

Ultraschall

Fokussierende WandlerDefinitionen und Messverfahren für die erzeugten Felder
(IEC 61828:2001) Deutsche Fassung EN 61828:2001**DIN****EN 61828**

ICS 11.040.55; 11.040.60

Ultrasonics – Focusing transducers –
Definitions and measurement methods for the transmitted fields
(IEC 61828:2001);
German version EN 61828:2001

Ultrasons – Transducteurs focaliseurs –
Définitions et méthodes de mesure des champs transmis
(CEI 61828:2001);
Version allemande EN 61828:2001

Die Europäische Norm EN 61828:2001 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

Die EN 61828 wurde am 2001-09-01 angenommen.

Nationales Vorwort

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium GUK 821.3 „Medizinische Ultraschallgeräte“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN EN 61828:2000-09.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 87 „Ultrasonics“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2005 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Fortsetzung Seite 2
und 48 Seiten EN

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen 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 in das Deutsche Normenwerk aufgenommen.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist z. B. aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Deutsche Fassung

Ultraschall

Fokussierende Wandler

Definitionen und Messverfahren für die erzeugten Felder
(IEC 61828:2001)

Ultrasonics
Focusing transducers
Definitions and measurement methods for the
transmitted fields
(IEC 61828:2001)

Ultrasons
Transducteurs focaliseurs
Définitions et méthodes de mesure des champs
transmis
(CEI 61828:2001)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-09-01 angenommen. Die CENELEC-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 Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Électrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 87/196/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61828, ausgearbeitet von IEC TC 87 „Ultrasonics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-09-01 als EN 61828 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2002-06-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-09-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norm-Inhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und sind die Anhänge A, B und C informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61828:2001 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 61161:1992	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61161:1994 (nicht modifiziert).
IEC 62092:2001	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62092:2001 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
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
3.2 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 Definitionen	12
5 Liste der verwendeten Formelzeichen.....	23
6 Messverfahren	25
6.1 Allgemeines	25
6.1.1 Aufbau	25
6.2 Ermittlung der Bündelachse	25
6.3 Ermittlung, ob ein Wandler fokussiert.....	27
6.4 Messung anderer Brennpunktparameter eines fokussierenden Wandlers	28
Anhang A (informativ) Hintergrund für die Übertragungseigenschaften von fokussierenden Wandlern	37
Anhang B (informativ) Methoden für die Ermittlung der Bündelachse für Bündel mit guten Eigenschaften	42
Anhang C (informativ) Methoden für die Ermittlung der Bündelachse für Bündel ohne gute Eigenschaften	45
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	48
Literaturhinweise	47

Bild 1 – Wandleroptionen – Oben: Wandler mit einem Krümmungsradius R und einer Brennweite gleich R – Mitte: Wandler mit plankonkaver Linse – Unten: Wandler mit plankonvexer Linse.....	29
Bild 2 – Definitionen für Fokussierungsmessungen bei unbekannter Wandlergeometrie	30
Bild 3 – Feldparameter für nichtfokussierende und fokussierende Wandler	31
Bild 4 – Bündelkonturdarstellung (–6 dB, –12 dB und –20 dB) für einen 5-MHz-Wandler mit einem Durchmesser von 25 mm und einem Krümmungsradius von 50 mm, zentriert in Punkt 0,0 (unten Mitte).....	32
Bild 5 – Parameter für die Beschreibung eines fokussierenden Wandlers mit bekannter Geometrie.....	32
Bild 6 – Wegunterschiedparameter für die Beschreibung eines fokussierenden Wandlers mit bekannter Geometrie	33
Bild 7 – Brennpunkt der Bündelbreite in einer Hauptlängsebene	34
Bild 8 – Arten geometrischer Fokussierung	35
Bild 9 – Druck-Brennpunkt in einer Hauptlängsebene.....	36
Bild B.1 – x -Achsen-Abtastung in 9 cm Tiefe für die erste Brennzone mit Bündelzentrum.....	43
Bild B.2 – x -Achsen-Abtastung bei 4,4 cm Tiefe für die zweite Brennzone	43
Bild C.1 – Asymmetrisches Bündel zur Darstellung der Bündelbreiten-Mittelpunkt-Methode.....	46
 Tabelle B.1 – Standardabweichungen für x - und y -Abtastungen unter Verwendung der drei Methoden für die Ermittlung des Bündelmittelpunkts	42
Tabelle B.2 – –dB-Bündelbreitenpegel für die Bestimmung der Mittelpunkte	44

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), einschl. 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 normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieser Internationalen Norm werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050(801):1994, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 801: Acoustics and electro-acoustics*.

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*.

¹⁾ 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 einen **natürlichen Brennpunkt** aufweisen; daher ist davon auszugehen, dass ein **fokussierender Wandler** eine größere Druckamplitudenkonzentration (bei einer gegebenen Ausgangsleistung) hat als ein **nichtfokussierender Wandler** in seinem **natürlichen Brennpunkt**. Zum Beispiel hat ein **nichtfokussierender Wandler**, der aus einer einfachen Scheibe aus einem gleichmäßig polarisierten piezoelektrischen Material besteht, ein Bündel, dessen Intensität in seinem **natürlichen Brennpunkt** 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 ggf. zugänglich.

²⁾ fett gedruckte Begriffe 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 Wandler-System, 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 Linsen- oder Fokussierung 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 „**nahe Fresnel-Zone**“, „**ferne Fresnel-Zone**“ und „**fokale Fraunhofer-Zone**“ 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.

3.2 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-linearer Ausbreitungsparameter** (3.25 in IEC 61102) bezeichnet wird, festgelegt worden, und im Allgemeinen kann Linearität angenommen werden, wenn dieser Parameter unter etwa 0,2 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 **Quellenaperturbene**, so nahe wie möglich an der Quelle gewählt. Eine äquivalente akustische Apertur, die **Quellenapertur**, in dieser Ebene wird für die Ermittlung der effektiven Fokussierungseigenschaften 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 **nichtlineare Ausbreitungsparameter** muss festgelegt werden. Bild 2 zeigt die Beziehung zwischen mehreren dieser Messdefinitionen.

3.3.1 Allgemeine Felddesreibungen 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 wegen 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** schmäler 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 **nahe Fresnel-Zone**, die **fokale Fraunhofer-Zone** und die **ferne Fresnel-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 Ultraschallabtastlinien enthält. Die **Abtastfläche** 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 Definitionen

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Definitionen:

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, Definition 3.2]

ANMERKUNG 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

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**

(Siehe Bild 6 und Anhang A wegen Einzelheiten)

Formelzeichen: Δ

Einheit: Meter, m

4.2.4

Apodisation

Amplitudengewichtung oder Abblenden der **Wandlerapertur**

4.2.5

akustische Mittenfrequenz

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, Definition 3.4.2, geändert]

Formelzeichen: f_{awf}

Einheit: Hertz, Hz

4.2.6

Axialfeldpunkt-Wegunterschied

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.)

Formelzeichen: Δ'

Einheit: Meter, m

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 Üblicherweise wird die **Hauptlängsebene** so gewählt, dass sie mit der **Azimutalebene** zusammenfällt.

4.2.9

Bündelfläche

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, Definition 3.6]

ANMERKUNG Die **Bündelfläche** kann aus mehreren Teilen bestehen.

Formelzeichen: A_b

Einheit: Quadratmeter, m²

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 **fokalen Fraunhofer-Zone** 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 Diese Definition ist für **fokussierende Wandler** geeignet, während die **Bündelachse** in 3.5 in IEC 61102 zweckmäßiger für **nichtfokussierende Wandler** ist. Siehe 6.2 und Bild 2.