

# Ultraschall-Leistungsmessung in Flüssigkeiten im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 25 MHz

(IEC 61161 : 1992 + A1 : 1998)  
Deutsche Fassung EN 61161 : 1994 + A1 : 1998

**DIN**  
**EN 61161**

Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm **IEC 61161**

ICS 17.140.50

Ersatz für  
Ausgabe 1995-06

Deskriptoren: Ultraschall, Leistungsmessung, Meßunsicherheit

Ultrasonic power measurement in liquids in the frequency range  
0,5 MHz to 25 MHz (IEC 61161 : 1992 + A1 : 1998);  
German version EN 61161 : 1994 + A1 : 1998

Mesurage de puissance ultrasonore dans les liquides dans la gamme de  
fréquences de 0,5 MHz à 25 MHz (CEI 61161 : 1992 + A1 : 1998);  
Version allemande EN 61161 : 1994 + A1 : 1998

**Die Europäische Norm EN 61161 : 1994 hat den Status einer Deutschen Norm, einschließlich der eingearbeiteten Änderung A1 : 1998, die von CENELEC getrennt verteilt wurde.**

## Beginn der Gültigkeit

Die EN 61161 wurde am 1994-03-08 angenommen.

Die EN 61161/A1 wurde am 1998-01-01 angenommen.

## Nationales Vorwort

Diese Norm enthält die Deutsche Fassung der EN 61161 : 1994 „Ultrasonic power measurement in liquids in the frequency range 0,5 MHz to 25 MHz“ und die Deutsche Fassung der Änderung 1, Ausgabe 1998-02.

Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 87/92/CDV : 1996-06.

Die Norm wurde vom TC 87 „Ultrasonics“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Das GUK 821.3 „Medizinische Ultraschallgeräte“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) hat wesentlich an der Erarbeitung der Europäischen Norm mitgearbeitet und die Deutsche Fassung der Norm erstellt.

Die in der vorliegenden Norm eingearbeitete Änderung 1 ist durch **einen einfachen Strich** am linken Rand gekennzeichnet.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben.

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.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60 000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

| Europäische Norm | Internationale Norm   | Deutsche Norm          | Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk |
|------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------------|
| –                | IEC 60050(801) : 1984 | DIN 1320 : 1992-06     | –                                      |
| HD 87 S1 : 1977  | IEC 60150 : 1963      | –                      | –                                      |
| EN 61101 : 1993  | IEC 61101 : 1991      | DIN EN 61101 : 1994-12 | –                                      |
| EN 61161 : 1994  | IEC 61161 : 1992      | DIN EN 61161 : 1995-06 | –                                      |

Fortsetzung Seite 2  
und 16 Seiten EN

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)  
Normenausschuß Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

### **Änderungen**

Gegenüber der Ausgabe Juni 1995 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- EN 61161/A1 : 1998-02 wurde eingearbeitet.

### **Frühere Ausgaben**

DIN EN 61161: 1995-06

### **Nationale Fußnote**

Früher wurde „radiation force“ mit Schallstrahlungskraft übersetzt. In dieser Norm wird Schallstrahlungskraft durch „Schallfeldkraft“ ersetzt.

### **Nationaler Anhang NA** (informativ)

#### **Literaturhinweise**

DIN 1320

Akustik – Begriffe

DIN EN 61101

Die absolute Kalibrierung von Hydrophonen nach dem Planar-Scanning-Verfahren im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 15 MHz (IEC 61101 : 1991); Deutsche Fassung EN 61101 : 1993

DIN EN 61161

Ultraschall-Leistungsmessung in Flüssigkeiten im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 25 MHz (IEC 61161 : 1992); Deutsche Fassung EN 61161 : 1994

**Deutsche Fassung**

**Ultraschall-Leistungsmessung in Flüssigkeiten  
im Frequenzbereich 0,5 MHz bis 25 MHz  
(IEC 61161 : 1992 + A1 : 1998)**

Ultrasonic power measurement in liquids in the frequency  
range 0,5 MHz to 25 MHz (IEC 61161 : 1992 + A1 : 1998)

Mesurage de puissance ultrasonore dans les liquides dans  
la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 25 MHz  
(IEC 61161 : 1992 + A1 : 1998)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1994-03-08 angenommen. Die Änderung A1 modifiziert die Europäische Norm EN 61161 : 1994; sie wurde von CENELEC am 1998-01-01 angenommen.

Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Änderung 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 Änderung 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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik und dem Vereinigten Königreich.

**CENELEC**

**EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR ELEKTROTECHNISCHE NORMUNG**  
European Committee for Electrotechnical Standardization  
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

**Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel**

## Vorwort

Das CENELEC-Fragebogenverfahren zur unveränderten Annahme der Internationalen Norm IEC 61161 : 1992 ergab, daß für die Annahme als Europäische Norm keine gemeinsamen Abänderungen notwendig waren.

Das Referenzdokument wurde danach den CENELEC-Mitgliedern zur formellen Abstimmung vorgelegt und von CENELEC am 8. März 1994 als EN 61161 genehmigt.

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): 1995-03-15
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 1995-03-15

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

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

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

ANMERKUNG: Folgende Drucktypen werden verwendet:

- Anforderungen: in Normalschrift;
- Prüfungen: in Kursivschrift;
- ANMERKUNGEN: in Kleinschrift;
- **Begriffe, die in Abschnitt 3 festgelegt sind: in fetter Schrift.**

## Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61161 : 1992 wurde von CENELEC als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Vorwort der Änderung 1 von EN 61161

Der Text des Schriftstücks 87/113/FDIS, Änderung 1 zu IEC 61161 : 1992, ausgearbeitet von dem IEC TC 87 „Ultrasonics“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1998-01-01 als Änderung A1 zu EN 61161 : 1994 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung A1 auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muß (dop): 1998-10-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung A1 entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 1998-10-01

## Anerkennungsnotiz der Änderung 1 von EN 61161

Der Text der Änderung 1 : 1998 zur Internationalen Norm IEC 61161 : 1992 wurde von CENELEC als Änderung zur Europäischen Norm ohne irgendeine Abänderung angenommen.

## Inhalt

|                                                         | Seite |                                                                                                                                                                                 | Seite |
|---------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Vorwort</b> .....                                    | 2     | 6.5 Umgebungsbedingungen .....                                                                                                                                                  | 6     |
| <b>Einleitung</b> .....                                 | 3     | 6.6 Thermische Drift .....                                                                                                                                                      | 6     |
| <b>1 Anwendungsbereich</b> .....                        | 3     | <b>7 Meßunsicherheit</b> .....                                                                                                                                                  | 6     |
| <b>2 Normative Verweisungen</b> .....                   | 3     | 7.1 Abschätzung von Meßunsicherheiten .....                                                                                                                                     | 6     |
| <b>3 Definitionen</b> .....                             | 3     | Bild 1: Anordnung einer Strahlungskraft-Waage<br>mit absorbierendem Target .....                                                                                                | 10    |
| <b>4 Liste der Formelzeichen</b> .....                  | 4     | Bild 2: Schnitt durch ein absorbierendes Target .....                                                                                                                           | 10    |
| <b>5 Anforderungen für Schallfeldkraft-Waagen</b> ..... | 4     | Bild 3: Anordnung einer Strahlungskraft-Waage<br>mit reflektierendem Target (konvex) .....                                                                                      | 11    |
| 5.1 Allgemeines .....                                   | 4     | Bild 4: Anordnung einer Strahlungskraft-Waage<br>mit reflektierendem Target (konkav) .....                                                                                      | 11    |
| 5.2 Target-Typ .....                                    | 4     | Bild 5: Linearitätsprüfung: Waagenanzeige als<br>Funktion der Eingangsgröße .....                                                                                               | 12    |
| 5.3 Target-Durchmesser .....                            | 4     | <b>Anhang A</b> (normativ) Grundlegende Gleichungen ..                                                                                                                          | 13    |
| 5.4 Mikrowaage/Kraftmeßsystem .....                     | 5     | <b>Anhang B</b> (informativ) Andere Verfahren der<br>Ultraschall-Leistungsmessung .....                                                                                         | 14    |
| 5.5 Meßgefäß .....                                      | 5     | <b>Anhang C</b> (informativ) Literaturhinweise .....                                                                                                                            | 15    |
| 5.6 Target-Aufhängung .....                             | 5     | <b>Anhang ZA</b> (normativ) Andere in dieser Norm<br>zitierte internationale Publikationen mit<br>den Verweisungen auf die entsprechen-<br>den europäischen Publikationen ..... | 16    |
| 5.7 Wandlerhalterung .....                              | 5     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 5.8 Abschirmfolien .....                                | 5     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 5.9 Wandlerankopplung .....                             | 5     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 5.10 Kalibrierung .....                                 | 6     |                                                                                                                                                                                 |       |
| <b>6 Anforderungen an Meßbedingungen</b> .....          | 6     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 6.1 Seitliche Wandlerpositionierung .....               | 6     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 6.2 Target-Abstand vom Wandler .....                    | 6     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 6.3 Wasser .....                                        | 6     |                                                                                                                                                                                 |       |
| 6.4 Wasserkontakt .....                                 | 6     |                                                                                                                                                                                 |       |

## Einleitung

Es gibt eine Reihe von Meßverfahren für die Bestimmung der abgestrahlten Gesamtleistung von Ultraschallwandlern ([1] bis [3]\*), siehe auch Anhang B). Der Zweck dieser Internationalen Norm ist es, Meßverfahren für die Ultraschalleistung in Flüssigkeiten im Megahertz-Frequenzbereich auf der Grundlage der Schallfeldkraft-Messung mit einer gravimetrischen Waage festzulegen. Der große Vorteil von Schallfeldkraft-Messungen ist, daß ein Wert für die abgestrahlte Gesamtleistung erhalten wird, ohne daß Felddaten über den Querschnitt des abgestrahlten Schallbündels integriert werden müssen. Zusätzlich sind die Meßeinrichtungen leicht zu handhaben und zu kalibrieren.

## Einleitung der Änderung 1 von EN 61161

Diese Norm zählt die Fehlerquellen auf und beschreibt ein systematisches, schrittweises Vorgehen zur Abschätzung von Gesamt-Meßunsicherheiten.

### 1 Anwendungsbereich

Diese internationale Norm

- legt ein Bestimmungsverfahren für die abgestrahlte akustische Gesamtschalleistung von Ultraschallwandlern auf der 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 erfaßt;

ANMERKUNG: Die Feldkraft ist gleich der Änderung des zeitlich gemittelten Impulsstroms und ist somit der Ultraschallintensität und -leistung verknüpft.

- gibt Informationen über die Abschätzung von Gesamt-Meßunsicherheiten.

Diese internationale Norm gilt für

- die Messung der Ultraschalleistung auf der Grundlage der Verwendung einer Schallfeldkraft-Waage im Frequenzbereich von 0,5 MHz bis 25 MHz;
- die Messung der Gesamtultraschalleistung von Wandlern mit gut gebündeltem Feld;
- die Verwendung von gravimetrischen Schallstrahlungskraft-Waagen.

ANMERKUNG: Die Titel anderer Publikationen, auf die in dieser Norm Bezug genommen wird, sind im Anhang C aufgeführt.

### 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm gelten die angegebenen Ausgaben. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, und Anwender dieser Norm werden gebeten, die jeweils neueste Ausgabe der im folgenden genannten Normen anzuwenden. Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

IEC 60050(801) : 1984

International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 801: Acoustics and electro-acoustics

IEC 60150 : 1963

Testing and calibration of ultrasonic therapeutic equipment

IEC 61101 : 1991

The absolute calibration of hydrophones using the planar scanning technique in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz

### 3 Definitionen

#### 3.1 Akustische Strömung

Gleichmäßige Flüssigkeitsbewegung, die unter bestimmten Bedingungen in einem Schallfeld entsteht.

#### 3.2 Fernfeld

Das Schallfeld bei Abständen von der Schallquelle, wo der Schalldruck monoton mit ansteigendem Abstand von der Quelle abnimmt. Im allgemeinen ist dies die Region des Schallfeldes, wo die spezifische akustische Impedanz, d. h. das komplexe Verhältnis Schalldruck zu Teilchengeschwindigkeit, näherungsweise gleich  $\rho c$  ist, wobei  $\rho$  die Dichte und  $c$  die Schallgeschwindigkeit im schallführenden Medium sind.

#### 3.3 Freifeld

Ein Schallfeld in einem homogenen, isotropen Medium, dessen Grenzen einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Schallwellen ausüben. [IEV 801-03-28 modifiziert]

#### 3.4 Nahfeld

Das Schallfeld bei Abständen von der Schallquelle, die kleiner als der Abstand sind, bei dem das **Fernfeld** beginnt. Im allgemeinen ist dies die Region des Schallfeldes, wo die komplexe spezifische akustische Impedanz beträchtlich von  $\rho c$  abweicht.

#### 3.5 Ausgangsleistung

Zeitlich gemittelte Ultraschalleistung, die von einem **Ultraschallwandler** näherungsweise in ein **Freifeld** unter bestimmten Bedingungen in ein bestimmtes Medium, vorzugsweise Wasser, abgestrahlt wird.

Formelzeichen:  $P$

Einheit: Watt, W

#### 3.6 Feldkraft; Schallfeldkraft

Im Zeitmittel vorhandene Kraft, die auf einen Körper in einem Schallfeld wirkt und die durch das Schallfeld verursacht wird; oder allgemeiner: im Zeitmittel vorhandene Kraft in einem Schallfeld, die an der Grenzfläche zwischen zwei Medien mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften auftritt.

Formelzeichen:  $F$

Einheit: Newton, N

#### 3.7 Felddruck; Schallfelddruck

**Feldkraft** je Flächeneinheit.

#### 3.8 Target

Ein besonders gebautes Objekt, das in das Ultraschallfeld eingebracht wird und an dem die **Feldkraft** gemessen wird.

\*) Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf den Anhang C – Literaturhinweise, Seite 15.

### 3.9 Ultraschallwandler

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

## 4 Liste der Formelzeichen

- a* Radius eines **Ultraschallwandlers**
- c* Schallgeschwindigkeit (üblicherweise in Wasser)
- d* geometrische Brennweite eines fokussierten **Ultraschallwandlers**
- F* **Schallfeldkraft** auf ein **Target** in Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwelle
- g* Erdbeschleunigung
- k*  $(= 2\pi/\lambda)$  Kreiswellenzahl
- P* **Ausgangsleistung** eines **Ultraschallwandlers**
- s*  $(= x\lambda/a^2)$  Abstand, bezogen auf die **Nahfeldlänge**
- x* Abstand eines **Targets** vom **Ultraschallwandler**
- $\alpha$  Amplitudenschwächungskoeffizient ebener Wellen in einem Medium (üblicherweise Wasser)
- $\gamma$   $(= \arcsin a/d)$  Fokus(-Halb-)winkel eines fokussierten **Ultraschallwandlers**
- $\theta$  Winkel zwischen der Ausbreitungsrichtung einer Ultraschallwelle und der Senkrechten auf einer reflektierenden **Targetfläche**
- $\lambda$  Ultraschallwellenlänge

## 5 Anforderungen für 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 Ultraschalleistung muß aus der Differenz aus der gemessenen Kraft mit und ohne Ultraschallstrahlung bestimmt werden, nach den Gleichungen im Anhang A. Die Kalibrierung kann mittels kleiner Präzisionsgewichte bekannter Masse erfolgen.

### 5.2 Target-Typ

Das **Target** muß bekannte akustische Eigenschaften haben, denn diese sind für die Einzelheiten der Beziehung zwischen Ultraschalleistung und **Feldkraft** wichtig. Üblicherweise ist es das Ziel, sich möglichst weit einem der beiden Extremfälle anzunähern: idealer Absorber oder idealer Reflektor [4]. Die Kompressibilität sollte so gering wie möglich sein, um Auftriebsänderungen als Folge von Schwankungen des Umgebungsdrucks zu vermeiden. Auch in anderer Hinsicht sollte der Auftrieb des **Targets** möglichst konstant gehalten werden.

#### 5.2.1 Absorbierendes Target

Ein absorbierendes **Target** (siehe Bild 1) muß

- einen Amplitudenreflexionsfaktor von weniger als 5 %,
  - eine akustische Energieabsorption innerhalb des **Targets** von wenigstens 99 %
- haben.

Runde Scheiben aus geeignetem elastischem Gummimaterial mit oder ohne Keile werden als absorbierende **Targets** verwendet. Zur Erhöhung der Absorption sollte das Material Inhomogenitäten enthalten.

Bild 2 zeigt ein Beispiel für einen Aufbau eines Absorbers mit Keilen. In diesem Fall steigt die Volumenkonzentration der Inhomogenitäten von null, in den Keilen, auf 30 % an der Rückseite. Als Inhomogenitäten werden hohle Glaskugeln mit einem Durchmesser in der Größenordnung von 0,1 mm verwendet. Diese haben nur einen geringen Einfluß auf die Dichte und Kompressibilität des elastischen Gummimaterials.

#### 5.2.2 Reflektierendes Target – Allgemeines

Das Hauptproblem ist die Reduzierung der Kompressibilität eines reflektierenden **Targets**, denn Schwankungen des Luftdrucks verändern das Volumen und damit den Auftrieb des **Targets**, und zwar proportional zu seiner Kompressibilität. Ebene Schallreflektoren, die üblicherweise als doppelwandige, dünne Metallplatten mit Lufteinschluß realisiert werden, können nicht verwendet werden. Der Gebrauch von massiven Metallplatten als Reflektoren mit einem Einfallswinkel bezüglich des Schallbündels von 45° kann zu einem beträchtlichen Fehler führen [5].

Konische Reflektoren aus dickwandigen, hohlen Körpern oder aus dünnen Metallplatten mit Lufteinschluß sind verwendbar. Konische Reflektoren aus sehr steifem Kunststoffschäum mit sehr dünnem, galvanischem Metallüberzug haben sich als geeignete **Targets** erwiesen [4].

#### 5.2.3 Reflektierendes Target – konvex

Ein konischer Reflektor vom konvexen Typ ist in Bild 3 gezeigt. Der Konus(-Halb-)winkel wird typischerweise zu 45° gewählt, so daß die reflektierte Welle rechtwinklig von der Bündelachse wegläuft.

#### 5.2.4 Reflektierendes Target – konkav

Ein konischer Reflektor vom konkaven Typ ist in Bild 4 gezeigt. Der Konus(-Halb-)winkel wird typischerweise zwischen 60° und 65° gewählt, so daß die reflektierte Welle näher zum **Ultraschallwandler** hin orientiert ist als beim konvexen Reflektor.

### 5.3 Target-Durchmesser

Der **Target**-Durchmesser muß groß genug zum Erfassen aller wichtigen Teile des Feldes und mindestens 1,5mal so groß wie das relevante Maß (z. B. der Durchmesser) des **Ultraschallwandlers** sein. Der erforderliche Wert des Durchmessers hängt von der Feldstruktur und vom Abstand des **Ultraschallwandlers** zum **Target** ab.

Im folgenden wird eine Abschätzgleichung [6] für den Mindestwert des **Target**-Radius *b* angegeben, der zu einer **Schallfeldkraft** führt, die wenigstens 98 % derjenigen **Schallfeldkraft** beträgt, die bei unendlich großem **Target**-Querschnitt existieren würde (z. B. Meßabweichung kleiner als 2 %). Die Gleichung gilt für ein rundes, absorbierendes **Target** in einem kontinuierlich schwingenden Feld eines runden Kolbenmembran-**Ultraschallwandlers** vom Radius *a* in einem absorptionsfreien Medium. Die Gleichung lautet:

$$b = a [1/(1 + 0,53 \tau_1 s) + \tau_1 s] \quad (1)$$

mit

$$\beta = 0,98 + 0,01 \pi ka$$

$$\tau_1 = \tau_0 + \Delta \tau$$

$$\tau_0 = ka / (2\pi(\beta^2 - 1)^{1/2})$$

$$\Delta \tau = \begin{cases} 0,7 & \text{für } ka \leq 9,3 \\ 6,51/ka & \text{für } 9,3 \leq ka \leq 65,1 \\ 0,1 & \text{für } 65,1 \leq ka \end{cases}$$