

Offshore Windpark „Gennaker“

Prognose der zu erwartenden Hydroschallimmissionen während der Betriebsphase



Messstelle nach §26 BImSchG
für Geräusche und Erschütterungen

Akkreditiertes Prüflaboratorium nach
DIN EN ISO 17025

Akkreditiert durch:



Projekt Nr.: 2786-16

Oldenburg, 08. August 2016

Version 4

Auftraggeber: OWP Gennaker GmbH
Stephanitorsbollwerk 3
28217 Bremen

Bearbeiter: Patrick Remmers, B. Eng.
Dr. Michael A. Bellmann

itap GmbH
Institut für technische und angewandte Physik GmbH
Marie-Curie-Straße 8
D-26129 Oldenburg

Berichtsumfang: 20 Seiten

Telefon

(0441) 570 61-0

Fax

(0441) 570 61-10

Email

info@itap.de

Postanschrift

Marie-Curie-Straße 8
26129 Oldenburg

Geschäftsführer

Dr. Manfred Schultz-von-Glahn
Dipl. Phys. Hermann Remmers
Dr. Michael A. Bellmann

Sitz

Marie-Curie-Str. 8
26129 Oldenburg
Amtsgericht Oldenburg
HRB: 12 06 97

Bankverbindung

Raiffeisenbank Oldenburg
Kto.-Nr. 80 088 000
BLZ: 280 602 28

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung.....	3
2. Schalltechnische Grundlagen	5
2.1 Pegelgrößen	6
2.2 Schallausbreitung in der Ostsee.....	7
3. Berechnungsgrundlagen.....	12
3.1 Beurteilungsgrundlagen	12
3.2 Erwartete Betriebsschallimmissionen.....	12
3.3 Aufbau des verwendeten Prognosemodells	14
3.4 Vorbelastung durch vorhandene Windenergieanlagen	15
4. Ergebnisse der Prognose	15
5. Fehlerbetrachtung	18
6. Zusammenfassung.....	19
7. Verwendete Literatur.....	20

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die *OWP Gennaker GmbH* plant die Errichtung des Offshore-Windparks (OWP) *Gennaker* in der deutschen Ostsee. Das Planungsgebiet des Windparks liegt ca. 15 km nördlich der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst innerhalb der 12 Seemeilenzone und umschließt den bereits bestehenden Windpark *Baltic I* (Abbildung 1).

Im Vorhabengebiet des geplanten Windpark *Gennaker* sollen 103 Windenergieanlagen auf Monopiles mit Durchmessern von 7,00 m bis max. 8,00 m und zwei Umspannplattformen auf Jacket-Fundamenten. Das Vorhabengebiet umschließt den bereits vorhandenen Windpark *EnBW Baltic I* mit 21 Windenergieanlagen. Weiter ist im Vorhabengebiet die Errichtung einer Windenergieanlage auf einem schwimmenden Fundament (GICON SOF) vorgesehen. Die zu erwartenden Immissionen dieser Anlage sind jedoch nicht Bestandteil dieses Berichtes. Der Baugrund im Plangebiet besteht im Wesentlichen aus Sand, Kreide, Geschiebelehm und tonigen Schichten.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens wird u. a. gefordert, dass die zu erwartenden Unterwasserschallimmissionen während des Betriebes durch Prognoseberechnungen zu ermitteln sind. Die Prognoseberechnungen erfolgen gemäß der technischen Anleitung *Offshore-Windparks – Prognosen für Unterwasserschall* – (BSH, 2013).

Die *itap – Institut für technische und angewandte Physik GmbH* wurde beauftragt, Prognoseberechnungen für die während des Betriebes zu erwartenden Hydroschallimmissionen durchzuführen.

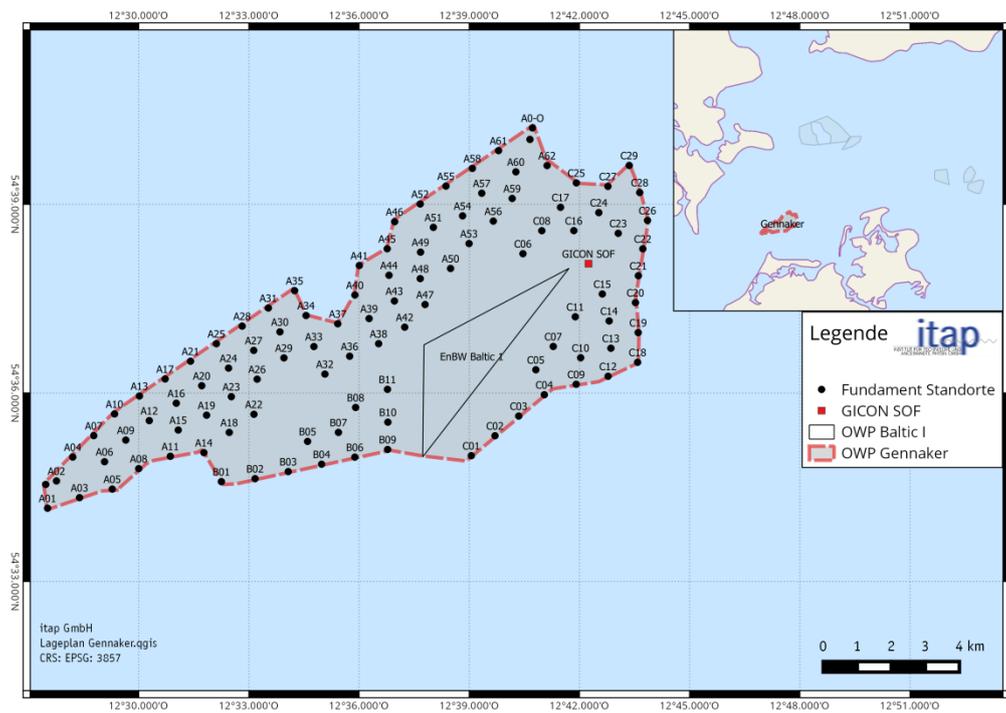


Abbildung 1: Lage des Windparks „Gennaker“.

2. Schalltechnische Grundlagen

Schall ist eine rasche, oft periodische Schwankung des Drucks, die dem Umgebungsdruck (im Wasser also dem hydrostatischen Druck) additiv überlagert ist. Damit einher geht eine „Hin- und-Her-Bewegung“ der Wasserteilchen, die üblicherweise durch deren Geschwindigkeit, der sogenannten Schallschnelle v (engl. particle velocity), beschrieben wird. Die Schallschnelle kennzeichnet die Wechselgeschwindigkeit, mit der ein Teilchen um seine Ruhelage in einem Medium schwingt. Die Schallschnelle ist nicht mit der Schallgeschwindigkeit c_{Wasser} , also der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles in einem Medium zu verwechseln, die in der Regel bei Wasser im Bereich von $c_{\text{Wasser}} = 1500 \text{ m/s}$ liegt. Die Schallschnelle v ist deutlich kleiner als die Schallgeschwindigkeit c .

Schalldruck p und Schallschnelle v stehen mit der akustischen Kennimpedanz Z , die den Wellenwiderstand des Mediums charakterisiert, im folgenden Zusammenhang:

$$Z = \frac{p}{v} \quad \text{Gl. 1}$$

Im Fernfeld, d. h. in einigen Wellenlängen Abstand¹ (frequenzabhängig) von der Schallquelle, ist die Kennimpedanz gegeben durch:

$$Z = \rho c \quad \text{Gl. 2}$$

mit ρ - Dichte des Mediums.

Für eine Schalldruckamplitude von beispielsweise 1 Pa (entspricht bei einem sinusförmigen Signal einem Schalldruckpegel von 117 dB re 1 μPa^2 bzw. einem Spitzenpegel von 120 dB re 1 μPa^2) ergibt sich daraus für die Schallschnelle in Wasser ein Wert von ca. 0,7 $\mu\text{m/s}$.

¹ Die Grenze zwischen Nah- und Fernfeld ist bei Unterwasserschall nicht genau definiert bzw. ausgemessen. Jedoch handelt es sich um eine frequenzabhängige Größe. In Luftschall wird ein Wert von $\geq 2\lambda$ angenommen. Für Unterwasserschall existieren Angaben bis zu $\geq 5\lambda$.

2.1 Pegelgrößen

In der Akustik wird die Intensität von Geräuschen in der Regel nicht direkt durch die Messgröße Schalldruck (oder Schallschnelle) beschrieben, sondern durch den aus der Nachrichtentechnik bekannten Pegel in Dezibel (dB). Allerdings gibt es verschiedene Schallpegel-größen. Für die vorliegende Untersuchung sind folgende Pegelgrößen von Bedeutung:

- (Energie-) Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} (Mittelungspegel),
- Spitzenpegel L_{peak} .

Im Folgenden werden die o. g. Pegelgrößen kurz beschrieben.

(Energie-) Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}

Der L_{eq} ist die gebräuchlichste Messgröße in der Akustik und ist definiert als

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \quad [dB \text{ re } 1 \mu Pa] \quad Gl. 3$$

mit

$p(t)$ - zeitlich varianter Schalldruck,

p_0 - Bezugsschalldruck (bei Unterwasserschall $1 \mu Pa$),

T - Mittelungszeit.

Spitzenpegel L_{peak}

Diese Größe ist ein Maß für Schalldruckspitzen. Im Gegensatz zum L_{eq} gibt es keine Mittelwertbildung:

$$L_{peak} = 20 \log \left(\frac{|p_{peak}|}{p_0} \right) \quad [dB \text{ re } 1 \mu Pa] \quad Gl. 4$$

mit

p_{peak} - maximal festgestellter positiver oder negativer Schalldruck.

2.2 Schallausbreitung in der Ostsee

Einfluss des Abstands

Für überschlägige Rechnungen kann angenommen werden, dass der Schalldruck mit der Entfernung nach einem einfachen Potenzgesetz abnimmt. Der Pegel in dB verringert sich dann um:

$$TL = k \cdot \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right) [dB] \quad \text{Gl. 5}$$

mit

- r_1 und r_2 - Entfernung zur Schallquelle vergrößert sich von r_1 auf r_2 ,
- TL - Durchgangsdämpfung; engl. **T**ransmission **L**oss,
- k - Konstante (für die Nord- und Ostsee kann $k = 15$ angesetzt werden).

Häufig wird die Durchgangsdämpfung bzw. TL für einen Abstand $r_1 = 1$ m (fiktiver Abstand zur punktförmig gedachten Quelle) angegeben. Die daraus zu berechnende Schallleistung eines Schallereignisses in 1 m Entfernung wird auch als Quellpegel bezeichnet. Gleichung 5 vereinfacht sich dann zu $TL = k \log(r/\text{Meter})$. Diese einfache Rechnung berücksichtigt allerdings nicht die frequenzabhängige Abnahme des Schalldrucks mit zunehmender Entfernung. Zusätzlich gilt die o. g. Formel nur für das „Fernfeld“ eines akustischen Signals, d. h. in einem Abstand (frequenzabhängig) von der Quelle.

Zudem macht sich bei Abständen von einigen Kilometern die Absorption im Wasser bemerkbar und bewirkt eine weitere Verringerung des Schalldrucks. Bei solch großen Entfernungen hat das Wetter ebenfalls einen Einfluss auf den Schallpegel im Wasser; bei starkem Wind und Seegang ist der Schalldruckpegel niedriger. Dies liegt an der größeren Oberflächenrauigkeit des Meeres und vor allem an dem erhöhten Lufteintrag durch Wellenschlag in die obere Meeresschicht.

Thiele und Schellstede (1980) haben Näherungsformeln zur Berechnung der Schallausbreitung für verschiedene Gebiete der Nordsee sowie für „glatte“ und für „raue“ See veröffentlicht. Im Vergleich der Näherungsformeln mit Messdaten aus vergangenen Projekten (siehe Abbildung 2) führte die Näherungsformel für flache Gewässer bei glatter See (IIg) zu den geringsten Abweichungen. Für die Prognose wird daher dieselbe Ausbreitungsdämpfung (IIg) berücksichtigt:

$$TL = (27 + 1.1F)(\log(R) + 3) + (0.7 + 0.135F + 0.013F^2)R [dB] \quad \text{Gl. 6}$$

mit

- $F = 10 \log(f/[kHz])$,
- R - Abstand.

Vorraussetzung für eine Ausbreitungsdämpfung gemäß Gleichung 6 ist eine gute Durchmischung des Wassers ohne ausgeprägtes Schallgeschwindigkeitsprofil. Für die Prognose wird angenommen, dass eine vollständige Durchmischung des Wassers sowie kein ausgeprägtes Schallgeschwindigkeitsprofil im Untersuchungsgebiet vorliegen.

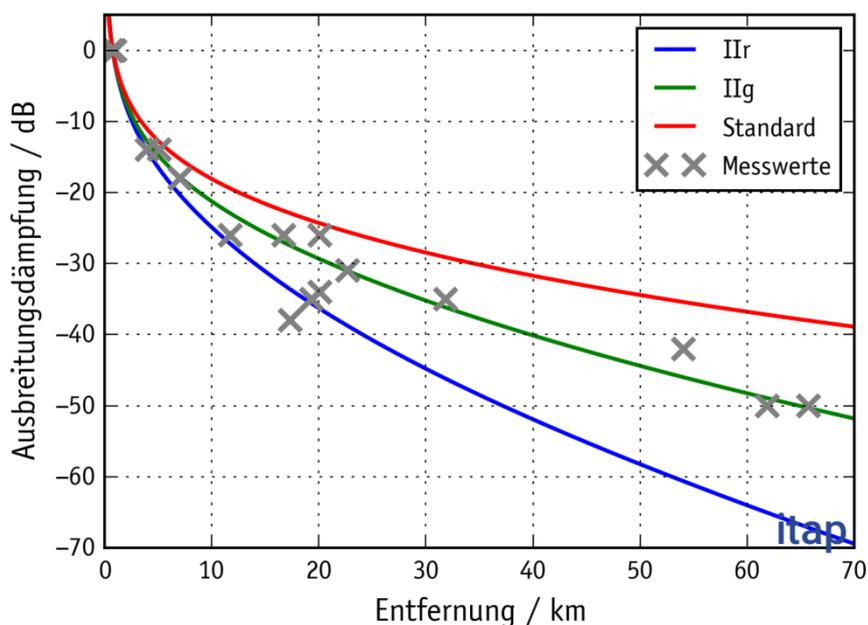


Abbildung 2: Vergleich unterschiedlicher Ausbreitungsdämpfungen nach Thiele und Schellstede mit vorhandenen Messwerten. IIR: flaches Gewässer bei rauher See, IIg: flaches Gewässer bei glatter See und Standard: allgemeine Formel (konservativer Ansatz).

Einflüsse von Salinen- und Temperaturschichtungen in der Ostsee

Aufgrund der geographischen Lage der Ostsee findet kaum ein Austausch mit Wasser aus dem Atlantik statt. Im Vergleich zur Nordsee, in der das Atlantikwasser gleich aus zwei Richtungen einströmt und eine ständige Durchmischung gewährleistet ist, sind die Strömungen in der Ostsee in erster Linie das Resultat von Wettereinflüssen. Möglicherweise kann es in den Sommermonaten zu Strömungsbedingungen kommen, bei denen eine vollständige Durchmischung des Wassers nicht mehr gewährleistet ist. Stattdessen ist es möglich, dass sich im Wasser Schichtungen von unterschiedlichem Salzgehalt und unterschiedlicher Temperatur bilden können. Hieraus ergibt sich ein ausgeprägtes Schallgeschwindigkeitsprofil über die gesamte Wassersäule.

Infolge der unterschiedlichen Schichtungen können sich Kanäle bilden, in denen sich die Schallwellen mit einer deutlich geringeren Dämpfung ausbreiten können. Diese sogenannten „Schallkanäle“ entstehen in Bereichen, in denen die Ausbreitungsgeschwindigkeit des

Schalls niedriger ist, als in den darüber und darunter liegenden Schichtungen. Da sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls unter Wasser mit zunehmender Temperatur oder Salinität erhöht, kommt es an den Übergängen zweier Schichtungen zu einer Beugung des Schalls in Richtung der Schicht mit der geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit. Tritt dieser Effekt an zwei gegenüberliegenden Grenzschichten (z. B. oben: höhere Temperatur, unten: höherer Salzgehalt) auf, kann sich der Schall aufgrund einer gerichteteren Verteilung der vorhandenen Schalleistung und geringerer Verluste durch Reflektionen innerhalb dieser Schichtung mit einer deutlich geringeren Dämpfung ausbreiten. Es entsteht ein „Schallkanal“. Dies funktioniert jedoch nur, wenn die Wellenlängen im Verhältnis zur Höhe des Schallkanals nicht zu groß werden. Damit die Schallimmissionen vom Betrieb von Offshore Windenergieanlagen, die üblicherweise im Frequenzbereich $\ll 500$ Hz liegen, in solchen Kanälen übertragen werden können, wären Schallkanäle mit einer tiefenabhängigen Ausdehnung $\gg 30$ m, d. h. horizontale Kanäle mit einer Höhe von $\gg 30$ m, erforderlich (Johnson, 1982). Dieses ist bei Wassertiefen von ca. 12 m bis 20 m, wie im Projektgebiet des Windparks vorliegen nicht möglich.

Die Bundeswehr (WTD71) konnte in wenig befahrenen Bereichen der Ostsee den Einfluss von derartigen Schallkanälen auf akustische Signale mehrfach messtechnisch nachweisen (Vortrag auf der 2. DHU Schallschutztagung, Berlin, 2014). Der Effekt der Schallkanäle betrug 10 dB und mehr auf einer Distanz von mehreren Kilometern. D. h., Schall innerhalb des Schallkanals wurde um 10 dB weniger bei der Schallausbreitung über mehrere Kilometer in der Amplitude reduziert, als Schall ober- und unterhalb dieses Schallkanals. Jedoch wurde in diesem Vortrag deutlich darauf hingewiesen, dass es sich bei den Testsignalen um (Sinus- oder Puls-) Signale in Frequenzbereichen von mehreren kHz handelte. Zudem betrug die Ausdehnung dieser Schallkanäle (in der Höhe) nur wenige Meter. Somit sind die dort eingesetzten Schallsignale um einen Faktor 10 und mehr in der Frequenz höher (entspricht einer Wellenlänge von 1/10 und weniger), als der im vorliegenden Bericht betrachtete Betriebsschall. Zudem sei angesprochen, dass bei den Versuchen der Bundeswehr eine Punktschallquelle verwendet wurde, ein zu rammender Pfahl hingegen eine räumlich ausgedehnte Linienschallquelle darstellt. Der Einfluss der Quellcharakteristik auf die Weiterleitung in Schallkanälen ist derzeit noch nicht hinreichend wissenschaftlich untersucht worden.

Im abgeschlossenen Bauvorhaben *EnBW Windpark Baltic 2* wurden von der *itap GmbH* entsprechende Messungen der Salz-, Temperatur- und Schallgeschwindigkeitsprofile über die Wassertiefe an mehreren Tagen und Messpositionen nach Maßgabe des BSH mittels CTD-Sonden messtechnisch erfasst. Bei einer Messung im Spätsommer 2013, nach einer lang anhaltenden „Schönwetterperiode“, konnte einmalig ein Schallkanal messtechnisch erfasst werden. Die Ausdehnung dieses Kanals betrug um die 10 m in der Höhe. Diese räumliche

Ausdehnung wurde ebenfalls durch vorhandene Messstationen in der Ostsee über die letzten Jahre seitens des BSH messtechnisch bestätigt. Zu dem Zeitpunkt wurde der Hydroschall zeitgleich in drei unterschiedlichen Höhen über Grund während der Rammaktivitäten aufgezeichnet. Dabei befanden sich ein Hydrophon unterhalb des Schallkanals, ein Hydrophon in der Mitte und ein Hydrophon am oberen Rand des Schallkanals. Die Messergebnisse bei dieser Rammung in mehreren Hydrophonhöhen besitzen eine Varianz von < 2 dB bei einer Messunsicherheit von 2 dB. Aufgrund der tieffrequenten Zusammensetzung von Betriebsschall ist somit davon auszugehen, dass diese Schallkanäle ebenfalls keinen Einfluss auf die Weiterleitung dieser Schallereignisse haben. Eine Berücksichtigung dieser Einflüsse in der Prognose ist somit nicht erforderlich.

Während der gesamten Rammaktivitäten im Bauvorhaben *EnBW Windpark Baltic 2* wurden permanent Messungen in Entfernungsbereichen zwischen 750 m und > 40 km, z. T. in unterschiedlichen Hydrophonhöhen über Grund, durchgeführt. Es konnte bei den Installationen von 39 Monopiles und insgesamt 123 Pfählen für die 41 Jacket-Fundamentstrukturen zu jedem Zeitpunkt eine erwartungsgemäße Schallabsorption bei der Ausbreitung im Wasser messtechnisch nachgewiesen werden.

Einfluss der Wassertiefe

Die Schallausbreitung im Meer wird ebenfalls von der Wassertiefe beeinflusst. Unterhalb einer bestimmten Grenzfrequenz ist keine kontinuierliche Schallausbreitung möglich; je flacher das Gewässer, umso höher ist diese Frequenz.

In Wassertiefen um die 18 m liegt die Grenzfrequenz f_g je nach Sedimenttyp in der Größenordnung von zwischen 40 Hz und 120 Hz (Urick, 1983). In Abbildung 3 ist die untere Grenzfrequenz für vorwiegend sandige Böden als Funktion der Wassertiefe dargestellt. Zudem sind die Bandbreiten der unteren Grenzfrequenz bei unterschiedlichen Bodenschichtungen, wie z. B. Ton und Geschiebemergel, schattiert dargestellt (Jensen *et al.*, 2010). Schall in der Nähe der Grenzfrequenz wird mit wachsender Entfernung zur Schallquelle stärker abgeschwächt bzw. gedämpft, als z. B. durch Gleichung 6 berechnet.

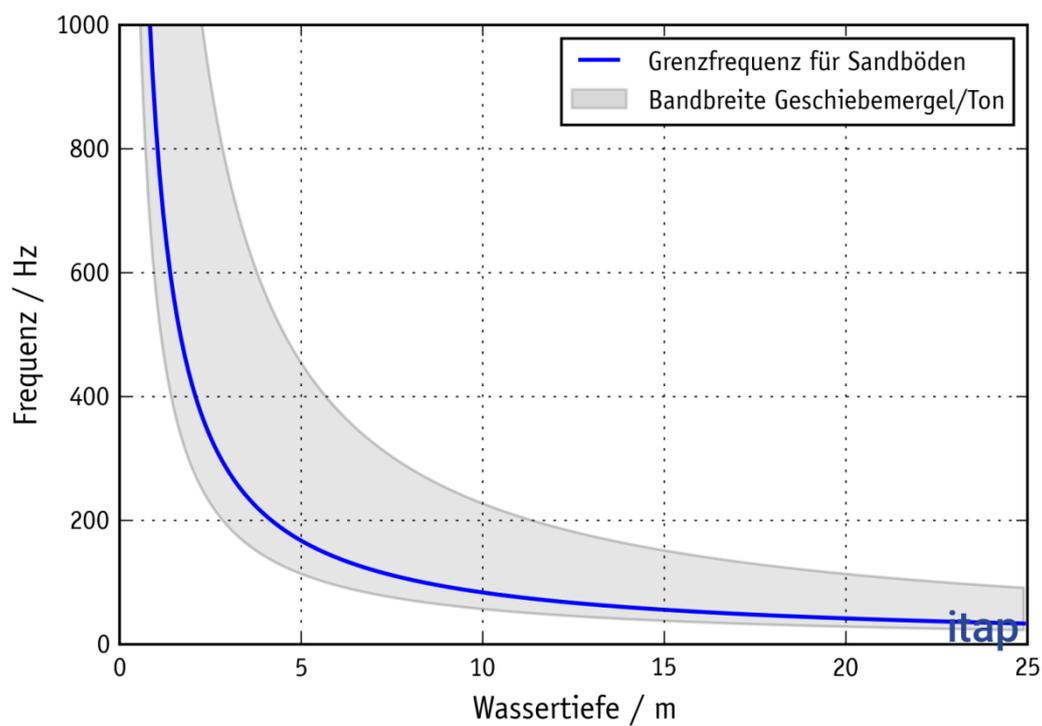


Abbildung 3: Theoretische untere Grenzfrequenz f_g für eine ungestörte Schallausbreitung im Wasser als Funktion der Wassertiefe für unterschiedliche Bodenschichtungen (Urlick, 1983; Jensen et al., 2010).

3. Berechnungsgrundlagen

3.1 Beurteilungsgrundlagen

Gemäß der Richtlinie *Offshore-Windparks – Prognosen für Unterwasserschall* – (BSH, 2013) ist für Projekte in der AWZ der durch den Betrieb des Offshore-Windparks eingetragene Unterwasserschall durch Prognoseberechnungen zu ermitteln. Diese sollen auch hier angewandt werden, da für Projekte im Küstenmeer keine gesonderten Standards existieren. Die Berechnungen sollen für drei Windklassen („niedrig“, „mittel“ und „hoch“ – entspricht Nennleistung) durchgeführt werden. Die Definitionen der Windklassen sind Tabelle 1 zu entnehmen. Ein Grenzwert oder Richtwert der nicht überschritten werden darf, gibt es in Bezug auf Betriebsschallimmissionen nicht.

Tabelle 1: Definition der Windklassen.

Windklasse	Entsprechende Leistungsklasse der Windenergieanlagen	Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s]
Niedrig	Stillstand	≤ 4
Mittel	Mittlere Leistung	6 – 10
Hoch	Nennleistung	≥ 12

3.2 Erwartete Betriebsschallimmissionen

Im Betrieb von Windenergieanlagen (OWEA) verursachen das Getriebe und der Generator einer Windenergieanlage mechanische Schwingungen („rotierende Geräte“), die sich über die Turmstruktur fortpflanzen und dadurch teilweise als Schall im Wasserkörper abgestrahlt werden. Da die Schwingungen durch Rotationsbewegungen entstehen, ist der dadurch erzeugte Schall ebenfalls periodisch und somit recht schmalbandig, d. h. i. d. R. werden nur einzelne Frequenzen (sinusförmige Anregungen) mit entsprechenden Harmonischen kontinuierlich abgestrahlt. Vereinzelt Pegelspitzen mit deutlich höheren Pegeln, wie z. B. beim Rammschall, sind nicht zu erwarten. Abbildung 4 zeigt in unterschiedlichen Messentfernungen gemessene Schmalbandspektren des Unterwasserschalls von OWEA-Betriebsgeräuschen einer 5 MW Anlage in der Windklasse „Hoch“ bei ca. 40 m Wassertiefe. Die Schallenergie ist in Linien bei bestimmten Frequenzen konzentriert, die Frequenzen sind abhängig von der Rotationsgeschwindigkeit. Die Intensität nimmt bei höheren Frequenzen ab, oberhalb von 1 kHz wurde bisher keine signifikante Schallabstrahlung festgestellt.

Da bisher wenige Messdaten aus Betriebsschallmessungen von bestehenden OWPs mit unterschiedlichen Turbinen und Leistungsklassen zur Verfügung stehen, können derzeit keine fundierten Aussagen über die genaue Abhängigkeit der Dimension der Fundamentstruktur und der Windenergieanlage (Turbinentyp und Leistungsklasse) auf die Schalleistung des abgestrahlten Schalls getroffen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass eine größere Mantelfläche der Fundamente und größere Leistungen der Windenergieanlagen zu höheren Schallimmissionen führen können.

Der Umgebungslärm unter Wasser (Hintergrundschall) wird in erster Linie durch anthropogene Schalleinträge, z. B. die permanent vorhandenen Schiffsgeräusche, bestimmt. Natürliche Geräuschquellen, die i. d. R. nicht dominant sind, stellen z. B. Wind, Wellen und Regen dar. Einzig bei schlechten Wetterbedingungen kommt es i. d. R. zu einem messbaren Rückgang der Schiffsgeräusche. Dies hat zur Folge, dass bei den bisher von der *itap GmbH* durchgeführten Betriebsschallmessungen einzig für die Windklasse „Hoch“ Schallereignisse gemessen werden konnten, die dem Betrieb der Windenergieanlagen zugeordnet werden konnten. Normalerweise konnten durch den Vergleich von Hintergrundschallmessungen nach StUK4 (vor Baubeginn) und der anschließenden Betriebsschallmessungen nach StUK4 an denselben Messpositionen keine relevanten Pegelanstiege durch den Betrieb festgestellt werden. Zudem zeigte sich, dass bei der Windklasse „Hoch“ ebenfalls relevante Pegelanstiege nur in direkter Nähe von OWEA-Fundamenten (wenige hundert Meter von einer Anlage) zu verzeichnen waren. An Messpositionen außerhalb des Windparks (nach StUK4 ca. 1 km und 5 km außerhalb) konnten keine Unterschiede zwischen Hintergrundschall- und Betriebsschallmessung festgestellt werden.

Anmerkung: In den Jahren 2016 und 2017 sind mindestens in/an sechs OWPs in der Nord- und Ostsee Betriebsschallmessungen nach StUK4 geplant. Diese OWPs weisen unterschiedliche Gründungsstrukturen und unterschiedliche Windenergieanlagentypen auf. Es ist somit zu vermuten, dass detaillierte Eingangsdaten für eine Betriebsschallprognose innerhalb des nächsten Jahres vorliegen.

Es ist davon auszugehen, dass aufgrund des Schiffsverkehrs in der Umgebung des Windparks während der Windklassen „Niedrig“ und „Mittel“ kein signifikanter Schalleintrag durch den Betrieb des Windparks zu erwarten ist. Für die Windklasse „Hoch“ wird auf Grundlage des in Abbildung 4 dargestellten Leistungsspektrums ein Pegel von 125 dB bei 160 Hz in 250 m Entfernung angenommen.

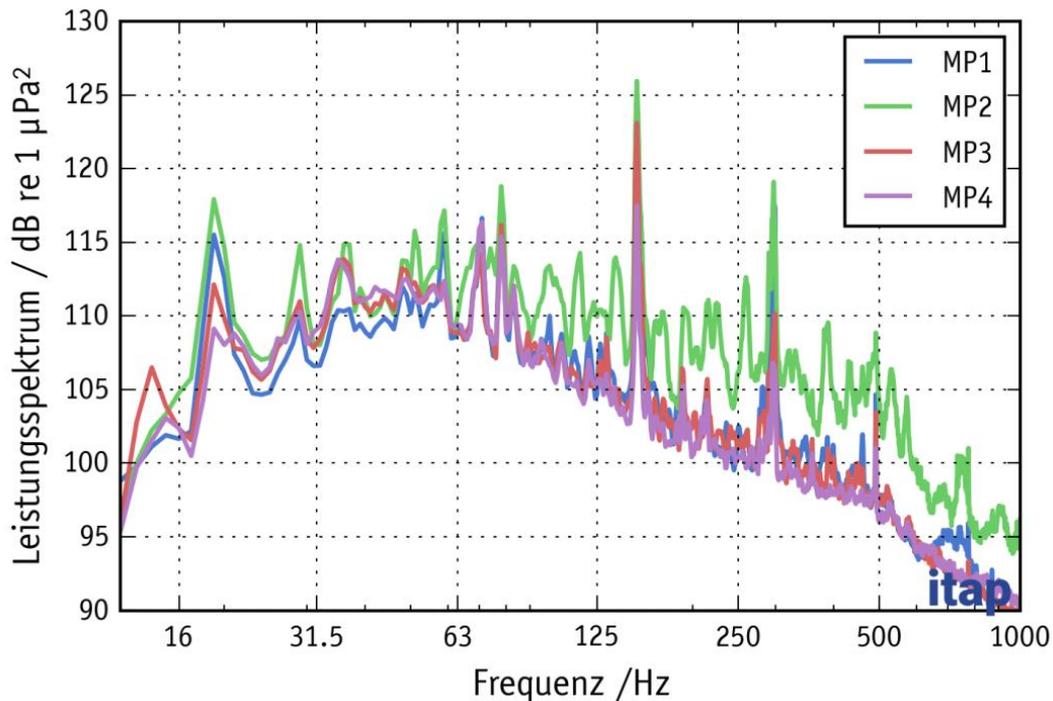


Abbildung 4: Leistungsspektrum während des Betriebes einer 5 MW Anlage in ca. 40 m Wassertiefe bei der Windklasse „Hoch“. Entfernungen: MP1 – ca. 250 m von einer OWEA, MP2 – ca. 280 m von einer OWEA; MP3 – ca. 1,1 km außerhalb des OWPs; MP4 – ca. 4,4 km außerhalb des OWPs.

3.3 Aufbau des verwendeten Prognosemodells

Für die Prognose der Betriebsschallimmissionen während der Windklasse „Hoch“ wird angenommen, dass von jeder Windenergieanlage ein Schalldruckpegel von 125 dB bei 160 Hz in 250 m Entfernung ausgeht. Weiter wird von einer Ausbreitungsdämpfung gemäß Thiele und Schellstede (1980, Gl. 6) ausgegangen. Diese Ausbreitungsdämpfung hat sich bisher für Rammschall bewährt. Die Annahmen für Betriebsschall ähneln der spektralen Verteilung von Rammschall. Unterschiede sind lediglich im Pegel deutlich. Eventuelle Einflüsse der Bathymetrie auf die Schallausbreitung werden nicht berücksichtigt.

Die Berechnung erfolgt in einem Raster von 12° 12,000' E bis 12° 48,000' E in horizontaler Richtung und von 54° 30,000' N bis 54° 45,000' N in vertikaler Richtung. Die Schrittweite beträgt 0,0009167° was ca. 100 m in vertikaler Richtung und ca. 60 m in horizontaler Richtung entspricht.

3.4 Vorbelastung durch vorhandene Windenergieanlagen

Der OWP Gennaker umschließt den bereits vorhandenen Windpark *EnBW Baltic I* mit 21 Windenergieanlagen. Diese Windenergieanlagen werden in der Prognose mit den Eingangsdaten aus Kapitel 3.2 als Vorbelastung berücksichtigt.

Weiter ist die Errichtung einer Windenergieanlage auf einem schwimmenden Fundament geplant. Mögliche Immissionen aus diesem Vorhaben werden nicht in der Prognose berücksichtigt.

4. Ergebnisse der Prognose

Der zu erwartende Schalleintrag durch den Windpark ist sehr schmalbandig (Annahme sinusförmige Anregung) und beschränkt sich auf eine Grundschiwingung und deren erste Harmonische (doppelte Frequenz der Grundschiwingung) in deutlich abgeschwächter Form. Bei allen anderen Frequenzen gibt es keinen Schalleintrag durch den Windpark bzw. die im Betrieb befindlichen Windenergieanlagen. Die Grundschiwingung kann jedoch je nach Rotationsgeschwindigkeit variieren.

Ein relevanter Schalleintrag, der sich vom Umgebungslärm messbar abhebt, ist nur während der Windklasse „Hoch“ zu erwarten. Die folgenden Abbildungen zeigen Ausbreitungsraster für die geplanten Offshore Windenergieanlagen im Windpark *Gennaker* während der Windklasse „Hoch“ bei einer Grundschiwingung von 160 Hz. Abbildung 5 zeigt die zu erwartenden Betriebsschallimmissionen unter Berücksichtigung der Vorbelastung durch den Windpark *EnBW Baltic I*. In Abbildung 6 sind die Betriebsschallimmissionen ohne die Vorbelastung dargestellt. In beiden Darstellungen wurden die 3.2. dargestellten Eingangsdaten berücksichtigt.

Für die Windklassen „Niedrig“ und „Mittel“ werden nach derzeitigem Kenntnissstand keine relevanten Immissionsbeiträge durch den Windpark *Gennaker* in der Ostsee erwartet.

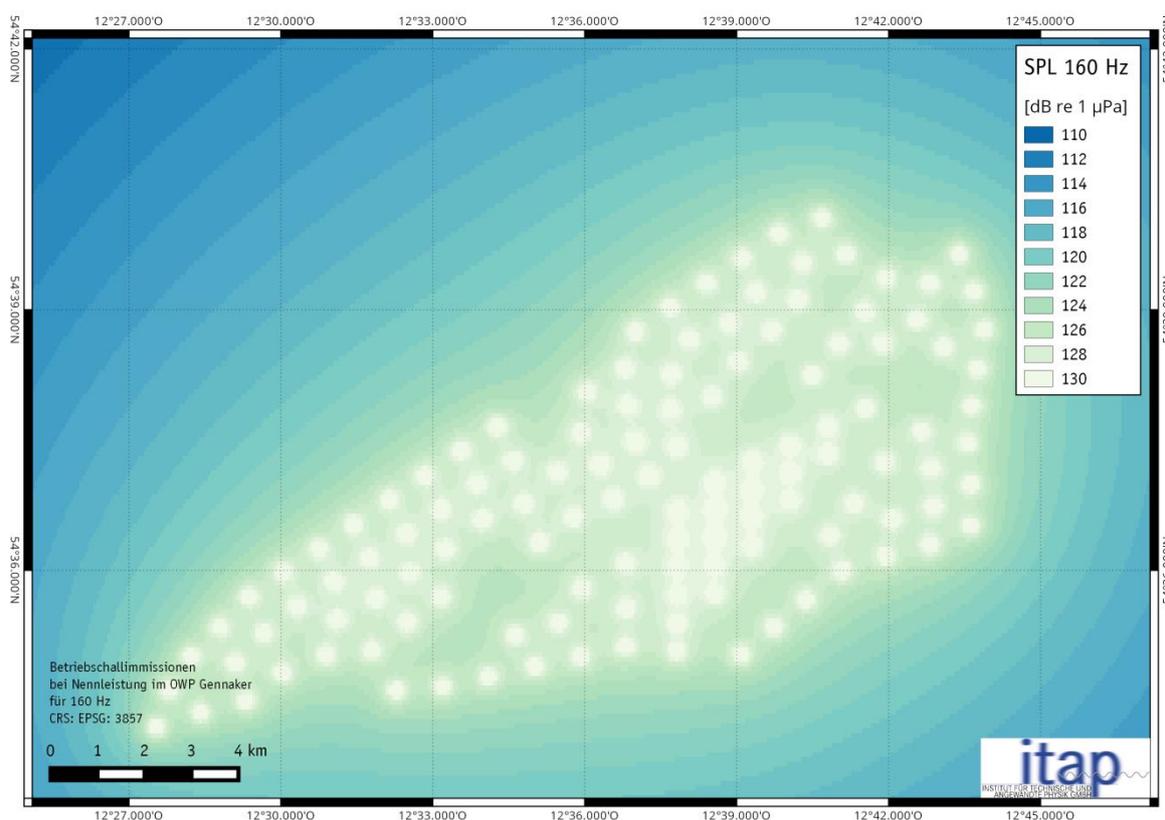


Abbildung 5: Schallausbreitung des prognostizierten Betriebsschalls unter Berücksichtigung der Vorbelastung durch den Windpark EnBW Baltic I in der Ostsee (Annahme: Keinen Einfluss der Bathymetrie auf die Schallausbreitung, Ausbreitungsdämpfung nach Thiele und Schellstede, 1980).

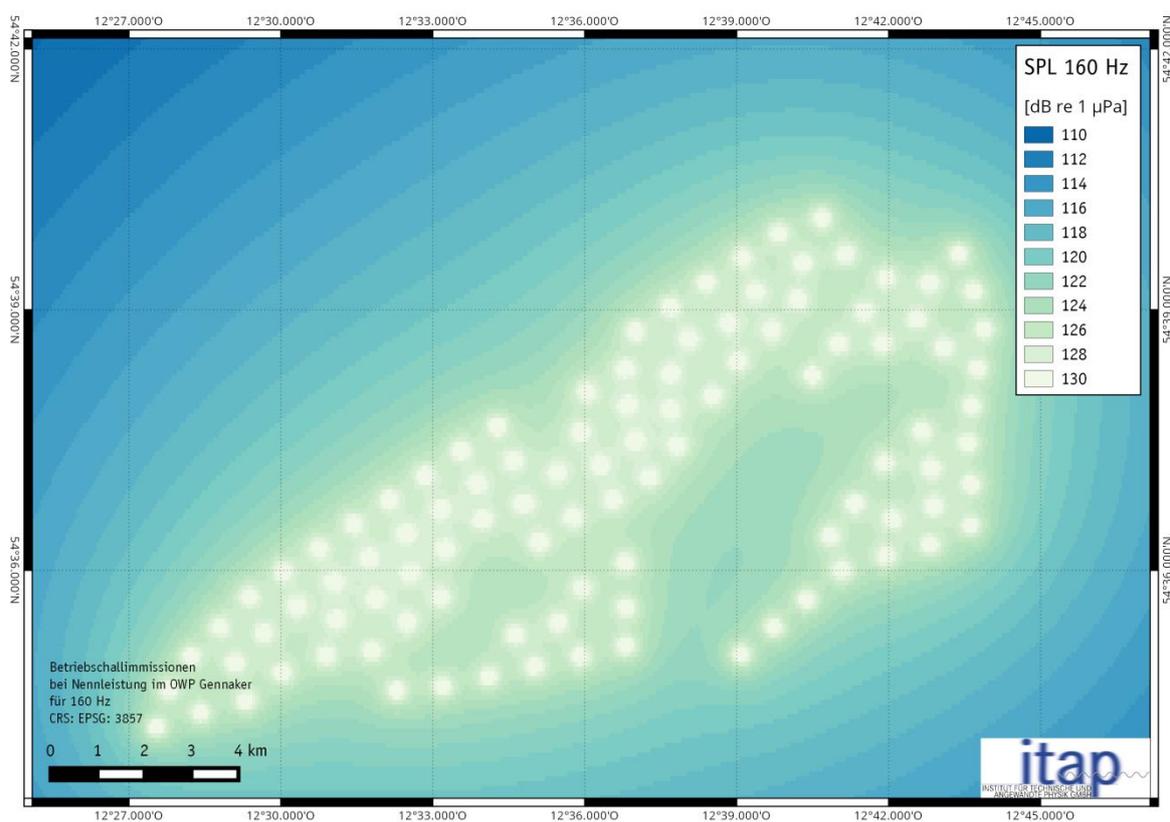


Abbildung 6: Schallausbreitung des prognostizierten Betriebsschalls ohne Berücksichtigung der Vorbelastung durch den Windpark EnBW Baltic I in der Ostsee (Annahme: Keinen Einfluss der Bathymetrie auf die Schallausbreitung, Ausbreitungsdämpfung nach Thiele und Schellstede, 1980).

5. Fehlerbetrachtung

Aufgrund der geringen Datenlage ist die Schalleistung der Grundschiwingung (Frequenz) geschätzt und kann abhängig von der Fundamentstruktur und der Windenergieanlagenleistung und des Typs variieren. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es sich um tieffrequente sinusförmige Anregungen mit einer Grundfrequenz < 200 Hz handelt.

Basierend auf den Messdaten der *itap GmbH* und weiteren Messungen anderer Messinstitute am OWP *Alpha Ventus* (RAV Konferenz 2015, Bremerhaven) ist jedoch davon auszugehen, dass die Schalleinträge durch in Betrieb befindliche Windenergieanlagen nur geringe Pegel aufweisen und sich bisher nur in unmittelbarer Nähe zu einer Windenergieanlage von dem permanent vorhandenen Hintergrundschallpegel abheben.

Eine exakte Abschätzung der Unsicherheit der gesamten Prognose ist auf der Grundlage der bisher vorliegenden Eingangsdaten nicht möglich.

6. Zusammenfassung

Im geplanten Windpark *Gennaker* sollen 103 Windenergieanlagen auf Monopiles mit Durchmessern von 7,00 m bis max. 8,00 m und zwei Umspannplattformen auf Jacket-Fundamenten errichtet werden.

Der zu erwartende Schalleintrag durch den Betrieb des Windparks ist basierend auf Messdaten (empirischer Ansatz) sehr schmalbandig und beschränkt sich auf eine Grundschiwingung und deren erste Harmonische (doppelte/dreifache Frequenz der Grundschiwingung) in deutlich abgeschwächter Form. Bei allen anderen Frequenzen gibt es keinen relevanten Schalleintrag durch den Betrieb des Windparks bzw. der Windenergieanlagen. Aufgrund der bisher durchgeführten Hintergrundschallmessungen (vor dem Bau eines OWPs) und im nachträglichen Betrieb ergaben sich nur in direkter Nähe zu in Betrieb befindlichen Windenergieanlagen relevante schmalbandige Pegelanstiege durch die Windenergieanlage. In Entfernungen >1 km Entfernung wurde bisher kein relevanter Immissionsbeitrag durch den Betrieb von Windenergieanlagen festgestellt. Die Betriebsschallimmissionen konnten bisher jedoch nur für die Windklasse „Hoch“ (Nennleistung) in wenigen hundert Metern messtechnisch erfasst bzw. bestätigt werden. Für niedrigere Windklassen wurden die Schallemissionen der Windenergieanlage durch die vorhandenen Schiffsgeräusche und dem permanent vorhandenem Hintergrundschall vollständig überlagert.

Für die Windklasse „Hoch“ wurde eine Ausbreitungsprognose basierend auf empirischen Datensätzen durchgeführt (Abbildung 5 und Abbildung 6). Da die genauen Auswirkungen unterschiedlicher Windenergieanlagen und Fundamente auf die Schallabstrahlung Unterwasser derzeit noch Gegenstand der Forschung sind, ist ein Fehler von mehreren Dezibel nicht auszuschließen. Trotzdem ergeben sich nur geringe Hydroschallimmissionen außerhalb des Windparks, die im Bereich von Hintergrundschallmessungen rangieren und durch Schiffsvorbeifahrten zumeist vollständig verdeckt werden.

Für die Windklassen „Niedrig“ und „Mittel“ werden nach derzeitigem Kenntnistand keine relevanten Immissionsbeiträge durch den Windpark *Gennaker* in der Ostsee erwartet.

Oldenburg, den 08. August 2016



Patrick Remmers, B. Eng.



Dr. Michael A. Bellmann

7. Verwendete Literatur

- Betke K, Schultz-von Glahn M & Matuschek R (2004):** Underwater noise emissions from offshore wind turbines. In: Proceedings of the joint congress CFA/DAGA'04, pp. 591-592, Strasbourg
- BMU (2013)** Konzept für den Schutz der Schweinswale vor Schallbelastungen bei der Errichtung von Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee (Schallschutzkonzept), https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/awz/Dokumente/schallschutzkonzept_BMU.pdf
- BSH (2011)** Messvorschrift für Unterwasserschallmessungen – Aktuelle Vorgehensweise mit Anmerkungen. Bericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Ökologische Begleitforschung am Offshore-Testfeldvorhaben alpha ventus zur Evaluierung des Standarduntersuchungskonzeptes des BSH (StUKplus)“, Förderkennzeichen 0327689A
- BSH (2013):** Offshore-Windparks – Prognosen für Unterwasserschall –, Müller BBM im Auftrag des BSH, Förderkennzeichen 0327689A
- Itap GmbH (2015)** Messdaten aus durchgeführten Betriebsschall- und Hintergrundschallmessungen in der Nord- und Ostsee; Messberichte der itap GmbH (nicht öffentlich zugängliche Daten)
- Jensen FB, Kuperman WA, Porter MB & Schmidt H (2010):** Computational Ocean Acoustics. Springer Verlag, AIP Press
- Johnson DH (1982):** The application of spectral estimation methods to bearing estimation problems, Proc. IEEE 70, 1018-1028.
- StUK4 BSH (2013)** Standard Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK4), Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg
- Thiele & Schellstede (1980)** Standardwerte zur Ausbreitungsdämpfung in der Nordsee. FWG-Bericht 1980-7, Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik
- Umweltbundesamt (2011)** Empfehlung von Lärmschutzwerten bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA). Information Unterwasserlärm, Umweltbundesamt Berlin
- Urlick (1983)** Principles of underwater sound, 3rd ed. Pensinsula Publishing, Los Altos