

DIN EN 61828

ICS 01.040.17; 17.140.50

Einsprüche bis 2016-03-08
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61828:2002-12**Entwurf****Ultraschall –
Fokussierende Wandler –
Definitionen und Messverfahren für die erzeugten Felder
(IEC 87/573/CD:2015)**

Ultrasonics –
Focusing transducers –
Definitions and measurement methods for the transmitted fields
(IEC 87/573/CD:2015)

Ultrasons –
Transducteurs focaliseurs –
Définitions et méthodes de mesure des champs transmis
(IEC 87/573/CD:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-01-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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 dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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 105 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Allgemeines	7
3.1 Fokussierender Wandler	7
3.1.1 Fokussierungsmethoden	7
3.1.2 Bekannte und unbekannte fokussierende Wandler	7
3.1.3 Fokussierung und Bündelbreite.....	8
3.1.4 Definitionen neuer Fokussierungsparameter	8
3.1.5 Anwendungen von Fokussierungsdefinitionen.....	8
3.1.6 Beziehung der vorliegenden Definitionen zu Physiotherapiewandlern (Behandlungsköpfe).....	9
3.1.7 Beziehung der vorliegenden Definitionen zu therapeutischen Wandlern	9
3.2 System- und Messanforderungen	9
3.2.1 Erzeugte Druckwellenformen	9
3.2.2 Erzeugte Felder	9
3.3 Allgemeine Beschreibungen des fokussierten Feldes	10
3.3.1 Allgemeine Feldbeschreibungen für Wandler bekannter Konstruktion	10
3.3.2 Die Abtastebene und die Steuerung von Schallbündeln.....	11
4 Fokussierungsdefinitionen.....	12
4.1 Hintergrundinformationen	12
4.2 Begriffe	12
5 Liste der verwendeten Formelzeichen	30
6 Messverfahren.....	31
6.1 Allgemeines	31
6.1.1 Aufbau	31
6.2 Ermittlung der Bündelachse	32
6.3 Ermittlung, ob ein Wandler fokussiert.....	34
6.4 Messung anderer Brennpunktparameter eines fokussierenden Wandlers	34
Anhang A (informativ) Hintergrund für die Übertragung/Eigenschaften von fokussierenden Wandlern	44
Anhang B (informativ) Methoden für die Ermittlung der Bündelachse für Bündel mit guten Eigenschaften.....	49
B.1 Vergleiche von Methoden für die Ermittlung der Bündelachse	49
B.2 Bündelbreiten-Mittelpunkt-Verfahren.....	50
Anhang C (informativ) Methoden für die Ermittlung der Bündelachse für Bündel ohne gute Eigenschaften.....	52
Literaturhinweise.....	54

Bilder

Bild 1 – Wandleroptionen – Oben: Wandler mit einem Krümmungsradius R und einer Brennweite gleich R – Mitte: Wandler mit plankonkaver Linse – Unten: Wandler mit plankonvexer Linse	36
Bild 2 – Definitionen für Fokussierungsmessungen bei unbekannter Wandlergeometrie	37
Bild 3 – Feldparameter für nichtfokussierende und fokussierende Wandler.....	38
Bild 4 – Bündelkonturdarstellung – Konturen bei -6 dB, -12 dB und -20 dB für einen 5-MHz-Wandler mit einem Radius von 25 mm und einem Krümmungsradius von 50 mm, zentriert in Punkt 0,0 (unten Mitte) Zonenbezeichnungen im Bild haben sich geändert	39
Bild 5 – Parameter für die Beschreibung eines fokussierenden Wandlers bekannter Geometrie Zonenbezeichnungen im Bild haben sich geändert.....	39
Bild 6 – Wegunterschied-Parameter für die Beschreibung eines fokussierenden Wandlers mit bekannter Geometrie Zonenbezeichnungen im Bild haben sich geändert.....	40
Bild 7 – Brennpunkt der Bündelbreite in einer Hauptlängsebene	41
Bild 8 – Arten geometrischer Fokussierung	42
Bild 9 – Druck-Brennpunkt in einer Hauptlängsebene	43
Bild B.1 – x -Achsen-Abtastung in 9 cm Tiefe für die erste Brennzone mit Bündelzentrum	50
Bild B.2 – x -Achsen-Abtastung bei 4,4 cm Tiefe für die zweite Brennzone	50
Bild C.1 – Asymmetrisches Bündel zur Darstellung der Bündelbreiten-Mittelpunkt-Methode	53

Tabellen

Tabelle B.1 – Standardabweichungen für x - und y -Abtastungen unter Verwendung der drei Methoden für die Ermittlung des Bündelmittelpunkts.....	49
Tabelle B.2 – $-dB$ -Bündelbreitenpegel für die Bestimmung der Mittelpunkte.....	51

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 87/573/CD:2015 „Ultrasonics – Focusing transducers – Definitions and measurement methods for the transmitted fields“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 87 „Ultrasonics“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GUK 821.3 „Medizinische Ultraschallgeräte“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnitsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61828:2002-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Definitionen aus referenzierten Dokumenten wurden angepasst;
- b) Querverweise wurden aktualisiert.

Ultraschall – Fokussierende Wandler – Definitionen und Messverfahren für die erzeugten Felder

Einleitung

Bei medizinischen Anwendungen sind fokussierende Wandler unbedingt erforderlich, um hochaufgelöste Bilder, Doppler- und Flussdaten zu erhalten und um die Ultraschallenergie in bestimmten Punkten für therapeutische Zwecke zu konzentrieren. Die gegenwärtig für fokussierende Wandler verfügbare Terminologie reicht nicht aus, um die Eigenschaften fokussierter Felder der verschiedensten Wandler, Wandlerarrayarten und Fokussierungsmittel, die allgemein Verwendung finden, genau anzugeben.

Diese Internationalen Festlegungen enthalten bestimmte Definitionen, die für die theoretische Beschreibung des fokussierten Feldes für Wandler mit bekannten, von der Konstruktion gewollten Eigenschaften geeignet sind. Weitere wesentliche Definitionen, die auf Messverfahren beruhen, dienen ggf. der Ermittlung der Fokussierungseigenschaften von Wandlern mit unbekannten Feldeigenschaften. Das Messverfahren und die Definitionen liefern ein Kriterium dafür, ob der Wandler fokussiert, sowie ein Werkzeug für die Beschreibung der Fokussierungseigenschaften des Feldes. Für fokussierende Wandler werden Methoden für die Ausrichtung der Bündelachse angegeben.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm

- gibt Definitionen für Eigenschaften der von fokussierenden Wandlern für medizinische Ultraschallanwendungen erzeugten Felder;
- setzt diese Definitionen zu theoretischen Beschreibungen, Konstruktion und Messungen der von **fokussierenden Wandlern** erzeugten Felder in Beziehung;
- nennt Messverfahren für die Ermittlung bestimmter Eigenschaften **fokussierender Wandler**;
- legt Verfahren für die Ausrichtung der **Bündelachse** für **fokussierende Wandler** fest.

Diese Internationale Norm bezieht sich auf **fokussierende Ultraschallwandler**, die in dem für medizinischen Ultraschall geeigneten Frequenzbereich (0,5 MHz bis 40 MHz?) sowohl für therapeutische als auch für diagnostische Zwecke eingesetzt werden. Sie zeigt, wie die Eigenschaften des vom Wandler erzeugten Feldes beschrieben und gemessen werden können, sei es unter dem Gesichtspunkt des Entwurfs, sei es unter dem Gesichtspunkt der Messung durch jemanden, der keine Konstruktionseinzelheiten des betreffenden Gerätes kennt. Das bei einer bestimmten Anregung ausgesandte Ultraschallfeld wird mit einem Hydrophon entweder in einem Standard-Prüfmedium (z. B. Wasser) oder in einem anderen gegebenen Medium gemessen. Die Norm gilt nur für Medien, bei denen das Feldverhalten im Wesentlichen gleich dem Feldverhalten in einem Fluid ist (d. h. bei denen der Einfluss von Schubwellen und elastischer Anisotropie gering ist?), einschließlich Weichteilgewebe und gewebesimulierende Gels. Auch werden alle Feldaspekte behandelt, die einen Einfluss auf die theoretische Beschreibung haben oder konstruktiv von Bedeutung sind. Diese Definitionen dürften in wissenschaftlichen Mitteilungen, in der Systemauslegung und in der Beschreibung der Leistungsfähigkeit und Sicherheit von Systemen, die mit diesen Geräten arbeiten, von Bedeutung sein.

Wo dies möglich ist, enthält diese Norm Definitionen aus anderen diesbezüglichen Normen¹⁾ und liefert eine neue, typischere Terminologie für die Festlegung von Fokussierungseigenschaften und als Grundlage für die Messung dieser Eigenschaften.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

IEC 60050(801):1994, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics*

IEC 61102:1991, *Measurement and characterization of ultrasonic fields using hydrophones in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz*

IEC 61157:1992, *Requirements for the declaration of the acoustic output of medical diagnostic ultrasonic equipment*

IEC 61689:1996, *Ultrasonics – Physiotherapy systems – Performance requirements and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz*

IEC/TS 62556, *Ultrasonics – Field characterization – Specification and measurement of field parameters for high intensity therapeutic ultrasound (HITU) transducers and systems*

¹⁾ Insbesondere IEC 61102 und IEC 61157 (siehe Abschnitt 2).

3 Allgemeines

Dieser Abschnitt ist als Einführung in die Definitionen in Abschnitt 4 und die Messverfahren in Abschnitt 6 zu verstehen.

3.1 Fokussierender Wandler

Der Begriff „**fokussierender Wandler**“²⁾ wird gemeinhin für ein Gerät verwendet, das in einem bestimmten Feldbereich eine geringere **Bündelbreite** als ein „nichtfokussierendes“ Gerät aufweist. Ein „**nichtfokussierender Wandler**“ kann noch ein **Bündelminimum** aufweisen; daher ist davon auszugehen, dass ein **fokussierender Wandler** eine größere Druckamplitudenkonzentration (bei einer gegebenen Ausgangsleistung) hat als ein **nichtfokussierender Wandler** in seinem **Bündelminimum**. Zum Beispiel hat ein **nichtfokussierender Wandler**, der aus einer einfachen Scheibe aus einem gleichmäßig polarisierten piezoelektrischen Material besteht, ein Bündel, dessen Intensität in seinem **Bündelminimum** viermal so hoch sein kann wie die durchschnittliche Intensität am Wandler und dessen **–6-dB-Bündelbreite** etwa die Hälfte der **Bündelbreite** am Wandler betragen kann. Eine Definition eines **fokussierenden Wandlers** wird in 4.2.33 gegeben, um eine quantitative Unterscheidung zwischen **fokussierenden** und **nichtfokussierenden Wandlern** zu treffen.

3.1.1 Fokussierungsmethoden

Die einfachste Art, einen **Ultraschallwandler** gewollt zu fokussieren, die analogen optischen Prinzipien entlehnt ist, besteht in der konkaven Gestaltung des **Ultraschallwandlers** oder seine Ergänzung durch eine physikalische Linse nach Bild 1. Der obere Teil dieses Bildes stellt einen gekrümmten Wandler mit einem Radius R dar, wobei auf die Mitte der Krümmung fokussiert wird, wobei R vereinbarungsgemäß positiv ist. Durch die geometrisch-optische Näherung ist die Brennweite F gleich R und also positiv. Die mittlere Abbildung in Bild 1 zeigt einen Wandler mit einer plankonkaven Linse aus einem Material mit der Longitudinalgeschwindigkeit c_L , das auf einer Seite mit einem Radius R_{LENS} gekrümmt ist; er strahlt in ein Medium, in dem die Geschwindigkeit c_W ist. In der Akustik ist c_W typischerweise kleiner als c_L , d. h. die Brechzahl n (gleich c_W/c_L) ist kleiner als 1. Wenn dies zutrifft, gilt der Radius als negativ und die Brennweite, die durch die geometrisch-akustische Näherung als R_{LENS} dividiert durch $(n - 1)$ gegeben ist, ist positiv. Im unteren Teil des Bildes ist zum Vergleich die typische Situation für eine konvexe optische Linse dargestellt: n ist größer als 1 und der Radius gilt als positiv; somit ist die Brennweite auch positiv.

3.1.2 Bekannte und unbekannte fokussierende Wandler

Bei den in medizinischen Ultraschallanwendungen gegenwärtig eingesetzten **Ultraschallwandlern** ist es schwierig, auf der Grundlage unmittelbaren Augenscheins zu entscheiden, ob ein **Ultraschallwandler** fokussiert, weil zusätzlich viele andere Fokussierungsmethoden wie geometrische Gestaltung und Anordnung, Reflektoren, Arrays mit elektronischer Phasensteuerung und Verzögerung, Fresnel-Linsen, Randabblenden usw. einzeln oder kombiniert angewendet werden können. Wegen der eigenen natürlichen Fokussierung und des möglichen komplizierten Aufbaus zusätzlicher Fokussierungsmittel muss eine allgemein gültige Definition eines **fokussierenden Wandlers** eher über sein Feld als über seine Konstruktion erfolgen. Wenn eine fokussierende Schallquelle über ihr Druckfeld zu definieren wäre, wäre dies in der Praxis relativ einfach anzuwenden, da der Druck mit einem Hydrophon direkt gemessen werden kann.

Unterschieden wird auch zwischen **Ultraschallwandlern**, deren Konstruktion bekannt ist, und Wandlern, über die nur in geringem Umfang Informationen verfügbar sind. Bei der ersten Kategorie von **Ultraschallwandlern** sind bestimmte theoretische Festlegungen wie die **geometrische Brennweite** für die Beschreibung und Modellierung von Fokussiereigenschaften nützlich. **Ultraschallwandler**, die in die zweite Kategorie fallen, funktionieren als unbekannte „black box“, und nur das Feld ist möglicherweise zugänglich.

²⁾ Begriffe in Fettschrift sind in Abschnitt 4 definiert.

Im letzteren Fall und im Allgemeinen werden Fokussierungsparameter durch Messungen ermittelt, wobei zweckmäßigerweise die Messverfahren aus Abschnitt 6 angewendet werden. Abschnitt 6 behandelt Messmethoden für die Ermittlung, ob ein Wandlersystem, das unter bestimmten Anregungsbedingungen in ein bekanntes Ausbreitungsmedium strahlt, „fokussiert“. Wegen der mangelnden Kenntnisse über die Konstruktion des **Ultraschallwandlers** und des begrenzten Zugangs zum Feld des **Ultraschallwandlers** sind die in Bild 2 enthaltenen Fokussierungsdefinitionen erforderlich. Diese Definitionen sind in Abschnitt 4 angegeben und ihre Anwendung ist in 3.1.5 erklärt.

3.1.3 Fokussierung und Bündelbreite

Früher basierten Hydrophonmessungen von Bündeleigenschaften auf Bereichen des axialen Spitzendrucks. Zum Beispiel basierten Definitionen für **Fokustiefe** auf der Abnahme der Intensität, und zwar entweder auf der nahe gelegenen oder auf der entfernt gelegenen Seite einer axialen Spitze auf der **Bündelachse**. Bei achsensymmetrischen Bündeln kann diese axiale Spitze mit der **geometrischen Brennweite** in Verbindung gebracht werden. Bei typischen rechteckförmigen Arrays können sowohl die elektronische Fokussierung der **Azimutalebene** und die mechanische Linsenfokussierung der **Höhenebene** zu axialen Druckspitzen in verschiedenen Punkten auf einer **Bündelachse** führen. Diese einzelnen Spitzen können durch Messungen der **Bündelbreite** in den entsprechenden orthogonalen Ebenen getrennt behandelt werden; daher basieren neue Definitionen auf **Bündelbreiten** in einer bestimmten **Längsebene** (siehe Bild 7). Fokussierungsdefinitionen müssen auch zwischen natürlicher und absichtlich herbeigeführter Fokussierung unterscheiden.

3.1.4 Definitionen neuer Fokussierungsparameter

Dieses Dokument führt neue Fokussierungsparameter ein und liefert genauere Zusammenhänge für die vorhandene Terminologie. Zum Beispiel werden die Begriffe „**Nahfeld**“ und „**Fernfeld**“, die ursprünglich nur für **nichtfokussierende Wandler** festgelegt worden waren, bei **fokussierenden Wandlern** oft falsch angewendet. Die Definitionen „**vorfokale Zone**“, „**nachfokale Zone**“ und „**Fokuszone**“ beziehen sich auf **fokussierende Wandler**. Diese Definitionen, die in 3.3 ausführlicher erklärt sind und in Anhang A abgeleitet werden, sind in Bild 3b dargestellt und werden in Bild 4 auf eine stark fokussierende kreisförmige Apertur angewendet. Auch andere Konzepte – wie Fokussierung in einer bestimmten Ebene – sind erforderlich, um die Eindeutigkeit zu erhöhen.

Im Sinne dieses Dokuments werden für **fokussierende Wandler** die folgenden Definitionen verwendet:

Bei **Ultraschallwandlern** bekannter Konstruktion (siehe Bild 5 wegen Wandlergeometrie und Begriffen) ist ein **fokussierender Wandler** ein elektroakustisches Gerät, das in jedem Abstand von weniger als der Hälfte des **Übergangsabstandes** von der **Wandlerapertur** eine **–6-dB-Bündelbreite** in einer **Längsebene** erzeugt, die weniger als die Hälfte der **Wandleraperturbreite** in dieser Ebene beträgt. Für Messzwecke und in Fällen (siehe Bild 2), in denen die Geometrie des **Ultraschallwandlers** nicht bekannt ist oder kein direkter Zugang zu dem **Ultraschallwandler** besteht (weil das Gerät in einem Aufbau mit einem gewissen Abstandshalter verwendet wird), ist eine Definition der Fokussierung auf der Grundlage von Daten zweckmäßiger. Für diesen zweiten Fall ist ein **fokussierender Wandler** ein elektroakustisches Gerät, das in einem Abstand von weniger als dem halben **Übergangsabstand** eine **–6-dB-Bündelbreite** in einer **Längsebene** erzeugt, die weniger als die Hälfte der **–20-dB-Quellenaperturbreite** (gemessen in einer Ebene, die sich so nahe wie möglich am **Ultraschallwandler** befindet) in dieser Ebene beträgt. Bei Arrays mit rechteckiger Geometrie ist eine bestimmte **Längsebene** entweder eine xz - oder eine yz -Ebene mit z entlang der **Bündelachse**. **Nichtfokussierende Wandler** sind Wandler, die die oben genannten Bedingungen nicht erfüllen.

3.1.5 Anwendungen von Fokussierungsdefinitionen

In 3.1.4 sind zwei Definitionen für Fokussierung angegeben, die für zwei Fälle gelten:

- Für Wandler mit bekannter Konstruktion wird eine idealisierte Definition für Beschreibungs-, Modellierungs- oder Konstruktionszwecke gegeben.
- Eine zweite Definition gilt für Messungen der Fokussierungseigenschaften von realen Wandlern, die entweder von unbekannter Konstruktion sind oder in nicht einwandfreier Ausführung vorliegen.

Die Verwendung der ersten Definition ist kein Ersatz für eine tatsächliche Messung. Ob ein Wandler in der Praxis fokussiert, muss mit der zweiten Definition für Wandler von unbekannter Konstruktion und durch die Messverfahren in Abschnitt 6 festgestellt werden. Die Kenntnis des Wandlers (erste Definition) kann bei der Durchführung von Messungen hilfreich sein. Wenn Messungen die Kriterien der zweiten Definition erfüllen, fokussiert der Wandler unabhängig davon, ob die Fokussierung gewollt oder ungewollt ist.

3.1.6 Beziehung der vorliegenden Definitionen zu Physiotherapiewandlern (Behandlungsköpfe)

Die Definition der Fokussierung in diesem Dokument hängt nicht mit den Definitionen von „divergenten, kollimierten und konvergenten“ Bündeln nach IEC 61689 zusammen. Die Definition des Bündeltyps basiert auf Energie- und Flächenbetrachtungen, die für Physiotherapiewandler wichtiger sind. Die Definition der Fokussierung in diesem Dokument basiert auf einem anderen Parameter: der **-6-dB-Bündelbreite**. Diese Definition ist nützlich, um das Vorhandensein und die Lage der höchsten Feldkonzentrationen festzustellen. Wenn dieses Dokument auf Physiotherapiewandler angewendet wird, kann Fokussierung dahingehend verstanden werden, dass sie „hot-spot“-Wandlern mit einem hohen Bündelungleichmäßigkeitsverhältnis entspricht.

3.1.7 Beziehung der vorliegenden Definitionen zu therapeutischen Wandlern

Die Definition der Fokussierung gilt für bestimmte therapeutische Wandler in Abhängigkeit von der Geometrie der Wandler. Schalenförmige Wandler mit einer mittigen Öffnung erfordern eine spezielle Behandlung, wie in IEC 621556 ausführlicher beschrieben.

3.2 System- und Messanforderungen

3.1 hat gezeigt, dass das Ultraschallgerät als Ganzes anzusehen ist, weil es nicht möglich ist, einen **fokussierenden Wandler** über die Eigenschaften seiner Bestandteile zu definieren. Bei klinischen Ultraschallsystemen gelten die einzelnen gemessenen Fokussierungsdefinitionen nur für das Feld einer ausgewählten **Abtastlinie**, die von gegebenen elektrischen Anregungsbedingungen und für ein gegebenes Medium erzeugt wird.

3.2.1 Erzeugte Druckwellenformen

Da in einem **Ultraschallwandlerfeld** die verschiedensten erzeugten Druckwellenformen möglich sind, muss ein Maß für diese Wellenformen so robust sein, dass es breit- und schmalbandige Impulse, **Dauerschallsignale** oder selbst durch nichtlineare Ausbreitung verzerrte Wellenformen abdeckt. Aus diesem Grund wird in diesem Dokument das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** (siehe 3.33 in IEC 61102) als Feldmessgröße verwendet. Bei bestimmten Wellenformen unter den Bedingungen linearer Ausbreitung kann das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** auf gängigere Druckgrößen zurückgeführt werden. Bei linearen **Dauerschallsignalen** z. B. ist das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** dividiert durch die Periodendauer einer Schwingung der quadrierte effektive Schalldruck. In anderen Fällen, bei denen Verhältnisse dieser Integrale eine Rolle spielen, können diese Verhältnisse als Verhältnisse äquivalenter quadrierter Drucke aufgefasst werden. In diesen Fällen sind Verhältnisse der Quadratwurzeln des **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** analog zu Verhältnissen äquivalenter Drucke.

3.2.2 Erzeugte Felder

Das erzeugte Feld eines **Ultraschallwandlers** hängt von der Bandbreite des **Ultraschallwandlers** sowie von der verwendeten Anregungsart ab. Häufig verwendete Modelle für die Bündelsimulation, wie das in Anhang A beschriebene Modell, sind nur bei **Dauerschallanregung** zweckmäßig. Für die Simulation der gepulsten Anregung eines **Ultraschallwandlers** müssen die Wellenform der Ausgangsspannung und die Impulsantwort des **Ultraschallwandlerelements** sowie die Randbedingungen berücksichtigt werden. Da die Bandbreite einer von einem Element erzeugten Druck-**Schallpulsform** zunimmt, wird das sich ergebende Feld gegenüber einem Feld von einem **Dauerschallsignal** gleichförmiger.

Das Feld hängt nicht nur von der Wellenform der elektrischen Anregungsfunktion und dem Ausbreitungsmedium ab, sondern auch von der Amplitude des elektrischen Eingangssignals. Das liegt an der nichtlinearen Ausbreitung, die häufig bei dieser Art von Feldern vorliegt. Es ist schon früher ein Parameter, der als **nicht-lokaler Verzerrungsparameter** (IEC 61102, 4.2.8.2) bezeichnet wird, festgelegt worden, und im Allgemeinen kann Linearität angenommen werden, wenn dieser Parameter unter etwa 0,5 liegt.

3.3 Allgemeine Beschreibungen des fokussierten Feldes

Neue Begriffe für die Beschreibung des erzeugten fokussierten Feldes eines **Ultraschallwandlers** bekannter Konstruktion werden in den Definitionen in 4.2 eingeführt. In Bild 1 sind grundlegende geometrische Beziehungen für die Definitionen angegeben. Hintergrundinformationen zu diesen Definitionen finden sich in Anhang A.

Gemessene Fokussierungseigenschaften – auch in 4.2 definiert – können verwendet werden, um das fokussierende Schallfeld einer unbekannten Schallquelle durch Messungen zu charakterisieren. In diesem Fall wird eine Messebene, die **Quellenaperturebene**, so nahe wie möglich an der Quelle gewählt. Eine äquivalente akustische Apertur, die **Quellenapertur**, in dieser Ebene wird für die Ermittlung der effektiven Fokussiereigenschaften des Feldes verwendet. Wie bei den Fokussierungsdefinitionen für **Ultraschallwandler** bekannter Konstruktion wird der **Ultraschallwandler** als **Ultraschall-Wandlersystem** mit festgelegten Betriebsbedingungen und einem Ausbreitungsmedium und einem **Mindestabstand** angesehen. Akustische Linearität ist für diese Messungen wünschenswert, aber nicht notwendig, und der **lokale Verzerrungsparameter** muss festgelegt werden. Bild 2 zeigt die Beziehung zwischen mehreren dieser Messdefinitionen.

3.3.1 Allgemeine Felddescriptions für Wandler bekannter Konstruktion

Aus den Feldern von **fokussierenden Wandlern** bekannter Konstruktion können allgemeine Eigenschaften von fokussierten Feldern ermittelt werden. Die Ultraschallfokussierung wird wegen der Randbeugung bei Wandlergrößen in der Größenordnung der Wellenlänge nur unzulänglich nach den Regeln der geometrischen Optik beschrieben. Die natürliche Fokussierung des Bündels ist mit der Fokussierung einer Linse oder einer anderen Fokussiereinrichtung verbunden. Der sich ergebende kombinierte Effekt besteht darin, dass die schmalste **–6-dB-Bündelbreite** im Allgemeinen nicht bei der **geometrischen Brennweite** der Fokussiereinrichtung auftritt, sondern etwa in einem Abstand

$$z_{\min} = \frac{z_T F}{z_T} + F \quad (1)$$

Dabei ist

z_T der **Übergangsabstand**, also die **natürliche Brennweite**;

F die **geometrische Brennweite** (nach Erklärung in Anhang A, Gleichung (A.11c)).

Diese Gleichung zeigt, dass der Abstand vom Punkt der kleinsten **Bündelbreite** den **Übergangsabstand** selbst dann nicht übersteigen kann, wenn die **geometrische Brennweite** größer als der **Übergangsabstand** ist.

Eine etwaige Beziehung besteht zwischen den Eigenschaften von fokussierten und nichtfokussierten Feldern. In einer **Längsebene** haben Bündelprofile in einem axialen Abstand z in einem fokussierten Feld eine ähnliche Form wie ein Bündelprofil in einem nichtfokussierten Feld bei einer äquivalenten Abstand z_e (siehe Anhang A bezüglich der bei der Ableitung von Gleichung (A.8) verwendeten Näherungen),

$$z_e = \frac{z}{\left|1 - \frac{z}{F}\right|} \quad (\text{gültig für } z \neq F \text{ und } F \text{ positiv}) \quad (2)$$

Diese Gleichung zeigt, dass das Feld eines **fokussierenden Wandlers** (in einer **Längsebene**) in guter Näherung alle **Nahfeld-** und **Fernfeld-Bündelprofilformen** eines **nichtfokussierenden Wandlers** derselben Größe in dem Abstand zwischen dem **Ultraschallwandler** und dem **geometrischen Brennpunkt** annimmt. Im **geometrischen Brennpunkt** wird der äquivalente Abstand unendlich, und Gleichung (2) ist nicht länger gültig; die Form des Bündelprofils ist dieselbe wie die im **Fernfeld** eines **nichtfokussierenden Wandlers** derselben Größe. Die Entwicklung des Feldes eines **fokussierenden Wandlers** wird durch die Skalierung von Gleichung (2) gegenüber dem Feld eines **nichtfokussierenden Wandlers** beschleunigt, und die **Bündelbreite** wird bei Abständen nahe am **geometrischen Brennpunkt** schmaler als die eines **nichtfokussierenden Wandlers**.

Entsprechend der Ermittlung des **Übergangsabstandes**, des das **Nahfeld** und das **Fernfeld** eines **nichtfokussierenden Wandlers** trennenden Abstands, gibt es Übergangsabstände für ähnliche Beschreibungen eines fokussierten Feldes. Das fokussierte Feld kann in drei Gebiete unterteilt werden, die **vorfokale Zone**, die **Fokuszone** und die **nachfokale Zone** nach Bild 3b. Die entsprechenden Abstände zwischen diesen Zonen sind der **nahe Übergangsabstand**, z_{NTD} ,

$$\frac{1}{z_{\text{NTD}}} = \frac{1}{z_{\text{T}}} + \frac{1}{F} \quad (3)$$

und der **ferne Übergangsabstand**, z_{FTD} ,

$$\frac{1}{z_{\text{FTD}}} = -\frac{1}{z_{\text{T}}} + \frac{1}{F} \quad (4)$$

Weitere Informationen über diese Abstände finden sich in Anhang A (Gleichung (A.11)).

3.3.2 Die Abtastebene und die Steuerung von Schallbündeln

Schallbündel können nicht nur fokussiert werden, sondern es ist auch möglich, ihre Richtung zu ändern. Diese Richtung entspricht einer **Abtastlinie**, der **Bündelachse** für eine bestimmte **Ultraschall-Wandlerelementgruppe**. Die **Abtastebene** (oder Abtastfläche) ist die Ebene oder Fläche, die alle Ultraschall-**Abtastlinien** enthält. Die **Abtastebene** ist auch als **Azimutalebene** bekannt. In den meisten Fällen ist die **Höhenebene** orthogonal zur **Azimutalebene** und enthält die zentrale **Abtastlinie** – die Schallbündelrichtung, die einem nicht abgelenkten oder nicht gesteuerten Schallbündel entspricht.

Das **Abtastlinienmuster** hängt von dem Abbildungsformat, der Geometrie des **Ultraschallwandlers** und der Art der Wandleranregung ab. Mehrere Beispiele für die Abtastung sind unten beschrieben: Sektorabtastung (Winkelabtastung), lineare Abtastung (Verschiebung) und **zweidimensionale Arrays**.

Die Sektorabtastung (Winkelabtastung) erfolgt, indem entweder ein einzelner Wandler mechanisch in einem Bogen geführt wird oder indem die elektronische Anregung aktiver Wandlerelemente – einer **Ultraschall-Wandlerelementgruppe** – geändert wird, um Winkelablenkungen des Bündels zu erzeugen. Das entstehende **Abtastlinienmuster** hat die Gestalt eines Fächers und ergibt ein Sektorformat.

Beim **nicht gesteuerten Bündel** handelt es sich um ein Schallbündel, das sich ohne Winkelablenkung nach vorn ausbreiten soll. Die Richtung dieses Schallbündels entspricht der zentralen **Abtastlinie** einer Sektorabtastung. Im Normalfall, in dem der **Ultraschallwandler** symmetrisch ist, kann das **nicht gesteuerte Bündel** so gewählt werden, dass es sich nahe der Symmetrieachse oder nahe einer Symmetrieebene des **Ultraschallwandlers** befindet.

Lineare Abtastung ist die Verschiebung aktiver Wandlerelemente – einer **Ultraschall-Wandlerelementgruppe** – entlang der Arrayebene (oder durch mechanische Verschiebung eines einzelnen Wandlers). Wenn das Array flach und linear ist, bildet ein Muster paralleler **Abtastlinien** ein rechteckiges Abbildungsformat. Wenn eine gekrümmte lineare Arraygeometrie verwendet wird, führt die Verschiebung der **Ultraschall-Wandlerelementgruppen** zu **Abtastlinien**, die im Winkel voneinander getrennt sind und ein Sektorformat ergeben. In diesem Fall wird die Winkelablenkung durch die Wandlergeometrie und nicht durch die elektronische Steuerung verursacht.

Im allgemeinsten Fall kann eine Kombination aus Methoden für die gleichzeitige Steuerung und Fokussierung des Schallbündels angewendet werden. In den oben beschriebenen Situationen wird eine mechanische Linse mit einer festgelegten Brennweite verwendet, um in die **Höhenebene** zu fokussieren. Bei einem **zweidimensionalen Array** ist die **Abtastebene** nicht einfach mit der Form oder Geometrie des Arrays verbunden. Azimutal- und Höhenfokussierung sind koinzident. Diagonale Segmente des Arrays oder aller Elemente des Arrays können eingesetzt werden, um das Schallbündel gleichzeitig in einem willkürlichen Winkel zur **Wandlerapertur** zu steuern und zu fokussieren. Bei der verbreitetsten Methode zur Erzeugung einer dreidimensionalen Abbildung tastet das Array eine Reihe von Ebenen ab, um ein abzubildendes Volumen zu füllen. In diesem Fall ist die Lage der einzelnen **Abtastebenen** zeitabhängig, und definitionsgemäß gibt es eine entsprechende orthogonale **Höhenebene**. Genau wie es in einer **Abtastebene** eine zentrale **Abtastlinie**

gibt, kann eine zentrale **Abtastebene** oft in der Nähe der Symmetrieachse oder einer Symmetrieebene des **Ultraschallwandlers** identifiziert werden.

4 Fokussierungsdefinitionen

4.1 Hintergrundinformationen

Die unten aufgeführten Definitionen lassen sich in drei allgemeine Kategorien gliedern. Die erste Kategorie umfasst die Definitionen, die direkt für die Beschreibung und Modellierung fokussierter Felder verwendet werden können. Die zweite Gruppe bezieht sich auf die Messung fokussierter Felder. Einige der Begriffe der zweiten Gruppe überschneiden sich mit denen der ersten Kategorie. Drittens sind zusätzliche, allgemein gebräuchliche Fokussierungsbegriffe aufgenommen worden. Früher verwendete Definitionen sind geändert oder genauer gefasst worden, um einen eindeutigen Gebrauch sicher zu stellen. Die Liste der Definitionen für die Fokussierung in 4.2 ist nicht in Gruppen gegliedert, sondern alphabetisch geordnet.

4.2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

4.2.1

Schallpulsform

zeitliche Wellenform des Augenblickswerts des Schalldrucks in einem gegebenen Punkt im Schallfeld, der über eine so lange Zeitspanne angezeigt wird, dass alle wichtigen akustischen Daten in einem einzigen Puls, einem **Tonburst** oder einer Schwingung im Dauerschallbetrieb enthalten sind

[IEC 61102, Begriff 3.2]

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Fällen wie beim amplitudenmodulierten Puls kann die gesamte Pulsreihe als Gruppe von Pulsen erscheinen, die in Abständen, die viel kleiner als die gesamte Pulsfolgezeit sind, fast unmittelbar aufeinander folgen.

4.2.2

Ringarray

eine **Ultraschall-Wandlerelementgruppe** mit strahlenden Flächen in derselben Ebene oder gekrümmten Fläche, bestehend aus konzentrischen Elementen mit elektrischer Phasensteuerung, um die Eigenschaften eines Schallbündels zu steuern

4.2.3

Apertur-Wegunterschied

Δ

Differenz in den Weglängen von einem festgelegten **geometrischen Brennpunkt** zur Peripherie der **Wandlerapertur** und zum Schnittpunkt der **Bündelachse** mit der **Wandleraperturebene** für eine festgelegte **Längsebene** und für ein **ungesteuertes Bündel**

(Bezüglich der Einzelheiten siehe Bild 6 und Anhang A.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Δ wird in Meter (m) angegeben.

4.2.4

Apodisation

Amplitudengewichtung oder Abblenden der **Wandlerapertur**

4.2.5

akustische Mittenfrequenz

f_{awf}

das arithmetische Mittel der Frequenzen f_1 und f_2 , bei denen die Amplitude des Schalldruckspektrums 3 dB unter der größten Amplitude liegt

[IEC 61102, Begriff 3.4.2, modifiziert]

Anmerkung 1 zum Begriff: f_{awf} wird in Hertz (Hz) angegeben.

4.2.6

Axialfeldpunkt-Wegunterschied

Δ'

die Differenz in den Weglängen von einem festgelegten Feldpunkt auf der **Bündelachse** zur Peripherie der **Wandlerapertur** und zum Schnittpunkt der **Bündelachse** mit der **Wandleraperturebene**. Er ist in derselben **Längsebene** wie der **Apertur-Wegunterschied** festgelegt

(Siehe Bild 6.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Δ' wird in Meter (m) angegeben.

4.2.7

Azimutalachse

durch die Schnittmenge der **Azimutalebene** und der **Quellen-Aperturebene** (Messung) oder der **Wandleraperturebene** (Konstruktion) gebildete Achse

(Siehe Bild 7.)

4.2.8

Azimutalebene

bei einem abtastenden **Ultraschallwandler** die **Abtastebene** und bei einem nicht abtastenden **Ultraschallwandler** die **Hauptlängsebene**

Anmerkung 1 zum Begriff: Üblicherweise wird die **Hauptlängsebene** so gewählt, dass sie mit der **Azimutalebene** zusammenfällt.

4.2.9

Bündelfläche

A_b

Fläche in einer festgelegten Ebene senkrecht zur **Bündelachse**, die alle Punkte enthält, in denen das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** größer als ein festgelegter Anteil des Höchstwertes des **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** in dieser Ebene ist. Ist die Lage der Ebene nicht gegeben, ist es die Ebene, die durch den Punkt verläuft, der dem räumlichen und zeitlichen Spitzen-Schalldruck im gesamten Schallfeld entspricht

[IEC 61102, Begriff 3.6]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Bündelfläche** kann aus mehreren Teilen bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: A_b wird in Quadratmeter (m²) angegeben.

4.2.10

Brennebene der Bündelfläche

Ebene senkrecht zur **Bündelachse**, die den **Brennpunkt der Bündelfläche** enthält

4.2.11

Brennpunkt der Bündelfläche

Punkt auf der **Bündelachse**, in dem die **–6-dB-Bündelfläche** ein Minimum ist

4.2.12

Bündelachse

Gerade, die durch die Schwerpunkte (oder **Bündelmittelpunkte**) des **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** von zwei Ebenen verläuft. Die Lage der ersten Ebene ist die Lage der **Druck-Brennebene** (die Ebene, die das größte **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** enthält) oder alternativ eine Lage, die eine zweite Hauptkeule enthält, die sich in der **Fokuszone** befindet. Die Lage der zweiten Ebene ist so weit

wie praktisch möglich von der ersten Ebene entfernt und parallel zur ersten mit den zwei für die erste Ebene verwendeten orthogonalen **Abtastlinien** (x - und y -Achse)

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition ist für **fokussierende Wandler** geeignet, während die **Bündelachse** in 3.5 von IEC 61102 zweckmäßiger für **nichtfokussierende Wandler** ist. Siehe 6.2 und Bild 2.

4.2.13

Bündelmittelpunkt

Punkt, in dem sich zwei durch die **Bündelbreiten-Mittelpunkte** zweier orthogonaler Ebenen, xz und yz , gehende Linien schneiden

4.2.14

Bündelmaximum

b_m

größtes gemessenes **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** auf der **Bündelachse**

[IEC 62556, Begriff 3.6]

4.2.15

Tiefe des Bündelmaximums

L_{bm}

kürzester Abstand zwischen zwei Punkten auf der **Bündelachse**, bei dem das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** dessen Maximum auf der **Bündelachse** um 6 dB unterschreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Fällen wird die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** in der vorstehenden Definition durch eine linear zusammenhängende Größe ersetzt, z. B. wird bei einem Dauerschallsignal die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** durch den in IEC 61689 definierten Mittelwert des quadrierten Schalldrucks ersetzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die **Tiefe des Bündelmaximums** wird in Meter (m) angegeben.

[IEC 62556]

4.2.16

Punkt des Bündelmaximums

Punkt auf der **Bündelachse**, an dem das maximale **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Fällen wird die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** in der vorstehenden Definition durch eine linear zusammenhängende Größe ersetzt, z. B. durch den in IEC 61689 definierten Mittelwert des quadrierten Schalldrucks bei einem **Dauerschallsignal**.

[IEC 62556]

4.2.17

Volumen des Bündelmaximums

V_{bm}

Volumen in einem festgelegten Raum, der alle Punkte umfasst, bei denen das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** größer als der -6 -dB-Wert des **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** am **Punkt des Bündelmaximums**

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Fällen wird die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** in der vorstehenden Definition durch eine linear zusammenhängende Größe ersetzt, z. B. wird bei einem **Dauerschallsignal** die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** durch den in IEC 61689 definierten Mittelwert des quadrierten Schalldrucks ersetzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das **Volumen des Bündelmaximums** wird in Kubikmeter (m^3) angegeben.

[IEC 62556]

4.2.18**Bündelminimum**

Position entlang der **Bündelachse** in einer festgelegten **Längsebene**, an der das Feld eines **nichtfokussierenden Wandlers** die kleinste **–6-dB-Bündelbreite** hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Unter idealen Bedingungen entspricht diese Position dem **Übergangsabstand** für kreissymmetrische Felder oder nahezu dem **Übergangsabstand** bei anderen Geometrien.

[IEC 62556]

4.2.19**Tiefe des Bündelminimums** (früher **natürliche Brennweite**)

$b_{\min}$

Abstand vom **Bündelminimum** zur **effektiven Fokussierfläche** des **Ultraschallwandlers**

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Tiefe des Bündelminimums** wird in Meter (m) angegeben.

[IEC 62556]

4.2.20**Bündelbreite**

w_6, w_{10}, w_{20}

größter transversaler Abstand zwischen zwei Punkten auf einer festgelegten Achse senkrecht zur **Bündelachse**, wo das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** um einen festgelegten Betrag unter sein Maximum auf der **Bündelachse** fällt

(Siehe Bilder 4 und 7.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Allgemein verwendete **Bündelbreiten** werden mit **–6 dB**, **–10 dB** und **–20 dB** unter dem Maximum angegeben. Die Dezibel-Rechnung bedeutet, dass der zehnfache Logarithmus der Integralverhältnisse genommen wird. Siehe Bild 7.

Anmerkung 2 zum Begriff: w wird in Meter (m) angegeben.

4.2.21**Brennlinie der Bündelbreite**

in einer festgelegten **Längsebene** die Linie senkrecht zur **Bündelachse**, die durch den **Brennpunkt der Bündelbreite** verläuft

(Siehe Bild 7.)

4.2.22**Brennpunkt der Bündelbreite**

in einer festgelegten **Längsebene** der Punkt auf der **Bündelachse**, für den die senkrecht zur Achse gemessene **–6-dB-Bündelbreite** ein Minimum ist. Wenn für verschiedene **Längsebenen** eine zweidimensionale Fokussierung vorgenommen worden ist, können die **Bündelbreiten** im Allgemeinen unterschiedlich sein

(Siehe Bild 7.)

4.2.23**Bündelbreiten-Mittelpunkt**

lineares Mittel der Lage der Mitten von **Bündelbreiten** in einer Ebene. Das Mittel wird über so viele **Bündelbreitenwerte** aus Tabelle B.2 genommen, wie es der Signalpegel in einer Ebene erlaubt

(Siehe Anhang B, B.2.)

4.2.24**Breitbandsignal**

Signal mit einer prozentualen –3-dB-Teilbandbreite größer als 25 %, wobei die prozentuale –3-dB-Teilbandbreite gleich der Bandbreite $\times 100/\text{akustische Mittenfrequenz}$ ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezüglich Bandbreite siehe 3.5 in IEC 61157.

4.2.25**mittlere Abtastlinie****zentrale Abtastlinie**

bei automatischen Abtastsystemen die Ultraschallabtastlinie, die der Symmetrieachse der Abtastebene am nächsten liegt

[IEC 62127-1]

4.2.26**Dauerschallsignal**

Signal, das monochromatisch eine einzige Frequenz enthaltend und nicht amplitudenmoduliert ist

4.2.27**krummliniges Array**

Array oder **Ultraschall-Wandlerelementgruppe**, die aus aneinander gereihten **Ultraschall-Wandlerelementen** besteht, die auf einer gekrümmten Fläche angeordnet sind und elektrisch gesteuert werden können, um die Eigenschaften und/oder Richtung eines Schallbündels zu ändern

4.2.28**Feldtiefe****Fokustiefe****Tiefenbereich**

Δ_{DOF}

in einer festgelegten **Längsebene** der Abstand zwischen zwei Punkten entlang der **Bündelachse**, die durch die Punkte auf beiden Seiten des **Brennpunkts der Bündelbreite** definiert sind, in denen die –6-dB-**Bündelbreiten** um einen Faktor zwei zunehmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einer Konstruktion, bei der ein solcher Punkt zwischen dem **Brennpunkt der Bündelbreite** und der **Wandleraperturbene** nicht vorhanden ist, gilt die Lage des dem **Ultraschallwandler** am nächsten gelegenen **Fokustiefenpunktes** als die **Wandleraperturbene**. Bei einer Messung, bei der ein solcher Punkt zwischen dem **Brennpunkt der Bündelbreite** und der **Quellenaperturbene** nicht vorhanden ist, gilt die **Quellenaperturbene** als die Lage des dem **Ultraschallwandler** am nächsten gelegenen **Fokustiefenpunktes**. (Siehe Bild 7.)

Anmerkung 2 zum Begriff: Δ_{DOF} wird in Meter (m) angegeben.

4.2.29**abgeleiteter Augenblickswert der Intensität**

I

eine Näherung des **Augenblickswertes der Intensität** für Messzwecke. Für die in dieser Technischen Spezifikation angeführten Messzwecke und unter Bedingungen mit ausreichendem Abstand vom Wandler (mindestens 1 Wandlerdurchmesser oder 1 Äquivalentmaß des Wandlers bei einem nicht-runden Wandler) wird der **abgeleitete Augenblickswert der Intensität** wie folgt bestimmt

$$I(t) = \frac{p(t)^2}{\rho c} \quad (5)$$

Dabei ist

$p(t)$ der Augenblickswert des Schalldrucks;

ρ die Dichte des Mediums;

c die Schallgeschwindigkeit im Medium

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Messungen nahe dem Wandler sollte die erhöhte Messunsicherheit berücksichtigt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der **abgeleitete Augenblickswert der Intensität** wird in Watt je Quadratmeter (W/m^2) angegeben.

[IEC 62556]

4.2.30

diametrale Bündelabtastung

Reihe von Messungen der **Hydrophon**-Ausgangsspannung, die während der Bewegung des **Hydrophons** entlang einer Geraden, die durch einen Punkt auf der **Bündelachse** und in einer Richtung senkrecht zur **Bündelachse** verläuft, durchgeführt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **diametrale Bündelabtastung** kann sich über verschiedene Abstände auf jeder Seite der **Bündelachse** erstrecken.

[IEC 62127-1]

4.2.31

Abstand z_e

z_e

Abstand entlang der **Bündelachse** zwischen der **Patienteneintrittsebene** und der **Ebene der äußeren Wandlerapertur**

[QUELLE: IEC 62556, 3.19]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Abstand z_e** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.32

Abstand z_{slpta}

z_{slpta}

Abstand entlang der **Bündelachse** zwischen der Ebene, in der der **Nebenkeulenspitzen- und zeitliche Mittelwert der Intensität** liegt, und der **Quellenaperturebene**

[QUELLE: IEC 62556, 3.20]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Abstand z_{slpta}** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.33

Abstand z_p

z_p

Abstand entlang der **Bündelachse** zwischen der Ebene, in der der **Fokuspunkt** liegt (oder bei **nichtfokussierenden Wandlern** die Ebene mit dem **Bündelmaximum**), und der **Quellenaperturebene**

[QUELLE: IEC 62556, 3.21]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Abstand z_p** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.34

effektive Fokussierfläche

Fläche konstanter Phase, deren Peripherie mit der **Wandlerapertur** zusammenfällt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei **Arrays** ist die Fläche konstanter Phase die Fläche, die von den Zeitanregungen gebildet wird, die auf die einzelnen Elemente eines Arrays ausgeübt werden, um eine Fokussierung und Steuerung einer **Abtastlinie** zu bewirken.

4.2.35**effektive Weglänge** d_{eff}

Abstand, der die äquivalente gesamte akustische Weglänge darstellt (zwischen einem festgelegten Feldpunkt und einem festgelegten Punkt auf einer **effektiven Fokussierfläche** eines Wandlers). Im Falle eines Wandlers mit einer Linse wird der Teil des Weges durch die Linse mit dem Verhältnis c_W/c_L multipliziert, wobei c_L die Schallgeschwindigkeit in der Linse und c_W die Schallgeschwindigkeit in Wasser (oder im Messmedium) ist

Anmerkung 1 zum Begriff: In den meisten Fällen gilt diese Definition für Wandler bekannter Konstruktion; im Übrigen kann sie als Zeitverzögerung zwischen den zwei oben festgelegten Punkten, dividiert durch die Schallgeschwindigkeit in Wasser (oder in dem Messmedium) gemessen werden. Siehe auch **geometrischer Brennpunkt** und **effektive Fokussierfläche**.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Abstand d_{eff} wird in Meter (m) angegeben.

4.2.36**wirksamer Radius eines nichtfokussierenden Ultraschallwandlers** a_t

Radius eines idealen Kolbenmembran-Ultraschallwandlers, der eine vorausgesagte axiale Schalldruckverteilung hat, die der beobachteten axialen Schalldruckverteilung über einen axialen Abstand bis mindestens über den letzten axialen Höchstwert hinaus annähernd gleich ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **wirksame Radius eines nichtfokussierenden Ultraschallwandlers** wird in Meter (m) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Wandler mit einer Öffnung hat keinen effektiven Radius.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe IEC 62556.

4.2.37**effektive Wellenlänge** λ

longitudinale Schallgeschwindigkeit im Ausbreitungsmedium, dividiert durch die **akustische Mittenfrequenz**

ANMERKUNG λ wird in Meter (m) angegeben.

4.2.38**Höhenachse**

Linie in der **Quellenaperturbene** (Messung) oder **Wandleraperturbene** (Konstruktion), die senkrecht zur **Azimutalachse** ist

(Siehe Bild 7.)

4.2.39**Höhenebene**

Längsebene, die die **Höhenachse** enthält und orthogonal zur **Azimutalachse** ist

4.2.40**äußere Wandlerapertur**

Teil der Oberfläche des **Ultraschallwandlers** oder der **Ultraschall-Wandlerelementgruppe**, die Ultraschall in das Ausbreitungsmedium aussendet. Es wird angenommen, dass diese Fläche für Messungen mit einem Hydrophon in einem gewählten Ausbreitungsmedium (gewöhnlich Wasser) zugänglich ist

(Siehe Bild 2.)

4.2.41**äußere Wandlerapertur**

Teil der Oberfläche des **Ultraschallwandlers** oder der **Ultraschall-Wandlerelementgruppe**, die Ultraschall in das Ausbreitungsmedium aussendet

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird angenommen, dass diese Fläche für Messungen mit einem Hydrophon in einem gewählten Ausbreitungsmedium (gewöhnlich Wasser) zugänglich ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Oberfläche berührt entweder direkt den Patienten oder steht in Kontakt mit einem Wasser- bzw. Flüssigkeitsweg zum Patienten.

4.2.42**Ebene der äußeren Wandlerapertur**

Ebene, die orthogonal zur **Bündelachse** eines ungesteuerten Bündels oder bei einem automatischen Scanner orthogonal zur Symmetrieachse der **Azimutalebene** ist und physikalisch an den **Ultraschallwandler** und die **äußere Wandlerapertur** grenzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der **Ultraschallwandler** flach ist, ist die Ebene koplanar mit der strahlenden Fläche des **Ultraschallwandlers**; ist er konkav oder gekrümmt, berührt die Ebene die Peripherie der strahlenden Fläche; ist er konvex, ist die Ebene tangential zum Mittelpunkt der strahlenden Fläche im Berührungspunkt (siehe Bild 5).

4.2.43**Blendenzahl**
 F_n

Verhältnis der **geometrischen Brennweite** zur **Wandleraperturbreite** in einer festgelegten **Längsebene**

Anmerkung 1 zum Begriff: F_n ist dimensionslos.

4.2.44**Fernfeld (äquivalent zu Fraunhofer-Zone)**

Schallfeldbereich, der sich über den Übergangsabstand hinaus mit Ausrichtung entlang der Bündelachse bei planaren nichtfokussierenden Wandlern erstreckt. Wenn die Form der Wandlerapertur mehrere Übergangsabstände erzeugt, ist der vom Wandler am weitesten entfernte Abstand zu verwenden

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition stimmt mit Bild 3a von IEC 61828 überein.

4.2.45**ferner Übergangsabstand**
 z_{FTD}

größter Abstand vom **Ultraschallwandler**, bei dem der Absolutbetrag der Differenz zwischen **Apertur-Wegunterschied** und **Axialfeldpunkt-Wegunterschied** gleich der Hälfte einer **effektiven Wellenlänge** ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Auch gegeben durch Gleichung (4). Siehe Anhang A und Bild 3b.

Anmerkung 2 zum Begriff: z_{FTD} wird in Meter (m) angegeben.

4.2.46**Fokustiefe****Tiefenschärfe**
 L_6

Tiefe des Bündelmaximums für einen **fokussierenden Wandler**

[QUELLE: IEC 62556, 3.36]

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Fokustiefe** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.47**Fokalverstärkung am Bündelmaximum** G_p Verstärkung am **Bündelmaximum** für einen **fokussierenden Wandler**

[QUELLE: IEC 62556, 3.37]

4.2.48**Fokuspunkt****Punkt des Bündelmaximums** für einen **fokussierenden Wandler**

[QUELLE: IEC 62556, 3.38]

4.2.49**Fokusvolumen** V_{foc} **(Volumen des Bündelmaximums** für einen **fokussierenden Wandler**)Volumen in einem festgelegten Raum, der alle Punkte umfasst, bei denen das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** größer als der -6-dB -Wert des **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** am **Punkt des Bündelmaximums**

[QUELLE: IEC 62556, 3.39]

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Fällen wird die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** in der vorstehenden Definition durch eine linear zusammenhängende Größe ersetzt, z. B. wird bei einem **Dauerschallsignal** die Benennung **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** durch den in IEC 61689 definierten Mittelwert des quadrierten Schalldrucks ersetzt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das **Fokusvolumen** wird in Kubikmeter (m^3) angegeben.

4.2.50**Fokuszone** (früher **fokale Fraunhofer-Zone**)Bereich entlang der **Bündelachse**, der von dem **nahen Übergangsabstand** und dem **fernen Übergangsabstand** begrenzt ist. Entsprechend der Bereich eines Ultraschallfeldes um einen **geometrischen Brennpunkt** in einer festgelegten **Längsebene**, wobei der **Axialfeldpunkt-Wegunterschied** bei **fokussierenden Wandlern** sich vom **Apertur-Wegunterschied** um weniger als eine halbe **Wellenlänge** unterscheidet

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezüglich weiterer Einzelheiten und der räumlichen Ausdehnung dieses Bereichs siehe Anhang A. Siehe Bilder 3b und 6.

4.2.51**fokussierender Wandler**elektroakustisches Gerät, das in einem Abstand von weniger als der Hälfte des **Übergangsabstands** von der **Quellenapertur** eine -6-dB -**Bündelbreite** in einer **Längsebene** erzeugt, wobei diese **Bündelbreite** weniger als die Hälfte der -20-dB -**Quellenaperturbreite** (gemessen in einer Ebene, die so nahe wie möglich am **Ultraschallwandler** liegt) in dieser Ebene beträgt (Messdefinition)

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Konstruktion: Ein **fokussierender Wandler** ist ein elektroakustisches Gerät, das in einem Abstand von weniger als der Hälfte des **Übergangsabstands** von der **Wandlerapertur** eine -6-dB -**Bündelbreite** in einer **Längsebene** erzeugt, wobei diese **Bündelbreite** weniger als die Hälfte der **Wandleraperturbreite** in dieser Ebene beträgt (Konstruktionsdefinition). Siehe Bild 7.

4.2.52**Fraunhofer-Zone** (äquivalent zu **Fernfeld**) für einen **nichtfokussierenden Wandler**Schallfeldbereich, der sich über den **Übergangsabstand** hinaus mit Ausrichtung entlang der **Bündelachse** bei planaren **nichtfokussierenden Wandlern** erstreckt. Wenn die Form der **Wandlerapertur** mehrere **Übergangsabstände** erzeugt, ist der vom Wandler am weitesten entfernte Abstand zu verwenden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3a.

4.2.53**Fresnel-Zone (Nahfeld) für einen nichtfokussierenden Wandler**

Schallfeldbereich vor dem **Übergangsabstand** mit Ausrichtung entlang der **Bündelachse** bei planaren **nichtfokussierenden Wandlern**. Wenn die Form der **Wandlerapertur** mehrere **Übergangsabstände** erzeugt, ist der vom Wandler am weitesten entfernte Abstand zu verwenden

ANMERKUNG Siehe Bild 3a.

4.2.54**Verstärkung am Bündelmaximum**
 G_{bm}

Verhältnis der maximalen Druckamplitude am **Bündelmaximum** zur mittleren Druckamplitude in der **Ebene der äußeren Wandlerapertur**

[QUELLE: IEC 62556, 3.41]

4.2.55**geometrische Bündelgrenze**

Fläche, die durch den **geometrischen Brennpunkt** verlaufende Geraden und alle Punkte an der Peripherie der **Wandlerapertur** enthält

(Siehe Bild 5.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Gilt für **Ultraschallwandler** mit bekannter Konstruktion.

4.2.56**geometrische Fokalverstärkung**
 G_{focal}

für den Fall einer Messung, bei dem die **geometrischen Brennpunkte** aller **Längsebenen** zusammenfallen, ist die **geometrische Fokalverstärkung** die Quadratwurzel des Verhältnisses des **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** im **geometrischen Brennpunkt**, dividiert durch das **mittlere Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** über dem aktiven Teilbereich des Wandlers (d. h. der Bereich, der der **Wandleraperturfläche** entspricht). Bei Wandlern bekannter Konstruktion gilt folgende Definition: Bei nichtapodisierten Wandlern, die dieses Kriterium erfüllen, ist die **geometrische Fokalverstärkung** theoretisch gleich dem Verhältnis der **Wandleraperturfläche** zum Produkt aus **geometrischer Brennweite** und **effektiver Wellenlänge**. Bei einer apodisierten kreissymmetrischen Quelle ist die **geometrische Fokalverstärkung** $G_{focal} = \pi z_T / F_{geo}$, wenn der **Übergangsabstand** für **Apodisation** definiert ist. Bei nichtapodisierten **Ultraschallwandlern**, bei denen die Brennpunkte in verschiedenen **Längsebenen** nicht zusammenfallen, kann eine **geometrische Fokalverstärkung** für eine festgelegte **Längsebene** als das Verhältnis der **Wandleraperturbreite** in dieser Ebene zur Quadratwurzel des Produktes aus **effektiver Wellenlänge** und **geometrischer Brennweite** in dieser Ebene definiert werden. Für den apodisierten Fall ist für eine festgelegte **Längsebene** und einen rechteckigen Wandler mit einer **Wandleraperturbreite** L_{TA} die **geometrische Fokalverstärkung** $G_{focal} = (\pi z_T / F_{geo})^{1/2}$, wobei z_T der für Wandler mit **Apodisation** definierte **Übergangsabstand** ist. Die gesamte **geometrische Fokalverstärkung** ist das Produkt aus den **geometrischen Fokalverstärkungen** in jeder Ebene, wenn die **geometrischen Brennweiten** zusammenfallen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die theoretischen Definitionen gelten nicht für HITU-Wandler mit einer mittigen Öffnung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition gilt nur für **fokussierenden Wandler**.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die **geometrische Fokalverstärkung** ist dimensionslos.

4.2.57**geometrische Brennweite**
 F_{geo}

Abstand vom **geometrischen Brennpunkt** zur **effektiven Fokussierfläche** des **Ultraschallwandlers** (siehe **effektive Weglänge** und **effektive Fokussierfläche** sowie Bild 5)

Anmerkung 1 zum Begriff: Gilt für **Ultraschallwandler** bekannter Konstruktion.

Anmerkung 2 zum Begriff: F_{geo} wird in Meter (m) angegeben.

4.2.58

geometrischer Brennpunkt

Punkt, für den alle **effektiven Weglängen** in einer gegebenen **Längsebene** gleich sind. Auch der Punkt, in dem alle Wellen vom Wandler dieselbe Verzögerung aufweisen, wie in der Näherung der geometrischen Akustik unter Vernachlässigung der Beugung gesehen

4.2.59

geometrischer Linienbrennpunkt

Linie, für die alle **effektiven Weglängen** im Wesentlichen in allen Ebenen senkrecht zu dieser Linie gleich sind

(Siehe Bild 8.)

4.2.60

geometrisch-kugelförmiger Brennpunkt

Punktfokus

der **geometrische Brennpunkt** für einen sphärischen **Ultraschallwandler** (oder Reflektor), oder **effektive Fokussierfläche**

(Siehe Bild 8.)

4.2.61

Lineararray

Ultraschall-Wandlerelementgruppe mit Elementen, deren strahlende Flächen in derselben Ebene oder zylindrischen Fläche liegen und elektrisch konfiguriert werden können, um die Eigenschaften, die Lage und/oder die Steuerung eines Schallbündels zu beeinflussen

4.2.62

lokaler Flächenfaktor

F_a
Quadratwurzel des Quotienten aus **Quellenaperturfläche** und **Bündelfläche** am betrachteten Punkt. Die relevante lokale **Bündelfläche** A_b ist diejenige, für die das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** mehr als das 0,135-fache (d. h. das $1/e^2$ -fache) des höchsten Wertes im Querschnitt beträgt. Wenn die **Bündelfläche** beim -6-dB -Pegel, $A_{b,-6\text{ dB}}$, bekannt ist, kann die lokale **Bündelfläche** berechnet werden mit $A_b = A_{b,-6\text{ dB}}/0,69$ ($0,69 = 3 \ln(10)/10$)

$$F_a = \sqrt{\frac{0,69 A_{\text{SAeff}}}{A_{b,-6\text{ dB}}}} \quad (6)$$

[IEC/TS 61949]

4.2.63

lokaler Verzerrungsparameter

σ_q
Index, der die Vorhersage einer nichtlinearen Verzerrung des Ultraschalls für einen bestimmten **Ultraschallwandler** erlaubt und als σ_q folgendermaßen bestimmt werden kann

$$\sigma_q = z_p p_m \frac{2\pi f_{\text{awf}} \beta}{p \cdot c^3} \frac{1}{\sqrt{F_a}} \quad (7)$$

Dabei ist

z der axiale Abstand des betrachteten Punkts zur **Quellenaperturbene**;

p_m der **mittlere Scheitelwert des Schalldrucks** an dem Punkt im Schallfeld, der dem **räumlichen und zeitlichen Spitzenwert des Schalldrucks** entspricht;

β der Nichtlinearitätsparameter ($\beta = 1 + B / 2 A = 3,5$ für reines Wasser bei 20 °C);

f_{awf} die **akustische Arbeitsfrequenz**;

F_a der **lokale Flächenfaktor**.

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der **Mindestabstand** nicht Null ist, kann dessen Wert abgeschätzt und zum Wert von z in Gleichung (3) addiert werden. Hierdurch wird ein neuer und genauer berechneter Wert des **lokalen Verzerrungsparameters** erhalten, der zu verwenden ist.

[IEC/TS 61949]

4.2.64

Längsebene

von der **Bündelachse** und einer festgelegten orthogonalen Achse definierte Ebene

(Siehe Bild 7.)

4.2.65

Nahfeld (äquivalent zu **Fresnel-Zone** für einen **nichtfokussierenden Wandler**)

Schallfeldbereich vor dem Übergangsabstand mit Ausrichtung entlang der Bündelachse bei planaren **nicht-fokussierenden Wandlern**. Wenn die Form der **Wandlerapertur** mehrere **Übergangsabstände** erzeugt, ist der vom Wandler am weitesten entfernte Abstand zu verwenden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3a.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition weicht von IEC 61102, 3.23 ab.

4.2.66

naher Übergangsabstand

z_{NTD}

nächster Abstand zum **Ultraschallwandler**, bei dem der Absolutwert der Differenz zwischen dem **Apertur-Wegunterschied** und dem **Axialfeldpunkt-Wegunterschied** gleich der Hälfte einer **effektiven Wellenlänge** ist

(Siehe Bild 3b. Auch gegeben durch Gleichung (3). Bezüglich Einzelheiten siehe Anhang A.)

Anmerkung 1 zum Begriff: z_{NTD} wird in Meter (m) angegeben.

4.2.67

nichtfokussierender Wandler

Ultraschallwandler, dessen Feld nicht die Kriterien für einen **fokussierenden Wandler** erfüllt

(Siehe Bild 3a.)

4.2.68

nichtlinearer Ausbreitungsparameter (ersetzt durch **lokalen Verzerrungsparameter**)

σ_m

Index, der die Vorhersage einer nichtlinearen Verzerrung des Ultraschalls für einen bestimmten **Ultraschallwandler** erlaubt

(Bezüglich der vollständigen Definition siehe 3.25 in IEC 61102.)

Anmerkung 1 zum Begriff: σ_m ist dimensionslos.

4.2.69**normierte Brennweite** F_{norm}

für eine gegebene **Längsebene** für die Konstruktion die **geometrische Brennweite** dividiert durch den **Übergangsabstand**

Anmerkung 1 zum Begriff: F_{norm} ist dimensionslos.

4.2.70**Mindestabstand** d_{offset}

Abstand zwischen der **Quellenaperturbene** des Geräts und der **äußeren Wandlerapertur**, gemessen entlang der **Bündelachse**

(Siehe Bilder 7 und 9.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Mindestabstand** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.71**phasengesteuertes Array**

Ultraschall-Wandlerelementgruppe, bestehend aus **Ultraschall-Wandlerelementen**, die elektrisch konfiguriert werden können, um die Eigenschaften und die Richtung eines Schallbündels zu steuern

4.2.72**Druck-Brennfläche**

–6-dB-Bündelfläche in dem Abstand, der gleich der **Druck-Brennweite** ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Fläche kann aus mehreren Teilen bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die **Druck-Brennfläche** wird in Quadratmeter (m²) angegeben.

4.2.73**vorfokaler Spitzen- und zeitlicher Mittelwert der Intensität** I_{pfta}

größtes lokales Maximum des **zeitlichen Mittelwerts der Intensität** auf der **Bündelachse**, das nicht innerhalb des –6-dB-Fokusvolumens oder **Volumens des Bündelmaximums** liegt und zwischen der **Quellenaperturbene** und dem **Fokusvolumen** oder **Volumen des Bündelmaximums** auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **vorfokale Spitzen- und zeitliche Mittelwert der Intensität** wird in Watt je Quadratmeter (W/m²) angegeben.

4.2.74**vorfokale (präfokale) Zone** (früher **nahe Fresnel-Zone**)

der Bereich zwischen dem **Ultraschallwandler** und dem **nahen Übergangsabstand** für einen **fokussierenden Ultraschallwandler** in einer festgelegten **Längsebene**

(Siehe Bild 3b und Gleichung (3).)

4.2.75**nachfokale (postfokale) Zone** (früher **ferne Fresnel-Zone**)

Bereich jenseits der **Fokuszone** bei einem **fokussierenden Wandler** in einer festgelegten **Längsebene**

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine **nachfokale (postfokale) Zone** ist nicht vorhanden, wenn die **geometrische Brennweite** größer als der **Übergangsabstand** ist. Siehe Bilder 3b und 6.

4.2.76**Druck-Fokalverstärkung** G_{pfocal}

Quadratwurzel des **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** im **Druck-Brennpunkt**, dividiert durch die Quadratwurzel des mittleren **Integrals des quadrierten Schalldrucks** der **Quellenapertur**

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Druck-Fokalverstärkung** ist dimensionslos.

4.2.77**Druck-Brennweite** F_{pres}

der Abstand entweder von der **Wandleraperturebene** (Konstruktionsdefinition) oder von der **Quellenaperturebene** (Messdefinition) zur Lage des **Druck-Brennpunkts**, wo das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** seinen höchsten Wert im gesamten Feld hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Druck-Brennweite** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.78**Druck-Brennebene**

Ebene senkrecht zur **Bündelachse**, die den **Druck-Brennpunkt** enthält

(Siehe Bild 9.)

4.2.79**Druck-Brennpunkt**

Punkt des höchsten **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** im gesamten **Feld**

(Siehe Bild 9.)

4.2.80**Hauptlängsebene**

die **Ebene**, die die **Bündelachse** und die kleinste **–6-dB-Bündelbreite** enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei rechteckigen **Ultraschallwandlern** ist es die Ebene parallel zu ihrer längsten Seite. Siehe Bild 7.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei kreissymmetrischen **Ultraschallwandlern** genügt jede Ebene, die die Bündelachse enthält.

4.2.81**Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** p_i

Zeitintegral des Quadrats des Augenblickswerts des Schalldrucks in einem bestimmten Punkt in einem Schallfeld, integriert über die **Schallpulsform**

[IEC 61102, Begriff 3.33]

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einem **Dauerschallsignal** ist das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** gleich dem quadrierten Effektivwert des Schalldrucks multipliziert mit der Periodendauer einer Schwingung, T , oder $p_i = T (p_{\text{rms}})^2$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** wird in Pascal-Quadrat-Sekunde ($\text{Pa}^2 \cdot \text{s}$) angegeben.

4.2.82**quasilinear**

ein Zustand des Ultraschallfeldes zwischen der Quelle und einer in einer festgelegten axialen Tiefe befindlichen Ebene (Fläche), in der an jedem Punkt weniger als ein vorgegebener kleiner Anteil der Energie von der Grundfrequenz durch nichtlineare Ausbreitungseffekte in andere Frequenzen umgewandelt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Zwecke dieser Norm ist diese Bedingung erfüllt, wenn der **lokale Verzerrungsparameter** σ_q kleiner als 0,5 ist.

[IEC/TS 61949]

4.2.83

Rayleigh-Länge

R_L

bei einer gegebenen **Längsebene** für die Konstruktion die entsprechende Fläche der **Ultraschallwandler-aperturbreite**, dividiert durch die **effektive Wellenlänge** λ

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Rayleigh-Länge** ist gleich dem **Übergangsabstand**, multipliziert mit π .

Anmerkung 2 zum Begriff: Die **Rayleigh-Länge** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.84

Abtastlinie

bei automatischen Abtastsystemen die **Bündelachse** bei einer bestimmten **Ultraschall-Wandlerelementgruppe** oder bei einer bestimmten Anregung eines **Ultraschallwandlers** oder einer **Ultraschall-Wandlerelementgruppe**

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies entspricht der Definition aus IEC 61102, 3.56 (mit Abweichung im Englischen).

4.2.85

Abtastebene

Abtastfläche

bei automatischen Abtastsystemen eine Ebene (oder Fläche), die alle Ultraschall-**Abtastlinien** enthält

[IEC 61102, Begriff 3.38]

4.2.86

Nebenkeulenspitzen- und zeitlicher Mittelwert der Intensität

I_{slpta}

Höchstwert des **zeitlichen Mittelwerts der Intensität**, gemessen an einem lokalen Maximum, das nicht innerhalb des **-6-dB-Fokusvolumens** (für fokussierende Wandler) oder **Volumens des Bündelmaximums** (für nichtfokussierende Wandler) liegt

[QUELLE: IEC 62556, 3.86]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Nebenkeulenspitzen- und zeitliche Mittelwert der Intensität** wird in Watt je Quadratmeter (W/m^2) angegeben.

4.2.87

Signaltyp

Klassifizierung der **Schallpulsform** in **Dauerschall**-, **Tonburst**- oder **Breitbandsignaltypen**

4.2.88

Quellenapertur

A_{SAeff}

äquivalente **Apertur** für einen **Ultraschallwandler** mit unbekannten Eigenschaften, gemessen als die Kontur des **-20-dB-Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** in der Messebene (**Quellenaperturebene**), die der **äußeren Wandlerapertur** so nahe wie möglich ist

(Siehe Bild 7)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Quellenapertur** wird in Quadratmeter (m^2) angegeben.

4.2.89**mittleres Integral des quadrierten Schalldrucks der Quellenapertur** $p_{i20\text{mean}}$ **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks**, gemittelt über die **–20-dB-Bündelfläche** in der **Quellenaperturebene**

Anmerkung 1 zum Begriff: Das **mittlere Integral des quadrierten Schalldrucks der Quellenapertur** wird in Pascal-Quadrat-Sekunde ($\text{Pa}^2\cdot\text{s}$) angegeben.

4.2.90**Quellenaperturebene****Messebene**, die möglichst nahe an der **äußeren Wandlerapertur** liegt und senkrecht zur **Bündelachse** ist

(Siehe Bild 2.)

4.2.91**Quellenaperturbreite** L_{SA} in einer festgelegten **Längsebene** die größte **–20-dB-Bündelbreite** entlang der **Schnittlinie** zwischen der bezeichneten **Längsebene** und der **Quellenaperturebene**

(Siehe Bild 2.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Quellenaperturbreite** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.92**räumlicher Mittelwert der Intensität, lineare Bedingungen** I_{SAL} über die von der Halbdruckmaximum-Kontur eingeschlossene Fläche räumlich gemittelte Intensität in der Ebene, die den **Fokuspunkt** (bei fokussierenden Wandlern) oder das **Bündelmaximum** (bei nichtfokussierenden Wandlern) enthält, wie unter quasilinearen Bedingungen bestimmt

[QUELLE: IEC 62556, 3.90]

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **räumliche Mittelwert der Intensität, lineare Bedingungen** wird in Watt je Quadratmeter (W/m^2) angegeben.

4.2.93**gesteuertes Bündel**Ultraschallfeld, dessen **Bündelachse** gewollt nicht mit einer Achse zusammenfällt, die senkrecht zur **Wandleraperturebene** liegt**4.2.94****Tonburstsinal**Puls mit einer **–3-dB-Teilbandbreite** von weniger als 25 %, wobei die prozentuale **–3-dB-Teilbandbreite** gleich der $(\text{Bandbreite} \times 100)/\text{akustische Mittenfrequenz}$ ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Bezüglich „Bandbreite“ siehe IEC 61157, Begriff 3.5.

4.2.95**Wandlerapertur(fläche)** A_{SA} effektive Fläche des aktiven, Ultraschall aussendenden Teils eines **Ultraschallwandlers** in der **Wandleraperturebene**, wie durch die Kontur des **–20-dB-Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** in der **Quellenaperturebene** bestimmt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der HITU-Wandler kreissymmetrisch ist und keine Öffnung in seiner Mitte hat, ist eine radiale Linienabtastung zum Bestimmen der Kontur ausreichend.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn ein HITU-Wandler eine Öffnung in seiner Mitte hat, ist die Öffnung nicht in der –20-dB-Kontur enthalten.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die **Wandlerapertur(fläche)** wird in Quadratmeter (m²) angegeben.

4.2.96

Wandleraperturebene

Ebene, die orthogonal zur **Bündelachse** des **ungesteuerten Bündels** ist und physikalisch an den **Ultraschallwandler** grenzt

(Siehe Bild 9b.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der **Ultraschallwandler** flach ist, ist die Ebene koplanar mit der strahlenden Fläche des **Ultraschallwandlers**; ist er konkav oder gekrümmt, berührt die Ebene die Peripherie der strahlenden Fläche; ist er konvex, ist die Ebene tangential zum Mittelpunkt der strahlenden Fläche im Berührungspunkt.

4.2.97

Abstand der Wandleraperturebene

D_{AF}

Abstand zwischen dem **geometrischen Brennpunkt** und der **Wandleraperturebene**

(Siehe Bild 5.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Abstand der Wandleraperturebene** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.98

Wandleraperturbreite

L_{TA}

volle Breite der **Wandlerapertur** entlang einer festgelegten Achse orthogonal zur **Bündelachse** des **ungesteuerten Bündels**

(Siehe Bild 5.)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Wandleraperturbreite** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.99

Übergangsabstand

z_T

bei einer gegebenen **Längsebene** für die Konstruktion: die **Wandleraperturfläche** des **Ultraschallwandlers**, dividiert durch π mal der **effektiven Wellenlänge** λ , d. h. $A_{TA}/(\pi \lambda)$; für Messungen: die **Wandleraperturfläche** wird ersetzt durch die **Quellenaperturfläche**, so dass der **Übergangsabstand** durch $A_{SAeff}/(\pi \lambda)$ gegeben ist. Bei einem nichtapodisierten **Ultraschallwandler** mit Kreissymmetrie um die **Bündelachse** ist die **Quellenaperturfläche** πa_e^2 , wobei a_e der wirksame Radius ist; daher ist der **Übergangsabstand** $z_T = a_e^2 / \lambda$. Bei einem nichtapodisierten rechteckigen **Ultraschallwandler** mit einer **Wandleraperturbreite** L_{TA1} in einer festgelegten **Längsebene** ist die wirksame Fläche in der Ebene L_{TA1}^2 . Daher gilt in dieser Ebene für den **Übergangsabstand** $z_{T1} = L_{TA1}^2 / (\pi \lambda)$. Der **Übergangsabstand** für die orthogonale **Längsebene**, die die zweite **Wandleraperturbreite** enthält, ist $z_{T2} = L_{TA2}^2 / (\pi \lambda)$. Analog verhält es sich für Messungen in jeder festgelegten **Längsebene**, d. h. es wird die **Quellenaperturbreite** in dieser Ebene oder $z_{T1} = L_{SA1}^2 / (\pi \lambda)$ benutzt bzw. in der anderen orthogonalen Ebene $z_{T2} = L_{SA2}^2 / (\pi \lambda)$

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei apodisierten Wandlern mit einer symmetrischen Apodisation oder Gewichtungsfunktion W (normiert auf einen Höchstwert von eins für die Teilchengeschwindigkeitsverteilung) sind die **Übergangsabstände** wie folgt:

für kreissymmetrische Wandler mit einem aktiven Radius a ,

$$z_T = \left(\frac{2}{\lambda} \right) \int_0^a W(r) r \, dr$$

für rechteckige Wandler mit einer physikalischen Aperturlänge L in einer gegebenen **Längsebene**,

$$z_T = \left(\frac{4}{\pi \lambda} \right) \left| \int_0^{L/2} W(x) \, dx \right|^2$$

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei anderen symmetrischen Formen als den gewöhnlichsten Fällen von Kreis- und rechteckiger Symmetrie kann dieselbe Definition des **Übergangsabstands** verwendet werden. Zum Beispiel ist bei Aperturen mit n -facher Symmetrie ($n > 2$) wie Sechseck- und Achtecken der **Übergangsabstand** in einer Symmetrieebene senkrecht zu einer Seite gleich der Fläche der Apertur dividiert durch $(\pi \lambda)$. Bei **Ringarrays** mit mehreren Ringen ist die äquivalente Fläche die gesamte Fläche (aller Ringe) der aktiven Apertur. In Fällen, in denen eine besondere Phasensteuerung angewendet wird, wie z. B. **Ringarrays** mit abwechselnden Phasenverschiebungen (0° bzw. 180°) zusätzlich zur beabsichtigten Fokussierung, oder bei Aperturen mit ungewöhnlichen Formen und ungewöhnlicher Phasensteuerung wird die dreidimensionale Beugungsberechnung angewendet, um die kleinste **Bündelbreite**, die dem entsprechenden **Übergangsabstand** entspricht, zu ermitteln.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein Wandler mit einer mittigen Öffnung hat keinen effektiven Radius; bezüglich dieser Fälle siehe Literaturhinweis 34.

Anmerkung 4 zum Begriff: Der **Übergangsabstand** wird in Meter (m) angegeben.

4.2.100

Transversalebene

jede Ebene, die senkrecht zur **Bündelachse** ist

4.2.101

zweidimensionales Array

Ultraschall-Wandlerelementgruppen-Array, das so konfiguriert werden kann, dass es die Eigenschaften und die Richtung eines Schallbündels in mindestens zwei (gewöhnlich orthogonalen) **Abtastebenen** beeinflusst

4.2.102

Ultraschallwandler

Gerät, das im Ultraschallfrequenzbereich elektrische Energie in mechanische Energie und/oder umgekehrt mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln kann

[IEC 61102, Begriff 3.58]

4.2.103

Ultraschall-Wandlerelementgruppe

Gruppe von Elementen eines **Ultraschallwandlers**, die zusammen angeregt werden, um einen einzelnen Schallpuls zu erzeugen

[IEC 61102, Begriff 3.60]

4.2.104

ungesteuertes Bündel

Ultraschallfeld in Vorwärtsausbreitungsrichtung ohne Winkelablenkung

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Richtung verläuft entlang der zentralen **Abtastlinie** einer Sektorabtastung. Wenn der **Ultraschallwandler** symmetrisch ist, kann das **ungesteuerte Bündel** so gewählt werden, dass es sich nahe der Symmetrieachse oder einer Symmetrieebene des **Ultraschallwandlers** befindet.

5 Liste der verwendeten Formelzeichen

a	aktiver Radius eines kreisförmigen Ultraschallwandlers
a_t	effektiver Radius
A_b	Bündelfläche
A_{b6}	Druck-Brennfläche
A_{SA}	Wandlerapertur(fläche)
A_{SAeff}	Quellenapertur
c	Schallgeschwindigkeit
c_W	Schallgeschwindigkeit in Wasser
c_L	Schallgeschwindigkeit in der Linse
D_{AF}	Abstand der Wandleraperturebene
d	(= $2 a$) aktiver Durchmesser eines kreisförmigen Ultraschallwandlers
d_{eff}	effektive Weglänge
d_{offset}	Mindestabstand
F_a	lokaler Flächenfaktor
F_n	Blendenzahl
f_{awf}	akustische Mittenfrequenz
F_{geo}	geometrische Brennweite
$F_{natural}$	natürlicher Brennweite
F_{norm}	normierte Brennweite
F_{pres}	Druck-Brennweite
G_{bm}	Verstärkung am Bündelmaximum
G_{focal}	geometrische Fokalverstärkung
G_p	Fokalverstärkung am Bündelmaximum
G_{pfocal}	Druck-Fokalverstärkung
I	abgeleiteter Augenblickswert der Intensität
I_{SAL}	räumlicher Mittelwert der Intensität, lineare Bedingungen
I_{pfpta}	vorfokaler Spitzen- und zeitlicher Mittelwert der Intensität
I_{slpta}	Nebenkeulenspitzen- und zeitlicher Mittelwert der Intensität
k	(= $2 \pi/\lambda$) Kreiswellenzahl
L_6	Fokustiefe
L_{SA}	Quellenaperturbreite
L_{TA}	Wandleraperturbreite
n	Brechzahl

p_i	Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks
p_{rms}	Effektivwert des Schalldrucks
$p_{i20\text{mean}}$	gemitteltes Integral des quadrierten Schalldrucks der Quellenapertur
R	Krümmungsradius eines Ultraschallwandlers
R_{LENS}	Krümmungsradius der Fläche einer Linse
R_L	Rayleigh-Länge
V_{foc}	Volumen des Bündelmaximums für einen fokussierenden Wandler
T	Periodenlänge einer Schwingung
W	Gewichtungsfunktion
w_6, w_{10}, w_{20}	Bündelbreite bei –6 dB, –10 dB und –20 dB
x_c	Bündelmittelpunkt (Schwerpunkt) bei einer Bündelabtastung in x -Richtung
x_{pk}	Lage der Spitze eines Bündels entlang der x -Achse
y_c	Bündelmittelpunkt (Schwerpunkt) bei einer Bündelabtastung in y -Richtung
z_{FTD}	ferner Übergangsabstand
z_{NTD}	naher Übergangsabstand
z_T	Übergangsabstand
Δ	Apertur-Wegunterschied
Δ_{DOF}	Feldtiefe (auch bekannt als Fokustiefe oder Tiefenbereich)
Δ'	Axialfeldpunkt-Wegunterschied
λ	effektive Wellenlänge
σ_m	nichtlinearer Ausbreitungsparameter
σ_q	lokaler Verzerrungsparameter

6 Messverfahren

6.1 Allgemeines

Abschnitt 6 beschreibt mehrere Messverfahren für die Messung von Fokussierparametern. Diese Messverfahren setzen ein hinreichend symmetrisches Bündelfeld mit guten Eigenschaften voraus, das in einer gewissen Tiefe ein einzelnes zentrales Maximum hat. Bezüglich Beispiele siehe Bilder B.1 und B.2. Wenn das Bündel ausreichend asymmetrisch ist, wie es in dem Beispiel in Bild C.1 dargestellt ist, kann das in Anhang C beschriebene Rasterabtastverfahren angewendet werden. Allgemeine Messinformationen und der Messaufbau werden in diesem Abschnitt beschrieben. 6.2 gibt das Verfahren für das Auffinden der **Bündelachse** und des **Druck-Brennpunkts**, das sind Schritte, die anderen Messungen von Fokussierparametern vorausgehen müssen. In 6.3 wird die Bestimmung des **Brennpunkts der Bündelbreite** herangezogen, um zu ermitteln, ob ein Wandler in einer bestimmten **Längsebene** ein **fokussierender Wandler** ist. Verfahren für die Messung sonstiger Fokussierparameter wie **Fokustiefe**, **Druck-Fokalverstärkung** und **Brennpunkt der Bündelfläche** werden in 6.4 angegeben.

6.1.1 Aufbau

Anfängliche allgemeine Betrachtungen in Bezug auf das System und die Messung sind in 3.2 enthalten. Die Geräte und der Aufbau, die für die Messungen erforderlich sind, sind in IEC 61102 beschrieben und umfassen einen Behälter mit Positioniereinrichtungen und einem Hydrophon sowie eine Vorrichtung für die Aufzeichnung von Wellenformen wie z. B. ein digitales Abtastoszilloskop. Wenn sich die Messungen auf einen **Ultraschallwandler** mit bekannter/bekannten Anregungswellenform(en) beziehen, ist/sind sie zusammen mit

dem **Signaltyp** aufzuzeichnen. Im Fall eines **Arrays** oder einer **Ultraschall-Wandlerelementgruppe** ist eine typische Anregungswellenform für den Mittelpunkt des **Arrays** sowie ihre Beziehung zu anderen Wellenformen in Bezug auf Amplitude und Verzögerung wünschenswert. Alternativ und in Fällen, in denen die Anregungswellenformen nicht zugänglich sind, sollten alle Einstellungen des Anregungssystems, die die Ausgangsgrößen des **Ultraschallwandlers** beeinflussen, so ausreichend aufgezeichnet werden, dass die Messungen wiederholbar sind. Für den Fall eines Abtastsystems ist zu beachten, dass die **Abtastlinie** oder -position identifiziert und aufgezeichnet werden sollte. Die Temperatur im Behälter und das Referenzmedium im Behälter (wenn es ein anderes Medium als Wasser ist, siehe IEC 61102) sollten notiert werden.

Der **Ultraschallwandler** wird so in einem Koordinatenpositioniersystem gehalten, dass die Symmetrieachse seiner aktiven Elemente (**Ultraschall-Wandlerelementgruppe**) parallel zur y -Achse des Hydrophonpositioniersystems ist. Das in diesem Dokument verwendete Referenzsystem ist so gewählt, dass die **Bündelachse** entlang der z -Achse liegt, die **Abtastebene** die xz -Ebene und die **Höhenebene** die yz -Ebene ist. Es ist zweckmäßig, die Wandlerposition so zu wählen, dass die **Bündelachse** parallel zu einer Achse des Positioniersystems liegt. Hier muss die Symmetrieachse für **Ultraschallwandler** mit zylindrischen aktiven Elementen die Zylinderachse sein. Für **Ultraschallwandler** mit kugelförmigen aktiven Elementen muss die Symmetrieachse die Achse sein, die durch den geometrischen Mittelpunkt der Kugel verläuft und die nutzbare Außenfläche des **Ultraschallwandlers** etwa halbiert.

6.2 Ermittlung der Bündelachse

- a) Siehe Bild 9b. Es ist eine Messebene (**Quellenaperturbene**) festzulegen, die so nahe wie möglich an der **äußeren Wandlerapertur** liegt. Der Mindestabstand für die Messung wird beeinflusst von der Möglichkeit, den direkten abgestrahlten Puls von falschen reflektierten Pulsen zu trennen. Bei einigen **Ultraschallwandlern** kann es möglich sein, den Ausgangsdruck in einen Hauptaxialanteil und einen oder mehrere „Randwellen“-Nebenpulse aufzulösen. Randwellen können von der Hauptaxialwelle unterschieden werden, weil sie spätere Ankunftszeiten haben, die sich unterschiedlich mit dem Axialabstand ändern; eventuell verschmelzen sie mit der Hauptwelle auf der **Bündelachse**.

- b) Die Lage des **Druck-Brennpunkts**, das größte **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks**, im Feld ist festzulegen.

Die Suche nach dem **Druck-Brennpunkt** und der **Bündelachse** kann ggf. durch Fokussiereinstellungen und die Kenntnis der erwarteten Fokussiereigenschaften des Wandlers unterstützt werden. In den Fällen, in denen die Apertur und die Fokussiereigenschaften geändert werden können, sollte die elektronisch verstellbare Brennweite mit der Höhen-Brennweite zur Deckung gebracht werden, wenn diese bekannt ist. Wenn die Höhen-Brennweite nicht bekannt ist, kann die elektronische Brennweite verändert werden, um das größte **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** zu erhalten. Diese Methode funktioniert nicht, wenn das **Pulsintegral des quadrierten Schalldrucks** mit der Annäherung an den Wandler weiter zunimmt.

Die Kenntnis der erwarteten Fokussiereigenschaften des Wandlers in den **Längsebenen** kann die Auswahl der Suchabstände unterstützen. Die Gleichungen (3) und (4) für den **nahen Übergangsabstand** und den **fernen Übergangsabstand** können angewendet werden, um Abstände zu ermitteln, die die Ausdehnung der erwarteten **Fokuszone** abgrenzen. Eine geeignete Alternative zu der **Druck-Brennebene** ist eine nahe gelegene **Transversalebene**, in der das Bündel zu einer einzelnen Hauptkeule mit einer einzigen Spitze konvergiert. Diese Ebene liegt in der **Fokuszone**, aber enthält nicht notwendigerweise das größte Pulsintegral der Intensität des Feldes.

- c) Der Schwerpunkt des **Pulsintegrals des quadrierten Schalldrucks** in einer Ebene, die etwa parallel zur Wandleroberfläche durch den **Druck-Brennpunkt** (oder durch eine alternative Ebene, die in 6.2 b) beschrieben ist) verläuft, ist zu ermitteln. Es werden zwei Abtastungen durchgeführt, und zwar die erste entlang der y -Achse in dem Punkt, in dem sich der Spitzenwert der x -Achse befindet, und die zweite entlang der x -Achse in dem Punkt, in dem sich der y -Schwerpunkt, y_c , befindet. Die Schwerpunktlage (x_c , y_c) kann mit orthogonalen Linienabtastungen in der ausgewählten **Transversalebene** aus den folgenden Beziehungen erhalten werden:

aus

$$y_c = \frac{\sum_j y_j p_i(x_{pk}, y_j)}{\sum_j p_i(x_{pk}, y_j)} \quad (8a)$$