

DIN EN ISO 23864



ICS 25.160.40

Einsprüche bis 2021-09-30

Entwurf

**Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen –
Ultraschallprüfung –
Verwendung der automatisierten Totalfokussierungsmethode (TFM) und
verwandte Technologien (ISO 23864:2021);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 23864:2021**

Non-destructive testing of welds –

Ultrasonic testing –

Use of automated total focusing technique (TFM) and related technologies (ISO 23864:2021);
German and English version prEN ISO 23864:2021

Essais non destructifs des assemblages soudés –

Contrôle par ultrasons –

Utilisation de la technique d'acquisition automatisée de focalisation en tout point (FTP) et de
techniques associées (ISO 23864:2021);

Version allemande et anglaise prEN ISO 23864:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-07-30 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 oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 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 82 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 23864:2021 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als prEN ISO 23864:2021 durch das Technische Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ übernommen, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss 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 Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 5577	siehe	DIN EN ISO 5577
ISO 5817	siehe	DIN EN ISO 5817
ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
ISO 10863:2020	siehe	DIN EN ISO 10863:2020
ISO 11666	siehe	DIN EN ISO 11666
ISO 13588	siehe	DIN EN ISO 13588
ISO 17635	siehe	DIN EN ISO 17635
ISO 17640	siehe	DIN EN ISO 17640
ISO 18563-1	siehe	DIN EN ISO 18563-1
ISO 18563-2	siehe	DIN EN ISO 18563-2
ISO 18563-3	siehe	DIN EN ISO 18563-3
ISO 19285	siehe	DIN EN ISO 19285
ISO 20601	siehe	DIN EN ISO 20601
ISO 22825:2017	siehe	DIN EN ISO 22825:2018-02
ISO 23243	siehe	DIN EN ISO 23243

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN ISO 5817, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten*

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

DIN EN ISO 10863:2020, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Anwendung der Beugungslaufzeittechnik (TOFD) (ISO 10863:2020); Deutsche Fassung EN ISO 10863:2020*

DIN EN ISO 11666, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Zulässigkeitsgrenzen*

DIN EN ISO 13588, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Anwendung von automatisierter phasengesteuerter Array-Technologie*

DIN EN ISO 17635, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe*

DIN EN ISO 17640, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Techniken, Prüfklassen und Bewertung*

DIN EN ISO 18563-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays — Teil 1: Prüfgeräte*

DIN EN ISO 18563-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit Phased-Arrays — Teil 2: Prüfköpfe*

DIN EN ISO 18563-3, *Zerstörungsfreie Prüfung — Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung mit phasengesteuerten Arrays — Teil 3: Vollständige Prüfsysteme*

DIN EN ISO 19285, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung mit Phased-Arrays (PAUT) — Zulässigkeitsgrenzen*

DIN EN ISO 20601, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Verwendung von automatisierter phasengesteuerter Array-Technologie für dünnwandige Bauteile aus Stahl*

DIN EN ISO 22825:2018-02, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Prüfung von Schweißverbindungen in austenitischen Stählen und Nickellegierungen (ISO 22825:2017); Deutsche Fassung EN ISO 22825:2017*

DIN EN ISO 23243, *Zerstörungsfreie Prüfung — Ultraschallprüfung mit Arrays — Terminologie*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung — Verwendung der automatisierten Totalfokussierungsmethode (TFM) und verwandte Technologien (ISO 23864:2021)
<i>Titel en:</i>	Non-destructive testing of welds — Ultrasonic testing — Use of automated total focusing technique (TFM) and related technologies (ISO 23864:2021)
<i>Titel fr:</i>	Essais non destructifs des assemblages soudés — Contrôle par ultrasons — Utilisation de la technique d'acquisition automatisée de focalisation en tout point (FTP) et de techniques associées (ISO 23864:2021)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Prüfklassen	7
5 Notwendige Informationen vor der Prüfung.....	9
5.1 Einzelheiten, die vor der Verfahrensentwicklung definiert werden müssen.....	9
5.2 Besondere Informationen, die für den Prüfer vor der Prüfung erforderlich sind	10
5.3 Schriftliche Prüfanweisung.....	10
6 Anforderungen an das Prüfpersonal und die Prüfausrüstung.....	11
6.1 Qualifikation des Prüfpersonals	11
6.2 Prüfausrüstung.....	11
6.2.1 Allgemeines.....	11
6.2.2 Prüfgerät.....	11
6.2.3 Prüfköpfe	12
6.2.4 Abtastvorrichtungen	12
7 Vorbereitung zur Prüfung	12
7.1 Prüfvolumen.....	12
7.2 Bildgebung typischer Schweißnaht-Inhomogenitäten.....	13
7.2.1 Orientierung der Inhomogenität.....	13
7.2.2 Ortung von Inhomogenitäten.....	13
7.2.3 Geeignete Abbildungswege für bestimmte Arten von Inhomogenitäten.....	13
7.3 Verifizierung des Prüfaufbaus	16
7.4 Einstellung der Schrittweite	16
7.5 Überlegungen zur Geometrie.....	17
7.6 Vorbereitung der Prüfflächen.....	17
7.7 Temperatur.....	17
7.8 Koppelmittel.....	17
8 Prüfung des Grundwerkstoffs	18
9 Prüfbereich und Prüfempfindlichkeit.....	18
9.1 Allgemeines.....	18
9.2 Prüfbereichs- und Prüfempfindlichkeitseinstellungen.....	18
9.2.1 Allgemeines.....	18
9.2.2 Einstellbereich und Empfindlichkeit am Prüfgegenstand selbst.....	18
9.2.3 Verstärkungskorrekturen.....	19
9.3 Überprüfung der Einstellungen.....	19
10 Vergleichskörper und Prüfkörper.....	19
10.1 Allgemeines.....	19
10.2 Werkstoff	20
10.3 Maße und Form	20
10.4 Bezugsreflektoren	20

11	Überprüfung der Ausrüstung.....	20
12	Verfahrensverifizierung	21
13	Prüfung der Schweißnähte.....	21
14	Datenspeicherung.....	21
15	Auswertung und Analyse der TFM-Bilder	22
15.1	Allgemeines	22
15.2	Bewertung der Qualität der TFM-Bilder	22
15.3	Identifizierung der relevanten Anzeigen.....	22
15.4	Klassifizierung der relevanten Anzeigen.....	22
15.5	Bestimmung der Position und Länge einer Anzeige.....	23
15.5.1	Position	23
15.5.2	Länge.....	23
15.6	Bestimmung der Amplitude oder Höhenausdehnung einer Anzeige.....	23
15.6.1	Allgemeines	23
15.6.2	Basierend auf der Amplitude.....	23
15.6.3	Basierend auf der Höhenausdehnung	23
15.7	Bewertung anhand von Zulässigkeitskriterien.....	24
16	Prüfbericht.....	24
17	Austenitische Schweißnähte.....	26
	Anhang A (informativ) Typische Vergleichskörper und Bezugsreflektoren.....	27
A.1	Bezugsreflektoren	27
A.2	Typische Vergleichskörper.....	29
A.2.1	Prüfklasse A.....	29
A.2.2	Prüfklasse B.....	30
A.2.3	Prüfklasse C.....	31
A.2.4	Prüfklasse D.....	32
A.2.5	Prüfgegenstände mit Dicke 3,2 mm bis 8 mm.....	32
	Anhang B (informativ) TFM-Bilder typischer Inhomogenitäten	33
B.1	Allgemeines	33
B.2	Beispiele für Bilder	33
	Literaturhinweise.....	41

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 23864:2021 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 44 „Welding and allied processes“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 121 „Schweißen und verwandte Verfahren“ als prEN ISO 23864:2021 übernommen, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 23864:2021 wurde von CEN als prEN ISO 23864:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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.

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-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.

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 IIW, *International Institute of Welding*, Kommission V, *NDT and Quality Assurance of Welded Products*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 121, *Schweißen und verwandte Verfahren*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

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.

WICHTIG — Die elektronische Datei dieses Dokuments enthält Farben, die für das richtige Verständnis des Dokuments als nützlich erachtet werden. Benutzer sollten daher erwägen, dieses Dokument mit einem Farbdrucker auszudrucken.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Anwendung der TFM-Technik und verwandter Technologien für die halb- oder vollautomatische Ultraschallprüfung von Schmelzschweißverbindungen in metallischen Werkstoffen mit einer Dicke $\geq 3,2$ mm fest.

ANMERKUNG Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich in diesem Dokument „TFM“ und „TFM-Technik“ auf die TFM-Techniken, wie sie in ISO 23243 definiert sind, und auf alle verwandten Technologien, siehe z. B. ISO 23865 und ISO 23243.

Dieses Dokument gilt für Bauteile mit Schweißnähten, die aus Metallen hergestellt werden, die isotrope (konstante Eigenschaften in allen Richtungen) und homogene Bedingungen aufweisen. Dies schließt Schweißnähte in kohlenstoffarmen legierten Stählen und gängigen Aluminium- und Titanlegierungen für die Luft- und Raumfahrt ein, sofern sie homogen und isotrop sind.

Dieses Dokument gilt für Schweißverbindungen mit vollständiger Durchschweißung einfacher Geometrie in Blechen, Rohren und Behältern.

In diesem Dokument sind vier Prüfklassen (A, B, C, D) festgelegt, die jeweils unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten für den Nachweis von Unregelmäßigkeiten entsprechen. Es wird Hilfestellung zur Wahl der Prüfklassen gegeben. Grobkörnige Metalle und austenitische Schweißnähte können geprüft werden, wenn die Bestimmungen dieses Dokuments berücksichtigt wurden.

Dieses Dokument enthält Festlegungen zu den spezifischen Möglichkeiten und Grenzen der TFM-Technik für den Nachweis, die Lokalisierung, die Größenbestimmung und Charakterisierung von Inhomogenitäten in Schmelzschweißverbindungen. Die TFM-Technik kann als eigenständiger Ansatz oder in Kombination mit anderen zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZfP) für Herstellungs-, Betriebs- und Nachreparaturprüfungen genutzt werden.

Dieses Dokument umfasst die Beurteilung von Anzeigen für Zulassungszwecke, basierend entweder auf Amplitude (äquivalente Reflektorgröße) und Länge oder Höhe und Länge.

Dieses Dokument enthält keine Zulässigkeitsgrenzen für Inhomogenitäten.

In diesem Dokument wird auf die folgenden zwei typischen Prüftechniken für Schweißverbindungen Bezug genommen:

- a) Abtastung von der Seite, bei der der Prüfkopf/die Prüfköpfe neben der Schweißnahtdecklage positioniert wird/werden, üblicherweise unter Verwendung von Keilen. Die Abtastung von der Seite kann von einer Seite oder von beiden Seiten der Schweißnaht durchgeführt werden;
- b) Abtastung von oben, bei der der Prüfkopf auf der Schweißnahtdecklage mit einem flexiblen, anpassungsfähigen Vorlaufkörper oder mit Hilfe der Tauchtechnik oder der Kontakttechnik nach Entfernen der Schweißnahtdecklage positioniert wird.

Die halbautomatische Prüfung umfasst eine kontrollierte Bewegung eines oder mehrerer Prüfköpfe entlang einer Vorrichtung (Führungsleiste, Lineal usw.), wobei die Prüfkopfposition mit einem Positionssensor gemessen wird. Die Abtastung wird manuell durchgeführt.

Die vollautomatische Prüfung umfasst zusätzlich einen mechanisierten Antrieb.

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 5817, *Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections*

ISO 9712, *Non-destructive testing — Qualification and certification of NDT personnel*

ISO 17635, *Non-destructive testing of welds — General rules for metallic materials*

ISO 18563-1, *Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment — Part 1: Instruments*

ISO 18563-2, *Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment — Part 2: Probes*

ISO 23865:2021, *Non-destructive testing — Ultrasonic testing — General use of full matrix capture/ total focusing method technique*

ISO 23243, *Non-destructive testing — Ultrasonic testing with arrays — Vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 5577, ISO 17635, ISO 23865 und ISO 23243.

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 <http://www.electropedia.org/>

4 Prüfklassen

Die Qualitätsanforderungen an Schweißverbindungen hängen hauptsächlich mit dem Werkstoff, dem Schweißprozess und den Betriebsbedingungen zusammen. Um all diesen Anforderungen gerecht zu werden, legt dieses Dokument vier Prüfklassen (A, B, C und D) fest.

Von der Prüfkategorie A hin zur Prüfkategorie C wird durch eine erhöhte Prüfdeckung eine erhöhte Auffindewahrscheinlichkeit erreicht, d. h. durch eine mehrfache Abdeckung des Prüfvolumens, z. B. die Anzahl von Abbildungswegen, die Anzahl von Array-Positionen.

Die Prüfkategorie D darf unter Anwendung einer schriftlichen Prüfanweisung, welche die allgemeinen Anforderungen dieses Dokuments berücksichtigen muss, für besondere Anwendungen vereinbart werden. Dies umfasst Prüfungen anderer Metalle als ferritischer Stahl, Prüfungen an Schweißnähten mit unvollständiger Durchschweißung, Prüfungen bei Temperaturen des Prüfgegenstands außerhalb des Bereichs von 7.7. Für die Klasse D ist eine Verifizierung an Prüfkörpern vorgeschrieben.

Die auf die Bewertungsgruppen bezogenen Prüfklassen müssen ISO 5817 oder technisch gleichwertigen Normen entsprechen. Die angemessene Prüfkategorie kann in Normen zur Prüfung von Schweißnähten (z. B. ISO 17635), durch Produktnormen oder durch andere Dokumente angegeben sein. Bei der Anwendung von ISO 17635 werden die in Tabelle 1 angegebenen Prüfklassen empfohlen.

Tabelle 1 — Empfohlene Prüfklassen

Prüfkategorie	Bewertungsgruppe nach ISO 5817
A	C, D
B	B
C	zu vereinbaren
D	besondere Anwendung

In Tabelle 2 sind die Mindestanforderungen aufgeführt. Wie in 7.3 beschrieben, muss der Aufbau in allen Fällen mit Vergleichskörpern und/oder Prüfkörpern verifiziert werden.

Die Abtastung von oben kann mit der TFM durchgeführt werden, wenn die Schweißdecklage entfernt wurde und die Prüfoberfläche eben ist, andernfalls ist eine adaptive Fokussierung erforderlich, um die Geometrie der Schweißdecklage zu berücksichtigen.

Die Abtastung von der Seite mit zwei Prüfköpfen gleichzeitig an beiden Seiten der Schweißnaht ermöglicht Abtastungswege von einem Prüfkopf zum anderen Prüfkopf (siehe ISO 23865).

Tabelle 2 — Angaben zu Prüfklassen, Mindestanforderungen

Prüfverfahren	Prüfklassen			
	A ^a	B ^a	C ^b	D ^b
Abtastung von oben bei fester Prüfkopfposition zur Schweißnaht (Zeilenabtastung)	Direkter Abtastungsweg	Direkter Abtastungsweg und Abtastungsweg mit Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche	Direkter Abtastungsweg und Abtastungsweg(e), der/die reflektierte Signale von planaren Inhomogenitäten an der Schweißnahtfuge sicherstellt(sicherstellen)	Geeignete Abtastungswege und Positionen (Seiten) nach Vereinbarung
Abtastung von der Seite bei fester Prüfkopfposition zur Schweißnaht (Zeilenabtastung)	Direkter Abtastungsweg, zwei Seiten	Direkter Abtastungsweg und Abtastungsweg mit Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche, zwei Seiten oder zwei Prüfkopfpositionen	Direkter Abtastungsweg und (mehrere) Abtastungsweg(e) mit Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche, zwei Seiten oder zwei Prüfkopfpositionen	Geeignete Abtastungswege und Positionen (Seiten) nach Vereinbarung

Prüfverfahren	Prüfklassen			
	A ^a	B ^a	C ^b	D ^b
Abtastung von der Seite mit Rasterabtastung	Direkter Abbildungsweg, eine Seite	Direkter Abbildungsweg und Abbildungsweg mit Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche, eine Seite	Direkter Abbildungsweg und (mehrere) Abbildungsweg(e) mit Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche, eine Seite, Bilder von verschiedenen Prüfkopfpositionen zur Schweißnaht werden zusammengeführt	Geeignete Abbildungswege und Positionen (Seiten) nach Vereinbarung
<p>^a Bei Prüfklassen A und B: Die Bildgebung mittels Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche kann durch Erweiterung des interessierenden Objektbereichs (en: region of interest, ROI) (nur für TT-TT oder LL-LL) oder durch entsprechende Abbildungswege erfolgen.</p> <p>^b Bei Prüfklassen C und D: Die Wahl der Abbildungswege ist von der Ausführung der Schweißfuge abhängig und muss im Abtastplan anhand von Tabelle 3 begründet werden.</p>				

5 Notwendige Informationen vor der Prüfung

5.1 Einzelheiten, die vor der Verfahrensentwicklung definiert werden müssen

Angaben zu den folgenden Punkten sind erforderlich:

- a) Zweck und Umfang der Prüfung;
- b) Art(en) des Grundwerkstoffs (z. B. gegossen, geschmiedet, gewalzt); Korngröße und Anisotropie;

ANMERKUNG 1 Verschiedene Eigenschaften des Grundwerkstoffs, insbesondere Abweichungen in der Kornverlängerung durch Walzen, haben Einfluss auf die mit der TFM erzeugten Bilder. Dieser Einfluss ist auch bei anderen Ultraschallprüftechniken vorhanden, wird aber unterschiedlich wahrgenommen. ISO 23865:2021, Abschnitt 15, enthält Hinweise.

ANMERKUNG 2 Wanddickenunterschiede haben einen Einfluss auf das erzeugte Bild, insbesondere bei Verwendung von Abbildungsweisen, die eine oder mehrere Reflexionen enthalten. ISO 23865:2021, Abschnitt 15, enthält Hinweise.

- c) Prüfklasse;
- d) Zulässigkeitskriterien, einschließlich Verfahren zur Bewertung von Anzeigen und Verfahren zur Festlegung der Bezugsschwellen;
- e) Festlegung der verwendeten Kalibrierblöcke, Vergleichsblöcke, Prüfblöcke;
- f) Phase (z. B. Herstellung oder unter Verwendung), in der die Prüfung durchgeführt werden muss;
- g) Einzelheiten zur Geometrie des Prüfgegenstands und der Schweißnaht sowie Angaben zur Größe der Wärmeeinflusszone. Wenn die Größe der Wärmeeinflusszone nicht bekannt ist, dürfen praktische Werte entsprechend dem verwendeten Schweißverfahren berücksichtigt werden;
- h) Anforderungen an Zugangs- und Oberflächenbedingungen sowie Temperatur. Die Werkstofftemperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf die durch die TFM erzeugten Bilder. Wenn der Prüfgegenstand eine Temperatur außerhalb des in 7.7 festgelegten Bereichs hat, gibt ISO 23865:2021, Abschnitt 15, Hinweise;

- i) Qualifikation des Prüfpersonals;
- j) Anforderungen an den Prüfbericht.

5.2 Besondere Informationen, die für den Prüfer vor der Prüfung erforderlich sind

Bevor jede Prüfung einer Schweißverbindung beginnen kann, müssen dem Prüfer alle in 5.1 genannten Informationen sowie die folgenden zusätzlichen Informationen zugänglich sein:

- a) schriftliche Prüfanweisung (siehe 5.3);
- b) Nahtvorbereitung und Nahtmaße;
- c) wichtige Informationen zum Schweißverfahren;
- d) Zeitpunkt der Prüfung in Bezug auf eine eventuelle Wärmebehandlung nach dem Schweißen.

5.3 Schriftliche Prüfanweisung

Für alle Prüfungen, bei denen die TFM-Technik angewandt wird, ist eine schriftliche Prüfanweisung erforderlich. Die Anweisung muss mindestens die folgenden Angaben enthalten;

- a) den Zweck und Umfang der Prüfung, einschließlich Einzelheiten zu dem interessierenden Objektbereich (en: region of interest, ROI) und zum Gitter;
- b) die Prüftechnik, einschließlich Erfassungsschema und Bildgebungsalgorithmus (Verarbeitungsparameter);
- c) die Prüfkategorie;
- d) die Anforderungen an die Qualifikation/Schulung des Prüfpersonals;
- e) die zu verwendende Prüfausrüstung (einschließlich, aber nicht beschränkt auf, Frequenz, Abtastrate, Elementabstand, Elementgröße, Keilmaße und Geschwindigkeit);
- f) die Vergleichs- und/oder Prüfblöcke;
- g) Beispiele für Kalibrierungs- und Bezugsabtastungen;
- h) die Empfindlichkeitseinstellungen;
- i) erforderliche Zugangs- und Oberflächenbedingungen;
- j) Anforderungen an die Prüfung des Grundwerkstoffs;
- k) Beurteilung von Anzeigen, einschließlich der Methodik der Größenbestimmung;
- l) Zulässigkeitsgrenze und/oder Registrierschwelle;
- m) Anforderungen an den Prüfbericht;
- n) alle Umwelt- und Sicherheitsaspekte;

- o) Abtastplan mit folgenden Angaben, um eine genormte und wiederholbare Methodik für die Prüfung bereitzustellen:
- Geometrie des Prüfgegenstands und der Schweißnaht;
 - Positionierung und Bewegung des Prüfkopfs relativ zur Schweißnaht;
 - der/die verwendete(n) Abbildungsweg(e) und wie diese mit der Lage und Ausrichtung der erwarteten Inhomogenitäten übereinstimmen;
 - die Abdeckung von Prüfgegenstand und ROI.

6 Anforderungen an das Prüfpersonal und die Prüfausrüstung

6.1 Qualifikation des Prüfpersonals

Das Personal, das Prüfungen nach diesem Dokument durchführt, muss auf einem angemessenen Niveau nach ISO 9712 oder einer gleichwertigen Norm für den jeweiligen Produkt- oder Industriesektor qualifiziert sein.

Zusätzlich zum allgemeinen Wissen über die Prüfung von Schweißverbindungen mit Ultraschall müssen die Prüfer mit der Anwendung der TFM-Technik oder einer verwandten Technologie vertraut sein und über praktische Erfahrung verfügen. Eine besondere Ausbildung und Prüfung des Prüfpersonals sollte an repräsentativen Prüfstücken durchgeführt werden. Diese Schulungs- und Prüfungsergebnisse sollten dokumentiert werden. Wenn dies nicht der Fall ist, sollte eine besondere Ausbildung und Prüfung mit den fertiggestellten Anweisungen für die Ultraschallprüfung und ausgewählten Ultraschall-Prüfgeräten an repräsentativen Proben mit natürlichen oder künstlichen Reflektoren, die den zu erwartenden ähnlich sind, durchgeführt werden. Diese Schulungs- und Prüfungsergebnisse sollten dokumentiert werden.

6.2 Prüfausrüstung

6.2.1 Allgemeines

Für die Auswahl der Systemkomponenten (Hardware und Software) gibt ISO/TS 16829 nützliche Hinweise.

6.2.2 Prüfgerät

Das für die TFM-Prüfung verwendete Ultraschallgerät muss ISO 18563-1 entsprechen, falls anwendbar.

Das Prüfgerät muss in der Lage sein, eine Voll- oder Teilmatrix zu erfassen und diese entweder selbst zu verarbeiten oder zur Nachbearbeitung an einen Rechner zu übertragen. Es wird empfohlen, eine Prüfrate des A-Bildes von mindestens dem Fünffachen der Nennfrequenz des Prüfkopfes zu verwenden. Es wird empfohlen, dass die Bandbreite des Ultraschallgeräts ausreichend ist, um Signale von mindestens der zweifachen Mittenfrequenz des Prüfkopfes zu empfangen, und dass Hoch- und Tiefpassfilter auf geeignete Werte eingestellt werden, z. B. Hochpass nicht höher als die halbe Mittenfrequenz und Tiefpass auf mindestens die doppelte Mittenfrequenz eingestellt. Die für diese Parameter gegebenenfalls gewählten spezifischen Werte müssen, falls anwendbar, in der schriftlichen Prüfanweisung ausdrücklich angegeben sein.

Die minimale räumliche Auflösung der Datenpunkte im Bild (d. h. Gitterabstand, Knotenpunkte) sollte so gewählt werden, dass die Amplitude eines Referenzreflektors bei kleinen Abweichungen (eine Wellenlänge) in der Prüfkopfposition innerhalb einer festgelegten Toleranz stabil ist. ISO 23865 enthält Werte, die für die räumliche Auflösung der Datenpunkte vorgeschlagen werden, und Vorschläge für die Validierung der Amplitudenstabilität.

6.2.3 Prüfköpfe

Ultraschall-Arrays, die für die TFM-Prüfung verwendet werden, müssen der ISO 18563-2 entsprechen.

Um eine gute Bildqualität zu erreichen, sollten die folgenden Eigenschaften des Array-Prüfkopfes berücksichtigt werden:

- a) ausreichend kleiner Elementabstand, um räumliches Aliasing zu vermeiden;
- b) stark gedämpfte Elemente, um die Länge des Ultraschallwellenzugs zu verringern;
- c) ausreichend kleine Elemente, um eine zu große Richtwirkung zu vermeiden;
- d) geeignete Maße (entlang der Primärachse und der Sekundärachse des Arrays), um eine Bildgebung etwas entfernt vom Prüfkopf zu ermöglichen, da der TFM-Algorithmus optimale Ergebnisse im Nahfeld des Prüfkopfes erzielt;
- e) für die Wirksamkeit optimiertes Keilmaß.

6.2.4 Abtastvorrichtungen

Um Konsistenz der Bilder (gesammelte Daten) zu erreichen, müssen Führungsvorrichtungen und Weggeber verwendet werden.

Im Gegensatz zu anderen Ultraschalltechniken ist die Einhaltung eines konstanten Abstands zur Schweißnaht nicht so wichtig, wenn das resultierende Bild konsistent den gesamten zu prüfenden Bereich enthält. Für eine korrekte Bewertung ist jedoch die Position der Schweißnaht im Bild erforderlich, z. B. mit Hilfe geometrischer Anzeigen.

7 Vorbereitung zur Prüfung

7.1 Prüfvolumen

Der Zweck der Prüfung muss durch eine Spezifikation definiert werden. Darauf aufbauend muss das Prüfvolumen bestimmt werden. Der interessierende Objektbereich (en: region of interest, ROI), oder die Kombination interessierender Objektbereiche, muss das Prüfvolumen abdecken.

Bei der Prüfung von Dicken < 8 mm in der Herstellungsphase muss das Prüfvolumen auf jeder Seite der Schweißnahtvorbereitung mindestens das 1,25-Fache der Dicke t des Prüfgegenstands ($1t$ bei Laserschweißverbindungen und Elektronenstrahlschweißverbindungen) der Schweißnaht und des Grundwerkstoffs oder die nachgewiesene Breite der Wärmeeinflusszone (basierend auf den Angaben des Herstellers) enthalten.

Bei der Prüfung von Dicken ≥ 8 mm in der Herstellungsphase muss das Prüfvolumen auf jeder Seite der Schweißnahtvorbereitung mindestens 10 mm (5 mm bei Laserschweißverbindungen und Elektronenstrahlschweißverbindungen) der Schweißnaht und des Grundwerkstoffs oder die nachgewiesene Breite der Wärmeeinflusszone (basierend auf den Angaben des Herstellers) enthalten, je nachdem, welcher Wert der größere ist.

In der schriftlichen Prüfanweisung muss ein Abtastplan zur Dokumentation der Abdeckung vorgesehen werden, siehe 5.3.

7.2 Bildgebung typischer Schweißnaht-Inhomogenitäten

7.2.1 Orientierung der Inhomogenität

Im Vergleich zur PAUT ist die TFM in der Regel weniger empfindlich gegenüber der Orientierung der Inhomogenität. Wenn jedoch planare Inhomogenitäten erwartet werden, müssen Abbildungswege genutzt werden, die die Art und Weise, wie der Ultraschall von diesen Inhomogenitäten reflektiert wird, voraussehen. Wenn eine amplitudenbasierte Größenbestimmung erfolgen muss, ist senkrechter Einfall/spekuläre Reflexion erforderlich. Auffinden und Größenbestimmung dürfen auch mit Beugungssignalen erfolgen, die in weitaus geringerem Maße auf einem vordefinierten Abbildungsweg beruhen, aber es sollte beachtet werden, dass die resultierenden Bilder ein geringeres Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen und schwieriger auszuwerten sind.

Im Allgemeinen erfordern Inhomogenitäten senkrecht zur Prüffläche, wie z. B. Bindefehler an einer Schweißfuge mit kleinem Winkel, einen Abbildungsweg, bei dem entweder der Sende- oder der Empfangsweg eine Reflexion von der gegenüberliegenden Oberfläche enthält (z. B. TT-T).

Im Allgemeinen erfordern Inhomogenitäten, die parallel zur Prüffläche verlaufen, einen Abbildungsweg, bei dem der von der Inhomogenität reflektierte Schall zu einem Array-Element gelangen kann. Dies kann mit Hilfe eines Arrays direkt über der Inhomogenität (Abtastung von oben) oder durch die gleichzeitige Verwendung von zwei Arrays auf beiden Seiten der Schweißnaht erreicht werden.

7.2.2 Ortung von Inhomogenitäten

Im Vergleich zur PAUT ist die Leistung der TFM in der Regel weniger empfindlich gegenüber der Lage der Inhomogenität innerhalb der Schweißnaht. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass es bei der TFM Einschränkungen hinsichtlich des Winkels zur Senkrechten des Prüfkopfes hat, über den Diskontinuitäten erkannt werden.

Bei Abtastung von der Seite werden Inhomogenitäten im unteren Teil der Schweißnaht im Allgemeinen am besten mit einem Abbildungsweg aufgefunden, bei dem mindestens einer der Sende- oder Empfangsweg ein direkter Weg vom Prüfkopf zur Inhomogenität ist.

Bei der Abtastung von der Seite werden Inhomogenitäten im oberen Teil der Schweißnaht im Allgemeinen am besten mit einem Abbildungsweg aufgefunden, der mindestens eine Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche enthält. Dies kann durch Bildgebung als ein direkter Abbildungsweg durch Erweiterung des ROI erreicht werden (nur bei Prüfklassen A und B, nur bei TT-TT oder LL-LL) oder durch Bildgebung über einen Abbildungsweg, der die Reflexion(en) an der Rückwand berücksichtigt (z. B. TT-T/T-TT oder TT-TT, alle Prüfklassen).

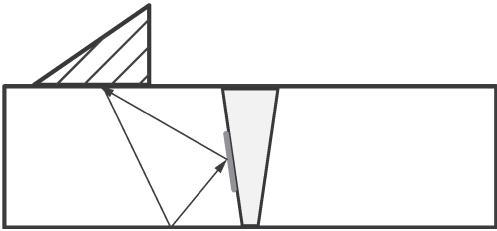
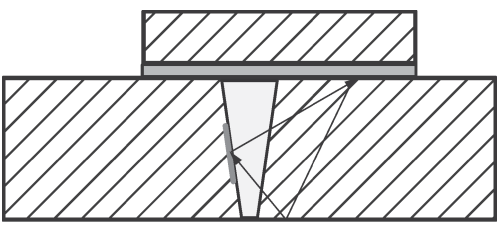
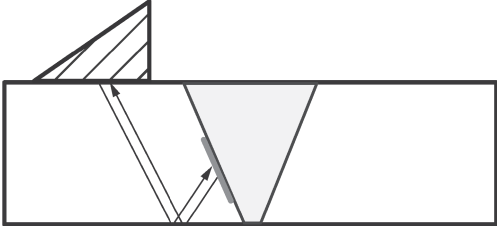
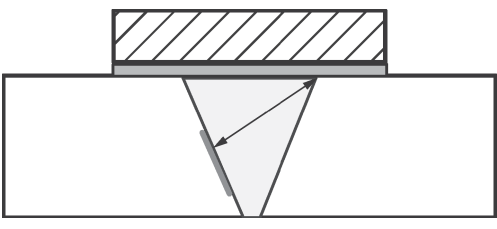
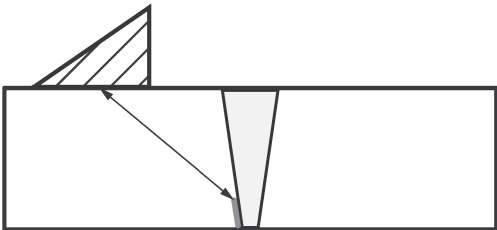
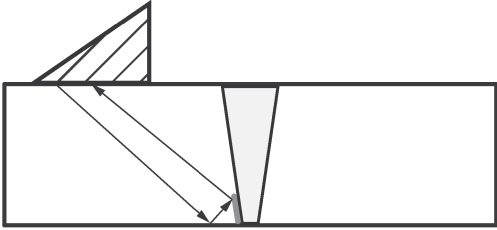
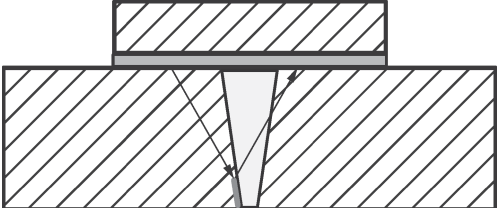
7.2.3 Geeignete Abbildungswege für bestimmte Arten von Inhomogenitäten

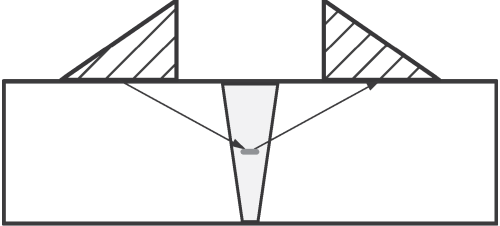
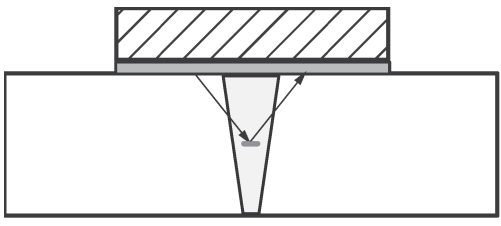
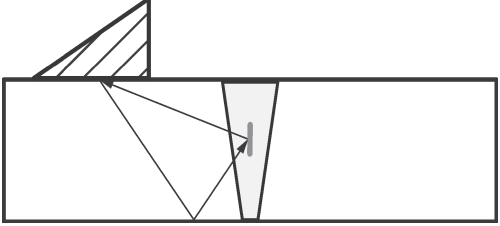
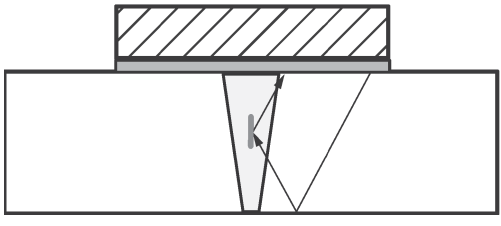
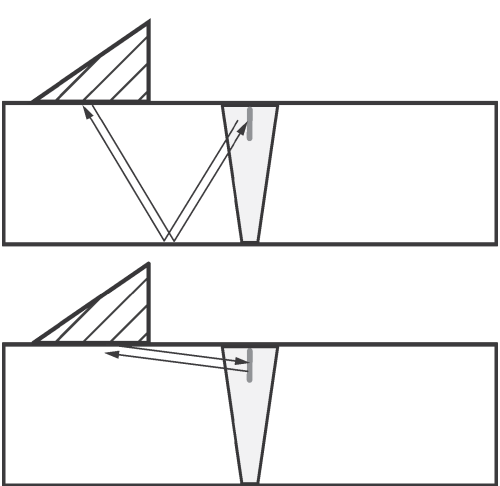
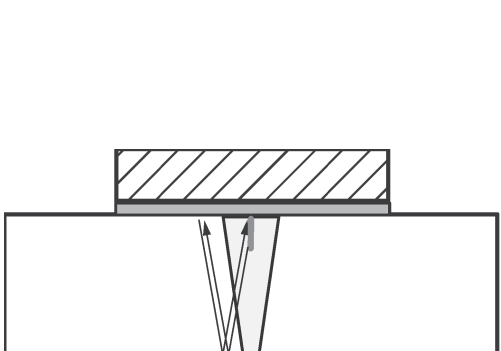
Für geeignete Abbildungswege für typische Arten von Inhomogenitäten siehe Tabelle 3, die die Prüfung von der Oberfläche auf der Seite der Schweißdecklage zeigt.

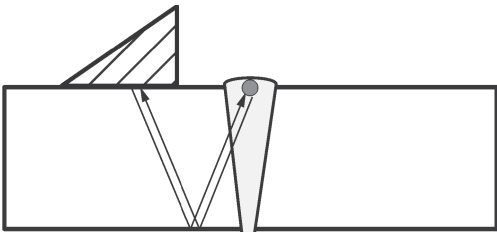
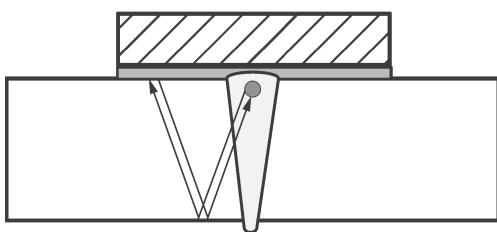
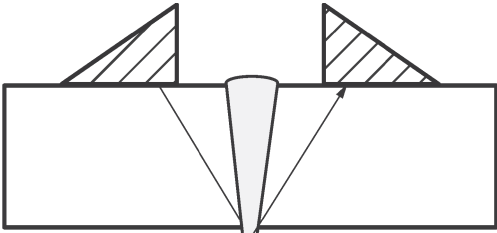
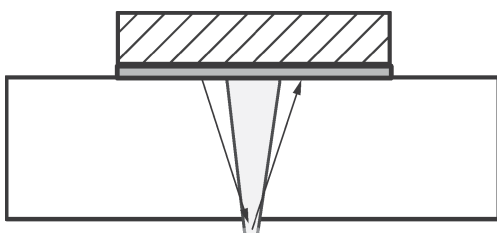
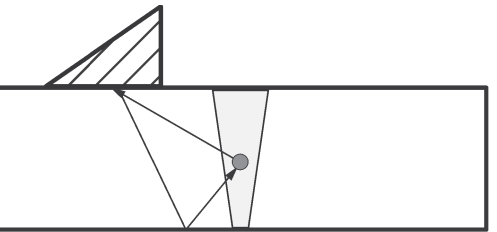
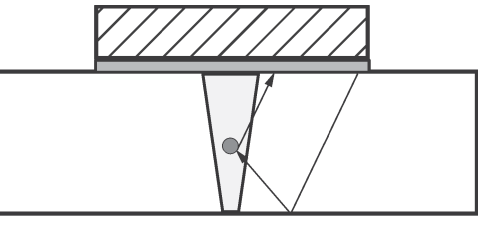
Ausgewählte Abbildungswege funktionieren möglicherweise nicht über die gesamte Apertur des Arrays. Die Bestimmung der brauchbaren Apertur sollte unter Berücksichtigung der erhöhten Diffusion und Streuung des Ultraschalls im Schweißgut in dem Abtastplan berücksichtigt werden.

Die amplitudenbasierte Größenbestimmung erfordert Abbildungswege, die auf spekularer Reflexion an den Inhomogenitäten beruhen.

Tabelle 3 — Empfohlene Abbildungswege für typische Schweißnaht-Inhomogenitäten

Schweißnaht-Inhomogenität	Abtastung von der Seite	Abtastung von oben
Bindefehler, flachwinklige Schweißnaht-fase	 <p>LL-L/L-LL- oder TT-T/T-TT- oder LL-T-Abbildungsweg, da diese Inhomogenität nahezu senkrecht ist. Die Bestimmung der Höhenausdehnung der Inhomogenität erfolgt am besten auf der Grundlage von Beugungssignalen, die mit einem direkten Abbildungsweg empfangen werden.</p>	 <p>LL-L/L-LL-Abbildungsweg, da diese Inhomogenität nahezu senkrecht ist. Direkter Abbildungsweg mit einer ausreichend großen Apertur.</p>
Bindefehler, steilwinklige Schweißnaht-fase	 <p>LL-LL- oder TT-TT-Abbildungsweg. In einigen Fällen kann ein direkter Abbildungsweg durch die Schweißnaht verwendet werden. Die Positionierung des Prüfkopfes muss im Abtastplan berücksichtigt werden, um die spekulare Reflexion zu berücksichtigen.</p>	 <p>Direkter Abbildungsweg. Die Positionierung des Prüfkopfes muss im Abtastplan berücksichtigt werden, um die spekulare Reflexion zu berücksichtigen.</p>
Wurzelbindefehler/unge-nügende Durch-schweißung	  <p>Direkter Abbildungsweg für Spitze (oben) und/oder Reflexion an der Seite der Inhomogenität (z. B. TT-T/T-TT). Bei Wurzelkonkavität auch Empfang am Prüfkopf auf der anderen Seite der Schweißnaht nutzen.</p>	 <p>Direkter Abbildungsweg nur für Spitze (oben). Die Apertur muss ausreichend groß sein, um Signale zu empfangen.</p>

Schweißnaht-Inhomogenität	Abtastung von der Seite	Abtastung von oben
Lagenbindefehler	 <p>Direkter Abbildungsweg durch gleichzeitige Verwendung von Prüfköpfen auf beiden Seiten der Schweißnaht.</p>	 <p>Direkter Abbildungsweg.</p>
Innere Risse parallel zur Schweißnahtachse	 <p>LL-L/L-LL- oder TT-T/T-TT- oder LL-T-Abbildungsweg, da diese Inhomogenität nahezu senkrecht ist. Die Bestimmung der Höhenausdehnung der Inhomogenität erfolgt am besten auf der Grundlage von Beugungssignalen, die mit einem direkten Abbildungsweg (mit Prüfköpfen auf beiden Seiten der Schweißnaht gleichzeitig) empfangen werden.</p>	 <p>LL-L/L-LL-Abbildungsweg, da diese Inhomogenität fast senkrecht ist. Die Bestimmung der Höhenausdehnung der Inhomogenität erfolgt am besten auf der Grundlage von Beugungssignalen, die mit einem direkten Abbildungsweg (mit Elementen auf beiden Seiten der Schweißnaht gleichzeitig) empfangen werden. Direkter Abbildungspfad mit einer ausreichend großen Apertur.</p>
Abtastung von zur Oberfläche offenen Rissen und Einbrandkerben	 <p>LL-LL- oder TT-TT-Abbildungsweg und/oder direkte Bildgebung von Kriechwellen (auch bekannt als Hochwinkel-Kompressionsmodus). Die Keilkonstruktion, die Kriechwellen ermöglicht, sollte in der schriftlichen Prüfanweisung berücksichtigt werden.</p>	 <p>LL-LL-Abbildungsweg.</p>

Schweißnaht-Inhomogenität	Abtastung von der Seite	Abtastung von oben
Porosität in der Decklage	 <p>LL-LL- oder TT-TT-Abbildungsweg. Der ROI muss den Decklagenbereich oberhalb der Prüffläche umfassen.</p>	 <p>LL-LL-Abbildungsweg. Der ROI muss den Decklagenbereich oberhalb der Prüffläche umfassen.</p>
Zu große Wurzelüberhöhung	 <p>Direkter Abbildungsweg. Wenn eine zu große Wurzelüberhöhung nachzuweisen ist, muss der ROI die Zone unter der gegenüberliegenden Oberfläche einschließen.</p>	 <p>Direkter Abbildungsweg. Wenn eine zu große Wurzelüberhöhung nachzuweisen ist, muss der ROI die Zone unter der gegenüberliegenden Oberfläche einschließen.</p>
Einschlüsse	 <p>Der direkte Abbildungsweg und L-LL/LL-L oder T-TT-/TT-T werden genutzt. Einschlüsse haben ein niedriges Signal-Rausch-Verhältnis.</p>	 <p>Der direkte Abbildungsweg und L-LL/LL-L werden genutzt. Einschlüsse haben ein niedriges Signal-Rausch-Verhältnis.</p>

7.3 Verifizierung des Prüfaufbaus

Die Eignung des Prüfaufbaus muss mit Vergleichskörpern und Prüfkörpern, die echte Inhomogenitäten und/oder künstliche Reflektoren enthalten, verifiziert werden, sofern möglich.

7.4 Einstellung der Schrittweite

Bei Dicken:

- bis zu 6 mm darf die Schrittweite nicht mehr als 0,5 mm betragen;
- zwischen 6 mm und 10 mm darf die Schrittweite nicht mehr als 1 mm betragen;
- zwischen 10 mm und 150 mm darf die Schrittweite nicht mehr als 2 mm betragen;
- größer 150 mm wird ein Abtastschritt von 3 mm empfohlen.

Die Einstellung der Schrittweite senkrecht zur Schweißrichtung (auch Indexrichtung genannt) muss gegebenenfalls (z. B. bei Rasterabtastung) so gewählt werden, dass die Abdeckung des Prüfvolumens sichergestellt ist.

7.5 Überlegungen zur Geometrie

Bei der Prüfung von Schweißnähten mit komplexer Geometrie, z. B. eine Schweißnaht, die Werkstoffe verschiedener Dicke miteinander verbindet oder Werkstoffe, die in einem Winkel verbunden werden oder Stutzen, muss achtsam vorgegangen werden. Die Prüfungen müssen immer unter der Prüfkategorie D durchgeführt werden. Bei diesen Geometrien können TFM-Algorithmen angewendet werden, die bessere Fähigkeiten als PAUT aufweisen. Zum Beispiel sind einige Implementierungen der TFM in der Lage, die Geometrie des Prüfgegenstands abzubilden und sich auf Änderungen der Geometrie einzustellen, wie z. B. Anpassung an geometrische Veränderungen auf dem Umfang eines Stutzens oder ein adaptiver Algorithmus zur Anpassung bei Wanddickenänderungen. Bei der Abtastung von oben kann ein adaptiver Algorithmus verwendet werden, um die Geometrie der Schweißnahtdecklage zu berücksichtigen. Derartige adaptive Algorithmen müssen in der schriftlichen Prüfanweisung festgelegt sein, und der sich daraus ergebende Aufbau muss vor der Prüfung an geeigneten Prüfkörpern demonstriert werden.

7.6 Vorbereitung der Prüfflächen

Die Prüfflächen müssen sauber sein, in einem Bereich, der groß genug ist, um das Prüfvolumen vollständig abdecken zu können. Die Prüfflächen müssen eben und frei von Verunreinigungen sein, die die Ankopplung behindern (z. B. Rost, loseem Zunder, Schweißspritzern, Kerben und Riefen). Der Zustand der Prüffläche darf nicht zu einem Spalt zwischen dem Prüfkopf und der Prüffläche führen, der größer als 0,5 mm ist. Zur Erfüllung dieser Anforderungen müssen die Prüfflächen gegebenenfalls bearbeitet werden.

Prüfflächen dürfen als zufriedenstellend angesehen werden, wenn die Oberflächenrauheit R_a bei bearbeiteten Oberflächen nicht größer als 6,3 µm und bei gestrahlten Oberflächen nicht größer als 12,5 µm ist.

Wenn eine Beschichtung wie z. B. Farbe vorhanden ist und nicht entfernt werden kann, sind Vergleichskörper oder Prüfkörper mit identischer Beschichtung erforderlich. Zusätzlich müssen die erforderlichen Korrekturmaßnahmen bestimmt und angewendet werden.

Bei Verwendung einer angepassten Prüfkopfsohle oder einer (lokalen) Tauchtechnik muss die Oberfläche ausreichend glatt sein, um korrekte Bildgebungsergebnisse sicherzustellen. Die Anforderungen an die Decklage müssen in der schriftlichen Prüfanweisung eindeutig dokumentiert sein. Die Bildgebungsergebnisse müssen an geeigneten Proben, die eine Schweißnaht enthalten, nachgewiesen werden.

7.7 Temperatur

Die Oberflächentemperatur des Prüfgegenstands sollte im Bereich von 0 °C bis 50 °C liegen. Für Temperaturen außerhalb dieses Bereichs muss die Eignung der Prüfeinrichtung verifiziert werden. Es können besondere Hochtemperatur-Array-Prüfköpfe und ein geeignetes Koppelmittel erforderlich sein.

7.8 Koppelmittel

Um korrekte Bilder zu erzeugen, muss ein Koppelmittel verwendet werden, das eine konstante Übertragung des Ultraschalls zwischen dem Prüfkopf/den Prüfköpfen und dem Prüfgegenstand sicherstellt. Für die Kalibrierung muss dasselbe Koppelmittel verwendet werden, das auch bei den nachfolgenden Prüfungen und Nachkalibrierungen verwendet wird.

Bei Verwendung einer angepassten Prüfkopfsohle oder einer (lokalen) Tauchtechnik müssen die Anforderungen an das Koppelmittel, die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit einschließlich

Temperaturabhängigkeit und die Verifizierung der Ankopplung in der schriftlichen Prüfanweisung eindeutig dokumentiert sein.

8 Prüfung des Grundwerkstoffs

Der Grundwerkstoff im Prüfbereich muss geprüft werden, um nachzuweisen, dass die Prüfung der Schweißnaht nicht durch vorhandene Inhomogenitäten, insbesondere von Laminierungen, beeinflusst wird.

Wenn Unregelmäßigkeiten gefunden werden, muss ihr Einfluss auf die vorgesehene Schweißnahtprüfung abgeschätzt werden, und die Abbildungswege und Prüftechniken müssen, falls erforderlich, entsprechend angepasst werden. Wenn eine zufriedenstellende Erfassung des Prüfvolumens durch eine Ultraschallprüfung ernsthaft beeinträchtigt ist, müssen andere Prüftechniken (z. B. eine Durchstrahlungsprüfung) in Betracht gezogen werden.

9 Prüfbereich und Prüfempfindlichkeit

9.1 Allgemeines

Prüfbereich und Prüfempfindlichkeit müssen für jeden Abbildungsweg in jedem ROI vor jeder Prüfung nach diesem Dokument eingestellt werden. Jede Änderung im Aufbau, z. B. Änderung der Prüfkopfposition, des ROI oder des verwendeten Abbildungsweges, erfordert eine Verifizierung der Einstellungen.

Das Signal-Rausch-Verhältnis im Bild sollte mindestens 12 dB für die Referenzsignale basierend auf Reflexion betragen. Das Verfahren oder das Werkzeug für die Messung des Signal-Rausch-Verhältnisses muss in der schriftlichen Prüfanweisung festgelegt sein.

9.2 Prüfbereichs- und Prüfempfindlichkeitseinstellungen

9.2.1 Allgemeines

Nach der Auswahl der Prüftechnik und der/des Abbildungswege(s):

- a) muss die Empfindlichkeit für jeden Abbildungsweg in jedem ROI eingestellt werden;
- b) wenn ein Prüfkopf mit Keil verwendet wird, muss die Empfindlichkeit mit eingesetztem Keil eingestellt werden;
- c) wenn ein Prüfkopf mit flexiblem, anpassungsfähigem Keil verwendet wird oder die Tauchtechnik angewendet wird, muss die Empfindlichkeit mit eingesetztem Keil oder bei der Tauchtechnik mit Vorlaufkörper eingestellt werden.

9.2.2 Einstellbereich und Empfindlichkeit am Prüfgegenstand selbst

Da die TFM die Geometrie des Prüfgegenstands abbilden kann, ist es möglich, den Prüfbereich und die Prüfempfindlichkeit am Prüfgegenstand einzustellen. Dies hat den Vorteil, dass kein Kalibrier- oder Vergleichskörper benötigt wird. In der schriftlichen Prüfanweisung muss angegeben sein, an welchen geometrischen Merkmalen (z. B. Rückwand, Seitenwand) der Prüfbereich und die Prüfempfindlichkeit eingestellt werden und wie die Prüfempfindlichkeit angepasst wird, um die während der Prüfung erforderliche Empfindlichkeit zu erhalten.

Um die Übereinstimmung dieses Dokuments mit anderen Normen sicherzustellen, ist diese Option nur für Prüfkategorie A erlaubt.

9.2.3 Verstärkungskorrekturen

Das in ISO 23865:2021, 10.3, beschriebene Verfahren kann angewendet werden, um eine Prüfung mit Verstärkungskorrektur durchzuführen, die der zeitkorrigierten Verstärkung (en: time-corrected gain, TCG) in anderen Ultraschalltechniken ähnlich ist. Die Verstärkungskorrektur ermöglicht die Darstellung von Signalen desselben Reflektors mit derselben Amplitude unabhängig vom Abstand.

9.3 Überprüfung der Einstellungen

Die Einstellungen müssen mindestens alle 4 Stunden und nach Beendigung der Prüfung überprüft werden. Dauert die einzelne Prüfung länger als 4 h, müssen die Einstellungen nach Beendigung der Prüfung überprüft werden.

Wurde für die Ersteinstellung ein Vergleichskörper verwendet, muss derselbe Vergleichskörper für die Überprüfung zu den Zwischenzeitpunkten und am Ende der Prüfdauer verwendet werden. Alternativ darf ein kleinerer Vergleichskörper mit bekannten Übertragungseigenschaften verwendet werden.

Falls während dieser Überprüfungen Abweichungen von den Anfangseinstellungen nach 9.1 festgestellt werden, müssen die in der Tabelle 4 angegebenen Korrekturen durchgeführt werden.

Tabelle 4 — Korrekturen der Prüfempfindlichkeit und des Prüfbereichs

Prüfempfindlichkeit	
Abweichungen ≤ 4 dB ^{a, b}	Keine Maßnahmen erforderlich; die Daten dürfen per Software korrigiert werden.
Abweichungen > 4 dB ^{a, b}	Die gesamte Messkette muss überprüft werden. Falls keine fehlerhaften Bauteile festgestellt werden, müssen die Einstellungen korrigiert werden und alle seit der letzten gültigen Prüfung durchgeführten Prüfungen müssen wiederholt werden.
Prüfbereich	
Abweichungen $\leq 0,5$ mm oder 2 % des Tiefenbereichs, je nachdem, welcher Wert der größere ist	Keine Maßnahmen erforderlich.
Abweichungen $> 0,5$ mm oder 2 % des Tiefenbereichs, je nachdem, welcher Wert der größere ist	Die Einstellungen müssen korrigiert werden und alle seit der letzten gültigen Prüfung durchgeführten Prüfungen müssen wiederholt werden.
^a Das erforderliche Signal-Rausch-Verhältnis muss erreicht werden.	
^b Für Reflexionssignale gilt eine Abweichung von 4 dB. Für Beugungssignale ist eine Abweichung von 6 dB zulässig.	

10 Vergleichskörper und Prüfkörper

10.1 Allgemeines

Je nach Prüfklasse müssen Vergleichskörper verwendet werden, um die Eignung der Prüfung zu bestimmen (z. B. Erfassung des Prüfvolumens, Einstellung der Prüfempfindlichkeit). Empfehlungen zu Vergleichskörpern werden in Anhang A gegeben.

10.2 Werkstoff

Der Vergleichskörper muss aus einem ähnlichen Werkstoff wie der Prüfgegenstand bestehen, z. B. hinsichtlich der Schallgeschwindigkeit, des Gefüges und des Oberflächenzustands.

10.3 Maße und Form

Es wird empfohlen, dass die Dicke des Vergleichskörpers zwischen dem 0,8- und 1,5-Fachen der Dicke des Prüfgegenstands beträgt, wobei der Dickenunterschied zum Prüfgegenstand höchstens 20 mm betragen darf. Die Länge und Breite des Vergleichskörpers sollten so gewählt werden, dass alle künstlichen Inhomogenitäten richtig abgetastet werden können. Für die Prüfung von Längsnähten in zylindrischen Prüfgegenständen müssen gekrümmte Vergleichskörper verwendet werden, deren Durchmesser das 0,9- bis 1,5-Fache des Durchmessers des Prüfgegenstands beträgt. Bei Prüfgegenständen mit einem Durchmesser ≥ 300 mm darf ein ebener Vergleichskörper eingesetzt werden.

In allen Fällen ist die hinsichtlich Durchmesser oder Krümmung in 7.6 genannte Anforderung vorgeschrieben. Der größte zulässige Spalt zwischen der Sohle des Prüfkopfs und dem Vergleichskörper beträgt 0,5 mm.

10.4 Bezugsreflektoren

Bei einer Dicke von 3,2 mm bis 25 mm sind mindestens drei Reflektoren erforderlich. Bei einer Dicke $t > 25$ mm sind mindestens fünf Reflektoren erforderlich. Typische Bezugsreflektoren sind Querbohrungen, Nuten und Flachbodenlöcher.

In Tabelle 5 und Anhang A sind Einzelheiten zu den Vergleichskörpern der jeweiligen Prüfklasse angegeben. Alternativ können auch Vergleichskörper nach ISO 10863:2020, Anhang A, mit Nuten verwendet werden.

Tabelle 5 — Prüfklassen und Vergleichskörper

Prüfklasse	Vergleichskörper
A	siehe Bild A.1 oder Bild A.4
B	siehe Bild A.2 oder Bild A.4
C	siehe Bild A.3 oder Bild A.4
D	wie festgelegt

Nuten können zur Erzeugung von Reflexions- oder Beugungssignalen verwendet werden, je nach Abbildungsweg und Form der Nutspitze.

11 Überprüfung der Ausrüstung

Es muss überprüft werden, ob alle wichtigen Kanäle, Prüfköpfe und Kabel des Ultraschallprüfsystems funktionsfähig sind. Diese Kontrollen müssen täglich vor und nach der Prüfung durchgeführt werden. Wenn ein Teil des Systems ausfällt, müssen Korrekturmaßnahmen durchgeführt werden und das System muss erneut überprüft werden. Falls sich herausstellt, dass ein System während der Prüfdauer versagt hat, müssen alle Prüfungen, die in dieser Zeit erfolgten, wiederholt werden, sobald die Korrekturmaßnahmen durchgeführt wurden.

12 Verfahrensverifizierung

Für die Prüfklasse D ist eine Verfahrensverifizierung erforderlich. Es muss nachgewiesen werden, dass das Prüfverfahren an einem oder mehreren Referenzkörpern zulässig funktioniert. Vor der ersten Prüfung muss eine zufriedenstellende Verfahrensqualifikation stattfinden.

Eine zufriedenstellende Verfahrensqualifikation umfasst:

- a) Auffinden aller erforderlichen Reflektoren mit dem minimalen Signal-Rausch-Verhältnis, wie entweder in 9.1 oder bei Prüfklasse D nach Vereinbarung festgelegt;
- b) Eignung zur Größenbestimmung, wie in der Spezifikation gefordert;
- c) Nachweis der Abdeckung in Tiefe und Breite.

13 Prüfung der Schweißnähte

Vor der ersten Prüfung muss die Abdeckung mit dem Abtastplan verifiziert werden und an einem geeigneten Vergleichskörper nachgewiesen werden.

Zulässige Abweichungen der Prüfkopfposition im Verhältnis zur Mittellinie der Schweißnaht müssen in der Prüfanweisung dokumentiert werden und müssen im Abtastplan abgedeckt und an einem Vergleichskörper nachgewiesen werden.

Einige Anzeigen, die während der Erstabtastung aufgefunden werden, können zusätzliche Beurteilung, Abtastungen mit zusätzlichen Abbildungswegen und Abtastungen senkrecht zur Inhomogenität erfordern. Dies kann durch zusätzliche Nachbearbeitung der Daten erfolgen, wenn die Daten während der Erstabtastung gespeichert wurden.

Die Abtastgeschwindigkeit muss so gewählt werden, dass die erforderlichen Daten für jede Abtastposition erfasst werden, z. B. die gesamte Matrix oder die festgelegte Teilmenge. Fehlende Abtastzeilen weisen darauf hin, dass die verwendete Abtastgeschwindigkeit zu hoch war. Es dürfen höchstens 5 % der insgesamt bei einer einzelnen Abtastung erfassten Linien fehlen, jedoch dürfen keine nebeneinander liegende Linien fehlen.

Wird eine Schweißnaht an mehreren Stellen abgetastet, ist eine Überlappung von mindestens 20 mm zwischen benachbarten Abtastbereichen erforderlich. Bei der Prüfung von Umfangsschweißnähten ist dieselbe Überlappung auch zwischen dem Ende der letzten Abtastung und dem Beginn der ersten erforderlich.

Gegebenenfalls wird eine Kontrollfunktion für die Kopplungseffizienz empfohlen.

14 Datenspeicherung

Im Vergleich zur PAUT wird bei der FMC und verwandten Techniken üblicherweise ein größeres Volumen an A-Bild-Daten erfasst, was der Erfassung aller möglichen Kombinationen der Sender und Empfänger in einem Array-Prüfkopf/Array-Prüfköpfen, der Vollmatrix, entspricht. Die Bilder werden aus der Matrix der A-Bilder entweder auf der Erfassungshardware oder auf einem mit der Erfassungshardware verbundenen Rechner berechnet. In beiden Fällen kann die Menge der A-Bild-Daten zu groß sein, um sie zu speichern. Die original erzeugten Bilder sowie die Original-Bildgebungsparameter müssen gespeichert werden.