

ICS 17.140.20; 27.180; 47.020.01

**Hochseewindparks –
In-situ-Ermittlung der Einfügedungsämpfung schallreduzierender
Maßnahmen im Unterwasserbereich;
Text Deutsch und Englisch**

Offshore wind farms –

In-situ determination of the insertion loss of control measures underwater;

Text in German and English

Parcs éoliens offshore –

Détermination in situ de la perte d'insertion des mesures de contrôle sous l'eau;

Texte en allemand et anglais

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer Vornorm erstellt.

Gesamtumfang 48 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Einrichtung	9
4.1 Hydrophone und Analysegeräte	9
4.2 Analysesoftware	9
4.3 Kalibrierung	9
5 Verfahren	10
5.1 Allgemeine Bemerkungen	10
5.2 Vergleichbarkeit der Messungen	10
5.3 Störgeräusch	11
5.4 Messungen an einem einzelnen Pfahl (direktes Verfahren)	11
5.5 Messungen an zwei verschiedenen Pfählen (indirektes Verfahren)	11
6 Messverfahren	12
6.1 Allgemeine Bemerkungen	12
6.2 Zeitliche Reihenfolge der Messungen	12
6.3 Messpositionen	12
6.3.1 Allgemeines	12
6.3.2 Anzahl der Hydrophone / Messpositionen	12
6.3.3 Messabstand	12
6.3.4 Messrichtung	12
6.3.5 Messtiefen	13
6.4 Beispiele für Messkonfigurationen	13
6.4.1 Allgemeines	13
6.4.2 Messkonfiguration 1 — Prüfung der radialsymmetrischen Wirkung	14
6.4.3 Messkonfiguration 2 – Prüfung der Tiefenabhängigkeit	15
6.4.4 Messkonfiguration 3 – Maßnahme mit radialsymmetrischer Wirkung, unabhängig von der jeweiligen Tiefe	15
6.5 Funktionsprüfung und Messbedingungen	16
6.6 Messgrößen und Begleitparameter	16
6.7 Datenaufzeichnung	17
7 Datenaufbereitung	17
7.1 Analysen	17
7.2 Korrektur von Hintergrundgeräuschen	17
7.3 Bestimmung des Einfügungsdämpfungsmaßes	18
7.3.1 Allgemeines	18
7.3.2 Fall 1 — Messung an einem Pfahl	19
7.3.3 Fall 2 — Messung an zwei verschiedenen Pfählen	19
7.4 Unsicherheiten	19
7.4.1 Allgemeines	19
7.4.2 Messunsicherheit	19
7.4.3 Charakterisierung von Schallminderungssystemen	19

7.5	Schalldämpfung für Einzahlwert-Pegelgrößen	20
8	Berichtserstellung.....	20
8.1	Formale Angaben in Berichten.....	20
8.1.1	Titelseite	20
8.1.2	Gleichbleibende Angaben auf nachfolgenden Seiten	20
8.1.3	Unterschriften	20
8.2	Inhalte von Berichten	21
8.2.1	Inhaltliche Aufteilung	21
8.2.2	Anforderung zur Beschreibung der Messungen	21
8.2.3	Anforderung zur Darstellung der Ergebnisse	21
	Anhang A (informativ) Beaufort-Wind-Skala.....	23
	Literaturhinweise.....	24

Vorwort

Dieses Dokument (DIN SPEC 45653:2016-10) wurde vom Arbeitsausschuss NA 001-02-04 AA „Akustische Belastung im Meer“ im Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI erarbeitet.

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

Eine DIN SPEC nach dem Vornorm-Verfahren ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens von DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Zur vorliegenden DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser DIN SPEC sind erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nals@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss:

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6,

10787 Berlin.

Einleitung

Im Rahmen des Vollzugs von Genehmigungs- und Planfeststellungsverfahren (z. B. Nebenbestimmung 14 der Planfeststellungsbeschlüsse des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie) für Offshore-Windenergieanlagen wird geprüft, ob Lärm, der durch Bau, Betrieb und Abriss von Windenergieanlagen verursacht wird, eine mögliche Gefährdung für die Meeresumwelt darstellt. Zur Reduzierung des Schalleintrags können Schallminderungssysteme (Schalldämmmaßnahmen im Wasser) angewendet werden, um die Meeresumwelt zu schützen.

Beispiele für Lärm verursachende Aktivitäten sind Rammarbeiten beim Setzen von Pfählen (z. B. durch Hammerschlag) und Arbeiten zur Entfernung bereits gesetzter Pfähle. Beispiele für Schallminderungssysteme sind Blasenschleier und Kofferdämme, deren akustische Wirksamkeit nachgewiesen werden muss.

Diese Spezifikation beschreibt Messverfahren für die In-Situ-Charakterisierung der Wirksamkeit von Schallminderungssystemen unter Wasser. Die akustische Wirksamkeit eines Systems kann aus Messungen abgeleitet werden, welche unter Verwendung des in Betracht gezogenen Systems und ohne dieses durchgeführt werden. Diese akustische Wirksamkeit des Systems wird als Einfügungsdämpfungsmaß angegeben.

Im Allgemeinen können die Einflüsse von Lärmquelle und Lärmausbreitung auf die Schallmessungen unter Wasser nicht vollständig voneinander getrennt werden. So hat beispielsweise der Meeresboden einen direkten Einfluss auf die Schallquelle. Eine weitere Beeinflussung besteht durch die Schallausbreitung und -abstrahlung über den Meeresgrund. Dementsprechend muss dafür gesorgt werden, dass bei den gewählten Messkonfigurationen vergleichbare Bedingungen bestehen.

Die nach dieser Spezifikation erhaltenen Ergebnisse sind notwendig und hilfreich für:

- den Vergleich mit den akustischen Spezifikationen, z. B. im Rahmen von Genehmigungsverfahren;
- den Vergleich mit anderen Schallminderungssystemen;
- die Ressourcenplanung für den Konstruktions- und Bauprozess von Offshore-Windparks;
- die Weiterentwicklung und Verbesserung von Schallminderungssystemen.

1 Anwendungsbereich

Diese Spezifikation legt zwei Verfahren zur experimentellen Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Schallminderungsmaßnahmen (Schallminderungssystemen) im Wasser fest. Diese beruhen auf einer Messung des Einfügungsdämpfungsmaßes unter Anwendung von Schallminderungssystemen, die mit einer abzuschirmenden Schallquelle durchgeführt wird. Die Verwendung künstlicher Schallquellen und Untersuchungen unter Laborbedingungen finden keine Berücksichtigung.

Abgesehen von der ordnungsgemäßen Verwendung des jeweiligen Schallminderungssystems hängt die schallreduzierende Wirkung auch von den Installationsbedingungen (z. B. Hammertyp, Rammenergie, Pfahldimensionierung) sowie von den Umgebungsbedingungen (z. B. Wassertiefe, Bodenqualität und Bathymetrie, Strömungs- und Windverhältnisse) und der Nebengewegübertragung über den Meeresboden ab.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

DIN 13320:1979-06, *Akustik — Spektren und Übertragungskurven, Begriffe, Darstellung*

DIN EN 61260-1:2014-10, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven — Teil 1: Anforderungen (IEC 61260-1:2014); Deutsche Fassung EN 61260-1:2014*

IEC 60565:2006, *Underwater acoustics — Hydrophones — Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz*

ISO/IEC GUIDE 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60565:2006 und die folgenden Begriffe.

3.1 Schalldruck

p

Differenz zwischen Momentanwert des Absolutdrucks und dem statischen Druck

Anmerkung 1 zum Begriff: Statischer Druck: Druck, der in Abwesenheit von Schallwellen herrschen würde.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Schalldruck wird in Pascal (Pa) angegeben.

[QUELLE: DIN EN ISO 80000-8:2008-01, Nr 8-9.2 (7-9.2), modifiziert: Anmerkung 1 und Anmerkung 2 hinzugefügt]

3.2 äquivalenter Dauerschalldruckpegel

L_p L_{eq}

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des über die Zeit gemittelten Quadrates des Schalldrucks p innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls T zum Quadrat des Bezugsschalldrucks p_0

Anmerkung 1 zum Begriff: Der äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} wird in diesem Dokument auch als Schalldruckpegel L_p bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Als Gleichung geschrieben ist der äquivalente Dauerschalldruckpegel L_p

$$L_p = L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{1/T \int_0^T p(t)^2 dt}{p_0^2} \right] \text{ dB}$$

Dabei ist

- $p(t)$ der Schalldruck;
- p_0 der Bezugsschalldruck (1 µPa);
- T die Mittelungs- und Integrationszeit.

Anmerkung 3 zum Begriff: L_p , L_{eq} werden in diesem Dokument ohne Frequenzbewertung verwendet. Die Pegel werden in Frequenzbändern ermittelt, in dieser Spezifikation vorzugsweise in Terzbändern. Der Schalldruck ist dann eine Bandpass-gefilterte Version des gemessenen Schalldrucks.

Anmerkung 4 zum Begriff: L_p , L_{eq} werden in Dezibel (dB) angegeben.

Anmerkung 5 zum Begriff: Der äquivalente Dauerschalldruckpegel wird auch mit dem Index T gekennzeichnet: $L_{eq,T}$.

Anmerkung 6 zum Begriff: Der äquivalente Dauerschalldruckpegel wird auch als SPL (en: sound pressure level) bezeichnet.

[QUELLE: ISO 1996-1:2016, 3.1.6, modifiziert: Anmerkungen 1, 3, 4, 5 und 6 hinzugefügt. In der Anmerkung 2 (in ISO 1996-1:2016, 3.1.6, Anmerkung 1) wurden für die Bezeichnungen der Intervallgrenzen „0“ und „T“ anstatt „ t_1 “ und „ t_2 “; $p(t)$ anstatt $p_A(t)$ und entsprechend L_{eq} bzw. L_p anstatt $L_{Aeq,T}$ gewählt. Durch die in Anmerkung 3 beschriebene Pegelermittlung ohne A-Filterung entfallen die entsprechende Passagen zur A-Bewertung in Anmerkung 2 (in ISO 1996-1:2016, 3.1.6, Anmerkung 1). ISO 1996-1:2016, 3.1.6, Anmerkung 2 wurde nicht übernommen.]

3.3

Schallexposition

E

Zeitintegral des quadrierten Momentanschalldrucks eines bestimmten Ereignisses

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit der Schallexposition ist Quadratpascal-Sekunde (Pa²s).

Anmerkung 2 zum Begriff: Als Gleichung geschrieben ist die Schallexposition E .

$$E = \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt$$

Dabei ist

- $p^2(t)$ das Quadrat des Momentanschalldrucks als Funktion der Zeit t während der Integrationszeit, die mit t_1 beginnt und zu t_2 endet. Die Einheit der Schallexposition E ist Quadratpascal-Stunden (Pa²h), wenn der Schalldruck in Pascal und die laufende Zeit t in Stunden angegeben werden.

[QUELLE: DIN EN 61252:2003-05, 3.1, modifiziert: Ergänzung Abkürzung E , keine Frequenzbewertung in Definition, Anmerkung 1 und Anmerkung 2. In der Definition wurde „über beispielsweise einen Arbeitstag“ gestrichen, in Anmerkung 1 entfiel der Hinweis zur Umrechnung in „(Pa²h)“.]

3.4

Schallexpositionspegel

L_E

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der Schallexposition, E , zur Bezugsgröße E_0

Anmerkung 1 zum Begriff: Als Gleichung geschrieben ist der Schallexpositionspegel L_E

$$L_E = 10 \lg \left[\frac{E}{E_0} \right] \text{ dB}$$

Dabei ist

E die Schallexposition;

$$E_0 = p_0^2 \cdot T_0 \text{ mit}$$

p_0^2 der quadrierte Bezugsschalldruck ($1 \mu\text{Pa}$)²;

T_0 die Bezugszeitdauer (1 s);

E_0 Bezugsgröße ($1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Schallexpositionspegel L_E wird in Dezibel (dB) angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Es ist auch üblich, die Abkürzung SEL (en: sound exposure level) zu verwenden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Hier wird der Schallexpositionspegel zur Bewertung von Einzelereignissen (z. B. impulsive Schalle wie Rammschläge) verwendet.

Anmerkung 5 zum Begriff: Der Schallexpositionspegel L_E wird ohne Frequenzbewertung verwendet.

[QUELLE: ISO 1996-1:2016, 3.1.5., modifiziert: keine Angabe zur Berechnung von E in Definition (siehe 3.3), Bezugsgröße E_0 verändert, ISO 1996-1:2016, 3.1.5. Anmerkungen 1 bis 6 wurden durch die Anmerkungen 1 bis 5 ersetzt.]

3.5

Einfügungsdämpfungsmaß

D_p

(en: insertion loss)

eines Schallhindernisses (z. B. Blasenschleier, Kofferdamm): Abnahme des Schalldruckpegels an gleicher Stelle durch Einfügen des Hindernisses

Anmerkung 1 zum Begriff: D_p wird als frequenzabhängige Größe der Differenz des L_p ohne und mit Schallhindernis in Terzbändern bestimmt und angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Sonderfall einer frei fortschreitenden Welle wird dieses Abnehmen des Schalldruckpegels auch als Abschirmmaß bezeichnet.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für die Berechnung des Einfügungsdämpfungsmaßes siehe 7.3.

[QUELLE: DIN 1320:2009-12, 5.16, modifiziert: Abkürzung hinzugefügt, Beispiele in Definition angepasst („Blasenschleier, Kofferdamm“ anstatt „Schirm, Schalldämpfer“), Anmerkungen 1 bis 3 hinzugefügt]

3.6

signifikante Wellenhöhe

H_s

Mittelwert des höchsten Drittels in einer Reihe von Wellenhöhen

Anmerkung 1 zum Begriff: Als Gleichung geschrieben ist die signifikante Wellenhöhe H_s

$$H_s = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

Dabei ist

H_j die Reihe von Wellenhöhen;

N Anzahl von Werten in einer Reihe;

j Rang der Wellenhöhe in einer geordneten Reihe absteigend vom höchsten zum niedrigsten Wert.

Anmerkung 2 zum Begriff: H_j entspricht nicht der zeitlichen Abfolge der einzelnen Messung oder Beobachtung, sondern dem Rang der Wellenhöhe, wenn die Reihe von N Werten absteigend vom höchsten zum niedrigsten geordnet wird.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ist ein übliches Maß zur Beschreibung des Seegangs.

3.7

Windgeschwindigkeit

Geschwindigkeit der Luft in 10 m Höhe

Anmerkung 1 zum Begriff: Windgeschwindigkeitsdaten werden anhand der Beaufort-Skala, siehe Anhang A, angegeben. Die Windgeschwindigkeit wird auch in Meter je Sekunde (m/s) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Angabe der Windgeschwindigkeit in m/s wird zusätzlich die Höhe der Messposition über dem Meeresspiegel angegeben.

4 Einrichtung

4.1 Hydrophone und Analysegeräte

Die Messkette für hydroakustische Messungen besteht aus den folgenden Komponenten:

- omnidirektionales Hydrophon (mit Vorverstärker) mit einer konstanten Empfindlichkeit, die über dem Analysefrequenzbereich um weniger als 2 dB abweicht;
- analoger Hochpassfilter (der in den Messverstärker integriert sein darf) zur Begrenzung der Niederfrequenzdynamik der Messdaten;
- Messgerät, bestehend aus Tiefpassfiltern (Anti-Aliasing-Filtern), Verstärkern und A/D-Wandlern, mit der Möglichkeit zur Aufzeichnung von Zeitrohdaten;
- Kabel, Verbindungselemente usw.

Daneben sind die folgenden Prüfmittel, Geräte und Aufzeichnungsmöglichkeiten erforderlich:

- Pistophon zur Funktionsprüfung der Hydrophon-Messkette vor und nach jeder Messung;
- Entfernungsmesser (z. B. Laser, GPS-basiert);
- Ausrüstung zur Aufzeichnung der erforderlichen Daten zur Bestimmung des Schallgeschwindigkeitsprofils (Schallgeschwindigkeit als eine Funktion der Tiefe). Beispielsweise werden CTD-Sensoren zur Bestimmung der Temperatur, der Leitfähigkeit und der Tiefe unter der Wasseroberfläche der CTD-Sonde verwendet. Anhand der gemessenen Größen kann das Schallgeschwindigkeitsprofil bestimmt werden.

4.2 Analysesoftware

Zur Nachbearbeitung und Auswertung der Daten ist eine Analysesoftware erforderlich, welche die folgenden Verfahren beinhaltet:

- Terzanalyse, wobei die Filter den Anforderungen in DIN EN 61260-1:2014-10 entsprechen müssen;
- Schmalbandanalyse und
- zeitliche Mittelung.

Die Datenverarbeitung kann auch im Messgerät selbst erfolgen.

4.3 Kalibrierung

Die Institution, die die Messungen vornimmt, muss sicherstellen, dass die Geräte der akustischen Messkette nach den Herstellerangaben kalibriert sind. Das Kalibrierintervall beträgt maximal 24 Monate.

Die erforderlichen Kalibrierscheine müssen ständig verfügbar gehalten werden.

5 Verfahren

5.1 Allgemeine Bemerkungen

Für die In-Situ-Charakterisierung von Schallminderungssystemen unter Wasser sind zwei Verfahren gebräuchlich: Das direkte Verfahren (siehe 5.4) und das indirekte Messverfahren (siehe 5.5).

5.2 Vergleichbarkeit der Messungen

In diesem Dokument werden zwei Verfahren beschrieben. Gegenstand beider Verfahren ist es, die Einfügungsdämpfung eines Schallminderungssystems im Wasser zu bestimmen. Die Beschreibungen zu beiden Ansätzen zielen darauf ab, sicherzustellen, dass Krafterregung und Randbedingungen der Schallquelle sowie Übertragungseigenschaften zu den Hydrophonpositionen mit und ohne Verwendung des Schallminderungssystems vergleichbar sind.

Messungen nach 5.4 und 5.5 gelten als hinreichend ähnlich, wenn sie die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) gleichartige Konfiguration und Pfahleigenschaften bezüglich:
 - Pfahlgeometrie (z. B. Durchmesser, Länge, Wanddickenverlauf);
 - Material;
 - Gewicht;
 - Pfahlkopfdesign (z. B. Flansch);
 - Eindringtiefe bei den miteinander zu vergleichenden Messkonfigurationen.
- b) ähnliche Umgebungsbedingungen:
 - Wassertiefe am Ort des Pfahls und Hydrophons;
 - signifikante Wellenhöhe;
 - Bodenbeschaffenheit und -schichtung;
 - Bathymetrie;
 - Strömung;
 - Schallgeschwindigkeitsprofil;
 - Windverhältnisse.
- c) ähnliche Betriebsbedingungen:
 - Typ der Ramme (z. B. Hersteller, Ramm- bzw. Rotationsmasse, maximale Schlagenergie bzw. Betriebsfrequenz);
 - Typ der kraftleitenden Verbindungselemente zwischen Ramme und Pfahl (z. B. Schlagplatte, Rammhaube);
 - Schlagenergie bzw. Betriebsfrequenz;
 - Schlagfrequenz.

Sämtliche Abweichungen von den oben spezifizierten Bedingungen müssen bestimmt und dokumentiert werden.

5.3 Störgeräusch

Der Schalldruckpegel der Schallquelle muss so hoch sein, dass am Messort ein Schalldruckpegel erzeugt wird, der mit und ohne entsprechendes Schallminderungssystem den Störgeräuschpegel in den interessierenden Frequenzbändern um mindestens 6 dB oder idealerweise 10 dB übertrifft (siehe 7.2). Störgeräusche wie Kettenklirren (Ankerketten), Stampfgeräusche im Seegang, Schiffsaggregate oder Bewegung der Besatzung, von Seezeichen, Bojen u. a. sind in unmittelbarer Nähe der Messeinrichtung zu vermeiden. Auftretende Störgeräusche sind aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Falls durch den Betrieb der jeweiligen Maßnahme ein zusätzliches Geräusch verursacht wird, muss dies ebenfalls aufgezeichnet und dokumentiert werden.

Störgeräusch-Messungen müssen vor und nach jeder Einzelmessung mit und ohne Schallminderungsmaßnahme durchgeführt werden, um die zeitabhängige Veränderung des Geräusches festzuhalten.

5.4 Messungen an einem einzelnen Pfahl (direktes Verfahren)

Die Messung wird an einem einzelnen Pfahl durchgeführt und besteht aus zwei Messabschnitten, die kurz hintereinander durchgeführt werden, um den Einfluss der Pfahltiefe auf die Schallabstrahlung zu begrenzen. Für diese Art der Messung wird eine der in 6.4 beschriebenen Messkonfigurationen verwendet. Zunächst wird bevorzugt die Messung ohne Schallminderungsmaßnahme während des Rambetriebs durchgeführt (siehe 6.2). Nach diesen Messungen wird die Schallminderungsmaßnahme in Betrieb genommen, und die Messung wird mit aktivem Schallminderungssystem wiederholt. Die Vergleichbarkeit der Bedingungen ohne und mit Schalldämmmaßnahme muss sichergestellt werden (siehe 5.2).

Vorteil dieses Messverfahrens: Für beide Messabschnitte kann die Vergleichbarkeit auf einfache Weise sichergestellt werden, sofern sowohl die Eindringtiefe des Pfahles, als auch die damit angekoppelten Bodenschichten, während beider Messungen vergleichbar sind.

Nachteil dieses Messverfahrens: Bei beiden zu vergleichenden Messungen kann nur eine kurze Zeitspanne bewertet werden. Die Ausbreitungsbedingungen im Wasser vor, bei und nach Aktivierung des Schallminderungssystems weichen voneinander ab. Aussagen zu veränderten Nebenwegeigenschaften können nur getroffen werden, wenn vergleichende Messungen bei unterschiedlichen Eindringtiefen durchgeführt werden.

5.5 Messungen an zwei verschiedenen Pfählen (indirektes Verfahren)

Diese Art der Messungen basiert auf der Durchführung von zwei Messungen an zwei verschiedenen Pfählen, wobei beide Messpositionen den gleichen Abstand zum jeweiligen Pfahl haben müssen (6.3.3). Eine Messung muss an dem Pfahl ohne Schallminderungssystem (ohne installierte Maßnahme) und eine weitere Messung wird an dem Pfahl mit Schallminderungssystem (mit installierter Maßnahme) nach einer der in 6.4 beschriebenen Messkonfigurationen vorgenommen. Bei diesem Verfahren muss darauf geachtet werden, dass die Umgebungsbedingungen und die Messkonfiguration bei beiden separaten Messungen vergleichbar sind (siehe 5.2).

Vorteil des Messverfahrens: Auf diese Weise kann unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen und akustischen Bedingungen eine Beurteilung des Einfügungsdämpfungsmaßes für den gesamten Prozess der Rammarbeiten (mit und ohne Anwendung der Maßnahme), und nicht nur für eine kurze Zeitspanne, wie in 5.4, beschrieben erfolgen.

Nachteil dieses Messverfahrens: Es ist unwahrscheinlich, dass an zwei verschiedenen Messpositionen vollkommen identische Bedingungen bestehen. Insbesondere die Nebenwegübertragung des Schalls über den Meeresboden kann einen Einfluss auf die Ergebnisse haben und eine größere Unsicherheit der Bewertung bezüglich der Wirksamkeit des Schallminderungssystems bedeuten. Zusätzlich können unterschiedliche Bodenverhältnisse zu geänderten Abstrahleigenschaften der Quelle führen.

6 Messverfahren

6.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Messpositionen sind verknüpft mit dem Installationsprozess und mit den durch die akustische Umgebung vorgegebenen Randbedingungen. Aus Sicherheitsgründen und zur Vermeidung einer Messung im akustischen Nahfeld muss ein Mindestabstand des akustischen Messsystems vom Ort der Rammarbeiten (Sicherheitszone) eingehalten werden. Gemäß der geltenden Messvorschrift des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie beträgt die Mindestentfernung zum Pfahl 750 m.

6.2 Zeitliche Reihenfolge der Messungen

Wenn die akustischen Bedingungen durch das Schallminderungssystem beeinflusst werden, nachdem dieses ausgeschaltet oder entfernt wurde (z. B. aufgrund von ins Wasser eingetragener Luft durch Blasenvorhänge), müssen die Messungen zunächst ohne und anschließend mit Schallminderungsmaßnahme durchgeführt werden.

6.3 Messpositionen

6.3.1 Allgemeines

Die Wahl der Messpositionen hängt von der jeweiligen Aufgabenstellung ab. In der folgenden Zusammenstellung wird die Mindestanzahl von Messpositionen und Hydrophonen beschrieben, und eine Erweiterung der Messkonfiguration vorgeschlagen. Die Parameter der Messpositionen müssen definiert und dokumentiert werden. Beispiele für Messkonfigurationen sind in 6.4 angegeben.

6.3.2 Anzahl der Hydrophone / Messpositionen

Zunächst muss geprüft werden, ob eine Abhängigkeit von der Richtcharakteristik des abgestrahlten Schalls (aufgrund der Quelle oder der Schallminderungsmaßnahme) zu erwarten ist. Zur Einschätzung dieser Faktoren müssen die in 5.2 angegebenen Parameter überprüft werden. Zu diesen Maßnahmen zählen beispielsweise Blasenvorhänge in Strömung oder eine Messkonfiguration bei der die Bathymetrie stark von der jeweiligen Messrichtung abhängt. Wenn keine Informationen zur Richtcharakteristik vorliegen, müssen mindestens zwei Messrichtungen und zwei verschiedene Messtiefen in Betracht gezogen werden (siehe Fallbeispiele, 6.4).

Die Messpositionen müssen während der gesamten Messung konstant beibehalten werden. Beim indirekten Verfahren müssen die Hydrophone an exakt denselben geometrischen Positionen zu den Schallquellen angebracht werden.

6.3.3 Messabstand

Der bevorzugte Messabstand beträgt 750 m. Dabei handelt es sich um den für das Genehmigungsverfahren (siehe Einleitung) in Deutschland vorgeschriebenen Wert. Jedoch darf der Abstand geändert werden, wenn dies aus betrieblichen Gründen erforderlich ist. Der Messabstand darf nicht weniger als 750 m betragen und darf nicht größer als 1 100 m sein. Ein zweites Hydrophon ist zum Beispiel im doppelt gewählten Messabstand (mindestens 1 500 m und höchstens 2 200 m) anzubringen.

6.3.4 Messrichtung

Für Messkonfigurationen, bei denen eine Richtungsabhängigkeit zu erwarten ist (z. B. aufgrund eines nicht radialsymmetrisch wirkenden Schallminderungssystems, z. B. Blasenschleier in Strömung, oval, exzentrisch ausgelegt) müssen mindestens zwei Hydrophone in verschiedenen Messrichtungen, aber im selben Abstand zur Schallquelle angewendet werden. Diese beiden Hydrophone sind, sofern keine anderen Erkenntnisse vorliegen, bevorzugt in einem Aspektwinkel zwischen den Messrichtungen von $90^\circ \pm 30^\circ$ anzuordnen (siehe Bild 2).

Bezugnehmend auf den zuvor erwähnten Abschnitt zum Messabstand, sollte ein drittes Hydrophon im genannten Aspektwinkel aber im doppelten Messabstand der beiden genannten Hydrophone installiert werden.

6.3.5 Messtiefen

Es sind Vorkehrungen zu treffen, damit die Anbringungstiefe der Hydrophone (Höhe über Meeresboden) während der Messungen konstant gehalten werden kann.

Es ist üblich, mindestens ein Hydrophon in einer Höhe von 2 m bis 3 m über dem Meeresboden zu installieren. Andere Hydrophon-Konfigurationen sind ebenfalls möglich, z. B. ein Hydrophon oder mehrere Hydrophone in unterschiedlichen Tiefen im gleichen Abstand und gleichen Aspektwinkel zur Schallquelle. Es wird empfohlen, den Einfluss der Messtiefe auf die Einfügungsdämpfung (siehe Bild 3) zu bestimmen, um eine Fehlinterpretation der Messergebnisse zu vermeiden, z. B. auf Grund von starker Schichtung des Wassers und daraus resultierenden Schallgeschwindigkeitsprofilen in Bezug auf die Wassertiefe.

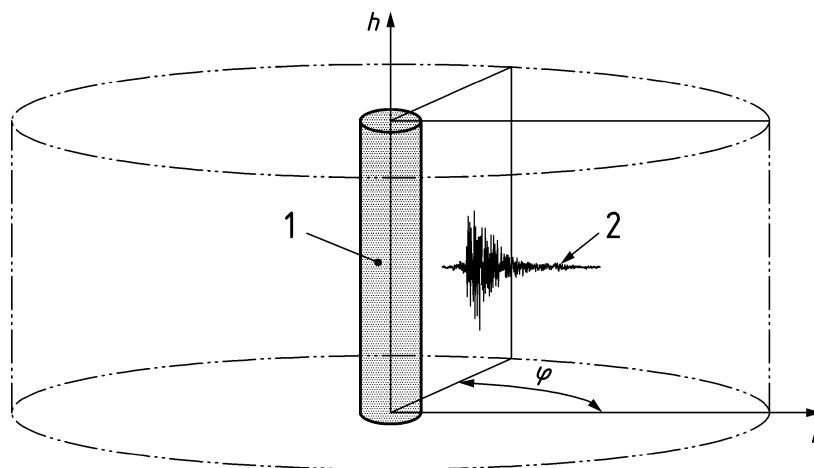
Sollte die Messtiefe der Hydrophone nicht konstant gehalten werden können, so muss der Einfluss (Unsicherheiten) auf die Messergebnisse gesondert beschrieben werden, siehe 7.4.

6.4 Beispiele für Messkonfigurationen

6.4.1 Allgemeines

Die Zielsetzung besteht darin, die Wirksamkeit des Schallminderungssystems zu bewerten. Unter Umständen ist es erforderlich, Messpositionen in unterschiedlichen Richtungen und Messtiefen festzulegen. Daher besteht die Aufgabe des Akustikers darin, vor der Durchführung der Messungen eine geeignete Konfiguration mit repräsentativen Messpunkten zu ermitteln.

Zunächst muss ein Koordinatensystem definiert werden. Eine Möglichkeit dafür ist in Bild 1 dargestellt.



Legende

h	vertikale Richtung	1	Schallquelle
r	radiale Richtung	2	Schallimpuls (zeitlicher Verlauf)
φ	Aspektwinkel		

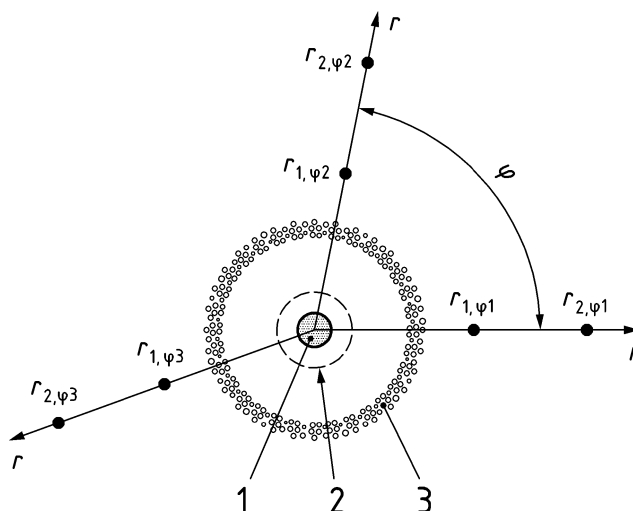
Bild 1 — Koordinatensystem

Vor der Festlegung der Messkonfiguration müssen verschiedene Kriterien geprüft werden, welche die jeweilige Messsituation beschreiben können. Der Akustiker sollte zum Beispiel im Vorfeld klären, ob die Schallquelle und Schallminderungsmaßnahme eine radialsymmetrische Ausbreitungseigenschaft besitzen.

Zur Prüfung kann die Messkonfiguration 1 (siehe 6.4.2) verwendet werden. Weiterhin ist zu klären, ob die Schallabstrahlung der Schallquelle und die Schallausbreitung hinter der Schallminderungsmaßnahme von der vertikalen Position der Hydrophone in der Wassersäule abhängen. Eine eventuelle tiefenabhängige akustische Wirkung einer Schallminderungsmaßnahme bzw. der Schallquelle kann mit der Messkonfiguration 2 (siehe 6.4.3) überprüft werden. Sollten die Wirksamkeit der Schallminderungsmaßnahme und die Schallabstrahlung der Schallquelle tiefenunabhängig und radialsymmetrisch sein, genügt die Verwendung der Messkonfiguration 3 (siehe 6.4.4). In manchen Fällen wurden diese Kriterien bereits durch vorangegangene Messungen geprüft. Sollten zu den drei genannten Kriterien keine Aussagen im Vorfeld der geplanten Messungen möglich sein, müssen vor dem Einsatz einer Schallminderungsmaßnahme in jedem Fall Messungen zur Überprüfung dieser Kriterien durchgeführt werden. Diese Überprüfungsmessungen sind auch ohne den Einsatz einer Schallminderungsmaßnahme an mindestens einem Pfahl durchzuführen, um eine eventuelle Richtwirkung der Schallquelle (z. B. Ramme) auszuschließen. Nur wenn die Schallpegel und die Schall-Ausbreitungseigenschaften der Schallquelle für jeden Pfahl vergleichbar sind, können auch Aussagen zur Wirksamkeit einer Schallminderungsmaßnahme getroffen werden. Weiterhin ist es zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit der durchzuführenden Messungen unverzichtbar zu wissen, inwiefern die jeweiligen Schallpegel der Schallquelle (z. B. Ramme) von der Rammenergie, der Pfahltiefe, den Bodenverhältnissen und den anderen in 5.2 aufgeführten Bedingungen abhängen.

6.4.2 Messkonfiguration 1 — Prüfung der radialsymmetrischen Wirkung

Eine radialsymmetrische Wirkung einer Schallminderungsmaßnahme kann angenommen werden, wenn die Schallminderungsmaßnahme nicht durch Strömung beeinflusst wird und wenn zusätzlich die Bathymetrie in der Umgebung des Pfahls als radialsymmetrisch eingeschätzt werden kann. Bei Unsicherheiten bezüglich einer bestehenden Situation kann die folgende Messkonfiguration (Bild 2) verwendet werden, um die Ausbreitungsbedingungen und die Richtcharakteristik zu überprüfen.



Legende

φ	Aspektwinkel ($90^\circ \pm 30^\circ$)	$r_{1,\varphi 1}$	Hydrophon 1
r	radiale Richtung	$r_{1,\varphi 2}$	Hydrophon 2
1	Schallquelle (Pfahl)	$r_{1,\varphi 3}$	Hydrophon 3
2	Kofferdamm, Beispiel für Schallminderungsmaßnahme	$r_{2,\varphi 1}$	Hydrophon 4
3	Blasenschleier, Beispiel für Schallminderungsmaßnahme	$r_{2,\varphi 2}$	Hydrophon 5
		$r_{2,\varphi 3}$	Hydrophon 6

Bild 2 — Messkonfiguration 1: Überprüfung auf Abhängigkeit der Richtcharakteristik

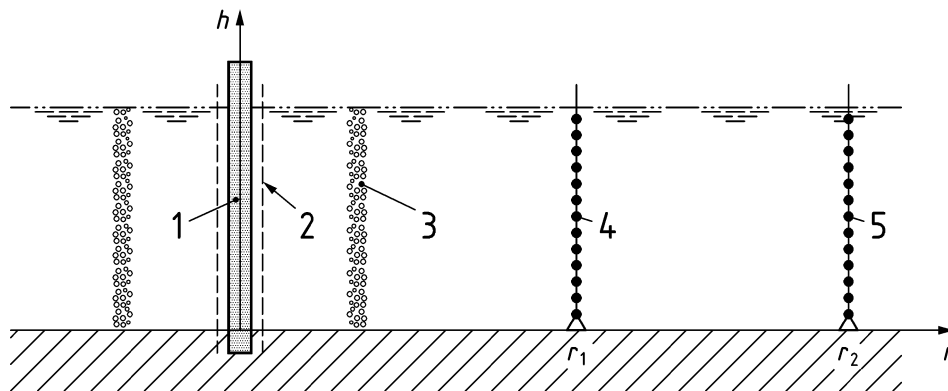
Bild 2 zeigt eine Messkonfiguration mit Hydrophon-Messpunkten in verschiedenen Richtungen. Die Wirksamkeit einer Schallminderungsmaßnahme kann durch das Anbringen von Hydrophonen in unterschiedlichen Richtungen überprüft werden. In der Regel kann mit diesem Ansatz nur das Vorhandensein eines Richtungsverhaltens nachgewiesen werden, jedoch nicht die komplette Verteilung der Richtcharakteristik.

6.4.3 Messkonfiguration 2 – Prüfung der Tiefenabhängigkeit

Falls eine Tiefenabhängigkeit der Wirksamkeit der Schallminderungsmaßnahme nicht ausschließbar ist, sollte die folgende Messkonfiguration (Bild 3) zur Überprüfung dieser Situation verwendet werden.

Ein Beispiel für die Tiefenabhängigkeit der Messergebnisse sind Blasenvorhänge in tiefem Wasser. Die aufsteigenden Blasen weisen aufgrund der sie beeinflussenden Kräfte in Abhängigkeit von der jeweiligen Tiefe unterschiedliche Größen, Formen, Dichten usw. auf. Zur Bewertung dieser Wirkungen sind am entsprechenden Messpunkt mindestens zwei Hydrophone in unterschiedlichen Messtiefen zu verwenden (siehe Bild 3). Der Abstand des ersten Hydrophons zum Meeresboden sollte 2 m bis 3 m betragen.

Weitere Hydrophone sollten in halber Wassertiefe und/oder einem Drittel der Wassertiefe positioniert werden.



Legende

- | | |
|---|------------------------|
| 1 Schallquelle (Pfahl) | h vertikale Richtung |
| 2 Kofferdamm, Beispiel für Schallminderungsmaßnahme | r radiale Richtung |
| 3 Blasenschleier, Beispiel für Schallminderungsmaßnahme | r_1 Abstand 1 |
| 4 Hydrophonkette 1 | r_2 Abstand 2 |
| 5 Hydrophonkette 2 | |

Bild 3 — Überprüfung der Tiefenabhängigkeit

6.4.4 Messkonfiguration 3 – Maßnahme mit radialsymmetrischer Wirkung, unabhängig von der jeweiligen Tiefe

Falls mittels eines anderen Verfahrens die radialsymmetrische Wirkung einer Schallminderungsmaßnahme und die Unabhängigkeit der Messergebnisse von der Tiefe festgestellt wurde, genügt die Messung an zwei Messpunkten in unterschiedlichen Abständen zur Schallquelle. Die Daten an beiden Messpunkten müssen gleichzeitig aufgezeichnet werden. Der Messpunkt im Abstand r_2 zur Schallquelle dient zur Überprüfung der zu erwartenden Pegelunterschiede zwischen den Messpositionen r_1 und r_2 . Für den Fall der Tiefen- und Richtungsunabhängigkeit der Schallminderungsmaßnahme müssen die Messergebnisse in beiden Messentfernungen mittels Umrechnung ineinander überführbar sein.