

DIN ISO 18406

ICS 17.140.30

**Unterwasserakustik –
Messung des abgestrahlten Wasserschalls bei der Schlagrammung von
Pfählen (ISO 18406:2017)**

Underwater acoustics –
Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving (ISO 18406:2017)

Acoustique sous-marine –
Mesurage du son sous-marin émis lors de l'enfoncement de pieux marins (ISO 18406:2017)

Gesamtumfang 44 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
4 Geräteausstattung	13
4.1 Allgemeines	13
4.2 Leistung des Messsystems	14
4.2.1 Empfindlichkeit.....	14
4.2.2 Frequenzbereich und Abtastrate.....	14
4.2.3 Richtwirkung.....	15
4.2.4 Anforderungen an das Signal-Rausch-Verhältnis.....	15
4.2.5 Eigenstörpegel des Systems.....	15
4.2.6 Dynamikbereich.....	16
4.3 Kalibrierung	16
4.3.1 Kalibrierung des Gesamtsystems	16
4.3.2 Überprüfungen durch Feldkalibrierung	17
4.4 Datenspeicherung	17
4.4.1 Datenqualität	17
4.4.2 Zusätzliche Kalibrierdaten	18
4.4.3 Haltbarkeit.....	18
5 Ausbringung für die Messung	18
5.1 Methoden zur Ausbringung	18
5.1.1 Allgemeines	18
5.1.2 Positionierung vom Seefahrzeug aus	18
5.1.3 Stationäre Ausbringung (feste Verankerungen).....	18
5.1.4 Treibende Systeme	19
5.2 Hydrophon-Positionierung.....	20
5.2.1 Tiefe der Hydrophon-Positionierung in Offshore-Gewässern	20
5.2.2 Tiefe der Hydrophon-Positionierung in Inshore-Gewässern.....	20
5.2.3 Anzahl der Hydrophone	20
5.3 Größtmögliche Verminderung des aufbaubezogenen Störgeräusches bei der Ausbringung	21
5.3.1 Allgemeines	21
5.3.2 Strömungsgeräusch	21
5.3.3 Kabelbrummen.....	22
5.3.4 Bewegung der Meeresoberfläche durch Seegang	22
5.3.5 Geräusche durch Schiffe.....	22
5.3.6 Mechanische Geräusche	23
5.3.7 Elektrische Störgeräusche.....	23
6 Konfiguration der akustischen Messung	23
6.1 Räumliche Abtastung (Auswahl der Messstellen).....	23

6.1.1	Kriterien für Messstellen.....	23
6.1.2	Empfohlene Stellen für Offshore-Messungen.....	24
6.1.3	Empfohlene Stellen für Inshore-Messungen	25
6.1.4	Messungen des Hintergrundgeräuschs für die Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses.....	26
6.1.5	Messungen an schräg in den Meeresgrund getriebenen Pfählen	26
6.2	Zeitbezogene Abtastung — Messdauer	26
6.3	Abstandsmessungen.....	27
6.4	Datenverarbeitung und Berechnung der akustischen Messgrößen.....	27
6.4.1	Datenverarbeitungsschritte.....	27
6.4.2	Zu berechnende akustische Messgrößen	28
7	Messunsicherheit	32
7.1	Allgemeines	32
7.2	Quellen der Unsicherheit.....	32
7.2.1	Unsicherheit bei der Kalibrierung der Geräteausstattung	32
7.2.2	Unsicherheit in Bezug auf die Position von Quelle und Empfänger.....	33
7.2.3	Durch die Positionierung hervorgerufene unerwünschte Signale	33
7.3	Bewertung der Unsicherheit	33
8	Angabe der Ergebnisse	33
8.1	Zusatz- und Metadaten	33
8.1.1	Allgemeines	33
8.1.2	Verbindlich vorgeschrieben.....	34
8.1.3	Optional.....	34
8.2	Pfahleigenschaften.....	35
8.3	Konfiguration der Ausbringung.....	35
8.3.1	Verbindlich vorgeschrieben.....	35
8.3.2	Optional.....	36
8.4	Angabe der Messergebnisse	36
8.4.1	Verbindlich vorgeschrieben.....	36
8.4.2	Optional.....	37
	Anhang A (informativ) Betrachtung der Messgrößen der Quelle	38
	Anhang B (informativ) Leitfaden für den Einsatz von Hydrophonen	40
	Literaturhinweise.....	42

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.

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

(en: sound exposure level)

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 (oder 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 auftretenden 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)}

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.

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 μPa .

[QUELLE: IEC 60500:—][24]^{N5)}

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.

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

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/ μ Pa 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 Zählimpulse 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)}

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 kann 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.

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

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/ μ Pa 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.

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 angeschlossenen 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