

DIN ISO 18406

ICS 17.140.30

Einsprüche bis 2018-02-01

Entwurf

**Unterwasserakustik –
Messung des abgestrahlten Wasserschalls bei der Schlagrammung von
Pfählen (ISO 18406:2017);
Text Deutsch und Englisch**

Underwater acoustics –
Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving (ISO 18406:2017);
Text in German and English

Acoustique sous-marine –
Mesurage du son sous-marin émis lors de l'enfoncement de pieux marins (ISO 18406:2017);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-12-01 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 nals@din.de 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 den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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 79 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Geräteausstattung	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Leistung des Messsystems	12
4.2.1 Empfindlichkeit.....	12
4.2.2 Frequenzbereich und Abtastrate.....	13
4.2.3 Richtwirkung.....	13
4.2.4 Anforderungen an das Signal-Rausch-Verhältnis.....	13
4.2.5 Eigenstörpegel des Systems.....	14
4.2.6 Dynamikbereich.....	14
4.3 Kalibrierung	15
4.3.1 Kalibrierung des Gesamtsystems	15
4.3.2 Überprüfungen durch Feldkalibrierung	15
4.4 Datenspeicherung	16
4.4.1 Datenqualität	16
4.4.2 Zusätzliche Kalibrierdaten	16
4.4.3 Haltbarkeit.....	16
5 Ausbringung für die Messung	16
5.1 Methoden zur Ausbringung	16
5.1.1 Allgemeines	16
5.1.2 Positionierung vom Seefahrzeug aus	16
5.1.3 Stationäre Ausbringung (feste Verankerungen).....	17
5.1.4 Treibende Systeme	18
5.2 Hydrophon-Positionierung.....	18
5.2.1 Tiefe der Hydrophon-Positionierung in Offshore-Gewässern	18
5.2.2 Tiefe der Hydrophon-Positionierung in Inshore-Gewässern.....	18
5.2.3 Anzahl der Hydrophone	19
5.3 Größtmögliche Verminderung des aufbaubezogenen Störgeräusches bei der Ausbringung	19
5.3.1 Allgemeines	19
5.3.2 Strömungsgeräusch	19
5.3.3 Kabelbrummen.....	20
5.3.4 Bewegung der Meeresoberfläche durch Seegang	20
5.3.5 Geräusche durch Schiffe.....	20
5.3.6 Mechanische Geräusche	21
5.3.7 Elektrische Störgeräusche.....	21
6 Konfiguration der akustischen Messung	21
6.1 Räumliche Abtastung (Auswahl der Messstellen).....	21

6.1.1	Kriterien für Messstellen.....	21
6.1.2	Empfohlene Stellen für Offshore-Messungen.....	22
6.1.3	Empfohlene Stellen für Inshore-Messungen	23
6.1.4	Messungen des Hintergrundgeräuschs für die Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses.....	23
6.1.5	Messungen an schräg in den Meeresgrund getriebenen Pfählen	24
6.2	Zeitbezogene Abtastung — Messdauer	24
6.3	Abstandsmessungen.....	24
6.4	Datenverarbeitung und Berechnung der akustischen Messgrößen.....	25
6.4.1	Datenverarbeitungsschritte.....	25
6.4.2	Zu berechnende akustische Messgrößen	26
7	Messunsicherheit	30
7.1	Allgemeines	30
7.2	Quellen der Unsicherheit.....	30
7.2.1	Unsicherheit bei der Kalibrierung der Geräteausstattung	30
7.2.2	Unsicherheit in Bezug auf die Position von Quelle und Empfänger.....	30
7.2.3	Durch die Positionierung hervorgerufene unerwünschte Signale	31
7.3	Bewertung der Unsicherheit	31
8	Angabe der Ergebnisse	31
8.1	Zusatz- und Metadaten	31
8.1.1	Allgemeines	31
8.1.2	Verbindlich vorgeschrieben.....	31
8.1.3	Optional.....	32
8.2	Pfahleigenschaften.....	32
8.3	Konfiguration der Ausbringung.....	33
8.3.1	Verbindlich vorgeschrieben.....	33
8.3.2	Optional.....	33
8.4	Angabe der Messergebnisse	33
8.4.1	Verbindlich vorgeschrieben.....	33
8.4.2	Optional.....	34
Anhang A (informativ) Betrachtung der Messgrößen der Quelle		35
Anhang B (informativ) Leitfaden für den Einsatz von Hydrophonen		37
Literaturhinweise.....		39

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 18406:2017, die in der Arbeitsgruppe 3 „Measurement of radiated noise from marine pile driving“ des ISO/TC 43/SC 3 „Underwater acoustics“ unter deutscher Mitarbeit erstellt wurde.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 001-02-04 AA „Akustische Belastung im Meer“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) zuständig.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 60565 siehe DIN EN 60565

IEC 61260-1 siehe DIN EN 61260-1

IEC 62127-1:2007 siehe DIN EN 62127-1:2013-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60565, *Wasserschall — Hydrophone — Kalibrierung im Frequenzbereich von 0,01 Hz bis 1 MHz*

DIN EN 61260-1, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven — Teil 1: Anforderungen*

DIN EN 62127-1:2013-11, *Ultraschall — Hydrophone — Teil 1: Messung und Charakterisierung von medizinischen Ultraschallfeldern bis zu 40 MHz (IEC 62127-1:2007 + Cor.:2008 + A1:2013); Deutsche Fassung EN 62127-1:2007 + A1:2013*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43, *Acoustics*, Unterkomitee SC 3, *Underwater acoustics* erarbeitet.

Einleitung

Dieses Dokument wurde erarbeitet, um ein genormtes Messverfahren zur Bestimmung des bei der Schlagrammung von Pfählen^{N1)} abgestrahlten Wasserschalls bereitzustellen.

Schall stellt häufig ein unbeabsichtigtes Nebenprodukt menschlicher Tätigkeiten dar, und die Zunahme schallerzeugender menschlicher Tätigkeiten in Ozeanen, Meeren, Seen, Flüssen und Häfen hat zu Bedenken hinsichtlich der akustischen Belastung durch unerwünschten Schall und dessen potentiellen Auswirkungen auf das Leben im Wasser geführt. In einigen Ländern gibt es bereits Anfänge einer Gesetzgebung hinsichtlich der Auswirkungen des abgestrahlten Wasserschalls, durch die eine akustische Überwachung zum Zwecke der Beurteilung der Umweltauswirkungen von Bauprojekten verlangt wird.

Die Pfahlrammung kann eine signifikante Quelle für tieffrequenten impulshaltigen Wasserschall sein. Beim Rammprozess wird ein Pfahl mit einem typischerweise hydraulisch betriebenen Rammhammer in den Meeresgrund (oder das Flussbett usw.) hineingetrieben. Diese Verfahrensweise wird üblicherweise zur Anordnung von Pfählen bei Flachwasserbaumaßnahmen angewendet. Zu diesen Baumaßnahmen gehören z. B.:

- Errichtung von Offshore-Windparks;
- Errichtung und Verankerung von Plattformen für die Offshore-Öl- und Gasindustrie;
- Errichtung von Brückenabstützungen und -fundamenten in Flüssen, Ästuarien, Häfen und Kais (und in deren unmittelbarer Nähe);
- Verankerung und Anordnung von Einrichtungen zur Erzeugung erneuerbarer Energie im Wasser.

Die wissenschaftliche Literatur enthält eine Reihe von Ansätzen zur Messung des Wasserschallpegels [1] bis [13]. Häufig ist es jedoch schwierig, diese zu vergleichen, da unterschiedliche akustische Messgrößen^{N2)} angewendet werden; dies hat in verschiedenen Ländern zur Bereitstellung von Leitfäden zur Lösung dieses Problems geführt [14] bis [16]. Die Messung des durch die Schlagrammung verursachten Geräuschs wird durch eine Reihe von Faktoren erschwert.

- Die Quelle erstreckt sich von der Wasseroberfläche bis zum Meeresgrund (oder Flussbett usw.), wodurch sie Schallwellen im Wasser, in der Luft und im Meeresgrund erzeugt und Schwingungen an der Oberfläche des Meeresgrundes auftreten.
- Bei der Umgebung handelt es sich häufig um Flachwasser, woraus sich beträchtlicher Nachhall und bathymetrische Merkmale ergeben, und die Wechselwirkung mit dem Meeresgrund (oder Flussbett usw.) kann starken Einfluss auf die Schallausbreitung haben.

Häufig wurden bei Messungen sowie zur modellhaften Darstellung der Schallausbreitung ohne ausreichende Validierung einfache Annahmen hinsichtlich äquivalenter Punktquellen getroffen. In der Literatur wird über Fortschritte bei der modellhaften Darstellung der Quelle berichtet; ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge ist jedoch noch nicht gegeben [17] bis [22].

Das Ziel dieses Dokuments besteht darin, Vorgehens- und Verfahrensweisen zur Messung der Schallabstrahlung in das Wasser bereitzustellen und Empfehlungen zu akustischen Messgrößen zur Beschreibung des Schallfeldes zu geben. Die Beurteilung der Auswirkungen des abgestrahlten Schalls auf die Meeresflora- und -fauna ist nicht Teil des Anwendungsbereichs dieses Dokuments.

N1) Nationale Fußnote: Dies wird im deutschen Sprachgebrauch auch als Pfahlrammung bezeichnet.

N2) Nationale Fußnote: Der englische Begriff „metric“ kann in der Übersetzung verschiedene Bedeutungen haben und wird nachfolgend entsprechend des Kontexts als „Messgröße“ oder „Maß“ [6.1.1 e)] verwendet. Der deutsche Begriff „Metrik“ bezieht sich auf Abstände.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden die Verfahrens- und Vorgehensweisen sowie Messsysteme beschrieben, die zur Messung des beim Schlagrammen mit Rammhämmern abgestrahlten Wasserschalls anzuwenden sind.

Einer der Hauptbeweggründe für Messungen des bei Schlagrammungen abgestrahlten Schalls besteht in der Beurteilung der Auswirkungen auf die Wasserfauna entsprechend den Anforderungen behördlicher Rahmenwerke. Im vorliegenden Dokument wird ein generischer Ansatz beschrieben, der auf unterschiedliche behördliche Anforderungen angewendet werden kann.

Dieses Dokument ist geeignet für Messungen bei Schlagrammungen im Zusammenhang mit dem Offshore-Einbau von Gründungsstrukturen (z. B. Einzelpfähle, Jackets, Tripods usw.) bei der Errichtung von Offshore-Windparks, Erdöl- und Erdgasbohrplattformen sowie weiteren Inshore-Bauwerken wie Brückenfundamenten und Einrichtungen zur Erzeugung erneuerbarer Energie im Wasser. Das vorliegende Dokument behandelt nicht die Messung des abgestrahlten Schalls durch Schlagrammung mittels Vibrationsrammverfahren oder das entsprechende Einbringen von Spundwänden. Dieses Dokument deckt kein Schlagrammen in Wasser mit einer Tiefe von weniger als 4 m und mehr als 100 m ab.

Die hier beschriebenen Vorgehensweisen liefern einen Leitfaden zur Durchführung von Messungen, die die folgenden Ziele erfüllen:

- Überwachung Quellstärke beim Schlagrammen, z. B. zu behördlichen Zwecken;
- Erreichen von Einheitlichkeit beim Vergleich der durch Schlagrammungen erzeugten Geräusche für unterschiedliche Bauprojekte;
- Validierung von Modellierungen oder Vorhersagen.

Das vorliegende Dokument behandelt ausschließlich die Messung des bei Schlagrammungen abgestrahlten Schallfeldes. Der Anwendungsbereich dieses Dokuments deckt nicht die Beurteilung der Schallexposition oder die Anwendung von Expositions Kriterien ab. Es wird kein Versuch unternommen, eine Methodik zur Erzeugung von Karten des akustischen Feldes in der Nähe der Quelle festzulegen.

Der normative Teil dieses Dokuments enthält Anforderungen an und Verfahrensweisen für die Messung des Schallfeldes in einer bestimmten Entfernung vom einzurammenden Pfahl. Der vorliegende Teil dieses Dokuments enthält kein Verfahren zur Bestimmung einer Größe der akustischen Quellstärke, die unabhängig ist vom Ausbreitungsweg zwischen Quelle und Empfänger (z. B. Quellpegel). Im Idealfall würde eine solche Größe Nutzen für die Vorhersagbarkeit (z. B. für die Berechnung von Schalleinflusszonen und Schallkarten) haben. In Anhang A sind jedoch auch einige Angaben zur Bestimmung einer möglichen Größe der akustischen Quellstärke angegeben.

Das vorliegende Dokument behandelt ausschließlich die Messung des *Schalldrucks* in der Wassersäule. Der Anwendungsbereich umfasst weder die Messung der durch die sich ausbreitende Schallwelle verursachten Schallschnelle in der Wassersäule noch die Messung von Schwingungen des Meeresgrundes, die durch sich über den Meeresgrund ausbreitende Wellen verursacht werden. Dieser Ausschluss bedeutet nicht, dass derartige Messungen nicht wichtig wären; in der Tat wird ihre Bedeutung bei der Beurteilung der Auswirkungen auf das Leben im Wasser anerkannt. Zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Dokuments ist die Messung dieser Größen jedoch noch nicht ausgereift genug, um genormt zu werden.

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).

ISO 18405, *Underwater acoustics — Terminology*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 18405 (besonders: Schalldruck, Schalldruckpegel, Effektivwert des Schalldruckpegels, Schallexposition, Schallexpositionspegel, Spitzenschalldruck, Spitzenschalldruckpegel) und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Obwohl die Definitionen der Schallexposition und des Schallexpositionspegels ISO 18405 entnommen sind, wird im vorliegenden Dokument eine spezifische Nomenklatur für den über die Dauer eines akustischen Impulses sowie mehrerer akustischer Impulse berechneten Schallexpositionspegel verwendet; diese Nomenklatur ist in 3.2 beschrieben.

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

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1 Impulsdauer

prozentuale Dauer des Energiesignals über den akustischen Impuls

Anmerkung 1 zum Begriff: Die prozentuale Dauer des Energiesignals ist in ISO 18405 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die prozentuale Energie, für die die Impulsdauer berechnet wurde, sollte mit dem Ergebnis zusammen angegeben werden. Für die Anwendung dieses Dokuments beträgt die prozentuale Energie für die Impulsdauer 90 %.

Anmerkung 3 zum Begriff: In der Regel umfasst der akustische Impuls im Flachwasser das mehrmalige Eintreffen der ausgesandten akustischen Wellen, einschließlich des Eintreffens der Wellen auf mehreren Wegen von der Oberfläche und dem Meeresgrund. In schallharten Umgebungen, wie z. B. Häfen, in denen Schallwellen von Grenzflächen, wie z. B. den Hafenbefestigungen, reflektiert werden können, kann sich die Identifizierung einzelner ausgesandter akustischer Impulse schwierig gestalten.

3.2 Schallexpositionspegel SEL

Pegel der Schallexposition für einen festgelegten Bezugswert

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Schallexpositionspegel ist in ISO 18405 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Schallexpositionspegel für einen einzelnen akustischen Impuls (entsprechend einem einzelnen Schlages mittels Rammhammer) wird auf der Grundlage von 100 % der Impulsenergie über die Impulsdauer berechnet. Für die Anwendung dieses Dokuments wird dies als Einzelereignisschalldruckpegel (en: Sound Exposure Level SEL_{ss}^{N3}) bezeichnet. Es wird anerkannt, dass dieser Parameter in der wissenschaftlichen Literatur teilweise als Einzelimpuls-Schallexpositionspegel bezeichnet wird.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Einzelereignispegel über eine definierte Zeitdauer, die mehrere akustische Impulse umfasst, wird für die Anwendung dieses Dokuments als *kumulativer Einzelereignispegel* (abgekürzt als SEL_{cum}) bezeichnet. Bei der Angabe des kumulativen Einzelereignispegels werden die Anzahl der Impulse und die Zeitdauer, über die der kumulative Einzelereignispegel berechnet wurde, angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: Im akustischen Nahfeld besteht zwischen der Schallexposition und der Schallintensität oder -energie keine ähnlich direkte Beziehung wie im akustischen Fernfeld. Bei der Auswertung von im akustischen Nahfeld durchgeführten SEL-Messungen sollte daher mit besonderer Sorgfalt vorgegangen werden.

N3) Nationale Fußnote: SEL wird in Deutschland auch als LE abgekürzt.

3.3

Impulsfolgefrequenz

Impulsfolgerate

Anzahl von Rammschlägen je Zeiteinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird üblicherweise als Anzahl von Schlägen (bzw. akustischen Impulsen) je Sekunde angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Impulsfolgefrequenz liegt häufig bei unter 1 je Sekunde.

3.4

Hintergrundgeräusch

gesamter in Abwesenheit des Schlagrammsignals für ein festgelegtes, gemessenes akustisches Schlagrammsignal durch das Hydrophon aufgezeichnete Schall

3.5

Messsystem

Datenerfassungssystem, bestehend aus mindestens einem oder mehreren Hydrophon(en), der Konditionierung dienendem/n Vorverstärker(n), Analog-Digital-Umsetzer(n), Rechner und peripheren Zusatzgeräten

3.6

Frequenzbereich

Bereich von der tiefsten bis zur höchsten Frequenz, über den das Messsystem mit einer gegebenen Unsicherheit messen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Frequenzbereich wird von der tiefsten bis zur höchsten Frequenz angegeben.

3.7

Dynamikbereich

für eine gegebene Verzerrungstoleranz der Amplitudenbereich, über den ein Messsystem messen kann, angegeben als Bereich von der niedrigsten bis zur höchsten Amplitude

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Dynamikbereich kann auch in Dezibel angegeben werden und die Differenz zwischen dem durch das Eigenrauschen des Systems erzeugten Grundrauschpegel und dem Höchstpegel darstellen, der mit einer festgelegten höchstzulässigen Verzerrung gemessen werden kann. Er kann für eine Einzelfrequenz oder einen Frequenzbereich angegeben werden.

3.8

Feldkalibrierung

Verfahren der Anwendung bekannter Eingangsgrößen, möglicherweise unter Nutzung physikalischer Stimuli (z. B. bekannte und kalibrierte/rückführbare akustische oder Schwingungsquelle), oder elektrischer Eingangsgrößen (Anlegen eines definierten Ladungs- oder Spannungssignals) am Eingang (oder auf einer anderen Stufe) eines Messsystems mit dem Ziel, sicherzustellen, dass das System tatsächlich ordnungsgemäß (d. h. innerhalb der angegebenen Unsicherheit des Systems) auf den bekannten Stimulus reagiert

[QUELLE: ISO 17208-1:2016, 3.9][23]

3.9

Messunsicherheit

Schätzwert des Bereichs (bzw. der Streuung) der Werte, innerhalb dessen der wahre Wert mit einem festgelegten Vertrauensgrad (z. B. einem Vertrauensbereich von 95 %) liegt

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008]

3.10

Hydrophon

Unterwasser-Schallwandler, der als Reaktion auf Druckschwankungen ein elektrisches Signal abgibt und dafür ausgelegt ist, auf den Druck einer Schallwelle anzusprechen

Anmerkung 1 zum Begriff: Falls das elektrische Signal proportional zum auftreffenden Schalldruck ist, ist von einem linearen Ansprechen des Hydrophons auszugehen.

3.11

Rammenergie

kinetische Energie eines spezifischen Schlages des zum Schlagrammen eingesetzten Rammhammers

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies entspricht der kinetischen Energie, mit der die Rammhammermasse auf den Pfahl trifft.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Rammenergie wird in kJ angegeben.

3.12

Pfahlmaße

Maße des Pfahls in Form von Gesamtlänge, -durchmesser und -wanddicke (bei hohlem Pfahl)

3.13

Offshore

Meeresregion, einschließlich Küstengebieten, regionalen Meeren und Kontinentalsockel, jedoch ausgenommen Häfen, Küsteneinlässe, Binnenwasserwege, Ästuarien und Flüsse

3.14

Inshore

Meeres- bzw. Wasserregion, einschließlich Häfen, Küsteneinlässen, Binnenwasserwegen, Flussästuarien und Flüssen, jedoch ausgenommen regionale Meere, Kontinentalsockel und Küstengebiete

3.15

Schalldruck bei äquivalenter Bandbreite

p_w

Verhältnis des Effektivwerts der Geräuschspannung bei einer festgelegten Mittenfrequenz im betreffenden Frequenzband, die bei Abwesenheit von Druckschwankungen am Hydrophon-Eingang an den elektrischen Anschlüssen des Hydrophons anliegt, zur Freifeld-Leerlauf-Spannungsempfindlichkeit des Hydrophons bei einer festgelegten Frequenz

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Schalldruck bei äquivalenter Bandbreite wird in Pascal, Pa, angegeben.

[QUELLE: IEC 60500:—] [24] N4)

3.16

Schalldruckpegel bei äquivalenter Bandbreite

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des Quadratwerts des Schalldrucks bei äquivalenter Bandbreite, p_w , eines Hydrophons zum Quadrat eines Bezugsdrucks, p_0 , in Dezibel

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Schalldruckpegel bei äquivalenter Bandbreite wird in Dezibel, dB, angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Wert des Bezugsdrucks, p_0 , beträgt 1 μ Pa.

[QUELLE: IEC 60500:—][24]N5)

N4) Nationale Fußnote: IEC/FDIS 60500:2016, 3,10, wurde modifiziert übernommen: „bei einer festgelegten Mittenfrequenz“ ergänzt, in „bei Abwesenheit von Druckschwankungen“ den Ausdruck „oder Schalldruck“ entfernt sowie „Freifeld-Leerlauf-Spannungsempfindlichkeit des Hydrophons bei einer festgelegten Frequenz“ anstatt „Sensitivität in einem festgelegten Frequenzband“ eingefügt.

N5) Nationale Fußnote: Bezug zu einem Abschnitt in IEC/FDIS 60500:2016 kann nicht hergestellt werden.

3.17

Signal-Rausch-Verhältnis

(en: signal-to-noise ratio, SNR)

Verhältnis des quadratischen Mittelwerts der Breitband-Signalspannung nach Abschluss der Verarbeitung zum quadratischen Mittelwert der Breitband-Geräuschspannung nach Abschluss der Verarbeitung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Geräuschspannung ist die durch nicht-akustische Geräusche und durch Hintergrundgeräusche verursachte Spannung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die an der Signalspannung und der Hintergrund-Geräuschspannung vorgenommenen gemittelten und quadrierten Operationen müssen von gleicher Dauer sein. Diese Durchschnittszeit wird mit dem Wert des Signal-Rausch-Verhältnisses angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Als Breitbandgröße wird das Signal-Rausch-Verhältnis über ein festgelegtes Frequenzband bewertet. Dabei kann es sich um das gesamte interessierende Frequenzband handeln, das für das vorliegende Dokument mindestens den Bereich von 20 Hz bis 20 kHz umfasst, oder um ein bestimmtes Frequenzband, wie z. B. ein Terzband. Das entsprechende Frequenzband wird mit dem Wert des Signal-Rausch-Verhältnisses angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: Das Signal-Rausch-Verhältnis kann als Pegeldifferenz in Dezibel ausgedrückt werden.

3.18

Systemempfindlichkeit

Verhältnis des Effektivwerts der Leerlaufspannung an einem festgelegten Punkt im Messsystem (üblicherweise an den elektrischen Ausgangsanschlüssen) zum Effektivwert des Schalldrucks, der im ungestörten Freifeld bei festgelegter Frequenz und festgelegter Richtung der ebenen Schallwelle an der Stelle des Bezugsmittelpunkts des Hydrophons auftreten würde, wenn sich das Hydrophon nicht dort befände

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Systemempfindlichkeit wird hier für ein akustisches Messsystem definiert, das für die Messung von Schalldrucksignalen in Wasser ausgelegt ist. Das Messsystem besteht üblicherweise aus einem oder mehreren an ein(en) oder mehrere Verstärker und Filter angeschlossenen Hydrophon(en) und speist eine Ausgangsspannung in ein digitales Datenerfassungs- und -speichersystem ein. Es wird darauf hingewiesen, dass das Ansprechverhalten der Hydrophone, Verstärker und Filter im Allgemeinen mit der akustischen Frequenz schwankt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Systemempfindlichkeit wird hier als akustische Freifeldempfindlichkeit unter Bezugnahme auf die Freifeldempfindlichkeit des Hydrophons definiert. Falls das Hydrophon physisch (ohne Verwendung eines Verlängerungskabels) mit dem Korpus des Schallaufzeichnungsgeräts (Rekorders) verbunden ist, kann die Beugung und die Streuung des Schalls durch den Korpus des Rekorders die Freifeldempfindlichkeit bei Frequenzen im Kilohertzbereich beeinflussen, was im Verhältnis zum Ansprechverhalten des freien Hydrophons zu einer Verstärkung der Richtwirkung führt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Systemempfindlichkeit wird in Form der je Pascal des Schalldrucks entwickelten elektrischen Spannung beschrieben und in Einheiten V/Pa angegeben. Der Empfindlichkeitspegel wird in einigen Fällen in Dezibel als dB re 1 V/μPa ausgedrückt. Die Systemempfindlichkeit ist das Maß für das Ansprechverhalten des Hydrophons bzw. der Hydrophone, die elektrische Verstärkung und die Einfügungsdämpfung der Filter innerhalb des Systems.

Anmerkung 4 zum Begriff: Bei *digitalen* Systemen, in denen der Schall vom System als digitale Wellenform aufgezeichnet wird (anstatt ein analoges Spannungsausgangssignal zu erzeugen), kann die Kalibrierung des Digitalisierers (Analog-Digital-Umsetzers) in die Gesamtempfindlichkeit des gesamten Systems einschließlich des Digitalisierers einbezogen werden. Dies kann als die digitale Empfindlichkeit des Messsystems bezeichnet werden, bei der es sich um die Anzahl der digitalen Zählpulse je Schalldruckänderungseinheit handelt (Einheit Pa⁻¹).

Anmerkung 5 zum Begriff: Im Allgemeinen kann das Messsystem dem Messsignal eine Phasenverzögerung hinzufügen. Diese findet Berücksichtigung in der Darstellung der Systemempfindlichkeit als komplexwertige Größe, deren Modulus das Ansprechverhalten nur als Amplitudengröße darstellt (und durch die oben stehende Definition beschrieben wird) und deren Phase die Phasenantwort des Systems beschreibt. Es wird darauf hingewiesen, dass die komplexwertige Systemempfindlichkeit in der Regel mit der Schallfrequenz schwankt.

[QUELLE: IEC 60500:—] [24]^{N6)}

N6) Nationale Fußnote: Bezug zu einem Abschnitt in IEC/FDIS 60500:2016 kann nicht hergestellt werden.

4 Geräteausstattung

4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt behandelt die Auswahl der Messgeräteausstattung sowie die wichtigsten Leistungskennzahlen, die Systemkalibrierung und die Sicherstellung der Datenqualität.

Das Messsystem besteht im Allgemeinen aus folgenden Geräten:

- Hydrophon(e);
- Verstärker und Signalkonditionierungsgeräte;
- Digitalisierungs- und Speichergeräte.

Beim Verstärker kann es sich um ein separates Element mit einstellbarer Verstärkung im System handeln, oder darf^{N7)} ein integraler Bestandteil des Hydrophons sein, bei dem die Verstärkung nicht einstellbar ist. Die Digitalisierung erfolgt mit einem Analog-Digital-Wandler (en: analogue-to-digital converter, ADC), und die elektronische Speicherung erfolgt typischerweise auf einer Computerfestplatte oder einem USB-Stick.

Das Messsystem darf aus den vorstehend aufgeführten Einzelkomponenten bestehen oder die Form eines integrierten Systems haben, das Teil eines unabhängigen Rekorders mit eigenständigem Aufzeichnungssystem ist.

4.2 Leistung des Messsystems

4.2.1 Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit des Messsystems sollte so gewählt werden, dass deren Wert für die Amplitude des zu messenden Schalls geeignet ist. Das Ziel der Auswahl der Systemempfindlichkeit besteht darin:

- ein ungünstiges Signal-Rausch-Verhältnis für Signale mit niedriger Amplitude zu vermeiden; und
- Nichtlinearität, Höchstwertbegrenzung und Systemsättigung für Signale mit hoher Amplitude zu vermeiden.

ANMERKUNG 1 Für Messungen bei der Schlagrammung ist das letztgenannte dieser beiden Kriterien am wichtigsten, da es sich um eine Quelle mit hoher Amplitude handelt und eine Verzerrung des gemessenen Signals die Ergebnisse unbrauchbar machen würde. Um für ein gewisses Maß an Flexibilität zu sorgen, ist es wünschenswert, dass die Verstärkung der Messverstärker oder des ADC zu einem gewissen Grade wählbar ist. Die entsprechenden Werte können eingestellt werden, sobald die Schallpegel nach einigen anfänglichen Messungen bekannt sind. Es wird darauf hingewiesen, dass die Verstärkung bei unabhängigen Rekorden und Hydrophonen mit integrierten Vorverstärkern nach der Ausbringung üblicherweise nicht mehr modifiziert werden kann.

ANMERKUNG 2 Falls Messungen des Hintergrundgeräusches erforderlich sind, ist es möglicherweise nicht angemessen, für diese Messungen dieselben Hydrophon- oder Verstärkungseinstellungen zu nutzen wie für die Messung des durch die Schlagrammung abgestrahlten Schalls. Im Allgemeinen werden für die Messung des Hintergrundgeräusches vorzugsweise rauscharme Hydrophone mit hoher Empfindlichkeit verwendet.

ANMERKUNG 3 Die Empfindlichkeit wird in Form der je Pascal des Schalldrucks entwickelten elektrischen Spannung beschrieben und in der Einheit V/Pa angegeben. Der Empfindlichkeitspegel wird häufig in Dezibel als dB re 1 V/μPa ausgedrückt. Sofern das System den Schall als digitale Wellenform aufzeichnet (anstatt eine Analogspannung bereitzustellen), wird die Empfindlichkeit in digitalen Zählimpulsen je Pascal angegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass sich der Bereich der durch einen ADC erzeugten Zahlenwerte auf die Anzahl der in der Umrechnung verwendeten Bits bezieht, wobei der vollständige für das Analogsignal zulässige Spannungsbereich durch Werte repräsentiert wird, die einen Bereich von 2^N abdecken, wobei N wiederum die Anzahl der Bits des ADC ist. Ein 16-Bit-ADC repräsentiert z. B. den Skalenendwert des Spannungsbereichs mit 2^{16} Werten (z. B. –32 768 bis +32 767), was einem Dynamikbereich von etwa 96 dB entspricht.

N7) Nationale Fußnote: Korrektur: die Übersetzung von „may“ („darf“) ist an dieser Stelle als „kann“ zu verstehen.

ANMERKUNG 4 Es wird weiterhin darauf hingewiesen, dass die Gesamtempfindlichkeit eines Hydrophons ohne eingebauten Vorverstärker durch Hinzufügung eines Verlängerungskabels aufgrund der zusätzlichen elektrischen Last durch dessen Kapazität verringert wird. Entweder wird das Hydrophon mit daran angeschlossenem Verlängerungskabel kalibriert oder es werden die Auswirkungen der elektrischen Last berechnet. Zu näheren Einzelheiten siehe Anhang B. Bei Hydrophonen mit integriertem Vorverstärker im Hydrophon-Körper ändert sich die Empfindlichkeit durch zusätzliche Verlängerungskabel nicht.

4.2.2 Frequenzbereich und Abtastrate

Der Frequenzgang des Messsystems muss sich bis zu einer ausreichend hohen Frequenz erstrecken, um zuverlässig alle interessierenden Frequenzkomponenten innerhalb der Messsignale aufzuzeichnen. Dies erfordert eine ausreichende Bandbreite des Hydrophons sowie jeglicher Verstärker und Filter.

Für Messungen im Zusammenhang mit der Schlagrammung muss die Systemfrequenz mindestens von 20 Hz bis mindestens 20 kHz reichen.

ANMERKUNG 1 In der Regel wird bei der Auswahl eines für die Messungen geeigneten kleinsten Frequenzbereichs das individuelle Hörvermögen der betreffenden Rezeptoren berücksichtigt. Es wird darauf hingewiesen, dass Schallmessungen bei Frequenzen unter 20 Hz in sehr flachem Wasser dadurch erschwert werden, dass sich derartig tieffrequente Wellen darin kaum ausbreiten können. Hinzu kommt, dass durch Artefakte, wie z. B. Strömungsgeräusche und Kabelbrummen, verursachte Störsignale bei derartig tiefen Frequenzen stärker hervortreten (siehe 5.3).

ANMERKUNG 2 Die Forderung nach einer eindeutigen Darstellung der Signale im gewünschten Frequenzbereich macht es erforderlich, dass die Abtastrate, f_s , des ADC im Aufzeichnungssystem oberhalb der Nyquist-Rate des Eingangssignals des ADC liegt. Sollen die Messdaten in Terzbändern angegeben werden, so handelt es sich bei der höchsten interessierenden Frequenz um die Obergrenze des höchsten interessierenden Terzbandes.

ANMERKUNG 3 Es ist wünschenswert, dass die Systemempfindlichkeit mit einer Grenzabweichung von 2 dB über den interessierenden Frequenzbereich keine frequenzabhängigen Schwankungen aufweist (d. h., dass sie ein „flaches Ansprechverhalten“ aufweist). Es wird darauf hingewiesen, dass eine sich mit der Frequenz ändernde Empfindlichkeit auf eine bessere Genauigkeit als vorstehend angegeben korrigiert werden kann, wenn Hydrophon und Messsystem über den gesamten interessierenden Frequenzbereich kalibriert werden.

ANMERKUNG 4 Die Terzbänder werden auf der Grundlage des dekadischen oder des binären Logarithmus berechnet, und die getroffene Auswahl wird bei der Darstellung der Ergebnisse angegeben. Die beiden Rechenverfahren führen zu geringfügig unterschiedlichen Ergebnissen, und der dekadische Logarithmus stellt das bevorzugte Verfahren dar (IEC 61260-1). (Es wird darauf hingewiesen, dass die Angabe eines Terzbandes auf der Grundlage des dekadischen Logarithmus in ISO 18405 als „decidecade“ bezeichnet wird).

4.2.3 Richtwirkung

Das eingesetzte Hydrophon muss ein omnidirektionales Ansprechverhalten derart aufweisen, dass sich seine Empfindlichkeit bei wechselnder Richtung der eintreffenden Schallwelle nicht ändert, mit einer Grenzabweichung von 2 dB über den interessierenden Frequenzbereich.

ANMERKUNG 1 Diese Anforderung ist bei Frequenzen bis 20 kHz leicht zu erfüllen. Ein Aspekt, der jedoch zu erhöhter Richtwirkung führen kann, ist die Ausbringung des Hydrophons in der Nähe eines weiteren Bauwerks, das die Schallwellen reflektieren kann. Die Kombination aus direkten und reflektierten Wellen führt zu Interferenzen, deren Charakter sich mit dem Einfallswinkel der Schallwelle ändert. Diese Auswirkung kann bei Frequenzen im Kilohertz-Bereich auftreten, wenn das Hydrophon nahe einer Stützstruktur, wie z. B. einer schweren Verankerung oder eines schweren Auflagers, oder in der Nähe eines Rekordergehäuses stationiert wird, das Elektronik und Batterien enthält, jedoch überwiegend mit Luft gefüllt ist. Auf vergleichbare Weise kann die Richtwirkung für den Fall, dass eine trennende Schutteinrichtung um das Hydrophon herum vorliegt (ein Schutzkäfig zur Verhinderung von Schäden am Element durch Stöße), im Kilohertz-Frequenzbereich beeinflusst werden. Falls erforderlich können die vorstehend erwähnten Auswirkungen durch Messungen der Richtungsempfindlichkeit des Hydrophons und seiner Befestigung in einer Freifeldumgebung quantitativ bestimmt werden.

4.2.4 Anforderungen an das Signal-Rausch-Verhältnis

Für die Messungen muss ein (als Pegeldifferenz ausgedrücktes) Signal-Rausch-Verhältnis von mindestens 10 dB gefordert werden.

ANMERKUNG 1 Für die Betrachtung des Signal-Rausch-Verhältnisses sind sämtliche Geräuschanteile maßgeblich. Diese umfassen das Eigenrauschen des Systems (4.2.5) und das plattformbezogene Eigengeräusch bei der Ausbringung und Verankerung (5.3.1) ebenso wie das Hintergrundgeräusch (3.4).

ANMERKUNG 2 Für Messungen im Zusammenhang mit Schlagammungen, bei dem Signale mit hohen Amplituden üblich sind, stellt dies wahrscheinlich nur in einer beträchtlichen Entfernung von der Quelle (mehrere zehn Kilometer) eine Herausforderung dar.

4.2.5 Eigenstörpegel des Systems

Um bei der Messung von Schallsignalen ein annehmbares Signal-Rausch-Verhältnis zu erreichen, muss der (als Schalldruckpegel mit äquivalenter Bandbreite ausgedrückte) Eigenstörpegel des Systems mindestens 10 dB unterhalb des niedrigsten im interessierenden Frequenzbereich zu messenden (und als quadratischer Mittelwert der Signalspannung nach Abschluss der Verarbeitung ausgedrückten) Signalpegels liegen.

ANMERKUNG 1 In dem hier betrachteten Zusammenhang gilt als Eigenstörpegel des Systems der durch das Hydrophon und Aufzeichnungssystem verursachte Pegel (zu Betrachtungen des aufbaubezogenen Störgeräusches, siehe 5.3). Bei dem Eigenstörpegel des Systems handelt es sich um die *bei Abwesenheit jeglicher durch externe akustische Stimuli verursachten Signale* durch das System erzeugte Spannung. Dies ist elektronisches Rauschen und wird durch das Hydrophon selbst sowie jegliche elektronische Komponenten, wie z. B. Verstärker und ADC, erzeugt. Er wird üblicherweise als Schalldruckpegel mit äquivalenter Bandbreite angegeben. Bei einem typischen Aufzeichnungssystem kann sich die spektrale Dichte des Schalldrucks mit äquivalenter Bandbreite dem des Seegangs von null nach Knudsen (einschließlich des Schalls entfernter Schiffe) bei 63 Hz und 125 Hz annähern, wobei die Werte bei etwa 64 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ und 59 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ liegen [25].

ANMERKUNG 2 Um qualitativ hochwertige Messungen des Hintergrundgeräusches zu ermöglichen, wird ein Messsystem mit ausreichend niedrigem Eigenstörpegel verwendet. Unter Umständen ist es nicht angemessen, für die Messung des Hintergrundgeräusches dasselbe Hydrophon zu nutzen wie für die Messung des durch die Schlagammung abgegebenen Schalls. Für die Messung des Hintergrundgeräusches ist im Allgemeinen ein rauscharmes Hydrophon mit hoher Empfindlichkeit erforderlich. Für ein System, das für die Messung sehr niedriger Schallpegel vorgesehen ist, wird vorzugsweise ein maximaler Eigenstörpegel des Systems von 47 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ bei 63 Hz und 43 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ bei 125 Hz verwendet [25].

4.2.6 Dynamikbereich

Der Dynamikbereich des Systems muss so gewählt werden, dass er ausreicht, um den höchsten an der Messposition zu erwartenden Schalldruck ohne Verzerrung oder Übersteuerung durch Hydrophon, Verstärker und ADC zuverlässig aufzuzeichnen.

ANMERKUNG 1 Der Dynamikbereich des Messsystems ist der Amplitudenbereich, über den das System den Schalldruck zuverlässig messen kann. Dieser Bereich erstreckt sich vom Eigenstörpegel des Systems (der das niedrigste messbare Signal definiert) bis zur höchsten Amplitude des Signals, die ohne signifikante Verzerrung gemessen werden kann.

ANMERKUNG 2 Schall mit hohen Amplituden, die über die maximale Leistungsfähigkeit des Messsystems hinausgehen, verursachen Verzerrungen der Messdaten. Fehlen z. B. die Peaks des Signals in den Daten, so kann eine Höchstwertbegrenzung auftreten (Abschneiden der Peaks am Skalenendwert des System-ADC). Wird vorausgesetzt, dass das Messsystem über den gesamten Dynamikbereich Linearität aufweist, heißt das, dass die Empfindlichkeit des Systems über den gesamten Bereich des messbaren Schalldrucks konstant ist. Für die Messung des Rammschalls werden vorzugsweise Systeme mit einem Dynamikbereich von über 60 dB verwendet. Bei einigen Systemen ist das Ansprechverhalten bei der Annäherung an die obere Grenzamplitude aufgrund von Beschränkungen der Leistung der Komponenten, wie z. B. Verstärker, möglicherweise nicht mehr linear. Es ist daher nicht ratsam, das Messsystem nahe an der Grenze seines Dynamikbereichs einzusetzen, wenn seine Linearität nicht überprüft wurde.

ANMERKUNG 3 Ein Verfahren zur Minderung der Probleme im Zusammenhang mit dem Dynamikbereich besteht in einer gewissen Flexibilität der Empfindlichkeit, wie sie häufig durch Anwendung einer einstellbaren Verstärkung für die Verstärkerstufen und Skaleneinstellungen bei ADC erreicht wird. Wurde das System jedoch abgesetzt stationiert (z. B. ein unabhängiges Aufzeichnungssystem), ist nach der Ausbringung möglicherweise keine Regelung der Systemeinstellungen mehr möglich. In diesem Fall sind bestimmte Informationen zum wahrscheinlichen Bereich der Schalldruckpegel erforderlich, um den verfügbaren Dynamikbereich zu optimieren (diese Informationen können aus Berichten zu Pegeln in der wissenschaftlichen Literatur oder theoretischen Näherungsberechnungen bezogen werden).

4.3 Kalibrierung

4.3.1 Kalibrierung des Gesamtsystems

Das gesamte Messsystem muss über den gesamten in 4.2.2 angegebenen interessierenden Frequenzbereich kalibriert werden.

Folgende Komponenten erfordern eine Kalibrierung:

- Hydrophon;
- Verstärker;
- Filter;
- Analog-Digital-Wandler (ADC) — die Bereichseinstellung (Skalenendwert) und der Kalibrierfaktor des ADC müssen bekannt sein.

Die Kalibrierung der Hydrophone muss auf nationale oder internationale Normale rückführbar sein. Die Hydrophon-Kalibrierung sollte IEC 60565 entsprechen.

ANMERKUNG 1 Es ist möglich, ein Hydrophon und ein Aufzeichnungssystem mit einer Gesamtunsicherheit von besser als 1 dB zu kalibrieren (angegeben mit einem Vertrauensniveau von 95 %). Vorzugsweise sollten die Intervalle zwischen vollständigen Laborkalibrierungen nicht länger als zwei Jahre sein, und vor und nach jeder wichtigen Ausbringung bzw. jeder Vermessung auf See sollte eine Überprüfung durch eine Feldkalibrierung (siehe 4.3.2) durchgeführt werden [26].

ANMERKUNG 2 Daten zur Hydrophon-Kalibrierung werden typischerweise für eine Folge einzelner Frequenzen oder in Form einer Kalibrierkurve angegeben. Wurden die aufgezeichneten Daten bereits in Terzbänder umgewandelt, bevor die Korrektur um die Empfindlichkeit des Hydrophons durchgeführt wird, handelt es sich bei den erforderlichen Kalibrierwerten um die mittleren Empfindlichkeiten jedes Frequenzbandes. Ist die Empfindlichkeit des Hydrophons nicht flach, so kann nicht von einem über das Band konstanten Wert ausgegangen werden.

ANMERKUNG 3 Die Verstärkerleistung wird typischerweise als Verstärkungsfaktor, entweder in Form einer linearen Verstärkung (z. B. $\times 10$) oder in Dezibel (z. B. 20 dB) angegeben. Es ist zu beachten, dass die Verstärkung mit der Frequenz schwanken kann, insbesondere an den Extremwerten des Betriebsfrequenzbereichs des Verstärkers.

ANMERKUNG 4 Die Filtereigenschaft wird üblicherweise als Einfügungsdämpfungsmaß angegeben; dabei handelt es sich um eine positive Zahl, die entweder als linearer Faktor oder in Dezibel angegeben wird. Definitionsgemäß ändert sich das Ansprechverhalten des Filters mit der Frequenz und wird über den gesamten Betriebsfrequenzbereich des Systems vollständig charakterisiert.

ANMERKUNG 5 Die Bereichseinstellung (Skalenendwert) und der Kalibrierfaktor des ADC sind von den digitalen Werten des Amplitudenausgangs (Zählimpulse) des ADC für eine angegebene Eingangsspannung abhängig und werden üblicherweise als Zählimpulse je Volt ausgedrückt.

4.3.2 Überprüfungen durch Feldkalibrierung

Unmittelbar vor und nach der Ausbringung sowie zwischen Wiederholungsauslegungen sollten *In-situ*-Feldüberprüfungen der Systemkalibrierung durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Hierfür empfiehlt sich die Verwendung eines handelsüblichen Hydrophon-Kalibrators, der dem Hydrophon ein Signal bekannter Amplitude bei einer einzelnen Frequenz (üblicherweise 250 Hz) zuführt. Der Kalibrator besteht üblicherweise aus einem Luft-Pistonphon, das in einem kleinen Koppler, in den das Hydrophon eingeführt wird, einen bekannten Schalldruckpegel erzeugt. Der Schalldruck ist vom freien Volumen im Koppler bei eingeführtem Hydrophon abhängig, daher wird der Koppler für jeden Typ von Hydrophon kalibriert, mit dem er eingesetzt wird. Obwohl der Hydrophon-Kalibrator nur eine Überprüfung für eine Einzelfrequenz bietet, ermöglicht er die Überprüfung des gesamten Systems mithilfe eines akustischen Stimulus.

ANMERKUNG 2 Es ist auch möglich, eine Kalibrierung der Systemkomponenten auf der Grundlage einer elektrischen Überprüfung durchzuführen. Sofern das eingesetzte Hydrophon die Möglichkeit eines Spannungseingangs^{N8)} aufweist (wie dies bei zahlreichen handelsüblichen Hydrophonen mit integriertem Vorverstärker der Fall ist), kann diese zur Überprüfung der elektrischen Integrität und zur Kalibrierung durch Anlegen eines elektrischen Signals genutzt werden. Dies stellt eine nützliche Vorgehensweise dar, wenn Systeme mit langen Kabeln von Schiffen aus ausgebracht werden, und sie kann ohne Zurückholen der Hydrophone vorgenommen werden. Bei dem Verfahren kommt es jedoch nicht zu einer akustischen Überprüfung des Hydrophon-Elements.

4.4 Datenspeicherung

4.4.1 Datenqualität

Werden zur Erhöhung der Speicherkapazität (und damit der Aufzeichnungsdauer) Datenkompressionsverfahren angewendet, so müssen diese entweder verlustlos sein oder es müssen die Auswirkungen auf die Datenqualität nachgewiesen werden. Alle Analysen müssen an nicht-komprimierten Daten durchgeführt werden.

4.4.2 Zusätzliche Kalibrierdaten

Alle wichtigen Zusatz- oder Metadaten, die zur Auswertung der Ergebnisse erforderlich sind, sollten aufgezeichnet werden (z. B. der Skalenfaktor oder die Einstellung des ADC oder die Verstärkung jeglicher Verstärker, die Abtastrate und die Auflösung).

ANMERKUNG Es ist wünschenswert, dass derartige Informationen zu den Kalibrierdaten in einen Dateivorsatz oder eine Log-Datei aufgenommen werden, sodass die Informationen zusammen mit den Daten aufbewahrt werden. Obwohl eine Reihe geeigneter Datenformate existiert (z. B. WAV-Dateiformat), gibt es kein genormtes Format zur Speicherung von Wasserschalldaten.

4.4.3 Haltbarkeit

Sofern die Daten über lange Zeiträume (viele Jahre) aufbewahrt werden müssen, sollten Überlegungen hinsichtlich der wahrscheinlichen zukünftigen Kompatibilität der Speichermedien und Datenformate angestellt werden. Es ist zu beachten, dass manche Formate und Speichermedien mit der Zeit veralten.

5 Ausbringung für die Messung

5.1 Methoden zur Ausbringung

5.1.1 Allgemeines

In Abhängigkeit von den verfügbaren Ressourcen und Bedingungen muss eines der folgenden generischen Ausbringungsverfahren angewendet werden.

5.1.2 Positionierung vom Seefahrzeug aus

Dies umfasst die Ausbringung der Hydrophone (entweder einzeln oder als Gruppe) von einem Schiff aus, wobei die Analyse- und Aufzeichnungsgeräte auf dem Schiff verbleiben, das entweder vor Anker liegen oder treiben kann. Das Verfahren hat den Vorteil, dass die Ausbringung rasch und mobil erfolgen und ein relativ großer Bereich vergleichsweise kosteneffektiv abgedeckt werden kann. Das Risiko des Geräteverlusts ist gering, die Daten können in Echtzeit überwacht werden, und die Einstellung der Geräte kann in Echtzeit angepasst werden, um optimale Einstellungen für Daten hoher Qualität zu ermöglichen (z. B. zur Verhinderung von Übersteuerung und Verzerrung). Dieses Ausbringungsverfahren ist geeignet für die Messung des durch Schlagrammungen verursachten Schalls, besonders wenn das akustische Feld in Abhängigkeit von der Entfernung von der Quelle gemessen werden muss. Bild 1 zeigt ein Beispiel einer Konfiguration der Ausbringung vom Schiff aus. Bei der Ausbringung vom Schiff aus können Probleme im Zusammenhang mit bestimmten Schiffsgeräuschen auftreten (zu weiteren Einzelheiten siehe 5.3).

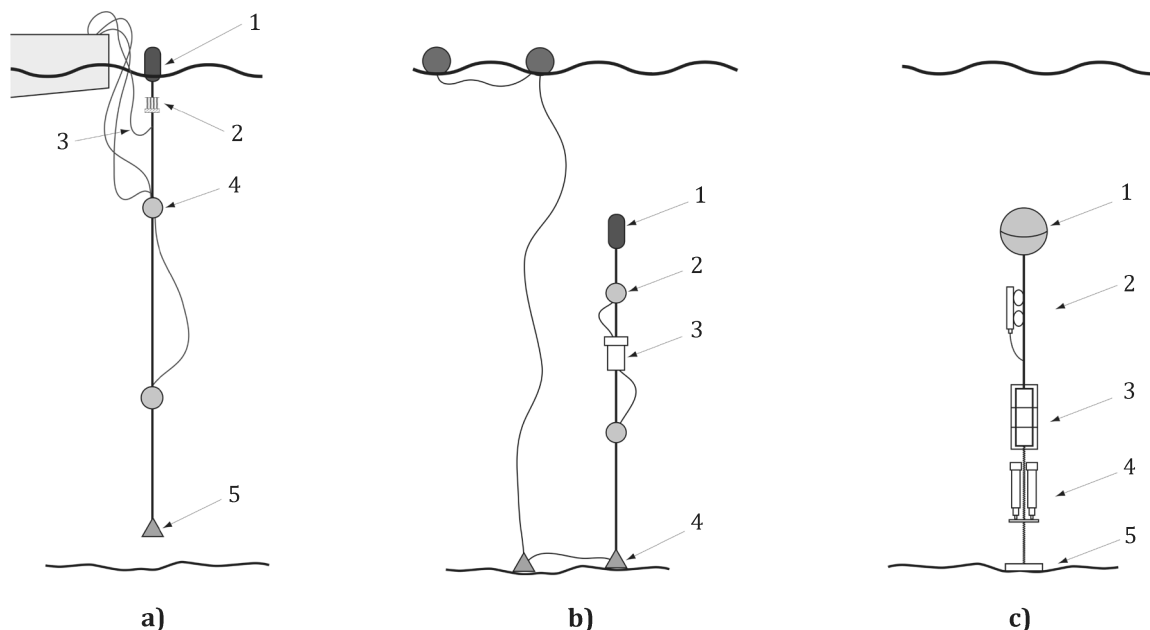
N8) Nationale Fußnote: Es handelt sich um einen externen Spannungseingang zur Feldkalibrierung.

5.1.3 Stationäre Ausbringung (feste Verankerungen)

Stationäre Systeme bilden eine gute Alternative zur Ausbringung vom Schiff aus. Jedes System ermöglicht eine Messung über die Dauer der Schlagammsequenz in einer feststehenden Entfernung. Dies ist von großer Bedeutung, wenn sich die Quellstärke mit der Zeit ändert (wie dies üblicherweise bei der Schlagammung der Fall ist). Bild 1 zeigt ein Beispiel einer Konfiguration der feststehenden Verankerung. Um Messungen als Funktion der Entfernung zu erhalten, dürfen mehrere Einheiten genutzt werden.

Eine Auslegung mit Verankerung am Boden ist gegenüber einer Oberflächenmarkierung zu bevorzugen, um durch Oberflächenwellengang verursachte Störsignale auf ein Mindestmaß zu verringern, das Hydrophon von der schallweichen Grenzfläche fernzuhalten und Störungen durch Schiffe zu minimieren. Kosteneffektive Lösungen für die meisten Arten der Auslegung bzw. Verankerung sind unabhängige archivierende Rekorder, die Daten auf Speicherkarten oder lokalen Festplatten speichern, wobei die Daten erst nach dem Einholen verfügbar sind. Das Einholen erfordert entweder ein akustisches Auslösesystem oder eine von einem Anker am Meeresgrund aus befestigte Oberflächenboje, die es ermöglicht, den Rekorder an die Oberfläche zu holen.

ANMERKUNG Es ist eine Reihe typischer Auslegungs- bzw. Verankerungskonfigurationen möglich, von denen zahlreiche in der wissenschaftlichen Literaturhinweise [27] bis [30] beschrieben sind.



Legende

a)	b)	c)
1 Oberflächenboje	1 Unterwasserboje	1 Unterwasserboje
2 Aufhängevorrichtung ^{N9)}	2 Hydrophone	2 Hydrophone
3 Rückholseil	3 Rekordergehäuse	3 Rekordergehäuse
4 Hydrophone	4 Bodenanker	4 akustischer Auslöser
5 Gewicht		5 Gewicht

Bild 1 — Beispiele für Positionierungskonfigurationen, a) von einem an der Oberfläche befindlichen Seefahrzeug aus, b) am Boden befestigt mit Oberflächenmarkierung und c) am Boden befestigt mit akustischem Auslöser¹⁾

N9) Nationale Fußnote: Ergänzung: (entkoppelnd).

1) © Crown Copyright 2014, mit Erlaubnis zum Nachdruck.

5.1.4 Treibende Systeme

Treibende Systeme bestehen üblicherweise aus einem Hydrophon und einem Rekorder, die an einem Treibanker oder einem Meeresanker befestigt sind, was dazu führt, dass das gesamte System mit der vorherrschenden Strömung treibt. Diese Systeme haben den Vorteil, dass die Auswirkungen des Strömungsgeräuschs in Gebieten mit hohem Tidenhub auf ein Mindestmaß verringert werden. Um ein Protokoll der Positionsdaten zu erhalten, wird ein GPS-Empfänger^{N10)} eingesetzt. Es ist zu beachten, dass ein synchronisierter Zeitstempel auf der Tonspur erforderlich ist, um eine genaue Verbindung zur GPS-Zeit herzustellen.

Ein treibendes System führt keine Messungen an einer einzelnen Position durch, und die Richtung seiner Bewegung ist nur begrenzt steuerbar. Die Entfernung von der Quelle ist ein sehr wichtiger Parameter, der sich permanent ändert, wenn das System an der Quelle vorbeitreibt. Dieses Problem kann gemindert werden, wenn das treibende System mit einem GPS-Empfänger ausgestattet ist, der Positionsdaten liefert, aus denen die Entfernung berechnet werden kann; der Azimutwinkel zwischen Rekorder und Quelle neigt jedoch ebenfalls dazu, sich zu ändern, wenn das System an der Quelle vorbeitreibt. Um das Problem der Richtwirkung teilweise zu umgehen, können mehrere treibende Systeme gleichzeitig eingesetzt werden. Der Einsatz mehrerer Systeme zur gleichen Zeit ermöglicht darüber hinaus die Trennung der zeitlichen von der räumlichen Abhängigkeit für zeitlich variierenden Schall.

5.2 Hydrophon-Positionierung

5.2.1 Tiefe der Hydrophon-Positionierung in Offshore-Gewässern

Das messende Hydrophon muss in der unteren Hälfte der Wassersäule in einer Höhe zwischen 2 m über dem Meeresgrund und der Hälfte der Gesamtwassertiefe stationiert werden (gemessen von der Meeresoberfläche aus) [15][16].

Die räumliche Verteilung des Unterwasser-Schalldrucks ist tiefenabhängig. Eine stärkere Abhängigkeit von der Tiefe liegt im oberen Viertel einer akustischen Wellenlänge in der Wassersäule vor. Daher darf das Hydrophon nicht nahe der Wasseroberfläche positioniert werden. Zu Messungen in Inshore-Gewässern siehe 5.2.2.

ANMERKUNG 1 In einigen Fällen besteht die Notwendigkeit, andere Hydrophon-Tiefen auszuwählen, z. B. wenn sich die vorstehend genannten Tiefen nicht einhalten lassen oder ein besonderes Interesse an den Auswirkungen der Geräusche auf Spezies besteht, die näher am Meeresgrund oder näher an der Meeresoberfläche leben. Schlagrammungen können zu Oberflächenwellen am Meeresgrund um den Pfahl herum führen. Der Schalldruck und die Schallschnelle, die mit diesen Wellen verbunden sind, nehmen mit zunehmender Entfernung vom Meeresgrund rasch ab. Daher sollten die Messungen, wenn es darum geht, die Schallpegel zu untersuchen, die einen Einfluss auf am Grund lebende Spezies haben können, vorzugsweise nahe am Meeresgrund vorgenommen werden.

ANMERKUNG 2 Wenn Hydrophone in Gegenwart starker Strömungen von der Oberfläche aus stationiert werden, wird darauf hingewiesen, dass die tatsächliche Position des Hydrophons durch Lageänderung des Kabels unter dem Einfluss der Strömung beeinflusst werden kann. Das Befestigen eines Gewichts am Ende des Kabels mindert diese Auswirkung; um jedoch die Hydrophon-Tiefe sicherzustellen, kann ein Tiefensensor an den Kabeln neben dem Hydrophon befestigt werden.

5.2.2 Tiefe der Hydrophon-Positionierung in Inshore-Gewässern

Für Hydrophon-Messungen in Inshore-Gewässern, wie z. B. Häfen oder Flussästuarien, muss die Messtiefe des Hydrophons der Hälfte der Wassertiefe an der Messstelle entsprechen.

N10) Nationale Fußnote: Der Begriff „GPS“ wird synonym für satellitengestützte globale Navigationssysteme verwendet.

5.2.3 Anzahl der Hydrophone

Im Allgemeinen hat der Einsatz von mehr als einem Hydrophon je Messstelle mehrere Vorteile.

- *Redundanz*: Bei Ausfall eines Hydrophons oder Messkanals ist eine Reserve gegeben.
- *Dynamikbereich*: Es dürfen zwei Hydrophone mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten gewählt werden, um der Anforderung nach einem größeren Dynamikbereich als dem zu entsprechen, der durch ein einzelnes Messhydrophon oder einen einzelnen Messkanal abgedeckt werden kann.
- *Räumliche Mittelung*: Der Einsatz von mehr als einem Hydrophon ermöglicht die Mittelwertbildung der gemessenen Daten.

Für den Fall, dass zwei Hydrophone eingesetzt werden, wird empfohlen, diese in zwei Tiefen in der unteren Hälfte der Wassersäule anzuordnen, idealerweise zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ der Gesamttiefe (gemessen von der Meeresoberfläche), wobei der Abstand zwischen den Hydrophonen so groß wie (vernünftigerweise) möglich zu wählen ist [15][16].

5.3 Größtmögliche Verminderung des aufbaubezogenen Störgeräusches bei der Ausbringung

5.3.1 Allgemeines

Zusätzlich zum Eigenstörpegel des Messsystems selbst (siehe 4.2.5) können die gemessenen Daten auch durch Signale kontaminiert werden, die vom Aufbau oder dem Ausbringungsverfahren stammen. Dies wird teilweise als „Aufbau-Geräusch“ oder „Geräusche durch das Ausbringungsverfahren oder Ausbringungsgeräusch“ bezeichnet. Diese Störsignale werden durch das Positionierungsverfahren des Hydrophons und des Aufzeichnungssystems sowie deren Wechselwirkung mit der Umgebung (z. B. Strömung, Wellengang usw.) verursacht. Um Störungen durch diese Quellen zu vermeiden, muss bei der Ausbringung der Verankerungssysteme mit großer Sorgfalt vorgegangen werden. Häufig ist es nicht einfach, das Vorhandensein von Störsignalen vorherzusehen oder festzustellen (obwohl sie in den Daten sichtbar sind). Im Allgemeinen addiert sich das aufbaubezogene Ausbringungsgeräusch zum Eigenstörpegel des Systems (siehe 4.2.5) und zum Hintergrundgeräusch.

Im Folgenden werden einige der üblichen Quellen unerwünschter Störsignale betrachtet, die zum aufbaubezogenen Störgeräusch des stationierten Systems beitragen, und es werden Hinweise zur Minderung der Problematik gegeben.

5.3.2 Strömungsgeräusch

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, Störungen durch Strömungsgeräusche zu vermeiden. Jede Strömung des Mediums relativ zum Hydrophon oder Kabel kann turbulente, niederfrequente Druckschwankungen hervorrufen, die durch das druckempfindliche Hydrophon festgestellt werden. Diese Geräusche entstehen in einer turbulenten Schicht um das Hydrophon herum und erzeugen niederfrequente Signale (von typischerweise < 100 Hz), wobei die Frequenz vom Hydrophon-Durchmesser und der Strömungsgeschwindigkeit abhängt. In Umgebungen mit starker Strömung kann dies die Hauptquelle für Verankerungsgeräusche sein. Bei unabhängigen Rekordern, bei denen das Hydrophon aus dem Rekordergehäuse herausragt, kann das Problem durch eine turbulente Strömung um das Ende des Rekordergehäuses hinaus verstärkt werden. Eine starke Flüssigkeitsströmung kann auch zu Schwingungen der Verankerung führen und Resonanzen im Rekordergehäuse hervorrufen.

Minderungsmaßnahme: Es kann ein akustisch durchlässiger Schirm (in seiner Wirkung einer „Sonar-Kuppel“ vergleichbar) eingesetzt werden. Dieser sorgt für einen Abstand der turbulenten Schicht zum Sensorelement des Hydrophons. Dies ist jedoch möglicherweise nicht immer eine praktikable Lösung. Alternativ kann das Hydrophon näher am Meeresgrund positioniert werden, wo die Strömung geringer ist, oder es kann bei Stillwasser gemessen werden, wenn die Gezeitenströmung am geringsten ist (nicht immer möglich). Die andere Haupt-Minderungsmaßnahme besteht im Einsatz *treibender Systeme*, die sich mit der Strömung bewegen und bei denen die relative Bewegung von Hydrophon und Medium beträchtlich verringert ist.

ANMERKUNG Die Überprüfung auf das Vorhandensein strömungsinduzierter Geräusche ist nicht immer einfach, bei Langzeit-Ausbringung besteht jedoch eine recht hohe Wahrscheinlichkeit, dass die bei niedrigen Frequenzen (< 100 Hz) aufgezeichneten Signale mit gezeitenbezogenen Informationen korrelieren. Das Signal des Strömungsgeräusches weist die gleichen zyklischen Schwankungen auf wie die Gezeiten. Wurden Messungen sowohl bei Stillwasser als auch bei voller Gezeitenströmung vorgenommen, können die Auswirkungen des Strömungsgeräusches möglicherweise durch Vergleich der Daten quantitativ bestimmt werden.

5.3.3 Kabelbrummen

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, Störungen durch Kabelbrummen zu vermeiden. Dies tritt auf, wenn Kabel durch die Strömung straff gezogen werden und dann durch die Einwirkung der umgebenden Wasserströmung vibrieren, wodurch sich niederfrequente Störsignale ergeben.

Minderungsmaßnahme: Die Auswirkung kann durch Verankerungen mit Befestigung am Boden und den Einsatz von mechanischen Verkleidungen, häufig in Spiral- oder Helixform um Kabel und Gehäuse herum, abgeschwächt werden [27][28]. Am Boden stationierte Hydrophone an langen aufsteigenden Kabeln können jedoch aufgrund der Gezeitenströmung signifikanten Versatz und Brummen aufweisen. Im Falle einer Oberflächenmarkierung kann das Problem durch Entkopplung des Hydrophons vom Tragseil mithilfe nachgiebiger Kupplungen (z. B. elastisches Tau oder eine flexible Schlaufe) verringert werden.

5.3.4 Bewegung der Meeresoberfläche durch Seegang

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, Störungen durch die Auswirkungen des Hebens und Senkens der Markierung (Boje) an der Meeresoberfläche zu vermeiden. Jedes von der Oberfläche aus stationierte System, z. B. ein an einer Oberflächenboje oder einem Seefahrzeug befestigtes System, hat das Potential, durch Wellengang oder Dünung beeinflusst zu werden. Obgleich die Boje oder das Seefahrzeug den Bewegungen der Oberfläche folgt, ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch das in der Wassersäule hängende Hydrophon den Bewegungen der Wasseroberfläche genau folgen kann, gering, woraus sich Änderungen der Hydrophon-Tiefe ergeben, was wiederum zu niederfrequenten Schwankungen des hydrostatischen Drucks führt, die vom Hydrophon festgestellt werden. Diese Schwankungen des hydrostatischen Drucks werden vom Hydrophon wahrgenommen, und obgleich sie von niedriger Frequenz sind, können sie eine relativ hohe Amplitude haben und erfordern ein System mit großem Dynamikbereich, um Verzerrung und Übersteuerung des ADC im Rekorder zu vermeiden (siehe 4.2.6). Eine Schwankung von 10 cm in der Höhe der Wassersäule über dem Hydrophon verursacht z. B. eine Druckänderung von 1 kPa, entsprechend 180 dB re 1 μ Pa (eine Änderung von 100 cm dagegen hat eine Druckänderung von 10 kPa, entsprechend 200 dB re 1 μ Pa zur Folge).

Minderungsmaßnahme: Das Befestigen des Hydrophons/Rekordergehäuses am Meeresgrund anstatt an der Meeresoberfläche unter Anwendung eines am Boden befestigten Rahmens oder einer Anordnung mit einer Boje unter der Oberfläche verringert das Problem, sofern das Wasser nicht so flach ist, dass sich das Hydrophon nahe der Oberfläche befindet (der Einfluss der Oberflächenwellen sollte vernachlässigbar sein). Im Falle einer Auslegung mit Oberflächenmarkierung verringert die Entkopplung des Hydrophons von der Oberflächenbewegung mithilfe nachgiebiger Kupplungen (z. B. elastisches Tau und/oder Bewegungsdämpfer) das Problem (eine derartige Konstruktion wird teilweise als Antihebungs-Aufhängung bezeichnet). Da die Signalfrequenz sehr niedrig ist (< 10 Hz), können diese Signale auch durch den Einsatz von elektronischen Hochpassfiltern eliminiert werden. Diese Filter müssen jedoch vor dem ADC angeordnet werden, um Übersteuerungen zu vermeiden. Eine Reihe handelsüblicher Hydrophone mit integrierten Vorverstärkern weisen eingebaute Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz zwischen 5 Hz und 10 Hz als Maßnahme zur Minderung des Problems der tieffrequenten Störsignale auf.

5.3.5 Geräusche durch Schiffe

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, Störungen durch Geräusche von Schiffen zu vermeiden. Ausbringungen von einem Schiff aus müssen so geräuscharm wie möglich innerhalb der betriebsbedingten Grenzen des Schiffes und sicherer Arbeitsverfahren durchgeführt werden. Idealerweise sollten die Motoren ausgeschaltet sein und auf dem Schiff selbst so wenig Geräusche wie möglich durch Maschinen und Besatzung verursacht werden (der Schaltzustand der Motoren während der Messungen muss zusammen mit

den Ergebnissen angegeben werden). Vorzugsweise sollte der Generator ausgeschaltet sein, um Geräusche zu vermeiden. Dies erfordert, dass die Messgeräte über Batterien betrieben werden. Ist das Schiff verankert, kann die Ankerkette eine Geräuschquelle bilden. Wenn das Echolot auf dem Schiff Frequenzen innerhalb des interessierenden Frequenzbereichs erzeugt, muss auch dieses während der Messungen ausgeschaltet werden. Falls ein oder mehrere Motoren oder Zusatzsysteme des Seefahrzeugs während der Messungen in Betrieb ist bzw. sind, muss der Betreiber nachweisen, dass die Anforderungen an das Signal-Rausch-Verhältnis eingehalten werden (4.2.4).

Eine weitere Quelle für Geräusche durch die Ausbringung oder Auslegung von einem Schiff aus ist das Geräusch des Wellengangs am Rumpf des Schiffs (teilweise im Englischen auch als "wave slap" bezeichnet). Dieses Geräusch kann durch Ausrichtung des Schiffs in Richtung der Wellen und durch Ausbringung der Hydrophone an langen Kabeln mithilfe von Schwimmern oder Bojen abgeschwächt werden, indem der Abstand zwischen Seefahrzeug und Hydrophonen vergrößert wird; in der Praxis ist dieses Geräusch jedoch nur schwer vollständig eliminierbar.

5.3.6 Mechanische Geräusche

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, Störungen durch mechanische Geräusche zu vermeiden. Diese werden durch Folgendes verursacht: (i) Ablagerungen und/oder Sedimente, die das Hydrophon beeinflussen, (ii) biologischer Abtrag; (iii) aneinander reibende Hydrophone und Kabel; (iv) aneinander reibende Verankerungskabel. Jedes Zusammentreffen von Teilen des Verankerungssystems verursacht Geräusche, die durch das Hydrophon erfasst werden können. Dies gilt besonders dann, wenn die Verankerung Metallteile umfasst, die miteinander in Kontakt kommen können (z. B. Ketten).

Minderungsmaßnahme: Um die Probleme auf ein Mindestmaß zu verringern, ist Folgendes zu tun: die Anwendung metallischer Verankerungen soweit wie möglich vermeiden; Kontakt zwischen Metallteilen vermeiden (z. B. Kontakt mit Schäkeln); den Einsatz von Ketten in Verankerungen und Stützkonstruktionen vermeiden; Vermeiden einer Anordnung der Hydrophone so nahe am Meeresgrund, dass die Hydrophone durch Sedimente beeinflusst werden können; Vermeiden von Kontakt zwischen Hydrophonen und Tragkabeln durch Befestigen mit Schwingungsisolatoren (nachgiebige Kupplungen). Es sollte auch beachtet werden, dass bei einer Langzeit-Positionierung von Zeit zu Zeit Wartungsmaßnahmen erforderlich sind, um biologischen Bewuchs zu entfernen.

5.3.7 Elektrische Störgeräusche

Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, Störungen durch elektronisches Rauschen zu vermeiden. Dieses kann eine signifikante Quelle für Störsignale sein. Im Falle der Positionierung von Seefahrzeugen aus sollten der Generator und der Wechselrichter (ebenso wie der Motor) vorzugsweise abgeschaltet werden, um elektrische Störungen zu vermeiden (die Spannungsversorgung auf Seefahrzeugen kann durch elektrische Störungen beeinträchtigt werden). Dies erfordert, dass die Messgeräte direkt über Batterien betrieben werden.

6 Konfiguration der akustischen Messung

6.1 Räumliche Abtastung (Auswahl der Messstellen)

6.1.1 Kriterien für Messstellen

Die Messstellen sind so zu wählen, dass sie mindestens eine der folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) Messung an einer feststehenden Position, um die Quellstärke zum Zwecke des Vergleichs mit weiteren Schlagrammungsereignissen zu überwachen;
- b) Messungen zum Zwecke der Genauigkeitsbeurteilung von Vorhersagen in Umweltverträglichkeitsprüfung, Umweltverträglichkeitserklärungen oder Umwelterklärungen.
- c) Messung in Entfernungen, die einen Vergleich mit einem normativen Schwellenwert ermöglichen, z. B. wenn davon auszugehen ist, dass bestimmte Einflusskriterien überschritten werden;

- d) Messung an spezifischen Standorten, die aufgrund des Vorhandenseins bestimmter Spezies der Wasserfauna als sensitiv angesehen werden;
- e) Messung zum Zwecke der Ableitung eines Maßes der Quellstärke, die mit anderen Quellen verglichen und bei der Schallkartierung und der Vorhersage von „Einflusszonen“ verwendet werden kann.

6.1.2 Empfohlene Stellen für Offshore-Messungen

6.1.2.1 Mindestanforderungen an Offshore-Messungen

Als Mindestanforderung für Offshore-Messungen des durch Schlagrammungen abgegebenen Wasserschalls gilt, dass Messungen an mindestens einer Stelle vorzunehmen sind. Werden Messungen nur an einer Stelle durchgeführt, so müssen diese in einer Entfernung von möglichst genau 750 m vom Pfahl vorgenommen werden. Diese Messung sollte die gesamte Schlagrammsequenz abdecken. Die tatsächliche Entfernung zwischen Pfahl und Messstellen muss zusammen mit den Ergebnissen im Prüfbericht angegeben werden.

ANMERKUNG 1 Die Entfernung von 750 m wurde aus dem Grund gewählt, dass durch Forscher bereits zahlreiche Messungen in dieser Entfernung vorgenommen wurden, sodass gewisse Vergleiche der Ergebnisse möglich sind. Die Mindestanforderung spiegelt nicht die Anforderungen seitens der jeweiligen Behörden wider; diese dürfen abweichen.

ANMERKUNG 2 Es wird anerkannt, dass, obwohl die Messung in einer feststehenden Entfernung *ein mögliches* Maß der akustischen Quellstärke des Schlagrammens ist, diese nicht unabhängig vom Ausbreitungsweg ist und keine Vorhersagekraft für andere Positionen des untersuchten Pfahls oder für andere Schlagrammszenarios hat.

ANMERKUNG 3 Es ist relativ wahrscheinlich, dass die Messung in einer Entfernung von exakt 750 m nicht möglich ist. Die tatsächliche Entfernung zwischen Pfahl und Messstellen wird zusammen mit den Ergebnissen angegeben.

ANMERKUNG 4 Derzeit besteht kein breiter Konsens hinsichtlich der geeigneten Parameter für die Quellstärke der Schlagrammung, aber die vorstehend beschriebene Messung liefert Daten, die im Falle eines derartigen Konsens für zukünftige Berechnungen von Nutzen sein können; Voraussetzung ist, dass das Bodenprofil entlang des Messpfads keine schwerwiegenden bathymetrischen Merkmale (große Sandbänke oder Gräben) aufweist. Sie können auch wertvoll sein für die Validierung von Modellen der Abstrahlmechanismen von Quellen.

ANMERKUNG 5 Für Messungen, die nicht als „Offshore“ angesehen werden, z. B. in Häfen, Binnenwasserstraßen usw., und bei denen eine Messung in einer Entfernung von 750 m nicht möglich ist, wird auf 6.1.3 zu Messungen in Inshore-Umgebungen verwiesen.

6.1.2.2 Messungen an weiteren Stellen

Falls die Anforderung darin besteht, dass die in 6.1.1 b), c) und d) festgelegten Kriterien erfüllt werden müssen, sind Messungen in zusätzlichen Entfernungen vom Pfahl erforderlich. Diese dürfen in Abhängigkeit von der Anforderung bei einer Vielzahl verschiedener azimuthaler Richtungen vom Pfahl aus vorgenommen werden (siehe 6.1.5). Um die Pegel an der Grenze der Einflusszonen in Bezug auf die Exposition der Meeresfauna zu überwachen, können Messungen in einer signifikanten Entfernung von der Quelle erforderlich sein, in der das akustische Signal durch Ausbreitungsverluste signifikant abgeschwächt wurde.

Die Mindestentfernung für zusätzliche Messstellen muss das Dreifache der lokalen Wassertiefe am Ort des Pfahls betragen.

ANMERKUNG Der Zweck des Mindestentfernungskriteriums dient zur Verringerung des Einflusses der Schwankung mit der Messtiefe. Deren Signifikanz ist bei Entfernungen von weniger als dem Dreifachen der lokalen Wassertiefe am größten (siehe auch 6.1.3.2).

6.1.2.3 Messungen entlang eines Pfades

Messungen können auch als Funktion der Entfernung entlang eines Pfades durchgeführt werden, der in konstanter Richtung von der Quelle ausgeht. Dies ermöglicht eine empirische Abschätzung der Abnahme der akustischen Messgrößen mit dem Abstand.

In diesem Falle müssen die Messungen entlang eines Pfades erfolgen, dessen Bodenprofil keine schwerwiegenden bathymetrischen Merkmale (große Sandbänke oder Gräben) aufweist. Die Messungen entlang eines Pfades müssen mit mindestens einer Messung an einem feststehenden Ort über die gesamte Schlagrammsequenz kombiniert werden. Dieser Pfad darf nicht parallel zu einer Küstenlinie mit starker Böschung gerichtet sein, um bathymetrische Brechungseffekte zu vermeiden [31].

ANMERKUNG 1 Derzeit besteht kein breiter Konsens hinsichtlich der am besten geeigneten Messgröße für die Quellstärke der Schlagrammung, aber die vorstehend beschriebene Messung liefert Daten, die für einen derartigen Konsens bei zukünftigen Berechnungen von Nutzen sein können. Sie können auch wertvoll sein für die Validierung von Modellen zu Abstrahlmechanismen der Quellen.

ANMERKUNG 2 Das Verfahren kann auf zwei verschiedene Arten und Weisen vorangetrieben werden:

- a) Für die Messungen wird eine mobile Messplattform, wie z. B. ein kleines Seefahrzeug, verwendet; bei in Betrieb befindlicher Quelle bewegt sich das Seefahrzeug entlang einem linearen Pfad von der Quelle weg und hält in mehreren verschiedenen Entfernungen von der Quelle an, um Messungen vorzunehmen; gleichzeitig misst eine feststehende Messstation über die gesamte Schlagrammsequenz.
- b) Eine Reihe von Rekordern wird entlang einem von der Quelle ausgehenden linearen Pfad angeordnet, und diese Rekorder messen simultan die abgestrahlten Geräusche entlang des Pfades.

6.1.3 Empfohlene Stellen für Inshore-Messungen

6.1.3.1 Allgemeines

Bei Inshore-Gewässern, wie z. B. Flüssen, Ästuarien und Häfen, unterscheiden sich die Anforderungen an die Messung von denen für Offshore-Gewässer, und es kann sein, dass Messungen in einer Entfernung von 750 m nicht praktikabel oder nicht umsetzbar sind. In diesen Umgebungen sind Messungen näher am Pfahl erforderlich und müssen die in 6.1.3.2 angegebenen Kriterien bezüglich der Messstelle und die in 5.2.2 angegebenen Kriterien bezüglich der Hydrophon-Tiefe einhalten. Alle weiteren Aspekte dieses Dokuments bleiben auch bei Messungen der durch Schlagrammungen in Inshore-Gewässern abgestrahlten Geräusche anwendbar.

6.1.3.2 Auswahl der Messstellen

Für Inshore-Gewässer wird empfohlen, die Messungen in einem Abstand zum Pfahl durchzuführen, der dem Dreifachen der lokalen Wassertiefe am Ort des Pfahls entspricht.

Ist dies nicht machbar, so sollte die Messung im geringsten Abstand durchgeführt werden, der mindestens dem Dreifachen der lokalen Wassertiefe am Ort des Pfahls entspricht.

ANMERKUNG 1 Es liegen sowohl auf Beobachtungen beruhende als auch theoretische Nachweise dafür vor, dass das mit der Schlagrammung in Zusammenhang stehende breitbandige hydroakustische Schallfeld für Messabstände von weniger als dem Dreifachen der Wassertiefe stark tiefenabhängig ist [20][21]. Die vorstehend genannten Kriterien verringern den Einfluss der messtiefenbezogenen Schwankung. Deren Bedeutung ist am größten bei Abständen von weniger als dem Dreifachen der lokalen Wassertiefe und bezieht sich sowohl auf den Spitzenschalldruckpegel als auch den Einzelereignispegel.

ANMERKUNG 2 Für Situationen, in denen die Wassertiefe als Funktion der Entfernung vom Pfahl schwankt, wird zur Festlegung der Mindest-Messentfernung unter den vorstehend genannten Kriterien die Wassertiefe am Pfahl angesetzt.

6.1.4 Messungen des Hintergrundgeräusches für die Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses

Messungen des Hintergrundgeräusches, das anhand des mittleren Quadrats der Spannung des Breitband-Geräusches nach allen Verarbeitungsschritten zu berechnen ist, müssen durchgeführt werden, wenn keine Geräusche von Schlagrammungen vorliegen. Dies kann vor oder nach der Schlagrammung oder aber während signifikanter Unterbrechungen in der Schlagrammsequenz erfolgen. Es wird empfohlen, dass alle diese Messungen an einem der Orte durchgeführt werden, an denen auch die Messung der Schlagrammgeräusche erfolgt, oder an einer Stelle, die als repräsentativ hierfür angesehen wird.

Anhand der Messungen des Hintergrundgeräusches muss das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) ermittelt werden (siehe 3.17).

ANMERKUNG 1 Die zur Ermittlung des Hintergrundgeräusches verwendete Mittelungszeit ist dieselbe wie die zur Messung des zeitgemittelten Signals nach 6.4.2.2.2.

ANMERKUNG 2 Das Hintergrundgeräusch wird über den interessierenden Frequenzbereich ermittelt, d. h. für die Anwendung des vorliegenden Dokuments mindestens über den Bereich von 20 Hz bis 20 kHz. Das Hintergrundgeräusch wird häufig in Terzbändern angegeben.

ANMERKUNG 3 Das Signal-Rausch-Verhältnis wird üblicherweise als Pegeldifferenz in Dezibel angegeben.

6.1.5 Messungen an schräg in den Meeresgrund getriebenen Pfählen

Werden Pfähle schräg in den Meeresgrund getrieben, so sollte der dabei abgestrahlte Schall für die vollständige Beschreibung des akustischen Ausgangs über eine Reihe unterschiedlicher azimuthaler Richtungen vom Pfeiler aus gemessen werden. Dies setzt voraus, dass Messungen an einer Reihe unterschiedlicher Messstellen vorgenommen werden können (siehe 6.1.2.2).

Für diese Messungen muss die Mindestentfernung der Messstelle vom Pfahl das Dreifache der lokalen Wassertiefe am Ort des Pfahls betragen. Für die Messungen muss die azimuthale Richtung vom Pfeiler aus aufgezeichnet werden.

Im Idealfall sollte der Wasserschall von einem einzelnen schrägen Pfahl aus in drei Richtungen gemessen werden: in Richtung der Neigung, in der Gegenrichtung zu dieser und im rechten Winkel dazu.

Winklig eingetriebene Pfähle kommen häufig bei plattformähnlichen Konstruktionen zum Einsatz. Bei plattformähnlichen Konstruktionen bestimmen die verschiedenen Beine bzw. Säulen die Neigungsrichtungen. Für eine vollständige Beschreibung sind mehrere räumlich über das Feld verteilte azimuthale Abtastwerte erforderlich. Als Idealwert werden mindestens vier orthogonale Richtungen empfohlen.

ANMERKUNG Beim Einrammen von Neigungspfählen, die oft auch als „Schrägpfähle“ bezeichnet werden, unterscheidet sich der abgestrahlte Schall je nach Azimutwinkel, weil die beim Einrammen des Neigungspfahls in unterschiedlichen Richtungen abgestrahlte Wellenfront unterschiedliche Höhenwinkel zum Meeresgrund aufweist.

6.2 Zeitbezogene Abtastung — Messdauer

Um den durch die Schlagrammung abgestrahlten Schall als Funktion der Zeit zu charakterisieren, müssen die Messungen über eine Dauer erfolgen, die jegliche Pegeländerung während des Schlagrammens abdeckt. Die Messungen müssen über die Dauer der Schlagrammsequenz in einer festen Entfernung von der Quelle an einer Messstation erfolgen.

ANMERKUNG 1 Die Messstation ist entweder ein stationärer, unabhängiger Rekorder oder ein System, das von einem Seefahrzeug aus ausgebracht oder an einer bestimmten Stelle verankert wird.

ANMERKUNG 2 Die Pegeländerung der Quellstärke während des Schlagrammens ist weithin anerkannt. Sie kann aufgrund von Gezeitenwechseln auftreten, die signifikante Änderungen der Wassertiefe verursachen, oder durch erhöhtes Durchdringen des Meeresbodens oder eine Zunahme der Rammenergie während des Stufenstarts.

6.3 Abstandsmessungen

Der Abstand vom Pfahl zur Messstelle muss mit einer Messunsicherheit von 5 % oder besser bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Die Entfernung kann für relativ kurze Entfernungen mithilfe eines Laser-Entfernungsmessgeräts bestimmt werden. Für größere Entfernungen besteht eine praktikablere Lösung darin, die GPS-Koordinaten von Pfahl und Messposition zu nutzen, um die Entfernung abzuleiten.

ANMERKUNG 2 Wird ein Laser-Entfernungsmessgerät eingesetzt, so kann eine Korrektur um den Pfahlradius notwendig sein, um den Abstand zum Mittelpunkt des Pfahls zu bestimmen.