



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE

## **Offshore-Windparks**

**Messvorschrift für die quantitative Bestimmung der Wirksamkeit von Schalldämmmaßnahmen**

**Bericht Nr. M100004/05**

Auftraggeber: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie  
Bernhard-Nocht-Straße 78  
20359 Hamburg

Bearbeitet von: **MÜLLER-BBM**

Müller-BBM GmbH  
Niederlassung Hamburg

Dr. Andreas Müller  
Dr. Carsten Zerbs

Bramfelder Str. 110b  
22305 Hamburg

Berichtsumfang: 25 Seiten

Stand: Juli 2013

Der vorliegende Bericht (Bericht Nr. M100004/05) wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Studie zu Bewertungsansätzen für Unterwasserschallmonitoring im Zusammenhang mit Offshore-Genehmigungsverfahren, Raumordnung und Meeresstrategierahmenrichtlinie“ im Auftrag des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) unter der Auftragsnummer 10020764 erstellt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Sachstand	5
1.2	Zielsetzung	5
1.3	Anwendungsbereich und Abgrenzung	5
1.4	Allgemeine Anforderung	6
<b>2</b>	<b>Definitionen und Symbole</b>	<b>7</b>
2.1	Begriffe	7
2.2	Pegelgrößen	7
2.3	Einfügungsdämpfungsmaß	8
2.4	Sonstige Messgrößen und Begleitparameter	9
<b>3</b>	<b>Messgeräte</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Kalibrierung</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Messungen zur Beurteilung schalltechnischer Maßnahmen Bestimmung der Schalldämpfung im Einsatzfall</b>	<b>12</b>
5.1	Allgemeines	12
5.2	Schallquelle	12
5.3	Umgebungsbedingungen	12
5.4	Zeitliche Reihenfolge der Messungen	12
5.5	Messpositionen	13
5.6	Beispielkonfigurationen	14
5.7	Funktionsprüfung und Messbedingungen	17
5.8	Messverfahren: Messgrößen und Begleitparameter	17
5.9	Datenaufbereitung	18
5.9.1	Analysen	18
5.9.2	Korrektur von Hintergrundgeräuschen	18
5.10	Bestimmung der in-situ-Einfügungsdämpfung	19
5.11	Schalldämpfung für Einzahl-Pegelgrößen	19
<b>6</b>	<b>Datenspeicherung</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Berichtserstellung</b>	<b>21</b>
7.1	Formale Angaben in Berichten	21
7.1.1	Titelseite	21
7.1.2	Gleichbleibende Angaben auf den nachfolgenden Seiten	21
7.1.3	Unterschriften	21
7.2	Inhalte von Berichten	21

7.2.1	Inhaltliche Aufteilung	21
7.2.2	Anforderung zur Beschreibung der Messungen	22
7.2.3	Anforderung zur Darstellung der Ergebnisse	22
<b>8</b>	<b>Dokumente und normative Referenzen</b>	<b>24</b>
<b>9</b>	<b>Fortschreibung</b>	<b>25</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Sachstand

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ist nach SeeAnIV zuständig für die Genehmigung von Offshore-Windparks in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Im Rahmen von Genehmigungsverfahren für Offshore-Windenergieanlagen ist zu prüfen, inwiefern Schalleinwirkungen durch Bau, Betrieb und Rückbau der Anlagen eine mögliche Gefährdung für die Meeresumwelt darstellen.

Nach dem Umweltverträglichkeitsgesetz (UVP) besteht für Offshore-Windparks die Pflicht, eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen. Im Rahmen der Beantragung wird hierzu vom Antragsteller eine Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) erarbeitet, in der u. a. die möglichen Auswirkungen des Schalleintrags auf die Meeresumwelt beschrieben und bewertet werden.

Die Nebenbestimmung 14 der Genehmigungen des BSH sieht regelmäßig Maßnahmen zur Erfassung und Minimierung des Unterwasserschalls vor. So sind Messungen des Unterwasserschalls während der schallintensiven Arbeiten in vorgegebenen Entfernungen durchzuführen und zu dokumentieren. Schadenvorbeugende und schallminimierende Maßnahmen sind während der Durchführung auf ihre Effizienz hin durch Messungen zu überprüfen. Die Messungen sind zu dokumentieren und die Ergebnisse der Genehmigungsbehörde zu berichten.

Der zeitliche und räumliche Umfang der Schalluntersuchungen wird in dem Standard zur Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windparks auf die Meeresumwelt [1] (StUK4, 2013) beschrieben. Die Messvorschrift des BSH [2] beschreibt die generelle Vorgehensweise für Messungen des Unterwasserschalls in Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Offshore-Windparks.

### 1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Messvorschrift befasst sich mit der *Charakterisierung von Schallminderungsmaßnahmen* unter Wasser. Über den Nachweis hinaus, dass bestimmte Richtwerte eingehalten werden, soll die akustische Wirksamkeit der Minderungsmaßnahme experimentell quantifiziert werden.

### 1.3 Anwendungsbereich und Abgrenzung

Zurzeit gibt es keinen Standard, nach dem die akustischen Eigenschaften einer Schallminderungsmaßnahme unter Wasser erfasst bzw. berechnet werden können. In dieser Vorschrift wird ein Verfahren zur Bestimmung der Schalldämpfung im Einsatzfall von Schallminderungsmaßnahmen während der Konstruktionsphase von Offshore-Windparks festgelegt.

Es wird eine Vorgehensweise zur experimentellen Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Unterwasser-Schalldämmmaßnahmen beschrieben. Diese beruhen auf einer Messung der Einfügungsdämpfung im Einsatzfall, die mit einer abzuschirmenden Schallquelle durchgeführt wird. Die Verwendung künstlicher Schallquellen sowie Untersuchungen bei Laborbedingungen werden nicht betrachtet.

Verfahren mit ähnlicher Zielsetzung für den Luftschall werden beispielsweise in [6] und [7] beschrieben. Ein wesentlicher Unterschied der Anwendung für den Unterwas-

erschall besteht darin, dass der Nachweis der Wirksamkeit nicht nur für ausgewählte Immissionsorte, sondern für repräsentative Immissionsorte zur Charakterisierung der Maßnahme erfolgen soll. Das Einfügungsdämpfungsmaß, englisch „insertion loss“, beschreibt die Abnahme des Schalldruckpegels, streng genommen des Schallintensitätspegels, an gleicher Stelle durch Einfügen eines Hindernisses. Es soll eine Kenngröße für die Lärminderungsmaßnahmen sein, d. h. es ist von Quelle und Entfernung unabhängig. Weiterhin ist der Anspruch, dass die Wirksamkeit der Maßnahme auch in Abhängigkeit von Tiefe und Richtung beurteilt werden kann.

Die mithilfe einer Schallminderungsmaßnahme erreichte Schalldämmung hängt, neben der korrekten Anwendung der Maßnahme, von den Umgebungsbedingungen (beispielsweise Wassertiefe, Beschaffenheit des Bodens, Strömungs- und Windverhältnisse) ab.

#### **1.4 Allgemeine Anforderung**

Begründete projektspezifische oder standortbedingte Abweichungen zur nachstehend beschriebenen Vorgehensweise können mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt werden. Die messenden Institutionen müssen zur Durchführung von Schall- und Schwingungsmessungen über eine entsprechende Qualifikation verfügen. Diese kann über eine Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 ([9]) oder eine vergleichbare Qualifikation nachgewiesen werden. Von den Institutionen ist ein entsprechender Eignungsnachweis zu erbringen.

## 2 Definitionen und Symbole

### 2.1 Begriffe

Die in dieser Messvorschrift verwendeten physikalischen Größen sind in Tabelle 1 zusammen mit ihrem Formelzeichen und der SI-Einheit aufgeführt.

Tabelle 1. Übersicht der verwendeten Größen und Symbole.

Größe	Formelzeichen	SI-Einheit	Bemerkungen
Schalldruck	$p$	Pa	
Schallgeschwindigkeit	$c$	m/s	
Schalleistung	$P$	W	
Schallintensität	$I$	W/m <sup>2</sup>	
Schalldruckpegel	$L_p$		wird in dB angegeben
Schalleistungspegel	$L_P, L_W$		wird in dB angegeben

Zur Definition und Verwendung von Pegelgrößen siehe [2]. Zur Abgrenzung von Maßen siehe ebenfalls [2] und den Abschnitt 2.3 des vorliegenden Dokumentes.

### Einzelschallereignisse

Ein Schallereignis ist ein physikalischer Vorgang, der durch akustische Parameter (Schallfeldgrößen) bestimmt ist. Der Begriff weist auf die physikalische Seite der Schallentstehung hin. Die Schallwahrnehmung wird üblicherweise mit dem Begriff Hörereignis gekennzeichnet.

In der Bauphase von Offshore-Windparks sind die Einzelschallereignisse, insbesondere beim Einsatz von Schlagrammen von Interesse.

### 2.2 Pegelgrößen

Für diese Messvorschrift gelten die nachstehend definierten Pegelgrößen:

- äquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$  für kontinuierliche Schallsignale
- Einzelereignispegel  $L_E$  für impulshaltige Schallsignale
- Spitzenpegel  $L_{peak}$  für impulshaltige Schallsignale

Die verwendeten Pegelgrößen lehnen sich an die Definitionen der ISO 1996-1, [3], an, sind aber nicht identisch mit diesen. So wird die Definition des  $L_{eq}$  ohne Frequenzbewertung vorgenommen. Nach ISO 1996-1 soll die Bestimmung des Spitzenpegels (peak sound pressure level) mit einem Detektor gemäß IEC 61 672 erfolgen, die Definition in dieser Messvorschrift basiert auf der Signalamplitude.

**Äquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$  (oder Mittelungspegel) ist definiert durch**

$$L_{\text{eq}} = 10 \log_{10} \frac{1/T \int_0^T p(t)^2 dt}{p_0^2}$$

wobei  $p(t)$  den Schalldruck,  $p_0$  den Bezugsschalldruck 1  $\mu\text{Pa}$  und  $T$  die Mittelungszeit darstellt<sup>1</sup>.

### Einzelereignispegel (auch: sound exposure level, SEL)

Zur Charakterisierung von impulshaltigen Geräuschen wird der Einzelereignispegel  $L_E^2$  verwendet:

$$L_E = 10 \log_{10} \frac{E}{E_0}$$

mit der Schallexposition  $E$

$$E = \int_0^T p(t)^2 dt$$

und der Bezugsgröße

$$E_0 = p_0^2 \cdot T_0$$

wobei  $p_0$  den Bezugsschalldruck 1  $\mu\text{Pa}$ ,  $T_0$  die Bezugszeitdauer 1s und  $T$  die Mittelungszeit darstellt. Bei der Bewertung von Einzelereignissen entspricht die Mittelungszeit der Dauer  $T_E$  des Ereignisses.

### Spitzenpegel $L_{\text{peak}}$

Diese Größe ist ein Maß für Schalldruckspitzen ohne Zeit-, Frequenzbewertung oder Mittelwertbildung

$$L_{\text{peak}} = 20 \cdot \log_{10} \frac{p_{\text{peak}}}{p_0}$$

wobei  $p_0$  den Bezugsschalldruck 1  $\mu\text{Pa}$  darstellt und  $p_{\text{peak}}$  den maximal festgestellten positiven oder negativen Schalldruck  $p_{\text{peak}}$

$$p_{\text{peak}} = \max(|p(t)|).$$

## 2.3 Einfügungsdämpfungsmaß

Das Einfügungsdämpfungsmaß eines Schallhindernisses (z. B. Schirm, Schalldämpfer) bezüglich eines festgelegten Immissionsortes bezeichnet gemäß [5] die Abnahme des Schalldruckpegels an gleicher Stelle durch Einfügen des Hindernisses,

---

<sup>1</sup> Laut ISO 1996-1 wird der äquivalente Dauerschallpegel auch mit dem Index  $T$  gekennzeichnet  $L_{\text{eq}T}$

<sup>2</sup> Es ist auch gebräuchlich, den Einzelereignispegel  $L_E$  als SEL (sound exposure level) zu bezeichnen.

$$D_p = L_{p2} - L_{p1}.$$

Dabei bezeichnet  $L_{p1}$  den Schalldruckpegel am Immissionsort mit Schallhindernis,  $L_{p2}$  denjenigen ohne Schallhindernis.

$D_p$  ist als frequenzabhängige Größe, und zwar als Differenz der Mittelungspegel  $L_{eq}$  in Terzbändern zu bestimmen und anzugeben.

Im Spezialfall einer frei fortschreitenden Welle wird diese Abnahme des Schalldruckpegels auch als Abschirmmaß bezeichnet.

#### **2.4 Sonstige Messgrößen und Begleitparameter**

Der Seegang ist in der Seegangsskala nach Petersen anzugeben.

Windstärkeangaben beziehen sich auf die Beaufortskala. Angaben der Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde (m/s) oder Knoten (kn) sind ebenfalls zulässig.

### 3 Messgeräte

Die Hydrofon-Messkette für die hydroakustischen Messungen besteht aus folgenden Komponenten:

- Hydrofon (mit Vorverstärker) mit einer Abweichung der Empfindlichkeit von  $< 2$  dB bis zu einer Frequenz von 40 kHz, omnidirektionale Richtcharakteristik
- Analoges Hochpassfilter (der in den Messverstärker integriert sein kann) zur Begrenzung der tieffrequenten Dynamik der Messdaten
- Messfrontend (Messgerät) bestehend aus Tiefpassfiltern (Anti-Aliasing Filter), Verstärkern, A/D-Wandler und der Möglichkeit der Zeitrohdatenspeicherung
- Kabel, Verbindungsglieder etc.

Für die Datennachbearbeitung (Postprocessing) und Auswertung wird eine Analysesoftware benötigt, die folgende Methoden umfasst:

- Terzanalyse. Filter müssen den Anforderungen in [10] entsprechen
- Schmalbandanalyse
- zeitliche Mittelung

Die Datennachbearbeitung kann auch Bestandteil des Messgerätes sein.

Folgende Prüfmittel, Geräte und Aufzeichnungsmöglichkeiten sind weiterhin erforderlich:

- Pistonfon für die Überprüfung der Kalibrierung der Hydrofon-Messkette vor und nach jeder Messung.
- Entfernungsmesser (Laser, GPS).
- CTD-Sensoren, um die zur Bestimmung eines Schallgeschwindigkeitsprofils benötigten Daten zu erfassen.

## **4 Kalibrierung**

Die messende Institution hat sicherzustellen, dass die Geräte der akustischen Messkette gemäß Herstellerangaben kalibriert sind. Das Kalibrierintervall beträgt maximal 24 Monate.

Die hierfür notwendigen Unterlagen in Form von Kalibrierscheinen sind dauerhaft verfügbar zu halten.

## **5 Messungen zur Beurteilung schalltechnischer Maßnahmen Bestimmung der Schalldämpfung im Einsatzfall**

### **5.1 Allgemeines**

Die Ausbringung von stationären Messgeräten ist nach § 2 der Seeanlagenverordnung vom 23. Januar 1997 (BGBl. I. S. 57), durch Artikel 11 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95) geändert worden ist, genehmigungspflichtig. Die Genehmigungspflicht besteht für die Basisaufnahme sowie für die Bau- und Betriebsphase außerhalb der Sicherheitszone und der Betonung der Baustelle. Die Ausbringung von stationären Geräten innerhalb der Sicherheitszone ist mit dem Windparkbetreiber abzustimmen und der Genehmigungsbehörde anzuzeigen.

### **5.2 Schallquelle**

Das akustische Feld mit und ohne Abschirmung während der Vermessung wird mithilfe der tatsächlich abzuschirmenden Schallquelle erzeugt. Bei der Durchführung der Messung sollen vergleichbare Betriebsbedingungen für die abgeschirmte und nicht abgeschirmte Situation gelten: der erzeugte Schall muss reproduzierbar sein und für Messungen mit und ohne Minderungsmaßnahme identisch sein.

Der Quellpegel der Schallquelle muss hoch genug sein, so dass mit und ohne Minderungsmaßnahme ein Schalldruckpegel vorliegt, der den Umgebungsgeräuschpegel in den interessierenden Frequenzbändern um mindestens 6 dB, idealerweise 10 dB, überschreitet. Das Umgebungsgeräusch ist sowohl mit als auch ohne Minderungsmaßnahme zu erfassen und zu dokumentieren, wenn der Betrieb dieser selbst Geräusch verursacht.

### **5.3 Umgebungsbedingungen**

Die Messungen müssen mit und ohne Abschirmung möglichst unter den gleichen Umgebungsbedingungen durchgeführt werden.

- Gleiche Betriebsbedingungen
- Umweltbedingungen (Wetter, Seegang, Strömung)
- Störgeräusche (Schiffsverkehr, Betriebsgeräusche, Arbeiten an entfernten Windparks)

### **5.4 Zeitliche Reihenfolge der Messungen**

Werden durch die Minderungsmaßnahme die akustischen Bedingungen der Umgebung auch nach den Abschalten bzw. Entfernen der Minderungsmaßnahme beeinflusst (beispielsweise durch einen Blasenschleier gelöste Luft bzw. lange verbleibende Blasen), so ist zuerst die Konfiguration ohne Minderungsmaßnahme zu vermessen, anschließend die Konfiguration mit Minderung.

## 5.5 Messpositionen

Die Anzahl und Orte der Hydrofone hängen von der jeweiligen Fragestellung ab, Beispielkonfigurationen sind im Kapitel 5.6 benannt. Nachstehend sind allgemeine Anforderungen beschrieben.

Die Messpositionen sind wie folgt festzulegen:

- Anzahl der Hydrofone / Messstellen:

Mindestens zwei Hydrofone je Richtung an zwei unterschiedlichen Positionen (Messabstand siehe nachstehend beschrieben). Bei Schallminderungsmaßnahmen für die eine Richtungsabhängigkeit der Wirkung zu erwarten ist, sind mindestens vier Hydrofone (zwei Hydrofonpaarungen je Richtung) an unterschiedlichen Positionen zu verwenden. Solche Maßnahmen sind beispielsweise ein Blasenschleier in Strömung oder eine Messkonfiguration mit stark ortsabhängiger Bathymetrie.

- Messabstand:

Bevorzugter Messabstand ist 750 m, aus betrieblichen Gründen kann davon abgewichen werden. Der Messabstand soll 750 m nicht unterschreiten und 1100 m nicht überschreiten. Ein weiteres Hydrofon soll im doppelten Messabstand (mindestens 1500 m, nicht weiter als 2200 m) positioniert werden.

- Messrichtung:

Anordnung unterschiedlicher Hydrofone bevorzugt unter einem Aspektwinkel von  $90^\circ$  mit Bezug auf die Schallquelle. Von dieser Anordnung kann aus betrieblichen Gründen abgewichen werden, die Abweichung sollte jedoch nicht größer als  $30^\circ$  sein (Beispiele dazu siehe Abbildungen).

Das Hydrofon im doppelten Messabstand soll sich in radialsymmetrischer Richtung eines der übrigen Hydrofone befinden.

Mehrere Tiefen: Unterschiedlicher Konfigurationen möglich, z.B. bodennah und in Mitte der Tiefen, Hydrofonarray.

Beim Ausbringen und Positionieren sind, wie in [2] festgelegt, weiterhin folgende Punkte zu beachten:

- Die Hydrofone sind 2 bis 3 m über dem Meeresboden mithilfe von abgesetzten Systemen zu positionieren. Über die gesamte Messzeit ist die gewählte Hydrofontiefe beizubehalten.
- Bei der Aufstellung der Hydrofone ist sicherzustellen, dass störende Körperschallübertragung soweit wie möglich vermieden wird.
- Alternative Messaufbauten sind projekt- und standortspezifisch mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen, z. B. Installation der Hydrofone auf halber Wassertiefe oder Verwendung mehrerer Hydrofone über die Tiefe.

Zur Vermeidung von Fehlinterpretationen von Messergebnissen, z. B. aufgrund von starker Schichtung des Wassers und daraus resultierenden, unterschiedlichen Schallgeschwindigkeitsprofilen, können alternative Ausbringungskonzepte notwendig sein.

## 5.6 Beispielkonfigurationen

Zielsetzung ist, schallreduzierende Maßnahmen räumlich integral beurteilen zu können. Daher ist es die Aufgabe des Akustikers, eine geeignete Konfiguration mit repräsentativen Messpunkten zu ermitteln.

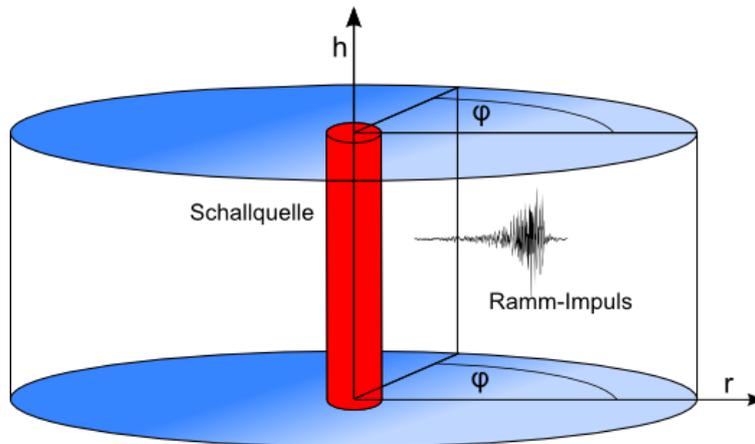


Abbildung 1. Koordinatensystem.

Folgende Fragen müssen u. a. beantwortet werden:

- Wie stellt man sicher, dass vergleichbare Geräuschsituationen, sprich Quellpegel miteinander verglichen werden?
- Ist die Schallabstrahlung tiefenabhängig? Liegt eine Radialsymmetrie vor?
- Hat die Maßnahme eine radialsymmetrische Wirkung?
- Ist die Maßnahme in ihrer Wirkung tiefenabhängig?

Zu a) und b):

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, ist es unabdingbar, Kenntnisse über die jeweiligen Quellpegel in Abhängigkeit von der Rammenergie, Pfahltiefe, Bodeneigenschaften, etc. zu haben, da das Verfahren darauf angewiesen ist, repräsentative Geräuschsituationen mit und ohne Maßnahme zu vergleichen. Sofern das Wissen nicht vorliegt, können Vormessungen an einem Pfahl ohne Maßnahmen erfolgen. Für die eigentliche Vermessung sind dann vergleichbare zeitliche Abschnitte bzgl. der Quellpegel zu verwenden.

Konfiguration1:

Ist man sich sicher, dass die Maßnahme radialsymmetrisch wirkt und von der Tiefe unabhängig ist, reicht es aus, zwei Messpositionen in zwei Entfernungen zu verwenden. Die Messungen müssen zeitgleich durchgeführt werden. Die zweite Entfernung dient als Kontrolle, ob die ermittelten Pegeldifferenzen vergleichbar sind. Ist dieses so, kann von einer Charakterisierung der Maßnahme ausgegangen werden.

In Abbildung 2 ist eine Konfiguration dargestellt, wobei symbolisiert wurde, dass das Hydrofon bodennah bzw. in der Mitte der Wassersäule positioniert wird. Es wird empfohlen, bei dieser Art der Untersuchung ein drittes Hydrofon in einem Aspektwinkel von 90 Grad zu positionieren, um die Annahme der Radialsymmetrie erhärten zu können.

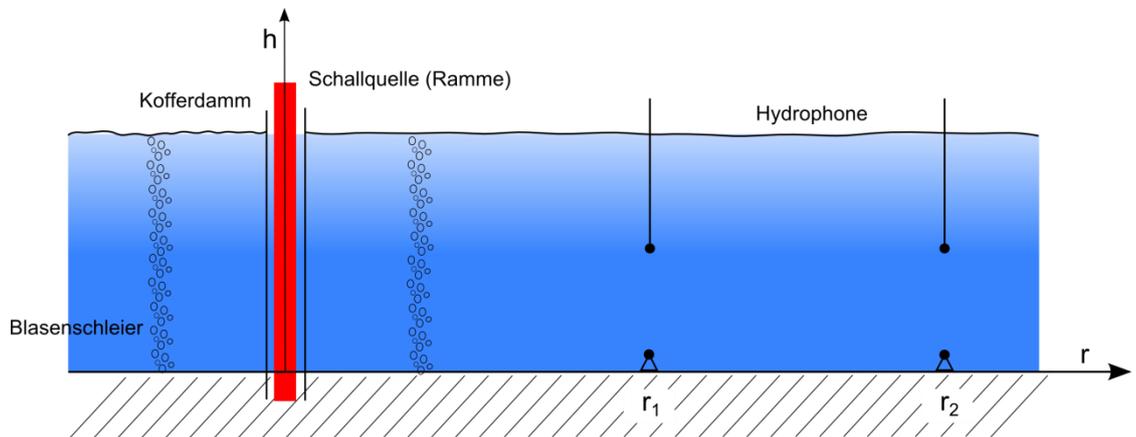


Abbildung 2. Konfiguration 1: Maßnahme wirkt radialsymmetrisch und ist von der Tiefe unabhängig.

#### Konfiguration 2:

Ist nicht sichergestellt, dass Radialsymmetrie vorliegt, wie beispielsweise durch Einflüsse der Strömung, bauteilbedingte unterschiedliche Körperschallentkopplung und somit akustisch unterschiedlicher Nebenwege, so ist dieses durch Messpositionen in unterschiedliche Richtungen zu prüfen, siehe hierzu Beispielkonfiguration in Abbildung 3.

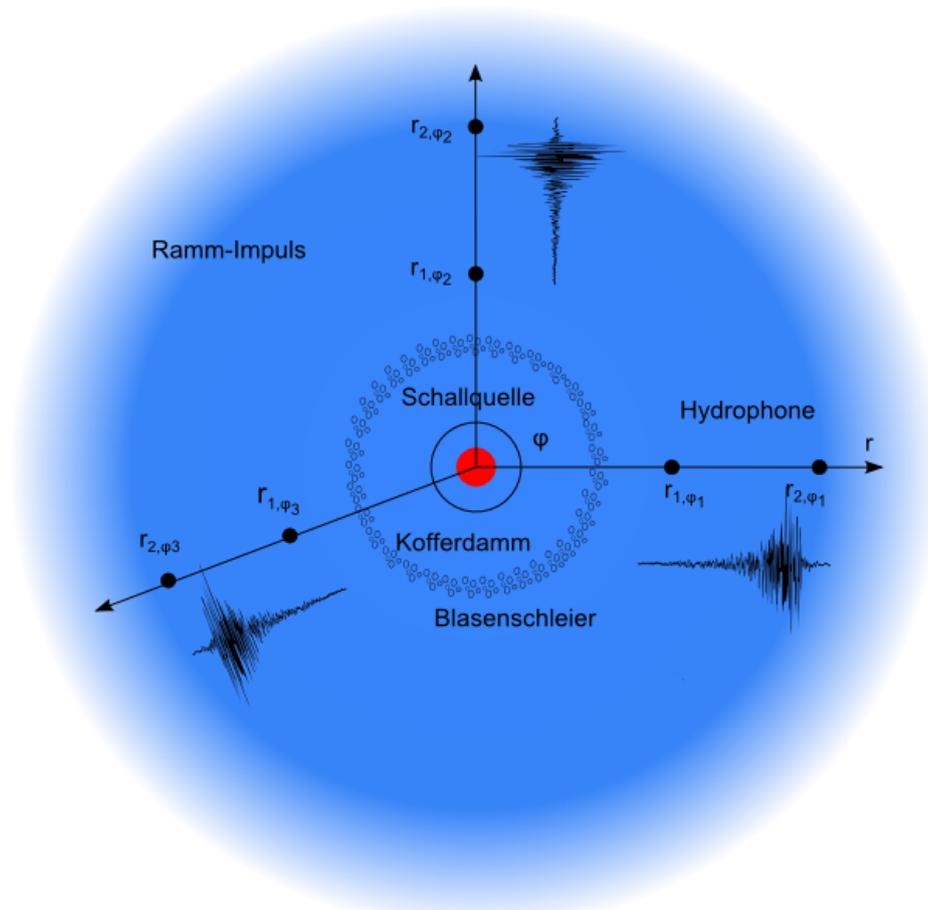


Abbildung 3, Konfiguration 2: Überprüfung der Richtungsabhängigkeit.

Konfiguration 3:

Maßnahmen können von der Tiefe abhängig unterschiedliche akustische Eigenschaften aufweisen. Ein Beispiel sind Blasenschleier, die aufgrund des Aufstiegs der Blasen und der wirkenden Kräfte eine räumliche unterschiedliche Verteilung in Blasengröße, Form, Dichte etc. aufweisen. Weiterhin besteht möglicherweise ein Einfluss der vorherrschenden Strömung, der zu einer Veränderung der akustischen Wirkung führen kann. Zur Beurteilung dieser Effekte sind mindestens zwei Hydrofone pro Tiefe für den jeweiligen Messort zu verwenden, siehe hierzu Abbildung 4.

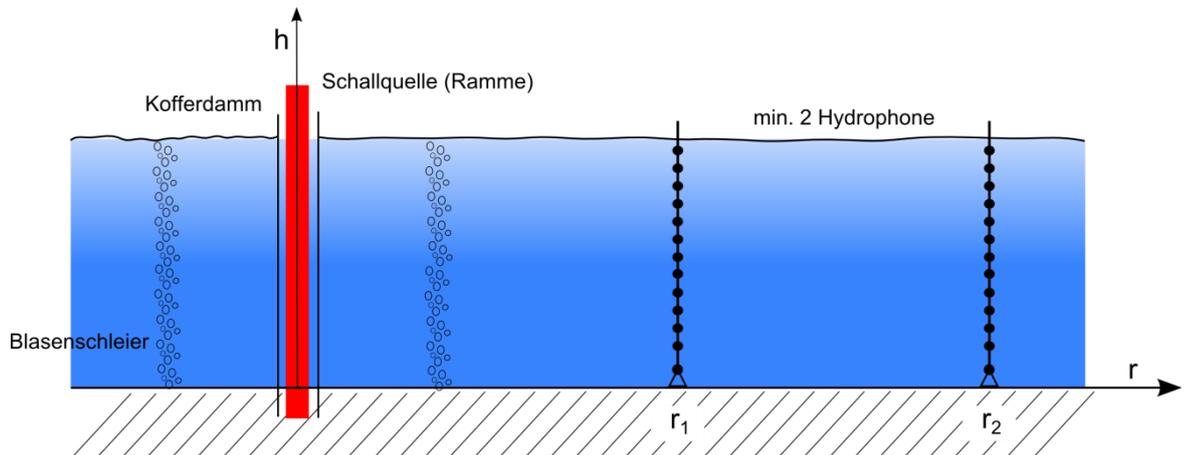


Abbildung 4: Konfiguration 3: Überprüfung der Tiefenabhängigkeit

Konfiguration 4:

Eine Unsicherheit bei der Bestimmung der Einfügungsdämpfung ist die Sicherstellung vergleichbarer Quellpegel. Eine Möglichkeit besteht darin, zwischen Schallquelle und Maßnahme ein Referenzhydrofon zu installieren, siehe hierzu Abbildung 5. Dieses funktioniert nur bei räumlich ausgedehnten Maßnahmen, wie dem großen Blasenschleier. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Maßnahme für Untersuchungszwecke nur halbseitig zu installieren, um somit eine Kontrollmöglichkeit mit/ohne Maßnahme zu erlangen.

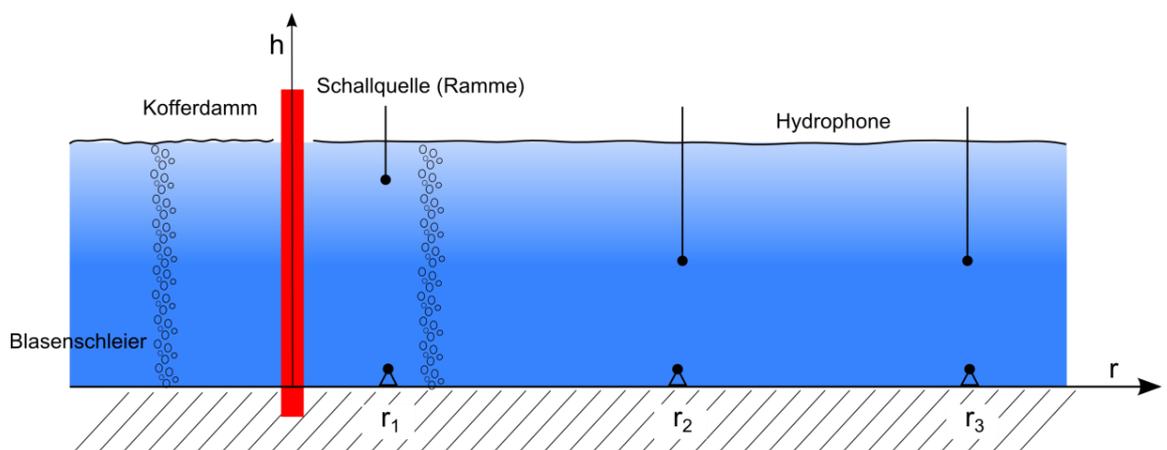


Abbildung 5. Quellkontrolle.

## 5.7 Funktionsprüfung und Messbedingungen

- Die Funktion der Hydrofon-Messkette ist vor und nach den Messungen mit einem geeigneten Pistonfon zu überprüfen. Über die Prüfung ist ein entsprechendes Protokoll anzufertigen.
- Die Messgrößen sind für die im Abschnitt 5.8 angegebenen Messorte zu ermitteln.
- Soweit parallel zur Messung lärmintensive Arbeiten oder Ereignisse stattfinden (beispielsweise Arbeiten an anderem Windpark), die nicht durch das aktuelle Vorhaben verursacht werden, sind die hierdurch verursachten Störgeräusche zu erfassen und zu dokumentieren.

Störgeräusche, wie z. B. Kettenklirren (Ankerketten), Kettengeräusche von Seezeichen und Bojen sind in unmittelbarer Entfernung der Messeinrichtung zu vermeiden. Es ist auszuschließen, dass die Messungen durch Störgeräusche (Stampfgeräusche im Seegang, Schiffsaggregate, Bewegung der Besatzung etc.) verfälscht werden.

## 5.8 Messverfahren: Messgrößen und Begleitparameter

Für die in Abschnitt 5.2 aufgeführten Zustände der Schallquelle (mit und ohne Minderungsmaßnahmen) sowie für die in Abschnitt 5.3 beschriebenen Umgebungsbedingungen (mit und ohne Betrieb der Schallquelle) sind an den in 5.5 folgende akustische Messgrößen zu erfassen:

- Linearer (unbewerteter) Schalldruck (Zeitrohdaten).
- Die Messung und Aufzeichnung des Schalldrucks hat mindestens in einem Frequenzbereich von 10 Hz bis 20 kHz zu erfolgen.

Die Messdauer muss lang genug sein, um repräsentativ für die jeweilige Messkonfiguration und das Geräusch zu sein. Die Messung sollte bei möglichst konstanten Umgebungsbedingungen durchgeführt werden. Abweichungen und Änderungen über die Messzeit sind zu dokumentieren.

Dokumentation und Begleitparameter:

- GPS-Koordinaten.
- Bodenbeschaffenheit.
- Wassertiefe.
- Rammprotokoll mit Rammschlaganzahl, Schlagfrequenz, Pfahldurchmesser, Pfahleindringtiefe und Rammenergie, Vergrämungsprotokoll

Die Begleitparameter sind projekt- und standortspezifisch mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen.

Die folgenden Begleitparameter können in Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde auch von in der Nähe befindlichen Messstationen übernommen werden:

- Windgeschwindigkeit und Windrichtung
- Wassertiefe
- Seegang
- Schallgeschwindigkeitsprofil

- Strömungsgeschwindigkeit und -richtung

Alle Faktoren, welche die Schallmessungen beeinflussen können, sind zu dokumentieren und gegebenenfalls in den Messberichten zu bewerten. Dazu gehören beispielsweise:

- Schiffsverkehr
- Niederschlagsgeräusche (insbesondere Regen)
- Gewitter
- Fische (Fischschulen, insbesondere bei akustisch aktiver Schwimmblase)
- Akustisch aktive Säugetiere
- Sonstige Schallquellen.

## 5.9 Datenaufbereitung

### 5.9.1 Analysen

Folgende Analysen des gemessenen Schalldruckverlaufs sind erforderlich

- Linearer (unbewerteter) Schalldruckpegel:  
Frequenzanalyse in Terzbändern von 10 Hz bis 20 kHz. Eine Reduzierung des auszuwertenden Frequenzbereichs ist ggf. nach Absprache möglich.
- Einzahlwerte (Pegelgrößen) gemäß Abschnitt 2.2

### 5.9.2 Korrektur von Hintergrundgeräuschen

Liegt die Differenz zwischen dem durch die Schallquelle erzeugten Geräusch und dem Hintergrundgeräusch – einschließlich vorhandener Störgeräusche – zwischen 6 dB und 10 dB, so erfolgt eine Korrektur gemäß Gleichung (1).

Überschreitet die Differenz 10 dB, so ist keine Korrektur erforderlich. Beträgt die Differenz weniger als 6 dB, so sind die Umgebungsbedingungen nicht akzeptabel.

Die Korrektur des Hintergrundgeräuscheinflusses muss an jedem Messpunkt wie folgt durchgeführt werden:

$$L_{p,i} = 10 \cdot \lg \left( 10^{L_{pSQ}/10} - 10^{L_{pBG}/10} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Dabei ist:

- $L_{pSQ}$  der Schalldruckpegel im Terzband, gemessen mit aktiver Schallquelle mit bzw. ohne Minderungsmaßnahme
- $L_{pBG}$  der Schalldruckpegel im Terzband, gemessen ohne Schallquelle (Hintergrundgeräusch) mit bzw. ohne Minderungsmaßnahmen
- $L_{p,i}$  ist der interessierende Schalldruckpegel (mit oder ohne Minderungsmaßnahme) im  $i$ -ten Terzband.

### 5.10 Bestimmung der in-situ-Einfügungsdämpfung

Die Schalldämpfung im Einsatzfall,  $D_p$ , in Terzbändern ist für einen Messpunkt durch folgende Gleichung gegeben:

$$D_p = L_{p1} - L_{p2}$$

Dabei ist:

- $L_{p1}$  der Schalldruckpegel ohne Abschirmung im Terzband,
- $L_{p2}$  der Schalldruckpegel mit Abschirmung im Terzband.

$L_{p1}$  und  $L_{p2}$  zeitgemittelte Schalldruckpegel.

Bei der Mittelung über die Zeit muss darauf geachtet werden, dass gleiche Bedingungen verglichen werden, d.h. die Anzahl der Pulse pro Mittelungszeitraum sollte gleich sein, z. B. 10 s Mittelungszeit mit jeweils 5 Schlägen. Zur Vergleichbarkeit sollten mehrere Zeitabschnitte mit/ohne Maßnahme untersucht werden.

Die zeitgemittelten Schalldruckpegel sind den jeweiligen Störpegeln in Terzen für jede Messposition gegenüberzustellen.

Die Einfügungsdämpfung ist für jede Messposition zu ermitteln.

Weiterhin sind die Einfügungsdämpfungen mit den Positionen gleicher Radialwinkel zu vergleichen um sicherzustellen, dass die ermittelten Pegeldifferenzen die Maßnahme charakterisieren.

Für alle Positionen sind die minimal sowie maximal erzielten Einfügungsdämpfungsmaße zu ermitteln und die Streubreite in Terzbändern darzustellen.

### 5.11 Schalldämpfung für Einzah-Pegelgrößen

Analog zur Einfügungsdämpfung in Abschnitt 5.10 kann auch eine Schalldämpfung für die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Einzah-Pegelgrößen angegeben werden. Dies wird im hier beschriebenen Anwendungsfall als nicht sinnvoll erachtet, da diese Einzah-Pegelgrößen abhängig von der Quelle sind und nicht die Maßnahmen charakterisieren. Diese Größen gelten lediglich für den einzelnen Messpunkt bzw. Messabstand.

## **6 Datenspeicherung**

Alle Messdaten (Zeitrohdaten) sowie die aufbereiteten und ausgewerteten Daten sind für weitere Auswertungen für einen Zeitraum von zehn Jahren verfügbar zu halten und bei Anforderung der Genehmigungsbehörde zu übergeben. Das Datenformat ist mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen.

Die Datenübermittlung an die Genehmigungsbehörde ist in Windows PCmM WAV mit 24-bit Auflösung einschließlich der Begleitparameter vorzunehmen.

## **7 Berichtserstellung**

### **7.1 Formale Angaben in Berichten**

#### **7.1.1 Titelseite**

Die Titelseite soll mindestens folgende Angaben enthalten:

- Titel (mit Nennung des Projektes),
- Berichtsnummer,
- Name der Firma,
- Datum des Berichtes, ggf. mit Revisionsstatus,
- Name und Anschrift des Auftraggebers,
- Datum der Messungen,
- Ort der Messungen,
- Namen der Mitarbeiter,
- Angabe der Gesamtseitenzahl des Berichtes, einschließlich Anhang,
- Wenn im Anhang eine eigene Nummerierung der Seiten durchgeführt wird, soll zusätzlich auch die Anzahl der Seiten des Anhangs auf dem Titelblatt angegeben werden.

#### **7.1.2 Gleichbleibende Angaben auf den nachfolgenden Seiten**

Alle nachfolgenden Seiten müssen folgende Angaben enthalten:

- Name der Firma,
- Berichtsnummer,
- Datum,
- Seitennummerierung.

Die Angabe der Gesamtseitenzahl auf den Folgeseiten ist nicht erforderlich.

#### **7.1.3 Unterschriften**

Der Bericht wird in der Regel vom Verfasser unterschrieben.

### **7.2 Inhalte von Berichten**

#### **7.2.1 Inhaltliche Aufteilung**

Der Bericht sollte nachfolgende Gliederung beinhalten:

- Angaben zur Durchführung der Untersuchungen,
- Angaben zu den Ergebnissen,
- Beurteilungen.

### 7.2.2 Anforderung zur Beschreibung der Messungen

Wenn Prüfungen nach festgelegten Verfahren vorgenommen wurden, müssen im Text *mindestens* die folgenden Angaben enthalten sein:

- Bezeichnung und Beschreibung des Messaufbaus.
- Beschreibung des Messobjektes wie Fundamenttypen, Rammverfahren und Rammzeiten.
- Bezeichnung der Prüfspezifikation oder Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens.
- Wenn „in Anlehnung“ an eine Norm geprüft wird, ist zu beschreiben, wo das Prüfverfahren von der Norm abweicht.
- Informationen, die für die Prüfung bzw. Wiederholbarkeit der Prüfung von Bedeutung sind.
- Angaben zu den durchgeführten Messungen und Untersuchung sowie über die daraus abgeleiteten Ergebnisse. Diese Angaben werden in der Regel ergänzt durch Tabellen, Grafiken, Skizzen und Fotos. Dabei ist insbesondere zu dokumentieren, inwieweit das Schallgeschwindigkeitsprofil Auswirkungen auf die Messergebnisse haben kann.
- Angaben über die verwendeten Prüfmittel (Bezeichnung, Hersteller, Typ, Seriennummer) und die eingesetzte Software (Bezeichnung, Hersteller, Typ, Revision/Änderungsstatus).
- Um die Auswirkungen von nachträglich als fehlerhaft erkannten Prüfmitteln auf Prüfergebnisse zurückverfolgen zu können, muss die Seriennummer von Messgeräten bzw. die Revision von Berechnungsprogrammen angegeben werden.
- Die Verwendung geeichter Messgeräte ist zu vermerken, ebenso der Vermerk über die Überprüfung der Funktion der Hydrofonmesskette vor und nach jeder Messung.
- Angaben zur Messunsicherheit.

### 7.2.3 Anforderung zur Darstellung der Ergebnisse

Auf den Diagrammen sind nachfolgende Informationen zu benennen:

- Messobjekt, Messposition
- Bezugsgrößen
- Analyseinformationen, Terz/Schmalband mit Angabe der Bandbreite, ggf. Information zu Bandbreitenumrechnung etc.
- Mittelungszeitraum
- Seegangverhältnisse, Strömungseigenschaften, Windgeschwindigkeit
- Zeit und Dauer der Rammung sowie Rammenergie aus dem Rammprotokoll, Zeit und Dauer des Soft-Starts, Zeit, Dauer und Art der Schallminderungsmaßnahmen
- Bezugsgrößen (Pegeldarstellung)

- Bei Frequenzdarstellungen ist ein standardisiertes Format zu verwenden:  
10 dB = 20 mm; 1 Oktave = 15 mm

## 8 Dokumente und normative Referenzen

- [1] BSH (2013): Standard „Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK4)“, Stand Oktober 2013.
- [2] BSH (2011): Offshore-Windparks, Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen, Stand Oktober 2011.
- [3] ISO 1996-1 (2003-08): Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedure.
- [4] ISO 1996-2 (2007-03): Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels.
- [5] DIN 1320: 2009-12: Akustik – Begriffe.
- [6] DIN EN ISO 11821:1997-08: Akustik – Messung der Schalldämpfung von versetzbaren Schallschirmen im Einsatzfall.
- [7] ISO 10847:1997(E): Acoustics – In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types.
- [8] DIN 1304-1:1994-03: Formelzeichen – allgemeine Formelzeichen.
- [9] DIN EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien.
- [10] DIN EN 61260:2003-03: Elektroakustik - Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven (IEC 61260:1995 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 61260:1995 + A1:2001.

## 9 Fortschreibung

Diese Messvorschrift ist Bestandteil des Standards zur Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK) und wird nach Bedarf - jedoch spätestens nach zwei Jahren - auf der Grundlage der gewonnenen Erfahrungen und den Erkenntnissen, die sich bei der Anwendung ergeben haben, abgeglichen und ggf. fortgeschrieben werden.



Dr. Andreas Müller



Dr. Carsten Zerbs