DIN EN IEC 60565-1

DIN

ICS 17.140.50

Teilweiser Ersatz für
DIN EN 60565:2007-08
Siehe Anwendungsbeginn

Wasserschall – Hydrophone – Kalibrierung von Hydrophonen – Teil 1: Verfahren für die Freifeldkalibrierung von Hydrophonen (IEC 60565-1:2020); Deutsche Fassung EN IEC 60565-1:2020

Underwater acoustics –
Hydrophones –
Calibration of hydrophones –
Part 1: Procedures for free-field calibration of hydrophones
(IEC 60565-1:2020);
German version EN IEC 60565-1:2020

Acoustique sous-marine –
Hydrophones –
Étalonnage des hydrophones –
Partie 1: Procédures d'étalonnage en champ libre des hydrophones
(IEC 60565-1:2020);
Version allemande EN IEC 60565-1:2020

Gesamtumfang 97 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2020-05-29 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2021-09-01.

Für DIN EN 60565:2007-08 besteht eine Übergangsfrist bis 2023-05-29.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN IEC 60565-1:2019-07.

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.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 87 „Ultrasonics“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

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

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

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.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60565:2007-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Entfernen aller Beschreibungen der Verfahren für die Druckkalibrierung von Hydrophonen – diese sind jetzt in Teil 2 enthalten;

b) Entfernen der Ableitungen von Gleichungen für die Freifeld-Reziprozitätskalibrierung (Amplitudenübertragungskoeffizient und Phasenübertragungskoeffizient) und deren Einordnung in einen informativen Anhang;

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

c) Aufnahme der Kalibrierung des Sende-Übertragungskoeffizienten von Einzelquellen-Wandlern und Hydrophonen (aber keine Sonararrays) in den Anwendungsbereich;

d) Neuordnung der Abschnitte innerhalb des Dokuments, damit die allgemeineren Verfahren für die Kalibrierung, wie die Anleitung zum Erhalten der akustischen Freifeld-, Fernfeld- und stationären Bedingungen vor den Beschreibungen der absoluten oder relativen Kalibrierverfahren dargestellt werden;

e) Überarbeitung des informativen Anhangs A zur Aufnahme eines Leitfadens zur Messung der Richtungsempfindlichkeit eines Hydrophons oder Senders;

f) Ergänzung eines neuen informativen Anhangs B zur Messung der elektrischen Impedanz von Hydrophonen und Sendern;

g) Überarbeiten des vorherigen informativen Anhangs zu Korrekturen für elektrische Belastungen, um die elektrische Belastung durch zusätzliche Kabel zu erfassen (jetzt Anhang C);

h) Hinzufügen eines neuen informativen Anhangs D zu akustischen Fernfeldkriterien bei der Kalibrierung in der Unterwasserakustik;

i) Überarbeitung des vorherigen informativen Anhangs zu Impulsverfahren bei Freifeldkalibrierungen (jetzt Anhang E);

j) Überarbeitung des vorherigen informativen Anhangs zur Bewertung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung von Hydrophonen (jetzt Anhang F);

k) Streichen des vorigen informativen Anhangs zur Ersatzschaltung des Anregungssystems für die Kalibrierung mit einer schwingenden Säule;

l) Hinzufügen eines neuen informativen Anhangs G zur Ableitung der Gleichung für Drei-Wandler-Reziprozitätskalibrierung mit Kugelwellen;

m) Hinzufügen eines neuen informativen Anhangs H zur Kalibrierung mit Wanderwellenrohren;

n) Hinzufügen eines neuen informativen Anhangs I zur Kalibrierung von Hydrophonen mit Anwendung optischer Interferometrie;

o) Hinzufügen eines neuen informativen Anhangs J zur Kalibrierung in nachhallenden Wassertanks mit Dauer-Signalen.

Frühere Ausgaben

DIN EN 60565: 2007-08

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

– Leerseite –

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

EUROPÄISCHE NORM

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPÉENE

EN IEC 60565-1

Juni 2020

ICS 17.140.50

Ersatz für EN 60565:2007 (teilweise) und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden)

Deutsche Fassung

Wasserschall – Hydrophone – Kalibrierung von Hydrophonen – Teil 1: Verfahren für die Freifeldkalibrierung von Hydrophonen

Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration of hydrophones – Part 1: Procedures for free-field calibration of hydrophones

Acoustique sous-marine – Hydrophones – Étalonnage des hydrophones – Partie 1: Procédures d'étalonnage en champ libre des hydrophones

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2020-05-29 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 87/708/CDV, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 60565-1, erarbeitet vom IEC/TC 87 „Ultrasonics“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60565-1:2020 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):	2021-03-01
-	spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen	(dow):	2023-05-29

Dieses Dokument ersetzt EN 60565:2007 (teilweise) und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden).

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60565-1:2020 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

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

IEC 60565-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 60565-2.
IEC 62127-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62127-2.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Anhang ZA
(normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

Publikation	Jahr	Titel	EN/HD	Jahr
IEC 60050-801	-	International Electrotechnical Vocabulary - Chapter 801: Acoustics and electroacoustics	-	-
IEC 60500	2017	Underwater acoustics - Hydrophones - Properties of hydrophones in the frequency range 1 Hz to 500 kHz	EN 60500	2017

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... 6

Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen ... 7

Einleitung ... 14

1 Anwendungsbereich ... 15

2 Normative Verweisungen ... 15

3 Begriffe ... 16

4 Symbole und Abkürzungen ... 21

5 Allgemeine Verfahren für die Kalibrierung ... 23

5.1 Allgemeine Kalibrieranforderungen ... 23

5.1.1 Arten der Kalibrierung ... 23

5.1.2 Anforderungen an das akustische Feld ... 23

5.2 Anforderungen an das akustische Freifeld ... 23

5.2.1 Dauerschallsignale ... 23

5.2.2 Zeitbegrenzte Signale ... 24

5.3 Anforderungen an das akustische Fernfeld ... 24

5.4 Anforderungen an stationäre Bedingungen ... 24

5.5 Anforderungen an die Ausrüstung ... 25

5.5.1 Kalibriereinrichtung ... 25

5.5.2 Messgeräte ... 26

5.6 Positionierung und Ausrichtung ... 28

5.6.1 Koordinatensystem ... 28

5.6.2 Bezugsrichtung ... 28

5.6.3 Befestigung und Halterung der Wandler ... 28

5.6.4 Ausrichtung ... 29

5.6.5 Trennabstand ... 29

5.7 Darstellung des Frequenzganges ... 30

5.8 Frequenzeinschränkungen ... 30

5.8.1 Obere Frequenzgrenze ... 30

5.8.2 Untere Frequenzgrenze ... 30

5.9 Überprüfungen auf akustische Interferenz ... 31

6 Elektrische Messungen ... 31

6.1 Signalart ... 31

6.2 Elektrische Erdung ... 32

6.3 Messung der Ausgangsspannung des Hydrophons ... 32

6.3.1 Allgemeines ... 32

6.3.2 Signalanalyse ... 32

6.3.3 Elektrische Belastung durch das Messgerät ... 32

6.3.4 Elektrische Belastung durch Verlängerungskabel ... 33

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

6.3.5 Elektrischer Rauschpegel ... 33
6.3.6 Übersprechen ... 33
6.3.7 Eingebaute Vorverstärker ... 34
6.4 Messung des Ansteuerstroms des Senders ... 34
6.4.1 Prüfausrüstung ... 34
6.4.2 Signalanalyse ... 34
6.5 Messung der Anregungsspannung des Senders ... 34
6.5.1 Prüfausrüstung ... 34
6.5.2 Signalanalyse ... 35
7 Vorbereitung und Konditionierung der Wandler ... 35
7.1 Eintauchen ... 35
7.2 Befeuchten ... 35
7.3 Verlängerung des Hydrophonkabels ... 35
7.4 Umgebungsbedingungen (Temperatur und Tiefe) ... 36
8 Reziprozitätskalibrierung mit drei Wandlern im Freifeld mit Kugelwellen ... 36
8.1 Allgemeine Grundsätze ... 36
8.2 Kalibrierung für die Bestimmung des Betrags des Übertragungskoeffizienten (ohne Phase) ... 37
8.2.1 Anforderungen an das akustische Feld ... 37
8.2.2 Trennabstand ... 37
8.2.3 Vorbereitung, Befestigung und Ausrichtung des Wandlers ... 38
8.2.4 Signalart ... 38
8.2.5 Messung der elektrischen Übertragungsimpedanz ... 38
8.2.6 Berechnung der Empfangs-Übertragungskoeffizienten ... 38
8.2.7 Berechnung der Sende-Übertragungskoeffizienten ... 39
8.2.8 Wiederholpräzision ... 39
8.2.9 Überprüfungen ... 40
8.2.10 Messunsicherheit ... 41
8.3 Kalibrierung zur Bestimmung des Phasenwinkels des Hydrophon-Übertragungskoeffizienten ... 42
8.3.1 Allgemeine Grundsätze ... 42
8.3.2 Vorbereitung der Wandler ... 43
8.3.3 Anforderungen an das akustische Feld ... 43
8.3.4 Signalart ... 43
8.3.5 Befestigung und Ausrichtung des Wandlers ... 43
8.3.6 Messung der elektrischen Übertragungsimpedanz ... 43
8.3.7 Berechnung des Phasenwinkels des Übertragungskoeffizienten ... 43
8.3.8 Wiederholpräzision ... 44
8.3.9 Überprüfungen ... 44
8.3.10 Messunsicherheit ... 45
9 Freifeld-Kalibrierung durch Vergleich mit einem akustischen Bezugsgerät ... 45
9.1 Kurzbeschreibung ... 45

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

9.2 Arten des Vergleichskalibrierverfahrens 45
9.2.1 Hydrophonkalibrierung mit einem kalibrierten Bezugshydrophon 45
9.2.2 Hydrophonkalibrierung mit einem kalibrierten Bezugssender 45
9.2.3 Senderkalibrierung mit einem kalibrierten Bezugshydrophon 45
9.3 Hydrophonkalibrierung durch Vergleich mit einem Bezugshydrophon 46
9.3.1 Anforderungen an das akustische Feld 46
9.3.2 Trennabstand 46
9.3.3 Vorbereitung, Befestigung und Ausrichtung des Wandlers 46
9.3.4 Signalart 46
9.3.5 Messung der elektrischen Spannung 46
9.3.6 Freifeld-Übertragungskoeffizient 46
9.3.7 Wiederholpräzision 47
9.3.8 Überprüfungen 47
9.3.9 Messunsicherheit 48
9.4 Hydrophonkalibrierung mit einem kalibrierten Sender 48
9.4.1 Anforderungen an das akustische Feld 48
9.4.2 Trennabstand 48
9.4.3 Vorbereitung, Befestigung und Ausrichtung des Wandlers 48
9.4.4 Signalart 48
9.4.5 Messung der elektrischen Übertragungsimpedanz 48
9.4.6 Berechnung der Empfangs-Übertragungskoeffizienten 49
9.4.7 Wiederholpräzision 49
9.4.8 Überprüfungen 49
9.4.9 Messunsicherheit 50
9.5 Senderkalibrierung mit einem kalibrierten Hydrophon 50
9.5.1 Anforderungen an das akustische Feld 50
9.5.2 Trennabstand 50
9.5.3 Vorbereitung, Befestigung und Ausrichtung des Wandlers 50
9.5.4 Signalart 50
9.5.5 Messung der elektrischen Übertragungsimpedanz 51
9.5.6 Berechnung des Sende-Übertragungskoeffizienten 51
9.5.7 Überprüfungen 51
9.5.8 Messunsicherheit 52
10 Angabe der Ergebnisse 52
10.1 Übertragungskoeffizient 52
10.2 Übertragungsmaß 52
10.3 Kalibrierunsicherheiten 53
10.4 Zusätzliche Metadaten 53
11 Intervalle für die Rekalibrierung 53
Anhang A (informativ) Richtungsempfindlichkeit eines Hydrophons oder Senders 55

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

A.1 Allgemeine Grundsätze 55
A.2 Realisierungsarten der Messung 55
A.3 Koordinatensystem 56
A.4 Anforderungen an das akustische Feld 56
A.5 Positionierung und Ausrichtung 56
A.6 Signalart 56
A.7 Messung der Richtungsempfindlichkeit von Wandlern 56
A.7.1 Sender 56
A.7.2 Hydrophon 56
A.8 Berechnung des Richtungsempfindlichkeitsmaßes (Richtmaßes) 56
A.9 Messunsicherheit 57
A.10 Graphische Darstellung 57
A.11 Richtfaktor 58
A.12 Richtwirkungsmaß 59
Anhang B (informativ) Messung der elektrischen Impedanz von Hydrophonen und Sendern 60
B.1 Allgemeine Grundsätze 60
B.2 Messung der elektrischen Impedanz 60
B.3 Ableitung von weiteren Parametern der elektrische Impedanz 61
B.4 Graphische Darstellung 62
Anhang C (informativ) Berechnung von Korrekturen für elektrische Belastungen 64
C.1 Korrekturen für elektrische Belastung 64
C.2 Korrekturen für Belastungen durch Verstärker mit der komplexen elektrischen Impedanz 64
C.3 Korrektur der durch Verlängerungskabel verursachten Belastung (mit der komplexen elektrischen Impedanz) 64
C.4 Korrekturen nur mit Kapazitäten 65
Anhang D (informativ) Akustische Fernfeldkriterien bei der Unterwasserschallkalibrierung 66
D.1 Allgemeines 66
D.2 Das Feld für Kolben-Wandler 66
D.3 Kriterien für Fernfeldbedingungen 68
D.4 Fernfeldkriterien bei Messungen der Richtungsempfindlichkeit 68
Anhang E (informativ) Impulsverfahren bei Freifeldkalibrierungen 69
E.1 Allgemeines 69
E.2 Echofreie Zeit 69
E.3 Mindesttrennabstand 71
E.4 Einschwingvorgänge beim Einschalten 71
E.5 Betrachtungen zur Bandbreite 72
E.6 Elektrisches Übersprechen 73
E.7 Pulsdauer 73
E.8 Nachhall und Pulsfolgefrequenz 73
E.9 Typische Tankabmessungen 73

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

E.10 Kugelwellenbedingungen 74
E.11 Reflexionen von Befestigungsstangen und Aufstellungssystem 74
E.12 Analyseverfahren für Tone-Burst-Signale 74
E.13 Obere Frequenzgrenzen 75
E.14 Untere Frequenzgrenzen 77
E.15 Fortschrittliche Techniken zur Erweiterung des Frequenzbereichs über die untere Frequenzgrenze hinaus 77
Anhang F (informativ) Bewertung der Messunsicherheit bei der Kalibrierung von Hydrophonen und Sendern 79
F.1 Allgemeines 79
F.2 Bewertung der Messunsicherheit nach Typ A 79
F.3 Bewertung der Messunsicherheit nach Typ B 79
F.4 Angegebene Messunsicherheit 79
F.5 Übliche Quellen der Messunsicherheit 80
Anhang G (informativ) Ableitung der Gleichungen für Drei-Wandler-Reziprozitätskalibrierung mit Kugelwellen 82
G.1 Allgemeines 82
G.2 Kalibrierung zur Bestimmung des Betrags des Übertragungskoeffizienten 82
G.3 Kalibrierung zur Bestimmung des komplexen Übertragungskoeffizienten 84
Anhang H (informativ) Kalibrierung mit Wanderwellenrohren 86
H.1 Allgemeines 86
H.2 Kalibrierverfahren 86
H.3 Grenzen des Verfahrens 86
H.4 Erweiterungen des Verfahrens 87
Anhang I (informativ) Kalibrierung von Hydrophonen mit optischer Interferometrie 88
I.1 Allgemeines 88
I.2 Allgemeine Grundsätze 88
I.3 Verfahren 88
I.4 Diskussion des Verfahrens 89
Anhang J (informativ) Kalibrierung in nachhallenden Wassertanks mit Dauerschallsignalen 90
J.1 Allgemeine Grundsätze 90
J.2 Anwendung eines Rauschsignals 91
J.3 Anwendung des LFM-Signals 91
J.4 Messunsicherheiten 92
Literaturhinweise 93

Bilder

Bild 1 – Messkonfigurationen für die Drei-Wandler-Reziprozität 37
Bild 2 – Messgestell zur Anbringung der drei Wandler in einer Reihe: eines Senders P, eines reziproken Wandlers T und eines zu kalibrierenden Hydrophons H 42
Bild A.1 – Beispiele von grafischen Darstellungen des Pegels der Richtungsempfindlichkeit: Polardiagramm (links) und kartesische Koordinaten (rechts) 58

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Bild B.1 – Beispiele von Darstellungen der elektrischen Impedanz eines Wandlers für ein kleines kugelförmiges Hydrophon mit einer Kapazität von 3 nF..... 63

Bild D.1 – Schalldruck als Funktion der Entfernung von der Quelle für eine Punktquelle und für eine Kolben-Quelle mit den Maßen *ka* = 10.....67

Bild D.2 – Differenz des gemessenen Schalldrucks auf der Achse im Vergleich zur kugelförmigen Ausbreitung bei Messung mit einem Punkt- und einem Kolbenempfänger..... 68

Bild E.1 – Schematische Darstellung eines Senders und eines Empfängers in einem Wassertank mit den Hauptreflexionsquellen.....70

Bild E.2 – Echoankunftszeit in einem Tank von 6 m × 6 m × 5 m mit optimal angeordneten Wandlern..... 71

Bild E.3 – Hydrophonsignale für ein Paar kugelförmiger Wandler[Sender: 18 kHz Resonanzfrequenz; Q-Faktor von 3,5; Hydrophon: 350 kHz Resonanzfrequenz, Anregungsfrequenz: 2 kHz (links) und 18 kHz (rechts)]..... 72

Bild E.4 – Beispiele von Schallwellenformen mit Zeitfenster für die Analyse..... 75

Bild E.5 – Werte für die Schallabsorption in Reinwasser und Meerwasser (einschließlich Beiträge aufgrund von Komponentenfaktoren) dargestellt.....76

Bild I.1 – Konfigurationen für die Kalibrierung von Hydrophonen mit der optischen Überlagerungsinterferometrie.....89

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Einleitung

Unterwasserakustik-Messungen werden durchgeführt, um Validierung und Qualifizierung in einem breiten Spektrum von Meeresanwendungen zu ermöglichen, einschließlich Ozeanographie, Verteidigung, Fischerei, Geophysik und in Entwicklungen in der Off-Shore-Energiewirtschaft. Darüber hinaus hat die zunehmende Besorgnis über die Auswirkungen von anthropogenem Schall auf die Meeresumwelt zu einer Regelung geführt, die die absolute akustische Messung des von bestimmten Quellen abgestrahlten Schalls und des Umgebungsschallfeldes fordern.

Um aussagekräftig zu sein ist es wichtig, dass Messungen technisch einwandfrei durchgeführt werden, sich auf gemeinsame Messnormen beziehen und mit kalibrierten Messwertaufnehmern durchgeführt werden. **Hydrophon**e sind die am häufigsten eingesetzten Messwertaufnehmer zur Messung von Schall im Meer. Es ist wichtig, dass die zur Messung des Schalldrucks verwendeten **Hydrophon**e nach vereinbarten genormten Verfahren mit gültigen Messunsicherheiten kalibriert werden.

Der Zweck dieses Dokuments ist die Festlegung von Kalibrierverfahren unter Freifeldbedingungen von **Hydrophon**en, die in der Unterwasserakustik für Meeresanwendungen eingesetzt werden. Behandelt werden ebenso Kalibrierverfahren für **elektroakustische Unterwasserwandler**, die als **Hydrophon** und/oder Quellen**wandler** verwendet werden können. Grundsätze, Verfahren und Quellen der Messunsicherheit sind in diesem Dokument ebenfalls angegeben. Die beschriebenen Kalibrierverfahren umfassen absolute Verfahren, die keine akustischen Bezugs**wandler** erfordern, und relative Verfahren, die ein kalibriertes Bezugs**hydrophon** oder einen kalibrierten Bezugs**sender** verwenden. Die beschriebenen Verfahren umfassen den Frequenzbereich von 200 Hz bis 1 MHz.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60565 legt Methoden und Verfahren für die Freifeldkalibrierung von **Hydrophon**en sowie einzelnen **elektroakustischen Wandlern** fest, die als **Hydrophon**e (Empfänger) und/oder **Sender** (Schallquellen**wandler**) verwendet werden können. In diesem Dokument werden zwei allgemeine Arten der Kalibrierung behandelt: absolute Kalibrierung nach der Methode der Drei-**Wandler**-Reziprozität mit Kugelwellen und die relative Kalibrierung durch Vergleich mit einem Bezugsgerät, das bereits einer absoluten Kalibrierung unterzogen wurde.

Der größte Frequenzbereich der in diesem Dokument festgelegten Verfahren liegt zwischen 200 Hz und 1 MHz. Die niedrigste akustische Anwendungsfrequenz hängt von einer Reihe von Faktoren ab und liegt üblicherweise im Bereich von 200 Hz bis 5 kHz und hängt im Wesentlichen von der Größe der gewählten Prüfeinrichtung ab. Die höchste Anwendungsfrequenz für die hier beschriebenen Verfahren beträgt 1 MHz.

Verfahren für die niederfrequente Druckkalibrierung von **Hydrophon**en sind in IEC 60565-2 [1] [1] enthalten. Verfahren für die Kalibrierung von **Hydrophon**en bei akustischen Frequenzen über 1 MHz werden in IEC 62127-2 [2] behandelt.

Ausgeschlossen aus dem Anwendungsbereich dieses Dokuments sind niederfrequente Druckkalibrierungen von **Hydrophon**en, die in IEC 60565-2 [1] beschrieben sind. Ebenfalls ausgeschlossen sind Kalibrierungen von digitalen **Hydrophon**en und Systemen, Kalibrierung von autonom arbeitenden Marine-Akustikrecordern, Kalibrierung von akustischen Vektorwandlern wie Schallschnelle-Messaufnehmern und Druckgradienten-**Hydrophon**en, Kalibrierung von passiven Sonararrays aus mehreren **Hydrophon**en und die Kalibrierung von aktiven Sonararrays aus Sendern und **Hydrophon**en.

Dieses Dokument liefert eine Beschreibung der Anforderungen an die Freifeldkalibrierung in Bezug auf die Prüfeinrichtung, -ausrüstung und -instrumentierung, **Signal**verarbeitung und Frequenzbegrenzungen. Die erreichbare Messunsicherheit und die Regeln für die Darstellung der Kalibrierdaten werden beschrieben. Ebenso enthalten sind informative Anhänge mit zusätzlichen Anleitungen zu:

- Messung der Richtungsempfindlichkeit eines **Hydrophon**s oder Senders;
- Messung der elektrischen Impedanz von **Hydrophon**en und Sendern;
- Korrekturen elektrischer Belastungen;
- **akustische Fernfeld**kriterien bei der Kalibrierung in der Unterwasserakustik;
- Impulsverfahren bei Freifeldkalibrierungen;
- Bewertung der Messunsicherheit bei der Freifeld-Kalibrierung von **Hydrophon**en und Sendern;
- Ableitung der Gleichungen für Drei-**Wandler**-Reziprozitätskalibrierung mit Kugelwellen;
- Kalibrierung mit Wanderwellenrohren;
- Kalibrierung von **Hydrophon**en mit optischer Interferometrie, und
- Kalibrierung in nachhallenden Wassertanks mit Dauerschall**signalen**.

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 60050-801, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics (available at http://www.electropedia.org/)*

IEC 60500:2017, *Underwater acoustics – Hydrophones – Properties of the hydrophone in the frequency range 1 Hz to 500 kHz*

[1] Nummern in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-801, IEC 60500:2017 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter http://www.electropedia.org/
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter http://www.iso.org/obp

3.1
akustisches Fernfeld
Schallfeld in einem ausreichenden Abstand von der Schallquelle in einem gleichförmigen Medium, in dem sich der Schalldruck und die Schallschnelle im Wesentlichen in Phase befinden und die um das Absorptionsmaß korrigierte Amplitude des Direktschalldrucks sich entgegengesetzt zum Abstand ändert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Entfernung (Abstand von der Schallquelle) wird auf einem direkten Weg zwischen Schallquelle und Empfänger gemessen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die entgegengesetzte Abhängigkeit von der Entfernung bedeutet nicht, dass die Schallquelle gleichmäßig in alle Richtungen strahlt.

[QUELLE: IEC 60050-801:1994, 801-23-30, modifiziert – In der Definition wurde „und die um das Absorptionsmaß korrigierte Amplitude des Direktschalldrucks sich entgegengesetzt zum Abstand ändert“ hinzugefügt, wobei der Text ISO 18405:2017, 3.3.1.1, entnommen wurde.]

3.2
elektrische Übertragungsimpedanz
$\underline{Z}_{\mathrm{PH}}$
<eines Wandlerpaares> der Quotient der Fourier-Transformierten der **Hydrophon**-Leerlaufausgangsspannung $\mathcal{F}(U_{\mathrm{H}}(t))$ und der Fourier-Transformierten des elektrischen Ansteuerstroms durch den **Sender** $\mathcal{F}(I_{\mathrm{P}}(t))$ für ein **Wandler**paar bei einem festgelegten Trennabstand, von dem einer als ein **Hydrophon** und einer als ein **Sender** verwendet wird

$$\underline{Z}_{\mathrm{PH}} = \frac{F(U_{\mathrm{H}}(t))}{F(I_{\mathrm{P}}(t))} \tag{1}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **elektrische Übertragungsimpedanz** ist ein komplexer Parameter. Der Betrag der **elektrischen Übertragungsimpedanz** wird in der Einheit Ohm, Ω, angegeben. Der Phasenwinkel der **elektrischen Übertragungsimpedanz** ist das Argument der **elektrischen Übertragungsimpedanz** und ist die Phasendifferenz zwischen der **Hydrophon**spannung und dem **Sender**strom [IEC 60050-351:2013, 351-45-45]. Die Einheit des Phasenwinkels ist der Radiant.

Anmerkung 2 zum Begriff: Da die **elektrische Übertragungsimpedanz** von den Feldbedingungen, dem hydrostatischen Druck, der Wassertemperatur und der Länge des am **Wandler** befestigten Kabels abhängt, werden diese Parameter sowie die Frequenz festgelegt.

Anmerkung 3 zum Begriff: In einem sich kugelförmig ausbreitendem Schallfeld hängt die **elektrische Übertragungsimpedanz** des **Wandler**paares vom Abstand zwischen der Schallquelle und dem Empfänger ab, wobei sich der Betrag umgekehrt mit dem Trennabstand *d* ändert und sich der Phasenwinkel mit $\exp(\mathrm{j}kd)$ ändert, dabei ist j die Quadratwurzel von –1 und k ist die Wellenzahl (siehe 3.14).

3.3
elektroakustischer Unterwasserwandler
elektroakustischer Wandler
Unterwasserwandler
Wandler
Gerät, das elektrische **Signal**e in akustische **Signal**e im Wasser umwandelt oder umgekehrt

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein **elektroakustischer Wandler**, der als ein akustischer Empfänger im Wasser verwendet wird, wird als **Hydrophon** bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein **elektroakustischer Wandler**, der als ein akustischer Sender im Wasser verwendet wird, wird als **Sender** bezeichnet.

3.4
Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient
M_f
<eines **Hydrophon**s> Quotient der Fourier-Transformierten des **Hydrophon**-Leerlaufspannungs**signal**s $\mathcal{F}(U_H(t))$ und der Fourier-Transformierten des Schalldruck**signal**s $\mathcal{F}(p(t))$ für eine festgelegte Frequenz und eine festgelegte Richtung des Einfalls einer ebenen Schallwelle an der Position des Bezugszentrums des **Hydrophon**s im ungestörten Freifeld, wenn das **Hydrophon** entfernt wurde

$$\underline{M}_f = \frac{\mathcal{F}\left(U_H(t)\right)}{\mathcal{F}\left(p(t)\right)} \tag{2}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient** des **Hydrophon**s ist ein komplexer Parameter. Der Betrag des **Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizienten** des **Hydrophon**s wird in Volt je Pascal, $V \cdot Pa^{-1}$, angegeben. Der Phasenwinkel ist das Argument (der Parameter) der Empfindlichkeit, und entspricht der Phasendifferenz zwischen der elektrischen Spannung eines **Hydrophon**s und dem Schalldruck. Die Einheit des Phasenwinkels ist der Radiant.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „Antwort“ wird manchmal statt des Begriffs „Empfindlichkeit“ benutzt.

[QUELLE: IEC 60500:2017, 3.15, modifiziert – In der Definition wurde „Effektivwert“ gestrichen, und „Fourier-Transformierten des“ wurde vor „Hydrophon-Leerlaufspannungssignals“ und vor „Schalldrucksignals“ hinzugefügt.]

3.5
Freifeld-Empfangsübertragungsmaß
L_M
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Betrags des Freifeldübertragungskoeffizienten M_f zu einem Bezugsübertragungskoeffizienten M_{ref} in Dezibel

$$L_M = 20 \log_{10} \frac{|\underline{M}_f|}{M_{ref}} \text{ dB} \tag{3}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit des **Freifeld-Empfangsübertragungsmaß**es ist Dezibel, dB. Der Bezugsübertragungskoeffizient M_{ref} ist 1 $V \cdot Pa^{-1}$ oder jedes gültige SI-Vielfache bzw. -Teil dieser Einheit. Der am häufigsten verwendete Bezugswert für die Unterwasserakustik ist 1 $V \cdot \mu Pa^{-1}$.

[QUELLE: IEC 60500:2017, 3.16, modifiziert – In der Definition wurde „Betrags des“ vor „Freifeldübertragungskoeffizienten“ hinzugefügt.]

3.6
ungerichtete Charakteristik
Eigenschaft eines Übertragungskoeffizienten des **Wandler**s, dass er innerhalb einer festgelegten Grenzabweichung richtungsunabhängig ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Grenzabweichung ist festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: **Ungerichtete Charakteristik** kann in einem zweidimensionalen Raum nur in einer Ebene festgelegt werden, während ein **Wandler** in drei Dimensionen in allen Ebenen durch das Bezugszentrum ungerichtet sein kann.

Anmerkung 3 zum Begriff: Im Regelfall nähert sich die Richtungsempfindlichkeit eines **Wandler**s der **ungerichteten Charakteristik**, wenn die Maße des **Wandler**s viel kleiner als die akustische Wellenlänge sind.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

3.7
reziproker Wandler
linearer, passiver und reversibler **elektroakustischer Wandler**, dessen Wandlerkoeffizienten gleich sind, unabhängig davon, ob die Wandlung elektrisch zu mechanisch oder umgekehrt ist

[QUELLE: IEC 60050-801:1994, 801-25-08, modifiziert – In der Definition wurde „dessen Wandlerkoeffizienten in beiden Richtungen gleich sind“ wurde durch „dessen Wandlerkoeffizienten gleich sind, unabhängig davon, ob die Wandlung elektrisch zu mechanisch oder umgekehrt ist“ ersetzt.]

3.8
reversibler Wandler
Wandler, der sowohl als **Sender** als auch als **Hydrophon** arbeiten kann

3.9
Sender
Unterwasserschallsender
elektroakustischer **Wandler**, der elektrische **Signal**e in Schall wandelt, der sich im Wasser ausbreitet

[QUELLE: IEC 60565:2006, 3.37, modifiziert – Der Begriff „Unterwasserschallsender“ wurde hinzugefügt.]

3.10
Sende-Stromübertragungskoeffizient
S_I
Quotient des Produkts der Fourier-Transformierten des Schalldrucks $\mathcal{F}(p(t))$ an einer Position im **akustischen Fernfeld** eines **Sender**s (um das Absorptionsmaß kompensiert) und dem Abstand d vom Bezugszentrum des **Sender**s zur Fourier-Transformierten des elektrischen Stroms durch den **Sender** $\mathcal{F}(I(t))$ bei einer festgelegten Frequenz und in einer festgelegten Richtung unter akustischen Freifeldbedingungen in einem gleichförmigen Medium

$$\underline{S}_\mathrm{I} = \frac{\mathcal{F}\left(p(t)d\right)}{\mathcal{F}\left(I(t)\right)} \exp\left[\mathrm{j}k\left(d - d_0\right)\right] \tag{4}$$

Dabei ist d_0 der Bezugsabstand, ausgewählt mit 1 Meter.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Sende-Stromübertragungskoeffizient** eines **Sender**s ist ein komplexer Parameter. Der Betrag des **Sende-Stromübertragungskoeffizienten** wird in der Einheit Pascal-Meter je Ampere, $\mathrm{Pa \cdot m \cdot A^{-1}}$, angegeben. Der Phasenwinkel ist das Argument des Sende-Übertragungskoeffizienten und stellt die Phasendifferenz zwischen dem Schalldruck in einem Abstand d vom **Sender** und dem elektrischen Strom dar. Die Einheit des Phasenwinkels ist der Radiant.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „Antwort“ wird manchmal anstatt des Begriffs „Empfindlichkeit“ benutzt.

3.11
Sende-Stromübertragungsmaß
$L_\mathrm{S,I}$
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Betrags des **Sende-Stromübertragungskoeffizienten** S zu einem Bezugswert des Sende-Übertragungskoeffizienten $S_\mathrm{I,ref}$, in Dezibel

$$L_\mathrm{S,I} = 20 \log_{10} \frac{|\underline{S}_\mathrm{I}|}{S_\mathrm{I,ref}} \ \mathrm{dB} \tag{5}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit des **Sende-Stromübertragungsmaß**es ist Dezibel, dB. Der Bezugswert des Sende-Übertragungskoeffizienten $S_\mathrm{I,ref}$, ist 1 $\mathrm{\mu Pa \cdot m \cdot A^{-1}}$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der **Sende-Stromübertragungskoeffizient** eines **Sender**s wird im Englischen manchmal auf „Transmitting Current Response“ oder „TCR“ abgekürzt.

[QUELLE: IEC 60565:2006, 3.27, modifiziert – In der Definition wurde „Betrags des“ vor „Sende-

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Stromübertragungskoeffizienten und „in Dezibel“ am Ende hinzugefügt. Die Gleichung wurde hinzugefügt. Anmerkungen zum Begriff wurden zusammengeführt.]

3.12
Sende-Spannungsübertragungskoeffizient
S_V
Quotient des Produkts der Fourier-Transformierten des Schalldrucks $\mathcal{F}(p(t))$ an einer Position im **akustischen Fernfeld** eines **Sender**s (um das Absorptionsmaß kompensiert) und dem Abstand d vom Bezugszentrum des **Sender**s zur Fourier-Transformierten der elektrischen Spannung an den Anschlussklemmen des **Senders** $\mathcal{F}(V(t))$ bei einer festgelegten Frequenz und in einer festgelegten Richtung unter akustischen Freifeldbedingungen in einem gleichförmigen Medium

$$\underline{S}_I = \frac{\mathcal{F}\left(p(t)d\right)}{\mathcal{F}\left(I(t)\right)} \exp\left[\mathrm{j}k\left(d - d_0\right)\right] \tag{6}$$

Dabei ist d_0 der Bezugsabstand, ausgewählt mit 1 Meter.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **Sende-Spannungsübertragungskoeffizient** eines **Sender**s ist ein komplexer Parameter. Der Betrag des **Sende-Spannungsübertragungskoeffizienten** wird in der Einheit Pascal-Meter je Volt, Pa·m·V^{-1}, angegeben. Der Phasenwinkel ist das Argument (der Parameter) des Sende-Übertragungskoeffizienten und stellt die Phasendifferenz zwischen dem Schalldruck in einem Abstand d vom **Sender** und dem elektrischen Strom dar. Die Einheit des Phasenwinkels ist der Radiant.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „Antwort“ wird manchmal anstatt des Begriffs „Empfindlichkeit“ benutzt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der **Sende-Spannungsübertragungskoeffizient** eines **Sender**s wird im Englischen manchmal auf „Transmitting Voltage Response“ oder „TVR“ abgekürzt.

3.13
Sende-Spannungsübertragungsmaß
$L_{S,V}$
zwanzigfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Betrags des **Sende-Spannungsübertragungskoeffizienten** S_V zu einem Bezugswert des Sende-Übertragungskoeffizienten S_{ref}, in Dezibel

$$L_{S,V} = 20 \log_{10} \frac{|\underline{S}_V|}{S_{ref}} \text{ dB} \tag{7}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit des **Sende-Spannungsübertragungsmaß**es ist Dezibel, dB. Der Bezugswert des Sende-Übertragungskoeffizienten S_{ref}, ist 1 µPa·m·V^{-1}.

[QUELLE: IEC 60565:2006, 3.30, modifiziert – In der Definition wurde „Betrags des“ vor „Sende-Stromübertragungskoeffizienten und „in Dezibel“ am Ende hinzugefügt. Die Gleichung wurde hinzugefügt. Anmerkungen zum Begriff wurden zusammengeführt.]

3.14
Wellenzahl
k
Kehrwert der akustischen Wellenlänge, multipliziert mit 2π

$$k = 2\pi/\lambda \tag{8}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Wellenzahl** wird in der Einheit je Meter, m^{-1} angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: In verschiedenen Gebieten der Physik kann der Begriff **Wellenzahl** entweder als $2\pi/\lambda$ oder $1/\lambda$ angesehen werden, in der technischen Akustik wird jedoch $2\pi/\lambda$ bevorzugt. Der Begriff wird in IEC 60050-103:2009, 103-10-12, als „Kreis**wellenzahl**“ bezeichnet.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

[QUELLE: IEC 60050-726:1982, 726-05-02, modifiziert – In der Definition wurde „der Wellenlänge im Wellenleiter oder Kehrwert der Wellenlänge einer ebenen Welle“ durch „der akustischen Wellenlänge“ ersetzt, und „multipliziert mit 2π“ wurde hinzugefügt. Anmerkungen zum Begriff wurden hinzugefügt.]

3.15
Hydrophon
elektroakustischer Wandler, der zu im Wasser erzeugten Druck**signal**en analoge elektrische Spannungen erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein **Hydrophon** ist dafür konstruiert, um prinzipiell auf Unterwasser-Schalldruck zu antworten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Allgemein darf ein **Hydrophon** auch ein elektrisches **Signal** als Antwort auf nicht-akustische Druckschwankungen erzeugen (z. B. Schwankungen, die in einer turbulenten Grenzschicht während Bedingungen eines großen Wasserflusses bestehen).

Anmerkung 3 zum Begriff: **Hydrophon**-Typen sind Referenz-**Hydrophon**e und Mess-**Hydrophon**e. Mess-**Hydrophon**e werden bei allgemeinen Messungen von Schallfeldern benutzt; Referenz-**Hydrophon**e werden prinzipiell für Kalibrierzwecke benutzt (z. B. beim Vergleich von Kalibrierungen mit Mess-**Hydrophon**en).

Anmerkung 4 zum Begriff: **Hydrophon**e werden prinzipiell als Hör-Geräte benutzt, aber bei reziproker Kalibrierung wird ein **Hydrophon** als reziproker **Wandler** benutzt; es funktioniert nicht nur als **Hydrophon**, sondern auch als Sender (Schallquelle).

Anmerkung 5 zum Begriff: Ein **Hydrophon**, das in ein digitales Aufnahmesystem integriert ist, wird manchmal als „digitales **Hydrophon**“ bezeichnet; die Kombination wird jedoch am besten als Mess-System betrachtet, nicht nur als **Hydrophon** alleine.

Anmerkung 6 zum Begriff: Wenn ein **Hydrophon** an einen Ladungsverstärker angeschlossen ist, wird die Empfindlichkeit des **Hydrophon**s manchmal als Ladungsempfindlichkeit beschrieben, was in Bezug steht zur Spannungsempfindlichkeit des **Hydrophon**s durch seine elektrische Kapazität.

[QUELLE: IEC 60500:2017, 3.17, modifiziert – In der Definition wurde „Signale“ durch „Spannungen“ ersetzt.]]

3.16
Signal
festgelegte zeitveränderliche Feldgröße, wie elektrischer Strom, elektrische Spannung, Schalldruck, Schallschnelle oder andere Größe

[QUELLE: ISO 18405:2017, 3.1.5.8]

3.17
Richtungsempfindlichkeit
Richtwirkung
Richtcharakteristik
normalisierte Änderung des Übertragungskoeffizienten des **Wandler**s in Abhängigkeit vom Winkel, die sowohl auf den Empfangs- als auch Sende-Übertragungskoeffizienten eines **elektroakustischen Wandler**s angewendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der für die Normalisierung verwendete Empfindlichkeitswert ist die Empfindlichkeit in einer festgelegten Bezugsrichtung, am häufigsten die Empfindlichkeit in der Richtung der Hauptachse des **Wandler**s (wie in IEC 60500:2017 definiert)

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei einem reziproken **Wandler** ist die normalisierte **Richtungsempfindlichkeit** in den Sende- und Empfangsbetriebsarten die gleiche.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Empfindlichkeit wird manchmal als normalisiertes **Richtungsempfindlichkeitsmaß** in Dezibel angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die **Richtungsempfindlichkeit** kann in einem zweidimensionalen Raum nur in einer Ebene festgelegt werden. Die zweidimensionale **Richtungsempfindlichkeit** wird vereinbarungsgemäß in den drei Ebenen (XY,

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

XZ, YZ) festgelegt, die für das in IEC 60500:2017 definierte Koordinatensystem des **Wandler**s definiert sind. In drei Abmessungen eines **Wandlers** kann die **Richtungsempfindlichkeit** in allen Ebenen durch das Bezugszentrum festgelegt werden.

3.18
Richtmaß
Differenz zwischen dem Übertragungsmaß eines **Wandler**s auf der Hauptachse und dem Übertragungsmaß des **Wandler**s in einer vorgegebenen Richtung

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Maß wird als ein (relativer) Wert in Dezibel angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das **Richtmaß** ist das gleiche wie der Wert der normalisierten **Richtungsempfindlichkeit**.

[QUELLE: IEC 60050-801:1994, 801-25-69]

3.19
Gütefaktor
Q-Faktor
Q
Maß für die Resonanzschärfe eines **Wandler**s, gleich dem 2π-fachen des Verhältnisses der höchstens gespeicherten Energie zu der während eines Zyklus abgegebenen Energie

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Gütefaktor wird üblicherweise als der Kehrwert der Teilbandbreite bei Resonanz gemessen (siehe Anhang B).

[QUELLE: IEC 60050-801:1994, 801-24-12, modifiziert – In der Definition wurde „Systems“ durch „Wandlers“ ersetzt. Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

4 Symbole und Abkürzungen

D	längstes Längenmaß des **Wandler**s
C	elektrische Kapazität
c	Schallgeschwindigkeit in Wasser
D_i	**Richtwirkungs**maß
d	Abstand zwischen **Sender** und **Hydrophon**
$\mathrm{d}S$	differentielle Fläche auf einer Kugel
f	akustische Frequenz
f_R	Resonanzfrequenz (eines **Wandler**s)
I	elektrischer Strom
I_P	elektrischer Strom durch den **Sender**
I_T	elektrischer Strom durch den **Wandler**
j	Quadratwurzel aus minus eins
K_f	Fernfeldkorrekturfaktor
l	Breite des Tanks
L_M	**Freifeld-Empfangsübertragungsmaß**
$L_\mathrm{S,I}$	**Sende-Stromübertragungsmaß**
$L_\mathrm{S,V}$	Sende-Spannungsübertragungsmaß
M_f	**Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient**

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

$\underline{M}_H$	**Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient** eines **Hydrophon**s
$\underline{M}_T$	**Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient** eines **Wandler**s
$\underline{M}_P$	**Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient** eines **Sender**s (bei Verwendung als **Hydrophon**)
$\underline{M}_R$	**Freifeld-Empfangsübertragungskoeffizient** eines Bezugs**hydrophon**s
p	Schalldruck
p_a	Schalldruck in der Bezugsrichtung für R_θ während den Messungen der Richtungsempfindlichkeit
P	Sender
Q	Gütefaktor eines **Wandler**s (oder Messsystems)
r	Bereich von der Schallquelle (Abstand von Schallquelle zum Punkt im akustischen Feld)
R	Widerstand
R_θ	**Richt**faktor
S_I	**Sende-Stromübertragungskoeffizient**
$S_{I,H}$	**Sende-Stromübertragungskoeffizient** eines **Hydrophon**s (bei Verwendung als **Sender**)
$S_{I,P}$	**Sende-Stromübertragungskoeffizient** eines **Sender**s
$S_{I,T}$	**Sende-Stromübertragungskoeffizient** eines **Wandler**s
S_V	**Sende-Spannungsübertragungskoeffizient** eines **Sender**s
U	elektrische Spannung
U_H	Leerlaufspannung am **Hydrophon**
U_R	Leerlaufspannung an einem kalibrierten Bezugs**hydrophon**
U_{PH}	Leerlaufspannung am **Hydrophon** von einem **Sender** als Schallquelle
U_{PH}	Leerlaufspannung am **Hydrophon** von einem **Wandler** als Schallquelle
U_{PT}	Leerlaufspannung am **Wandler** von einem **Sender** als Schallquelle
V_P	an einen **Sender** übertragene elektrische Anregungsspannung
V_T	an einen **Wandler** übertragene elektrische Spannung
W	Bandbreite
$\underline{Z}$	elektrische Impedanz
$\underline{Z}_{PH}$	**elektrische Übertragungsimpedanz** von **Sender** und **Hydrophon**
$\underline{Z}_{TH}$	**elektrische Übertragungsimpedanz** von **Wandler** und **Hydrophon**
$\underline{Z}_{PT}$	**elektrische Übertragungsimpedanz** von **Wandler** und **Sender**
θ	vertikaler Winkel (Erhebungswinkel)
λ	Wellenlänge des Schalls in Wasser
ρ	Dichte von Wasser
τ	Impulsdauer
φ	Azimutwinkel (Horizontalebene)
ω	Kreisfrequenz

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

5 Allgemeine Verfahren für die Kalibrierung

5.1 Allgemeine Kalibrieranforderungen

5.1.1 Arten der Kalibrierung

Im Anwendungsbereich dieses Dokuments werden zwei allgemeine Arten der Kalibrierung behandelt:

- Absolute Kalibrierung, bei der kein akustischer Bezugs**wandler** erforderlich ist

  Die Kalibrierung basiert in diesem Fall auf dem Prinzip der akustischen Reziprozität, bei dem das Verfahren drei **elektroakustische Wandler** erforderlich macht, von denen mindestens einer ein **reziproker Wandler** sein muss. Dies ist eine primäre Kalibrierung, die rückverfolgbar auf elektrische Primärnormale ist und mit der eine hohe Genauigkeit erreicht werden kann.

- Relative Kalibrierung, bei der ein kalibrierter akustischer Bezugs**wandler** verwendet wird.

  Die Kalibrierung wird hier durch Vergleich mit einem weiteren akustischen **Wandler** durchgeführt, der bereits kalibriert worden ist. Der Bezugs**wandler** darf entweder ein kalibriertes **Hydrophon** oder ein kalibrierter **Sender** sein. Die Genauigkeit ist im Vergleich zu einer Reziprozitätskalibrierung typischerweise beeinträchtigt, was hauptsächlich auf die zusätzliche Unsicherheit durch das akustische Bezugsgerät zurückzuführen ist.

5.1.2 Anforderungen an das akustische Feld

Die folgenden allgemeinen Anforderungen müssen erfüllt sein, damit die Kalibrierungen gültig sind [3] [4] [5]:

- akustische Freifeldbedingungen, die einen minimalen Einfluss von Schallreflexionen von den Grenzen des Mediums erfordern (siehe 5.2);
- **akustische Fernfeld**-Bedingungen, die einen ausreichenden Trennabstand zwischen Quelle und Empfänger erfordern (siehe 5.3);
- Akustische stationäre Bedingungen, die ein Abklingen des transienten Verhaltens durch resonante **Wandler** erfordern (siehe 5.4).

5.2 Anforderungen an das akustische Freifeld

5.2.1 Dauerschallsignale

Bei Dauerschall**signal**en muss der Mindestabstand von den **Wandler**n zur nächsten Begrenzung des Mediums derart sein, dass die Amplitude der reflektierten **Signal**e nicht mehr als 3 % der Amplitude des direkten **Signal**s beträgt, um die Schwankungen der **Signal**amplitude aufgrund von Störungen durch Reflexionen von den Begrenzungen zu begrenzen.

ANMERKUNG 1 Bei einer bestimmten Messanordnung hängt der Mindestabstand zu den Begrenzungen, um die vorgenannte Anforderung zu erfüllen, von der **Richtwirkung** der **Wandler**, dem Reflexionskoeffizienten der Begrenzungsflächen und von der **Signal**frequenz ab (bei hohen Schallfrequenzen erhöht die Absorption im Wasser den Ausbreitungsverlust und verringert den erforderlichen Mindestabstand). Bevor über den Mindestabstand zu den Begrenzungen entschieden wird, kann eine individuelle Bewertung dieser Faktoren vorgenommen werden, um die Anforderungen an Dauerschall**signal**e zu erfüllen. Oftmals ist die Wasseroberfläche die nächstliegende Begrenzung. Beispielsweise müssen die **Wandler** für zwei omnidirektionale **Wandler**, die in einem Abstand von 5 m positioniert sind, damit die Amplitude der Reflexionen innerhalb der vorgenannten Anforderung liegt, in einer Tiefe von etwa 16 m positioniert werden (wobei vorausgesetzt wird, dass die Gesamtschallreflexion an der Wasseroberfläche auftritt und dass die akustische Frequenz ausreichend niedrig ist, damit die Absorption nicht maßgeblich wird) [4] [5].

ANMERKUNG 2 Eine alternative Möglichkeit, akustische Freifeldbedingungen für Dauerschall**signal**e zu erzielen, ist die Verwendung einer reflexionsarmen akustischen Auskleidung auf der Innenfläche eines Prüftanks. In diesem Fall muss die Wirksamkeit des reflexionsarmen Materials (in Bezug auf den Reflexionsverlust als Funktion des Winkels) ausreichend sein, um die vorgenannte Anforderung an die reflektierte **Signal**amplitude am **Hydrophon** über den zu untersuchenden Frequenzbereich zu erreichen. Es ist zu beachten, dass die Wasseroberfläche ein starker Schallreflektor ist, und ein vollständig echofreier Prüftank erfordert zusätzlich zur Auskleidung der Wände und des Bodens des Tanks, dass das reflexionsarme Material direkt unter der Wasseroberfläche aufgehängt wird [4].

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

ANMERKUNG 3 Einige Kalibrierverfahren mit nachhallenden Wassertanks verwenden Dauerschall**signal**e (oder zumindest **Signal**e, die deutlich länger als die echofreie (reflexionsarme) Zeit des Tanks sind). Bei diesen Verfahren können Pseudo-Freifeldbedingungen mit **Signal**verarbeitungstechniken erreicht werden, die den Effekt von Reflexionen an den Tankbegrenzungen kompensieren. Zu Beispielen derartiger Verfahren siehe Anhang J.

5.2.2 Zeitbegrenzte Signale

Bei der Anwendung von zeitbegrenzten **Signal**en, wie einfrequente Impulse oder Bursts (Tone-Burst-**Signale**), müssen Reflexionen durch Auswahl des Mindestabstands von jedem **Wandler** zu jeder Begrenzungsfläche (Wasseroberfläche, Tankboden und Seitenwände) beseitigt werden, damit die Zeitverzögerung der reflektierten **Signal**e in Bezug auf das Direkt**signal** größer ist als die Dauer des Direkt**signal**s.

ANMERKUNG Schwingungsimpulse oder Impuls**signal**e können in Prüftanks endlicher Größe angewendet werden, um Reflexionen durch Anwendung von **Signal**en mit endlicher Dauer und Anwendung geeigneter Zeitfenstertechnik zu beseitigen. Auf diese Weise treffen die reflektierten **Signal**e später als die Direkt**signal**e ein, so dass es ein ausreichend echofreies **Signal** für die Ausführung der erforderlichen Analyse gibt. In derartigen Fällen gibt es eine untere Grenzfrequenz, unterhalb derer es nicht möglich ist, Messungen des stationären **Signal**s mit herkömmlichen Mitteln durchzuführen. Zur detaillierten Beschreibung der Anwendung von Impuls**signal**en und Schwingungsimpulsen bei der Kalibrierung siehe Anhang E [4] [5] [6].

5.3 Anforderungen an das akustische Fernfeld

Der Abstand d zwischen dem **Sender** und dem **Hydrophon** muss ausreichend groß sein, damit die Bedingungen für das **akustische Fernfeld** erfüllt werden und Fehler aufgrund der endlichen Größe der **Wandler** auf ein Mindestmaß gesenkt werden. Zu diesem Zweck muss die Trennung **Sender**-**Hydrophon** größer sein als die Größe des größten **Wandlers** und das **Hydrophon** muss im **akustischen Fernfeld** der Schallquelle positioniert sein.

Für die beiden **Wandler** mit größten Maßen der empfindlichen Flächen D_1 und D_2 muss der geringste Trennabstand d, ausgewählt werden nach den Beziehungen:

$$d > K_\mathrm{f} \left(\frac{D_1^2}{\lambda} + \frac{D_2^2}{\lambda} \right) \tag{9}$$

und gleichzeitig:

$$d > 5\, D_1 \text{ und } d > 5\, D_2 \tag{10}$$

Dabei ist K_f der Fernfeld-Korrekturfaktor, um sicherzustellen, dass sich das Schallfeld mit einer festgelegten Toleranz der kugelförmigen Ausbreitung annähert.

Um eine Trennung zu erhalten, die den Fehler aufgrund des Fehlens einer kugelförmigen Divergenz auf weniger als 0,2 dB verringert, muss der Wert von K_f in Gleichung (9) mit größer als 1,3 ausgewählt werden.

Zu weiteren Einzelheiten der vorgenannt angegebenen Kriterien siehe Anhang D.

ANMERKUNG Bei der Messung des **Richtungsverhaltens** eines **Wandler**s wird der Abstand zwischen dem **Sender** und dem **Hydrophon** so ausgewählt, dass er größer ist als der durch die Gleichungen (9) und (10) vorgegebene. Der Abstand ist kleiner als das Zweifache des durch Gleichung (9) oder Gleichung (10) gegebene Abstand, je nachdem, welcher Wert größer ist. Siehe Anhang D und Literaturhinweise [3]-[9].

5.4 Anforderungen an stationäre Bedingungen

Wenn bei der Kalibrierung Tone-Burst-**Signal**e verwendet werden, muss das Zeitfenster, das bei der Auswahl des zu analysierenden **Signal**s angewendet wird, so positioniert werden, dass der Beginn des Fensters mit einer Zeitverzögerung erfolgt, die mindestens Q Perioden der Resonanzfrequenz des **Sender**s nach dem Eintreffen des Direkt**signal**s entspricht, dabei stellt Q den Gütefaktor (Q-Faktor) der Hauptresonanz des **Sender**s dar.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Die Anforderung von 5.4 gilt nur für zeitlich begrenzte Signale. Bei der Verwendung von Dauerschallsignalen wird für die Wandler angenommen, dass sie den stationären Zustand erreicht haben.

ANMERKUNG 1 In der herkömmlichen Anordnung für Tone-Burst-**Signal**e, die für Kalibrierungen in Prüftanks verwendet werden, werden Messungen am stationären Teil des empfangenen **Signal**s durchgeführt, wobei zeitgesteuerte Techniken verwendet werden, um das Direktweg**signal** von Reflexionen von den Tankbegrenzungen und der Wasseroberfläche zu trennen. Bei derartigen Messungen wird das zur Analyse zur Verfügung stehende stationäre **Signal** zeitlich begrenzt, und zwar sowohl durch das Eintreffen von Reflexionen von den Begrenzungen als auch durch Anlauftransienten, die durch das Resonanzverhalten der zu prüfenden **Wandler** verursacht werden. Bei einem einfachen Mess-**Hydrophon** liegt der Q-Faktor üblicherweise in der Größenordnung von nur 3 oder 4 bei einer relativ hohen Resonanzfrequenz, was zu kurzen Anlauftransienten führt und die für die Messung zur Verfügung stehende **Signal**dauer unwesentlich eingeschränkt wird. Allerdings können als **Sender** verwendete **Wandler** einen höheren Q-Faktor besitzen, der das verfügbare **Signal** verringert (besonders bei deren niedriger Resonanzfrequenz) [4] [5] [6] [10].

ANMERKUNG 2 Wenn das vom **Hydrophon** erzeugte Spannungs**signal** während der verfügbaren echofreien Zeit keine stationären Bedingungen erreicht, ist es nicht möglich, den stationären Zustand direkt zu beobachten. Das bedeutet, dass es bei einer gegebenen Tankgröße und gegebenem Q-Faktor des **Wandler**s eine untere Grenzfrequenz gibt, unterhalb der es nicht möglich ist, Kalibrierungen mit Tone-Burst-**Signal**en mit konventionellen Mitteln durchzuführen. Weitere Anleitungen zur Sicherstellung der stationären Bedingungen sind in Anhang E beschrieben.

ANMERKUNG 3 Wenn Schmalbandfilterung auf die **Signal**e angewendet wird (möglicherweise, um bei vorhandenem Breitbandrauschen das **Signal**-Rausch-Verhältnis zu erhöhen), verändert dies das transiente Einschwingen zu Beginn des Tone-Burst-Signals. Obwohl eine derartige Filterung die Transienten aufgrund höherfrequenter **Wandler**resonanzen unterdrücken kann, kann sie auch das Einsetzen des stationären Zustandes verzögern und die für die Analyse verfügbare **Signal**dauer verkürzen. Aus diesem Grund werden Filterbrandbreiten, die schmaler sind als eine Oktave, bei der Kalibrierung mit Tone-Burst-Signalen selten angewendet.

ANMERKUNG 4 Die erforderlichen **Signal**parameter können auch mit moderneren **Signal**verarbeitungsverfahren bestimmt werden. Diese machen es möglich, die Amplitude und Phase des stationären **Signal**s zu schätzen, ohne eine vollständige stationäre Periode betrachten zu müssen. Dazu gehören die Anwendung moderner **Signal**-Modellierungs- und **Signal**vorhersageverfahren, bei denen der transiente Teil des **Signal**s genutzt wird, um die stationäre Amplitude und Phase vorherzusagen, und auch die Anwendung quadraturergänzter Tone-Burst-Signale (zu weiteren Einzelheiten siehe Anhang E und Anhang J).

5.5 Anforderungen an die Ausrüstung

5.5.1 Kalibriereinrichtung

Die verwendete Kalibriereinrichtung muss geeignet sein, die in 5.2, 5.3 und 5.4 beschriebenen akustischen Anforderungen über den beabsichtigten Frequenzbereich und für die zu prüfenden Arten von **Hydrophon**en und **Wandler**n zu erfüllen.

Die Kalibriereinrichtung muss es ermöglichen, mindestens zwei **Wandler** gleichzeitig mit einem bekannten Trennabstand reproduzierbar zu positionieren und zur Kalibrierung entsprechend den Anforderungen in 5.6 auszurichten.

ANMERKUNG 1 Die häufigste Art der Kalibrierung basiert auf einem wassergefüllten Prüftank aus Beton, Stahl oder Holz (wodurch der Tank aufgrund der reflektierenden Begrenzung nachhallend ist). Zeitlich begrenzte **Signal**e (wie Tone-Burst-Signale) werden zeitlich torgesteuert angewendet, um Reflexionen zu eliminieren. Eine derartige Einrichtung ermöglicht einen praktischen Zugang, präzise Positionierung der Geräte (durch Benutzung eines starren Gestells oder Positionierungssystems) und die Kontrolle über die Umgebungsbedingungen. Allerdings schränkt die endliche Größe den Frequenzbereich und die Art des zu kalibrierenden **Wandler**s ein. Die Prüfung eines **Sender**s mit großer Apertur bei hohen Frequenzen (ein **Wandler** mit „hohem ka-Wert“) kann in einem kleinen Prüftank schwierig sein, weil es nicht immer möglich ist, **akustische Fernfeld**bedingungen zu erreichen (siehe 5.3). Ein kleiner Prüftank begrenzt auch die echofreie Zeit, so dass es nicht immer möglich ist, bei **Wandler**n mit hohem Q-Faktor das stationäre **Signal** zu beobachten (siehe 5.4). Für weitere Anleitungen siehe Anhang E und Literaturhinweise [3] bis [6], [10].

ANMERKUNG 2 Wenn der Prüftank mit einem reflexionsarmen Material ausgekleidet ist, ist das Erreichen der in 5.2 geforderten Freifeldbedingungen in einem kleineren Prüftank möglich, abhängig von der bestätigten Wirksamkeit des reflexionsarmen Materials (siehe 5.2.1). Darüber hinaus kann die Positionierung der **Wandler** im Tank praktisch schwieriger sein, wenn die Wasseroberfläche mit dem reflexionsarmen Material abgedeckt ist [4].

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

ANMERKUNG 3 Bei Freiwasseranlagen wird die Positionierung der **Wandler** üblicherweise von der Oberfläche aus mit einer schwimmenden Konstruktion, z. B. einem Floß oder Ponton durchgeführt. Die **Wandler** werden üblicherweise in größerer Tiefe positioniert als bei Tanks, aber die Genauigkeit der Positionierung und Ausrichtung kann im Vergleich zu Prüftanks schlechter sein. Die mangelnde Kontrolle über die Umgebungsbedingungen kann zusätzliche Probleme aufwerfen durch: (i) Schwankungen der Wassertemperatur (sowohl tageszeitlich als auch saisonal), die Veränderungen im Betriebsverhalten der **Wandler** verursachen und Temperatursprungschichten ausbilden; (ii) Wetter (Wind- und Wellenwirkung), die eine relative Bewegung der **Wandler** verursachen und (iii) Geräusche von natürlichen Quellen und anderen menschlichen Aktivitäten in der Nähe [4].

5.5.2 Messgeräte

5.5.2.1 Allgemeines

Die folgende Messausrüstung ist erforderlich, um eine Kalibrierung eines **elektroakustischen Unterwasserwandler**s durchzuführen. Von der gesamten Prüfausrüstung wird ein Leistungsvermögen gefordert, das den beabsichtigten akustischen Frequenzbereich umfasst (das ist ein Höchstwert von 200 Hz bis 1 MHz, kann aber je nach Anwendung ein schmalerer Bereich sein) [4], [6], [10].

5.5.2.2 Signalquelle

Die Signalquelle muss zur Bereitstellung des elektrischen **Signal**s zur Ansteuerung des **Sender**s eingesetzt werden. Sie kann auch verwendet werden, um den Triggerimpuls bereitzustellen, der zur Synchronisierung der **Signal**erfassung durch den Digitalisierer verwendet wird.

ANMERKUNG Die **Signal**quelle liefert im Regelfall eine höchste Ausgangsspannung von nur wenigen Volt, stellt aber eine Reihe von Arten von **Signal**en bereit, einschließlich torgesteuerte Schwingungsimpulse.

5.5.2.3 Leistungsverstärker

Der Leistungsverstärker ist erforderlich, um den als **Sender** verwendeten **Wandler** mit ausreichender elektrischer Leistung anzusteuern, damit am **Hydrophon** Schalldrücke erzeugt werden, die mindestens 6 dB über dem Umgebungsgeräusch in der Einrichtung liegen.

ANMERKUNG 1 Ein Leistungsverstärker mit einer Ausgangsleistung von 100 W ist üblicherweise für die meisten Kalibrierzwecke von **Hydrophonen** und **Wandler**n ausreichend, aber für speziellere Anwendungen kann manchmal ein höheres Leistungsvermögen erforderlich sein.

ANMERKUNG 2 Der Leistungsverstärker hat üblicherweise eine niedrige elektrische Ausgangsimpedanz (alternativ kann die elektrische Ausgangsimpedanz an den **Wandler** angepasst sein, um die höchste Leistung zu liefern).

5.5.2.4 Hydrophon-Vorverstärker

Der Vorverstärker ist erforderlich, um die vom **Hydrophon** entwickelte elektrische Spannung zu verstärken und hat im Idealfall eine elektrische Eingangsimpedanz, die mindestens um den Faktor 100 höher als die Impedanz des **Hydrophon**s ist (weil die elektrische Impedanz eines piezoelektrischen **Hydrophon**es überwiegend kapazitiv ist, muss die Eingangskapazität des Vorverstärkers einen ausreichend kleinen Wert haben).

ANMERKUNG 1 Der Vorverstärker besitzt üblicherweise eine wählbare Spannungsverstärkung und eine wählbare elektronische Filterung (alternativ kann die Filterung mit einer gesonderten zugeordneten Einheit oder digital in der Nachbearbeitung durchgeführt werden).

ANMERKUNG 2 Bei der Verwendung eines **Hydrophon**s mit eingebautem integrierten Verstärker ist kein gesonderter **Hydrophon**vorverstärker erforderlich.

5.5.2.5 Strommessgerät

Das Strommessgerät ist erforderlich, wenn der elektrische Ansteuerungsstrom durch den **Sender** gemessen wird (z. B. während einer Freifeld-Reziprozitätskalibrierung). Das Strommessgerät muss vorzugsweise aus

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

einem kalibrierten Stromwandler bestehen, der eine dem elektrischen Strom proportionale Ausgangsspannung liefert (dabei wird die Spannung anschließend vom Digitalisierer gemeinsam mit der **Hydrophon**spannung gemessen).

ANMERKUNG Alternativ kann ein kalibrierter Widerstand und ein Spannungsmessgerät verwendet werden.

5.5.2.6 Messgerät für die Anregungsspannung

Dieses Messgerät ist erforderlich, wenn die elektrische Anregungsspannung am **Sender** gemessen wird, z. B. bei der Bestimmung des **Sende-Spannungsübertragungskoeffizienten** (TVR).

ANMERKUNG Dieses besteht üblicherweise aus einem Tastkopf mit hoher Impedanz oder einem kalibrierten Abschwächer, um die Anregungsspannung um bis zu 40 dB zu verringern, damit sie mit dem Digitalisierer gemessen werden kann.

5.5.2.7 Digitalisierer

Der eingesetzte Digitalisierer muss ein Analog-Digital-Wandler (ADC) oder ein digitalisierendes Oszilloskop sein, der bzw. das eine digitale Wellenform als Aufzeichnung der elektrischen **Signal**e während der Kalibrierung erfasst (z. B. **Hydrophon**spannung, Spannung vom Stromwandler usw.).

Die Abtastrate des Digitalisierers muss mindestens das Zweieinhalbfache der höchsten zu untersuchenden Frequenz betragen und die Auflösung muss für eine genaue Aufzeichnung des **Signal**s ohne Quantisierungsfehler mit einer empfohlenen Mindestauflösung von 8 Bit ausreichend sein. Es wird empfohlen, dass der Digitalisierer extern getriggert werden kann (üblicherweise von der **Signal**quelle oder einem Computer). Bei der Durchführung absoluter elektrischer Messungen muss der Digitalisierer über den gesamten Betriebsbereich kalibriert werden.

Die Anforderung für eine eindeutige Darstellung der Signale innerhalb des beabsichtigten Frequenzbereichs macht es erforderlich, dass die Abtastrate des ADC höher ist als die Nyquist-Frequenz des Signals, welche die Eingangsgröße des ADC ist.

ANMERKUNG 1 Digitalisierer und digitalisierende Oszilloskope mit den geforderten Abtastraten sind mit Auflösungen zwischen 8 Bit und 16 Bit erhältlich. Je höher die Auflösung, desto besser für die Messung der Signale mit abnehmender Fehlerwahrscheinlichkeit aufgrund des Quantisierungsrauschens.

ANMERKUNG 2 Für die Bereitstellung einer Anti-Aliasing-Funktion kann ein Tiefpassfilter verwendet werden, der den Frequenzinhalt des Signals vor der Digitalisierung begrenzen soll, damit sie unterhalb der Nyquist-Frequenz des Erfassungssystems liegt.

5.5.2.8 Rechnersteuerung

Es wird empfohlen, die Kalibrierung über einen Rechner zu steuern, auf dem eine geeignete Erfassungssoftware ausgeführt wird und die den Digitalisierer und die **Signal**erfassung steuert (und die auch das Triggersignal für die **Signal**quelle bereitstellen kann).

ANMERKUNG 1 Die Software wird üblicherweise für die Ausführung der geforderten **Signal**analyse eingesetzt, einschließlich der Zeitfensterung und der Berechnung der Amplitude der aufgezeichneten **Signal**e. Einige dieser Funktionen können aber bereits mit den integrierten Verarbeitungsfunktionen ausgeführt werden, die in den digitalisierenden Oszilloskopen zur Verfügung stehen.

ANMERKUNG 2 Obwohl einige der vorgenannten Messaufgaben manuell ausgeführt werden können (beispielsweise mit einem analogen Oszilloskop), wird von dieser Vorgehensweise mittlerweile abgeraten.

5.5.2.9 Elektroakustische Wandler

Während der Kalibrierungen sind als **Sender** und **Hydrophon**e eine Reihe von **Wandlern** erforderlich. Beispielsweise erfordert die Drei-**Wandler**-Freifeld-Reziprozitätskalibrierung mindestens zwei **Wandler**

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

zusätzlich zu dem zu prüfenden Gerät (siehe Abschnitt 8), und die relative Kalibrierung mit einem kalibrierten **Hydrophon** oder **Sender** macht kalibrierte Bezugswandler und möglicherweise Hilfs**sender** zur Erzeugung eines geeigneten Schallfeldes erforderlich (siehe Abschnitt 9).

ANMERKUNG Für die Erfassung eines weiten Frequenzbereiches sind verschiedene **Wandler** erforderlich (dies gilt vor allem für **Sender**, die aufgrund ihres Eigenresonanzverhaltens einen eingeschränkten Frequenzbereich haben können).

5.6 Positionierung und Ausrichtung

5.6.1 Koordinatensystem

Das ausgewählte Winkelkoordinatensystem muss dem in IEC 60500:2017 festgelegten Koordinatensystem entsprechen.

5.6.2 Bezugsrichtung

Vor der Kalibrierung muss für jedes **Hydrophon** und jeden **Sender** eine Bezugsrichtung festgelegt werden. Die Bezugsrichtung muss so ausgewählt werden, dass sie mit der Hauptachse des **Hydrophon**s oder **Sender**s übereinstimmt, sofern es keinen gegenteiligen Grund gibt (wie in IEC 60500:2017 festgelegt).

Bei ungerichteten **Hydrophon**en mit symmetrischem Aufbau muss die Bezugsrichtung in einer Ebene rechtwinklig zur Achse des **Hydrophon**körpers liegen und durch eine Markierung am **Hydrophon**körper angegeben werden [10].

ANMERKUNG 1 Diese Bezugsrichtung ist die Richtung, für die die Kalibrierung im freien Schallfeld gültig ist. Bei gerichteten **Wandler**n wird die Bezugsrichtung im Allgemeinen so ausgewählt, dass sie mit der Hauptachse des **Wandler**s übereinstimmt.

ANMERKUNG 2 Die Richtung kann auch dadurch gewählt werden, dass der Winkel des größten **Wandler**signals bei einer gegebenen Frequenz mit einer Messung der **Richtungsempfindlichkeit** bestimmt wird (Beschreibung siehe Anhang A).

5.6.3 Befestigung und Halterung der Wandler

Jeder **Sender** und jedes **Hydrophon** muss fest in einer Halterung angebracht sein, die es ermöglicht, die Geräte präzise und reproduzierbar an bestimmten Punkten im Wasser zu positionieren.

Die Befestigung für ein **Hydrophon** muss so ausgewählt werden, dass sie einen minimalen Einfluss auf den gemessenen Übertragungskoeffizienten hat, soweit sie der vorgenannten Anforderung an die genaue Positionierung der **Wandler** entspricht.

Wenn ein Drehtisch in das Gestell oder Positionierungssystem eingebaut ist, muss die Befestigung zulassen, dass ein **Wandler** mit seinem Bezugszentrum in Richtung der Drehachse positioniert werden kann.

Wenn davon ausgegangen wird, dass die Befestigung den gemessenen Übertragungskoeffizienten beeinflusst, muss der **Wandler** in derselben Halterung kalibriert werden, die für Messungen mit dem Gerät im Feld verwendet wird. Wird vermutet, dass das Gerät empfindlich auf die Halterungs- oder Befestigungsart reagiert, muss eine Beschreibung der Befestigungsanordnung mit den Ergebnissen angegeben werden.

Einige **Wandler** sind gegenüber dem Einfluss der Befestigungsverfahren anfälliger als andere. Zur Vermeidung des Einflusses der Befestigung wird vorgeschlagen, keine luftgefüllten Halterungen oder Stangen zu verwenden. Wo möglich wird die Anwendung von frei schwimmenden Unterlagen, z. B. Hohlstangen, empfohlen, die aus Kohlenstofffasern oder Kunststoffen gebaut sind. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für jede Halterung zur präzisen Positionierung oder Ausrichtung eine bestimmte Steifigkeit erforderlich ist [10].

Bei einigen gerichteten **Wandler**n ist eine rechtwinklige Halterung erforderlich, um den **Wandler** in der richtigen Ausrichtung im Wasser zu positionieren und die Hauptachse auf die des anderen **Wandler**s auszurichten. Bei einem schweren **Wandler** ist ein Gegengewicht erforderlich, um ein Kippen der Halterung zu verhindern, das ein

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

Abweichen der Hauptachse von der beabsichtigten horizontalen Ausrichtung verursacht. Bei der Verwendung einer derartigen rechtwinkligen Halterung ist zu beachten, dass das Bezugszentrum des **Wandler**s weiterhin in Richtung der Drehachse eines Drehtisches liegen muss, der in das Gestell oder Positionierungssystem eingebaut ist [4], [10].

Es ist darauf zu achten, dass der Körperschall, der von der Halterung und dem Gestell aufgenommen und an die **Wandler** weitergeleitet werden kann, so gering wie möglich ist.

5.6.4 Ausrichtung

Vor jeder akustischen Messung während der Kalibrierung muss das passende **Wandler**paar (z. B. ein **Sender** und ein **Hydrophon**) in der gleichen Wassertiefe positioniert und so ausgerichtet sein, dass die Bezugsrichtungen der **Wandler** ausgerichtet sind [4], [10].

ANMERKUNG 1 Diese Ausrichtung kann entweder mechanisch mit speziellen Befestigungsstangen oder -gestellen oder mit einem automatisierten Positionierungssystem (z. B. mit Schrittmotoren und Steuerungen) erfolgen. Wenn beide **Wandler** kleine omnidirektionale **Hydrophon**e sind, deren Übertragungskoeffizient sich nur wenig mit dem Winkel ändert, wird die mechanische Ausrichtung der akustischen Ausrichtung bevorzugt. Es ist zu beachten, dass die Länge der Befestigungsstangen zu den aktiven Elementen der **Hydrophon**e sorgfältig gemessen werden, damit sie genau auf die gleiche Tiefe eingetaucht werden können.

ANMERKUNG 2 Bei **Wandler**n, die eine deutliche **Richtwirkung** um ihre Hauptachse zeigen, können die **Wandler** akustisch ausgerichtet werden, indem das höchste empfangene **Signal** bei einer bestimmten Frequenz gesucht wird. Manchmal wird die Bezugsrichtung in einem Winkel der Charakteristik der **Richtungsempfindlichkeit** gewählt, in dem sich die Empfindlichkeit bei einer bestimmten Frequenz nicht sehr mit dem Richtungswinkel ändert. Es ist zu beachten, dass bei einer derartigen Auswahl der Bezugsrichtung anschließend für alle Frequenzen die gleiche Richtung ausgewählt wird.

ANMERKUNG 3 Für die akustische Ausrichtung zwischen zwei **Wandler**n (durch Aufsuchen des höchsten empfangenen **Signal**s bei einer bestimmten Frequenz) sind für jede **Wandler**halterung mindestens zwei Freiheitsgrade erforderlich: vertikale Verschiebung im Wasser, um die Tiefenänderung der **Wandler** zu ermöglichen, und Drehung um eine vertikale Achse, die durch das Bezugszentrum des **Wandler**s verläuft, mit einem in das Gestell oder Positionierungssystem eingebauten Drehtisch.

5.6.5 Trennabstand

Die Halterung und das Gestell müssen zulassen, den **Sender** und das **Hydrophon** in einem bekannten Trennabstand und mit einer kleineren Messunsicherheit als 2 % im Wasser zu positionieren.

Wenn ein **Hydrophon** einen sehr großen Körper im Vergleich zum aktiven Element aufweist, wird empfohlen, dass das **Hydrophon** mit dem größten möglichen Abstand in der Anlage kalibriert wird (damit das auftreffende Feld eine möglichst genaue Annäherung an eine ebene Welle ist). Außerdem wird empfohlen, den Trennabstand gemeinsam mit den Kalibrierergebnissen anzugeben.

ANMERKUNG 1 Der Trennabstand kann auf unterschiedliche Art und Weise mechanisch gemessen werden. Ein starres Gestell kann derart kalibriert werden, dass die **Wandler**-Befestigungsstangen an festen Positionen am Gestell über dem Tank mit bekannten Abständen zwischen den voreingestellten Positionen aufgehängt werden (unter der Annahme, dass die **Wandler** vertikal hängen). Wenn ein automatisiertes Positioniersystem angewendet wird, welches kalibriert worden ist, dann kann der Trennabstand der **Wandler** von den Anzeigen der Steuerungen abgelesen werden. Es ist zu beachten, dass manchmal Abgleicharbeiten durchgeführt werden müssen, um kleinere Versätze zu berücksichtigen, die bei der Befestigung der **Wandler** aufgetreten sind.

ANMERKUNG 2 Der Trennabstand kann aus der akustischen Laufzeitverzögerung zwischen dem **Signal**trigger und dem Eintreffen des Direkt**signal**s am **Hydrophon** berechnet werden. Dazu muss die Schallgeschwindigkeit bekannt sein, die mit Gleichungen aus der wissenschaftlichen Literatur und bei bekannter Wassertemperatur und -tiefe sowie dem Salzgehalt berechnet werden kann [11] bis [14]. Es ist zu beachten, dass ein **Wandler** auf die Schallwelle zu reagieren beginnt, sobald sie auf das aktive Element trifft, und so muss bei einem großen kugelförmigen oder zylindrischen Gerät manchmal eine kleine Korrektur des akustisch abgeleiteten Trennabstands vorgenommen werden, um damit die Trennung der **Wandler**-Bezugszentren zu ermitteln (z. B. um den Radius jedes Gerätes zu berücksichtigen).

ANMERKUNG 3 Wenn der Körper eines **Hydrophon**s groß im Vergleich zu seinem aktiven Element ist, kann der auf den Körper auftreffende Streuschall die direkt am Element ankommende Schallwelle stören und kleine Schwankungen

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09

im Frequenzgang verursachen. Bei kleineren Trennabständen können diese Schwankungen bei der **Sender**-**Hydrophon**-Trennung unterschiedlich sein, weil sich die Unterschiede des akustischen Pfades nur geringfügig unterscheiden, wenn der Trennabstand verändert wird [15], [16].

5.7 Darstellung des Frequenzganges

Für die Kalibrierung muss eine ausreichende Anzahl akustischer Frequenzen ausgewählt werden, um sicherzustellen, dass das Leistungsvermögen des **Wandler**s über den gewünschten Frequenzbereich sicher charakterisiert wird.

Bei **Hydrophon**en, deren Übertragungskoeffizient im Niederfrequenzbereich relativ frequenzunabhängig ist, ist die empfohlene Mindestauflösung ein Abstand von einer Terz für die akustischen Frequenzen.

In der Nähe der Resonanzfrequenz ändert sich bei **Sender**n und **Hydrophon**en der Übertragungskoeffizient stärker mit der Frequenz und die empfohlene Mindestauflösung ist ein Abstand von einer Zwölfteloktave für die akustischen Frequenzen.

5.8 Frequenzeinschränkungen

5.8.1 Obere Frequenzgrenze

Die hier beschriebenen Kalibrierverfahren können für Frequenzen bis 1 MHz angewendet werden, jedoch können die Messunsicherheiten bei Frequenzen von einigen hundert Kilohertz größer sein. Den Beschränkungen des Verfahrens bei hohen Frequenzen muss ausreichend Beachtung zukommen und der Einfluss jeglicher Beschränkungen muss bei der Bewertung der Gesamtunsicherheit berücksichtigt werden (siehe Anhang E).

ANMERKUNG 1 Der Mindesttrennabstand, der gefordert wird, um geeignete **akustische Fernfeld**bedingungen für ein spezielles **Wandler**paar zu ermöglichen, erhöht sich mit der Frequenz (siehe 5.3). Bei ausreichend hohen Frequenzen kann der erforderliche Abstand zum Erreichen der **akustischen Fernfeld**bedingungen die Maße des Tanks überschreiten. Eine Vergrößerung des Trennabstands der **Wandler** führt bei der Anwendung von Tone-Burst-**Signal**en tendenziell zu einer Verringerung der echofreien Zeit, weil die **Wandler** näher an den Tankbegrenzungen liegen und dadurch die Messungen erschweren.

ANMERKUNG 2 Die Dämpfung des Schalls infolge von Absorption im Wasser erhöht sich stark mit der Frequenz und erreicht etwa 0,25 dB/m bei 1 MHz für Süßwasser (bei 16 °C) und 0,4 dB/m für Meerwasser (bei 8 °C, 5 m Tiefe, pH 8 und einer Salzmassenkonzentration von 35/1 000). Dies erhöht den Ausbreitungsverlust bei sehr hohen Frequenzen und verursachen ein schlechtes **Signal**-Rausch-Verhältnis bei großen Trennabständen. Wenn bei der Kalibrierung sehr hohe akustische Frequenzen angewendet werden, ist es erforderlich, Korrekturen für den Ausbreitungsverlust aufgrund der Schallabsorption des Wassers vorzunehmen. Die Schalldämpfung durch Absorption im Wasser ist bei den bei der Kalibrierung üblicherweise angewendeten Trennabständen relativ gering. Die Korrektur ist geringer als 0,05 dB und kann bei Trennabständen in der Größenordnung von wenigen Meter und bei akustischen Frequenzen unter 500 kHz in Süßwasser und bei akustischen Frequenzen unter 300 kHz in Meerwasser vernachlässigt werden. Angaben über die Absorption von Schall im Wasser und deren Abhängigkeit von Temperatur, Tiefe, pH-Wert und Salzmassenkonzentration sind in der wissenschaftlichen Literatur zu finden (siehe Anhang E und Literaturhinweise [17] bis [22]).

ANMERKUNG 3 Die obere Frequenzgrenze wird durch eine Anzahl von Faktoren bestimmt. Diese sind in Anhang E im Einzelnen beschrieben.

ANMERKUNG 4 Bei Frequenzen über 0,5 MHz können die in IEC 62127-2 [2] und in Anhang I beschriebenen alternativen primären Kalibrierverfahren angewendet werde.

5.8.2 Untere Frequenzgrenze

Den Beschränkungen des Kalibrierverfahrens bei niedrigen Frequenzen muss ausreichend Beachtung zukommen und der Einfluss jeglicher Beschränkungen muss bei der Bewertung der Gesamtunsicherheit berücksichtigt werden.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN EN IEC 60565-1:2021-09