



Akustische Kenntlichmachung von
künstlichen Unterwassergefahrenquellen
- Modellierung und Leistungsdaten -

Ivor Nissen

Kurzbericht
KB 2004-1

Kiel, Juni 2004

Berichts-/Erschließungsblatt

Dieses Berichts-/Erschließungsblatt wird unabhängig vom Geheimhaltungsgrad des Dokumentes immer als "offen" behandelt, deshalb sind keine geheimhaltungswürdigen Angaben zu übernehmen.

Bitte Ausfüllanweisung auf der Rückseite beachten.

Nur vom DOKFIZBw auszufüllen.

2 BerichtsNr des Herausgebers/Auftragnehmers (AN) (Vollständige Buchstaben-/Ziffernfolge)		3 BerichtsNr des Auftraggebers (AG)		10 Dst und StO (Dokument langfristig verfügbar, Ausleihe)			
KB 2004 - 1							
4 Titel/Untertitel (VS-eingestuftem Titel fingieren "....."; bei mehrbändigen Dokumenten BdNr und zutreffenden Einzeltitel angeben)				11 Geheimhaltungsgrad Offen VS-NfD VS-Vertr. GEHEIM			
Akustische Kenntlichmachung von künstlichen Unterwassergefahrenquellen - Modellierung und Leistungsdaten -				<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
				12 Gesamtseiten-/blattzahl		13 Quellen	
				27			
5 Autor(en) (Name, Vorname(n) oder Institution als körperschaftlicher Urheber)				14 Tabellen			
Nissen, Ivor				15 Statistiken			
6 Auftragnehmer (AN) (Institution(en), Abteilung, Ort/Sitz der beteiligten AN, SubAN, MitAN)				16 Techn. Zeichnungen			
Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik				17 Abbildungen			
7 Auftraggeber (AG) / Aufgabensteller(ASt) / Fachlich zuständige Stelle				18 Berichtsdatum			
AG: Bundesministerium der Verteidigung, Rü VII5				J J J J M M T T			
Ast.: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, SG III				2 0 0 4 0 7 0 4			
8 Kurzreferat (Inhaltsbeschreibung des Dokumentes)				19 Berichtsart (z.B Zwischen-/Abschlußbericht, vgl..Feld 27)			
Die Wehrbereichsverwaltung Nord hat die FWG gebeten, technische Leistungsdaten für Geräte anzugeben, damit eine einheitliche akustische Kenntlichmachung von künstlichen Unterwasserhindernissen gewährleistet wird. Die zugehörigen Untersuchungen und Zusatzinformationen sind in diesem Bericht zusammengefaßt.				20 Auftrags-/VertragsNr des AG (Vollständige Buchstaben-/Ziffernfolge)			
				21 Auftragserteilung/Vertragsabschluß			
				J J J J M M T T			
				2 0 0 4 0 2 2 5			
				22 Abschlußdatum/Vertragsende			
				J J J J M M T T			
				2 0 0 4 0 7 0 4			
				23 Projekt-/Programm-/Konzeptbezeichnung (z.B: ZTL 1979, FAG 1, MBB 1-85-1)			
				24 Studien-/Aufgabenkennziffer, DateiblattNr (SKZ., AKZ., DateiblattNr)			
				25 Aktenzeichen des AG/Herausgebers oder der fachlich zuständigen Stelle			
				26 Sperrvermerk			
				27 Zusätzliche Angaben/Hinweise			
9 Schlagwörter (Schwerpunktartige Inhaltskennzeichnung mittels Fachbegriffen, maximal 10 Stellen)							
Windkraftanlagen, Offshore, akustische Kenntlichmachung							

1.0 Einleitung

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) hat im Februar 2004 zwei neue Offshorewindparks in der Nordsee genehmigt. Damit hat das Bundesamt vier Genehmigungen von bisher 30 beantragten Projekten mit insgesamt 2400 Anlagen erteilt, die alle außerhalb der Zwölf-Seemeilen-Zone aber innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone der Bundesrepublik liegen (siehe aktuelle Planungen im Anhang A.1). Die Fläche der beantragten Projekte liegt hiernach bei zirka 13.000 km² in der Nordsee (24 Projekte) und zirka 1.000 km² (6 Projekte) in der Ostsee.

Bei der Vielzahl der zu errichtenden Masten, steigt das Kollisionsrisiko für Über- und Unterwasserfahrzeuge. Daher sind diese künstlichen Gefahrenquellen zu markieren. Für den Unterwasserbereich ist eine akustische Warnung vorgeschrieben, die als Notfallnavigationshilfe benötigt wird.

In diesem Bericht wird nicht auf Einwände konkurrierender Nutzer oder Umweltaspekte zu diesem Themenkomplex eingegangen. Er beschränkt sich auf die Frage, welche Sendepiegel und Signalformen bei den vorgegebenen Frequenzbereichen im Jahresverlauf für eine akustische Kenntlichmachung der Masten durch Sonartransponder empfehlenswert sind.

Diese Fragestellung ist von der

- Vorgehensweise des Warnens (1.1)
- den Umweltbedingungen (1.2)
- und dem Geräuscheintrag (1.3)

abhängig.

1.1 Minimalforderung zur Warnung

Die festgelegte Vorgehensweise zur Warnung bei getauchten Fahrzeugen ist Basis zur Beantwortung der Fragestellung über die akustischen Leistungsdaten:

- Die Kenntlichmachung wird durch Transponder bewerkstelligt, sofern eine Wassertiefe einer Mastposition im Park größer oder gleich 15 Metern vorliegt.
- Der Transponder antwortet im Bedarfsfall akustisch nach zwei möglichen Wegen der Aktivierung. Entweder wird er bei einem getauchten Fahrzeug akustisch oder in Seerohrtiefe elektromagnetisch aktiviert. Diese Vorgehensweise setzt ein aktives Handeln und damit die Kenntnis voraus, daß man sich in der Nähe eines Sendemastes befindet. Das Hauptinteresse besteht hierbei von Seiten der Marine an der Peilung.
- Die Warnreichweite der Signale sollte zwei Seemeilen nicht unterschreiten.
- Nach der Aktivierung werden einige wenige Signale in einem festen und gleichförmigen Intervall abgestrahlt.
- Durch den Transponder soll ein Winkelbereich von 270° abgedeckt werden. Abschattungseffekte sind zu vermeiden. Durch die vorgegebene Mindestreichweite von zwei Seemeilen müssen an der konvexen Hülle des Windparksgebietes alle vier Seemeilen Transponder; bei einzeln stehenden Masten zwei Transponder angebracht werden.

Da die eingesetzten Fahrzeuge durchgängig über Unterwassertelefone (UT) verfügen, bietet sich als Aktivierungsimpuls ein 8kHz-CW-Signal der Länge von mindestens einer Sekunde an, das man durch die Telegraphiekomponente der Telefone erzielen kann. Der Transponder antwortet daraufhin fünf Minuten lang mit wechselnden Sinus-Pulsen.

Die eingesetzten Geräte UT12 und UT2000 liefern einen Pegel von 200 dB re $1\mu\text{Pa}@1\text{m}$. Die akustische Aktivierungskomponente ist damit festgelegt. Ein Doppler für eine Fahrgeschwindigkeit von maximal 10kn ist zu berücksichtigen. Dieses entspricht einer Unsicherheit von $2 \cdot v \cdot f / c \sim 60$ Hz.

1.1 Typische Umweltbedingungen

Die Schallausbreitung wird von zeitlich sehr langsam veränderlichen Einflüssen, wie der Bodengestalt und dem -aufbau sowie vom Wetter abhängenden Einflüssen, wie dem Schallgeschwindigkeitsprofil, Wind-, Wellen- und Regeneinwirkungen beeinflusst. Außerdem ist die Schallausbreitung positionsabhängig.

Die großskaligen Einflüsse, wie die Bodentopographie, hat man durch Datenbanken relativ gut im Griff. Die wetterabhängigen Prozesse können so nicht behandelt werden. Beispielsweise Schallgeschwindigkeiten sollten direkt vor Ort für den Zeitpunkt einer Analyse gemessen werden. Vorhersagen von zwei bis drei Tagen in der Nordsee können mit gewissen Einschränkungen bereits angegeben werden. In der Ostsee sind diese Vorhersagen jedoch heutzutage noch zu unsicher.

Bei dieser Fragestellung, mit Zeitskalen in Jahreszyklen, sind jedoch nur grobe Aussagen im statistischen Sinn möglich, da für die Schallgeschwindigkeitsprofile nur historische Einzelmessungen und Klimadaten herangezogen werden können. Die Klimadaten, die flächendeckend vorhanden sind, werden verwendet, wenn zu wenig gemessene historische Profile vorliegen. Da diese jedoch für globale und nicht akustische Studien generiert werden, ist hier ein Einsatz sorgfältig zu prüfen.

Die hier angegebenen Rechnungen zeigen daher typische Beispiele. Insbesondere bei Sturm, ungewöhnlichen Wetterlagen, Fischschwärme etc. können die Ortungsbedingungen wesentlich schlechter sein. Dieses kann zum Versagen der Detektion führen, wie man es von Positionsleuchten im Nebel her kennt.

1.2 Geräuscheintrag

Definiert man das Umgebungsgeräusch als Summe von natürlichen und künstlichen Geräuscheinträgen, so sind Schiffsverkehr, Regen, Seegang, Meeresbewohnern und die Windparks als Geräuschquellen zu berücksichtigen.

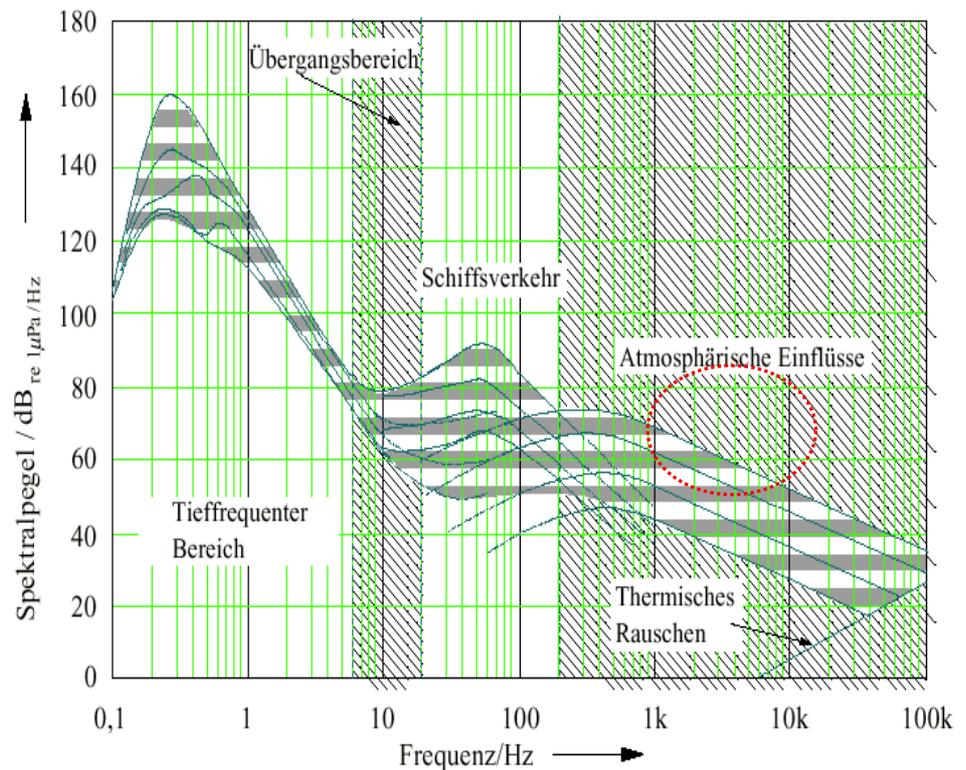
Abbildung 1.1: Mittlerer globaler Geräuschpegel in Abhängigkeit von Windstärke und Seegang bei längerer Einwirkzeit des Windes, h_{xx} ist der 2-fache Scheitelwert der Wellenhöhe

(nach Heinz G. Urban.
Handbuch der
Wasserschalltechnik. STN
ATLAS Elektronik GmbH,
Bremen, November 2000.)

Windgeschwindigkeit m/s	Windstärke Beaufort	Seegang	Wellenhöhe h_{xx} m	Geräuschpegel 0,1-10 kHz $\text{dB}_{\text{re } 1 \mu\text{Pa}}$	Zustand der Meeresoberfläche
<0,8	0	0		85	spiegelglatt
0,8-3,2	1	½		89	kleine schuppenförmige Kräuselwellen ohne Schaumkämme
2,4-4,0	2	1	<0,3	94	kurz ausgeprägte Wellen, die Kämme beginnen sich zu brechen, Schaum hat glasiges Aussehen
4,1-5,8	3	2	0,3-1,0	100	Wellenkämme beginnen sich zu brechen, Schaum überwiegend glasig, vereinzelte weiße Schaumköpfe
5,9-7,7	4	3	1-1,5	103	Wellen werden länger, vielfache weiße Schaumkämme, anhaltendes Rauschen der brechenden See.
7,8-9,8	5	4	1,5-2,5	105	Wellen nehmen ausgeprägte lange Formen an, es bilden sich weiße Schaumkämme
9,9-11,8	6	5	2,5-3,5	108	Es bilden sich größere Wellenberge, weiße Schaumkämme nehmen große Flächen ein
11,9-14,0	7	6	3,5-6,0	109	Die See türmt sich, der beim Brechen entstehende weiße Schaum beginnt sich streifenförmig in die Windrichtung zu legen.

Abbildung 1.2: Übersichtsdarstellung des Meeresgeräusches im Frequenzbereich von 0.1Hz bis 100kHz ohne Regen- und Seegangsberücksichtigung

(nach Heinz G. Urban.
Handbuch der
Wasserschalltechnik. STN
ATLAS Elektronik GmbH,
Bremen, November 2000.)



Ohne Kenntnis der Geräuscheinträge durch die Windparks beispielsweise durch Wellenbrechung etc. wird pauschal von einem Pegel von 90dB in dem Frequenzbereich von 7 - 8,1 kHz in dieser Flachwasserzone ausgegangen [C.1-C.3].

2.0 Modellrechnungen

In diesem Abschnitt werden Modellrechnungen zur Schallausbreitung der Aktivierungs- und Antwortsignale beim Transponderbetrieb dargestellt. Wir nutzen dabei Schallgeschwindigkeitsprofile aus historischen Messungen und gegebenenfalls Klimadaten, die aus den Levitus98- und GDEMV-Datenbasen entnommen werden.

Es werden insgesamt sechs potentielle Standorte von Offshore-Windparks berücksichtigt.

2.1 Referenzpositionen

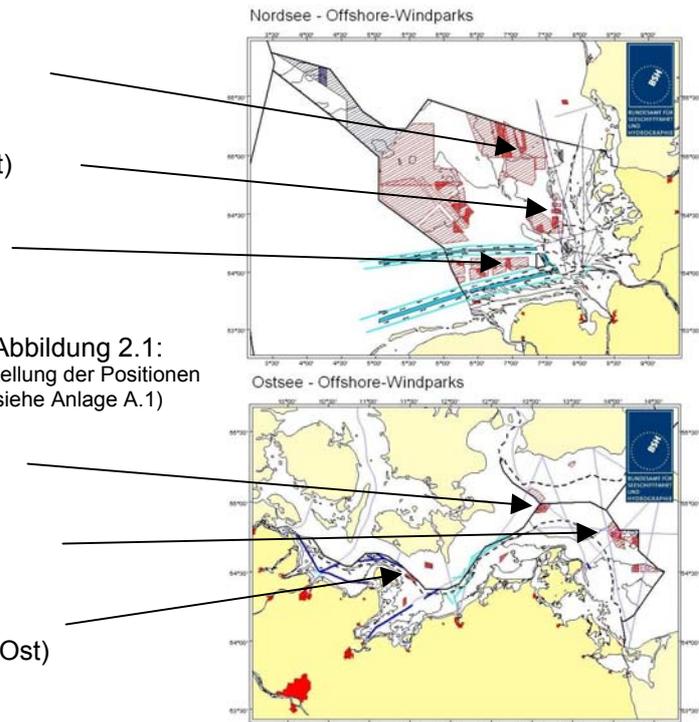
Basierend auf den in Anhang A.1 angegebenen aktuellen Planungen werden drei Positionen in der Nordsee

- Westlich von Sylt (55° 0' Nord / 7° 0' Ost)
- Amrum-Bank West (54° 35' Nord / 7° 42' Ost)
- Oberhalb Juist (54° 0' Nord / 7° 0' Ost)

und drei Positionen in der Ostsee

- Kriegers Flak (55° 0' Nord / 13° 0' Ost)
- Adlergrund (54° 46' Nord / 14° 22' Ost)
- Östlich von Fehmarn (54° 30' Nord / 11° 30' Ost)

Abbildung 2.1:
Darstellung der Positionen
(siehe Anlage A.1)



herangezogen. Für diese Positionen wird mit einem **Radius von 4 sm** (7.4 km) der Ausbreitungsverlust für die Monate Januar, April, Juli und Oktober mit ausgewählten Schallgeschwindigkeitsprofilen berechnet. Dabei werden generell folgende Parameter angenommen:

- | | | | | |
|-------------------------|---------|-------------|-------|----------------------------|
| a) Windgeschwindigkeit: | 5.0 m/s | Wellenhöhe: | 0.5 m | [Seegang: 2 Beaufort: 3] |
| b) Windgeschwindigkeit: | 15 m/s | Wellenhöhe: | 1.5 m | [Seegang: 4 Beaufort: 7] |

Sender- u. Empfangstiefe: halbe Wassertiefe m

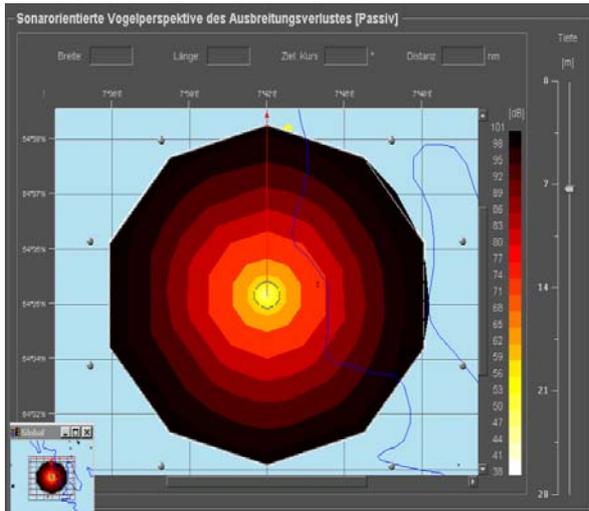
Die angenommenen beiden Seegangsszenarien a) und b) sind gängige Seezustände, die aus dem Datenbestand vom Marineamt GeoInfoWesen abgeleitet sind. Sie dienen hier zur Darstellung des Blaseneintrages und damit der Dämpfung und Streuung durch den Seegang.

Die Berechnungen werden mit dem Modell *MocassinNT* durchgeführt. Dabei werden im weiteren für ein Schmalbandsignal für 8 kHz die Graphikausgaben des Ausbreitungsverlustes angegeben. In einer anschließenden Bilanz werden mit dem pauschalen Umgebungsgeräusch (Schiffsverkehr: niedrig [ein Schiff in weiter Ferne], Regen: mittel [2 mm/h < Rate <= 12 mm/h]), dem Sendepiegel und dem modellierten Ausbreitungsverlust die verbleibenden Signal-Rauschabstände geschätzt. Die einzelnen Abbildungen werden im gemeinsamen Kontext analysiert und dienen der Dokumentierung. Als Aussage wird die binäre Information der Erfüllung der Mindestwarnreichweite für die einzelnen Referenz-Positionen herausgearbeitet.

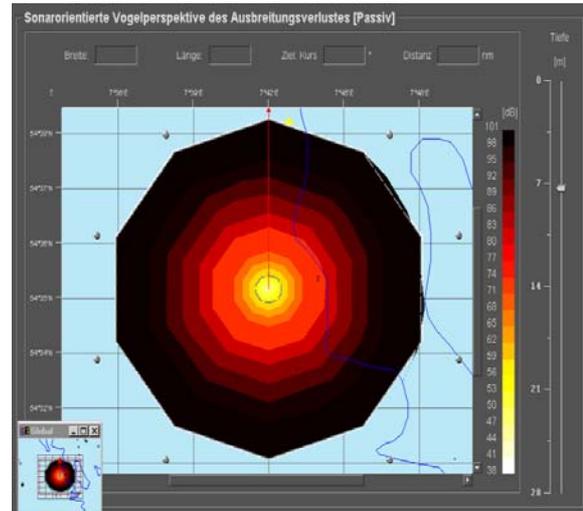
Es sei darauf hingewiesen, daß der geforderte 2-sm-Mindestwarnradius durch den halben Radius in den nun folgenden Kreisdarstellungen repräsentiert wird.

2.2 Rechnungen

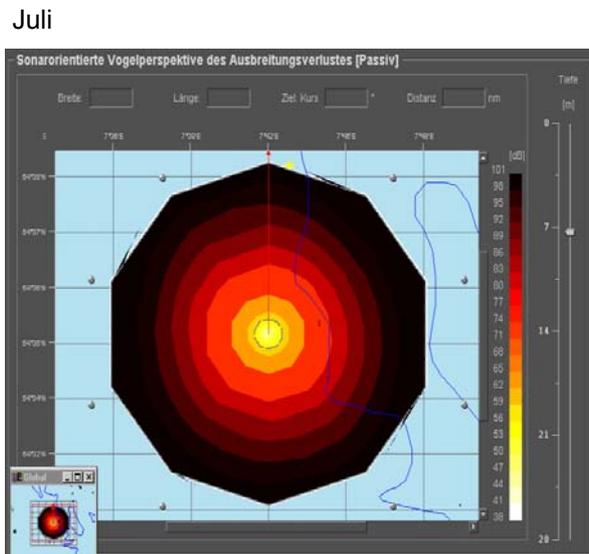
➤ Amrum-Bank West (54° 35' Nord / 7° 42' Ost) [Windgeschwindigkeit 15 m/s]



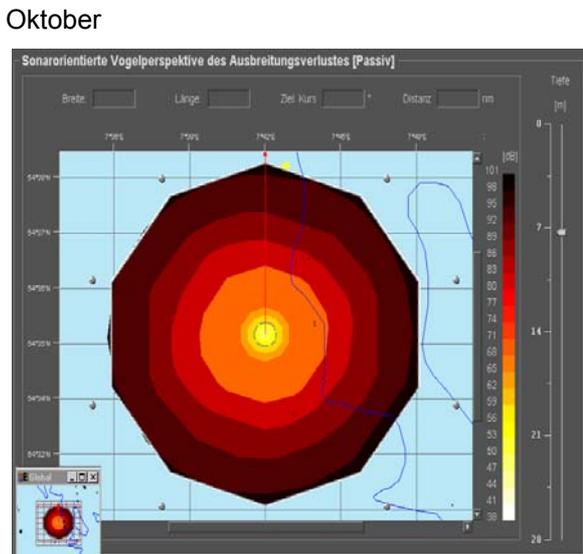
Januar



April



Juli

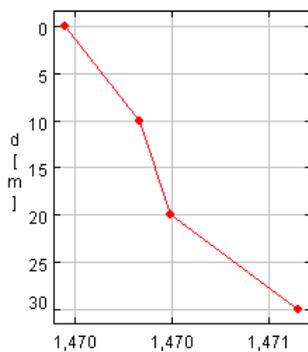


Oktober

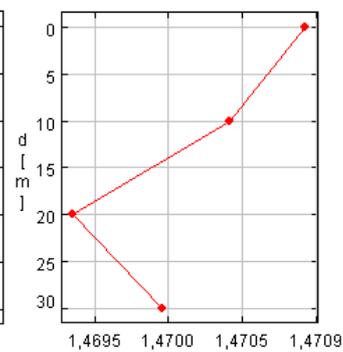
Bodenbeschaffenheit: Feinsand ohne ausgeprägter Topographie.

Die zugehörigen genutzten Schallgeschwindigkeitsprofile (x 1000 m/s) sind:

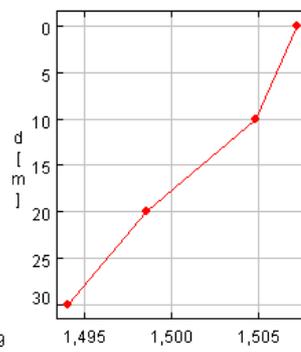
Januar



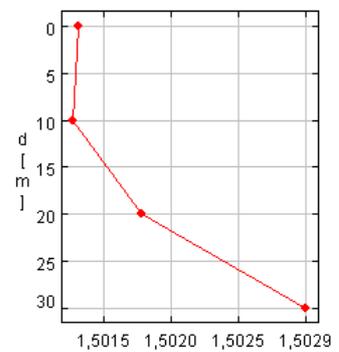
April



Juli

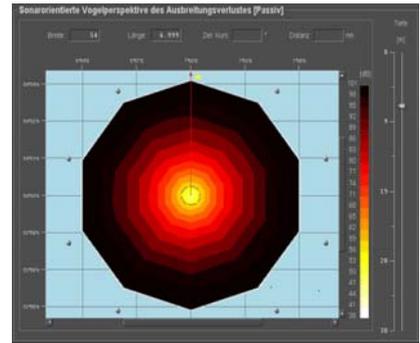


Oktober



- Oberhalb Juist (54° 0' Nord / 7° 0' Ost) [Sender und Empfänger bei 15m Tiefe - halbe Wassersäule]

Auch an dieser Position ist die Topographie nahezu eben, so daß der Ausbreitungsverlust der einzelnen Richtungen annähernd gleich ist. Daher werden jetzt repräsentative Schnitte mit den beiden verschiedenen Seegangszuständen verglichen. Links mit einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s (a) und rechts mit 15 m/s (b). Der Boden besteht überwiegend aus Feinsand und es wird mit keiner starken Absorption gerechnet. Der zu erkennende leichte Geländeabfall hat keinen nennenswerten Einfluß auf die Ausbreitung. Die gestrichelte Linie stellt die passive Sonargütezahl (FoM - Figure of Merit) dar.

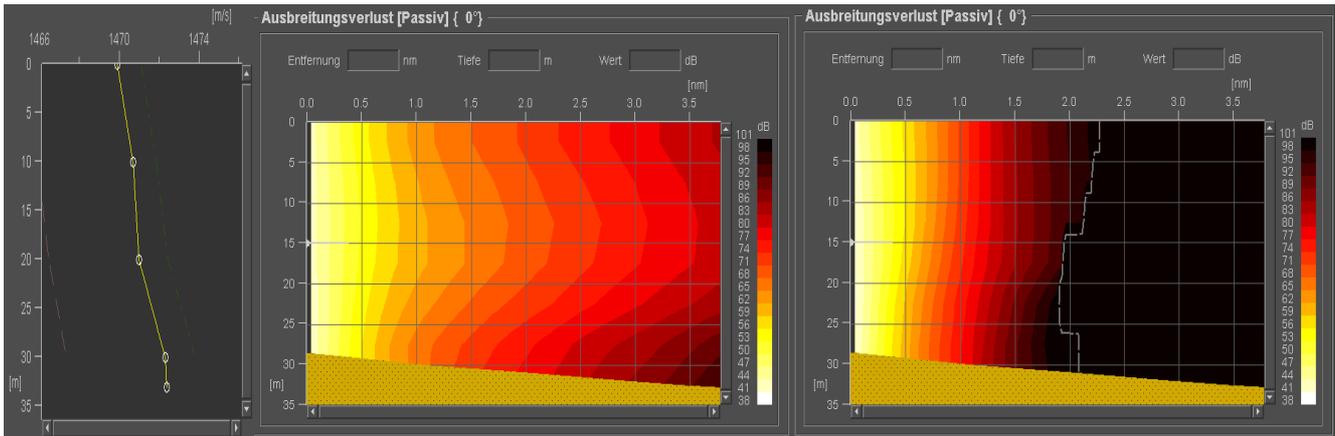


Ausbreitungsverlust im Januar bei einer Windgeschwindigkeit von 15 m/s und einer Wellenhöhe von 1.5 m (rechte Spalte)

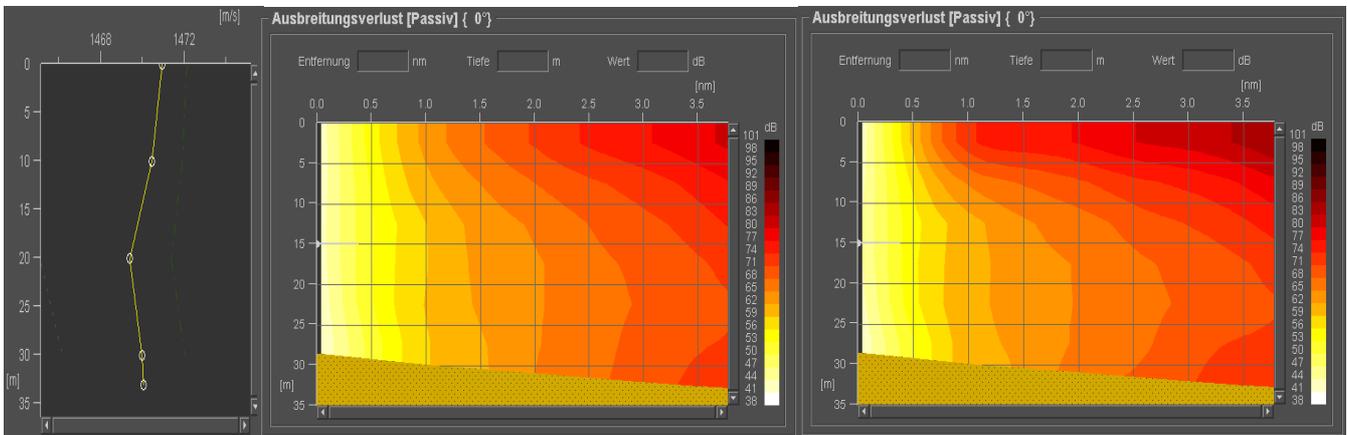
Januar

Seegang 2 / Beaufort 3

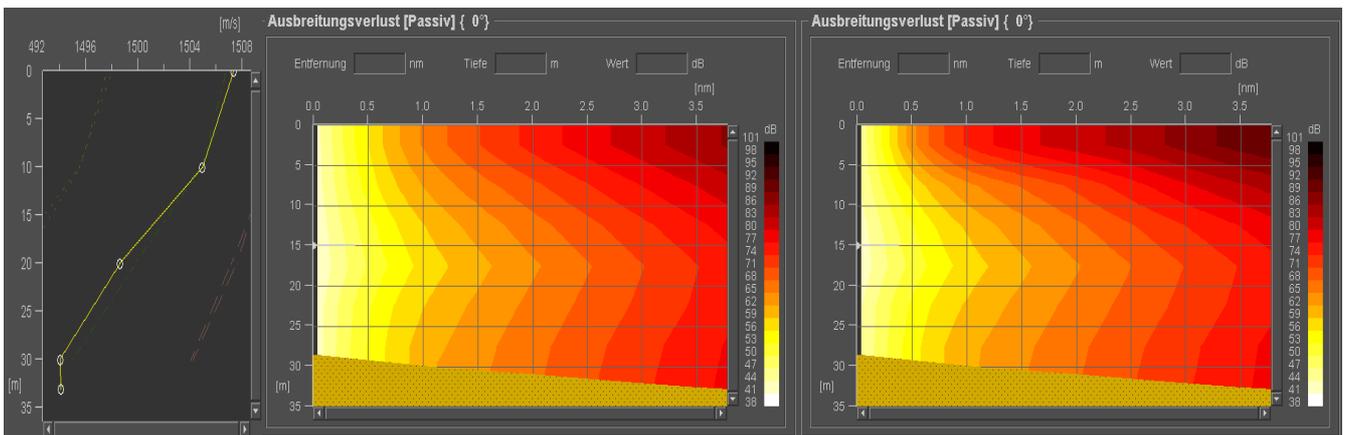
Seegang 4 / Beaufort 7



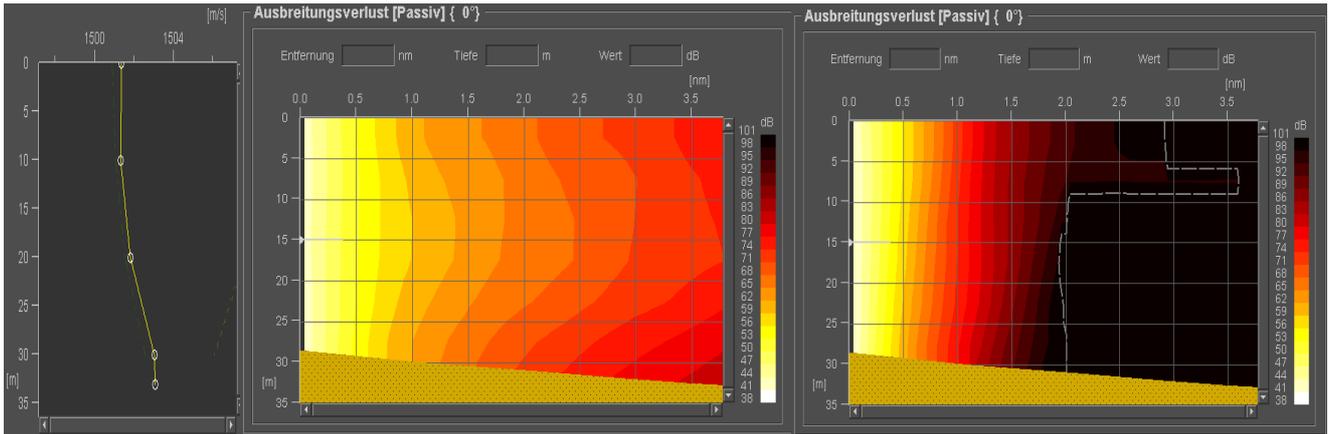
April



Juli



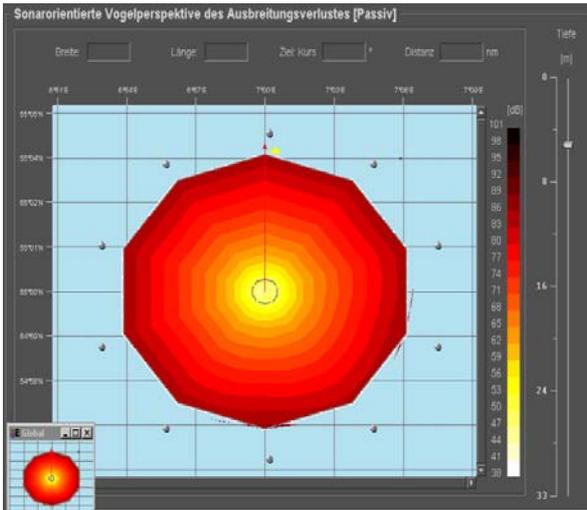
Oktober



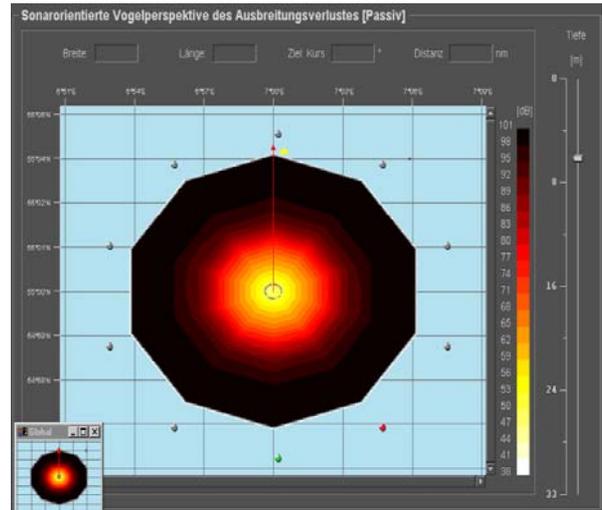
Der Blaseneinschlag durch den Seegang kommt in der Winterperiode in Verbindung mit den Schallgeschwindigkeitsprofilen zum Tragen.

➤ Westlich von Sylt (55° 0' Nord / 7° 0' Ost)

Januar mit Windgeschwindigkeit 5 m/s (a)



gleicher Monat mit Windgeschwindigkeit 15 m/s (b)



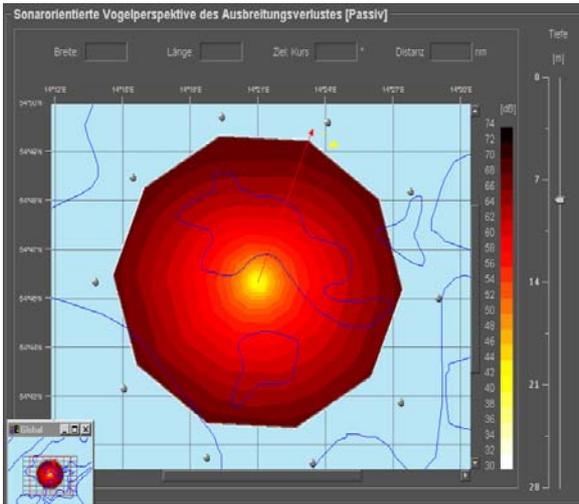
Es zeigt sich damit, daß auch bei mittlerem Seegang die Minimalforderung der Marine von 2 Seemeilen Reichweite bei einer Sendeleistung von 200 dB und der Mittenfrequenz von 8 kHz aufrecht erhalten werden kann.

Die Schichtungen und Schallgeschwindigkeitsprofile sind vergleichbar mit der oberen Position.

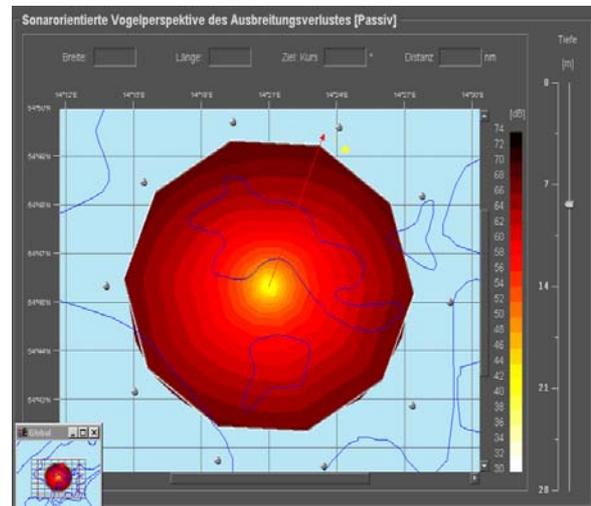
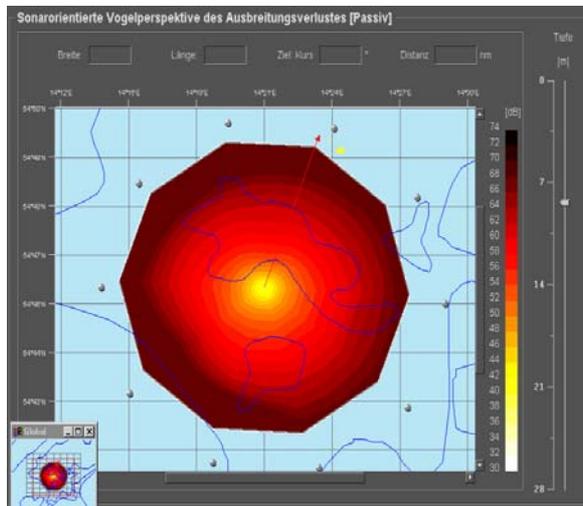
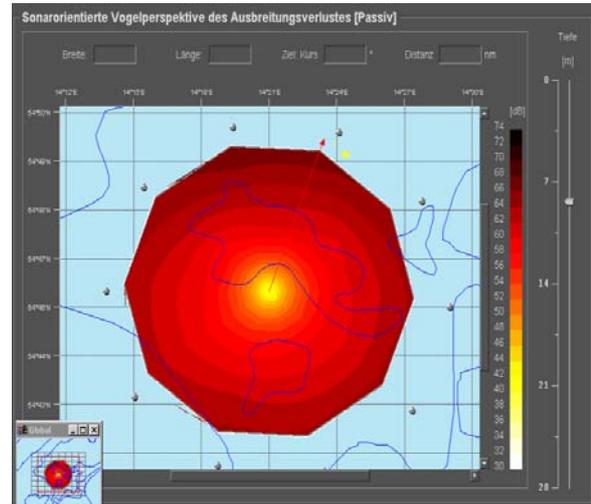
Nun folgen die drei Positionen in der Ostsee:

- Adlergrund (54° 46' Nord / 14° 22' Ost) [Windgeschwindigkeit 5 m/s]

Januar



April



Juli

Oktober

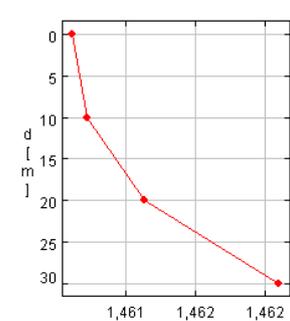
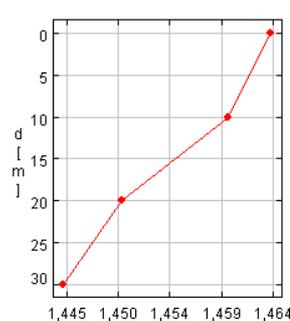
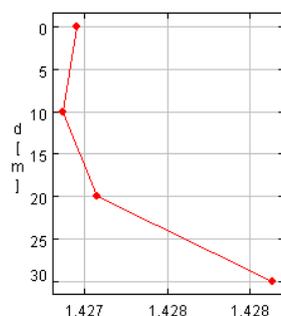
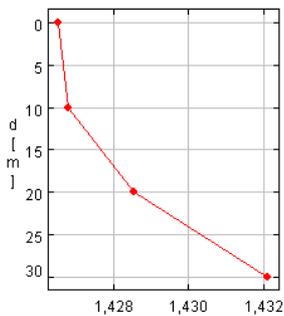
Der Einfluß durch die Grobsand-Bank ist unerheblich. Die zugehörigen Schallgeschwindigkeitsprofile (x1000 m/s) sind:

Januar

April

Juli

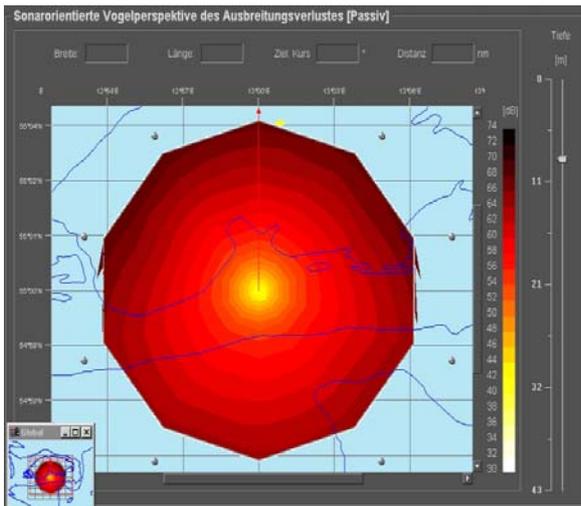
Oktober



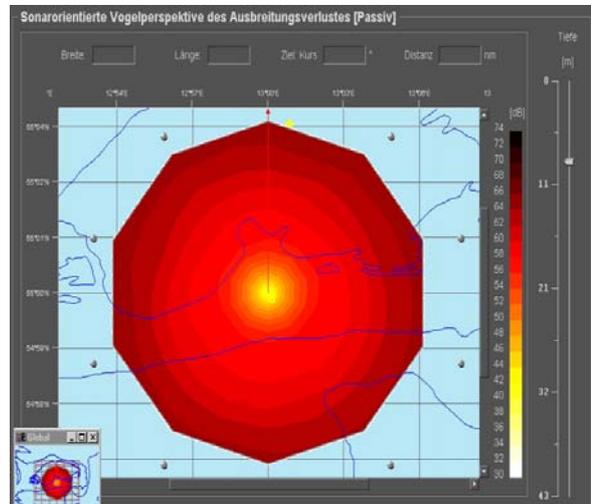
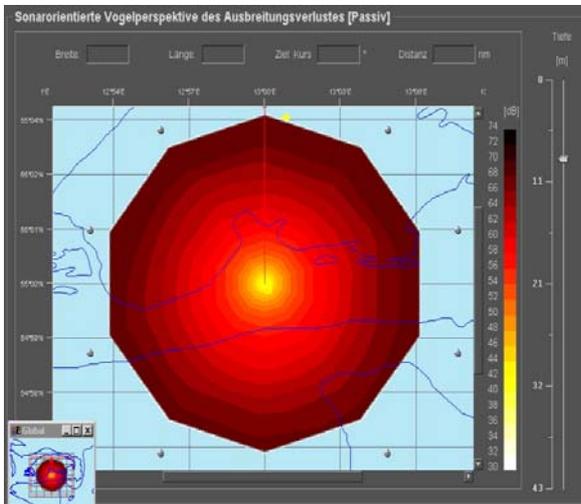
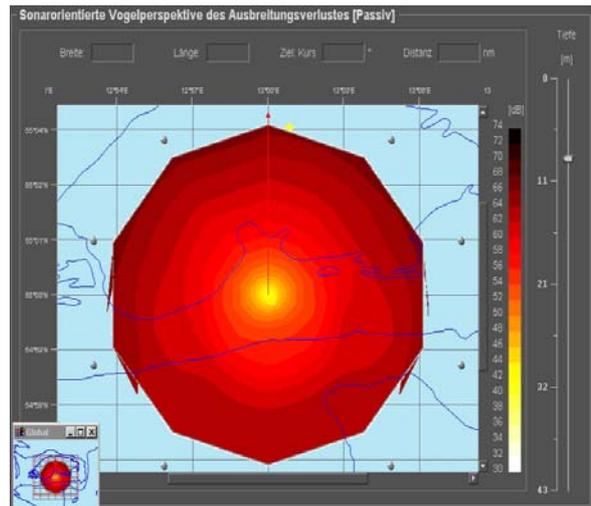
Das Sommerprofil ergibt sich durch einen steigenden Salzgehalt außerhalb der Bank und eine fallende Temperatur. Neben diesen Klimaprofilen haben die vorliegenden historischen Profile dieser Region keine pessimistischeren Ausbreitungsbedingungen geliefert.

➤ Kriegers Flak (55° 0' Nord / 13° 0' Ost) [Windgeschwindigkeit 5 m/s]

Januar



April

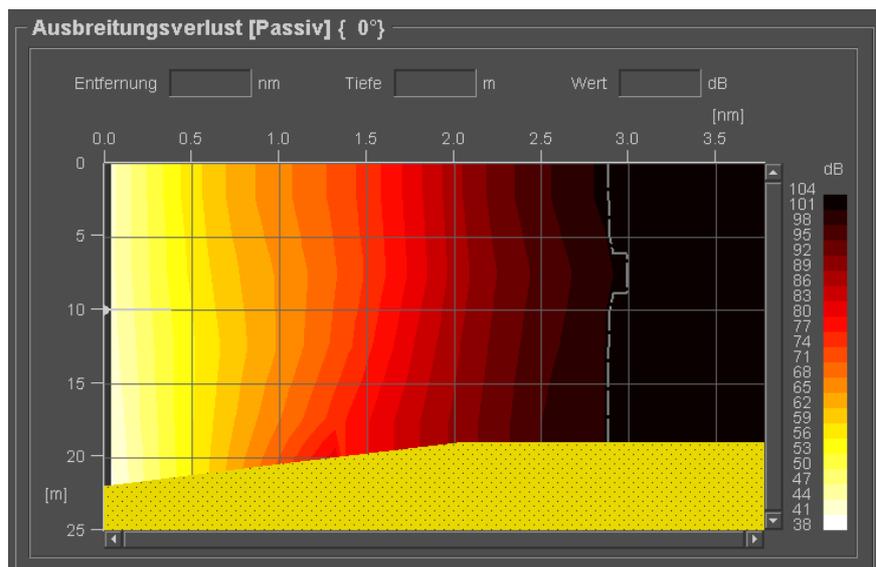


Juli

Oktober

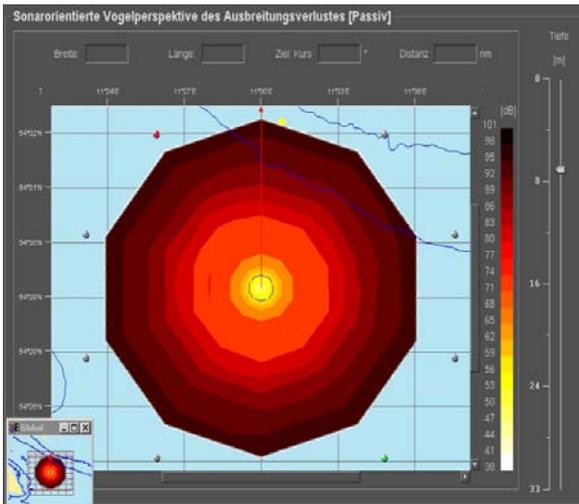
An dieser Position sind für das Seegangsszenarium (a) die Ausbreitungsverluste ebenfalls niedriger als an den Nordsee-Positionen. Daher wurde die Farbskala auf 74 dB statt 104 dB eingekürzt.

Ein Schnitt in Pfeilrichtung liefert auch bei mittlerem Seegang (b) in der Ostsee bei anderen Salzverteilungen einen Ausbreitungsverlust, der eine Warnreichweite von 2 sm gewährleistet.

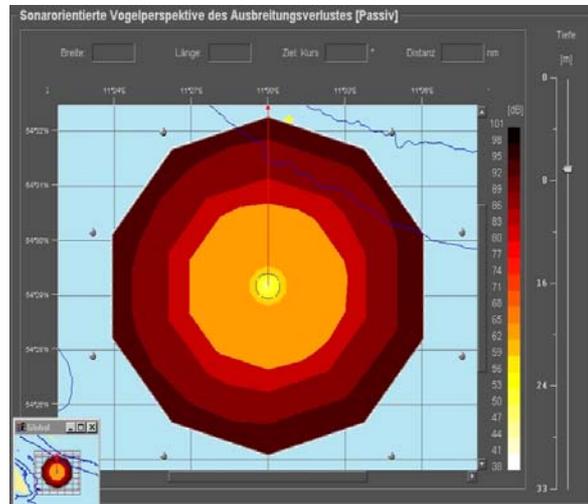
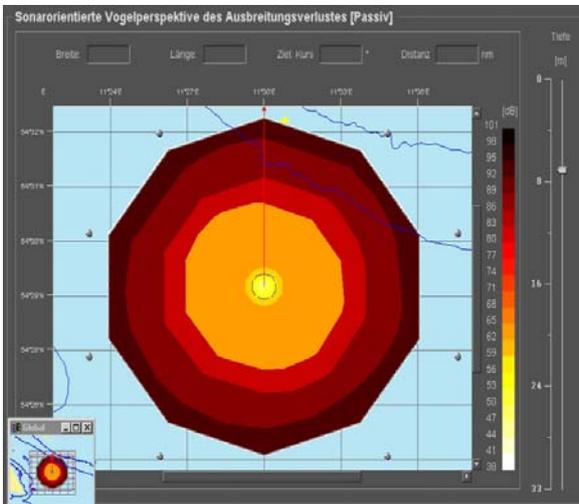
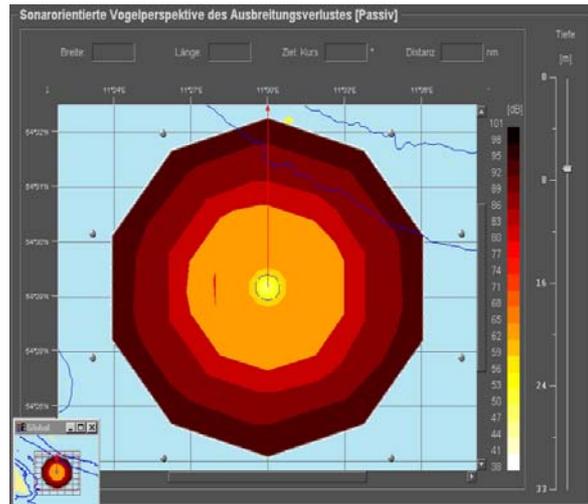


➤ Östlich von Fehmarn (54° 30' Nord / 11° 30' Ost) [Windgeschwindigkeit 5 m/s]

Januar



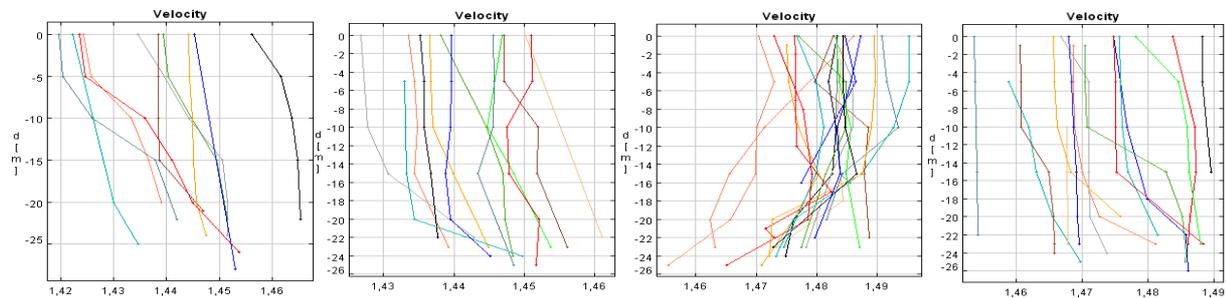
April



Juli

Oktober

Wie bei den anderen Positionen wurden neben den Klima-Schallgeschwindigkeitsprofilen auch historische Messungen ($\times 1000$ m/s) verwendet. Die obigen Abbildungen sind mit den längsten dunkelblauen Profilen entstanden. Die anderen Rechnungen variieren nur im kleinskaligen Bereich.



Januar

April

Juli

Oktober

Grundsätzlich hat sich bei den Modellierungen des Ausbreitungsverlusts in der Nord- und Ostsee an den sechs Referenzpositionen bei leichtem und mittleren Seegang in verschiedenen Tauchtiefen und bei gemessenen historischen und klimatologischen Schallgeschwindigkeiten eine Mindestwarreichweite von zwei Seemeilen bei den gewählten akustischen Leistungsdaten bestätigt. Das gilt ebenso für Rechnungen mit 7 kHz. In der Sediment-Datenbank befindet sich bei den Positionen überwiegend Sand. Falls diese Informationen nicht korrekt sein und Schlick und Schluff vorliegen sollten, so verkürzt sich die Reichweite bei mittlerem Seegang auf 1,5 Seemeilen.

3.0 Empfehlung für eine Festlegung der Parameter

Entsprechend den Forderungen des Protokolls (Anlagen B.1-B.3), den technischen Voraussetzungen und den durchgeführten Rechnungen wird empfohlen:

akustische Spezifikation des Transponders:

Merkmale:

Frequenzbereich:	7 - 8,1 kHz
Signal:	CW (kontinuierlicher Sinus-Puls)
Sendepiegel:	+200 dB referenziert auf 1µPa in 1m Entfernung
Strahlungsbereich:	270°
Sendertiefe:	halbe Wassertiefe

Die Basis in den Ubooten (bis 12 kHz) kann Winkeldifferenzen bei der Peilung von unter 0.5° Auflösung darstellen. Die günstigeren Absorptionsfaktoren und die technischen Begleiterscheinungen sprechen daher für den Frequenzbereich von 7 bis 8,1 kHz. Dieses ist auch der Bereich, in dem auf den Booten eine gute Darstellung auf den Sonarschrieben (CEP) zu erwarten ist. Eine Vielzahl von Sonaranlagen und Dippingbojen arbeiten in diesem Bereich. Die Signale müssen sich daher von anderen unterscheiden, damit der Sonaroperator sofort und eindeutig diese mit einem künstlichen Unterwasserhindernis in Verbindung bringt. Zudem sollten sie auch bei mittlerem Seegang gut zu hören sein. Daher bietet sich analog zur erprobten Zieldarstellung (ESUS-Bake) eine wechselnde Zwei-Frequenzen-Signalfolge von konstanten Sinustönen (CW) an, die auch Dopplerspreizungen erkennen läßt. Mit dem Sendepiegel von 200 dB kann sichergestellt werden, daß bis zu Windgeschwindigkeiten von 15 m/s und 1,5 m signifikanter Wellenhöhe und wenig Schiffsverkehr (ein Schiff in weiter Entfernung) die geforderte Aktivierung über zwei nautische Meilen in der Regel möglich ist. Für die Detektion des Signales in beiden Richtungen wird dabei ein Signalüberschuß von 10 dB über dem Umgebungsgeräusch gefordert, welches in diesem Frequenzbereich bei 90 dB angenommen wird. Mit dem abgeschätzten Übertragungsverlust von etwa 100 dB bestimmt sich der angegebene Sendepiegel von 200 dB additiv. Um Tieren in der Umgebung ein Entfernen zu ermöglichen, kann bis zur vierten 10s-Verzögerung ein schrittweises Ansteigen auf den Maximallevel berücksichtigt werden.

Bei stärkerem Seegang wird in diesen Tiefen nicht getaucht. Eine Frage der Gewährleistung der Detektion in diesem Frequenzbereich bei schlechten Witterungsbedingungen stellt sich somit nicht.

Akustische Aktivierung durch CW:

Aktivierungsfrequenz:	im Band [8080 Hz,8150 Hz] durch den Dopplereinfluß
Pulslänge:	> 1 s
Signal-Stör-Abstand	10 dB (für eine einfache Signalverarbeitung)

Akustische Antwort in Form eines wechselnden CW über 5 Minuten:

Bei mehreren Sendern in einem Windparkfeld sind alternierend die Sendesignale Kennung I und Kennung II zu verwenden, um eine Identifizierung zu ermöglichen. Bei einer ungeraden Anzahl sind die Masten gleicher Kennung an der von der Schifffahrtsstraße abgewandten Seite zu positionieren. Bei nur einem Mast werden bei Abschattung zwei Sender der selben Kennung benötigt.

Sendesignal Kennung I:

Verzögerung nach Aktivierung:	0 s
Frequenzen:	7.0 kHz (SignalA), 7.3 kHz (SignalB)
Pulslänge:	1 s
Sendefolge	15x[5 x (SignalA, SignalB), 10s Verzögerung] (damit Sendedauer von 5 Minuten)

Sendesignal Kennung II:

Verzögerung nach Aktivierung:	0 s
Frequenzen:	7.5 kHz (SignalA), 7.8 kHz (SignalB)
Pulslänge:	1 s
Sendefolge	15x[5 x (SignalA, SignalB), 10s Verzögerung] (damit Sendedauer von 5 Minuten)

Eine Aktivierung über Funk ist gefordert, wird hier jedoch nicht beschrieben!

4.0 Anhang

Auf den nächsten Seiten befindet sich das herangezogene und zitierte Material:

A.1) Planungen von Offshore-Windkraftanlagen in Ausschließlichen Wirtschaftszone der Bundesrepublik

B.1) Protokoll der Besprechung vom 24. Mai 2004 zur akustischen Kenntlichmachung von künstlichen Unterwassergefahrenquellen

B.2) Teilnehmerliste

B.3) Signalvorgaben

Als Quellen für Messungen des emittierten Wasserschalls durch die Windenergieanlagen werden drei Quellen angeführt:

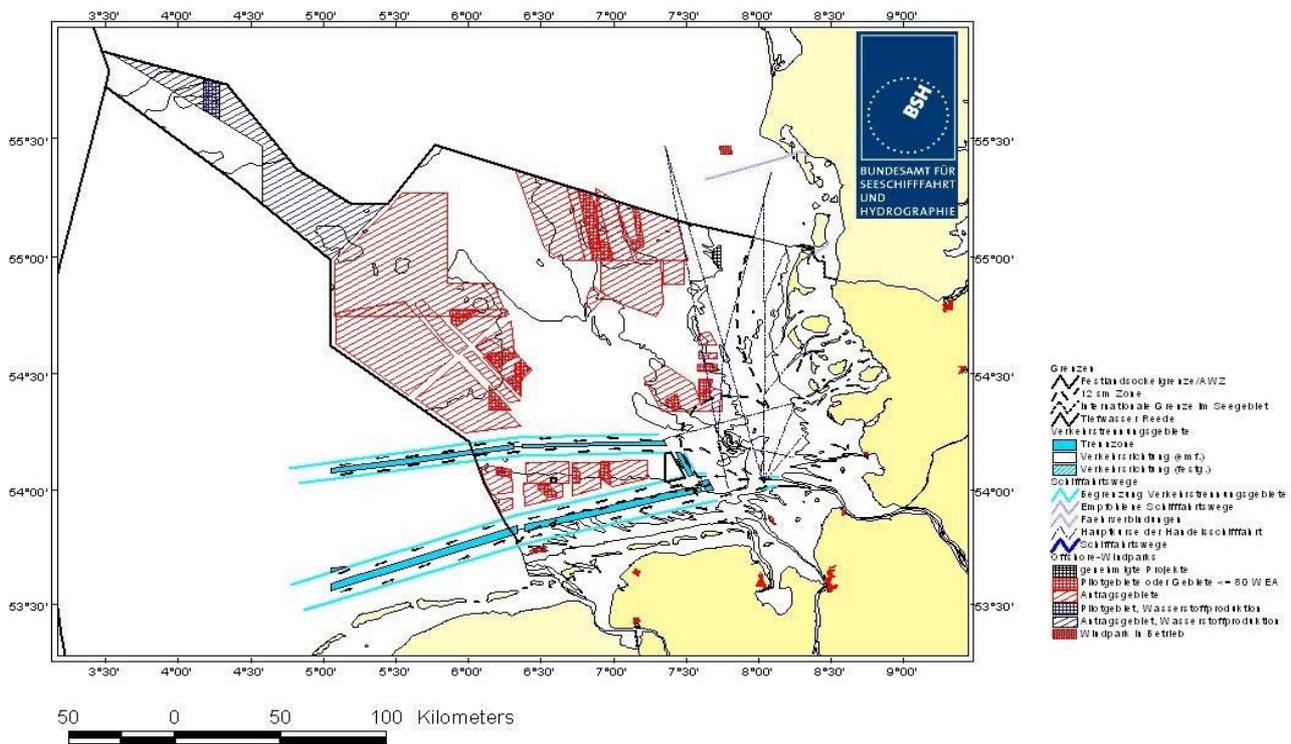
C.1) Messungen der Unterwasser-Schallabstrahlung einer Offshore-Windenergieanlage

C.2) Underwater noise emissions from offshore wind turbines

C.3) Messungen an Off-Shore-Windkraftanlagen

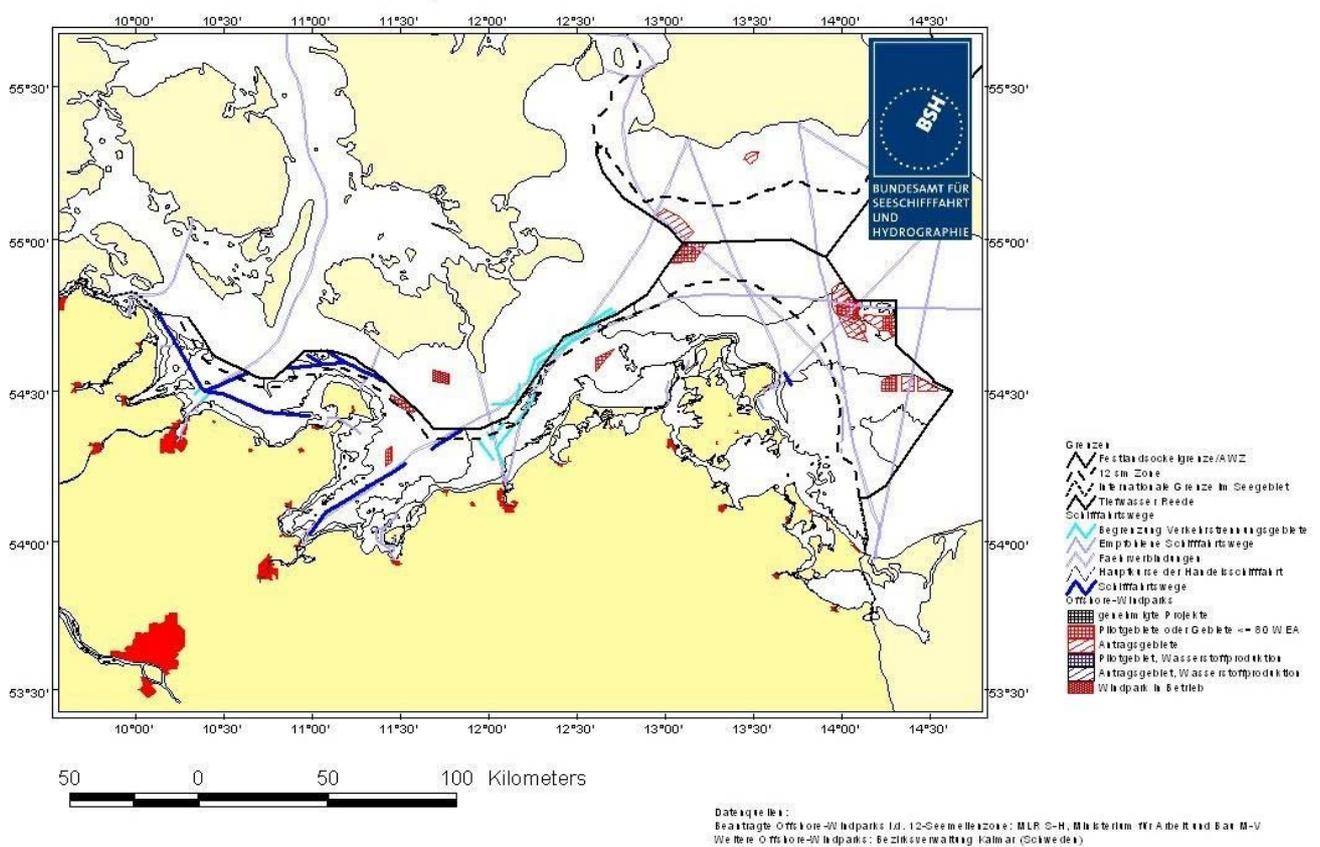
Anlage A.1 (Quelle: BSH)

Nordsee - Offshore-Windparks



BSH / M5212 - Stand: 08.01.2004

Ostsee - Offshore-Windparks



BSH / M5212 - Stand: 08.01.2004

Messung der Unterwasser-Schallabstrahlung einer Offshore-Windenergieanlage

Klaus Betke, Manfred Schultz-von Glahn, Andreas Petersen², Joachim Gabriel³

Institut für technische und angewandte Physik GmbH (ITAP), Oldenburg

² GE Wind Energy GmbH, Salzbergen, ³ Deutsches Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven

Derzeit laufen Planungen und Genehmigungsverfahren für mehr als 5000 Windenergieanlagen (WEA) in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in Nord- und Ostsee; jede einzelne Anlage soll 3 bis 5 MW Nennleistung haben. Aus akustischer Sicht kritisch für die Meeresfauna ist die Bauphase mit ihren sehr intensiven Rammgeräuschen. Noch keine Einigkeit besteht dagegen bei der Frage, ob auch der reguläre Betrieb von Offshore-WEA eine akustische Belastung der Meeresumwelt bedeuten kann.

Für den Offshore-Betrieb vorgesehene WEA existieren zudem oft nur als Prototypen an Land; daher ist auch eine Vorhersage von Immissionspegeln schwierig. Wünschenswert wäre daher die Kenntnis einer möglichst allgemeingültigen „Übertragungsfunktion“ zwischen den leicht messbaren Schwingungen der Turmwand und dem abgestrahlten Unterwasserschall.

Schalleintrag ins Wasser durch eine WEA

Die wesentliche Quellen des von einer WEA erzeugten Unterwasserschalls sind das Getriebe und der Generator. Die von der Gondel ausgehenden Schwingungen verursachen Biegeschwingungen des Turmmantels und diese wiederum eine Abstrahlung von Schall (Abbildung 1). Von den Rotorblättern und von der Gondel abgestrahlter Luftschall, der ins Wasser eindringt, ist dagegen vernachlässigbar.

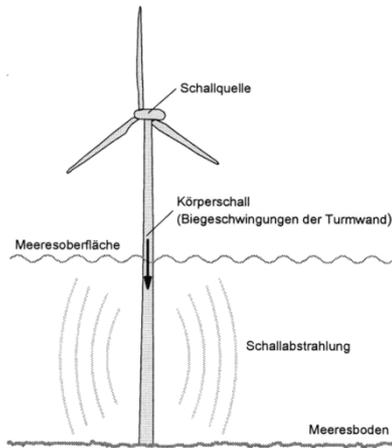


Abbildung 1: Einleitung von Schall ins Wasser durch eine WEA

Messungen

Im Oktober 2002 konnten erste Messungen im Offshore-Windpark Utgrunden vorgenommen werden. Dieser Park befindet sich zwischen dem schwedischen Festland und der Insel Öland und ist seit Ende des Jahres 2000 in Betrieb. Er besteht aus sieben Anlagen mit jeweils 1.5 MW Nennleistung.

Für die Messungen stand die mittlere der etwa auf einer Nord-Süd-Linie angeordneten WEA zur Verfügung. Um Störgeräusche im Wasser zu vermeiden, wurden die übrigen Anlagen abgeschaltet.

Die Turmwandung wurde mit vier Beschleunigungsaufnehmern versehen, zwei oberhalb und zwei unterhalb der Wasserlinie (Abbildung 2). Die Sensoren waren in einer Linie übereinander angeordnet. Messungen an einer vergleichbaren WEA an Land hatten zuvor gezeigt, dass sich die Schwingungspegel an verschiedenen Stellen des Turmumfangs nur wenig unterscheiden. Ein Hydrofon war in 110 m Abstand zur WEA fest installiert, mit einem weiteren Hydrofon wurden Messungen von einem Boot aus in verschiedenen Entfernungen bis 600 m vorgenommen.

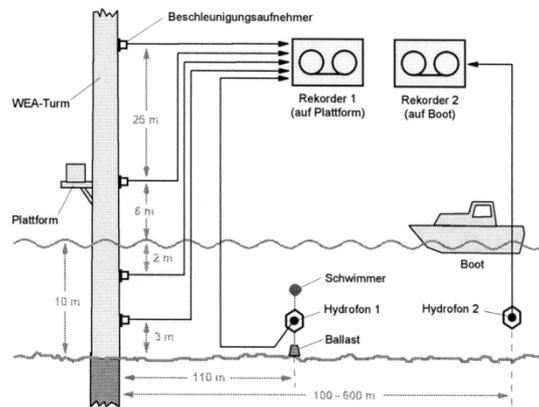


Abb. 2: Messanordnung

Abbildung 3 zeigt ein in 110 m Abstand von der WEA gemessenes akustisches Spektrum. Das Maximum der Schallabstrahlung liegt zwischen 40 und 150 Hz. Oberhalb von 1 kHz war keine nennenswerte Schallabstrahlung zu beobachten.

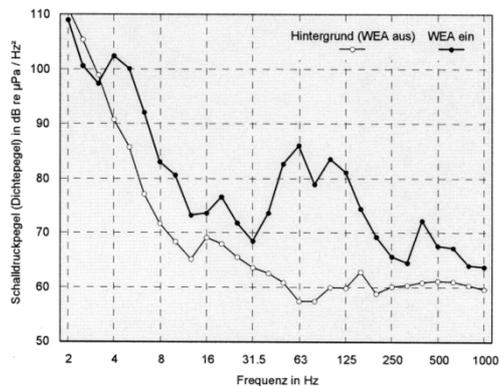


Abb. 3: An Hydrofon 1 gemessene 1/3-Oktav-Pegel

Im Messzeitraum arbeiteten die Anlagen des Windparks nur mit etwa 10% ihrer Nennleistung; die gemessenen Pegel sind daher vermutlich nicht für alle Betriebszustände repräsentativ. Auch die

Hintergrundpegel sind vergleichsweise niedrig. Bei stärkerem Wind ist allerdings ein Übersetzen vom Schiff auf die Anlage nicht möglich. Geplant ist deshalb eine automatische aufzeichnende Messung über einen Zeitraum von mehreren Wochen.

Im FFT-Spektrum (Abbildung 4) lassen sich einzelne Linien den Drehfrequenzen f_{ni} und Zahnengriffsfrequenzen f_{ti} des Getriebes sowie Harmonischen davon zuordnen. Beispielsweise ist f_{n5} die Drehfrequenz des Generators, dessen dritte Harmonische bei 54 Hz abgestrahlt wird. Mit denjenigen Spektrallinien, die auch in den Beschleunigungssignalen eindeutig zu identifizieren sind, lässt sich nun eine „Übertragungsfunktion“ berechnen, welche den Schalldruckpegel unter Wasser als Funktion des an der Turmwand gemessenen Beschleunigungspegels angibt.

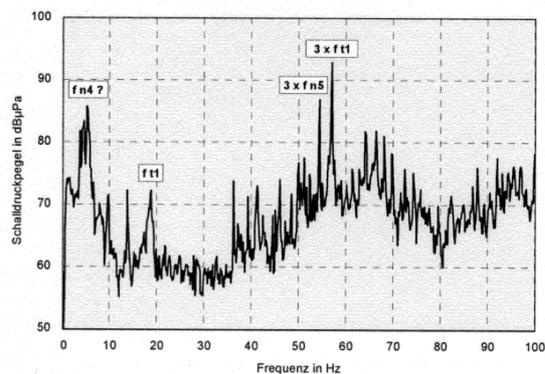
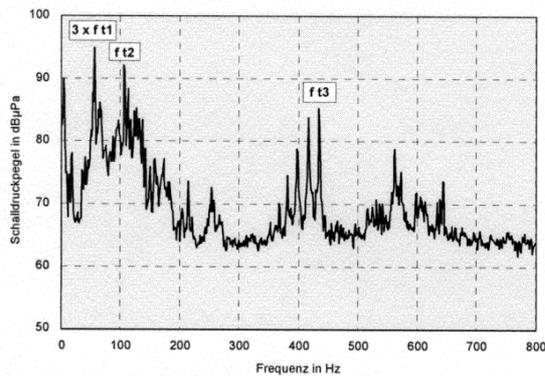


Abb. 4: Mit Hydrofon 1 aufgenommene Schmalbandspektren. Oben: 0...800 Hz, unten: 0...100 Hz

In Abbildung 5 ist der Betrag der so ermittelten Übertragungsfunktion aufgetragen, und zwar normiert auf eine Entfernung von 1 m vom akustischen Zentrum. In Flachwasserzonen – wozu auch der größte Teil von Nord- und Ostsee zählt – ist die Schallausbreitung durch eine Gesetzmäßigkeit „zwischen Kugelwelle und Zylinderwelle“ gekennzeichnet. Für Abstände bis etwa 80 km wird der *Transmission Loss* TL in dB recht genau durch eine von Thiele angegebene Näherung beschrieben:

$$TL = (16.07 + 0.185 F) (\log(r) + 3) + (0.174 + 0.046 F + 0.005 F^2) r,$$

darin ist $F = 10 \log(f / \text{kHz})$ und r die Entfernung in km. Im hier interessierenden Frequenz- und Entfernungsbereich nimmt der Pegel mit rund 4.5 dB je Entfernungsverdopplung ab.

Noch unklar ist das Zustandekommen des scharfen Maximums zwischen 50 und 60 Hz. Anstatt die Turmstruktur mit den von Getriebe und Generator ausgehenden Schwingungen anzuregen, wurde bei einer Kontrollmessung auch eine breitbandige Anregung mit Impulsen (Hammer) vorgenommen. Die so ermittelte Übertragungsfunktion (Abbildung 6) liegt in der gleichen Größenordnung; das Maximum zwischen 50 und 100 Hz ist aber weniger stark ausgeprägt. Weitere Untersuchungen an anderen Anlagentypen sowie einer als Monopile ausgelegten Forschungsplattform sind vorgesehen.

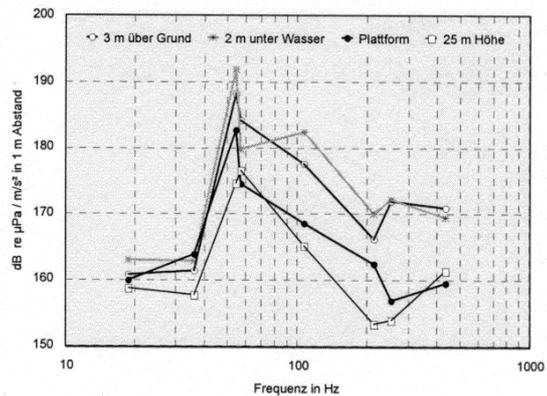


Abb. 5: Übertragungsfunktion Schall – Turmbeschleunigung. Anregung der Turmstruktur durch Getriebe und Generator

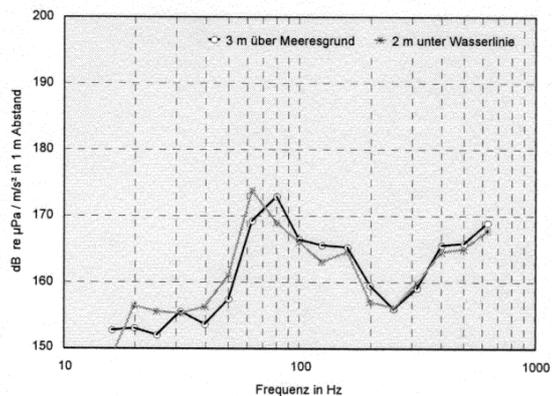


Abb. 6: Übertragungsfunktion Schall – Turmbeschleunigung, gemessen mit Impulsanregung der Turmstruktur

Danksagung

Diese Untersuchung wurde vom Bundesumweltministerium im Rahmen des Verbundprojektes „Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallimmission von Offshore-Windenergieanlagen“ gefördert. Wir danken der GE Wind Energy GmbH für das Ermöglichen der Messungen und für die freundliche Unterstützung vor Ort.

[1] R.Thiele, FWG Kiel. Persönliche Mitteilung 2001

(Dieser Artikel wurde zur DAGA'03 veröffentlicht)

Underwater noise emissions from offshore wind turbines

Klaus Betke, Manfred Schultz-von Glahn, Rainer Matuschek

ITAP – Institut für technische und angewandte Physik GmbH, 26129 Oldenburg, Germany, Email: info@itap.de

Introduction

At present there are about 30 claims for wind farms in the German North Sea and Baltic areas. At the final stage, some of these farms may consist of several hundred turbines, each one with a rated power of 3 MW or more. While two medium-size offshore farms with about 80 turbines each are already existing in Denmark, the first turbines in German waters will probably be erected in 2005.

Both operation and construction of offshore wind turbines induce underwater noise, which is potentially harmful to marine mammals and fishes.

Operating noise

Vibration of the turbine's gear box and generator is guided downwards and radiated as sound from the tower wall (Figure 1). Sound radiation by surface waves is difficult to compute and to predict, in particular for complicated boundary conditions. Hence, measurements on an already existing offshore wind turbine were made. The setup is shown in Figure 2. Since access to the turbine is only possible at low wind speeds, an automatic recording was made over a one month period. At every full hour, 20 minutes of underwater sound and tower wall vibration were recorded to hard disk. The accelerometer position – approx. 10 m above sea level and perpendicular to the wall – was chosen after preliminary measurements with several sensor positions above and below sea level [1]. Wind and electric power values were taken from the turbine's routine log files.

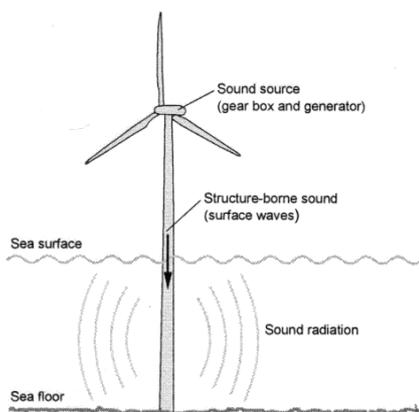


Figure 1: Mechanism of underwater noise generation by an offshore wind turbine

Some acoustic spectra are shown in Figure 3. At low wind speeds, the generator runs at about 1100 rpm, but rises rapidly to the nominal value of 1800 rpm, which is reached at 700 kW. Turbine rated power is 1500 kW. Hence there are

mainly two acoustic spectra (caused by two different sets of tooth mesh frequencies), one for low wind speeds, and one for moderate and strong wind.

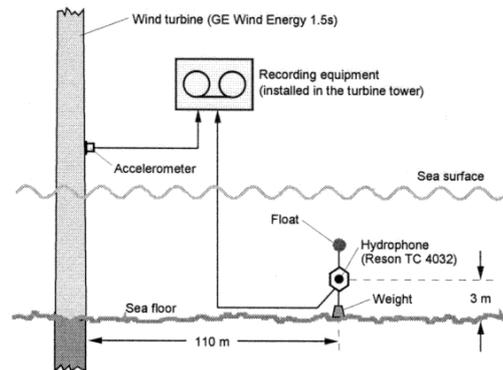


Figure 2: Measurement setup for monitoring underwater noise induced by an offshore wind turbine. Water depth was about 10 m.

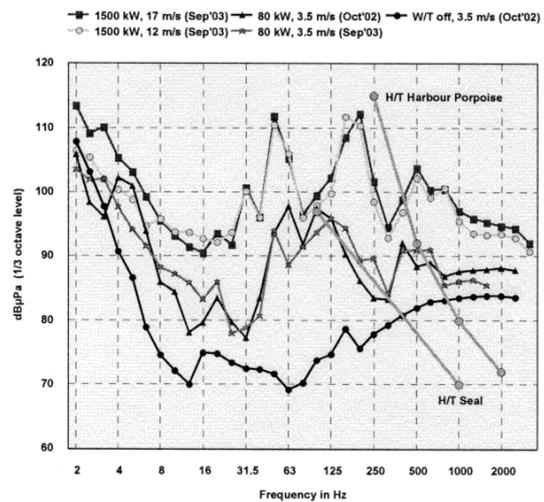


Figure 3: Underwater sound pressure levels (1/3rd octave spectra) recorded at 110 m distance from the turbine for different turbine states. Wind speeds refer to hub height (nacelle anemometer). Low frequency parts of hearing thresholds for two marine mammals are shown for comparison.

The sound levels found here will certainly not cause damage to the hearing organ of marine animals, but might affect their behaviour in the vicinity of a turbine. However, somewhat higher tower vibration levels than for this turbine type have been measured onshore on several 2 to 2.5 MW turbines. If set up offshore, these turbine models are likely to produce higher underwater noise levels than those of Figure 3. On the

other hand, the larger the turbine, the lower the tooth mesh frequencies, radiation efficiency of surface wave declines towards low frequencies, while hearing thresholds increase. At present, it is not clear if the underwater noise from offshore wind turbine will influence the behaviour of marine animals.

Construction noise

Most offshore wind turbines are built as “monopiles” with up to 6 m diameter. The tripod – a three-legged construction “nailed” to the sea floor with piles of 1.5 to 2 m – is discussed as well, but has not been applied to large wind turbines so far. In both cases, the piles are brought into the ground by means of a pile driver. Pile driving produces extremely powerful impulsive underwater noise.

Figure 4 shows the time of a single impulse recorded at 400 m distance from a pile driver. The spectrum has a broad maximum in the range 100 – 300 Hz (Figure 5). Impulse rate during these works was about 40/minute.

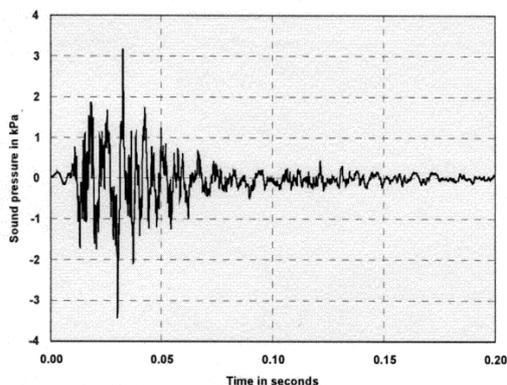


Figure 4: Time function of a pile driving impulse recorded at 400 m distance from the from the FINO 1 construction site [2]. Pile diameter was 1.5 m.

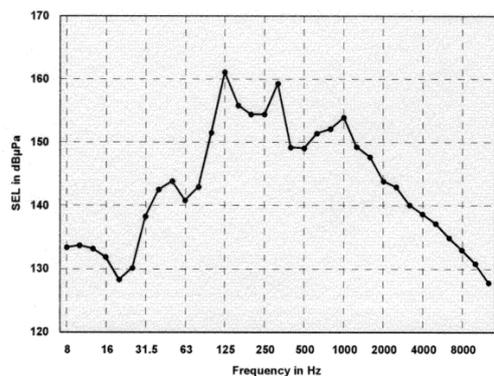


Figure 5: Spectrum of pile driving noise recorded at 400 m distance; average of 300 impulses. Note: SEL (single-event sound exposure level) is the L_{eq} normalized to an event duration of 1 second.

Impulse amplitudes of several 1000 Pa are likely to cause temporary threshold shift (TTS) in some species. But in order to estimate the biological data more precisely, a model for the level decrease with distance is necessary, in which a simple analytic formula is preferred.

North and Baltic Seas are acoustically shallow waters with neither spherical wave nor cylindrical wave propagation; level versus distance usually lies in between. Experimental data from pile driving works in the Baltic indicate a level decrease of roughly 4.5 dB per distance doubling (or 15 dB per decade; Figure 6). This is in agreement with the more detailed approximation formula given in [1].

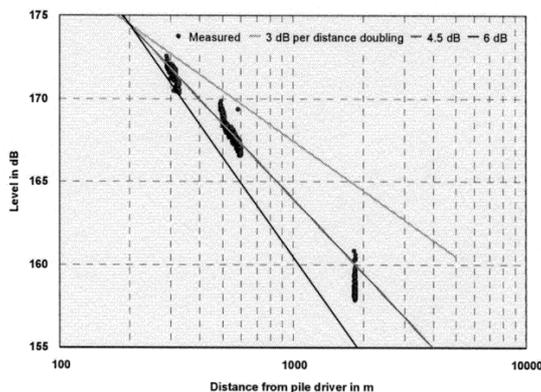


Figure 6: Measured sound levels versus distance for pile driving. The source level (measured close to the pile driver) did not vary by more than 2 dB during the whole operation.

Acknowledgments

This work was funded by the German Ministry of Environment (BMU) within the project *Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallimmission von Offshore-Windenergieanlagen*. We would also like to thank GE Wind Energy for their excellent support of the measurements at Utgrunden wind farm, Sweden.

References

- [1] K. Betke et al.: Messung der Unterwasser-Schallabstrahlung einer Offshore-Windenergieanlage. In: Fortschritte der Akustik – DAGA’03, 322-323. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA), Oldenburg 2003
- [2] FINO – Research platforms in the North and Baltic Seas <http://www.fino-offshore.com/>

C.3)

Messungen an Off-Shore-Windkraftanlagen

P. Matthiesen

Bericht 0297/2003

Akustikzentrum Wasserschall WTD 71

25.05.2004

war zur Berichtserstellung noch nicht freigegeben

Wegen umfangreicher Planungen zur Errichtung von Windparks in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ, 200sm), erwartet das Marine-Flottenkommando A3 Beeinträchtigungen der operativen Belange und hat die WTD 71 in Eckernförde um Untersuchung möglicher Auswirkungen von Windparks gebeten. Die hydroakustischen Geräuschemissionsmessungen eines Windparks mit 80 Windkraftanlagen je 2,5 MW vor der dänischen Nordseeküste am Horns Rev wurden an zwei Tagen in verschiedenen Abständen vorgenommen. Die Messergebnisse zeigen, dass in einem Abstand von ca. 250m Geräuschanteile, verursacht durch den sich drehenden Generator im Windmühlenkopf im Bereich 47 Hz aus dem Hintergrund heraus zu erkennen sind. In größeren Abständen von 2500m machen sich diese Emissionen nicht bemerkbar. Sie werden durch das stark schwankende Hintergrundgeräusch überdeckt.