



Maritime Säuger wie die Kegelrobbe (li.) und der Schweinswal (oben) können durch den Lärm bei Bau und Betrieb von Offshore-Windparks gestört werden. Fotos (2): fotolia

Luftblasen schützen Wale und Robben

Der Einsatz eines Blasenschleiers beim Bau der Forschungsplattform Fino³ zeigt, dass der Ausbau der Offshore-Windenergie umweltverträglich gestaltet werden kann

Der Ausbau der Offshore-Windenergie wird begleitet durch Forschung in den Bereichen Technologie und Ökologie. Dazu werden In-situ-Messungen durchgeführt und umfangreiche Daten gewonnen, die sowohl für statistische Auswertungen als auch zur Validierung verschiedenster Rechenmodelle, beispielsweise für die Bemessung und Optimierung von Offshore-Tragstrukturen, Verwendung finden.

In der ökologischen Forschung werden die Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresflora und -fauna untersucht. Die biologischen Untersuchungen befassen sich hier u. a. mit der Reaktion mariner Säugetiere, wie Schweinswale, Seehunde und Robben, auf die Einwirkung von Hydroschall. Hohe

Lärmimmissionen, wie sie im direkten Nahbereich von Rammarbeiten auftreten, können zu permanenten Hörschädigungen der Tiere führen. Bei geringerer Lärmeinwirkung oder größerer Distanz zur Schallquelle können vorübergehende Hörschwellenverschiebungen auftreten. Da die Tiere auf Echo-Ortung angewiesen sind, um sich zu orientieren und Beute zu fangen, besteht die Gefahr, dass die Überlebenschancen der Tiere gemindert werden oder dass die Tiere ein deutliches Meideverhalten gegenüber der Schallquelle zeigen und ihre bisherigen Lebensräume verlassen.

Gegenstand der Forschung auf dem Gebiet der Technologien sind insbesondere die Schalldruckpegel, die bei den Rammarbeiten zur Errichtung der Gründung

entstehen, da hier der einzelne Schalleintrag Maximalwerte erreichen kann. Ohne Schallschutzmaßnahmen werden die derzeit vom Umweltbundesamt (UBA) geforderten Richtwerte für Schalldruckpegel in der Umgebung von Schallquellen bisher noch deutlich überschritten.

Schallschutzkonzepte

Zur Zeit gibt es noch kein Schallschutzkonzept, das aus wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Sicht optimiert ist. Die Erforschung wirksamer Schallschutzkonzepte, die einen umweltverträglichen Ausbau der Offshore-Windenergie sichern, ist aktueller, intensiver Gegenstand der Forschung am Institut für Statik und Dynamik der Fakultät Bauingenieurwe-

Konzept	Art der Maßnahme	Physikalisches Prinzip
Schallschutzmäntel	sekundär	Reflexion (Absorption)
Rüttler	primär	Stationäre harmonische Erregung, Verringerung der Mantelreibung
Impulsdauerverlängerung	primär	Frequenzverschiebung
Blasenschleier	sekundär	Reflexion Absorption Akustischer Resonator

Tabelle 1: Verschiedene Schallschutzkonzepte

Versuchsschritt	Rammenergie (kNm)	Druckluftvolumenstrom (m ³ min/m Rohrlänge)	Anzahl der Rammschläge
1	~ 800	~ 0,39	>> 20
2	~ 160	~ 0,39	~ 20
3	~ 160	~ 0,22	~ 20
4	~ 160	~ 0	~ 20

Tabelle 2: Versuchsprogramm



Bild 1: Blasenschleier beim Bau der Finow³. Foto: Forschungs- und Entwicklungszentrum FH Kiel GmbH

sen an der Leibniz Universität Hannover. Wichtige Konzepte zur Minderung der Hydroschallpegel sind die Verwendung von Schallschutzmänteln, der Einsatz von Rüttlern, die Verlängerung der Impulsdauer und der Einsatz von Blasenschleiern.

Je nachdem ob die Maßnahme direkt am Ort der Schallquelle wirkt oder in einer mehr oder weniger großen Entfernung unterscheidet man zwischen primären und sekundären Konzepten (Tabelle 1).

Blasen verändern Wasser

Luft- oder Gasblasen ändern die hydroakustischen Eigenschaften des Mediums Wasser. Zwischen Wasser und Luft besteht aufgrund des großen Dichteunterschieds ein erheblicher Impedanzsprung. Die Schallanregung von Luftbläschen nahe ihrer Eigenfrequenz führt zu einer starken Reduktion der Schallamplituden, wobei sowohl Streuungs- als auch Absorp-

tionseffekte wirksam sind. In der Nähe der Resonanzfrequenz beträgt die akustische Oberfläche der einzelnen Gasblase ein Vielfaches ihrer geometrischen Oberfläche, was die besondere Effektivität des Blasenschleiers begründet.

Im Sommer 2008 wurde in der Nordsee etwa 80 km westlich von Sylt bei den Rammarbeiten zur Erstellung der Forschungsplattform Finow³ ein Blasenschleier eingesetzt, der von der Firma Hydrotechnik Lübeck GmbH gebaut, verlegt und betrieben wurde. Die Firma verfügt über jahrzehntelange Erfahrung beim Bau von Druckluft-Ölsperren. Gerammt wurde ein Monopile mit einem Durchmesser von 2,70 : 4,70 m und einer Einbindetiefe von ca. 30 m in den Meeresboden. Die eingesetzte Rammenergie erreichte aufgrund der Größe des Monopiles Maximalwerte. Die Wassertiefe am Standort von Finow³ beträgt ca. 23 m. Die maximale aus Gezeiten- und Windeinfluss resultierende

Strömungsgeschwindigkeit wird hier zu $v = 1,2$ m/s an der Meeresoberfläche angegeben. Eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit liegt etwa bei $v = 0,5$ m/s.

Um die Rammposition für den Monopile wurde auf dem Meeresboden ein mit Düsenöffnungen versehenes Kunststoffrohr mit einem Durchmesser von 110 mm eingebaut. Das Rohr wurde im Abstand von ca. 70 m im geschlossenen Sechseck um die Rammposition verlegt. Der eigentliche Blasenschleier entsteht, wenn das Rohr mit Druckluft befüllt wird, die Luftblasen aus den zahlreichen Düsenöffnungen direkt über dem Meeresboden austreten, aufsteigen und auf ihrem Weg zur Wasseroberfläche einen dichten Vorhang bilden. Da sich die einzelne Luftblase beim Aufsteigen infolge des abnehmenden hydrostatischen Umgebungsdrucks in Richtung geringerer Wassertiefen vergrößert, nimmt die Dicke und Dichte des Blasenschleiers nach oben hin zu.

 **BONFIGLIOLI**
Power & Control Solutions

[bonfiljo:li]

Klingt nicht nur gut.

Antriebstechnik aus Neuss
Antriebselektronik Getriebemotoren Fahr-/Schwenkantriebe

www.bonfiglioli.de

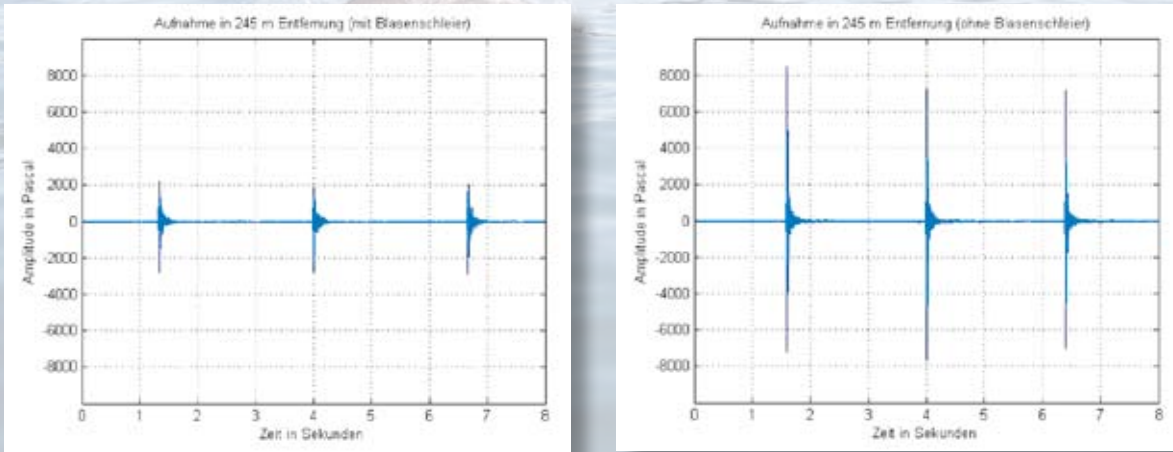


Bild 2: Zeitverlauf des gemessenen Schalldrucks in 245 m Entfernung: links Blasenschleier ausgeschaltet, rechts mit Blasenschleier.

Der relativ große Abstand von ca. 70 m vom zu rammenden Pfahl musste aus zwei Gründen gewählt werden. Zum einen durfte die Arbeit der schwimmenden Großgeräte nicht behindert werden (Bild 1), zum anderen musste sichergestellt sein, dass der infolge der Strömung geneigte Blasenschleier den Rammpfahl über die gesamte Wassertiefe und den gesamten Umfang umschließt. Nur wenn dies gegeben ist, entfaltet der Luftblasenschleier seine maximale Wirkung.

Beim Betrieb des Blasenschleiers konnte das rund 440 m lange Rohrsystem mit einer maximalen Druckluftmenge von ca. 0,39 m³/min, bezogen auf 1 m Rohrlänge, befüllt werden. Dazu wurden neun Kompressoren eingesetzt. Bei der hohen Schlagenergie, die notwendig war, um den Monopile auf Tiefe zu bringen, bestand im Verlauf der Rammarbeiten keine Möglichkeit, den Blasenschleier auszuschalten, um eine Referenzmessung durchzuführen. Der Grund liegt darin, dass das Gebiet um Fino³ als „Kin-

derstube“ der Schweinswale bezeichnet werden kann und die Rammarbeiten während der Zeit der Jungenaufzucht erfolgen. Von biologischer Seite bestand daher die Befürchtung, dass bei den Muttertieren ein Fluchtverhalten ausgelöst werden könnte mit der Folge, dass die Kälber von ihren Müttern getrennt werden und sterben.

Referenzmessung

Aus diesem Grund konnten die Referenzmessungen bei ausgeschaltetem Blasenschleier nur im Anschluss an die eigentliche Pfahlrammung im Rahmen eines komprimierten Versuchsprogramms durchgeführt werden. Um eine Gefährdung der Meeressäuger zu vermeiden, wurde dazu die Einbringenergie auf 20 % der maximalen Energie reduziert. Während der Pfahlrammung und der anschließenden Versuche wurden Schalldruckmessungen im Meerwasser in verschiedenen Entfernungen vom Monopile realisiert.

In Tabelle 2 sind die Versuchsschritte 1 bis 4, bei denen Schalldruckmessungen durchgeführt wurden, zusammengestellt. Schritt 1 stellt den Rammvorgang zum Einbringen des Monopiles dar. Hier blieben alle neun Kompressoren angeschaltet, sodass der Blasenschleier stets mit maximaler Druckluftmenge befüllt war. Nachdem der Monopile die angestrebte Tiefe erreicht hatte, wurde im anschließenden Versuchsprogramm (Schritte 2 und 3) bei reduzierter Rammenergie der Einfluss der Druckluftmenge auf die Wirksamkeit des Blasenschleiers untersucht, indem in Versuchsschritt 3 der Blasenschleier nur mit fünf Kompressoren betrieben wurde, was einer Reduktion der Druckluftmenge um ca. 45 % entspricht. Im abschließenden 4. Versuchsschritt wurde der Blasenschleier ausgeschaltet, um eine Referenzmessung durchzuführen. Die Anzahl der Rammschläge in den Schritten 2 bis 4 betrug ca. 20.

Vorab wurden die zu erwartenden Schalldruckpegel ohne Schallschutzmaß-



Verantwortung ist anstrengend. Lohnt sich das?

Steht die Welt später auf dem Kopf? Mit der richtigen Perspektive wird alles gut. In die Zukunft führen neue Wege. Wir sind dabei. Seit über zehn Jahren. Unternehmensgruppe Dezentrale Energie: Dienstleistungsunternehmen mit den Kernkompetenzen Projektierung, Finanzierung, Bau, Verwaltung und Betrieb von Wind-, Solar- und anderen regenerativen Energieanlagen.

Alte Feldmühle 10 | D-31535 Neustadt a. Rbge.
Tel. 0 50 34 - 95 91 30 | Fax 0 50 34 - 95 91 33
www.dezentrale-energie.de



Foto: photocase.de, sehtlike



Rammenergie (kNm)	Prognosewerte		Richtwerte	
	Spitzenpegel (dBre1µPa)	Einzelereignispegel (dBre1µPa)	Spitzenpegel (dBre1µPa)	Einzelereignispegel (dBre1µPa)
800	195	174	180	160
160	187	164		

Tabelle 3: Prognosewerte und UBA-Richtwerte (Entfernung 750 m).

Status des Blasenschleiers	Entfernung zum Emissionsort (m)	Spitzenpegel (dBre1µPa)	Einzelereignispegel (dBre1µPa)	Rammenergie (kNm)
ein	245	197	174	800
	910	184	162	
ein	245	190	167	160
	910	178	157	
50%	245	191	168	160
	910	179	157	
aus	245	199	173	160
	910	192	160	

Tabelle 4: Ergebnisse der Messauswertungen (Entfernungen: 245 und 910 m)

nahme in einer Entfernung von 750 m rechnerisch abgeschätzt. Die ermittelten Prognosewerte zeigt Tabelle 3. Es ist ersichtlich, dass bei den geplanten Rammarbeiten mit einer deutlichen Überschreitung der Richtwerte – auch noch bei der reduzierten Rammenergie – zu rechnen war. Aus diesem Grund durften bei dem Versuchsprogramm in Schritt 4 nur wenige Rammschläge ausgeführt werden.

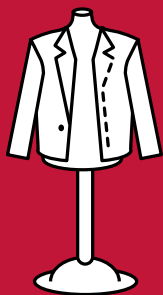
Ergebnisse der Schalldruckmessungen

Die Ergebnisse der Schalldruckmessungen sind beispielhaft anhand Bild 2 für den Messpunkt in 245 m Entfernung dargestellt. Hier wurden die Messungen jeweils vom Schiff aus vorgenommen. Die Rammschläge erfolgten in einem zeitlichen Abstand von 2 bis 3 s. Die Wirkung des Blasenschleiers ist an der Reduktion der maximalen Schalldruckamplitude um rund 70 % am Messpunkt deutlich zu erkennen.

In Tabelle 4 sind die Auswertungen des Spitzenpegels und des breitbandigen Einzelereignis-Schallpegels dargestellt. Besonders zu beachten sind die Ergebnisse in der Entfernung von 910 m, weil hier ein Vergleich zu den Richtwerten gezogen werden kann. Bei einer Rammenergie von ca. 160 kNm konnte eine Reduktion des Spitzenpegels von 14 dBre1µPa und eine Minderung des breitbandigen Einzelereignispegels von 12 dBre1µPa erzielt werden (Vergleich der rot und grün gekennzeichneten Felder in Tabelle 4).

Interessant ist auch, dass eine Reduktion des Druckluftvolumenstroms auf die Hälfte (Blasenschleier „50 %“) in Versuchsschritt 3 (siehe Tabelle 2) zu keiner wesentlichen Erhöhung der Hydroschallpegel im Vergleich zur Situation bei maximaler Druckluftmenge (Versuchsschritt 2) geführt hat. Dies Ergebnis ist für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme von großer Bedeutung, da das Vorhalten von Kompressoren teuer ist. Bei voller Rammenergie von 800 kNm und eingeschaltetem

Blasenschleier (orange gekennzeichnete Felder) werden die geforderten Richtwerte derzeit noch überschritten. Vom Luftschall sind die A- und C-Bewertungen bekannt, die die Eigenschaften des menschlichen Gehörs berücksichtigen (z. B. „dB(A)“). Bewertet man Geräusche, verwendet man in der Praxis meist diese Größen. Unterzieht man die gemessenen Hydroschallpegel in Anlehnung an die Vorgehensweise beim Luftschall einer Frequenzbewertung, die die Eigenschaften des auditorischen Systems der Tiere berücksichtigt, indem sie tieffrequente und hochfrequente Bereiche des Schallsignals abschwächt, so ergeben sich deutliche Minderungen gegenüber der in 910 m Entfernung gemessenen (unbewerteten) Pegel. Zu beachten ist hier, dass diese Frequenzbewertungen für verschiedene Tiergruppen unterschiedlich und noch Gegenstand der Forschung sind. Verwendet man exemplarisch die von Southall et al., 2007, vorgeschlagene Frequenzbewertung („M-Bewertung“) für Schweinswale, erhält man als Ergebnis einen Wert von 155



Das passt! – Auch bei ganz besonderen Ansprüchen.

Wir stimmen unsere Pitchsysteme präzise auf Windenergieanlagen jeder Art und Größe ab. – Mit von uns selbst gebauten Komponenten aus einer Hand.



SSB Windenergie

www.ssb.eu | SSB. Erfahrung bewegt.



dBre1µPa. In einer Entfernung von 750 m ergäbe sich dann rechnerisch ein Wert von ca. 157 dBre1µPa. Dieser Wert liegt deutlich unter dem UBA-Richtwert, der bisher bei Genehmigungen gefordert wird.

Zu beachten ist, dass bei der Definition der UBA-Richtwerte vor einigen Jahren noch keine Vorschläge für Frequenzbewertungen für Hydroschall existierten – die damals definierten Richtwerte 180 und 160 dBre1µPa demnach das unbewertete Signal betreffen. Die zukünftige Vorgehensweise bei der Bewertung von Schallimmissionen ist noch Gegenstand der Diskussion zwischen Technikern, Biologen und Behörden.

Vielversprechende Ergebnisse

Die Schalldruckmessungen bei den Rammarbeiten an der Forschungsplattform Fino³ im Sommer 2008 unter Einsatz eines Blasenschleiers haben vielversprechende Ergebnisse in Bezug auf dieses Schallschutzkonzept geliefert. Es ist zu erwarten, dass noch größere Pegelminderungen möglich sind, wenn die mittlere Luftblasengröße

des Schleiers optimal eingestellt ist. Die Kosten für den Einsatz und das Bereitstellen der Kompressoren sind dabei von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit dieses Schallschutzkonzepts.

Es ist daher eine Optimierung im Hinblick auf alle wesentlichen Parameter wie Blasengröße, Druckluftmenge, Düsenabstand und Größe der Düsenöffnungen erforderlich. Die experimentelle Untersuchung dieser Parameter ist derzeit Gegenstand der Forschung.

Die Autoren bedanken sich bei ihrem Verbundpartner, dem FuE-Zentrum FH Kiel, für die Übernahme des Industrieteils und bei ihren Projektpartnern Deutsches Windenergie-Institut (Dewi), Institut für technische und angewandte Physik (itap) und BioConsultSH für die gute Zusammenarbeit im Fino³-Projekt sowie bei der Firma Hydrotechnik Lübeck für die technische Umsetzung des Blasenschleiers. Besonderer Dank gilt vor allem dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie dem Projektträger Jülich für die finanzielle Förderung, ohne die die Durchführung nicht möglich gewesen wäre. 



1

Dipl.-Ing. Tanja Griesmann¹

Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Koordinatorin verschiedener Hydroschallprojekte am Institut für Statik und Dynamik an der Fakultät Bauingenieurwesen der Leibniz Universität Hannover.



2

M. Sc. Jörg Rustemeier²

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Statik und Dynamik an der Fakultät Bauingenieurwesen der Leibniz Universität Hannover. Institut für Statik und Dynamik Appelstr. 9A 30167 Hannover www.isd.uni-hannover.de



3

Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes³

Leiter des Instituts für Statik und Dynamik an der Fakultät Bauingenieurwesen der Leibniz Universität Hannover. Projektleiter verschiedener Hydroschallprojekte.



Competence in Wind Energy


- Due Diligence
- Wind- und Ertragsgutachten
- Schall- und Schattenwurfprognosen
- Windmessungen (IEC)
- Projektplanung und Engineering
- Bauüberwachung
- Betriebsführung



- Due Diligence
- wind resource assessments
- noise and shadow impact studies
- wind measurements (IEC)
- project planning and engineering
- construction supervision
- operation management


www.bbb-umwelt.com

Munscheidstr. 14 / Pav. 4.2
D - 45886 Gelsenkirchen
Fon +49 (0) 209 167-255-0
Fax +49 (0) 209 167-255-1
info@bbb-umwelt.com



Software für erneuerbare Energien

ROTORsoft. Werkzeug für die Professionelle Betriebsführung.



DrehPunkt GmbH | Friedrich-Barnewitz-Str. 3 | 18119 Rostock
Tel. +49 381 6669770 | Fax. +49 381 66697720 | kontakt@drehpunkt.de

Erneuerbare Energien – sauber, unerschöpflich, wirtschaftlich

WindStrom Unternehmensgruppe

WindStrom Unternehmensgruppe

WindStrom Erneuerbare Energien GmbH & Co. KG
Vermarktung und Generalübernehmer
Planung und Projektentwicklung von Windenergie- und Photovoltaikanlagen

WindStrom Betriebs- und Verwaltungs GmbH
Technische Betriebsführung
Kaufmännische Betriebsführung
Dienstleistungen zur Optimierung der Anlagen

Am Torfstich 11
31234 Edemissen
Fon: 0 51 76/92 04-0
Fax: 0 51 76/92 04-10
info@windstrom.de
www.windstrom.de



DEUTSCHE ROTOR+TURM SERVICE

Full-Service-Partner für Ihre Windenergieanlagen



- Rotorblattservice
- unabhängige Sachverständigengutachten
- Fundament- und Turmabdichtungen
- Messtechnik
- Sicherheitsüberprüfungen

Deutsche Rotor- und Turm-Service GmbH & Co. KG
Ritterhuder Heerstraße 44
28239 Bremen
Tel +49 (0) 421 - 62677-0
Fax +49 (0) 421 - 62677-11
post@deutsche-rtS.de
www.deutsche-rtS.de