

DIN EN 61161

ICS 17.140.50

Ersatz für
DIN EN 61161:2007-09
Siehe Anwendungsbeginn

**Ultraschall –
Leistungsmessung –
Schallfeldkraft-Waagen und Anforderungen an ihre
Funktionseigenschaften
(IEC 61161:2013);
Deutsche Fassung EN 61161:2013**

Ultrasonics –
Power measurement –
Radiation force balances and performance requirements
(IEC 61161:2013);
German version EN 61161:2013

Ultrasons –
Mesurage de puissance –
Balances de forces de rayonnement et exigences de fonctionnement
(CEI 61161:2013);
Version allemande EN 61161:2013

Gesamtumfang 53 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2013-03-06 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2013-11-01.

Für DIN EN 61161:2007-09 besteht eine Übergangsfrist bis 2016-03-06.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 61161:2011-11.

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

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

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61161:2007-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) während die 2. Ausgabe nur stillschweigend von kreisrunden Wandlern handelte, handelt die aktuelle Ausgabe so weit wie möglich von beiden, kreisrunden und rechteckigen Wandlern, inklusive einer Anzahl von Symbolen für rechteckige Wandler;
- b) Beachtung finden die fokussierten Fälle und der Einfluß des Abtastens wurde hinzugefügt;
- c) die Methode des Kalibrierens der Schallfeldkraft-Waage hängt nun davon ab, ob die Messanordnung als primäres oder sekundäres Messwerkzeug genutzt wird;
- d) Anhang B (Basisformular) wurde aktualisiert und in Anhang C wird die Auftriebsänderungsmethode erwähnt (siehe auch zukünftige EN 62555).

Frühere Ausgaben

DIN EN 61161: 1995-06, 1999-02, 2007-09

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnietsnummer, 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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-801	a	–
EN 60601-2-5	IEC 60601-2-5	DIN EN 60601-2-5 (VDE 0750-2-5)	VDE 0750-2-5
EN 61157:2007	IEC 61157	DIN EN 61157	–
EN 61689	IEC 61689	DIN EN 61689 (VDE 0754-3)	VDE 0754-3
EN 61846:1998	IEC 61846:1998	DIN EN 61846:1999-04	–
EN 62127-1	IEC 62127-1	DIN EN 62127-1	–
EN 62127-2	IEC 62127-2	DIN EN 62127-2	–
EN 62127-3	IEC 62127-3	DIN EN 62127-3	–
–	IEC 62555	–	–
–	IEC/TR 60854:1986	–	–
–	IEC/TR 62781	–	–

^a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: <http://www.dke.de/dke-iev>.

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60601-2-5 (VDE 0750-2-5), *Medizinische elektrische Geräte – Teil 2-5: Besondere Festlegungen für die Sicherheit von Ultraschall-Physiotherapiegeräten*

DIN EN 61157, *Normverfahren für die Angabe der akustischen Ausgangsgrößen von medizinischen Ultraschalldiagnostikgeräten*

DIN EN 61689 (VDE 0754-3), *Ultraschall – Physiotherapiesysteme – Feldspezifikation und Messverfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 5 MHz*

DIN EN 61846:1999-04, *Ultraschall – Druckpuls-Lithotripter – Feldcharakterisierung (IEC 61846:1998); Deutsche Fassung EN 61846:1998*

DIN EN 62127-1, *Ultraschall – Hydrophone – Teil 1: Messung und Charakterisierung von medizinischen Ultraschallfeldern bis zu 40 MHz*

DIN EN 62127-2, *Ultraschall – Hydrophone – Teil 2: Kalibrierung für Ultraschallfelder bis zu 40 MHz*

DIN EN 62127-3, *Ultraschall – Hydrophone – Teil 3: Eigenschaften von Hydrophonen zur Verwendung in Ultraschallfeldern bis zu 40 MHz*

Deutsche Fassung

Ultraschall –
Leistungsmessung –
Schallfeldkraft-Waagen und Anforderungen an ihre Funktionseigenschaften
(IEC 61161:2013)

Ultrasonics –
Power measurement –
Radiation force balances and performance
requirements
(IEC 61161:2013)

Ultrasons –
Mesurage de puissance –
Balances de forces de rayonnement et
exigences de fonctionnement
(CEI 61161:2013)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2013-03-06 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2013 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61161:2013 D

Vorwort

Der Text des Dokuments 87/520/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 61161, erarbeitet vom IEC/TC 87 „Ultrasonics“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 61161:2013 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2013-12-06
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2016-03-06

Dieses Dokument ersetzt EN 61161:2007.

EN 61161:2013 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen gegenüber EN 61161:2007:

- während die 2. Ausgabe nur stillschweigend von kreisrunden Wandlern handelte, handelt die aktuelle Ausgabe so weit wie möglich von beiden, kreisrunden und rechteckigen Wandlern, inklusive einer Anzahl von Symbolen für rechteckige Wandler;
- Beachtung finden die fokussierten Fälle und der Einfluss des Abtastens wurde hinzugefügt;
- die Methode des Kalibrierens der Schallfeldkraft-Waage hängt nun davon ab, ob die Messanordnung als primäres oder sekundäres Messwerkzeug genutzt wird;
- Anhang B (Basisformular) wurde aktualisiert und im Anhang C wird die Auftriebsänderungsmethode erwähnt (siehe auch zukünftige EN 62555).

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61161:2013 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 60601-2-5	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60601-2-5.
IEC 61157	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61157.
IEC 61846:1998	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61846:1998 (nicht modifiziert).
IEC 62127-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62127-1.
IEC 62127-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62127-2.
IEC 62127-3	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62127-3.
IEC 62555 ¹⁾	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62555 ¹⁾ .

¹⁾ Im Entwurfs-Stadium.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Liste der Formelzeichen	7
5 Anforderungen an Schallfeldkraft-Waagen	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Target-Typ	9
5.3 Target-Durchmesser	10
5.4 Waage/Kraftmesssystem	10
5.5 Messgefäß	10
5.6 Target-Aufhängung	10
5.7 Wandlerhalterung	10
5.8 Abschirmfolien	10
5.9 Wandlerankopplung	11
5.10 Kalibrierung	11
6 Anforderungen an Messbedingungen	11
6.1 Seitliche Target-Anordnung	11
6.2 Target-Abstand vom Wandler	11
6.3 Wasser	11
6.4 Wasserkontakt	12
6.5 Umgebungsbedingungen	12
6.6 Thermische Drift	12
7 Messunsicherheit	12
7.1 Allgemeines	12
7.2 Waagensystem einschließlich Target-Aufhängung	12
7.3 Linearität und Auflösung des Waagensystems	12
7.4 Extrapolation auf den Schaltzeitpunkt des Ultraschallwandlers	13
7.5 Target-Unvollkommenheiten	13
7.6 Form des reflektierenden Targets	13
7.7 Seitliche Absorber im Fall von Messungen mit reflektierendem Target	13
7.8 Fehlausrichtung des Targets	13
7.9 Fehlausrichtung des Ultraschallwandlers	13
7.10 Wassertemperatur	13
7.11 Ultraschallschwächung und akustische Strömung	14
7.12 Folieneigenschaften	14
7.13 Endliche Target-Größe	14

	Seite
7.14 Annahme ebener Wellen	14
7.15 Einfluss der Abtastung.....	14
7.16 Umgebungseinflüsse	14
7.17 Messung der Anregungsspannung	14
7.18 Temperatur des Ultraschallwandlers	14
7.19 Nichtlinearität.....	14
7.20 Fallbeschleunigung.....	15
7.21 Andere Quellen.....	15
Anhang A (informativ) Zusätzliche Angaben zu verschiedenen Gesichtspunkten der Schallfeldkraft-Messungen	16
Anhang B (informativ) Grundlegende Gleichungen.....	29
Anhang C (informativ) Andere Verfahren der Ultraschall-Leistungsmessung.....	35
Anhang D (informativ) Ausbreitungsmedium und Entgasung	36
Anhang E (informativ) Schallfeldkraft-Messungen an divergierenden Ultraschallbündeln.....	37
Anhang F (informativ) Einschränkungen auf Grund der Waagenanordnungen	41
Literaturhinweise.....	45
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	49

Bilder

Bild 1 – Schnitt durch ein absorbierendes Target.....	15
Bild 2 – Linearitätsprüfung: Waagenanzeige als Funktion der Eingangsgröße	15
Bild E.1 – Kolbenmembranergebnis (oszillierende Kurve) für $PlcF$ als Funktion von ka	38
Bild E.2 – $PlcF$ als Funktion von ka für vier verschiedene pseudo-trapezförmige Amplitudenverteilungen	38
Bild E.3 – Verhältnis des Strahlungsleitwertes G , ermittelt mit einem konvex-konischen, reflektierenden Target, zu dem ermittelt mit einem absorbierenden Target, aufgetragen gegen den ka -Wert [29]	40
Bild F.1 – Anordnung A mit absorbierendem (a) oder reflektierendem (b) Target	41
Bild F.2 – Anordnung B mit konvex-konischem, reflektierendem Target	42
Bild F.3 – Anordnung B mit absorbierendem Target	42
Bild F.4 – Anordnung C mit absorbierendem Target.....	42
Bild F.5 – Anordnung E mit absorbierendem (a) oder mit konkav-konischem, reflektierendem (b) Target	42
Bild F.6 – Anordnung F mit konvex-konischem, reflektierendem Target.....	43
Bild F.7 – Anordnung F mit absorbierendem Target	43

Tabellen

Tabelle F.1 – Vor- und Nachteile verschiedener Anordnungen	44
--	----

Einleitung

Es gibt eine Reihe von Messverfahren für die Bestimmung der emittierten Gesamtleistung von **Ultraschallwandlern** ([1], [2], [3], siehe auch Anhang C). Der Zweck dieser Internationalen Norm ist es, Normverfahren für die Messung der Ultraschalleistung in Flüssigkeiten im unteren Megahertz-Frequenzbereich auf Grundlage der **Schallfeldkraft**-Messung mit einer gravimetrischen Waage festzulegen. Der große Vorteil der **Schallfeldkraft**-Messungen ist, dass ein Wert für die emittierte Gesamtleistung erhalten wird, ohne Felddaten über den Querschnitt des emittierten Schallbündels integrieren zu müssen. Die vorliegende Norm kennzeichnet die Fehlerquellen und beschreibt ein systematisches Stufenverfahren zur Beurteilung der Gesamtmessunsicherheit sowie alle Vorkehrungen, die getroffen werden sollten, und Messunsicherheiten, die bei der Durchführung der Leistungsmessungen berücksichtigt werden sollten.

Die grundlegenden Sicherheitsanforderungen an physiotherapeutische Ultraschallgeräte sind in IEC 60601-2-5 aufgeführt und beziehen sich auf IEC 61689, worin die Notwendigkeit einer geringeren Messunsicherheit als $\pm 15\%$ auf einem Vertrauensniveau von 95 % für Schalleistungsmessungen festgelegt ist. Unter Berücksichtigung der üblicherweise schlechteren Genauigkeit bei der praktischen Anwendung müssen Bezugsmessverfahren mit geringeren Messunsicherheiten als $\pm 7\%$ erarbeitet werden. Die Deklarationsanforderungen für diagnostische Ultraschallgeräte einschließlich Ultraschalleistung sind in anderen IEC-Normen festgelegt, z. B. IEC 61157.

Die genaue und wiederholbare Messung der Schalleistung mit einer **Schallfeldkraft**-Waage, wie in dieser Norm definiert, wird von einer Anzahl praktischer Probleme beeinflusst. Als Anleitung für den Anwender werden im Anhang A unter Verwendung der im Hauptteil genutzten Abschnitts- und Unterabschnittsnummerierung zusätzliche Informationen gegeben.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm:

- legt ein Bestimmungsverfahren für die emittierte Gesamtschallleistung von **Ultraschallwandlern** auf Grundlage der Verwendung einer **Schallfeldkraft**-Waage fest;
- stellt allgemeine Regeln für die Verwendung von **Schallfeldkraft**-Waagen auf, in denen ein Hindernis (**Target**) das zu messende Schallfeld unterbricht;
- legt Einschränkungen des **Schallfeldkraft**-Verfahrens bezüglich Kavitation und Temperaturanstieg fest;
- legt quantitative Einschränkungen des **Schallfeldkraft**-Verfahrens bezüglich divergierender und fokussierter Schallbündel fest;
- gibt Informationen über die Ermittlung der Schallleistung divergenter und fokussierter Bündel mit der **Schallfeldkraft**-Methode;
- gibt Informationen über die Abschätzung von Gesamt-Messunsicherheiten.

Diese Internationale Norm gilt für:

- die Messung der Ultraschallleistung bis 1 W auf Grundlage der Verwendung einer **Schallfeldkraft**-Waage im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 25 MHz;
- die Messung der Ultraschallleistung bis 20 W auf Grundlage der Verwendung einer **Schallfeldkraft**-Waage im Frequenzbereich von 0,75 MHz bis 5 MHz;
- die Messung der Gesamtultraschallleistung in gut gebündelten, divergenten und fokussierten Ultraschallfeldern;
- die Verwendung von **Schallfeldkraft**-Waagen vom gravimetrischen Typ oder Krafrückkopplungstyp.

(Siehe auch A.1.)

ANMERKUNG 1 Ein fokussiertes Bündel ist konvergent im präfokalen Bereich und divergent jenseits des Brennpunktes.

ANMERKUNG 2 Die Ultraschall-Leistungsmessung im Bereich hoch-intensiven therapeutischen Ultraschalls (HITU), d. h. jenseits von 1 W beziehungsweise 20 W, wird in IEC 62555 behandelt.

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 61689, *Ultrasonics – Physiotherapy systems – Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

akustische Strömung

Gesamt-Volumenströmung einer Flüssigkeit, die von einem Schallfeld verursacht wird

3.2

Freifeld

Schallfeld in einem homogenen, isotropen Medium, dessen Grenzen einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Schallwellen ausüben

[IEV 801-23-28, modifiziert]

3.3

Ausgangsleistung

P

zeitlich gemittelte Ultraschallleistung, die von einem **Ultraschallwandler** in ein nahezu ideales **Freifeld** unter festgelegten Bedingungen in einem bestimmten Medium, vorzugsweise Wasser, emittiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: **Ausgangsleistung** wird in Watt (W) ausgedrückt.

3.4

Feldkraft

Schallfeldkraft

F

im Zeitmittel vorhandene Kraft, die auf einen Körper in einem Schallfeld wirkt und die durch das Schallfeld verursacht wird, ohne den durch **akustische Strömung** verursachten Beitrag; oder allgemeiner: im Zeitmittel vorhandene Kraft (ohne den durch **akustische Strömung** verursachten Beitrag) in einem Schallfeld, die an der Grenzfläche zwischen zwei Medien mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften oder innerhalb eines schallschwächenden Mediums auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: **Feldkraft, Schallfeldkraft** wird in Newton (N) ausgedrückt.

3.5

Felddruck

Schallfelddruck

Feldkraft je Flächeneinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verwendung dieses Begriffes ist in der Literatur sehr verbreitet. Genau genommen ist die **Feldkraft** je Flächeneinheit jedoch eine Tensorgröße [4] und sollte als der Schallfeld-Spannungstensor bezeichnet werden, wenn eine wissenschaftlich präzisere Terminologie verwendet wird. Die integrale Größe „**Schallfeldkraft**“ wird in dieser Internationalen Norm allgemein bevorzugt. Wenn jedoch an einigen Stellen der Begriff „**Schallfelddruck**“ verwendet wird, so ist er als der Negativwert der Schallfeld-Normalspannung in Richtung der Feldachse zu verstehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: **Felddruck, Schallfelddruck** wird in Pascal (Pa) ausgedrückt.

3.6

Target

ein besonders gebautes Objekt, das praktisch das gesamte Ultraschallfeld auffangen soll und auf das die **Feldkraft** einwirken soll

3.7

Ultraschallwandler

Einrichtung zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie im Frequenzbereich des Ultraschalls und/oder umgekehrt zur Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie

3.8

Strahlungsleitwert

G

Quotient aus der akustischen **Ausgangsleistung** und der quadrierten effektiven Wandlereingangsspannung

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird zum Charakterisieren der Wandlung elektrischer Energie zu Schallenergie von **Ultraschallwandlern** verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: **Strahlungsleitwert** wird in Siemens (S) ausgedrückt.

4 Liste der Formelzeichen

a Radius eines kreisrunden **Ultraschallwandlers**

b_x und b_y	halbe Abmessungen eines rechteckigen Ultraschallwandlers in x - beziehungsweise y -Richtung (so dass $2b_x$ und $2b_y$ die Seitenlängen des Wandlers sind)
c	Schallgeschwindigkeit (üblicherweise in Wasser)
d_x und d_y	geometrische Brennweiten eines fokussierten Ultraschallwandlers in der x - z - beziehungsweise der y - z -Ebene
d	geometrische Brennweite eines fokussierten Ultraschallwandlers im Fall, dass $d_x = d_y = d$
F	Schallfeldkraft auf ein Target in Ausbreitungsrichtung der einfallenden Ultraschallwelle
g	Fallbeschleunigung
G	Strahlungsleitwert
h_d	halbe Länge der Diagonale eines rechteckigen Wandlers, $h_d = (b_x^2 + b_y^2)^{1/2}$
h_h	harmonischer Mittelwert von b_x und b_y , $h_h = 2/(1/b_x + 1/b_y)$
k	Kreiswellenzahl ($k = 2\pi / \lambda$)
P	Ausgangsleistung eines Ultraschallwandlers
s	normierter Abstand von einem runden Ultraschallwandler ($s = z / \lambda a^2$)
z	Abstand zwischen einem Ultraschallwandler und einem Target
α	Amplitudenschwächungskoeffizient ebener Wellen in einem Medium (üblicherweise Wasser)
β_x und β_y	Fokus(-Halb)winkel eines fokussierenden rechteckigen Ultraschallwandlers in der x - z - beziehungsweise der y - z -Ebene; $\beta_x = \arctan(b_x/d_x)$, $\beta_y = \arctan(b_y/d_y)$ wenn der Wandler eben ist und die Brennweiten von der ebenen Wandleroberfläche aus gezählt werden
γ	Fokus(-Halb)winkel eines fokussierenden kreisrunden Ultraschallwandlers ; $\gamma = \arcsin(ad)$ wenn der Wandler sphärisch gekrümmt ist und die Brennweite vom „Boden“ der „Schüssel“ aus gezählt wird; $\gamma = \arctan(ad)$, wenn der Wandler eben ist oder die Brennweite von der durch den Rand des aktiven Teils der „Schüssel“ definierten Ebene aus gezählt wird
θ	Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung der einfallenden Ultraschallwelle und der Senkrechten auf einer reflektierenden Target -Fläche
λ	Ultraschallwellenlänge im Schallausbreitungsmedium (üblicherweise Wasser)
ρ	Dichte (volumenbezogene Masse) des Schallausbreitungsmediums (üblicherweise Wasser)

ANMERKUNG 1 Die oben unter F und θ erwähnte Richtung der einfallenden Welle ist als die Richtung der Feldachse anzusehen, d. h., sie ist eher global als lokal zu betrachten.

ANMERKUNG 2 Im Fall eines fokussierenden Wandlers sind genau genommen die Fokussierungseigenschaften und die Wandlerform unabhängig voneinander, d. h. auch ein kreisrunder Wandler kann zwei unterschiedliche Fokus(-Halb)winkel haben. Im Hinblick auf die Ultraschallpraxis beschränkt sich diese Norm jedoch auf die beiden Fälle eines kreisrunden Wandlers mit einem Fokus(-Halb)winkel und eines rechteckigen Wandlers mit zwei Fokus(-Halb)winkeln (die natürlich untereinander gleich sein können).

5 Anforderungen an Schallfeldkraft-Waagen

5.1 Allgemeines

Die **Schallfeldkraft**-Waage muss aus einem **Target** in Verbindung mit einer Waage bestehen. Das Ultraschallbündel muss vertikal aufwärts oder abwärts auf das **Target** gerichtet und die vom Ultraschallbündel ausgeübte **Schallfeldkraft** muss mit der Waage gemessen werden. Die Ultraschallleistung muss aus der Differenz zwischen der gemessenen Kraft mit und der ohne Ultraschallstrahlung bestimmt werden. Erläuterungen finden sich im Anhang B. Die Kalibrierung kann mittels kleiner Präzisionsgewichte bekannter Masse erfolgen.

ANMERKUNG Die verschiedenen möglichen Aufbauten für **Schallfeldkraft**-Messungen sind in Bild F.1 bis Bild F.7 vorgestellt. Jeder Messaufbau hat seine eigenen Vorzüge, die im Anhang F zusammengefasst sind.

5.2 Target-Typ

5.2.1 Allgemeines

Das **Target** muss bekannte akustische Eigenschaften haben, denn diese sind für die Einzelheiten der Beziehung zwischen Ultraschalleistung und **Feldkraft** wichtig. (Siehe auch A.5.2.1.)

Wenn das **Target** so gewählt wird, dass es sich einem der beiden Extremfälle, d. h. idealer Absorber oder idealer Reflektor, möglichst weit annähert, dann müssen die im Anhang B angegebenen Gleichungen angewendet werden und gelten folgende Anforderungen.

5.2.2 Absorbierendes Target

Ein absorbierendes **Target** (siehe Bild 1, Bild F.1a, Bild F.3, Bild F.4, Bild F.5a und Bild F.7) muss Folgendes aufweisen:

- einen geringeren Amplitudenreflexionsfaktor als 3,5 %;
- eine akustische Energieabsorption innerhalb des **Targets** von mindestens 99 %.

(Siehe auch A.5.2.2.)

5.2.3 Reflektierendes Target

Ein reflektierendes **Target** (siehe Bild F.1b, Bild F.2, Bild F.5b und Bild F.6) muss Folgendes aufweisen:

- einen höheren Amplitudenreflexionsfaktor als 99 %.

Ein konisches reflektierendes **Target** sollte für Leistungsmessungen von nicht fokussierenden Wandlern nicht verwendet werden, wenn $ka < 30$. Ein konischer Reflektor vom konvexen Typ mit einem Konus(-Halb)winkel von 45° darf für Leistungsmessungen von Wandlern nicht verwendet werden, wenn $ka < 17,4$, was aus theoretischen Überlegungen zu den Einflüssen der Bündeldivergenz hervorgeht. (Siehe auch A.5.3.)

ANMERKUNG Die genaue Bedeutung der Größe a hängt von den Gegebenheiten ab. Bei praktischen Wandlern entspricht diese dem effektiven Wandlerradius entsprechend der für das Anwendungsgebiet geltenden Definition. Bei Modellberechnungen mittels des Kolbenansatzes ist es der geometrische Kolbenradius.

Des Weiteren sollte ein konischer Reflektor vom konvexen Typ mit einem Konus(-Halb-)winkel von 45° nicht für Leistungsmessungen von fokussierenden Wandlern verwendet werden, wenn $d < 32 a$. Ist die geometrische Brennweite d nicht bekannt, dann sollte ein konischer Reflektor vom konvexen Typ mit einem Konus-Halbwinkel von 45° nicht verwendet werden, wenn der Abstand z_f des Schalldruck-Höchstwerts vom Wandler $z_f < 1/((1/(32 a)) + (\lambda a^2))$ ist.

Diese Bedingung legt nahe, die Verwendung von konischen Reflektoren vom konvexen Typ auf den nicht fokussierten Fall oder den Fall mit schwacher Fokussierung zu beschränken. Wenn trotzdem ein konischer Reflektor vom konvexen Typ in stark fokussierten Feldern verwendet und Gleichung (B.6) angewendet wird, müssen von Abschnitt 7 nicht erfasste zusätzliche Unsicherheiten berücksichtigt werden. Im Fall eines schräg einfallenden Bündels (Abtastung) sollten konische Reflektoren nicht verwendet werden.

Die obigen Aussagen gelten für kreisrunde Wandler. Im Fall eines rechteckigen Wandlers sollten die obigen Bedingungen zweimal betrachtet werden, indem a einmal durch b_x und dann durch b_y ersetzt wird, und das reflektierende **Target** sollte nur verwendet werden, wenn alle Bedingungen im positiven Sinn sowohl für b_x als auch für b_y erfüllt sind.

(Siehe auch A.5.2.3 und B.6.)

5.3 Target-Durchmesser

Die Querschnittsgröße des **Targets** muss groß genug zum Erfassen aller wesentlichen Teile des Feldes sein, in dem Sinne, dass die **Feldkraft** mindestens 98 % der Bezugs-**Feldkraft** beträgt, das ist die auf ein **Target** unendlicher Querschnittsgröße.

Da die Bezugs-**Feldkraft** in der Praxis oft unbekannt ist, gilt die folgende alternative Anforderung für unfokussierte Felder. Die seitliche Targetabmessung in beliebiger Richtung darf in keinem Fall weniger als das 1,5-Fache der entsprechenden Abmessung (z. B. des Durchmessers) des **Ultraschallwandlers** betragen.

Ob die **Target**-Abmessungen größer als das 1,5-Fache der Wandlerabmessungen sein sollten, hängt von den Bündelabmessungen des Feldes am Ort des **Targets** ab. Die Bündelabmessungen müssen durch Messung oder theoretische Schätzung, wie z. B. in A.5.3 angegeben, ermittelt worden sein.

Im Fall eines schräg einfallenden Bündels (Abtastung), d. h., wenn die Bündelachse gegenüber der Achse der Feldkraftwaage gekippt ist, sind größere Targetabmessungen erforderlich. In diesem Fall ist der Bündelquerschnitt am Ort des **Targets** nicht auf den Mittelpunkt des **Targets** zentriert, sondern um einen gewissen Betrag verschoben, der vom Kippwinkel und dem Targetabstand abhängt, und die erforderliche Targetabmessung ist entsprechend vergrößert.

5.4 Waage/Kraftmesssystem

Die **Schallfeldkraft**-Waage kann eine gravimetrische Waage mit dementsprechender vertikaler Bündelausrichtung sein. Alternativ dazu kann die Waage auf dem Krafrückkopplungsprinzip beruhen, was eine waagerechte Bündelausrichtung erlaubt. Wenn die Waage bezüglich Masseinheiten kalibriert wurde, muss vom Hersteller des **Schallfeldkraft**-Messgerätes oder vom Anwender eine genaue Umrechnung der Waagenanzeigewerte in Kraftwerte sichergestellt werden.

ANMERKUNG Die senkrechte Bündelausrichtung erlaubt die Rückverfolgbarkeit auf nationale Massennormale (kalibrierte Gewichtsstücke). In der Praxis gibt es Messanordnungen mit horizontaler Bündelausrichtung, die entweder ein reflektierendes [5], [6] oder ein absorbierendes [7] **Target** nutzen. Die Kalibrierung kann mit einem geeigneten Waagebalkenvorsatz oder Quellen bekannter Schallleistung erfolgen.

Die verwendete Waage muss eine ausreichende Auflösung für die Größenordnung der zu messenden Ultraschallleistung haben. (Siehe A.5.4.)

5.5 Messgefäß

Wenn ein reflektierendes **Target** verwendet wird, muss das Messgefäß absorbierend ausgekleidet sein, damit zurückkehrende Reflexionen nicht mehr als 1 % zur gemessenen Gesamtleistung beitragen. (Siehe auch A.5.5.)

5.6 Target-Aufhängung

In statischen **Schallfeldkraft**-Waagen sollten die strukturellen Teile der **Target**-Aufhängung, die die **Feldkraft** durch die Wasseroberfläche leiten, so gebaut sein, dass der Einfluss der Oberflächenspannung auf weniger als 1 % der gemessenen Gesamtleistung eingeschränkt ist. (Siehe auch A.5.6.)

5.7 Wandlerhalterung

Die Halterung des **Ultraschallwandlers** muss geeignet sein, eine stabile und reproduzierbare Einstellung des **Ultraschallwandlers** in Bezug auf das **Target** sicherzustellen, damit die damit zusammenhängenden Änderungen in der gemessenen Gesamtleistung 1 % nicht überschreiten.

5.8 Abschirmfolien

Wenn eine Abschirmfolie verwendet wird, muss sie dicht am **Target** angeordnet sein und darf nicht parallel zur Oberfläche des **Ultraschallwandlers** ausgerichtet sein [8]. Ihr Durchlasskoeffizient muss durch Messung

bestimmt worden sein, und es muss korrigiert werden, wenn dessen Einfluss größer als 1 % der gemessenen Gesamtleistung ist. (Siehe auch A.5.8.)

ANMERKUNG In der Praxis hat sich ein Neigungswinkel von 5° bis 10° als geeignet erwiesen.

5.9 Wandlerankopplung

Der **Ultraschallwandler** muss direkt an die Messeinrichtung angekoppelt werden, damit der Einfluss auf die gemessene Gesamtleistung geringer als 1 % ist, ansonsten ist eine Korrektur vorzunehmen. (Siehe auch A.5.9.)

5.10 Kalibrierung

Der Kraftmessteil der **Schallfeldkraft**-Waage muss mittels kleiner Gewichtsstücke bekannter Masse kalibriert werden.

Darüber hinaus muss im Fall einer nicht-primären Messanordnung die **Schallfeldkraft**-Waage auch mit einem **Ultraschallwandler** bekannter **Ausgangsleistung** kalibriert werden, bei mehreren akustischen Arbeitsfrequenzen und **Ausgangsleistungen** in dem Bereich, in dem die Waage verwendet werden soll, und rückführbar auf ein primäres Messnormal. In diesem Fall muss die Kalibrierung einmal alle zwei Jahre durchgeführt werden oder öfter, wenn es einen Hinweis darauf gibt, dass sich die Empfindlichkeit der Waage in Bezug auf die Ultraschallleistung geändert hat. (Siehe auch A.5.10.)

ANMERKUNG In diesem Dokument bedeutet „primäres Messnormal“ eine Messeinrichtung, die an einem internationalen Schlüsselvergleich oder an einem anderen, vom CIPM/BIPM durchgeführten Vergleich teilgenommen hat.

Je nach verwendeter Anordnung sollten, um angestrebte Genauigkeitsziele zu erreichen, Korrekturen angebracht werden in Bezug auf Beugung, Fokuswinkel, am **Target** vorbeilaufende oder nicht vom **Target** absorbierte/reflektierte Energie, Absorption im Wasser zwischen Wandler und **Target**, Strömung usw.

6 Anforderungen an Messbedingungen

6.1 Seitliche Target-Anordnung

Die seitliche Anordnung des **Targets** während der Messung muss in dem Maß konstant und reproduzierbar sein, dass die damit zusammenhängenden Änderungen in der gemessenen Gesamtleistung 1 % nicht überschreiten. (Siehe auch A.6.1.)

6.2 Target-Abstand vom Wandler

Der Abstand zwischen der Oberfläche des **Ultraschallwandlers** und dem **Target** oder der Folie (falls verwendet) und dem **Target** sollte so gering wie möglich sein angesichts der Tatsache, dass wegen der Ultraschallabsorption auf dem Schallweg **akustische Strömung** auftreten kann. (Siehe auch A.6.2.)

Der Abstand zwischen der Oberfläche des **Ultraschallwandlers** und dem **Target** oder der Folie (falls verwendet) und dem **Target** muss bekannt und in dem Maß reproduzierbar sein, dass die damit zusammenhängenden Änderungen in der gemessenen Gesamtleistung 1 % nicht überschreiten. (Siehe auch A.6.2.)

6.3 Wasser

Bei Anwendung einer **Schallfeldkraft**-Waage muss die für die Messungen verwendete Flüssigkeit Wasser sein.

Bei der Bestimmung von **Ausgangsleistungen** oberhalb von 1 W darf nur entgastetes Wasser verwendet werden.

Die Entgasung des Wassers muss in einem wohldefinierten Prozess erfolgen, wie in IEC/TR 62781 (siehe auch Anhang D) beschrieben. Wenn entgasetes Wasser erforderlich ist, muss die Menge an gelöstem Sauerstoff im Wasser bei allen Messungen $< 4 \text{ mg/l}$ betragen und muss auch gering genug sein, um das Eintreten von Kavitation zu verhindern. Die Messwerte sind zu verwerfen, wenn irgendwelche Kavitationsblasen beobachtet werden. (Siehe auch A.6.3.)

6.4 Wasserkontakt

Vor Beginn der Messungen muss sichergestellt sein, dass alle Luftblasen von den aktiven Oberflächen entfernt sind. Nach Abschluss der Messungen müssen alle aktiven Oberflächen erneut sichtgeprüft werden, und die Messwerte sind zu verwerfen, wenn irgendwelche Luftblasen gefunden wurden. (Siehe auch A.6.4.)

6.5 Umgebungsbedingungen

Für Messungen im Milliwatt- und Mikrowatt-Bereich muss entweder die Messeinrichtung mit einer Wärmeisolierung versehen sein oder der Messvorgang einschließlich der Datenerfassung muss in so einer Weise erfolgen, dass die thermische Drift und andere Störungen während der Messung nicht mehr als 1 % Auswirkung auf die gemessene Gesamtleistung verursachen.

Die Messeinrichtung muss gegen Erschütterungen aus der Umgebung und Luftströmungen geschützt sein. (Siehe auch A.6.5.)

6.6 Thermische Drift

Bei einem absorbierenden **Target** muss eine Abschätzung der thermischen Effekte auf Grund der absorbierten Schallenergie (Ausdehnung und Auftriebsänderung) durch Aufzeichnung des gemessenen Signals vor und nach dem Einschalten und Ausschalten des **Ultraschallwandlers** vorgenommen werden. (Siehe auch A.6.6.)

7 Messunsicherheit

7.1 Allgemeines

Für jede verwendete Anordnung muss individuell eine Abschätzung der Gesamt-Messunsicherheit oder eine Genauigkeitsbeurteilung gemacht werden. Diese Abschätzung sollte folgende Elemente enthalten.

Die Messunsicherheit muss mit Hilfe des BIPM JCGM 100:2008 [9] beurteilt werden.

7.2 Waagensystem einschließlich Target-Aufhängung

Das Waagensystem muss mittels kleiner Gewichtsstücke bekannter Masse überprüft oder kalibriert werden, wobei das gesamte System wie für die **Feldkraft**-Messung vorbereitet sein muss, d. h. mit dem im Wasser hängenden **Target**.

Dieser Vorgang muss mehrfach mit jedem Gewichtsstück wiederholt werden, um ein Maß für die zufällige Streuung der Ergebnisse zu erhalten. Aus den Ergebnissen dieser Kalibrierung und aus der Massenunsicherheit der verwendeten Gewichtsstücke muss eine Unsicherheitsabschätzung des Kalibrierfaktors der Waage abgeleitet werden.

Die Ergebnisse dieser Überprüfungen sollten aufbewahrt werden, um eine Beurteilung der langfristigen Stabilität des Kalibrierfaktors der Waage zu ermöglichen. (Siehe auch A.7.2.)

7.3 Linearität und Auflösung des Waagensystems

Die Linearität des Waagensystems muss mindestens alle sechs Monate wie folgt geprüft werden.