



**BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE**

**Offshore-Windparks  
Prognosen für Unterwasserschall**

**Mindestmaß an Dokumentation**

**Bericht Nr. M100004/29**

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: 19 Seiten

Stand: Juli 2013

Der vorliegende Bericht (Bericht Nr. M100004/29) wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben *alpha ventus* zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH (StUKplus)“ im Auftrag des BMU (Förderkennzeichen 0327689A) und im Rahmen des Forschungsvorhabens „Studie zu Bewertungsansätzen für Unterwasserschallmonitoring im Zusammenhang mit Offshore-Genehmigungsverfahren, Raumordnung und Meeresstrategierahmenrichtlinie“ im Auftrag des BSH (Auftragsnummer 10020764) erstellt.

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

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbemerkung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Definitionen und Symbole</b>	<b>7</b>
2.1	Begriffe	7
2.1.1	Einzelerschallereignisse	7
2.2	Pegelgrößen	7
2.3	Begriffe Prognose	9
2.3.1	Quellpegel – Source Level SL	9
2.3.2	Ausbreitungsverlust – Transmission Loss TL	9
2.3.3	Schalldruckpegel am Immissionsort – Received Level RL	9
2.3.4	Flachwasserschallausbreitung	9
2.4	Sonstige Begleitparameter	10
<b>3</b>	<b>Allgemeines zu Prognosen in den jeweiligen Projektphasen</b>	<b>11</b>
3.1	Beschreibung der Prognosemodelle und der Eingangsdaten	11
3.1.1	Quellpegel	11
3.1.2	Ausbreitungsmodell	11
3.2	Allgemeine Parameter	12
3.2.1	Immissionsorte	12
3.2.2	Prognosegrößen und Untersuchungsparameter	12
3.2.3	Untersuchter Frequenzbereich	12
<b>4</b>	<b>Bauphase</b>	<b>13</b>
4.1	Prognoseumfang	13
4.2	Begleitparameter	13
4.3	In der Prognose zu berücksichtigende Immissionsorte	14
4.4	Auswertung und Darstellung	14
4.5	Bewertung	14
<b>5</b>	<b>Prognosen für den Betrieb des gesamten Windparks</b>	<b>15</b>
5.1	Prognoseumfang	15
5.2	Begleitparameter	15
5.3	Immissionsorte	15
5.4	Auswertung und Darstellung	15

<b>6</b>	<b>Berichtserstellung</b>	<b>16</b>
6.1	Formale Angaben in Berichten	16
6.1.1	Titelseite	16
6.1.2	Gleichbleibende Angaben auf den nachfolgenden Seiten	16
6.1.3	Unterschriften	16
6.2	Inhalte von Berichten	16
6.2.1	Inhaltliche Aufteilung	16
6.2.2	Anforderung zur Beschreibung der Prognosen	17
6.2.3	Anforderung zur Darstellung der Ergebnisse	17
<b>7</b>	<b>Dokumente und normative Referenzen</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Mitwirkung</b>	<b>21</b>

## 1 Vorbemerkung

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 (UVPG) 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 im Rahmen der Basisaufnahme Prognosen zu erstellen und Messungen des Unterwasserschalls während der schallintensiven Arbeiten in vorgegebenen Entfernungen durchzuführen und zu dokumentieren. Schadensschützende und schallminimierende Maßnahmen sind durch Prognosen zu bewerten und während der Durchführung auf ihre Effizienz hin durch Messungen zu überprüfen. Die Messungen sind zu dokumentieren und die Ergebnisse der Genehmigungsbehörde zu berichten.

Derzeit fehlen jedoch weltweit validierte Erfahrungswerte hinsichtlich des Unterwasserschalleintrags aus der Errichtung und dem Betrieb von Offshore-Windparks. Dies hängt nicht zuletzt mit dem Fehlen von standardisierten Messverfahren und validierten Ausbreitungsmodellen zusammen.

Der zeitliche und räumliche Umfang der Schalluntersuchungen wird in dem Standard zur Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windparks auf die Meeresumwelt (StUK4, 2013, [1]) beschrieben. Hierzu sind im Vorfeld der Bauphase Prognosen und Messungen durchzuführen und während der Bauphase und in der Betriebsphase Unterwasserschallmessungen durchzuführen. Die ersten Erkenntnisse aus den Schalluntersuchungen im Testfeld „alpha ventus“ (itap 2011, [19]) und aus Schallmessungen an Offshore Forschungsplattformen sowie Messmasten lieferten die Grundlage, das bisherige Messverfahren nach StUK zu überarbeiten und in einer detaillierten Messvorschrift zusammenzufassen. Die Messvorschrift ist Bestandteil des StUK und wird als Anlage geführt.

Die nachstehende Vorschrift beschreibt die generelle Vorgehensweise für die Dokumentation von Prognosen des Unterwasserschalls in Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Offshore-Windparks. Die hier nachstehend aufgelisteten Untersuchungen decken zusammen mit den angeforderten messtechnischen Untersuchungen alle vier Phasen der Genehmigungs- und Vollzugsverfahren von Offshore-Windparks in der deutschen AWZ ab:

Diese Vorschrift beschreibt die Mindestanforderung an der Dokumentation für Prognosen ab. Es sind bei den vier Projektphasen

- a) Basisaufnahme - Voruntersuchungen
- b) Bauphase
- c) Betriebsphase
- d) Rückbauphase

messtechnische Untersuchungen durchzuführen. Die durch den Bau und den Betrieb von Offshore-WEA im Wasser zu erwartenden Wasserschallimmissionen sind durch Rechnungen zu ermitteln und den Vorgaben, sofern gegeben, gegenüberzustellen.

Dieses Dokument beschreibt das Mindestmaß an der Dokumentation von Prognosen. Begründete projektspezifische Abweichungen zur nachstehend beschriebenen Vorgehensweise können mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt werden.

## 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	Bemerkung
Schalldruck	$p$	Pa	
Schallgeschwindigkeit	$c$	m/s	
Schallleistung	$P$	W	
Schallintensität	$I$	W/m <sup>2</sup>	
Schalldruckpegel	$L_p$		wird in dB angegeben
Schallleistungspegel	$L_p, L_w$		wird in dB angegeben

Eine umfangreiche Übersicht weiterer Pegelgrößen einschließlich ihrer Definition wird in Abschnitt 2.2 beschrieben.

#### 2.1.1 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 Vorschrift gelten die nachstehend definierten Pegelgrößen:

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

wobei der erste relevant für die Betriebsphase und die anderen für die Bauphase sind.

Die verwendeten Pegelgrößen lehnen sich an die Definitionen der ISO 1996-1(2003) an, sind aber nicht identisch mit diesen. So wird die Definition des  $L_{\text{eq}}$  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 Vorschrift basiert auf der Signalamplitude.

Die Anwendung dieser Pegelgrößen wurde in einer Studie von Elmer, Betke, Neumann (2007), [18] untersucht.

Derzeit sind für die Bewertung keine Frequenz- und Zeitbewertungen für stationäre und impulshaltige Signale vorgegeben.

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

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

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  $L_E$ <sup>2</sup> 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 1 s und  $T$  die Mittelungszeit darstellt. Bei der Bewertung von Einzelereignissen entspricht die Mittelungszeit der Dauer  $T_E$  des Ereignisses.

---

<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.



### 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 Begriffe Prognose

### 2.3.1 Quellpegel – Source Level SL

Der Quellpegel SL symbolisiert die Schalleistung einer Schallquelle. Er wird in der Literatur oft als der Schalldruckpegel bezeichnet, der im idealisierten Fall aus einem Kugelstrahler „gemessen“ in 1 m Abstand besteht.

Anmerkung:

Dieser Wert ist eine virtuelle Größe, die nicht messtechnisch in 1 m Abstand ermittelt werden kann. Dieses hat im Wesentlichen drei Gründe. Erstens ist eine Quelle räumlich ausgedehnt und kann in 1 m Abstand nicht als Punktquelle angenommen werden, zweitens ist in 1 m Abstand das Nahfeld vom abstrahlfähigen Fernfeld nicht trennbar, drittens weist eine räumlich ausgedehnte Quelle üblicherweise Richtcharakteristiken auf und somit müssten als Basis eine Schallintensität betrachtet oder der Oberfläche der Kugel teilflächenbezogene Schalleistungen zugeordnet werden.

### 2.3.2 Ausbreitungsverlust – Transmission Loss TL

Der Ausbreitungsverlust setzt sich aus der geometrischen Abnahme, d. h. Verteilung der Schallenergie auf eine große Hüllfläche, einem dissipativen Beitrag (innere Reibung, Relaxationseigenschaften, seegangsbedingte Dämpfung, bodenbedingte Dämpfung etc.) und sogenannten Anomalien<sup>3</sup> aufgrund von Reflexionen und Streuungen an Boden und Oberfläche zusammen.

### 2.3.3 Schalldruckpegel am Immissionsort – Received Level RL

Der Schalldruck, der an einem Messort erfasst wird. Dieser kann sich aus mehreren Quellen oder Beiträgen diverser Reflexionen zusammensetzen.

### 2.3.4 Flachwasserschallausbreitung

Flachwasserbereiche sind die Bereiche, die eine Wassertiefe  $< 200$  m aufweisen. Somit sind die Gebiete der Nord- und Ostsee mit Wassertiefen um die 50 m als

---

<sup>3</sup> Begriffsbildung aus Urban [12], siehe auch Urick [13].

Flachwassergebiete zu bezeichnen. Die Schallausbreitung zeichnet sich je nach Quelle durch häufige Reflexionen an Boden und Oberfläche aus.

#### **2.4 Sonstige Begleitparameter**

Es bildet sich ein so genannter Schallkanal aus, dessen Ausbreitungsbedingungen im Wesentlichen durch die Randbedingungen (Begrenzung an Oberfläche und Boden, Bodeneigenschaften) und somit Impedanzen an Grenzflächen (Impedanzsprünge an Randflächen sowie an Blasen im Wasser) beschrieben werden. Schichtungseffekte und somit ein deutlicher Gradient des Schallgeschwindigkeitsprofils können zusätzlich zu einer deutlichen Veränderung der Schallausbreitung führen.

### **3 Allgemeines zu Prognosen in den jeweiligen Projektphasen**

#### **3.1 Beschreibung der Prognosemodelle und der Eingangsdaten**

Die Güte der Prognose hängt im Wesentlichen von der Genauigkeit der Eingabedaten und von dem verwendeten Modell ab. Daher ist es wesentlich, die Herkunft und die Qualität der Quelldaten und des Ausbreitungsmodells zu beschreiben. Nachstehend sind einzelne Punkte benannt.

##### **3.1.1 Quellpegel**

Es sind die folgenden Fragen zu beantworten:

- Wie wird der Quellpegel definiert?
- Wie wurde der Quellpegel bestimmt?
- Wurden experimentelle Daten verwendet? In welchem Frequenzbereich sind diese repräsentativ (Messumgebung)?
- Mussten Daten skaliert werden, z. B. bei Rammarbeiten aufgrund der geänderten Geometrie des Rammpfahles, der Bodenbeschaffenheit etc.? Wie wurde dies durchgeführt? Begründung des Vorgehens.
- Diskussion der Annahmen unter Beachtung von z. B. Nahfeld, Fernfeld, Randbedingungen.

##### **3.1.2 Ausbreitungsmodell**

Zur Berechnung der Schallausbreitung kommen verschiedene Modelle infrage, darunter Strahlenverfolgungsmodelle, modentheoretische Modelle und empirische Modelle.

Im Bericht müssen die folgenden Sachverhalte bzw. Fragestellungen beschrieben bzw. geklärt werden.

- Welches Ausbreitungsmodell wurde verwendet? Diskussion der Annahmen.
- Wie wurden bathymetrische Daten verwendet? Der Einfluss muss ggf. bewertet oder abgeschätzt werden.
- Welche Materialparameter wurden für die Prognose verwendet?
- Wurden experimentelle Daten verwendet, z. B. zur Bestimmung des Ausbreitungsverlustes bei empirischen Modellen? In welchem Frequenzbereich sind diese repräsentativ (Messumgebung)?
- Bei numerischen Modellen sind die Gültigkeitsbereiche und die verwendeten Eingabedaten zu benennen. Des Weiteren ist der mittlere Ausbreitungsverlust vom Emissionsort zum Immissionsort zu benennen, z. B. eine Entfernung von 750 m. Bei numerischen Modellen (2D/3D, 3D) ist die Mittelungsvorschrift über die Wasserhöhe anzugeben.

## **3.2 Allgemeine Parameter**

### **3.2.1 Immissionsorte**

Für die Prognosen ist zu berücksichtigen, dass eine Vergleichbarkeit mit Messungen, die zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden, gegeben sein soll. Es gilt:

- In festgelegten Entfernungen, siehe hierzu 4.3 und 5.3 sind Immissionspegel zu ermitteln.
- Es sind hier Werte der gesamten Wassersäule zu betrachten (Bewertungsgrundlage).
- Beim Vergleich mit Messdaten ist zu berücksichtigen, dass aus logistischen Gründen bei Messungen Hydrofone 2 m bis 3 m über dem Meeresboden zu positionieren sind.

### **3.2.2 Prognosegrößen und Untersuchungsparameter**

Akustische Prognosegrößen:

- Schalldruckpegel sowie Einzelereignispegel

Die folgenden Begleitparameter sind bei der Prognose zu berücksichtigen, bzw. zu diskutieren:

- Einfluss Wind, Wellenhöhe, Wellenschlag, Strömung
- Einfluss der Wassertiefe
- Einfluss der Bathymetrie
- Einfluss des Schallgeschwindigkeitsprofils
- Einfluss der akustischen Bodeneigenschaften

### **3.2.3 Untersuchter Frequenzbereich**

- In Terzbändern von 10 Hz bis 20 kHz

Anmerkung:

Frequenzbereich kann ggf. nach Rücksprache reduziert werden.

## **4 Bauphase**

### **4.1 Prognoseumfang**

- Für alle geräuschintensiven Bauarbeiten (z. B. Rammarbeiten) sind Prognosen der Schalldruckpegel in der Umgebung der Baustelle durchzuführen.
- Es ist jeder Fundamenttyp sowie jede Errichtungsmethode, die in einem Windpark zum Einsatz kommt, zu beurteilen. Sollten auch unterschiedliche Bodenverhältnisse vorliegen, sind diese zu bewerten.
- Die Prognose kann von einem fiktiven Mittelpunkt des Windparks ausgehen. Dies setzt voraus, dass nur Fundamente des gleichen Typs gebaut werden und die Umgebungsparameter homogen sind.
- Sollte sich der Windpark in unmittelbarer Nähe eines Schutzgebietes befinden, so ist die Prognose für Anlagen in verschiedenen Entfernungen zum Schutzgebiet durchzuführen.
- Wenn geplant ist, zwei oder mehr Rammstellen innerhalb eines Parks parallel zu betreiben, ist dies in der Prognose zu berücksichtigen.
- Wenn sich weitere Parks im Umkreis von 30 km im Bau befinden, so sind diese zu berücksichtigen
- Die Effizienz sämtlicher verwendeter Maßnahmen zur Reduzierung des Schalleintrags (z. B. Blasenschleier, Hydroschalldämpfer, Kofferdämme) ist durch Prognosen darzustellen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist experimentell oder theoretisch begründet zu beschreiben.
- Die Ergebnisse aus den Schallmessungen der Bauphase von bereits errichteten benachbarten Windparks sind in der Prognose zu berücksichtigen.

### **4.2 Begleitparameter**

Der Einfluss von folgenden projektspezifischen Parametern ist in der Prognose zu beschreiben:

- Rammenergie
- Rammschlaganzahl,
- Schlagfrequenz

Anmerkung:

Die Rammenergie ist ein Parameter, der z. B. die Schalleistung der Quelle steuert. Rammschlaganzahl und Schlagfrequenz sind aktuell nicht notwendig, da maßgeblich der Einzelschlag bewertet wird. Sollten zukünftig kumulative Bewertungen zu Schallimmissionen eingeführt werden, sind diese in der Prognose mit zu betrachten.

### 4.3 In der Prognose zu berücksichtigende Immissionsorte

Die Immissionsorte sind in 750 m und 5000 m Entfernung von der Gründungsstruktur sowie im nächstgelegenen Naturschutzgebiet festgelegt, soweit dieses weiter als 5 km vom Vorhabensgebiet entfernt ist.

### 4.4 Auswertung und Darstellung

Die Auswertung soll für Rammarbeiten mit und ohne Schallminderungsmaßnahmen durchgeführt werden unter Beachtung der Parameter im Kapitel 3.2.

Die Ergebnisse für den  $L_E$  sind in Terzen an festgelegten Immissionsorten darzustellen. Der Summenpegel  $L_E$  an den Immissionsorten ist den geforderten Grenzwerten gegenüberzustellen (siehe Kapitel 4.5). Weiterhin ist die Schallausbreitung in Abhängigkeit der Entfernung bis 110 dB (SEL), z. B. durch Isophone in 10 dB Schritten graphisch darzustellen.

### 4.5 Bewertung

Die Genehmigungen des BSH für Offshore-Windparks haben seit 2003 Richtwerte bzw. seit 2008 Grenzwerte hinsichtlich des Schalleintrags durch Rammarbeiten eingeführt.

Die gültigen Grenzwerte finden sich beispielsweise in der „Genehmigung Offshore-Windpark ‚Borkum West II‘“, Nebenbestimmung 14, Seite 15:

„Bei der Gründung und Installation der Anlagen ist diejenige Arbeitsmethode nach dem Stand der Technik zu verwenden, die nach den vorgefundenen Umständen so geräuscharm wie möglich ist. Dabei ist durch ein geeignetes Schallschutzkonzept sicherzustellen, dass die Schallemission (Schalldruck SEL) in einer Entfernung von 750 m den Wert von 160 dB (re 1  $\mu$ Pa) nicht überschreitet.“

Überschreitungen der Bewertungspegel sind nicht zulässig.

Es sollen auch überschlägige Aussagen zum Spitzenpegel getroffen werden. Beispielsweise kann aufgrund von Erfahrungswerten vergleichbarer impulshaltiger Schallquellen argumentiert werden.

## **5 Prognosen für den Betrieb des gesamten Windparks**

### **5.1 Prognoseumfang**

- Es sind für mindestens drei Leistungsbereiche „niedrig“, „mittel“ und „Nennleistung“ die Schalldruckpegel zu prognostizieren.
- Die genaue Festlegung der Leistungsbereiche erfolgt in Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde.
- Die Schallprognose soll auch aktuelle Messergebnisse aus bereits in Betrieb befindlichen Windparks, wie z. B. Testfeld „alpha ventus“ berücksichtigen.

### **5.2 Begleitparameter**

Der Einfluss von folgenden projektspezifischen Parametern ist in der Prognose zu beschreiben:

- Typ: Getriebe, Generator, Lüfter, etc.
- Leistungs- und Lastdaten der Anlagen.

### **5.3 Immissionsorte**

Bei Betrachtung zum Betrieb der Windparks sind alle Anlagen kumulativ zu betrachten:

- Die Immissionsorte sind in einer Entfernung von ca. 100 m zur Schallquelle, d. h. dem Rand des Windparks zu bestimmen.
- Zusätzlich sind Prognosen außerhalb des Windparks in 1.000 m Entfernung und für das nächstgelegene Naturschutzgebiet durchzuführen, soweit dieses nicht weiter als 5 km vom Vorhabensgebiet entfernt ist. Sind keine Naturschutzgebiete in der Nähe, ist ersatzweise eine Prognose in einer Entfernung von 5 km vom Windpark durchzuführen.
- Die genauen Immissionsorte sind projekt- und anlagenspezifisch mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen.

### **5.4 Auswertung und Darstellung**

Es ist der Quellenschall der Windkraftanlagen an repräsentativen Immissionsorten dem gemessenen Umgebungsgläusch der Basisaufnahme gegenüberzustellen. Kumulative Effekte sind zu bewerten.

Die Auswertung soll frequenz aufgelöst in 1/3-Oktavbändern von 10 Hz bis 20 kHz erfolgen.

Die Darstellung muss spezifizierte Leistungspunkte der WEA beschreiben.

- Es sind spektrale Komponenten zu benennen, die der späteren Identifikation von charakteristischen Spektrallinien beim WEA-Betrieb entsprechen. Die Kenndaten hierfür hat der Betreiber der Anlagen weiterzureichen.

## **6 Berichtserstellung**

### **6.1 Formale Angaben in Berichten**

#### **6.1.1 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
- Ort, Seegebiet
- 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.

#### **6.1.2 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.

#### **6.1.3 Unterschriften**

Der Bericht wird in der Regel vom Autor unterschrieben.

### **6.2 Inhalte von Berichten**

#### **6.2.1 Inhaltliche Aufteilung**

Der Bericht sollte nachfolgende Gliederungen beinhalten:

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



### 6.2.2 Anforderung zur Beschreibung der Prognosen

Es müssen im Text *mindestens* die folgenden Angaben enthalten sein:

- Bezeichnung und Beschreibung der Prognose.
- Beschreibung des Untersuchungsobjektes wie Fundamenttypen, Rammverfahren, Rammenergie, vorrausichtliche Dauer.
- Liste der relevanten Schallquellen.
- Beschreibung des verwendeten Prognoseverfahrens und Diskussion der Annahmen, siehe hierzu auch 3.1.
- Beschreibung der Quelldefinition, -modellierung
- Diskussion der Gültigkeit der Annahmen.
- Wenn „in Anlehnung“ an eine Norm geprüft wird, ist zu beschreiben, wo das Prüfverfahren von der Norm abweicht. (Aktuell sind keine Normen vorhanden, weder für Messungen noch für Prognosen.)
- Angaben zu den durchgeführten Prognosen sowie über die daraus abgeleiteten Ergebnisse. Diese Angaben werden in der Regel ergänzt durch Tabellen, Grafiken und Skizzen.
- Dabei ist insbesondere zu dokumentieren, inwieweit Parameter wie Bathymetrie, Bodenbeschaffenheit usw. Einfluss auf die Ergebnisse haben.
- Angaben über die eingesetzte Software (Bezeichnung, Hersteller, Typ, Revision/Änderungsstatus).
- Um die Auswirkungen von nachträglich als fehlerhaft erkannten Prognosen zurückverfolgen zu können, muss die Versionsnummer bzw. die Revisionsnummer von Berechnungsprogrammen angegeben werden.
- Angaben zur Prognoseunsicherheit.

### 6.2.3 Anforderung zur Darstellung der Ergebnisse

Auf den Diagrammen sind nachfolgende Informationen zu benennen:

- Untersuchungsobjekt, Immissionsort, Seegebiet
- Bezugsgrößen
- Analyseinformationen, Terz/Schmalband mit Angabe der Bandbreite
- Angaben von relevanten Parametern wie Winter/Sommerverhältnisse (Schichtung etc.)
- Bei Prognosen zur Bauphase, z. B. Rammenergie oder Vergleichbares
- Bei Prognosen des Betriebs des Windparks zusätzlich Drehzahlstufen, Leistung, ...
- Bezugsgrößen (Pegeldarstellung)
- Bei Frequenzdarstellung ist ein standardisiertes Format zu verwenden:  
10 dB = 20 mm; 1 Oktave = 15 mm



Dr. Andreas Müller



Dr. Carsten Zerbs

## 7 Dokumente und normative Referenzen

- [1] BSH (2013): Standard „Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK 4), Stand Oktober 2013.
- [2] DIN 1304-1:1994-03: Formelzeichen – allgemeine Formelzeichen.
- [3] DIN EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien.
- [4] DIN EN ISO 14001:2009-11: Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.
- [5] ISO 80000-8: Quantities and units. Part 8: Acoustics.
- [6] ISO 1996: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedure.
- [7] ISO 1996: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of environmental noise levels.
- [8] IEC 60050-801: International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics.
- [9] DIN 13320: Spektren und Übertragungskurve, Begriffe, Darstellung.
- [10] IEC 60263: Scales and sizes for plotting frequency characteristics and polar diagrams.
- [11] EG-MSRL 2008/56/EG: Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie.
- [12] URBAN: Handbuch der Wasserschalltechnik, 2. Auflage von Heinz G. Urban, STN ATLAS Elektronik GmbH, Bremen, Stand September 2002
- [13] Robert J. Urick (1996): Principles of Underwater Sound 3rd Edition, August 1, 1996.
- [14] ITAP (2008): Prognose des Unterwassergeräusches beim Bau und beim Betrieb des Offshore-Windparks Borkum-West („alpha ventus“) und Messung des Hintergrundgeräusches im Planungsgebiet, Stand 15.10.2008.
- [15] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998
- [16] ISO 9613-2: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation.
- [17] FWG-Bericht 1980-7: Standardwerte zur Ausbreitungsdämpfung in der Nordsee Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik, 1980 (nicht öffentlich).
- [18] Elmer, Betke, Neumann (2007): Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallimmissionen von Offshore-Windenergieanlagen, Mitteilungen des Instituts für Statik und Dynamik der Leibniz Universität Hannover 08/2007.

- [19] Betke, Matuschek (2011): Messungen von Unterwasserschall beim Bau der Windenergieanlagen im Offshore-Testfeld „alpha ventus“. itap, 2011.

## **8 Mitwirkung**

Bei der Erstellung dieser Messvorschrift haben mitgewirkt:

- Herr Dr. Betke (ITAP)
- Frau Blasche (BSH)
- Frau Dr. Boethling (BSH)
- Frau Eickmeier (BSH)
- Herr Matuschek (ITAP)
- Herr Dr. Gerdes (FWG)
- Herr Dr. Nejedl (FWG)
- Herr Verfuß (PtJ)
- u. a.