

Zerstörungsfreie Prüfung
Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung
Teil 2: Prüfköpfe
Deutsche Fassung EN 12668-2:2001

DIN
EN 12668-2

ICS 19.100

Non-destructive testing — Characterization and verification
of ultrasonic examination equipment — Part 2: Probes;
German version EN 12668-2:2001

Essais non destructifs — Caractérisation et vérification de
l'appareillage de contrôle pour ultrasons — Partie 2: Traducteurs;
Version allemande EN 12668-2:2001

Die Europäische Norm EN 12668-2:2001 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm ist im Komitee CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ unter intensiver deutscher Mitarbeit ausgearbeitet worden. Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NMP 823 „Ultraschallprüfung“ des Normenausschusses Materialprüfung (NMP) verantwortlich.

Fortsetzung 54 Seiten EN

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

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Zerstörungsfreie Prüfung
**Charakterisierung und Verifizierung
der Ultraschall-Prüfausrüstung**
Teil 2: Prüfköpfe

Non-destructive testing — Characterization and verification
of ultrasonic examination equipment —
Part 2: Probes

Essais non destructifs — Caractérisation et vérification de
l'appareillage de contrôle pour ultrasons —
Partie 2: Traducteurs

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 16. April 2001 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	3
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	4
4 Allgemeine Anforderungen zur Übereinstimmung	5
5 Technisches Merkblatt des Herstellers für Prüfköpfe	6
6 Messausrüstung	9
6.1 Elektronische Geräte.....	9
6.2 Vergleichskörper und andere Ausrüstung.....	9
7 Anforderungen an die Prüfkopfeigenschaften	11
7.1 Äußeres Erscheinungsbild	11
7.2 Form des Hochfrequenz-Impulses	12
7.3 Impulsspektrum und Bandbreite	12
7.4 Relative Echo-Empfindlichkeit.....	13
7.5 Abstand-Amplituden-Kurve	13
7.6 Elektrische Impedanz oder statische Kapazität	14
7.7 Parameter zum Schallbündel von Tauchtechnik-Prüfköpfen.....	15
7.8 Schallbündelparameter — Senkrechtprüfköpfe mit einem Schwinger für direkten Kontakt	19
7.9 Schallbündelparameter — Winkelprüfköpfe mit einem Schwinger für direkten Kontakt	23
7.10 Schallbündelparameter — Senkrecht-SE-Prüfköpfe für direkten Kontakt	27
7.11 Schallbündelparameter — SE-Winkelprüfköpfe für direkten Kontakt	29
Anhang A (normativ) Berechnung der Nahfeldlänge für nicht fokussierende Prüfköpfe.....	48
Anhang B (informativ) Kalibrierkörper für Winkelprüfköpfe	51

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom CEN/TC 138 „Zerstörungsfreie Prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2001, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2001 zurückgezogen werden.

Diese Europäische Norm besteht aus den folgenden Teilen:

EN 12668-1, *Zerstörungsfreie Prüfung – Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung – Teil 1: Prüfgeräte.*

EN 12668-2, *Zerstörungsfreie Prüfung – Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung – Teil 2: Prüfköpfe.*

EN 12668-3, *Zerstörungsfreie Prüfung – Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung – Teil 3: Komplette Prüfausrüstung.*

Anhang A ist normativ. Anhang B ist informativ.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für Prüfköpfe für die zerstörungsfreie Prüfung mit Ultraschall mit Mittenfrequenzen zwischen 0,5 MHz und 15 MHz, fokussierend oder ohne fokussierende Vorrichtungen in den folgenden Kategorien:

- a) Prüfköpfe für den direkten Kontakt mit einem oder zwei Schwingern, die Longitudinalwellen oder Transversalwellen erzeugen;
- b) Tauchtechnik-Prüfköpfe.

Wenn materialabhängige Ultraschallwerte in dieser Norm angegeben werden, beruhen sie auf Stahl mit einer Schallgeschwindigkeit von $(5\,920 \pm 50)$ m/s bei Longitudinalwellen und von $(3\,255 \pm 30)$ m/s bei Transversalwellen.

Wiederkehrende Überprüfungen für Prüfköpfe sind nicht in diesem Teil der Norm enthalten. Routinemäßige Kontrollen zur Beurteilung von Prüfköpfen mit Methoden, die am Prüfort angewendet werden können, sind in EN 12668-3 aufgeführt.

Wenn mit Zustimmung der Vertragspartner außer den in EN 12668-3 aufgeführten Parametern auch noch zusätzliche Parameter während der Lebensdauer des Prüfkopfes gemessen werden müssen, so sollten die Verfahren zur Beurteilung für diese zusätzlichen Parameter aus den im vorliegenden Teil der Norm aufgeführten Verfahren ausgewählt werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 1330-4, *Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 4: Begriffe der Ultraschallprüfung.*

EN 12223, *Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Beschreibung des Kalibrierkörpers Nr 1.*

EN 12668-1, *Zerstörungsfreie Prüfung – Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung – Teil 1: Prüfgeräte.*

EN 12668-3, *Zerstörungsfreie Prüfung – Charakterisierung und Verifizierung der Ultraschall-Prüfausrüstung – Teil 3: Komplette Prüfausrüstung.*

EN 27963, *Schweißverbindungen in Stahl – Kalibrierkörper Nr. 2 zur Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen (ISO 7963:1985).*

EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme – Modell zur Darlegung des Qualitätsmanagementsystems in Design, Entwicklung, Produktion, Montage und Kundendienst (ISO 9001:1994).*

EN ISO 9002, *Qualitätsmanagementsysteme – Modell zur Darlegung des Qualitätsmanagementsystems in Produktion, Montage und Kundendienst (ISO 9002:1994).*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die Begriffe nach EN 1330-4 zusammen mit den folgenden Begriffen:

3.1

tote Zone

die Ausdehnung des Bereiches unmittelbar hinter der Ankoppelfläche des Prüfobjektes, in der ein vorgegebener Reflektor nicht gezeigt wird

3.2

Fokusabstand (Nahfeldlänge)

der Punkt auf der akustischen Achse, an der der Schalldruck sein Maximum erreicht

3.3

horizontale Ebene des Schallbündels

bei Winkelprüfköpfen die Ebene, die senkrecht auf der vertikalen Ebene des Schallbündels steht und die akustische Achse im Werkstoff enthält

3.4

Arbeitsfrequenz (Mittenfrequenz) f_0

im Frequenzspektrum eines Echos werden die oberen und unteren Grenzfrequenzen zur 6-dB-Amplitudenabnahme bestimmt. Mit diesen oberen und unteren Frequenzen f_u und f_l wird die Mittenfrequenz berechnet:

$$f_0 = \sqrt{f_u \times f_l}$$

3.5

Spitze-Spitze-Amplitude h

der Abstand zwischen der größten positiven und der größten negativen Auslenkung des Impulses (siehe Bild 1)

3.6

Prüfkopf-Datenblatt

ein Blatt, das zu jedem Prüfkopf gehört und das Informationen über die Prüfkopfeigenschaften gibt; das Prüfkopfdatenblatt muss nicht notwendigerweise ein Prüf-Zertifikat über die individuellen Prüfkopfeigenschaften sein

3.7

Impulsdauer

das Zeitintervall, in dem der Betrag der Amplitude des nicht gleichgerichteten Impulses 10 % der Maximalamplitude übersteigt, wie in Bild 1 gezeigt

3.8

Bezugsseite

die Bezugsseite ist die rechte Seite eines Winkelprüfkopfes, wenn man in Richtung des Schallbündels sieht; es sei denn, sie ist durch den Hersteller anders festgelegt

3.9

relative Bandbreite Δf_{rel}

das Verhältnis zwischen der Differenz der oberen und unteren Grenzfrequenzen f_u und f_l und der Mittenfrequenz f_0 in Prozenten ausgedrückt

$$\Delta f_{rel} = [(f_u - f_l) / f_0] \times 100 \%$$

3.10

Schielwinkel für Senkrechtprüfköpfe δ

der Winkel zwischen der Achse des Schallbündels und der Senkrechten auf die Ankoppelfläche im Einschallungspunkt (siehe Bild 2)

für Winkelprüfköpfe

der Winkel zwischen den Seitenflächen des Prüfkopfgehäuses und der Projektion der gemessenen Schallbündelachse auf die Koppelfläche des Prüfkopfes (siehe Bild 3)

3.11

Schwinger

Element im Prüfkopf, das elektrische Schwingungen in mechanische Schwingungen umwandelt und umgekehrt; meist werden piezoelektrische Schwinger verwendet

3.12

vertikale Ebene des Schallbündels

bei Winkelprüfköpfen die Ebene, in der sowohl die Schallbündelachse im Prüfkopfkeil als auch die Schallbündelachse im Prüfobjekt liegen

4 Allgemeine Anforderungen zur Übereinstimmung

Ein Prüfkopf entspricht dieser Norm, wenn er folgende Anforderungen erfüllt:

- Der Prüfkopf muss die technischen Anforderungen dieser Norm erfüllen.
- Der Prüfkopf trägt eine einzigartige fortlaufende Nummer, aus der die Arbeitsfrequenz, die Schwingergröße, der Einschallwinkel, die Wellenart hervorgeht, oder aber er trägt eine Kennnummer, mit der diese Informationen gefunden werden können.
- Für den entsprechenden Prüfkopftyp und die entsprechende Prüfkopfeserie gibt es ein Datenblatt, das die Eigenschaften in Übereinstimmung mit Abschnitt 5 dieser Norm angibt.

Die Qualität von Prüfköpfen wird nach einer der beiden folgenden Methoden bestätigt:

- a) Wo eine große Anzahl von identischen Prüfköpfen unter einem Qualitätsmanagementsystem gefertigt werden, z. B. nach EN ISO 9001 und EN ISO 9002, werden Messungen an einer statistisch relevanten Anzahl von Prüfköpfen durchgeführt. Der Hersteller stellt ein vorgedrucktes Dokument — genannt Datenblatt — zur Verfügung, das die Werte zu den entsprechenden Parametern mit Toleranzen aufführt.
- b) Durch Herausgabe eines Dokumentes — genannt Herstellererklärung —, das die Messwerte für einen einzelnen Prüfkopf angibt. Dies kommt infrage, wenn nur eine kleine Stückzahl von Prüfköpfen gleichen Typs gefertigt wird oder wenn es sich um Prüfköpfe für besondere Prüfaufgaben handelt.

5 Technisches Merkblatt des Herstellers für Prüfköpfe

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Informationen, die ein Hersteller in einem Datenblatt zu jedem Prüfkopf liefern muss, der in den Bereich dieser Norm fällt (I Information, M Messung, C Berechnung). Das Datenblatt muss darüber hinaus auch Informationen geben über die zur Kontrolle benutzten Geräte, ihre Einstellungen, die Ankoppelbedingungen usw.

Außerdem muss der Hersteller den erlaubten Temperaturbereich für den Prüfkopf angeben sowie alle besonderen Bedingungen für Lagerung und Transportsicherung.

Der Lieferant und der Besteller können vereinbaren, falls notwendig, einige Informationen auszulassen und/oder einige andere Angaben, die nicht in Tabelle 1 enthalten sind, einzuschließen.

Für Prüfköpfe, die bei erhöhten Temperaturen betrieben werden, muss der Hersteller darüber informieren, welche höchste Temperatur bei welcher Prüfdauer erlaubt ist, auch über den Einfluss der Temperatur auf die Prüfempfindlichkeit und den Einschallwinkel.

Tabelle 1 — Liste der Informationen in einem Datenblatt

geforderte Informationen	Prüfkopf-kategorie														Tauchttechnik	
	Kontakt														Senkrecht	
	Senkrecht							Winkel							Senkrecht	
	longitudinal							trans-versal							longitudinal	
	einzeln		doppelt		trans-versal			einzeln		doppelt		trans-versal			einzeln	
	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	nfo	fok
Hersteller	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Prüfkopftyp	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Gewicht und Größe des Prüfkopfes	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Anschlussbuchsen	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
SE-Anschlüsse austauschbar			I	I						I	I			I		
Schwingermaterial	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Schwingerform, -größe	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Vorlauf-, Keilmaterial	I	I	I	I				I	I	I	I	I	I	I		
Schutzschichtmaterial	I															
erlaubte Abnutzung	I	I	I	I				I	I	I	I	I	I	I		

I = Information; M = Messwert; C = Berechnung; nfo = nicht fokussierend; fok = fokussierend

Tabelle 1 (abgeschlossen)

Parameter, die gemessen oder berechnet werden müssen	Prüfkopfkatgorie															
	Kontakt								Winkel							
	Senkrecht								transversal							
	longitudinal				trans- versal				longitudinal				transversal			
	einzeln		doppelt		einzeln		doppelt		einzeln		doppelt		einzeln		doppelt	
	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok	nfo	fok
Übersprechdämpfung			M	M			M	M			M	M			M	M
Impulsform (Zeit und Frequenz)	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Mittenfrequenz, Bandbreite	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Echo-Empfindlichkeit	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Abstand-Amplituden-Kurve	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C
Impedanz, statische Kapazität	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Einschallpunkt									M	M	M	M	M	M		
Einschallwinkel									M	M	M	M	M	M		
Divergenzwinkel	M				M				M				M		M	
Versatz Bündelachse	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
Schielwinkel	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
Fokusabstand, Nahfeld	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C
Fokusedurchmesser	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Länge Fokusbereich	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Äußeres Bild	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
I = Information; M = Messwert; C = Berechnung; M,C = Messwert oder Berechnung; nfo = nicht fokussierend; fok = fokussierend																

6 Messausrüstung

6.1 Elektronische Geräte

Das Ultraschallgerät (oder ein labormäßiger Impulssender/-empfänger), das für die Überprüfungen nach Abschnitt 7 benutzt wird, muss vom gleichem Typ sein wie auf dem Prüfkopf-Datenblatt angegeben und muss, soweit anwendbar, die Forderungen nach EN 12668-1 erfüllen. Wenn mehr als ein Ultraschallgerät im Datenblatt aufgeführt ist, muss die Überprüfung mit allen diesen Geräten durchgeführt werden.

Die Überprüfung muss mit den zum gewählten Ultraschallgerät im Datenblatt genannten Kabeln und elektrischen Anpassvorrichtungen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Prüfkopfkabel von mehr als 2 m Länge können einen erheblichen Einfluss auf die Prüfkopfeigenschaften haben.

Zusätzlich zum Ultraschallgerät oder einem labormäßigen Impulssender/-empfänger sind zur Kontrolle von Prüfköpfen nach dieser Norm noch folgende Ausrüstungsgegenstände erforderlich:

- a) ein Oszilloskop mit einer Mindestbandbreite von 100 MHz;
- b) ein Frequenzanalysator mit einer Mindestbandbreite von 100 MHz oder ein Oszilloskop/Digitaloszilloskop zur Fourier Transformation (FFT);
- c) ein Impedanz-Messgerät.

Die folgende zusätzliche Ausrüstung kann wahlweise hinzugezogen werden:

— nur für Prüfköpfe für direkten Kontakt:

- d) ein elektromagnetisch-akustischer Prüfkopf und Empfänger;
- e) einen Plotter zur Aufnahme von Richtcharakteristiken.

— nur für Tauchtechnik-Prüfköpfe:

- f) ein Hydrophon als Empfänger mit einem aktiven Durchmesser von weniger als dem Doppelten der Wellenlänge (zur Mittenfrequenz) des zu messenden Prüfkopfes, aber nicht kleiner als 0,5 mm. Die Bandbreite des Verstärkers sollte größer als die Bandbreite des zu messenden Prüfkopfes sein.

6.2 Vergleichskörper und andere Ausrüstung

Die Kontrollen an Prüfköpfen für direkten Kontakt müssen mit den folgenden Vergleichskörpern durchgeführt werden:

- a) Halbzylindern mit unterschiedlichen Radien (R) im Bereich von 12 mm bis 200 mm. Es wird ein Satz mit Abstufungen entsprechend dem Faktor $R\sqrt{2}$ empfohlen. Die Stahlqualität muss die gleiche sein, wie in EN 27963 definiert. Die Dicke der Vergleichskörper muss größer oder gleich seinem Radius sein, aber höchstens 100 mm betragen;
- b) Stahlkörper mit parallelen Flächen mit Querbohrungen von 3 mm Durchmesser, wie sie in Bild 4a) gezeigt werden. Die Abmessungen des Körpers müssen die folgenden Anforderungen erfüllen:
 - Länge (l), Höhe (h) und Breite (w) müssen so beschaffen sein, dass die Seiten des Körpers nicht auf das Ultraschallbündel einwirken können.

- Die Tiefe der Bohrungen ($d_1, d_2, \dots$) muss derart sein, dass mindestens drei Bohrungen außerhalb des Nahfeldes liegen.
 - Die Abstände (s) zwischen den Bohrungen müssen derart sein, dass das Amplitudenprofil entlang der Bohrungen einen Amplitudenabfall von mindestens 26 dB zwischen zwei benachbarten Bohrungen zeigt.
 - Die Stahlqualität ist die gleiche, wie in EN 27963 definiert.
- c) Stahlkörper mit geneigten Flächen, die eine Nut aufweisen, wie sie in Bild 4b gezeigt werden und Stahlkörper mit Bohrungen mit halbkugeligen Boden, wie sie in den Bildern 4c und 4d gezeigt werden. Die Stahlqualität ist die gleiche, wie in EN 27963 definiert. Diese Stahlkörper dienen zur Messung der Bündeldivergenz in der horizontalen bzw. in der vertikalen Ebene;
- d) ein alternativer Stahlkörper zur Bestimmung des Einschallpunktes, des Einschallwinkels und der Bündeldivergenz für Winkelprüfköpfe wird in Anhang A beschrieben;
- e) ein Stahlmaß;
- f) Messfühler beginnend bei einer Dicke von 0,05 mm.

ANMERKUNG Wenn nur spezielle Prüfköpfe gemessen werden, sind nicht alle hier erwähnten Stahlkörper erforderlich, z. B. sind Stahlkörper zur Bestimmung des Einschallpunktes und des Einschallwinkels nicht erforderlich, wenn nur Senkrecht-Prüfköpfe gemessen werden müssen.

Zur Überprüfung von Tauchtechnik-Prüfköpfen müssen die folgenden Reflektoren und die folgende zusätzliche Ausrüstung benutzt werden:

- g) eine Stahlkugel oder eine Stange mit halbkugeligem Ende mit glatter, reflektierender Oberfläche. Der Durchmesser der Kugel (oder Halbkugel) ist zu jedem Frequenzbereich in der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 — Durchmesser von Stahlkugeln (Stangen) für unterschiedliche Prüffrequenzen

Prüfkopf-Mittenfrequenz in MHz	Durchmesser d der Kugel oder Stange mm
$3 < f \leq 15$	$d \leq 3$
$0,5 \leq f \leq 3$	$3 < d \leq 5$

- h) eine große, ebene Scheibe. Die Abmessungen dieses Reflektors müssen mindestens das Zehnfache der Schallbündelbreite des zu messenden Prüfkopfes am Ende des Fokusbereiches betragen, wie er in 7.7.2.2 definiert ist.

Die Dicke muss mindestens das Fünffache der Wellenlänge des verwendeten Prüfkopfes betragen, wobei die Schallgeschwindigkeit des Werkstoffes des Reflektors benutzt wird.

- i) ein Tauchtechnik-Tank, ausgerüstet mit einer manuellen oder mechanisierten Verfahrbücke mit fünf freien Achsen:
- drei lineare Achsen X, Y, Z
 - zwei Drehachsen Θ und Ψ .
- j) Aufzeichnungsgeräte: Wenn die Ultraschallsignale automatisch aufgezeichnet werden, ist der Hersteller dafür verantwortlich, dass das System mit ausreichender Genauigkeit arbeitet. Besondere Aufmerksamkeit ist dabei dem Einfluss der Bandbreite, dem räumlichen Auflösungsvermögen, der Datenverarbeitung und der Datenspeicherung auf die Genauigkeit der Ergebnisse zu widmen.

In dieser Norm werden die Koordinatensysteme wie in Bild 12 und in Bild 13 benutzt.

Die Abtastmechanik sollte in der Lage sein, mit Prüfkopf und Reflektor in der X- und Y-Richtung zu fluchten, d. h. sie darf bei 100 mm Abstand in der Z-Richtung nur um $\pm 0,1$ mm in der X- und Y-Richtung abweichen.

Die Wassertemperatur im Tank muss während der Vermessung des Schallbündels von Tauchtechnik-Prüfköpfen nach 7.7. im Bereich von (20 ± 2) °C gehalten werden.

Der Einfluss der Schallschwächung im Wasser muss berücksichtigt werden. Bei breitbandigen Prüfköpfen und hohen Prüffrequenzen verursacht sie eine Frequenzerniedrigung beim Echo.

Die Tabelle 3 zeigt die Frequenzerniedrigung in Abhängigkeit von der Wasserstrecke.

Tabelle 3 — Frequenzerniedrigung in Prozent der Mittenfrequenz f_0 in Abhängigkeit vom zurückgelegten Weg in Wasser für die relativen Bandbreiten 50 % und 100 %.

f_0 MHz	Band- breite %	gesamter Schallweg in Wasser, mm															
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350	400
5	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3
	100	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	5	6	7	9	10	11
10	50	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	5	6	7	9	10	11
	100	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	21	24	28	31	34
15	50	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7	10	13	15	18	20	23
	100	3	6	8	10	13	15	17	19	21	23	30	37	42	47	50	54
20	50	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	21	24	28	31	34
	100	5	10	13	17	21	24	27	29	32	34	44	51	56	61	64	67
25	50	2	4	6	7	9	11	12	14	15	17	23	29	34	38	41	45
	100	7	14	20	24	29	33	36	39	42	45	55	62	67	70	74	76
30	50	3	6	8	10	13	15	17	19	21	23	30	37	42	47	50	54
	100	10	19	26	32	37	41	45	48	51	54	64	70	74	78	80	82

7 Anforderungen an die Prüfkopfeigenschaften

7.1 Äußeres Erscheinungsbild

7.1.1 Methode

Durch Augenschein wird das Äußere des Prüfkopfes kontrolliert, ob die Identifizierung korrekt ist, ob die Einzelteile korrekt zusammengesetzt sind, und ob eine Beschädigung vorliegt, die die Zuverlässigkeit jetzt und in der Zukunft beeinträchtigen könnte. Bei Prüfköpfen für direkten Kontakt muss die Planheit der Kontaktfläche mit einem Stahlmaß und Messfühlern gemessen werden.

7.1.2 Zulässigkeitsgrenze

Über der gesamten Ankoppelfläche des Prüfkopfes darf die Abweichung von der ebenen Fläche nicht größer sein als 0,05 mm.

7.2 Form des Hochfrequenz-Impulses

7.2.1 Methode

Die Amplitude und die Impulsdauer des Echos werden mit einer Messeinrichtung wie in Bild 5 (Kontakt-Prüfköpfe) oder wie in Bild 13 (Tauchtechnik-Prüfköpfe) bestimmt.

- Bei Prüfköpfen für direkten Kontakt mit einem Schwinger wird das Echo aus einem Halbzylinder benutzt, dessen Radius größer ist als das 1,5fache der Nahfeldlänge des Prüfkopfes oder der bei fokussierenden Prüfköpfen innerhalb des Fokusbereiches liegt.
- Bei SE-Prüfköpfen wird ein Halbzylinder benutzt, dessen Radius am nächsten zum Fokusabstand des verwendeten Prüfkopfes liegt.
- Bei Tauchtechnik-Prüfköpfen wird ein großer, ebener Reflektor eingesetzt, der sich bei fokussierenden Prüfköpfen im Fokusabstand und bei ebenen Prüfköpfen im Abstand von mehr als einer Nahfeldlänge befinden muss.

Die Einstellungen des Ultraschallgerätes müssen notiert werden, und die Spitze-Spitze-Amplitude des Sendeimpulses muss gemessen werden. Es wird empfohlen, den Verlauf des Sendeimpulses aufzuzeichnen. Wünschenswert ist, dass diese Aufzeichnung des Sendeimpulses dem Prüfbericht hinzugefügt wird.

7.2.2 Zulässigkeitsgrenzen

Die Impulsdauer darf um nicht mehr als $\pm 10\%$ von der Herstellerangabe abweichen.

7.3 Impulsspektrum und Bandbreite

7.3.1 Methode

Es werden die gleichen Vergleichskörper und die gleiche Messanordnung wie in 7.2 benutzt. Über das Reflektorecho wird eine Blende gesetzt und das Frequenzspektrum wird mit einem Frequenzanalysator oder einer Fast-Fourier-Transformation bestimmt.

Störende Echos aus dem Prüfkopfkeil, dem Gehäuse, dem Dämpfungskörper usw. dürfen nicht zusammen mit dem Echo aus dem Vergleichskörper analysiert werden. Die Blendenlänge muss mindestens das Doppelte der Impulsdauer betragen, wobei die Blende auf das Maximum des Impulses zentriert wird.

Die unteren und oberen Grenzfrequenzen für eine 6-dB-Abnahme des Echos müssen gemessen werden. Bei einer Tauchtechnik-Messung müssen die Werte nach Tabelle 3 korrigiert werden.

Mit diesen oberen und unteren Grenzfrequenzen f_u und f_l wird die Mittenfrequenz f_0 berechnet:

$$f_0 = \sqrt{f_u \times f_l} \quad (1)$$

Die Bandbreite beträgt: $\Delta f = f_u - f_l$ (2)

und die relative Bandbreite, in Prozent, wird berechnet als: $\Delta f_{\text{rel}} = (\Delta f / f_0) \times 100$ (3)

7.3.2 Zulässigkeitsgrenzen

Die Mittenfrequenz muss bis auf eine Abweichung von $\pm 10\%$ mit der im Datenblatt angegebenen Frequenz übereinstimmen. Die -6-dB-Bandbreite muss innerhalb einer Abweichung von $\pm 15\%$ mit der Nennbandbreite übereinstimmen. Wenn das Spektrum zwischen f_l und f_u mehr als ein Maximum aufweist, darf die Differenz zwischen benachbarten Minima und Maxima nicht mehr als 3 dB betragen.

Bei breitbandigen Prüfköpfen mit einer relativen Bandbreite über 100 % dürfen die untere Frequenz nicht höher als $f_l + 10\%$ und die obere Frequenz nicht niedriger als $f_u - 10\%$ sein.

7.4 Relative Echo-Empfindlichkeit

7.4.1 Methode

Das Ultraschallgerät wird auf Betrieb mit getrenntem Sender und Empfänger geschaltet. Die relative Echo-Empfindlichkeit wird definiert als:

$$S_{\text{rel}} = 20 \log_{10}(V_e/V_a) \quad (4)$$

Dabei ist V_e die Spannung Spitze-Spitze eines Echos von einem definierten Reflektor, vorzugsweise eben, vor der Verstärkung, und V_a ist die Spannung Spitze-Spitze, die nach 7.2 am Prüfkopf anliegt.

Vergleichsmessungen der Prüfkopfempfindlichkeit an verschiedenen Ultraschallgeräten können unterschiedliche Werte zeigen, weil die Prüfkopfempfindlichkeit durch unterschiedliche Ankoppelbedingungen und durch die Impedanzen von Sender, Prüfkopf, Verbindungsleitung und Empfänger beeinflusst werden. Deshalb müssen diese Parameter im Datenblatt aufgeführt werden.

7.4.2 Zulässigkeitsgrenze

Die relative Echo-Empfindlichkeit muss bis auf eine Abweichung von ± 3 dB mit den Herstellerangaben übereinstimmen.

7.5 Abstand-Amplituden-Kurve

7.5.1 Methode

Die Amplitude von Ultraschallimpulsen ändert sich mit der Entfernung vom Prüfkopf. Bei der Bewertung von Reflektorechos werden deshalb bei allen Prüfkopfarten Abstand-Amplituden-Kurven benötigt, die auf die in der Tabelle 4 genannten Reflektoren bezogen sind.

Tabelle 4 — Reflektoren für Abstand-Amplituden-Kurven

	Kontakttechnik	Tauchtechnik
Kreisscheibenreflektoren	Flachbodenbohrungen	Rundstangen mit ebenen Endflächen
Zylinderreflektoren	Querbohrungen	Rundstangen
Kugelreflektoren	halbkugelige Bohrungen	Stangen mit halbkugeligem Ende oder Kugeln

Bei Kontakt-Prüfköpfen werden Kreisscheiben-Reflektoren, Querbohrungen und Bohrungen mit halbkugeligem Boden gleichermaßen benutzt. Bei Tauchtechnik-Prüfköpfen wird üblicherweise eine kleine Stahlkugel zur Messung der Abstand-Amplituden-Kurve verwendet (siehe 7.7.2). Bei SE-Prüfköpfen muss die akustische Trennschicht parallel zu den Querbohrungen ausgerichtet werden.

Für eine Reihe von Reflektoren gleicher Größe, aber mit verschiedenen Abständen zum Prüfkopf, werden die empfangenen Echoamplituden über dem Abstand aufgetragen. Zu jeder Kurve müssen mindestens acht Messpunkte vorhanden sein. Die verwendeten Abstände müssen bei fokussierenden Prüfköpfen den Fokusbereich überdecken, bei nicht fokussierenden Prüfköpfen müssen sie das Nahfeldende einschließen.

Abstände und Amplituden werden auf dem justierten Bildschirm des im Datenblatt des Prüfkopfes erwähnten Ultraschallgerätes gemessen.

Zur Ermittlung einer Störpegelkurve wird am Ort jedes optimierten Reflektorechos die Differenz zwischen Echoamplitude und Störpegel bestimmt, indem die Verstärkung solange erhöht wird, bis der Störpegel die ursprüngliche Höhe des Reflektorechos erreicht.

Wenn es nicht möglich ist, die Verstärkung so weit zu erhöhen, kann die Differenz abgeschätzt werden.

Wenn z. B. das Reflektorecho 40 % der vollen Bildschirmhöhe erreicht, bedeutet der Störpegel bei

- 20 % eine zusätzliche Differenz von 6 dB,
- 10 % eine zusätzliche Differenz von 12 dB,
- 5 % eine zusätzliche Differenz von 18 dB

zu der Differenz der Abschwächerwerte.

Die Störpegelwerte werden gemessen, indem der Reflektor entfernt und die Koppelfläche des Prüfkopfes vom Ankoppelmittel gesäubert wird.

Ein Diagramm, das mindestens eine Abstand-Amplituden-Kurve zeigt, muss für jeden Prüfkopftyp vorhanden sein und dem Datenblatt des Herstellers beigelegt werden. Dieses Diagramm muss auch eine Störpegel-Kurve enthalten.

Das Bild 6a zeigt ein Beispiel für verschiedene Abstand-Amplituden-Kurven für kreisförmige Reflektoren, berechnet für Kreisscheiben-Reflektoren in Stahl (AVG-Diagramm). Das Bild 6b zeigt die gemessene Abstand-Amplituden-Kurve für eine 3-mm-Querbohrung.

7.5.2 Zulässigkeitsgrenze

Innerhalb des Fokusbereiches darf die dB-Differenz eines festgelegten Reflektors, z. B. einer 3-mm-Querbohrung, zum Störpegel um nicht mehr als 3 dB von der Herstellerangabe abweichen.

7.6 Elektrische Impedanz oder statische Kapazität

7.6.1 Methode

Für Prüfköpfe mit einer elektrischen Anpassschaltung, z. B. mit Induktionsspulen parallel oder in Reihe zum Schwinger, gibt es kein Frequenzband, in dem die Impedanz oder die Phase konstant bleibt. Zur Charakterisierung dieser Prüfköpfe ist also eine vollständige Impedanz/Phasen-Kurve erforderlich.

Die Impedanz des Prüfkopfes wird mit einem in EN 12668-1 beschriebenen Netzwerk-Analysator oder einem Impedanz/Phasen-Analysator gemessen. Der Prüfkopf wird direkt mit seinem fest verbundenen Kabel an den Analysator angeschlossen. Hat er ein auswechselbares Kabel, darf die Anschlussleitung nicht länger als 100 mm sein. Kontakt-Prüfköpfe werden an einen Kalibrierkörper angekoppelt. Tauchtechnik-Prüfköpfe werden in Tauchtechnik gemessen.

Über der Frequenz wird eine Kurve für den Betrag der Impedanz und für die Phase gemessen. Das benutzte Frequenzband muss dabei symmetrisch zur Mittenfrequenz des Prüfkopfes liegen.

Bei Prüfköpfen ohne elektrische Anpassschaltungen wird die Kapazität aus den gemessenen Impedanz/Phasen-Kurven durch den Impedanz/Phasen-Analysator berechnet.

Bei Frequenzen, die unterhalb von 30 % der Mittenfrequenz des Prüfkopfes liegen, ist die Kapazität annähernd konstant (Prüfkopf-Kapazität — statische Kapazität).

7.6.2 Zulässigkeitsgrenze

Der gemessene Betrag der Impedanz und die gemessene Phase bzw. die statische Kapazität, müssen innerhalb von $\pm 20\%$ Abweichung mit den Herstellerangaben übereinstimmen.

7.7 Parameter zum Schallbündel von Tauchtechnik-Prüfköpfen

7.7.1 Allgemeines

Die Messtechnik besteht darin, unter Benutzung eines Zielobjektes das Schallbündel in Wasser zu untersuchen. Dieses Zielobjekt kann ein kleiner, fast punktförmiger Reflektor oder ein Hydrophon-Empfänger sein. Die Schallbündel-Parameter werden bestimmt, indem der Reflektor oder das Hydrophon relativ zum Schallbündel bewegt werden, entweder, indem das Zielobjekt bewegt wird oder der zu untersuchende Prüfkopf.

Wenn das Zielobjekt ein Reflektor ist, wird die Impuls-Echo-Methode benutzt. Auf diese Weise werden sowohl die Sende- als auch die Empfangseigenschaften des Prüfkopfes bestimmt. Wenn das Zielobjekt ein Hydrophon ist, wird die Durchschallungs-Methode benutzt. Dann werden nur die Sendeeigenschaften des Prüfkopfes ermittelt.

Für alle Schallbündel-Parameter beim gleichen Prüfkopf müssen immer der gleiche Reflektor oder das gleiche Hydrophon benutzt werden.

Der Ort des maximalen Echos kann beim Messen mit verschiedenen Reflektoren oder einem Hydrophon leicht unterschiedlich sein. Infolgedessen müssen aus Gründen der Wiederholbarkeit die benutzte Ausrüstung und die Parameter des Zielobjektes zusammen mit den Ergebnissen festgehalten werden.

Zielobjekte sind in 6.1 f) und 6.2 g) aufgelistet.

Die Einstellung des Ultraschallgerätes oder des Impulssender-Verstärkers muss die gleiche sein, wie in 7.2 beschrieben (Impulsstärke, Dämpfung, Bandbreite, Verstärkung). Wenn jedoch die Einstellung, z. B. der Verstärkung, während der Messungen geändert wird, so sind die neuen Werte in das Messprotokoll einzutragen.

In den folgenden Abschnitten werden zwei Methoden zum Ausmessen des Schallbündels vorgeschlagen. Sie unterscheiden sich nur durch die Art, wie die Messergebnisse aufgezeichnet werden:

a) direkte Messung spezifischer Schallbündel-Parameter

- Diese erste Methode, die in 7.7.2 beschrieben wird, basiert auf direkten Messungen an festgelegten Stellen des Schallbündels (siehe Bild 7 bis Bild 11);

b) Messungen mit einem automatisierten Prüfsystem

- Die zweite Methode, die in 7.7.3 beschrieben wird, basiert auf der automatisierten Sammlung von Messdaten während des Abrasterns. Die Ergebnisse werden als C-Bild ausgegeben. Eine Kopie dieses Bildes muss den Messergebnissen beigelegt werden. Diese Kopie muss einen Maßstab und die Tabelle der in 7.7.3 definierten akustischen Pegel enthalten.

Bevor Messungen des Schallbündels vorgenommen werden, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden, muss der Einfluss des Schielwinkels kompensiert werden, indem die Schallbündelachse nach den Bildern 12 und 13 senkrecht auf die XY-Ebene ausgerichtet wird. Dies wird dadurch erreicht, indem die beiden Winkel Θ und Ψ des Prüfkopfhalters so verstellt werden, dass das Echo eines ebenen Reflektors in der XY-Ebene maximal wird.