

DIN EN IEC 62127-3



ICS 11.040.60; 17.140.50

Einsprüche bis 2022-05-04
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 62127-3:2014-02

Entwurf

**Ultraschall –
Hydrophone –
Teil 3: Eigenschaften von Hydrophonen zur Verwendung in
Ultraschallfeldern bis zu 40 MHz
(IEC 87/751/CD:2020);
Text Deutsch und Englisch**

Ultrasonics –
Hydrophones –
Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz
(IEC 87/751/CD:2020);
Text in German and English

Ultrasons –
Hydrophones –
Partie 3: Propriétés des hydrophones pour les champs ultrasoniques jusqu'à 40 MHz
(IEC 87/751/CD:2020);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-03-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Merianstraße 28, 63069 Offenbach am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 55 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 87/751/CD:2020-12 „Ultrasonics – Hydrophones – Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

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

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

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

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

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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

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

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

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 62127-3:2014-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die obere Frequenzgrenze von 40 MHz wurde aufgehoben;
- b) die Definition von Hydrophon-Empfindlichkeiten wurden geändert, um Empfindlichkeiten als komplexwertige Größen zu erkennen;

- c) das Verfahren zur Bestimmung der effektiven Hydrophon-Größe wurde gemäß der in Anhang B dargelegten Begründung geändert;
- d) die Anforderungen an die Frequenzen, für die die effektive Hydrophon-Größe bereitgestellt werden soll, wurden geändert, um eine Praktikabilität für erweiterte Frequenzbereiche zu erreichen;
- e) Anhang A wurde aktualisiert, um die Änderungen der normativen Teile widerzuspiegeln;
- f) die Anhänge B und C wurden hinzugefügt.

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe und Abkürzungen.....	7
4 Liste der Formelzeichen (Symbole).....	10
5 Hydrophon-Eigenschaften.....	11
5.1 Allgemeines.....	11
5.2 Grundinformationen.....	11
5.3 Empfindlichkeit.....	11
5.4 Frequenzgang.....	12
5.4.1 Angegebenes Frequenzband.....	12
5.4.2 Frequenzabhängigkeit.....	12
5.5 Richtungsempfindlichkeit.....	13
5.5.1 Allgemeines.....	13
5.5.2 Bestimmung der Richtungsempfindlichkeit.....	13
5.5.3 Symmetrie der Richtungsempfindlichkeit.....	14
5.6 Wirksame Hydrophongröße.....	14
5.6.1 Allgemeines.....	14
5.6.2 Modell der Richtungsempfindlichkeit.....	14
5.6.3 Anpassen des experimentellen Ansprechverhaltens an theoretische Vorhersagen.....	15
5.7 Dynamischer Bereich, Linearität und elektromagnetische Störungen.....	16
5.8 Elektrische Ausgangseigenschaften.....	16
5.8.1 Hydrophon ohne Vorverstärker.....	16
5.8.2 Hydrophoneinheit.....	17
5.8.3 Konfiguration der Ausgangsleitungen.....	17
5.9 Umgebungsbedingungen.....	17
5.9.1 Temperaturbereich.....	17
5.9.2 Wasserdichtheit.....	17
5.9.3 Wassereigenschaften und unverträgliche Materialien.....	17
5.9.4 Freiliegende Werkstoffe.....	18
5.10 Gebrauchsanleitung.....	18
5.11 Liste der Hydrophon-Eigenschaften.....	18
Anhang A (informativ) Beispiele für Informationen zu Hydrophon-Eigenschaften.....	19
A.1 Allgemeines.....	19
A.2 Grundinformationen.....	19
A.3 Empfindlichkeit und Frequenzgang.....	19
A.4 Richtungsempfindlichkeit.....	22
A.5 Wirksames Maß.....	22

A.6	Dynamischer Bereich, Linearität und elektromagnetische Störungen.....	23
A.6.1	Unterer dynamischer Grenzwert.....	23
A.6.2	Oberer dynamischer Grenzwert.....	23
A.7	Elektrische Ausgangseigenschaften.....	23
A.8	Umgebungsbedingungen.....	23
Anhang B (informativ)	Begründung.....	25
B.1	Allgemeines.....	25
B.2	Änderungen an der Bestimmung der Richtungsempfindlichkeit.....	25
B.3	Änderungen an der Bestimmung des wirksamen Radius.....	25
Anhang C (informativ)	Richtwirkungsmodell für Membran-Hydrophone.....	27
C.1	Allgemeines.....	27
C.2	Einzelheiten des Modells.....	27
Literturhinweise		28
Weitere Veröffentlichungen		28
Bilder		
Bild A.1	– Frequenzgang des 0,2-mm-Nadel-Hydrophons im Bereich von 1 MHz bis 40 MHz.....	20
Bild A.2	– Frequenzgang des 0,2-mm-Nadel-Hydrophons im Bereich von 100 kHz bis 1 MHz.....	21
Bild A.3	– Richtungsempfindlichkeit des 0,2-mm-Nadel-Hydrophons.....	22
Tabellen		
Tabelle A.1	– Beispiel für Grundinformationen bei einer 0,2-mm-Nadel-Hydrophoneinheit.....	19

Einleitung

Die räumliche und zeitliche Verteilung des Schalldrucks in einem Ultraschallfeld in einem flüssigen Medium wird gewöhnlich mit Miniatur-Ultraschall-**Hydrophonen** bestimmt. Die Eigenschaften dieser **Hydrophone** wurden in einer Vielzahl von IEC-Normen unter verschiedenen Gesichtspunkten behandelt. Der Zweck dieses Teils von IEC 62127 ist die Zusammenfassung aller dieser Spezifikationen und das Erstellen einer gemeinsamen Norm zu den Eigenschaften von Ultraschall-**Hydrophonen**. Die Hauptanwendung von **Hydrophonen** in diesem Zusammenhang ist die Messung von Ultraschallfeldern, die von medizinischen diagnostischen Geräten in Wasser ausgesendet werden. Andere medizinische Anwendungen sind Feldmessungen für Therapiegeräte wie z. B. für Lithotripsie, HIFU (hochintensiver fokussierter Ultraschall) und Physiotherapie. **Hydrophone** werden auch in nichtmedizinischen Anwendungen sowohl für die Produktentwicklung als auch die Qualitätskontrolle umfangreich eingesetzt, einschließlich:

- Abbildung (Verlaufsüberwachung) des Ultraschallfeldes innerhalb von Ultraschallreinigungsbädern;
- Charakterisierung von Schallfeldern von Durchschallungs-Messsystemen (z. B. Ultraschallspektrometer, Ultraschalldämpfungsmessgeräte, Geschwindigkeitsmessgeräte);
- Charakterisierung von Schallfeldern, die in Reflexionsmessgeräten angewendet werden (z. B. Doppler-Strömungsmessgeräte).

Während die Benennung „**Hydrophon**“ in einem weiteren Sinn angewendet werden kann, wird sie in dieser Norm als Bezeichnung für ein piezoelektrisches Miniatur-**Hydrophon** verstanden. Es ist dieser Messgerätetyp, der heutzutage in verschiedenen Bereichen der Ultraschallanwendung und insbesondere zum quantitativen Charakterisieren der Feldstruktur von medizinischen Ultraschall Diagnostikgeräten verwendet wird. Im Hinblick auf andere Typen von Schalldrucksensoren wie diejenigen, die auf Faseroptik beruhen, gelten einige der Vorgaben in dieser Internationalen Norm für diese Typen ebenfalls, andere jedoch nicht. Wenn diese anderen **Hydrophon-Typen** in der Zukunft für die Feldmessungspraxis an Bedeutung gewinnen, werden ihre Eigenschaften in einer überarbeiteten Fassung dieser Internationalen Norm oder in einer getrennten Norm zu behandeln sein.

Die in IEC 60500, IEC 60565-1 und IEC 60565-2 behandelten Unterwasser-**Hydrophone** werden in dieser Norm nicht berücksichtigt, obwohl eine Überlappung in den Frequenzbereichen besteht. Unterwasser-**Hydrophone** werden in natürlichen Gewässern und sogar im Ozean eingesetzt, was zu verschiedenen technischen Konzepten und Anforderungen führt. Außerdem liegt die Hauptrichtung des Schalleinfalls bei Unterwasseranwendungen üblicherweise im rechten Winkel zur **Hydrophonachse**, wohingegen in dieser Norm angenommen wird, dass er in Richtung der **Hydrophonachse** verläuft.

In der Vergangenheit wurden Ultraschall-**Hydrophone** fast ausschließlich als Amplitudensensoren verwendet. Heutzutage kann diesbezüglich eine Änderung beobachtet werden, und es wird zunehmend als hilfreich erachtet, zusätzliche Phaseninformationen zu bekommen, was jedoch nur möglich ist, wenn die Phasencharakteristik des **Hydrophons** während der Kalibrierung bestimmt wurde. In dieser Norm werden daher Anforderungen für den Amplitudenaspekt der **Hydrophon**-Empfindlichkeit festgelegt und Empfehlungen für den Phasenaspekt als eine zu berücksichtigende Wahlmöglichkeit gegeben.

Ultraschall – Hydrophone – Teil 3: Eigenschaften von Hydrophonen zur Verwendung in Ultraschallfeldern bis zu 40 MHz

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62127 legt die relevanten **Hydrophon**-Eigenschaften fest.

Diese Norm gilt für:

- **Hydrophone** mit piezoelektrischen Sensorelementen, die dafür ausgelegt sind, von Ultraschallgeräten erzeugte gepulste Ultraschallfelder und Dauerultraschallfelder zu messen;
- **Hydrophone**, die für in Wasser durchgeführte Messungen verwendet werden;
- IEC mit oder ohne zugehörigen Vorverstärker.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 62127-1, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields up to 40 MHz*

IEC 62127-2, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz*

3 Begriffe und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 62127-1, IEC 62127-2 und die folgenden Begriffe.

3.1

Schallpulsform

zeitliche Wellenform (Kurvenverlauf) des **Augenblickswertes des Schalldrucks** an einem gegebenen Punkt des Schallfeldes, über eine so lange Zeitspanne angezeigt, dass alle wichtigen akustischen Angaben in einem einzigen Puls oder Tonburst enthalten sind oder bei Dauerschall in einem oder mehreren Wellenzügen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der zeitliche Kurvenverlauf entspricht einer Darstellung (z. B. Oszilloskopdarstellung oder Gleichung) des **Augenblickswertes des Schalldrucks**.

[QUELLE: IEC 62127-1:2007 und Änderung 1:2013, 3.1]

3.2

Richtungsempfindlichkeit

Beschreibung der Empfindlichkeit eines **Hydrophons** als Funktion der Ausbreitungsrichtung der einfallenden ebenen Schallwelle in einer festgelegten Ebene durch das **Bezugszentrum** und bei einer festgelegten Frequenz

Anmerkung 1 zum Begriff: Definition übernommen aus IEC 60565-2006.

Anmerkung 2 zum Begriff: Obwohl die **Richtungsempfindlichkeit** eine komplexwertige Funktion ist, besteht das primäre Interesse im Allgemeinen in der üblicherweise grafisch dargestellten Größenordnung der **Richtungsempfindlichkeit**.

3.3

wirksame Hydrophonggröße

a_h

Größe eines theoretischen Empfangs-**Hydrophons**, das eine vorhergesagte Funktion der **Richtungsempfindlichkeit** mit einem Öffnungswinkel gleich dem beobachteten Öffnungswinkel hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Größe ist üblicherweise eine Funktion der Frequenz. Bezüglich repräsentativer Versuchsdaten siehe [1].

Anmerkung 2 zum Begriff: Die wirksame Hydrophonggröße wird in Meter (m) angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei Hydrophonen mit einer runden Geometrie ist die **wirksame Hydrophonggröße** ein Radius.

Anmerkung 4 zum Begriff: Bei Hydrophonen mit einer rechteckigen Geometrie ist die **wirksame Hydrophonggröße** die Hälfte des größten Wertes von Länge und Breite.

3.4

elektrische Lastimpedanz

Z_L

komplexe elektrische Eingangsimpedanz (bestehend aus einem realen und einem imaginären Teil), an die der Ausgang des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** angeschlossen ist oder angeschlossen werden soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Die elektrische Lastimpedanz wird in Ohm (Ω) angegeben.

3.5

Kabelende

Spezifikation, die sich auf das Ende eines integrierten Ausgangskabels bezieht, wenn das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** mit einem derartigen Kabel versehen ist; wenn das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** nicht mit einem integrierten Ausgangskabel ausgestattet ist, bezieht sich diese Spezifikation auf den fest mit dem **Hydrophon** oder der **Hydrophoneinheit** verbundenen Ausgangsstecker und nicht auf ein zusätzliches Kabel

3.6

Empfindlichkeit bei Last am Kabelende

$M_L(f)$

<eines **Hydrophons** oder einer **Hydrophoneinheit**> Quotient aus der Fourier-Transformierten des **Hydrophon**-Spannungs-Zeit-Signals, $\mathcal{F}(u_L(t))$, am Ende eines integrierten Kabels oder Ausgangssteckers eines **Hydrophons** oder einer **Hydrophoneinheit** bei Anschluss an eine festgelegte **elektrische Lastimpedanz** und der Fourier-Transformierten der **Schallpulsform**, $\mathcal{F}(p(t))$, im ungestörten Freifeld einer ebenen Welle am Ort des **Bezugsmittelpunkts** des **Hydrophons**, wenn das **Hydrophon** entfernt worden wäre

$$M_L(f) = \frac{F(u_L(t))}{F(p(t))}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Empfindlichkeit bei Last am Kabelende** ist ein komplexwertiger Parameter. Ihr Betrag wird in Volt je Pascal (V/Pa) angegeben, ihr Phasenwinkel wird in Grad angegeben und stellt die Phasendifferenz zwischen der elektrischen Spannung und dem Schalldruck dar.

3.7

Empfindlichkeit bei Leerlauf am Kabelende

$M_C(f)$

<eines **Hydrophons**> Quotient aus der Fourier-Transformierten des **Hydrophon**-Leerlaufspannungs-Zeit-Signals, $\mathcal{F}(u_C(t))$, am Ende eines integrierten Kabels oder Ausgangssteckers eines **Hydrophons** und der Fourier-Transformierten der **Schallpulsform**, $\mathcal{F}(p(t))$, im ungestörten Freifeld einer ebenen Welle am Ort des **Bezugsmittelpunkts** des **Hydrophons**, wenn das **Hydrophon** entfernt worden wäre

$$M_C(f) = \frac{F(u_C(t))}{F(p(t))}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Empfindlichkeit bei Leerlauf am Kabelende** ist ein komplexwertiger Parameter. Ihr Betrag wird in Volt je Pascal (V/Pa) angegeben, ihr Phasenwinkel wird in Grad angegeben und stellt die Phasendifferenz zwischen der elektrischen Spannung und dem Schalldruck dar.

3.8

Übertragungsmaß bei Last am Kabelende

Empfindlichkeitspegel bei Last am Kabelende

$M_{L,dB}$

<eines **Hydrophons** oder einer **Hydrophoneinheit**> zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Quotienten aus dem Betrag der **Empfindlichkeit bei Last am Kabelende**, $|M_L(f)|$, und einer Referenzempfindlichkeit M_{ref}

Anmerkung 1 zum Begriff: $M_{L,dB} = 20 \log_{10} \frac{|M_L|}{M_{ref}}$ dB.

Anmerkung 2 zum Begriff: Gewöhnlich verwendete Werte der Referenzempfindlichkeit M_{ref} sind 1V/μPa oder 1V/Pa.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das **Übertragungsmaß bei Last am Kabelende** wird in Dezibel (dB) angegeben.

3.9

Freifeld

Schallfeld in einem homogenen und isotropen Medium, in dem die Wirkungen der Begrenzungen vernachlässigbar sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Definition übernommen aus IEC 60565:2006, 3.13.

3.10

geometrische Hydrophongröße

geometrische Größe eines aktiven Hydrophonelements

a_g

Größe, die durch die seitlichen Ausdehnungen des aktiven Elements eines **Hydrophons** definiert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **geometrische Hydrophongröße** wird in Mete (m) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Hydrophonen mit einer runden Geometrie ist die **geometrische Hydrophongröße** ein Radius.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei Hydrophonen mit einer rechteckigen Geometrie ist die **wirksame Hydrophongröße** die Hälfte des größten Wertes von Länge und Breite.

3.11

Hydrophon

Wandler, der zu Wasserschall-Signalen analoge elektrische Signale erzeugt

[QUELLE: IEV 801-32-26]

3.12

Hydrophoneinheit

Kombination aus **Hydrophon** und **Hydrophon-Vorverstärker**

3.13

Hydrophonachse

nominelle Symmetrieachse des aktiven **Hydrophonelements**

Anmerkung 1 zum Begriff: Sofern vom Hersteller nicht anderweitig (explizit und quantitativ) angegeben, wird sie für die Anwendung dieser Norm als diejenige Achse verstanden, die sich aus der offensichtlichen geometrischen Symmetrieachse des **Hydrophons** ergibt.

3.14

Hydrophon-Vorverstärker

aktives elektronisches Gerät, das an ein bestimmtes **Hydrophon** angeschlossen ist bzw. angeschlossen werden soll und die Ausgangsimpedanz des **Hydrophons** verringert

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein **Hydrophon-Vorverstärker** benötigt eine Versorgungsspannung (oder Versorgungsspannungen).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der **Hydrophon-Vorverstärker** kann einen Vorwärts-Spannungsübertragungsfaktor von weniger als eins haben, d. h. er muss nicht unbedingt ein Spannungsverstärker im engeren Sinne sein.

3.15

Bezugsmittelpunkt

Punkt auf oder nahe einem **Hydrophon**, für den die akustische Empfangsempfindlichkeit definiert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Sofern vom Hersteller nicht anderweitig (explizit und quantitativ) angegeben, wird er für die Zwecke dieser Norm als derjenige Punkt verstanden, der sich aus dem geometrischen Mittelpunkt der Frontfläche des aktiven **Hydrophonelements** ergibt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Definition übernommen aus IEC 60565, 3.25.

3.16

Unsicherheit

dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnten

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe ISO *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [2], 2.2.3.

Anmerkung 2 zum Begriff: Definition übernommen aus IEC 62127-1.

4 Liste der Formelzeichen (Symbole)

a_g	geometrische Hydrophongröße
a_h	wirksame Hydrophongröße
c	Schallgeschwindigkeit in einem Medium
D_H	Modellfunktion, die für die Bestimmung der wirksamen Hydrophongröße aus der gemessenen Richtungsempfindlichkeit eines Hydrophons verwendet wird
f	Frequenz
k	Wellenzahl = $2\pi/\lambda$
$\underline{M}$	allgemeines Formelzeichen für die komplexe Hydrophon -Empfindlichkeit, wobei $M = \underline{M} $ deren Betrag und $\arg(\underline{M})$ deren Argument (= Phasenwinkel) ist
$\underline{M}_c$	Empfindlichkeit bei Leerlauf am Kabelende
$\underline{M}_l$	Empfindlichkeit bei Last am Kabelende
$M_{L,dB}$	Übertragungsmaß bei Last am Kabelende
Z_h	elektrische Ausgangsimpedanz eines Hydrophons oder einer Hydrophoneinheit
Z_l	elektrische Lastimpedanz
θ	Einfallswinkel einer Ultraschallwelle bezüglich der Hydrophonachse

5 Hydrophon-Eigenschaften

5.1 Allgemeines

Für eine vollständige Charakterisierung der Hydrophon-Leistung im Frequenzbereich dieser Norm sind folgende Informationen erforderlich. Beispiele für Informationen über Hydrophon-Eigenschaften sind in Anhang A angegeben.

ANMERKUNG Methoden zur Bestimmung sind abgedeckt durch IEC 62127-2.

5.2 Grundinformationen

Folgendes muss in kurzer Form angegeben werden:

- die physikalischen Grundprinzipien des Wandlungsvorgangs, die Art des eingesetzten Materials, die Form und geometrischen Maße (Durchmesser, Dicke) des aktiven **Hydrophonelements** und der Nadeldurchmesser im Fall eines Nadel-**Hydrophons**;
- die Konfiguration und Konstruktionsprinzipien des **Hydrophons**;
- ob ein Vorverstärker mit dem **Hydrophon** verbunden ist oder nicht; wenn der Vorverstärker vom **Hydrophon** getrennt werden kann, müssen eindeutige Angaben gemacht werden, welcher Vorverstärkertyp zu welchem **Hydrophon**-Typ gehört;
- die Nennrichtung des einfallenden Ultraschalls in Bezug auf das **Hydrophon**.

ANMERKUNG Der letzte Listenpunkt ist wichtig, da sich aus Literaturhinweis [3] ergibt, dass sich selbst bei Membran-**Hydrophonen** das Verhalten bei Umkehrung der Ultraschallausbreitungsrichtung in Bezug auf das **Hydrophon** verändern kann.

Folgendes sollte in kurzer Form angegeben werden:

- die Frequenz der Dickengrundresonanz des aktiven **Hydrophonelements**;
- Größe und Masse des **Hydrophons**;
- im Fall eines Membran-**Hydrophons** der akustische Reflexions- und Durchlassfaktor (vorzugsweise als Funktion der Frequenz).

Allgemeine Anmerkung zu 5.3 und 5.4: Wenn Phaseninformation verfügbar ist, sollten zusätzlich zur Empfindlichkeit (gleich dem Betrag der komplexen **Hydrophon**-Empfindlichkeit) der Phasenwinkel (= Argument der komplexen **Hydrophon**-Empfindlichkeit) sowie die Frequenzabhängigkeit des Phasenwinkels zusätzlich zur Frequenzabhängigkeit der Empfindlichkeit angegeben werden.

5.3 Empfindlichkeit

Der Betrag der Empfindlichkeit des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** am Kabelende muss in V/Pa bzw. dezimalen Teilen davon oder als ein logarithmischer Pegel in dB mit Bezug auf einen angegebenen Empfindlichkeitswert angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Bezüglich der Definition des **Übertragungsmaßes bei Last am Kabelende** siehe 3.8.

Wenn ein Vorverstärker zum angegebenen Wert beiträgt, muss dies angegeben werden.

Es muss angemerkt werden, ob der angegebene Empfindlichkeitswert als **Empfindlichkeit bei Leerlauf am Kabelende** oder **Empfindlichkeit bei Last am Kabelende** zu verstehen ist. Im letzteren Fall müssen die betreffenden elektrischen Lastbedingungen angegeben werden, d. h. die Impedanz der elektrischen Last, um die angegebene Empfindlichkeit zu erhalten.

Die **Unsicherheit** der angegebenen Empfindlichkeit muss angegeben werden.

Des Weiteren muss das Frequenzintervall, über das die Empfindlichkeit angegeben ist und über das die **Unsicherheit** gilt, angeführt werden. Für die Anwendung dieser Norm dürfen die Empfindlichkeits- und **Unsicherheits**-Werte getrennt für mehrere Frequenzintervalle angegeben werden.

Die Verfahren, nach denen die Empfindlichkeit und deren **Unsicherheit** erhalten wurden, muss beschrieben werden.

Die Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit muss angegeben werden. Hierfür muss die **Hydrophon**-Empfindlichkeit als Funktion der Wassertemperatur mindestens über einen Temperaturbereich von 19 °C bis 25 °C angegeben werden, oder es muss die bestimmte Wassertemperatur, auf die sich die Empfindlichkeitsangabe bezieht, zusammen mit dem Temperaturkoeffizienten der Empfindlichkeit angegeben werden.

In der Gebrauchsanleitung muss eine empfohlene Kalibrierperiode angegeben werden. Dieser Empfehlung muss, sofern in bestimmten Anwendungsnormen nicht anderweitig verlangt, gefolgt werden.

ANMERKUNG 2 In den meisten Fällen ist eine Kalibrierperiode von einem Jahr angemessen.

Der **Bezugsmittelpunkt** muss angegeben werden, wenn sich die Empfindlichkeit nicht auf den geometrischen Mittelpunkt der Frontfläche des aktiven **Hydrophonelements** bezieht.

ANMERKUNG 3 Dies ist für jegliche Phasenbetrachtungen besonders wichtig.

Wenn sich die Empfindlichkeit nicht auf einen Einfall in Richtung der **Hydrophonachse** bezieht, muss die Richtung des einfallenden Schalls angegeben werden.

5.4 Frequenzgang

5.4.1 Angegebenes Frequenzband

Die Angabe des für das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** beanspruchten Frequenzbands muss erfolgen, indem der untere Frequenzgrenzwert und der obere Frequenzgrenzwert angegeben werden. Der Betrag der Empfindlichkeit des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** am Kabelende muss über das angegebene Frequenzband mit einer Grenzabweichung konstant sein, die ebenfalls anzugeben ist.

5.4.2 Frequenzabhängigkeit

Der Betrag der Empfindlichkeit am Kabelende bzw. das Übertragungsmaß des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** als eine Funktion der Frequenz muss entweder grafisch oder in Form einer Liste von Werten über einen Frequenzbereich angegeben werden, der mindestens das unter 5.4.1 genannte Frequenzband einschließt. Wird die Empfindlichkeit als eine Liste von Werten oder als einzelne Punkte in einer grafischen Darstellung angegeben, sollte der Frequenzabstand zwischen benachbarten Punkten gering genug sein, damit alle wichtigen Einzelheiten der Frequenzabhängigkeit gezeigt werden und das Übertragungsmaß um nicht mehr als ± 1 dB zwischen benachbarten Punkten schwankt.

Der Frequenzgang darf in Form von absoluten Empfindlichkeitswerten oder in einer relativen Form angegeben werden, wobei sich auf die absolute Empfindlichkeit des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** bei einer bestimmten Frequenz zu beziehen ist. Im Fall der relativen Wiedergabe müssen die Bezugsempfindlichkeit und die Frequenz, für die diese gilt, angegeben werden.

Die Phase der Empfindlichkeit am Kabelende darf als eine Funktion der Frequenz entweder grafisch oder in Form einer Liste von Werten angegeben werden.

Die Angabe des Frequenzgangs muss sich auf die gleichen Bedingungen (d. h. Ausgang des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** unter Last oder Leerlauf) beziehen wie die Empfindlichkeitsangabe nach 5.3.

Wenn die **Unsicherheit** der Empfindlichkeitswerte bei der Darstellung des Frequenzgangs von der allgemeinen **Unsicherheits**-Bewertung nach 5.3 abweicht, muss dies deutlich angemerkt und die neue oder zusätzliche

Unsicherheit angegeben werden. Wenn der Frequenzgang lediglich grafisch dargestellt wird, muss die auf dem Ablesen aus der Kurve beruhende zusätzliche **Unsicherheit** weniger als 10 % der angeführten Gesamt-**Unsicherheit** betragen.

Wenn der Frequenzgang als eine Liste absoluter Empfindlichkeitswerte (bei Last oder Leerlauf am Kabelende) angegeben wird, darf die Empfindlichkeitsangabe nach 5.3 weggelassen werden.

ANMERKUNG 1 Der Frequenzgang kann von den elektrischen Lastbedingungen abhängen.

ANMERKUNG 2 Wenn bei einer praktischen Anwendung das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** mit nachgeschalteten Bauteilen, wie z. B. Verstärker, Oszilloskop usw., verwendet wird, beeinflusst der Frequenzgang der zusätzlichen Bauteile natürlich auch den Frequenzgang des gesamten Systems.

5.5 Richtungsempfindlichkeit

5.5.1 Allgemeines

Die Richtungsempfindlichkeit und die aus ihr abgeleiteten Größen unterliegen zahlreichen Änderungen im Vergleich zur 1. Ausgabe dieses Dokuments. Einzelheiten zur Begründung für diese Änderungen sind in Anhang B zu finden.

5.5.2 Bestimmung der Richtungsempfindlichkeit

Die **Richtungsempfindlichkeit** des **Hydrophons** ist mindestens bei drei Frequenzen anzugeben, wobei die niedrigste und die höchste Frequenz soweit wie möglich auseinander liegen müssen:

- die niedrigste Frequenz, bei der die **Richtungsempfindlichkeit** des **Hydrophons** bestimmt wurde, sollte der untere Grenzwert des unter 5.4.1 beanspruchten Frequenzbandes sein. Falls dies nicht der Fall ist, muss der Grund bzw. müssen die Gründe für diese Abweichung angegeben werden;
- die höchste Frequenz, bei der die **Richtungsempfindlichkeit** des **Hydrophons** bestimmt wurde, sollte der obere Grenzwert des unter 5.4.1 beanspruchten Frequenzbandes sein. Falls dies nicht der Fall ist, muss der Grund bzw. müssen die Gründe für diese Abweichung angegeben werden;

ANMERKUNG Die experimentelle Bestimmung des Frequenzgangs wird mit steigender Frequenz zunehmend schwieriger. Die **wirksame Hydrophongröße** wird jedoch mit steigender Frequenz asymptotisch. Obwohl die höchste Frequenz, bei der die **Richtungsempfindlichkeit** des **Hydrophons** bestimmt wurde, geringer sein darf als der obere Grenzwert des unter 5.4.1 beanspruchten Frequenzbandes, kann die Auswirkung auf den hohen Frequenzgrenzwert der **wirksamen Hydrophongröße** daher unerheblich sein.

- eine mittlere Frequenz, die innerhalb von $\pm 15\%$ des geometrischen Mittelwertes der niedrigsten und höchsten Frequenz für die Bestimmung der **Richtungsempfindlichkeit** des **Hydrophons** liegt;
- wenn das **Hydrophon** eine Dickengrundresonanz innerhalb des Bereiches zwischen der niedrigsten und höchsten Frequenz nach diesem Abschnitt hat, muss die **Richtungsempfindlichkeit** bei dieser Frequenz ebenfalls angegeben werden.

Die **Richtungsempfindlichkeit** sollte durch Drehen des **Hydrophons** um eine Achse, die durch den **Bezugsmittelpunkt** und senkrecht zur **Hydrophonachse** verläuft, um mindestens -35° bis $+35^\circ$ (wobei die **Hydrophonachse** als Bezug dient) oder mindestens vom ersten linksseitigen Minimum bis zum ersten rechtsseitigen Minimum, je nachdem, welche Winkelspanne größer ist, bestimmt werden. Dies muss zweimal erfolgen, nämlich um zwei senkrecht zueinander verlaufende Drehachsen. Wenn das **Hydrophon** in der Ebene senkrecht zu seiner Achse ein bestimmtes, auffälliges Richtungsmerkmal (zum Beispiel die elektrischen Leitungen im Fall eines Membran-**Hydrophons**) hat, sollte eine Rotationsachse in dieser Richtung und eine senkrecht zu dieser verlaufen. Wenn das aktive Element nicht kreisförmig ist, muss eine der Rotationsachsen in Richtung des größten Maßes verlaufen. Die Richtungen der Rotationsachsen müssen auf dem **Hydrophon** oder in den Begleitpapieren gekennzeichnet sein.

Das Winkelinkrement muss so gewählt werden, dass eine Abweichung zwischen benachbarten Punkten in der **Richtungsempfindlichkeit** von höchstens 1 dB sichergestellt ist.

Die Messung der Richtungsempfindlichkeit muss in einem Ultraschallfeld mit quasi-ebener Wellenform durchgeführt werden.

Wenn das aktive Element eine unregelmäßige Form oder mehr als zwei Symmetrieachsen hat, sollte die **Richtungsempfindlichkeit** um zusätzliche Achsen gemessen werden.

Es muss jede der aus den Messungen erhaltenen **Richtungsempfindlichkeiten** angegeben werden.

5.5.3 Symmetrie der Richtungsempfindlichkeit

Wenn in irgendeinem für die **Richtungsempfindlichkeit** erhaltenen Ergebnis der Winkel zwischen der Richtung der maximalen Empfindlichkeit und der **Hydrophonachse** mehr als 1/10 der Winkeldifferenz zwischen der linksseitigen –6-dB-Richtung und der rechtsseitigen –6-dB-Richtung beträgt, müssen diese Tatsache und der Abweichungswinkel von der Achse angegeben werden. Das Übertragungsmaß in Richtung der **Hydrophonachse** darf nicht kleiner als der Höchstwert in jeglicher anderen Richtung minus 2 dB sein.

Die Symmetrie jeder Richtungsempfindlichkeit sollte so sein, dass, wenn ein normiertes Übertragungsmaß von –6 dB in einer Richtung mit einem gewissen Winkelabstand von der Richtung maximaler Empfindlichkeit (0 dB) auftritt, das gemessene Übertragungsmaß auf der entgegengesetzten Seite beim selben Winkelabstand von der Richtung maximaler Empfindlichkeit innerhalb –6 dB ± 3 dB sein muss.

ANMERKUNG In der Praxis treten bei der Feldmessung Probleme auf, wenn sich die Richtung der maximalen **Hydrophon**-Empfindlichkeit mit der Frequenz beträchtlich ändert.

5.6 Wirksame Hydrophongröße

5.6.1 Allgemeines

Aus den nach 5.5 für die **Richtungsempfindlichkeit** erhaltenen Ergebnissen muss ein Wert für die **wirksame Hydrophongröße** abgeleitet und folgendermaßen angegeben werden.

5.6.2 Modell der Richtungsempfindlichkeit

Für die Bestimmung der **wirksamen Hydrophongröße** muss das theoretische Modell, mit dem die experimentell bestimmte **Richtungsempfindlichkeit** verglichen wird, angegeben werden. Zur Aufrechterhaltung der Konsistenz mit früheren Ausgaben dieses Dokuments muss das Standardmodell das Modell mit starrer Schallwand (siehe nachfolgende Liste) sein, sofern keine eindeutige Begründung für die Wahl eines alternativen Richtungsempfindlichkeit-Modells gegeben wird. Mögliche alternative Modelle umfassen:

- Geeignete Richtungsempfindlichkeit-Modelle für nominell kreisförmige aktive Hydrophon-Elemente sind:
 - Modell mit starrer Schallwand

$$D_H(k, \alpha, \theta) = \frac{2J_1[k\alpha\sin(\theta)]}{k\alpha\sin(\theta)} \quad (1)$$

- Modell mit weicher Schallwand [4]

$$D_H(k, \alpha, \theta) = \frac{2J_1[k\alpha\sin(\theta)]}{k\alpha\sin(\theta)} \cos(\theta) \quad (2)$$

- Modell ohne Schallwand

$$D_H(k, \alpha, \theta) = \frac{2J_1[k\alpha\sin(\theta)]}{k\alpha\sin(\theta)} \cdot \frac{1 + \cos(\theta)}{2} \quad (3)$$

- Modell mit starrem Kolben (für Sonden-/Nadel-/faseroptische Hydrophone) [5]

$$D_H(k, \alpha, \theta) = \frac{2J_1[k\alpha\sin(\theta)]}{k\alpha\sin(\theta)} \cdot \frac{ik\cos(\theta)}{\pi\alpha^2} \int_A \int_B \frac{e^{-ikx\sin(\theta)} e^{iks}}{2\pi s} dA dB \quad (4)$$

Dabei sind A und B Integrationsbereiche, die die Fläche des aktiven **Hydrophon**-Elements und das Ende der Sonde, auf der das aktive **Hydrophon**-Element angebracht ist, wiedergeben und ist s der Abstand zwischen dem Beobachtungspunkt und dem Punkt der Integration.

- Bacon-Modell (für Membran-Hydrophone, einschließlich Lamb-Wellen) [6]

$$D_H(k, \alpha, \theta) = \frac{2J_1[k_1 a \sin(\theta_1)]}{k_1 a \sin(\theta_1)} \cdot \frac{\cos(\theta_1)}{\delta} \cdot \left| \left\{ \frac{\cos 2\gamma_2}{\cos^2 \theta_2} (\delta - \eta \sin^2 \gamma_2) \right\} \right| \cdot \frac{|g(M, N)|}{|g(M_0, N_0)|} \quad (5)$$

Weitere Informationen bezüglich der Glieder dieser Gleichung sind in Anhang C angegeben.

- Für nominell rechteckig geformte aktive Hydrophon-Elemente:

$$D_H(k, L, \theta) = \frac{\sin\left[\frac{kL \sin(\theta)}{2}\right]}{\frac{kL \sin(\theta)}{2}} \quad (6)$$

Dabei ist L die Länge einer der Seiten des Rechtecks.

Wenn das Modell auf einer oder mehreren Eigenschaften der involvierten Materialien beruht (z. B. das Bacon-Modell), müssen die für diese Eigenschaften verwendeten Werte angegeben werden.

5.6.3 Anpassen des experimentellen Ansprechverhaltens an theoretische Vorhersagen

Wenn die Ergebnisse der **Richtungsempfindlichkeit** eine eindeutige Zentralkeule (möglicherweise mit anderen Merkmalen wie lokalisierte Minima auf jeder Seite der Keule oder außerhalb der Achse liegende Scheitelwerte) zeigt, muss der für die Anpassung verwendete Winkelbereich auf den Bereich beschränkt werden, der nur die Hauptkeule enthält und definiert ist durch $\theta_{\min} < \theta < \theta_{\max}$.

Bei einer Bezugs-/Mittelposition von $\theta = 0^\circ$ ist θ_{limit} das Minimum von:

- der Betrag des ersten Winkels, bei dem die **Richtungsempfindlichkeits**-Kurve 6 dB unter den Wert der **Richtungsempfindlichkeit** bei $\theta = 0^\circ$ abfällt, oder
- 35 Grad.

$\theta_{\min}$ ist definiert als $-\theta_{\text{limit}}$ im Winkelbereich $\theta < 0^\circ$ und

$\theta_{\max}$ ist definiert als θ_{limit} im Winkelbereich $\theta > 0^\circ$.

Die **wirksame Hydrophongröße** muss als der Wert von a bestimmt werden, der die Summe des quadrierten Restes zwischen dem Betrag der Modellvorhersagen, $|D_H(k, a, \theta)|$, und dem Betrag der experimentell bestimmten Werte, $|x(\theta)|$, der normalisierten Richtungsempfindlichkeit minimiert. Dies muss für jede Frequenz/Wellenzahl nach 5.5.2 wiederholt werden.

$$S = \sum_{\theta=\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} (|x(\theta)| - |D_H(k, a, \theta)|)^2 \quad (7)$$

Wenn das aktive Element nominell kreisförmig ist, muss die **wirksame Hydrophongröße** als Mittelwert der beiden an den zwei orthogonalen Rotationsachsen erhaltenen wirksamen Radien angegeben werden.

Ist das aktive Element nominell nicht kreisförmig, muss die größte der aus den verschiedenen **Richtungsempfindlichkeiten** erhaltenen **wirksamen Hydrophongrößen** als die **wirksame Hydrophongröße** angegeben werden.

ANMERKUNG Die **wirksame Hydrophongröße** ist üblicherweise eine Funktion der Frequenz. Bezüglich repräsentativer Versuchsdaten siehe Anhang A.

5.7 Dynamischer Bereich, Linearität und elektromagnetische Störungen

Der dynamische Bereich des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit**, d. h. der Druckamplitudenbereich, in dem das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** verwendet werden kann, muss angegeben werden.

Dieser Bereich muss wenigstens die folgenden Bedingungen einhalten:

- a) keine mechanische oder elektrische Beschädigung des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit**;
- b) keine Ausgangssättigung;
- c) das Ausgangssignal muss über dem Rauschpegel liegen.

ANMERKUNG 1 „Ausgangssättigung“ bedeutet, dass ein Druckinkrement am **Hydrophon**, das nicht null ist, zu keiner Spannungsänderung führt.

ANMERKUNG 2 Der Rauschpegel kann von elektromagnetischen Störungen abhängen und sich dementsprechend mit den elektromagnetischen Bedingungen am Messplatz ändern. Im Idealfall kann es möglich sein, einen Rauschpegel, der alle anderen Geräuschquellen außer elektromagnetischen Störungen wiedergibt, anzugeben.

Der lineare Bereich des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit**, d. h. der Druckamplitudenbereich, in dem sich das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** entsprechend der nachfolgenden Bedingung linear verhält, muss angegeben werden.

Die Bedingung lautet folgendermaßen. Wenn in einer grafischen Darstellung, in der die Ausgangsspannung am **Kabelende** gegen die **Freifeld**-Schalldruckamplitude aufgetragen ist, eine Gerade so durch den Ursprung gezogen werden kann, dass die tatsächlichen Spannungswerte über einen bestimmten Druckbereich von der Geraden um nicht mehr als $\pm 10\%$ abweichen, gilt dieser Bereich als linearer Bereich des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit**. Dies muss für jede Frequenz innerhalb des nach 5.4.1 beanspruchten Frequenzbandes zutreffen.

Es sollten Informationen oder Ratschläge bereitgestellt werden, wie die Auswirkungen elektromagnetischer Störungen minimiert werden können.

5.8 Elektrische Ausgangseigenschaften

5.8.1 Hydrophon ohne Vorverstärker

Die komplexe elektrische Ausgangsimpedanz am Kabelende, Z_h , des **Hydrophons** muss als eine Funktion der Frequenz angegeben werden. Dies kann erfolgen, indem der reale und der imaginäre Teil oder die Werte der elektrischen Komponenten (wie Widerstand und Kapazität) eines äquivalenten Netzwerks angegeben werden. Im letztgenannten Fall muss die Art des Netzwerks eindeutig spezifiziert werden (z. B. Widerstand ist in Reihe oder parallel zur Kapazität).

Der Zusammenhang zwischen der komplexen **Empfindlichkeit bei Last am Kabelende** und der komplexen **Empfindlichkeit bei Leerlauf am Kabelende** hängt von Z_h und Z_L ab und ist gegeben durch:

$$M_L = M_c \{ Z_L / (Z_h + Z_L) \} \quad (8)$$

wobei die Beträge gegeben sind durch:

$$|M_L| = |M_c| \left\{ \frac{\operatorname{Re}^2 Z_L + \operatorname{Im}^2 Z_L}{[\operatorname{Re} Z_h + \operatorname{Re} Z_L]^2 + [\operatorname{Im} Z_h + \operatorname{Im} Z_L]^2} \right\}^{1/2} \quad (9)$$

Dabei ist (sind)

$|M_L|$ der Betrag der Empfindlichkeit bei Last am Kabelende;

$|M_c|$ der Betrag der Empfindlichkeit bei Leerlauf am Kabelende;

„Re“ und „Im“ der Real- und der Imaginärteil der jeweiligen Größe.

Gleichung (3) und Gleichung (4) können für die Berechnung von Korrekturfaktoren verwendet werden, wenn die tatsächliche **elektrische Lastimpedanz** nicht mit den Bedingungen, die in Verbindung mit den angegebenen Empfindlichkeitswerten angeführt sind, übereinstimmt.

ANMERKUNG Gleichung (3) und Gleichung (4) gelten für eine Frequenzbereichsbetrachtung. Bei praktischen **Hydrophon**-Anwendungen mit Ultraschallpulsen würden Zeitbereichsbetrachtungen (zeitliche Faltung und Entfaltung) berücksichtigt werden müssen.

Bei einem **Hydrophon** ohne Vorverstärker kann die **Hydrophon**-Empfindlichkeit am **Kabelende** entweder als Empfindlichkeit unter Last oder im Leerlauf angegeben werden.

Wenn die Angabe der Empfindlichkeit am Kabelende als Empfindlichkeit unter Last erfolgt, müssen die betreffenden elektrischen Lastbedingungen (**elektrische Lastimpedanz** oder äquivalente Netzwerkkomponenten), auf die sich die Empfindlichkeitswerte beziehen, mit angegeben werden. Wenn das **Hydrophon** unter anderen Lastbedingungen verwendet wird, muss die Empfindlichkeit nach Gleichung (4) korrigiert werden.

Wenn die Empfindlichkeit am **Kabelende** als Leerlauf-Empfindlichkeit angegeben ist und der Ausgang des **Hydrophons** an eine endliche **elektrische Lastimpedanz** angeschlossen wird, muss die Empfindlichkeit nach Gleichung (4) korrigiert werden.

5.8.2 Hydrophoneinheit

Bei einer **Hydrophoneinheit** muss die Empfindlichkeit am Kabelende als Empfindlichkeit unter Last zusammen mit den relevanten elektrischen Lastbedingungen (**elektrische Lastimpedanz** oder äquivalente Netzwerkkomponenten), auf die sich die Empfindlichkeitswerte beziehen, angegeben werden. Wenn die **Hydrophoneinheit** unter anderen Lastbedingungen verwendet wird, muss die Empfindlichkeit korrigiert werden.

5.8.3 Konfiguration der Ausgangsleitungen

Die Grundkonfiguration der Ausgangsleitungen, wie z. B. Differenzausgang (potentialfrei) oder unsymmetrischer Ausgang, d. h. ein Signalausgang und Erde, muss vom Hersteller erklärt werden.

5.9 Umgebungsbedingungen

5.9.1 Temperaturbereich

Es muss der für den Betrieb und die Aufbewahrung zulässige Temperaturbereich für das **Hydrophon** oder die **Hydrophoneinheit** angegeben werden.

5.9.2 Wasserdichtheit

Es muss angegeben werden, welche Teile des **Hydrophons** oder der **Hydrophoneinheit** wasserdicht sind und welche nicht. Des Weiteren müssen, falls zutreffend, die Einschränkungen bezüglich der Dauer des Eintauchens (möglicherweise als Funktion der Temperatur) angegeben werden.

5.9.3 Wassereigenschaften und unverträgliche Materialien

Falls zutreffend, müssen Einschränkungen bezüglich der Leitfähigkeit des Wassers angegeben werden. Außerdem müssen die Wasserbedingungen (zum Beispiel Leitfähigkeit, Gasgehalt), auf die sich alle quantitativen Angaben der **Hydrophon**-Eigenschaften beziehen, angeführt werden.

Einschränkungen zu unverträglichen Materialien (z. B. Flüssigkeiten, gelöste Stoffe) müssen angegeben werden.