

DIN EN 62555

ICS 11.040.60; 17.140.50

**Ultraschall –
Leistungsmessung –
Hochintensive, therapeutische Ultraschallwandler und -systeme (HITU)
(IEC 62555:2013);
Deutsche Fassung EN 62555:2014**

Ultrasonics –
Power measurement –
High intensity therapeutic ultrasound (HITU) transducers and systems
(IEC 62555:2013);
German version EN 62555:2014

Ultrasons –
Mesurage de puissance –
Transducteurs et systèmes ultrasonores thérapeutiques de haute intensité (HITU)
(CEI 62555:2013);
Version allemande EN 62555:2014

Gesamtumfang 60 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2013-12-24 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2015-03-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 62555:2009-12.

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.

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.

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 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Ultraschall –
Leistungsmessung –
Hochintensive, therapeutische Ultraschallwandler und -systeme (HITU)
(IEC 62555:2013)

Ultrasonics –
Power measurement –
High intensity therapeutic ultrasound (HITU)
transducers and systems
(IEC 62555:2013)

Ultrasons –
Mesurage de puissance –
Transducteurs et systèmes ultrasonores
thérapeutiques de haute intensité (HITU)
(CEI 62555:2013)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2013-12-24 angenommen. 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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2014 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 62555:2014 D

Vorwort

Der Text des Dokumentes 87/538/FDIS, zukünftige Ausgabe 1 der IEC 62555, erarbeitet durch IEC/TC 87 „Ultrasonics“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 62555:2014 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): 2014-10-25
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2016-12-24

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 62555:2013 wurde vom CENELEC ohne irgendeine Abänderung als eine Europäische Norm angenommen.

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

IEC 62127-2 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 62127-2.

IEC 60601-2-62 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 60601-2-62.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Liste der Formelzeichen	11
5 Leistungsmessung für HITU-Geräte	12
6 Schallfeldkraft auf ein Target	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Geräteanforderungen	13
6.2.1 Target-Typ	13
6.2.2 Target-Durchmesser	14
6.2.3 Waage/Kraftmesssystem	14
6.2.4 Systemtank	14
6.2.5 Haltestrukturen des Targets (Target-Aufhängung)	15
6.2.6 Positionierung des Wandlers	15
6.2.7 Strömungsabschirmfolien	15
6.2.8 Ankopplung des Wandlers	15
6.2.9 Kalibrierung und Stabilität	15
6.3 Anforderungen an die Messbedingungen	15
6.3.1 Seitliche Target-Position	15
6.3.2 Target-Abstand vom Wandler	15
6.3.3 Wasser	16
6.3.4 Wasserkontakt	16
6.3.5 Umgebungsbedingungen	16
6.3.6 Thermische Drift	16
6.4 Messunsicherheit	17
6.4.1 Allgemeines	17
6.4.2 Nicht ebenes Ultraschallfeld	17
6.4.3 Waagensystem einschließlich der Target-Aufhängung	17
6.4.4 Linearität und Auflösung des Waagensystems	17
6.4.5 Extrapolation auf den Schaltzeitpunkt des Ultraschallwandlers	17
6.4.6 Unvollkommenheiten des Targets	18
6.4.7 Geometrie eines reflektierenden Targets	18
6.4.8 Seitliche Absorber bei Messungen mit einem reflektierenden Target	18
6.4.9 Fehlausrichtung des Targets	18
6.4.10 Fehlausrichtung des Ultraschallwandlers	18

	Seite
6.4.11 Wassertemperatur	18
6.4.12 Ultraschallschwächung und akustische Strömung	18
6.4.13 Folieneigenschaften	18
6.4.14 Endliche Target-Größe	18
6.4.15 Umgebungseinflüsse	19
6.4.16 Messung der Anregungsspannung	19
6.4.17 Temperatur des Ultraschallwandlers	19
6.4.18 Nichtlinearität	19
6.4.19 Andere Quellen	19
6.5 Berechnung der Ausgangsleistung	19
7 Änderung des Target-Auftriebs	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Geräteanforderungen	21
7.2.1 Target-Typ	21
7.2.2 Durchmesser des Eintrittsfensters	22
7.2.3 Waage/Kraftmesssystem	22
7.2.4 Systemtank	22
7.2.5 Haltestrukturen des Targets (Target-Aufhängung)	22
7.2.6 Positionierung des Wandlers	22
7.2.7 Strömungsabschirmfolien	22
7.2.8 Ankopplung des Wandlers	23
7.2.9 Kalibrierung	23
7.3 Anforderungen an die Messbedingungen	23
7.3.1 Seitliche Target-Position	23
7.3.2 Target-Abstand vom Wandler	23
7.3.3 Wasser	23
7.3.4 Wasserkontakt	24
7.3.5 Umgebungsbedingungen	24
7.3.6 Thermische Drift	24
7.4 Messunsicherheit	24
7.4.1 Allgemeines	24
7.4.2 Auftriebsempfindlichkeit	24
7.4.3 Nicht ebenes Ultraschallfeld	25
7.4.4 Waagensystem einschließlich der Target-Aufhängung	25
7.4.5 Linearität und Auflösung des Waagensystems	25
7.4.6 Kurvenanpassung und Extrapolation	25
7.4.7 Wassertemperatur	25
7.4.8 Ultraschallschwächung und akustische Strömung	25
7.4.9 Folieneigenschaften	26

	Seite
7.4.10 Endliche Target-Größe.....	26
7.4.11 Umgebungseinflüsse.....	26
7.4.12 Messung der Anregungsspannung.....	26
7.4.13 Temperatur des Ultraschallwandlers	26
7.4.14 Nichtlinearität	26
7.4.15 Andere Quellen	26
7.5 Berechnung der Ausgangsleistung	26
8 Elektrische Eigenschaften.....	27
8.1 Elektrische Impedanz.....	27
8.2 Strahlungsleitwert.....	27
8.3 Wirkungsgrad	28
Anhang A (informativ) Andere Messverfahren	29
Anhang B (informativ) Target-Größe.....	30
Anhang C (informativ) Gleichungen für die Schallfeldkraft	32
Anhang D (informativ) Ausdehnungsmethode	37
Anhang E (informativ) Einfluss der Schwächung und akustischen Strömung auf die Bestimmung der auftreffenden Leistung und der Ausgangsleistung	43
Anhang F (informativ) Vermeidung von Kavitation.....	47
Anhang G (informativ) Wirkungsgrad des Wandlers.....	48
Literaturhinweise	56
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	58
 Bilder	
Bild 1 – Linearitätsprüfung: Waagenanzeige als Funktion der Eingangsgröße	20
Bild C.1 – Korrekturfaktor für ebene Welle für das Schallfeld eines kreisförmigen ebenen Kolben- Ultraschallwandlers in Abhängigkeit vom Produkt aus Kreiswellenzahl und Wandlerradius.....	34
Bild D.1 – Schematische Darstellung eines Ausdehnungstargets	37
Bild D.2 – Beispiel eines Gewicht-Zeitfolge-Diagramms.....	38
Bild D.3 – Zeitlicher Verlauf der scheinbaren Masse des Rizinusöl-Targets bei verschiedenen Frequenzen nach einer Beschallung mit einer Schallleistung von etwa 1 W für eine Dauer von 10 s.....	41
Bild G.1 – Elektrische Spannungsquelle unter verschiedenen Lastbedingungen.....	54
Bild G.2 – Elektrische Spannungsquelle, elektrisches Anpassungsnetzwerk und Wandlerersatzschaltung.....	54
Bild G.3 – Schaubild zur Darstellung des elektrischen Verlusts	55
 Tabellen	
Tabelle D.1 – Ausgewählte Eigenschaften des Rizinusöls von Acros® Organics im Bereich von 10 °C bis 60 °C.....	40
Tabelle D.2 – Absorptionskoeffizient von Rizinusöl als Funktion der Temperatur.....	42

Einleitung

Bei Ultraschallfeldern im Megahertz-Bereich wird die Ausgangsleistung üblicherweise durch Messung der Kraft auf ein **Target** mit Hilfe einer **Schallfeldkraft**-Waage bestimmt [1], [2], [3]. Die Beziehung zwischen der **Schallfeldkraft** und der **Ausgangsleistung** wird jedoch beeinflusst durch die Fokussierung und andere geometrische Eigenschaften des Feldes, durch Art und Gestalt des **Targets**, durch den Abstand des **Targets** vom Wandler, durch Absorption (einschließlich Schockwellenverluste) in der Wasserstrecke und durch **akustische Strömungen**. Während viele dieser Effekte für typische Ultraschallfelder der Diagnostik oder Physiotherapie klein sind, können sie bei Feldern des therapeutischen Hochleistungs-Ultraschalls (HITU) nicht grundsätzlich ignoriert werden (besonders bei Feldern, die oft als fokussierter Hochleistungs-Ultraschall (HIFU) bezeichnet werden) [4]. Des Weiteren ist bei HITU die interessierende Größe die beim Patienten ankommende Leistung und nicht die **Ausgangsleistung** an der Oberfläche des Wandlers. Da üblicherweise eine Wasser-Vorlaufstrecke zwischen Wandler und Patient vorhanden ist, können die Schwächung und die Schockwellenverluste in der Wasserstrecke erheblich sein und sie werden, abhängig vom gewählten Abstand, variieren.

Zweck dieser Internationalen Norm ist die Festlegung von Normverfahren für die Messung der Ultraschallleistung von HITU-Einrichtungen in Flüssigkeiten im niedrigen Megahertz-Frequenzbereich, die auf der Messung der **Schallfeldkraft** mittels einer gravimetrischen Waage und auf Wärmemessung (auf Grundlage der Messung der thermischen Ausdehnung) beruhen. Diese Norm nennt die Fehlerquellen und beschreibt ein systematisches Schritt-für-Schritt-Verfahren zur Bewertung der Gesamt-Messunsicherheit; sie beschreibt außerdem Vorsichtsmaßnahmen, die ergriffen werden sollten, und Unsicherheiten, die bei der Durchführung der Leistungsmessung berücksichtigt werden sollten. Für die Bestimmung der akustischen Leistung bei den vielfältigen Wandler-Geometrien, die für HITU angewendet werden, wird eine praktische Anleitung gegeben. Im Gegensatz zu den Schallfeldkraft-Ansätzen in IEC 61161, die den zeitlichen Mittelwert der Leistung heranziehen, werden im vorliegenden Dokument andere Leistungsmessverfahren beschrieben.

Die Struktur und der Inhalt von Teilen dieser Internationalen Norm beruhen zum großen Teil auf IEC 61161:2013, jedoch bestehen die nachfolgend zusammengefassten Unterschiede. In der vorliegenden Norm wird die **auftreffende Leistung** und nicht die **Ausgangsleistung** als Primärmessgröße betrachtet. Die **Ausgangsleistung** ist immer die betrachtete Größe in IEC 61161, in der festgelegt ist, dass Messungen mit einem nahe dem Wandler angeordneten **Target** durchzuführen sind. Dies ist jedoch bei stark Konvergenz erzeugenden Wandlern manchmal nicht möglich, und es gibt Fälle, in denen es angebrachter ist, die **auftreffende Leistung**, die eine bestimmte Oberfläche in einem erheblichen Abstand zum Wandler erreicht, zu messen (diese Oberfläche kann z. B. die Hautoberfläche des Patienten sein). Der zusätzliche Abstand kann sogar bei niedrigen Megahertz-Frequenzen zu einem beträchtlichen **nichtlinearen Verlust** in der Wasserstrecke führen. Daher wird in dieser Internationalen Norm die **auftreffende Leistung** als Primärmessgröße betrachtet und nicht die **Ausgangsleistung**. Die **auftreffende Leistung** kann unter Heranziehung eines geeigneten Modells mit modellspezifischen Unsicherheiten natürlich die Grundlage für die Bestimmung der **Ausgangsleistung** bilden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm:

- legt allgemeine Prinzipien fest, die für HITU-Felder von Bedeutung sind im Zusammenhang mit der Benutzung von **Schallfeldkraft**-Waagen, bei denen ein Hindernis (**Target**) das zu messende Schallfeld abfängt;
- legt ein kalorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der abgestrahlten akustischen Gesamtleistung von **Ultraschallwandlern** fest, das auf der Messung der thermischen Ausdehnung eines mit Flüssigkeit gefüllten **Targets** beruht;
- legt Anforderungen hinsichtlich der Angabe der elektrischen Leistungsmerkmale von **Ultraschallwandlern** fest;
- gibt eine Anleitung für die Vermeidung akustischer Kavitation während der Messung;
- gibt eine Anleitung für die Messung von HITU-Wandlern unterschiedlicher Konstruktion und Geometrie, einschließlich kollimierender, Divergenz erzeugender und Konvergenz erzeugender Wandler sowie **Mehrelement-Wandler**;
- gibt eine Anleitung zur Auswahl des am besten geeigneten Messverfahrens;
- gibt Informationen über die Bewertung der Gesamtmessunsicherheiten.

Diese Internationale Norm gilt für Messungen der von einem **HITU-Gerät** erzeugten Ultraschallleistung bis 500 W im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 5 MHz. **HITU-Geräte** können konvergente, kollimierte oder divergente Felder erzeugen.

Für geringere Frequenzen als 500 kHz gibt es keine Validierungen, und der Anwender sollte die Unsicherheiten der Leistungsmessung und des Messsystems bei den Betriebsfrequenzen beurteilen.

Diese Internationale Norm gilt nicht für:

- Ultraschallgeräte, die für die Physiotherapie, Lithotripsie und die allgemeinen Schmerzlinderung verwendet werden.

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 61161:2013, *Ultrasonics – Power measurement – Radiation force balances and performance requirements*

IEC/TR 62781, *Ultrasonics – Conditioning of water for ultrasonic measurements*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 akustischer Wirkungsgrad

η_a

Quotient aus der akustischen **Ausgangsleistung** eines **Ultraschallwandlers** und der **elektrischen Leistung des Wandlers**

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **akustische Wirkungsgrad** ist einheitenlos.

3.2 akustische Strömung

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

[QUELLE: IEC 61161:2013, 3.1]

3.3 Auftriebsempfindlichkeit

S

Verhältnis der Zunahme der Auftriebskraft auf ein **Ausdehnungstarget** zur Menge der absorbierten Energie bei Nichtauftreten von Wärmeverlusten

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Verhältnis kann temperaturabhängig sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die **Auftriebsempfindlichkeit** für ein mit Flüssigkeit gefülltes **Ausdehnungstarget**, das in Wasser eingetaucht ist, wird am besten und genauesten durch Kalibrierung mittels elektrischer Heizung bestimmt (siehe 7.2.9). Sie kann auch aus dem Produkt des **Ausdehnungsverhältnisses**, der Dichte des Wassers und der Erdbeschleunigung berechnet werden, was in der Praxis zu höheren Unsicherheiten führt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Da die meisten Feinwaagen die Masse in Gramm oder Milligramm anzeigen, wird die **Auftriebsempfindlichkeit** besser als masseäquivalente **Auftriebsempfindlichkeit** in Form einer masseäquivalenten Einheit, z. B. mg J^{-1} , ausgedrückt.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die **Auftriebsempfindlichkeit** wird in Newton je Joule, $\text{N} \cdot \text{J}^{-1}$, angegeben.

3.4 Ausdehnungsverhältnis

R_V

Verhältnis der Volumenzunahme einer Flüssigkeit in einem **Ausdehnungstarget** zum Betrag der absorbierten Energie bei Nichtauftreten von Wärmeverlusten

Anmerkung 1 zum Begriff: Unter der Voraussetzung bestimmter Annahmen kann das **Ausdehnungsverhältnis** eines mit Flüssigkeit gefüllten **Ausdehnungstargets** aus dem Verhältnis der Volumenausdehnung der Flüssigkeit zu ihrer volumetrischen Wärmekapazität berechnet werden. Das Verhältnis kann temperaturabhängig sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das **Ausdehnungsverhältnis** wird in Kubikmeter je Joule, $\text{m}^3 \cdot \text{J}^{-1}$, angegeben.

3.5 Ausdehnungstarget

besonders gebaute, mit Flüssigkeit gefüllte Vorrichtung, die praktisch das gesamte Ultraschallfeld auffangen und absorbieren soll und bei der eine thermische Ausdehnung stattfindet

3.6 Freifeld

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

[QUELLE: IEC 60050-801:1994, 801-23-28, modifiziert – ursprüngliche Benennung ist freies Schallfeld]

3.7

hochintensives therapeutisches Ultraschallgerät

HITU-Gerät

Gerät für die Erzeugung und Anwendung von Ultraschall am Patienten zu therapeutischen Zwecken mit dem Ziel, lebendes Gewebe oder Nichtgewebeelemente (Flüssigkeiten, Blasen, Mikrokapseln ...) zu zerstören, zu trennen oder zu denaturieren; das Gerät soll vor allem zur Behandlung durch Einwirkung von Ultraschall mit mechanischen, thermischen oder, allgemeiner ausgedrückt, physikalischen, chemischen oder biochemischen Effekten dienen

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Wesentlichen besteht das **HITU-Gerät** aus einem elektrischen Hochfrequenzleistungsgenerator und einem Wandler, der diese Leistung in Ultraschall umwandelt. In einer Vielzahl von Fällen enthält dieses Gerät eine Ziel- und Überwachungseinrichtung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Als Nebeneffekt des HITU-Betriebs kann Hyperthermie eintreten, die jedoch nicht mit dieser Technik verwechselt werden sollte, bei der eine viel langsamere Erwärmung auf viel geringere therapeutische Temperaturen (im Allgemeinen zwischen 42 °C und 50 °C und Wärmeäquivalenzzeiten zwischen 0,2 min und 120 min) erfolgt. **HITU-Geräte** verursachen üblicherweise Temperaturanstiege über 55 °C und für viel kürzere Zeiten, beziehungsweise können **HITU-Geräte** auch Bioeffekte durch nicht thermische Mechanismen bedingen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Diese Definition gilt nicht für Ultraschallgeräte, die für die Physiotherapie, Lithotripsie oder die allgemeinen Schmerzlinderung verwendet werden.

[QUELLE: IEC 60601-2-62:2013, 201.3.218, modifiziert – Anmerkung 3 zum Begriff bezieht sich auf „allgemeine Schmerzlinderung“ anstatt „zielgerichtete Hyperthermie“]

3.8

auftreffende Leistung

P_i

zeitlich gemittelte Ultraschallleistung, die auf eine definierte Ebene oder Oberfläche trifft, nachdem sie von einem **Ultraschallwandler** in ein nahezu ideales **Freifeld** unter festgelegten Bedingungen in einem bestimmten Medium, vorzugsweise Wasser, emittiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **auftreffende Leistung** wird in Watt, W, angegeben.

3.9

Mehrelement-Wandler

Ultraschallquelle, die zwei oder mehr räumlich getrennte **Ultraschallwandler** enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Zusammenhang gilt ein einzelnes piezoelektrisches Element in einem phasengesteuerten Array als **Ultraschallwandler**.

3.10

nichtlinearer Verlust

Energieverlust eines Ultraschallbündels durch Absorption von harmonischen Anteilen, die von nichtlinearen Ausbreitungseffekten herrühren

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen tritt ein **nichtlinearer Verlust** in einem Ultraschallfeld nicht gleichförmig auf, sondern vorzugsweise dort, wo die Druckamplitude am größten ist; dies führt zu einer Veränderung der relativen Verteilung der Ultraschallenergie.

3.11

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: Die **Ausgangsleistung** wird in Watt, W, angegeben.

[QUELLE: IEC 61161:2013, 3.3]

3.12

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: Der Effektivwert der Ansteuerspannung wird verwendet (anstatt z. B. Spitze-Spitze-Spannung), da er durch Verzerrung des angewendeten elektrischen Signals weniger beeinflusst wird.

Anmerkung 3 zum Begriff: Dieser Begriff ist nicht gleichwertig zum Realteil des Wandler-Scheinleitwerts.

Anmerkung 4 zum Begriff: Der **Strahlungsleitwert** wird in Siemens, S, angegeben.

[QUELLE: IEC 61161:2013, 3.8, modifiziert – Ergänzung von zwei Anmerkungen zum Begriff, die für HITU relevant sind]

3.13

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

Anmerkung 1 zum Begriff: 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 auftritt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die **Feldkraft** wird in Newton, N, angegeben.

[QUELLE: IEC 61161:2013, 3.4, modifiziert – der zweite Teil der ursprünglichen Definition ist als Anmerkung zum Begriff wiedergegeben, jedoch ohne den Wortlaut „oder innerhalb eines schallschwächenden Mediums“]

3.14

Feldkraft-Target

besonders gebaute Vorrichtung, die praktisch das gesamte Ultraschallfeld auffangen soll und die dabei als das Objekt dient, auf das die **Feldkraft** einwirkt

3.15

Target

besonders gebaute Vorrichtung, die praktisch das gesamte Ultraschallfeld auffangen soll

3.16

elektrische Leistung(saufnahme) des Wandlers

P_{el}

Rate, mit der die zeitlich gemittelte elektrische Energie von einem **Ultraschallwandler** in andere Energieformen (üblicherweise in Wärme und die Energie des Ultraschallfelds) umgewandelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vom **Ultraschallwandler** reflektierte elektrische Energie ist nicht Teil der **elektrischen Leistung des Wandlers**.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die **elektrische Leistung des Wandlers** wird in Watt, W, angegeben.

3.17

Ultraschallwandler

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein **Ultraschallwandler** kann angeschlossene Leitungen und Bauelemente zur elektrischen Anpassung umfassen.

4 Liste der Formelzeichen

a	Radius eines kreisförmigen Ultraschallwandlers
b_x und b_y	Halbwertsmaße eines rechteckigen Ultraschallwandlers in x - bzw. y -Richtung (so dass $2 b_x$ und $2 b_y$ die Seitenlängen des Wandlers sind)
B	Änderung in der Auftriebskraft, die auf ein in ein Schallausbreitungsmedium (üblicherweise Wasser) eingetauchtes Ausdehnungstarget einwirkt
c	Schallgeschwindigkeit (üblicherweise in Wasser)
d_x und d_y	geometrische Brennweiten eines Konvergenz erzeugenden Ultraschallwandlers in der x - z - bzw. y - z -Ebene
d	geometrische Brennweite eines Konvergenz erzeugenden Ultraschallwandlers für den Fall, dass $d_x = d_y = d$
C	volumetrische Wärmekapazität
E	Volumenausdehnungskoeffizient
F	Schallfeldkraft auf ein Target in Ausbreitungsrichtung der einfallenden Ultraschallwelle
g	Erdbeschleunigung
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 ($2 \pi / \lambda$)
L	Anteil des von einem Target aufgenommenen Impulses der akustischen Strömung
M	zeitlich schwankendes Gewicht eines Targets oder Ausdehnungstargets entsprechend der Anzeige an der tragenden Waage (oft in masseäquivalenten Einheiten)
P	Ausgangsleistung eines Ultraschallwandlers
P_{el}	elektrische Leistung des Wandlers
P_i	auf ein Target oder Ausdehnungstarget auftreffende Leistung
R_c	Krümmungsradius eines fokussierenden Kugelschalenwandlers
R_v	Ausdehnungsverhältnis eines Ausdehnungstargets
s	normierter Abstand von einem Ultraschallwandler ($s = z \lambda / a^2$)
S	Auftriebsempfindlichkeit eines Ausdehnungstargets
t_0	Dauer der Beschallung
z	Abstand zwischen einem Target und der Abstrahlungsoberfläche eines Ultraschallwandlers , gemessen entlang der Bündelachse
α	Amplituden-Schwächungskoeffizient ebener Wellen in einem Medium (üblicherweise Wasser)
β_x und β_y	Fokus(-Halb)winkel eines Konvergenz erzeugenden Ultraschallwandlers in der x - z - bzw. 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 kreisförmigen Konvergenz erzeugenden Ultraschallwandlers ; $\gamma = \arcsin(a/d)$, wenn der Wandler sphärisch gekrümmt ist und die Brennweite vom „Boden“ der „Schüssel“ aus gezählt wird; $\gamma = \arctan(a/d)$, wenn der Wandler eben ist oder die Brennweite von der durch den Rand des aktiven Teils der „Schüssel“ definierten Ebene aus gezählt wird

η_a	akustischer Wirkungsgrad eines Ultraschallwandlers
θ	Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung der einfallenden Ultraschallwelle und der Senkrechten auf der Oberfläche eines Targets
ϕ	Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung der einfallenden Ultraschallwelle und der Arbeitsrichtung (üblicherweise vertikal) einer Waage
λ	Ultraschallwellenlänge im Schallausbreitungsmedium (üblicherweise Wasser)
ρ	(massebezogene) Dichte des Schallausbreitungsmediums (üblicherweise Wasser)

ANMERKUNG 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.

5 Leistungsmessung für HITU-Geräte

Die Messung der **Ausgangsleistung** unter Anwendung des **Feldkraft**-Verfahrens [IEC 61161] ist für kollimierte (und schwach konvergente oder schwach divergente) Ultraschallfelder mit Leistungen bis 20 W gut bekannt. Abschnitt 6 der vorliegenden Internationalen Norm beruht auf IEC 61161:2013, jedoch wurden einige Änderungen eingeführt, um diese Norm besser geeignet für **HITU-Geräte** zu machen, die im Allgemeinen nicht gerichtet sind und eine höhere **Ausgangsleistung** haben. IEC 61161 legt fest, dass Messungen mit einem nahe am Wandler angeordneten **Target** durchgeführt werden. Bei stark Konvergenz erzeugenden Wandlern ist dies jedoch manchmal nicht möglich, und es gibt Fälle, bei denen es angemessener ist, die **auftreffende Leistung** zu messen, die eine bestimmte Oberfläche in einiger Entfernung vom Wandler erreicht (diese Oberfläche kann z. B. die Hautoberfläche des Patienten darstellen). Diese zusätzliche Entfernung kann zu einem wesentlichen **nichtlinearen Verlust** in der Wasserstrecke führen. In Folge dessen wird in dieser Internationalen Norm die **auftreffende Leistung** und nicht die **Ausgangsleistung** als primäre Messgröße betrachtet. Die **auftreffende Leistung** kann natürlich als Grundlage für die Bestimmung der **Ausgangsleistung** dienen, wenn ein geeignetes Modell mit seinen eigenen Unsicherheiten angewendet wird (eine Anleitung ist in Anhang E enthalten). Während das auf Auftriebsänderung beruhende Verfahren den zeitlichen Mittelwert der während der Beschallungsdauer auf dem **Target** auftreffenden Leistung bestimmt, wird beim **Feldkraft**-Verfahren eigentlich die Einschalt- und Ausschaltleistung ermittelt. Diese beiden Werte können sich unterscheiden, und der Mittelwert der beiden ist nicht notwendigerweise gleich dem zeitlichen Mittelwert der Leistung. Im Allgemeinen wird die Beschallungsdauer entsprechend der Messeinrichtung eingestellt, um Geräteeinschränkungen auszugleichen.

6 Schallfeldkraft auf ein Target

6.1 Allgemeines

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

Das **Target** muss so gewählt werden, dass es einen der beiden Extremfälle so gut wie möglich annähert, d. h. den perfekten Absorber oder den perfekten Reflektor.

Nur für eine ebene auftreffende Welle muss die akustische **auftreffende Leistung** P_i vom **Ultraschallwandler** aus der Komponente F der **Feldkraft** auf das **Target** in der Ausbreitungsrichtung berechnet werden, wobei, je nach **Target**, Gleichung (1) oder Gleichung (2) anzuwenden ist:

Für ein vollständig absorbierendes **Target**:

$$P_i = cF \quad (1)$$

Für ein vollständig reflektierendes **Target**:

$$P_i = cF I (2 \cos^2 \theta) \quad (2)$$

Dabei ist

- c die Schallgeschwindigkeit in der Schall führenden Flüssigkeit (Wasser);
- θ der Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung der einfallenden Welle und der Senkrechten auf der reflektierenden Oberfläche.

ANMERKUNG 1 Die oben erwähnte Richtung der einfallenden Welle wird als die Richtung der Feldachse verstanden, d. h., sie wird eher global als lokal betrachtet.

Das Verhältnis zwischen **Schallfeldkraft** und **auftreffender Leistung** hängt im Prinzip von Annahmen über das abgestrahlte Feld und dessen Wechselwirkung mit dem **Target** und dem Messtank ab. Für nicht ebene Wellen (z. B. konvergent, divergent oder von mehreren gleichzeitigen Quellen stammend) muss das richtige Verhältnis zwischen **Schallfeldkraft** und **auftreffender Leistung** bestimmt werden. Die auf der nicht ebenen Natur des Feldes beruhende Unsicherheit in der **auftreffenden Leistung** muss abgeschätzt werden.

In einigen Fällen können die durch **akustische Strömung** auf das **Target** einwirkenden Kräfte im Vergleich zur **Schallfeldkraft** beträchtlich sein. Um die Größenordnung der **Schallfeldkraft** in diesen Fällen zu bestimmen, müssen Korrekturmaßnahmen ergriffen werden, die die Anwendung einer theoretischen Korrektur oder die Verwendung einer Strömungsabschirmfolie nahe dem **Target** umfassen können. Eine Anleitung hierfür ist in Anhang E enthalten. Die auf Strömungskräften beruhende Unsicherheit in der **auftreffenden Leistung** muss abgeschätzt werden.

ANMERKUNG 2 Die geeigneten Gleichungen für bestimmte einfache idealisierte Wandlerkonfigurationen sind in Anhang C angegeben.

Die **auftreffende Leistung** sollte gemessen werden, wobei der Wandler in einer ähnlichen Weise wie bei der beabsichtigten klinischen Anwendung betrieben wird (z. B. Dauerschall oder mit der üblichen klinischen Pulssequenz, unter der Voraussetzung, dass dies mit dem zeitlichen Ansprechen der Waage kompatibel ist).

Wenn es erforderlich ist, eine andere Pulssequenz zu verwenden, um Schaden am **Target** oder am Wandler zu verhindern, muss der Effekt der unterschiedlichen thermischen Belastung auf die Ausgangsleistung des Wandlers untersucht werden.

Weitere Hintergrundinformationen zu den Anforderungen im restlichen Text von Abschnitt 6 können IEC 61161:2013, Anhang A entnommen werden.

6.2 Geräteanforderungen

6.2.1 Target-Typ

6.2.1.1 Allgemeines

Die Verwendung eines absorbierenden **Targets** wird empfohlen. Die Verwendung eines konischen reflektierenden **Targets** wird allgemein nicht empfohlen, kann aber in einigen Situationen notwendig sein.

Das **Target** muss bekannte akustische Eigenschaften besitzen, soweit sie für die Details der Beziehung zwischen Ultraschalleistung und **Schallfeldkraft** von Bedeutung sind. (Siehe auch IEC 61161:2013, A.5.2.)

6.2.1.2 Absorbierendes Target

Ein absorbierendes **Target** muss folgende Eigenschaften besitzen:

- einen Amplituden-Reflexionsfaktor von weniger als 5 %;
- eine Absorption der Schallenergie innerhalb des **Targets** von mindestens 98 %.

Für Messungen an einem kollimierenden Wandler sollte ein absorbierendes **Target** in einem kleinen Winkel zur Symmetrieachse des Wandlers ausgerichtet sein, um kohärente Reflexionen zu minimieren.

Das absorbierende Material und die Konstruktion des **Targets** müssen so gewählt werden, dass das Risiko einer dauerhaften thermischen und mechanischen Schädigung durch die Ultraschall-Exposition vermindert wird. Kurzzeitige Änderungen des Amplituden-Reflexionsfaktors oder der Absorption akustischer Energie dürfen nur so groß sein, dass die Auswirkung auf die gesamte gemessene Energie kleiner als 2 % ist, andernfalls muss eine Korrektur angewendet werden.

6.2.1.3 Reflektierendes Target

Ein reflektierendes **Target** muss einen Amplituden-Reflexionsfaktor von mehr als 99 % besitzen.

Die Möglichkeit, dass ein Teil der Ultraschallenergie vom **Target** zurück zum Wandler reflektiert wird, muss bedacht werden, und die Form des **Targets** muss entsprechend der Wandlergeometrie gewählt werden.

Die Verwendung eines konischen reflektierenden **Targets** wird für Messungen in konvergenten oder divergenten Feldern allgemein nicht empfohlen, und ein konisches reflektierendes **Target** sollte, soweit keine spezifischen Faktoren wie Wandlergeometrie dies erfordern, nicht verwendet werden, um Konvergenz erzeugende Wandler, **Mehrelement-Wandler** oder **Ultraschallwandler** mit $ka < 17,4$ zu messen. Wenn die Verwendung eines konischen reflektierenden **Targets** auf Grund der Wandlerform notwendig ist, muss die erwartete Beziehung zwischen **auftreffender Leistung** und **Schallfeldkraft** abgeschätzt werden. Die auf dieser Beziehung beruhende Unsicherheit muss in 6.4.2 berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die genaue Bedeutung der Größe a hängt von den Gegebenheiten ab. Für praktische Wandler ist dies der effektive Radius des Wandlers entsprechend der speziellen Definition im Anwendungsbereich. Bei Modellberechnungen mit einem Kolbenansatz ist es der geometrische Radius des Kolbens.

6.2.2 Target-Durchmesser

Der **Target**-Durchmesser muss groß genug sein, um mindestens 98 % der Ultraschallenergie aufzufangen, die die Messebene erreicht. Gleichungen für die Abschätzung des erforderlichen Durchmessers finden sich in Anhang B.

ANMERKUNG Um den minimalen **Target**-Durchmesser für eine bestimmte Wandlerkonstruktion zu bestimmen, können auch andere Verfahren angewendet werden, z. B. Modelle oder Messungen mit einem Hydrophon.

6.2.3 Waage/Kraftmesssystem

Die **Schallfeldkraft**-Waage kann eine gravimetrische Waage sein, weshalb die Bündelausrichtung senkrecht sein muss. Alternativ 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 Kalibrierung von Anordnungen mit waagerechter Bündelausrichtung kann mit einer geeigneten Waagbalkenanordnung durchgeführt werden oder durch Kalibrierung gegen Quellen bekannter Schalleistung.

Die verwendete Waage muss eine ausreichende Auflösung für die Größenordnung der zu messenden Ultraschalleistung haben. (Siehe IEC 61161:2013, A.5.4.)

6.2.4 Systemtank

Wenn ein reflektierendes **Target** verwendet wird, muss eine absorbierende Auskleidung des Messgefäßes verwendet werden, damit zurückkehrende Reflexionen nicht mehr als 2 % zur gemessenen Gesamtleistung beitragen.

6.2.5 Haltestrukturen des Targets (Target-Aufhängung)

Bei statischen Feldkraft-Waagen müssen die Elemente der **Target-Aufhängung**, die die **Schallfeldkraft** durch die Luft-Wasser-Grenzfläche leiten, so gebaut sein, dass der Einfluss von Änderungen der Oberflächenspannung und des Auftriebs, die durch Schwankungen des Wasserstands verursacht werden, auf weniger als 2 % der gemessenen Gesamtleistung begrenzt wird.

6.2.6 Positionierung des Wandlers

Die Befestigung des **Ultraschallwandlers** muss eine stabile und reproduzierbare Positionierung des **Ultraschallwandlers** relativ zum **Target** ermöglichen, so dass damit zusammenhängende Änderungen der gemessenen Gesamtleistung 2 % nicht überschreiten.

6.2.7 Strömungsabschirmfolien

Das **Target** muss entweder mit einer Strömungsabschirmfolie versehen werden, um es vor **akustischer Strömung** in der Wasserstrecke abzuschirmen, oder der Messvorgang, einschließlich der Datenerfassung und -auswertung, muss so durchgeführt werden, dass Strömungskräfte keine größere Auswirkung als 2 % der gemessenen Gesamtleistung verursachen, andernfalls muss eine Korrektur vorgenommen werden.

Wenn eine Strömungsabschirmfolie verwendet wird, muss sie nahe dem **Target** angebracht werden und darf nicht parallel zur Oberfläche des **Ultraschallwandlers** ausgerichtet sein. Der Durchlasskoeffizient der Folie muss durch Messung bekannt sein, und es muss korrigiert werden, wenn dessen Einfluss größer ist als 2 % der gemessenen Gesamtleistung.

ANMERKUNG In der Praxis hat sich ein Neigungswinkel zwischen 5° und 10° als geeignet erwiesen.

6.2.8 Ankopplung des Wandlers

Der **Ultraschallwandler** muss so an die Messeinrichtung angekoppelt werden, dass der Einfluss auf die gemessene Gesamtleistung weniger als 2 % beträgt, andernfalls muss eine Korrektur vorgenommen werden. (Siehe auch IEC 61161:2013, A.5.9.)

6.2.9 Kalibrierung und Stabilität

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

Änderungen der Empfindlichkeit der **Schallfeldkraft**-Waage gegenüber der Ultraschalleistung müssen mit Hilfe einer Ultraschallquelle bekannter **Ausgangsleistung** überwacht werden. Die Empfindlichkeit muss einmal jährlich geprüft werden oder häufiger, falls es einen Hinweis darauf gibt, dass sich die Empfindlichkeit der Waage gegenüber der Ultraschalleistung geändert hat.

ANMERKUNG Die Empfindlichkeit gegenüber der Ultraschalleistung kann sich durch Verschlechterung des **Target**-Materials, z. B. durch thermische oder Kavitationsschäden, ändern.

6.3 Anforderungen an die Messbedingungen

6.3.1 Seitliche Target-Position

Die seitliche **Target**-Position muss während der Messung so konstant und reproduzierbar sein, dass die damit zusammenhängenden Änderungen in der gemessenen Gesamtleistung 2 % nicht überschreiten.

6.3.2 Target-Abstand vom Wandler

Der Abstand zwischen der Oberfläche des **Ultraschallwandlers** und dem **Target** oder zwischen Folie (sofern verwendet) und **Target** muss in dem Maß bekannt und reproduzierbar sein, dass die damit zusammenhängenden Änderungen in der gemessenen Gesamtleistung 2 % nicht überschreiten.

6.3.3 Wasser

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

Für die Bestimmung von **Ausgangsleistungen** über 1 W darf nur entgastes Wasser verwendet werden. Das Entgasen von Wasser muss in einem gut definierten Prozess erfolgen, wie in IEC 62781 beschrieben. Das Wasser muss ausreichend entgast werden, um die Bildung von sichtbaren Blasen in der Wasserstrecke oder auf den Oberflächen des Wandlers oder des **Targets** zu vermeiden. Messwerte müssen verworfen werden, wenn Luftblasen beobachtet werden. Die Gesamtmenge an im Wasser gelöstem Gas sollte bei allen Messungen vorzugsweise < 2 mg/l sein, aber in einigen Fällen geringer.

Die Verwendung von entgastem Wasser wird auch für die Bestimmung von **Ausgangsleistungen** unter 1 W empfohlen. In gashaltigem Wasser können sich Blasen auf Oberflächen bilden, wenn die Wassertemperatur steigt. Die Blasenbildung kann auch durch Ultraschall ausgelöst werden und auch bei Leistungspegeln unter 1 W erfolgen, wenn die Bündelfläche klein genug ist. Demzufolge wird empfohlen, das Vorhandensein von Blasen, insbesondere auf den Wandler- und **Target**-Oberflächen, vor, während und nach jeder Messung zu überprüfen.

ANMERKUNG 1 Der zur Verhinderung von Blasenbildung erforderliche Gasgehalt hängt von vielen Faktoren ab, wie z. B. von der akustischen Arbeitsfrequenz und dem maximalen negativen Druck in der Wasserstrecke. Eine sich ändernde oder schwankende **Schallfeldkraft** kann auf die Bildung von Blasen hinweisen.

ANMERKUNG 2 Chemische Entgasungsverfahren, bei denen nur einige Gasbestandteile entfernt werden (z. B. die Verwendung von Na_2SO_3), sind für HITU-Messungen grundsätzlich nicht ausreichend. Vorausgesetzt, dass allgemeinere Entgasungsverfahren angewendet werden, ist die Überwachung des Sauerstoffgehalts einfach durchzuführen und liefert Informationen über die Wirksamkeit der Entgasung und das Ausmaß der nachfolgenden „Rückbegasung“.

ANMERKUNG 3 Die Filtration des Wassers kann nützlich sein, um durch Entfernen von Feststoffpartikeln, die als Kavitationskerne wirken können, eine Kavitation zu verhindern oder zu vermindern.

6.3.4 Wasserkontakt

Vor Beginn der Messungen muss sichergestellt sein, dass alle Luftblasen von den aktiven Oberflächen entfernt wurden. Nach Beendigung der Messungen müssen die aktiven Flächen erneut sichtgeprüft werden, und die Messwerte sind zu verwerfen, wenn Luftblasen gefunden werden.

6.3.5 Umgebungsbedingungen

Die Messeinrichtung muss entweder mit einer Wärmedämmung versehen sein, oder der Messprozess, einschließlich der Datenerfassung, muss so durchgeführt werden, dass die thermische Drift und andere Störungen während der Messung keine größere Auswirkung als 2 % auf die gemessene Gesamtleistung verursachen.

Die Messeinrichtung muss so gegen Erschütterungen aus der Umgebung und Luftströmungen geschützt sein, dass sie keine größere Auswirkung als 2 % auf die gemessene Gesamtleistung verursachen.

6.3.6 Thermische Drift

Wenn ein absorbierendes **Target** verwendet wird, muss eine Abschätzung der durch die absorbierte Schallenergie bedingten thermischen Effekte (Änderung der Ausdehnung und des Auftriebs) vorgenommen werden, indem das gemessene Signal vor und nach dem Ein- und Ausschalten des **Ultraschallwandlers** aufgezeichnet wird.