsart verfügen sollte, in der das Bild „eingefroren“ werden kann, damit es für den Prüfer möglich ist, die Signalantwort zu bewerten. Die Dauer des Prüfkopfkontaktes muss auf die Mindestdauer begrenzt werden, die erforderlich ist, um eine vom Hersteller empfohlene Messung durchzuführen.

6.6.4 Gefährliche Atmosphären

Bei der Dickenmessung in gefährlichen Atmosphären müssen die geltenden Sicherheitsvorschriften und -normen genau befolgt werden.

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.

In korrosiven Atmosphären darf das Koppelmittel nicht nachteilig mit der Umgebung reagieren und muss seine akustischen Eigenschaften beibehalten.

7 Geräteeinstellung

7.1 Allgemeines

Die Geräteeinstellung muss mit der gleichen Ausrüstung vorgenommen werden, die auch bei den Messungen benutzt wird. Die Geräteeinstellung muss nach den Anweisungen des Herstellers oder nach anderen gültigen Normen oder Verfahren durchgeführt werden.

Es sollte beachtet werden, dass dieser Abschnitt nur für die Einstellung der (im Einsatz befindlichen) Geräte gilt. Die Verifizierung der Eigenschaften der Ausrüstung wird nicht betrachtet, kann jedoch entsprechend den Auslegungsbestimmungen durchgeführt werden.

Ultraschallgeräte messen nicht die Dicke; sondern sie messen die Laufzeit. Die Dicke wird durch Anwendung eines Faktors berechnet, der der Schallgeschwindigkeit des Werkstoffs entspricht.

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

Dabei ist

- d die Dicke;
- v die Schallgeschwindigkeit;
- t die gemessene Zeit;
- n die Anzahl der Durchgänge durch den Prüfgegenstand (siehe Bild 2).

7.2 Verfahren zur Einstellung

7.2.1 Allgemeines

Das Verfahren zur Einstellung des Gerätes muss der angewendeten Messtechnik, der Ausrüstung und dem verwendeten Prüfkopf entsprechen. Die Einstellung muss unter Betriebsbedingungen vorgenommen werden, die mit den Bedingungen bei der Messung vergleichbar sind.

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

Es gibt Unterschiede zwischen der Kalibrierung eines digitalen Dickenmessgerätes [Typ 5.1 a) und b)] und eines A-Bild-Gerätes [Typ 5.1 c)].

7.2.2 Digitale Dickenmessgeräte

Siehe auch 5.1 a) und 5.1 b).

Bei den Messtechniken 1, 2 und 3 können viele digitale Dickenmessgeräte genutzt werden. Die Geräteeinstellung darf nach einer der beiden folgenden Möglichkeiten vorgenommen werden:

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

7.2.3 Gerät mit A-Bild-Darstellung

Siehe auch 5.1 c).

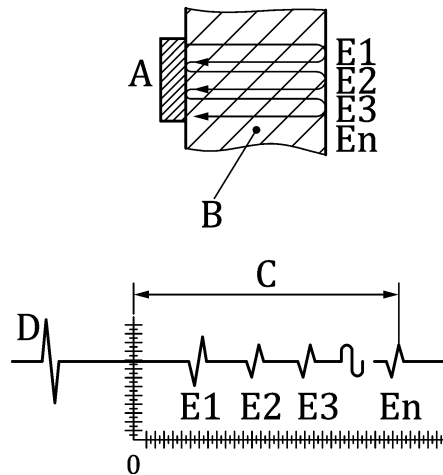
Für Angaben bezüglich der Einstellung der Zeitachse eines Gerätes mit A-Bild-Darstellung wird auf ISO 16811 verwiesen.

Bei Anwendung der Messtechnik 1 bei einem A-Bild-Gerät wird die horizontale Zeitachse so eingestellt, dass die Anzeige des Sendeimpulses und das erste vom Vergleichskörper reflektierte Rückwandecho auf dem Bildschirm an geeigneten Positionen abgebildet werden, so dass Übereinstimmung mit einer Bildschirmskala oder mit der digitalen Anzeige besteht.

Bei Anwendung der Messtechnik 2 bei einem A-Bild-Gerät wird die Anzeige des Sendeimpulses so angepasst, dass sie außerhalb des Bildschirms und das Grenzflächenecho auf der Bildschirmskala bei null liegt. Dann wird das erste Rückwandecho so eingestellt, dass es bei der Marke liegt, die sich auf die bekannte Dicke des Vergleichskörpers bezieht.

Bei Anwendung der Messtechnik 3 bei einem A-Bild-Gerät wird das erste Rückwandecho so eingestellt, dass es mit der Marke der bekannten Dicke des Vergleichskörpers übereinstimmt. Dann wird das n -te Rückwandecho so eingestellt, dass es bei der Marke liegt, die sich auf das n -fache der bekannten Dicke des Vergleichskörpers bezieht. Bei der Messung des Prüfgegenstandes entspricht der Nullpunkt der Bildschirmskala der Oberfläche des Prüfgegenstandes. Die Dicke des Gegenstandes ist gleich der Lage des n -ten Rückwandechos, dividiert durch n . n liegt üblicherweise im Bereich von 2 bis 10. Siehe Bild 2.

Die Messtechnik 4 kann ausschließlich bei einem A-Bild-Gerät angewendet werden. Das Gerät muss nach dem Handbuch des Herstellers so eingestellt werden, dass es im Durchschallungsbetrieb arbeitet. Eine Anzeige des Sendeimpulses sollte zur Darstellung des Nullzeitpunkt-Impulses verfügbar sein. Diese wird so eingestellt, dass sie mit der Null auf der Bildschirmskala übereinstimmt, und der empfangene Impuls wird so eingestellt, dass er mit der bekannten Dicke auf der Bildschirmskala übereinstimmt.



Legende

A	Sende-/Empfangs-Prüfkopf
B	Prüfgegenstand
C	Schalllaufzeit
D	Anzeige des Sendeimpulses
E1 bis En	Rückwandechos

Bild 2 — Geräteeinstellung für Messtechnik 3

7.3 Überprüfungen von Einstellungen

Überprüfungen der Einstellungen eines Dickenmesssystems müssen mit einem Vergleichsprüfkörper durchgeführt werden

- a) nach Abschluss aller Messungen;
- b) in regelmäßigen Abständen während der Arbeitssitzung, mindestens einmal täglich;
- c) in regelmäßigen Abständen während der Arbeitssitzung;
- d) wenn Prüfköpfe oder Kabel getauscht werden;
- e) bei Wechsel von Werkstoffarten;
- f) bei merklichen Veränderungen der Temperatur des Werkstoffes oder der Ausrüstung;
- g) wenn wichtige Bedienelemente angepasst oder als geändert betrachtet werden; und
- h) 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 Messung seiner Dicke. Eine ungenügende Oberflächenvorbereitung kann zu widersprüchlichen Ergebnissen führen.

Anhaftender Schmutz und Zunder müssen vor der Messung abgebürstet werden.

8.1.1.2 Rauheit

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

In Fällen, in denen eine beträchtliche Rauheit vorliegt, wird der Schallweg vergrößert und die Kontaktfläche verringert. Die Messunsicherheit nimmt mit abnehmender Dicke zu.

Falls die der Schalleintrittsfläche gegenüberliegende Fläche (Rückwand-Oberfläche) rau ist, kann das Echo verzerrt werden; dies kann zu einem Messfehler 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 der Messtechniken 1, 2 oder 4 kann der abgelesene Wert die für den Durchgang durch die Koppelmittelschicht benötigte Zeit einschließen, wodurch ein weiterer 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 sollte entsprechend den Oberflächenbedingungen und den Unregelmäßigkeiten der Oberfläche so ausgewählt werden, dass eine ausreichende Ankopplung sichergestellt wird.

8.1.2 Oberflächentemperatur

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

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

- Bezugskörper: Normale, Vergleichskörper, Prüfkörper;
- System: Gerät, Prüfköpfe usw.;
- Prozess und Verfahren: 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 beträchtlich. 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 (Struktur, Zusammensetzung, Dicke, Beschichtungsverfahren, Anzahl der Schichten usw.) 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 Messunsicherheit muss vorschreiben, ob die Beschichtung berücksichtigt werden sollte.

Beispielsweise gilt für ein Gerät, das für Stahl kalibriert wurde:

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

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

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

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

Die Dicke der Beschichtung kann gemessen werden. Die Messunsicherheit ist von denselben Parametern wie bei der Messung des Grundwerkstoffes abhängig.

8.1.4 Nichtmetallische Beschichtung

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

Beispielsweise gilt für ein Gerät, das für Stahl kalibriert wurde:

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

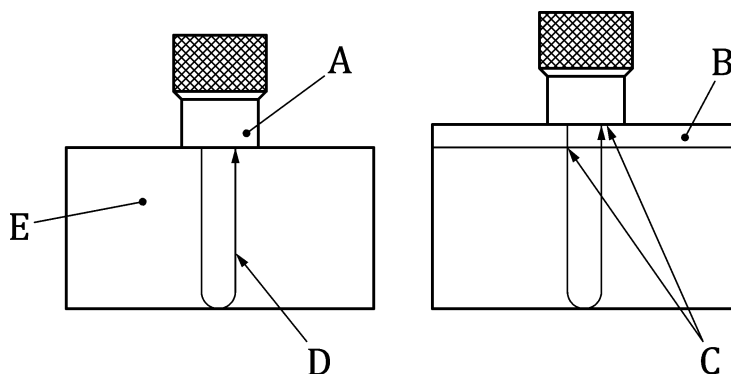
$$\frac{(1 \times 10^{-3})\text{ m}}{5\,920\text{ ms}^{-1}} + \frac{(100 \times 10^{-6})\text{ m}}{2\,100\text{ ms}^{-1}} = 2,165\,4 \times 10^{-7}\text{ s} \quad (4)$$

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

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

Es kann auch schwierig sein, den gewünschten Messwert zu erhalten, wenn der Schichtwerkstoff:

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



Legende

- A Prüfkopf
- B Beschichtung oder Plattierung
- C vergrößerter Schallweg durch die Beschichtung
- D Schallweg ohne Beschichtung
- E Metall

Bild 3 — Vergrößerter Schallweg durch die Beschichtung

8.1.5 Geometrie

8.1.5.1 Parallelität

Die gegenüberliegenden Wände des Prüfgegenstandes sollten innerhalb von $\pm 10^\circ$ parallel zueinander sein, andernfalls kann die Messung schwierig oder fehlerhaft werden. 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. Der Prüfkopf muss auf den Krümmungsmittelpunkt des Prüfgegenstandes ausgerichtet werden. Diese Faktoren beeinträchtigen die Messleistung, da sich dadurch eine unzureichende Schallübertragung und eine geringe Wiederholpräzision ergeben.

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

8.1.5.3 Konkave und konvexe Abtasterflächen

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

8.1.5.4 Dickenbereich

Die Genauigkeit einer Messung hängt von der Gleichmäßigkeit des Werkstoffs über seine gesamte Dicke ab. Örtliche oder allgemeine Änderungen der Struktur führen zu Änderungen der Schallgeschwindigkeit im Vergleich zu der des Werkstoffes von Vergleichskörpern und daher zu nachträglichen Messfehlern.

8.2 Prüfausrüstung

8.2.1 Auflösung

Die wahre Auflösung der Prüfausrüstung ist der kleinste Änderungsschritt der gemessenen Größe, der vom System erkannt werden kann. Zum Beispiel können digitale Dickenmessgeräte eine scheinbare Auflösung von 0,001 mm anzeigen, aber dennoch nur zur Messung mit einer Auflösung von 0,01 mm in der Lage sein. Für ein Prüfgerät mit A-Bild [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 eindeutiger definierte Flanke für die Zeitmessung bieten. Dies ist insbesondere bei Geräten mit A-Bild-Darstellung erkennbar.

8.2.2 Messbereich

Der Messbereich für die Prüfausrüstung ist der Dickenbereich, den das System praktisch messen kann. Aus der Anzahl der angezeigten Stellen eines digitalen Gerätes kann lediglich ein Zahlenbereich abgeleitet werden, der angezeigt werden kann.

Für Geräte gibt es eine kleinste Dicke, die sie messen können. Diese ist im Allgemeinen unabhängig von der Frequenz des Prüfkopfes und der Anwendung. Die größte Dicke, die gemessen werden kann, wird im Allgemeinen durch die Frequenz des Prüfkopfes und/oder die Anwendung bestimmt (Werkstoffbedingungen usw.).

Der Prüfkopf legt einen vom Gerät unabhängigen Messbereich fest. Üblicherweise wird der kleinste Bereich eines Prüfkopfes durch seine Frequenz und die Schallgeschwindigkeit des geprüften Werkstoffes gesteuert. Ein Prüfkopf muss so ausgewählt werden, dass die mit ihm messbare kleinste Dicke unter der zu messenden Minstdicke liegt.

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

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

Dabei ist

- λ die Wellenlänge;
- f die Frequenz des Prüfkopfes;
- v die Schallgeschwindigkeit.

Die Frequenz des Prüfkopfes bestimmt auch die größte Dicke, die gemessen werden kann. Ein Prüfkopf mit hoher Frequenz hat eine geringere Durchschlagskraft als ein Prüfkopf mit niedriger Frequenz.

Die Art des untersuchten Werkstoffs sollte berücksichtigt werden, da sie sich ebenfalls auf den Messbereich auswirkt.

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

Das Messsystem muss so ausgewählt werden, dass sein Messbereich die interessierende Dicke insgesamt abdeckt. Bei einem A-Bild-Gerät [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 Geräteeinstellungen an beiden Enden des zu messenden 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

Zwei grundlegende Verfahren werden in C.2 angegeben.

9 Einfluss von Werkstoffen

9.1 Allgemeines

Der Werkstoff des zu messenden Gegenstandes kann die Auswahl der für die Ultraschall-Dickenmessung 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 gemessen.

9.2 Inhomogenität

Die Zusammensetzung des Werkstoffs einschließlich Legierungselementen und Verunreinigungen sowie der Herstellungsvorgang des Werkstoffs beeinflussen Kornstruktur und Kornausrichtung und damit die Homogenität.

Dadurch können örtliche Schwankungen der Schallgeschwindigkeit und der Schallschwächung im Werkstoff hervorgerufen werden, die zu fehlerhaften Messungen oder in Extremfällen zu einem Ausfall der Messwerte führen.

9.3 Anisotropie

In anisotropen Werkstoffen ist die Schallgeschwindigkeit in unterschiedlichen Ebenen nicht zwangsläufig gleich, und die Struktur anisotroper Werkstoffe kann Änderungen der Schallausbreitungsrichtungen verursachen. Dies führt zu fehlerhaften Ablesewerten. Beispiele dafür sind gewalzte oder stranggepresste Werkstoffe, besonders aus austenitischem Stahl, Kupfer und Kupferlegierungen, Blei und alle faserverstärkten Kunststoffe.

Um die Gefahr von Messfehlern auf ein Mindestmaß zu verringern, muss die Einstellung des Gerätes in derselben Ebene wie die Messung vorgenommen werden.

9.4 Schallschwächung

Die Schallschwächung entsteht durch Energieverlust, der auf Absorption (z. B. in Gummi) und auf Streuung (z. B. durch Grobkorn) zurückzuführen ist. Dieser Effekt kann eine Verringerung der Signalamplitude oder eine Signalverzerrung verursachen.

Gussteile zeigen im Allgemeinen eine Schallschwächung durch Absorption und Streuung, die zu Messausfall oder zu fehlerhaften Ablesewerten führt.

In Kunststoffen kann eine starke Schallschwächung allein durch Absorption festgestellt werden.

9.5 Oberflächenbedingungen

9.5.1 Allgemeines

Eine nicht ausreichende Beachtung der Oberflächenbedingungen führt entweder dazu, dass es nicht möglich ist, Messwerte zu erhalten oder dass fehlerhafte Messwerte erhalten werden.

9.5.2 Kontaktfläche

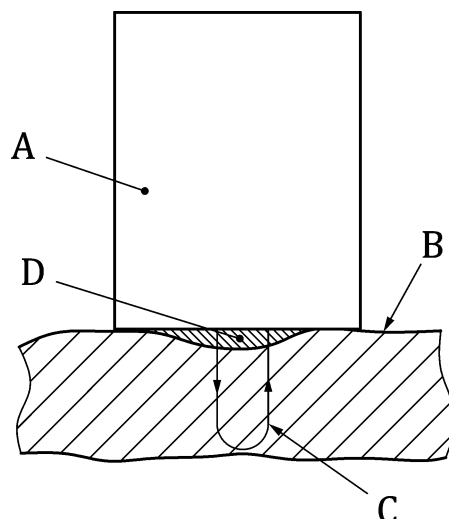
Falls die Oberfläche beschichtet ist, kann die Messung durch die Schicht hindurch nur unter der Voraussetzung vorgenommen werden, dass die Schicht gut auf dem Werkstoff haftet. Wenn Messungen durch die Schicht hindurch vorgenommen werden, muss die Messtechnik 3 mit Mehrfachechos angewendet werden (siehe Abschnitt 4).

Falls durch unzureichende Reflexion oder starke Schallschwächung nur ein einziges Echo empfangen werden kann, muss die entsprechende Schichtdicke bekannt sein und von dem für dieses einzige Echo abgelesenen Wert subtrahiert werden, siehe 8.1.3 und 8.1.4.

Wenn keine dieser Bedingungen erfüllt werden kann, muss die Schicht, sofern zulässig, entfernt werden.

Eine Oberflächenrauheit, die z. B. durch Verschleiß oder Korrosion verursacht wird, hat einen großen Einfluss auf die Ankopplungsbedingungen und die Messunsicherheit. Bei starker Oberflächenrauheit können die Messtechniken 2 und 3 (Abschnitt 4) ausgeschlossen werden, so dass die Messtechnik 1 mit Einzelecho als einzige Alternative übrig bleibt.

Die ermittelten Messwerte dürfen nicht als genauer angesehen werden, als es der Oberflächenzustand erlaubt. Dies wird im Bild 4 dargestellt, das einen Prüfkopf zeigt, der einen Hohlraum auf der Oberfläche überbrückt. Wird an dieser Stelle ein Messwert aufgezeichnet, enthält der abgelesene Wert das Äquivalent der Schichtdicke des Koppelmittels.



Legende

- A Prüfkopf
- B Prüfgegenstand
- C Schallweg
- D Koppelmittel

Bild 4 — Schallweg durch eine Koppelmittelschicht

9.5.3 Reflektierende Oberfläche

Dickenmessungen mit Ultraschall hängen häufig mit dem betriebsbedingten Werkstoffverlust durch Korrosion oder Erosion zusammen. Diese Mechanismen erzeugen unterschiedliche Arten reflektierender Oberflächen. Wenn Dickenmessungen mit Ultraschall durchgeführt werden, um Werkstoffverlust zu erkennen und/oder die Restwanddicke zu messen, muss/müssen die Art(en) des zu erwartenden Werkstoffverlustes bekannt sein, und es muss ein Verfahren angewendet werden, das für diese besondere Art von Verschleiß, Korrosion oder Erosion angepasst wurde.

9.5.4 Korrosion und Erosion

In der Industrie, z. B. in der Öl-/Gasindustrie, der Energieerzeugung und -verteilung, bei der Lagerung und dem Transport von Produkten treten Korrosionsmechanismen häufig an Behältern und Rohren auf, die aus Eisenwerkstoffen bestehen, z. B. gewalzte Stahlbleche, nahtlose Rohre und geschweißte Bauteile.

Die folgenden Korrosionsarten in Stahlbehältern und Rohrleitungsteilen sind bei der Auswahl des anzuwendenden Ultraschallverfahrens zu berücksichtigen:

- gleichmäßige Korrosion;
- Lochkorrosion;
- Korrosion unter Ablagerungen;
- Spaltkorrosion;
- Kontaktkorrosion;
- strömungsbedingte Korrosion;
- Schweißnahtkorrosion;
- Kombinationen von zwei oder mehreren der vorgenannten Korrosionsarten.

Die Bilder in Tabelle A.1 zeigen wichtige Formen und Verteilungen der zu berücksichtigenden Ultraschall-reflektoren.

In Anhang A werden technische Daten vorgeschlagen, die für den Nachweis und die Messung anzuwenden sind.

10 Prüfbericht

10.1 Allgemeines

Unter Berücksichtigung aller speziellen, zum Zeitpunkt von Anfrage und Bestellung vereinbarten Anforderungen, müssen die folgenden Angaben aufgezeichnet werden.

10.2 Allgemeine Angaben

Diese Angaben müssen Folgendes einschließen:

- a) eine Verweisung auf die angewendete Norm oder die angewendeten Spezifikationen;
- b) die Einzelheiten bezüglich der anfordernden Stelle/Institution und des Zwecks der Prüfung;
- c) eine allgemeine Beschreibung der geprüften Anlage/Bauteile/Prüfgegenstände, einschließlich einer Festlegung von Oberflächenbedingungen, z. B. beschichtet/isoliert/rau/glatt/kugelgestrahlt;
- d) das Datum der ersten und letzten Messung im Bericht;
- e) die Einzelheiten zur Lage/zum Standort;
- f) die Werkstoffart;
- g) die Art und Seriennummer des Messgerätes;
- h) eine Beschreibung der Prüfkopfart (einschließlich Element-Größe/Frequenz) und seine Seriennummer;
- i) die Einzelheiten des Vergleichskörpers, sofern anwendbar;
- j) die Art des Koppelmittels;
- k) die Messtechnik/das Messverfahren;
- l) die Einzelheiten zur Einstellung des Gerätes;
- m) den Namen des Prüfers;
- n) die Einzelheiten bezüglich der Qualifizierung des Prüfers;
- o) die Einzelheiten zur Firma des Prüfers; und
- p) die Unterschrift des Prüfers.