

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht	
3a. Titel des Berichts Erforschung und Anwendung von Schallminimierungsmaßnahmen beim Rammen des FINO3-Monopiles		
3b. Titel der Publikation Erforschung und Anwendung von Schallminimierungsmaßnahmen beim Rammen des FINO3-Monopiles		
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Grießmann, Tanja; Rustemeier, Jörg; Betke, Klaus; Gabriel, Joachim; Neumann, Thomas; Nehls, Georg; Brandt, Miriam; Diederichs, Ansgar; Bachmann, Jan		5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2008
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) Grießmann, Tanja; Rustemeier, Jörg; Betke, Klaus; Gabriel, Joachim; Neumann, Thomas; Nehls, Georg; Brandt, Miriam; Diederichs, Ansgar; Bachmann, Jan		6. Veröffentlichungsdatum 01.11.2010
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut Statik und Dynamik der Leibniz Universität Hannover Appelstraße 9A 30167 Hannover in Kooperation mit: Forschungs- und Entwicklungszentrum FH Kiel GmbH Schwentinestraße 24 24149 Kiel		7. Form der Publikation Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 11055 Berlin		9. Ber.Nr. Durchführende Institution -
		10. Förderkennzeichen 0325023A / 0325077
		11a. Seitenzahl Bericht 144
		11b. Seitenzahl Publikation 144
		12. Literaturangaben 88
		14. Tabellen 36
		15. Abbildungen 83
16. Zusätzliche Angaben -		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -		
18. Kurzfassung Bei der Errichtung der Forschungsplattform FINO3 wurden Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen mariner Säugetiere getroffen, die weit über bisherige Ansätze zur Minderung der Wirkung von Unterwasserschall hinausgehen. Rammarbeiten für die Errichtung von Offshore-Windparks wurden bislang weltweit ohne Schallminderungsmaßnahmen, sondern ausschließlich mit Vergrämuungsmaßnahmen durchgeführt. Der Einsatz eines Blasenschleiers bei der Rammung des FINO3-Gründungspfahls führte zu einer deutlichen Reduktion der Schallimmissionen (um 12 dB für den SEL und 14 dB für den Spitzenpegel), die sicherstellte, dass im benachbarten FFH-Schutzgebiet keine Belastungen auftraten, die eine erhebliche Beeinträchtigung von marinen Säugern, insbesondere Schweinswalen, dargestellt hätten. Der UBA-Richtwert von 160 dBre1µPa in einer Entfernung von 750 m um die Baustelle wurden nur noch um ca. 4 dB überschritten. Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Erprobung ist, dass eine deutliche Reduktion der Druckluftmenge zu nahezu gleichen Pegelminderungen geführt hat. Der zusätzliche Einsatz von Vergrämuungsmaßnahmen bei den Rammarbeiten hat sichergestellt, dass sich keine Schweinswale in einem Bereich aufhielten, in dem eine physische Schädigung zu erwarten war. Auch unter Berücksichtigung bestehender Unsicherheiten ist festzuhalten, dass mögliche Schädigungsradien deutlich geringer waren als der Bereich, aus dem Schweinswale vergrämt wurden. Die Auswirkungen der Baumaßnahme und die Wirksamkeit der Vorsorgemaßnahmen wurden durch ein umfangreiches Monitoringprogramm überprüft und dokumentiert. Von den Baumaßnahmen ist demnach zwar eine Störwirkung ausgegangen, die zwar großräumig, aber nur kurzzeitig erfolgte. Eine anhaltende Vertreibung von Schweinswalen aus dem gestörten Bereich ist nach den bisherigen Erkenntnissen erwartungsgemäß nicht eingetreten. Der Einsatz des Blasenschleiers bei FINO3 konnte in den Gesamttaublauf des Bauabschnitts „Rammarbeiten“ integriert werden und hat zu keiner Verlängerung der Errichtungszeit für die Hauptgewerke geführt. Die Einsetzbarkeit des Blasenschleiers in der Praxis muss aber insbesondere im Hinblick auf die Praktikabilität bei der Serienanwendung noch verbessert werden. Auch ist eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erforderlich. Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Wirksamkeit von Schallschutzmaßnahme und Vergrämuung lassen einen Bau von Offshore-Windenergieanlagen mit Pfahlgründungen auch in Gebieten mit höherer Schweinswalpopulation möglich erscheinen. Gelingt es, die physikalische Wirkung des Blasenschleiers zu optimieren, ist mit einer zeitnahen Einhaltung des UBA-Richtwertes zu rechnen.		
19. Schlagwörter Schallschutz, Rammarbeiten, Offshore-Windparks, Blasenschleier, Schweinswale, Unterwasserschall		
20. Verlag	21. Preis	

Tanja Grießmann, Jörg Rustemeier, Klaus Betke, Joachim Gabriel, Thomas Neumann, Georg Nehls, Miriam Brandt, Ansgar Diederichs, Jan Bachmann

Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben:

Erforschung und Anwendung von Schallminimierungsmaßnahmen beim Rammen des FINO3 – Monopiles („Schall FINO3“)

Verbundpartner (Teil A) und Projektleitung:	Verbundpartner (Teil B):
<p>Institut für Statik und Dynamik (ISD)</p> <p>Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes Leibniz Universität Hannover Appelstr. 9a, D-30167 Hannover</p> 	<p>Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH (FuE Zentrum FH Kiel)</p> <p>Projektleiter: Dipl.-Ing./ Dipl. Wirt.-Ing. Björn Lehmann-Matthaei Schwentinstr. 24 D-24149 Kiel</p> 
<p>Projektpartner:</p> <p>Deutsches Windenergie-Institut GmbH (DEWI) Ebertstr. 96, D-26382 Wilhelmshaven</p> 	<p>Projektpartner:</p> <p>Ed. Züblin AG Direktion Nord Lübecker Straße 128 D-22087 Hamburg</p> 
<p>Institut für technische und angewandte Physik GmbH (itap), Marie-Curie-Str. 8, D-26129 Oldenburg</p> 	<p>Hydrotechnik Lübeck GmbH Grootkoppel 33 D-23566 Lübeck</p> 
<p>BioConsult SH GmbH & Co. KG (BioConsult) Brinckmannstr. 31, D-25813 Husum</p> 	<p>BioConsult SH GmbH & Co. KG (BioConsult) Brinckmannstr. 31, D-25813 Husum</p> 

Angaben zum Projekt:

Projektlaufzeiten:	Teil A: 01.01.2008 bis 31.03.2009 Teil B: 01.06.2008 bis 31.12.2008
Berichtszeitraum:	01.01.2008 bis 31.03.2009
Förderkennzeichen:	Teil A: 0325023A Teil B: 0325077

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Die Verantwortung für die Inhalte des Abschlussberichts liegt bei den jeweils genannten Autoren.

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
TABELLENVERZEICHNIS	8
0. SUMMARY	9
0.1 Preface	9
0.2 Testing of the noise mitigation concept bubble curtain during pile driving activities	11
0.2.1 Research objectives	11
0.2.2 Prerequisites at site location and technical realization	11
0.2.3 Test program and results	12
0.3 Influence of pile driving activities for the construction of FINO3 on harbour porpoises (<i>Phocoena phocoena</i>)	15
0.3.1 Goals of the ecological accompanying research	15
0.3.2 Results and conclusions	16
0.4 Construction and offshore operation of the bubble curtain	17
0.4.1 Project goals	17
0.4.2 Results	17
1. VORWORT	19
2. EINLEITUNG, ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	20
3. ZUSAMMENARBEIT IM VORHABEN	24
4. EINSATZ DES SCHALLMINDERUNGSKONZEPTS BLASENSCHLEIER BEI DEN RAMMARBEITEN	25
4.1 Zielsetzung	25
4.2 Schalltechnische Messgrößen	25
4.3 Theoretische Grundlagen	27
4.3.1 Wirkung von Gasblasen auf Schall im Wasser	27
4.3.2 Einschränkungen der Theorie	29
4.3.3 Einfluss der Wassertiefe	30
4.4 Voraussetzungen am Standort und technische Umsetzung des Konzepts	32
4.5 Messprogramm	33
4.6 Vorgehensweise bei Messung und Auswertung	34
4.6.1 Ausgewertete Messpunkte und Vorgehensweise	34
4.6.2 Messpunkte MP 2 und MP 3 in 245 m und 910 m Entfernung	35
4.6.3 Messpunkt MP 5 in 15 km Entfernung	36
4.7 Ergebnisse	43
4.7.1 Schalldruckmessungen	43
4.7.2 Spitzenpegel L_{peak} und Einzelereignispegel L_E	45

4.7.3	Frequenzabhängige Wirkung des Blasenschleiers	48
4.8	Vergleich mit Literaturdaten und mit Richtwerten	52
4.8.1	Vergleich mit Literaturdaten	52
4.8.2	Vergleich mit dem UBA-Vorsorgewert	54
4.8.3	M-gewichtete, kumulative Schallpegel	55
4.9	Literatur zu Kapitel 4	59
5.	EINFLUSS DER RAMMARBEITEN ZUR ERRICHTUNG DER FORSCHUNGSPLATTFORM FINO3 AUF SCHWEINSWALE (PHOCOENA PHOCOENA)	60
5.1	Zielsetzung der ökologischen Begleituntersuchung	60
5.2	Zusammenfassung	61
5.3	Kenntnisstand	63
5.3.1	Projekthintergrund	63
5.3.2	Verbreitung und Reproduktion des Schweinswals	65
5.3.3	Schutzstatus	66
5.3.4	Merkmale der Echoortungslaute	67
5.4	Vorgehensweise und technische Umsetzung	67
5.4.1	Untersuchungsgebiet	67
5.4.2	Vergrämungsmaßnahmen	68
5.4.3	Flugtransekte	69
5.4.3.1	Datenaufnahme	69
5.4.3.2	Datenauswertung	71
5.4.4	C-POD-Daten	74
5.4.4.1	Datenaufnahme	74
5.4.4.2	Datenauswertung	77
5.5	Ergebnisse	80
5.5.1	Flugzeugerefassungen	80
5.5.1.1	Schweinswaldichten	80
5.5.1.2	Räumliche Verteilung	83
5.5.1.3	Gruppenzusammensetzung und Kälberanteil	84
5.5.1.4	Schwimmrichtungen	89
5.5.1.5	Abstand der Schweinswalbeobachtungen zur FINO3-Baustelle	89
5.5.2	C-POD-Daten	90
5.5.2.1	Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag (PP10M/day)	94
5.5.2.2	Wartezeiten zwischen Schweinswalereignissen	101
5.5.3	Vergleich der POD- und Flugerfassungsdaten	107
5.5.4	Flugzeugerefassung des Seehundes (<i>Phoca vitulina</i>)	108
5.6	Diskussion	109
5.6.1	Räumliches und zeitliches Verteilungsmuster der Schweinswale	109
5.6.2	Vergleichbarkeit der Erfassungsmethoden	110
5.6.3	Auswirkungen der Rammarbeiten auf Schweinswale	111
5.6.4	Kälberanteil	114

5.6.5	Gruppengröße	114
5.7	Literatur zu Kapitel 5	118
	Anhang	122
6.	KONSTRUKTION UND OFFSHORE-EINSATZ DES BLASENSCHLEIERS	129
6.1	Kurzdarstellung	129
6.1.1	Aufgabenstellung	129
6.1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	129
6.1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	130
	6.1.3.1 Einsatz eines Blasenschleiers	130
	6.1.3.2 Erfassung von Meeressäugern vom Schiff	134
6.1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	136
6.2	Ausführliche Darstellung	137
6.2.1	Erzielte Ergebnisse	137
	6.2.1.1 Erfassung von Meeressäugern vom Schiff	137
	6.2.1.2 Einsatz eines Blasenschleiers	139
6.2.2	Projekterkenntnisse bezüglich Bauablauf und Projektplanung	140
6.2.3	Voraussichtlicher Nutzen	141
6.2.4	Fortschritte anderer Stellen	141
6.2.5	Veröffentlichungen	142
6.3	Literatur zu Kapitel 6	144

Abbildungsverzeichnis

Figure 0.1	Position of future German offshore wind parks	9
Figure 0.2	Marine mammals from left to right: harbour porpoise, common and grey seal	10
Figure 0.3	Zones of acoustic hydro sound immissions	10
Bild 4.1	Typisches Zeitsignal des Unterwasserschalls eines Rammschlages	27
Bild 4.2	Resonanzfrequenz einer Blase in Abhängigkeit vom Durchmesser	28
Bild 4.3	Theoretische Abschwächung des Schalls bei Durchgang durch blasenhaltiges Wasser	29
Bild 4.4	Einfluss des Wasserdrucks bzw. der Wassertiefe auf die Resonanzfrequenz	31
Bild 4.5	Änderung der Resonanzfrequenz einer Luftblase	32
Bild 4.6	Ausbringen der Schallmessboje in 910 m Entfernung von FINO3	35
Bild 4.7	Lage des Messpunkts MP 5	36
Bild 4.8	POD-Positionskarte von BioConsult	37
Bild 4.9	Schiffsbewegung und -orientierung während der Messung	38
Bild 4.10	Hydrofon, angeschlossen am linken Kanal	39
Bild 4.11	Hydrofon, angeschlossen am rechten Kanal	39
Bild 4.12	Auswertung des rechten Kanals	41
Bild 4.13	Spektralanalyse von zehn Rammimpulsen	41
Bild 4.14	Fremdgeräusch - Mittelwert von je zehn Rammimpulsen	42
Bild 4.15	Gemessener Zeitverlauf des Schalldrucks am Messpunkt MP 2	44
Bild 4.16	Gemessener Zeitverlauf des Schalldrucks am Messpunkt MP 3	44
Bild 4.17	Gemessener Zeitverlauf des Schalldrucks am Messpunkt MP 5	44
Bild 4.19	Ergebnisse für den Spitzenpegel L_{peak}	46
Bild 4.20	Ergebnisse für den SEL	46
Bild 4.21	Gemessene Abnahme von SEL und L_{peak} bei voller Rammenergie	47
Bild 4.22	Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 245 m Entfernung	49
Bild 4.23	Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 910 m Entfernung	49
Bild 4.24	Pegeldifferenzen	50
Bild 4.25	Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 15 km Entfernung	51
Bild 4.26	Ergebnisse für den SEL in 15 km Entfernung bei red. Rammenergie	51
Bild 4.27	Frequenzabhängige Wirkung verschiedener Blasenschleier	54
Bild 4.28	Bei verschiedenen Offshore-Rammarbeiten gemessene Pegel	55
Bild 4.29	M-Gewichtung für "High-frequency cetaceans"	56
Bild 4.30	M-gewichtete und ungewichtete Einzelereignispegel	57
Bild 4.31	Kumulativer SEL bei den FINO3-Rammarbeiten für die Messentfernung 900 m	58
Bild 5.1	Unterschiedliche Beeinflussungszonen des Schweinswals durch Lärm	65
Bild 5.2	Untersuchungsgebiet mit Grenze des FFH-Gebietes und der AWZ	68
Bild 5.3	Mit Hilfe von Winkelmessern gemessene Abstände der Tiere	70
Bild 5.4	Anzahl gesichteter Schweinswale pro geflogenem km pro Transekt	73
Bild 5.5	<i>Foto eines C-PODs und des Verankerungssystems</i>	75
Bild 5.6	Schema des auf See ausgebrachten POD-Systems	76
Bild 5.7	Datenaufzeichnung der Schweinswalaktivität durch C-PODs	77
Bild 5.8	<i>Schweinswalereignis (encounter) und Wartezeit (waitingtime)</i>	80
Bild 5.9	Mittlere Schweinswaldichten mit Standardabweichung	82
Bild 5.15	Waldichten, in den einzelnen Quadranten aufgetragen	88
Bild 5.10	Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km ² am 06.07.2008	85
Bild 5.11	Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km ² am 24.07.2008	86
Bild 5.12	Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km ² am 30.07.2008	86
Bild 5.13	Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km ² am 31.07.2008	87
Bild 5.14	Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km ² am 16.08.2008	87
Bild 5.16	Anzahl der festgestellten jeweiligen Schwimmrichtungen	89
Bild 5.17	Schweinswalverteilung während des Fluges am 31.07.2008	90
Bild 5.18	Anzahl Rohdatenklicks pro Stunde im Vergleich	93
Bild 5.19	Anteil der Stunden mit mehr als 150.000 Rohdatenklicks pro Stunde	93

Bild 5.20	Anteil der zehn Minutenintervalle pro Tag (1)	94
Bild 5.21	Anteil der zehn Minutenintervalle pro Tag (2)	95
Bild 5.22	Anteil schweinswalpositiver 10-Minuten exemplarisch für drei einzelne PODs	95
Bild 5.23	Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag (1)	97
Bild 5.24	Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag (2)	98
Bild 5.25	Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag (3)	99
Bild 5.26	PP10M/day als Mediane über den gesamten Untersuchungszeitraum	100
Bild 5.27	Alle Wartezeiten im Zeitraum 25.06.08 19:00 – 5.8.08 19:00	105
Bild 5.28	Wartezeiten an den einzelnen POD-Positionen in Abhängigkeit d. Distanz zur FINO 3	106
Bild 5.29	Zeitlicher Verlauf d. Schweinswalregistrierungen an den jeweiligen POD-Stationen	106
Bild 5.30	Häufigkeit von Schweinswalregistrierungen (% PP10M/day)	107
Bild 5.31	Seehundsichtungen während aller durchgeführten Flüge	108
Bild 5.32	Kumulativer Schalldruckpegel in 900m Abstand zum Ort der Rammung	116
Bild 5.33	Spitzenpegel während der einzelnen Rammschläge in 900 m Abstand	116
Bild 5.34	Audiogramme von Schweinswalen	117
Bild 5.35	Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie (1)	122
Bild 5.36	Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie (2)	122
Bild 5.37	Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie (3)	123
Bild 5.38	Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie (4)	123
Bild 5.39	Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie (5)	124
Bild 5.40	Flugaufwand angegeben in geflogenen m für den 06.07.2008.	124
Bild 5.41	Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 24.07.2008	125
Bild 5.42	Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 30.07.2008	125
Bild 5.43	Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 31.07.2008	126
Bild 5.44	Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 16.08.2008	126
Bild 6.1	Schemazeichnung: Doppelter Blasenschleier	130
Bild 6.2	Seeponton mit Monopile, Rammbar und 9 Dieselkompressoren	132
Bild 6.3	Druckluft-Sammelstation mit flexiblen Schläuchen	132
Bild 6.4	Blasenschleier im Testbetrieb	133
Bild 6.5	Lage der Transektlinien während der Schlepphydrofonfahrten	136
Bild 6.6	Sichtungen von Schweinswalen bei Transektfahrten am 30.07.08	138

Tabellenverzeichnis

Table 0.1	Distances and directions of measurement points	12
Table 0.2	Test program	13
Table 0.3	Calculated values for L_{peak} and SEL and recommended levels (UBA) at distance 750 m	14
Tabelle 4.1	Entfernungen und Lage der Messpunkte	33
Tabelle 4.2	Versuchsprogramm	34
Tabelle 4.3	Prognosewerte für Rammarbeiten ohne Blasenschleier und Richtwerte	34
Tabelle 4.4	Benutzte Geräte für die Messungen von Bord der MS Beaufort	35
Tabelle 4.5	Liste der Positionen nach UTM WGS84	37
Tabelle 4.6	Relevante Messereignisse am 31.07.2008	38
Tabelle 4.7	Anschlussliste	39
Tabelle 4.8	Für die Messungen am Messpunkt MP 5 verwendete Geräte	40
Tabelle 4.9	Darstellung der ausgewerteten Schalldruckpegel – Ergebnisse FINO3	47
Tabelle 4.10	Verschiedene Blasenschleier im Vergleich mit FINO3	53
Tabelle 4.11	Ursprung der Daten in Bild 4.28	55
Tabelle 4.12	Kriterien für PTS und TTS nach Southall et al. (2007)	57
Tabelle 5.1	Beobachtungsaufwand unter guten Sichtbedingungen für die jeweiligen Flugtage	70
Tabelle 5.2	Berechnung von ESW und Standardabweichung an den einzelnen Flugtagen	71
Tabelle 5.3	Berechnung des $g(0)$ -Wertes für die Schweinswaldichteberechnung	72
Tabelle 5.4	Name, Position und Entfernung der PODs zur Küste und zur FINO3	76
Tabelle 5.5	Mittlere Schweinswaldichten mit Standardabweichung	81
Tabelle 5.6	Ergebnisse des GLM	82
Tabelle 5.7	Ergebnisse des Tukey-Tests	83
Tabelle 5.8	Mindestabstand der beobachteten Schweinswale zur Baustelle	90
Tabelle 5.9	Median, Minimum und Maximum von PP10M/Tag an den einzelnen POD-Positionen	101
Tabelle 5.10	Median, Mittelwert, Minimum, Maximum und Stichprobengröße	103
Tabelle 5.11	Mediane, Maximum und Minimum von 15 zufällig ausgewählten Wartezeiten	104
Tabelle 5.12	Datum und Zeit der Schweinswalvergrämungsmaßnahmen	104
Tabelle 5.13	Mittelwerte, Standardabweichung und Stichprobengröße der PP10M/day	108
Tabelle 5.14	Information zu den bekannten Rammparametern und Wartezeiten	115
Tabelle 5.15	Anzahl Schweinswalsichtungen der beiden vorderen Beobachter	127
Tabelle 5.16	Anzahl der Beobachtungen der jeweiligen Gruppengrößen an den einzelnen Flugtagen	127
Tabelle 5.17	Mittlere Gruppengrößen mit und ohne Kälber an den einzelnen Flugtagen	127
Tabelle 5.18	Ergebnisse d. GAMs f. d. Berechnung d. Einflusses v Position, Monat u. Tageszeit	128
Tabelle 6.1	Koordinaten der Transekte mit Schlepphydrofon	136
Tabelle 6.2	Sichtbeobachtungen vom Schiff am 30.07.2008, Backbordseite	138
Tabelle 6.3	Sichtbeobachtungen vom Schiff am 30.07.2008, Steuerbordseite	139

0. Summary

by Tanja Griebmann (Institut für Statik und Dynamik), Georg Nehls (BioConsult SH) and Jan Bachmann (Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH)

0.1 Preface

The use of offshore wind offers promising possibilities of generating energy in an environmentally friendly way. The Federal Government plans to increase the proportion of renewable energies up to 50 % by 2050. This goal can be achieved both by means of the EEG (Renewable Energy Law) and an introduction of an remarkable promotion of Research and Development projects in this area.



Figure 0.1: Position of future German offshore wind parks

The expansion of the offshore wind energy (Example Germany – Figure 0.1) is accompanied by intense research in the fields of Technology and Ecology. The in-situ measurements are performed to gain large data to be used later for both statistical evaluations, and validations of various mathematical models. The dimensioning and optimization of the support structures of the offshore wind turbines are an integral part of the process.

Nevertheless, the utilization of offshore wind energy, also creates a new source of underwater noise in the marine environment; therefore environmental research activities investigate the impact of hydro sound on marine life. The reaction and behaviour of marine mammals, such as harbour porpoises as well as common and grey seals remains to be studied in a great length (Figure 0.2).



Figure 0.2: Marine mammals from left to right: harbour porpoise, common and grey seal

As they reach maximum values, the hydro sound levels arising from pile driving activities, which are in most of the cases inevitable, to fix wind turbines' foundations to the sea bed, are in the focus of concern.

Due to possible stress reactions, impacts on hearing capabilities, communication and orientation, which can generate sound levels from pile driving, represent a serious danger to marine life. Without focusing on a certain marine species, the range of impact around a source of acoustic noise can be divided into different zones shown in Figure 0.3. Far from the source the acoustic noise will be below the hearing threshold. Within the zone of audibility there is an area, where animals might react to unusual conditions in different ways. Closer to the source of sound important acoustic information might be masked. Moving nearer to the origin of a very loud source, animals might even get injured.

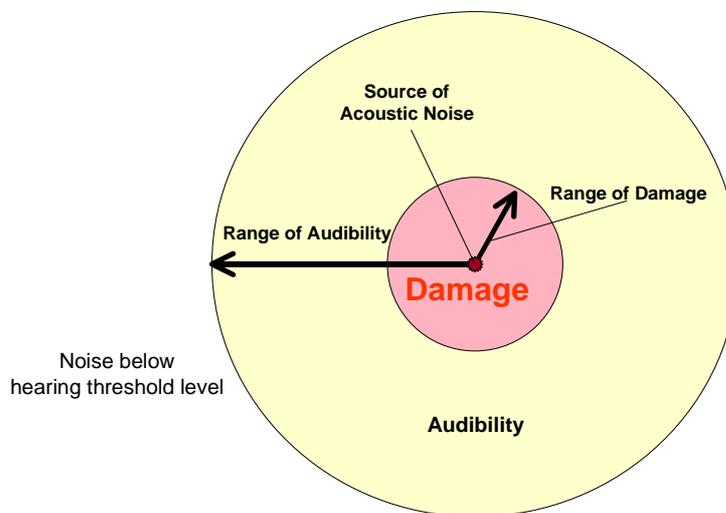


Figure 0.3: Zones of acoustic hydro sound immissions

The acoustic noise caused by pile driving has an impulsive character. The single event “one stroke” reaches values, which seriously exceed the maximum tolerable sound pressure levels defined by the German Umweltbundesamt (UBA).

At present there are no noise mitigation concepts which are at the same time physically effective, easy to handle during the offshore activities on the construction site and where the process will be cost-efficient. For this reason the research in the field of hydro sound reduction is a vital challenge, and providing that the development of offshore wind energy is compatible with the protection of nature.

Acoustic enclosures, vibrators, the extension of pulse duration during pile driving and the employment of bubble curtains are important concepts being investigated at Leibniz Universität Hannover in collaboration with our research partners itap, DEWI and BioConsult SH. Amongst the aforementioned concepts the bubble curtain remains to be the best developed concept at present.

0.2 Testing of the noise mitigation concept bubble curtain during pile driving activities

0.2.1 Research objectives

An integral research goal consists in developing noise mitigation concepts, which are physically effective, without disregarding the aspect of cost-efficiency. A concept well developed from a physical point of view, but disturbing the offshore procedures, which are necessary to build the foundations of the offshore wind turbines, will lead to unacceptable time delays and hence to higher costs and wouldn't be applied, because of the high financial risk.

Gas bubbles change the acoustic properties of the medium water. Due to the different impedances of the two media acoustical scattering occurs at the border between both.

In addition to this effect the single bubble reacts like an acoustical resonator when insonified by an incident wave close to its resonance frequency. The result is a very high ratio of effective acoustical cross section to geometrical cross section at resonance. In total the two effects lead to a significant reduction of the hydro sound immission "behind" the bubble and in greater distances, which is the main reason for the efficiency of the bubble curtain.

Since the bubble curtain is not a rigid construction, but consists of freely moving air bubbles, it is vulnerable to sea currents and waves. The challenge is to realize the required mitigation effect in all directions in spite of the changing amplitude and direction of the sea current due to tide during the entire pile driving period.

To optimize the physical efficiency mainly two aspects are focused: the identification of an optimal average size of the single air bubble and the determination of the ideal amount of compressed air flow. The last-mentioned has a significant influence on the costs, which will show the example of FINO3.

0.2.2 Prerequisites at site location and technical realization

End of July 2008 while the monopile of the FINO3-platform was driven into the sea bed, a large bubble curtain could be tested. The company Hydrotechnik Lübeck GmbH was in charge of construction, installation and operation of the system. A plastic tube provided with nozzles, was put onto the seabed around the pile driving center in form of a hexagon. The distance to the monopile averaged 70 m, the circumferential length about 440 m. The bubble curtain arises, when the air bubbles escape from the nozzles of the tube at status "filled with compressed air". As the bubbles raise to the surface they form a dense curtain. Due to the decreasing hydrostatic pressure the bubbles grow while ascending, with the result that both density and thickness of the curtain increase towards the ocean surface (see figure 6.1, chapter 6.1.3.1). Nine compressors (see figure 6.2) were necessary to realize a maximum pressure flow of 0,39 m³/min/m.

The water depth at location FINO3 is about 23 m, the average drift velocity at ocean surface due to wind and waves is about $v = 1,2$ m/s, the average drift velocity is circa $v = 0,5$ m/s. The monopile's diameter varies between 2,70 and 4,70 meters.

Due to the high level of energy (800 kNm), which was necessary to drive the monopile 30 m deep into the ground, the bubble curtain had to stay in operation under full pressure and volume flow during the entire time of pile driving activity. It wasn't possible to switch it off, because the region round FINO3 is in immediate vicinity to the marine protective area "Sylter Außenriff" characterized as "nursery ground" for harbour porpoises. It was problematic because of the fact, that pile driving took place at breeding season. From the biological point of view there was a serious concern, that the calves might get separated from their mothers and die.

The reference measurements for "bubble curtain at off-state" couldn't be carried out, until pile driving activities had been terminated. In order to avoid danger for marine mammals, the ram energy was reduced down to 20 percent of the maximum energy within the framework of the adjacent test program.

0.2.3 Test program and results

During both pile driving and the subsequent test program hydro sound levels were measured in different distances to the monopile. Table 0.1 gives an overview. As the measurements at points 1 and 4 were incorrect, only the ones with exploitable results are shown (MP2, MP3 and MP5).

Table 0.1: Distances and directions of measurement points.

	MP 2	MP 3	MP 5
Distance to ram center in m	245	910	~ 15.000
Direction	South	East-South-East	East-South-East

Table 0.2 shows all steps of the test program. At each step hydro sound measurements were realized. Step 1 represents the state of pile driving at full energy level, where all nine compressors had to stay in operation to provide a maximum pressure flow. After the monopile had reached its maximum depth, ram energy was reduced down to 20 percent (160 kNm), while the pressure flow stayed at maximum (step 2). For the next test level (step 3) the pressure flow was reduced down to 55 % of its maximum value to investigate the influence of the pressure flow on the efficiency of the bubble curtain. During this state only five compressors had to work. Finally (step 4) the bubble curtain was switched off to realize a reference measurement. The number of ram strokes at the test steps 2 to 4 counted around 20.

Table 0.2: Test program.

Step no. of test program	Ram energy kNm	Compressed air flow m ³ /min/m	Number of ram strokes
1	~ 800	~ 0,39	>> 20
2	~ 160	~ 0,39	≈ 20
3	~ 160	~ 0,22	≈ 20
4	~ 160	~ 0	≈ 20

In advance the sound pressure levels (without using any noise mitigation concept) at distance 750 m had been approximately calculated. Table 0.3 shows the results of the prognosis in comparison to the recommended values of UBA. It's obvious that a serious exceedance of the recommended values had to be assumed.

Table 0.3: Calculated values for L_{peak} and SEL and recommended levels (UBA) at distance 750 m.

Ram energy kNm	Calculated values		Recommended values (UBA)	
	L_{peak} dB re 1μPa	SEL dB re 1μPa	L_{peak} dB re 1μPa	SEL dB re 1μPa
800	195	174	190*	160
160	185	164		

*In 2010 the recommended UBA-value for the L_{peak} has been increased by 10 dB

The results of the hydro sound measurements are discussed in detail in chapter 4.7.

In summary the hydro sound measurements involving the use of a large bubble curtain have delivered promising results, although the recommended UBA-value of SEL is still exceeded by 4 dB. At distance 910 m under a ram energy of 160 kNm a reduction of the Peak Level (L_{peak}) of 14 dB and a decrease of the Sound Exposure Level (SEL) of 12 dB could be achieved (see table 0.4). Another important result is that a clear reduction of compressed air flow leads to an almost as large level reduction compared to full air flow. Comparing the frequency range at state "reduced air" to the one at state "full air" shows the same frequency-dependent distribution (see figures 4.21 and 4.22). This result provides an indication of possible savings to improve the cost-efficiency of the concept.

Provided an successful optimization of all essential parameters (size of bubble, amount of compressed air, distance and size of nozzles), it can be expected that the recommended value will be reached in future applications of the concept.

Based on the mentioned results, it's an important concern of further research to improve the physical efficiency of the concept within the framework of theoretical and practical investigations. At the same time by means of new materials and investigations on systems of tubes, which can be installed without assignment of divers, the improvement of cost-efficiency is being investigated at Leibniz Universität Hannover.

Table 0.4: Evaluated hydro sound levels – Results of FINO3.

Status of bubble curtain	Distance to ram center m	L _{peak} dB re 1μPa	SEL dB re 1μPa	Ram energy kNm
on	245	197	174	800
	910	184	162	
	15.000	152	125	
on	245	190	167	160
	910	178	157	
	15.000	147	122	
50 %	245	191	168	160
	910	179	157	
	15.000	148	123	
off	245	199	173	160
	910	192	169	
	15.000	155	130	

0.3 Influence of pile driving activities for the construction of FINO3 on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*)

0.3.1 Goals of the ecological accompanying research

In this study the effects of pile driving activities and Seal scarer and pinger measures on harbour porpoises were investigated. Hydro sound emissions of under water pile driving of huge monopiles can lead to disturbance or even physical injury of fish or marine mammals (Madsen *et al.* 2006, Nehls *et al.* 2010, in preparation). FINO3 has been erected in an area rich in harbour porpoises and at a season, where most of the calves are found in that area (Gilles *et al.* 2009, Grünkorn *et al.* 2004, Scheidat *et al.* 2004, Brandt *et al.* 2008). In addition to this the construction site of FINO3 is at a distance of 6 km to the marine protective area "Sylter Außenriff". For this reason the application of noise mitigation, Seal scarer and pinger was provided. Furthermore there was a vital concern within the FINO3-project to investigate the reaction of harbour porpoises.

In the German North Sea the construction of several offshore wind parks is planned, amongst them several in areas rich in harbour porpoises. The realization of pile driving activities is strongly dependent from weather conditions and will probably coincide with breeding season in summer.

Against this background it's a matter of particular interest to develop noise mitigation concepts and prove their efficiency during in-situ measurements. During the construction of FINO3 a bubble curtain surrounding the pile driving center was employed, in order to reduce the hydro sound immissions. Within none of the previous studies, involved with the influence of pile driving on harbour porpoises, noise mitigation measures have been applied.

Hence the present study is the first, taking noise mitigation into account, while analyzing the reaction of harbour porpoises due to pile driving activities.

The study aims at identifying the spatial and temporal changes in harbour porpoise presence due to pile driving under application of the noise mitigation concept bubble curtain. Another goal is to verify to what extend the application of Seal scarer and pinger was successful.

This was achieved by a combination of passive acoustic monitoring measures using PODs (PORpoise Detectors) and direct registration flights before and after the pile driving activities. The advantage of PODs compared to registration flights consists in the independency of weather conditions. Another aspect is the high resolution in time domain (Diederichs *et al.* 2008b), whereas the spatial resolution is limited by the maximum number of the applied units, so that a calculation of the absolute density of porpoises per area based on POD-registration isn't admissable at the moment, when referring to areas rich in porpoises.

The main drawback of direct registration flights lies in the fact that only a single snapshot of the distribution of porpoises is taken. On the other hand, the spatial capture is much better and the absolute distribution of porpoises per area is calculable, for instance when using the software "Distance" (Thomas *et al.* 1998, Buckland *et al.* 2001).

The combination of the two methods offers an excellent method to gain the highest possible spatial and temporal resolution of data giving information about the abundance of the animals in a certain area and to study the influence of pile driving on the behaviour of the species.

The investigations using PODs took place continuously at different distances to the ram center. Thus an analysis of the gained data with respect to the parameter “duration of an effect” and, if possible, with respect to a possible spatial gradient during that period could be performed.

In case of a decrease of the (POD-) measured activity of porpoises due to pile driving, it can't be excluded that in fact only a change of the echolocation behaviour was detected, and no decrease of the distribution of porpoises took place.

Referring to other cetaceans, a reduction of echolocation during and after a loud noise is described (Weilgart, 2007, gives an overview).

Only the simultaneous registration by means of visual methods can shed light on this issue and give information about changes of absolute densities of harbour porpoises at the same time.

0.3.2 Results and conclusions

The investigations of the influence of pile driving in combination with Seal scarer and pinger measures on harbour porpoises detected both a reduction of the densities of the animals and a decrease of their activities as a consequence of the mentioned activities.

The results of the registration flights show an widespreading effect, which applies for the entire investigation area, up to a distance of 25 km from the construction site.

Comparing the densities of harbour porpoises of the day before pile driving and the day, when pile driving took place, a decrease of 78 % can be detected. With respect to unfavourable weather conditions from July 6th to 7th this value should be handled with care. The activity of the harbour porpoises showed an effect at least reaching up to a distance of 7 km, possibly even farther. After pile driving had been terminated, it took 5 to 11 hours until harbour porpoises were reregistrated by the PODs at a distance of 1 km from the monopile. Regarding the close-up range, the entire effect, including the time of pile driving activity and to some extent some time period before, lasted 18 to 45 hours. With increasing distance to the construction site the effect was shorter. These results mostly agree with former studies and beyond that they verify for the first time that a decrease of registered clicks due to pile driving not only represents a change in echolocation behaviour, but also indicates in most of the cases that the porpoises really left the concerned area.

Both before and during pile driving activities a high proportion of calves could be observed. The densities of harbour porpoises in the investigation area were high at both times.

The application of a bubble curtain led to significant hydro sound level decreases, particularly in the relevant high-frequency range. If the bubble curtain wasn't applied, a farther reaching disturbance could have been assumed.

The test of the bubble curtain can be described as successful, because it reduced impact on harbour porpoises. Due to the fact that the animals avoided the direct vicinity of the construction site for a longer time, direct injuries of the hearing are improbable. One animal, which was seen at a distance of 3 km by means of registration flights, was outside the zone, where physical injuries might have occurred. The PODs at distance of 1 km didn't register any harbour porpoises. Thus it can be concluded that pinger and Seal scarer measures were probably successful.

Chapter 5.5 and 5.6 contain a detailed description and discussion of the results.

0.4 Construction and offshore operation of the bubble curtain

0.4.1 Project goals

Monopiles represent one important foundation type for offshore wind turbines. The monopiles are driven into the seabed by means of pile drivers, which cause the transmission of high-frequency noise into the water. Since the hydro sound is potentially dangerous for marine animals - especially marine mammals, when looking at the North Sea - it's necessary to reduce the hydro sound immissions as far as possible by means of appropriate noise mitigation concepts.

Within the framework of this project the efficiency of a large bubble curtain was investigated. An important goal was to quantify the physical efficiency and to determine to what extent the effect can be predicted for future applications under different boundary conditions. In the long run there is a serious need for both applicable and cost-efficient noise mitigation concepts.

Another goal of the project was the registration of harbour porpoises by observations per ship. The results of these investigations should enable a comparison to those of the direct registration flights.

0.4.2 Results

Both installation and operation of the noise mitigation concept bubble curtain could successfully be integrated into the pile driving procedures.

As for the chronology of the procedures, the installation of the tube system had been realized before pile driving procedures started. For this purpose the diving team, which was in charge of the installation of the noise mitigation system, had to start five days before the appointed start of pile driving, in order to ensure the entire tube system to be ready for use before the afloat giant equipment would arrive at the location. That was an essential concern, since any disturbance of the pile driving procedures had to be excluded.

Taken alone the procedures for the bubble curtain's installation, two or three days of "good weather" are needed.

In principle it's possible to install the tubes and the air supply ducts far before the pile driving starts, because the equipment may rest onto the seabed for a period of weeks or even months without risk of being damaged during that time. This possibility of uncoupling the two procedures (bubble curtain and pile driving) means as well that both weather periods needed are independent of each other. This is necessarily required to reduce financial risks, which aren't acceptable neither for the general contractor nor the construction company in charge. A basic principle is that any disturbances of the foundation's installation process have to be avoided.

For further applications the practicability using in series of the bubble curtain has to be improved to minimize the necessary installation time. The same applies to the cost, which have to be reduced too.

The observations per ship led to the result that the day before pile driving activities started, a high density of harbour porpoises could be observed. The results are similar to those of the direct registration flights. Since pile driving started in the early morning at night, 31th of July, no animals could be observed per ship. Later, during the day, the weather conditions were quite difficult compared to the day before. In the vicinity of the construction site no animals were seen.

1. Vorwort

Wir möchten uns an dieser Stelle bei unseren Forschungspartnern von DEWI, itap und Bio-Consult SH für die gute Zusammenarbeit im Vorhaben herzlich bedanken. Weiter gilt unser ausdrücklicher Dank dem Bauherrn der FINO3-Forschungsstation, dem Forschungs- und Entwicklungszentrum der Fachhochschule Kiel, für die im Frühjahr 2008 kurzfristige Übernahme des Industrieteils (Teilantrag B), ohne die eine Durchführung des Vorhabens nicht möglich gewesen wäre. Weiter danken wir der Firma Hydrotechnik Lübeck für die eingebrachte Kompetenz bei Planung, Bau und Betrieb des Blasenschleiers.

Nicht zuletzt gilt unser Dank dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie dem Projektträger Jülich für die finanzielle Förderung und die intensive Unterstützung und Projektbegleitung.

Hannover, im September 2010

Dipl.-Ing. Tanja Grießmann

Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes

2. Einleitung, Zusammenfassung und Ausblick

von Tanja Grießmann (Institut für Statik und Dynamik), Georg Nehls (BioConsult SH) und Jan Bachmann (Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH)

Die Nutzung der Windenergie auf hoher See bietet vielversprechende Möglichkeiten zur klima- und ressourcenschonenden Energieerzeugung. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Energieversorgung bis zum Jahr 2050 auf mindestens 50 % zu steigern. Dieses Ziel soll mit dem EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) und einer deutlichen Förderung der Forschung und Entwicklung in diesem Bereich erreicht werden.

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 für die Bemessung und Optimierung von Offshore-Tragstrukturen Verwendung finden. In der ökologischen Forschung werden die Auswirkungen von Hydroschallimmissionen auf die Meeresflora und -fauna, u. a. auf die Reaktion mariner Säugetiere, wie Schweinswale, Seehunde und Robben untersucht. Betrachtet werden vor allem die Schalldruckpegel, die beim Bau der Gründung entstehen, da hier der einzelne Schalleintrag Maximalwerte erreichen kann. Da neben Stressreaktionen auch eine Abnahme der Hörempfindlichkeit sowie Beeinträchtigungen der akustischen Kommunikation und des Orientierungssinns auftreten können, stellen Rammarbeiten eine potentielle Gefahr für die Meeresfauna dar. Da der Wissensstand zur Zeit noch nicht ausreicht, um Grenzwerte für zulässige Schalldrücke bei der Einwirkung auf Meeressäuger festzulegen, sind die vorliegenden Richtwerte des Umweltbundesamts noch unsicher. Es ist aber davon auszugehen, dass bei Rammarbeiten an den Gründungskörpern die Richtwerte überschritten werden. In diesem Zusammenhang ist die Erforschung und Erprobung von Schallschutzkonzepten, die beim Bau von Offshore-Windenergieanlagen die Hydroschallimmissionen möglichst gering halten und damit wesentlich zum Schutz der Meeresumwelt beitragen, ein wichtiges Forschungsgebiet.

Im Sommer 2008 wurde in der Nordsee etwa 80 km westlich von Sylt bei den Rammarbeiten zur Erstellung der Forschungsplattform FINO3 das Schallschutzkonzept Blasenschleier eingesetzt. Dazu wurde auf dem Meeresboden um die Rammposition für den Monopile ein mit Düsenöffnungen versehenes Kunststoffrohr eingebaut.

Bei der hohen Schlagenergie, die notwendig war, um den Monopile auf Tiefe zu bringen, bestand im Verlauf der Rammarbeiten keine Möglichkeit den Blasenschleier auszuschalten - er musste vielmehr, um eine optimale Schallminderung zu erreichen, über die gesamte Rammzeit mit voller Druckluftmenge betrieben werden. Der Grund liegt darin, dass das Gebiet um FINO3, welches sich in direkter Nähe zum Meeresschutzgebiet „Sylter Außenriff“ befindet, als „Kinderstube“ der Schweinswale bezeichnet werden kann und die Rammarbeiten während der Zeit der Jungenaufzucht erfolgten. 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.

Aus diesem Grund konnten die Hydroschallmessungen bei ausgeschalteten Blasenschleier nur im Anschluss an die eigentliche Pfahlrammung im Rahmen eines komprimierten Versuchsprogramms durchgeführt werden. Um eine Gefährdung der Meeressäuger zu vermeiden, musste die Einbringenergie dazu auf 20 % der maximalen Energie reduziert werden.

Während der Pfahlrammung und der anschließenden Versuche wurden Schalldruckmessungen im Meereswasser in verschiedenen Entfernungen vom Monopile realisiert.

Vor den Rammarbeiten, währenddessen und danach befassten sich die ökologischen Begleituntersuchungen mit der räumlichen und zeitlichen Erfassung von Schweinswalen und Seehunden.

Die folgenden Abschnitte fassen die wesentlichen Projektergebnisse kurz zusammen.

Kapitel 4: Einsatz des Schallminderungskonzepts Blasenschleier bei den Rammarbeiten

Als wesentlicher Bestandteil des Schallschutzkonzepts wurde während der laufenden Rammarbeiten ein Blasenschleier vorgehalten, der mit maximaler Druckluft während der gesamten Rammzeit betrieben wurde. Zusätzlich wurden im Vorfeld der Rammarbeiten Vergrämungsmaßnahmen durchgeführt (s. Kap. 5.4.2) mit dem Ziel, marine Säuger aus dem Nahfeld der Baustelle zu vertreiben. Darüber hinaus wurden die Rammarbeiten mit einem Soft Start eingeleitet, indem die Rammenergie über einen ausreichend langen Zeitraum stufenweise auf den Maximalpegel hochgefahren wird.

Die Schalldruckmessungen bei den Rammarbeiten an der Forschungsplattform FINO3 unter Einsatz eines Blasenschleiers haben vielversprechende Ergebnisse in Bezug auf dieses Schallschutzkonzept geliefert. In einer Entfernung von 910 m vom Rammort konnte bei einer Rammenergie von ca. 160 kNm eine Reduktion des Spitzenpegels von 14 dB und eine Minderung des breitbandigen SEL von 12 dB erzielt werden. Die geminderten Schalldruckpegel liegen somit nahe der derzeit geforderten Richtwerte; der Richtwert für den SEL wird allerdings noch um ca. 4 dB überschritten.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist, dass eine deutliche Reduktion der Luftmenge eine nahezu gleich gute breitbandige Wirkung bezüglich der Schallreduktion erzielt hat. Analysiert man die erreichte frequenzabhängige Wirkung bei reduzierter Luftmenge im Vergleich zur Wirkung bei voller Luftmenge lässt sich darüber hinaus feststellen, dass der spektrale Verlauf in beiden Fällen nahezu identisch ist (vergl. Bild 4.22 und Bild 4.23). Dies gibt einen deutlichen Hinweis auf mögliche Einsparpotenziale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit dieses Schallschutzkonzepts.

Es ist zu erwarten, dass der Richtwert für den SEL in Zukunft eingehalten wird, wenn es gelingt, den Blasenschleier im Hinblick auf alle wesentlichen Parameter, wie Blasengröße, Druckluftmenge, Düsenabstand und Größe der Düsenöffnungen zu optimieren.

Die weiterführende Forschung setzt hier im Rahmen theoretischer und experimenteller Untersuchungen an. Parallel erfolgt eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Versuche mit neuen Schlauchmaterialien und -systemen, die ohne Taucharbeiten direkt vom Schiff verlegt werden können.

Kapitel 5: Einfluss der Rammarbeiten zur Errichtung der Forschungsplattform FINO3 auf Schweinswale (*Phocoena phocoena*) - Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zum Einfluss der durchgeführten Rammarbeiten und Vergrämungsmaßnahmen auf Schweinswale konnten eine Reduzierung in den Schweinswaldichten und in der Schweinswalaktivität als Folge von Rammarbeiten und Vergrämungsmaßnahmen nachweisen. Die Flugzeugetfassung wies hierbei auf eine das gesamte Untersuchungsgebiet, welches bis in 25 km Entfernung zur Baustelle reichte, umfassende Wirkung hin. Die Schweinswaldichten waren während der Rammung gegenüber dem Vortag um 78 % reduziert. Eine genaue Prozentangabe ist aber nur unter Vorbehalt zu nennen, da die Wetterverhältnisse für Schweinswalerfassungsflüge am 06.07. und am 07.07.2008 nicht optimal waren. Auch die an diesem Tag von C-PODs erfasste Schweinswalaktivität ließ auf einen mindestens bis in 7 km, eventuell weiter reichenden Effekt schließen. Die Dauer, bis zu der nach Ende der Rammarbeiten wieder Schweinswale an den PODs in 1 km Entfernung zur Baustelle aufgezeichnet wurden, lag bei 5 bzw. 11 Stunden. Der gesamte Vertreibungseffekt, welcher sowohl die Zeit der Rammarbeiten sowie zum Teil auch bereits einen Zeitraum vor Beginn der eigentlichen Rammarbeiten beinhaltet, dauerte im Nahbereich 18 bzw. 45 Stunden. Mit größerer Distanz zur Baustelle war dieser Effekt kürzer. Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit vorherigen Untersuchungen überein, stellen jedoch den ersten Nachweis dar, dass es sich bei einer Abnahme der von PODs aufgezeichneten Schweinswalklicks in Folge einer Rammung nicht nur um eine Änderung im Echoortungsverhalten handelt, sondern, dass die meisten Tiere das Eingriffsgebiet tatsächlich verlassen haben.

Sowohl vor als auch während der Rammarbeiten wurde ein hoher Anteil an Jungtieren im Gebiet beobachtet. Die Schweinswaldichten waren im Untersuchungsgebiet vor und während der Rammarbeiten sehr hoch.

Der Einsatz des Blasenschleiers führte zu einer signifikanten Reduzierung der Schallemissionen, vor allem in dem für Schweinswale besonders relevanten hochfrequenten Bereich. Unter Einsatz dieser Schallminderungsmaßnahme war die Schallemission trotz Rammung eines größeren Pfahls vergleichbar mit den Emissionen beim Bau der Offshore-Windparks Alpha ventus und Horns Rev II. Wäre diese Schallminderungsmaßnahme nicht angewandt worden, hätte mit einer weiter reichenden Störwirkung gerechnet werden müssen. Der Einsatz des Blasenschleiers kann somit als Erfolg für die Reduzierung negativer Auswirkungen auf Schweinswale gewertet werden.

Da die direkte Umgebung der Baustelle über einen längeren Zeitraum gemieden wurde, ist es unwahrscheinlich, dass es durch die Rammung zu direkten Hörschädigungen bei Schweinswalen gekommen ist. Ein während des Fluges in 3 km Entfernung gesichtetes Tier befand sich außerhalb der Zone, in welcher physische Schädigung hätte auftreten können. Auch von den in 1 km Entfernung liegenden PODs wurde während der Rammung kein Tier aufgezeichnet. Die verwendeten Vergrämungsmaßnahmen waren somit wahrscheinlich erfolgreich.

Kapitel 6: Konstruktion und Offshore-Einsatz des Blasenschleiers - Projekterkenntnisse bezüglich Bauablauf und Projektplanung

Die Errichtung und die Anwendung des Schallschutzkonzepts Blasenschleier konnte planerisch in den Gesamtbauplan des Bauabschnitts „Rammung“ integriert werden. Vom Zeitablauf her wurde die Errichtung des Blasenschleiers durch Taucher dem Bauabschnitt der Ram-

mung vorgeschaltet. Dies bedeutete, dass das Taucherteam, welches den Blasenschleier verlegte, fünf Tage vor Beginn der Rammung zur 80 km vor der Küste liegenden Lokation hinausfuhr. Ziel war es, den gesamten Blasenschleier komplett montiert und funktionsfähig installiert zu haben, bevor die schwimmenden Großgeräte an der FINO3-Baustelle eintrafen. Dies war wichtig, da jegliche Behinderung des Bauablaufs zur Rammung des Monopiles ausgeschlossen werden musste. Für die reibungslose Verlegung des Blasenschleiers selbst werden zwei bis drei Tage mit „gutem“ Wetter benötigt.

Grundsätzlich können die Düsenrohre und Zuluftleitungen für den Blasenschleier auch weit vor Beginn der Errichtungsarbeiten für die Fundamente verlegt werden und auf dem Meeresboden verbleiben, bis die Rammarbeiten beginnen. Diese Entkopplung der Gewerke – und damit auch der jeweils erforderlichen Wetterfenster - ist zwingend notwendig, da ansonsten bei Notwendigkeit eines deutlich verlängerten, zusammenhängenden Wetterfensters die finanziellen Risiken für das Projekt immens steigen würden - Risiken, welche von der hauptverantwortlichen Baufirma in der Regel nicht getragen werden können.

Grundsätzlich gilt, dass bei der Anwendung von Schallschutzkonzepten Eingriffe in den Bauablauf der Hauptgewerke zu vermeiden sind.

3. Zusammenarbeit im Vorhaben

Das Verbundvorhaben gliedert sich in die Teile A und B. Im *Teilprojekt A* arbeiteten die Projektpartner ISD, DEWI, itap und BioConsult SH unter Koordination des ISD zusammen. Ziel der Zusammenarbeit war die wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens, die gemeinsame Durchführung der Hydroschallmessungen sowie die Auswertung und abschließende Bewertung der Messdaten. Die Fa. BioConsult SH untersuchte und bewertete anhand eines passiven akustischen Monitorings und mittels direkter Erfassungsflüge die Reaktionen von Schweinswalen auf die Rammarbeiten zur Errichtung der Forschungsplattform FINO3. Eine weitere Aufgabe war, zu überprüfen, inwieweit die geplanten Vergrämungsmaßnahmen erfolgreich verliefen.

Antragsteller des *Teilprojekts B* ist die Firma FuE-Zentrum Fachhochschule Kiel GmbH. Projektpartner bzw. Unterauftragnehmer sind u. a. die Firmen Ed. Züblin, Menck, Hydrotechnik Lübeck und BioConsult SH. Hydrotechnik Lübeck hat alle notwendigen Arbeiten zu Errichtung, Betrieb und Rückbau des Blasenschleiers durchgeführt. BioConsultSH hat Sichtbeobachtungen vom Schiff vorgenommen und passive akustische Monitoringmethoden (PAM) angewendet.

4. Einsatz des Schallminderungskonzepts Blasenschleier bei den Rammarbeiten

4.1 Zielsetzung

von Tanja Grießmann (Institut für Statik und Dynamik)

Die Zielsetzung der Forschung besteht vor allem darin, Schallminderungskonzepte zu entwickeln, deren physikalische Wirkung weitestgehend optimiert ist. Dabei darf die Wirtschaftlichkeit nicht außer Acht gelassen werden. Ein aus physikalischer Sicht gut funktionsfähiges System, welches aber offshore Errichtungsablauf und -zeit der Hauptgewerke stört bzw. verlängert, ist zu riskant und teuer und wird auf See nicht zum Einsatz kommen.

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 wesentlich Streuungs-, zum geringen Teil auch Absorptionseffekte wirksam sind. In der Nähe der Resonanzfrequenz beträgt die akustische Oberfläche der einzelnen Luftblase ein Vielfaches ihrer geometrischen Oberfläche, was die besondere Effektivität des Blasenschleiers begründet.

Da der Blasenschleier aber keine starre Konstruktion ist, sondern aus frei beweglichen Luftblasen im Wasser besteht, unterliegt er vollständig dem Einfluss von Strömung und Wellen. Hier gilt es sicherzustellen, dass trotz veränderlicher Strömungsstärke und -richtung im Zyklus von Ebbe und Flut und im Einfluss von Wind und Wellen, die gewünschte schallmindernde Wirkung in allen Richtungen während der Rammarbeiten gegeben ist.

Beim Konzept Blasenschleier zielt die Optimierung der physikalischen Wirkung vor allem auf zwei Größen: zum einen auf eine optimal eingestellte mittlere Luftblasengröße und zum anderen auf die Ermittlung der idealen Druckluftmenge. Letztere hat einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten der Maßnahme, wie am Beispiel FINO3 gezeigt werden wird.

4.2 Schalltechnische Messgrößen

von Klaus Betke (Institut für technische und angewandte Physik)

In der Schalltechnik wird die Intensität von Geräuschen im Allgemeinen durch den Schallpegel in dB (Dezibel) beschrieben. Allerdings gibt es verschiedene Pegelgrößen; für die vorliegende Fragestellung sind folgende von Bedeutung:

- Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}
- Einzelereignispegel L_E (identisch mit dem Sound Exposure Level SEL)
- Spitzenpegel L_{peak}

Der L_{eq} und der L_E können sowohl frequenzunabhängig angegeben werden, d.h. als breitbandige Werte, als auch frequenz aufgelöst, z.B. in 1/3-Oktav-Bändern. Mit dem vom BSH genannten Richtwert bei Rammarbeiten von 160 dB re 1 μ Pa in 750 m Entfernung ist der breitbandige Einzelereignispegel L_E gemeint.

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}

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

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \quad \text{dB} \quad (4.1)$$

Hierin sind $p(t)$ der Schalldruck, p_0 der Bezugsschalldruck $1\mu\text{Pa}$ und T die Mittelungszeit. In Worten bedeutet Gleichung (4.1): Quadriere die beobachteten Schalldrücke p , bilde den Mittelwert über die Zeit T und teile durch p_0^2 . Der mit 10 multiplizierte Logarithmus von diesem Wert ist das Ergebnis in dB.

Einzelereignispegel SEL

Zur Charakterisierung von Rammgeräuschen ist der L_{eq} allein kein ausreichendes Maß, denn er hängt nicht nur von der Stärke der Rammschläge ab, sondern auch von der Mittelungszeit und von den Pausen zwischen den Impulsen. Besser geeignet ist der Einzelereignispegel L_E , der etwas anders definiert ist als der L_{eq} :

$$L_E = 10 \log \left(\frac{1}{T_0} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \quad \text{dB} \quad (4.2)$$

Anfangszeit T_1 und Endzeit T_2 der Mittelung sind so zu wählen, dass das Schallereignis zwischen T_1 und T_2 liegt, siehe Bild 4.1. T_0 hat den Wert 1 Sekunde. Der Einzelereignispegel eines Schallimpulses ist damit der Pegel (L_{eq}) eines kontinuierlichen Schalls von 1 s Dauer und der gleichen Schallenergie wie der Impuls.

Der L_E ist schwieriger direkt zu messen als der L_{eq} , die beiden Größen können jedoch einfach ineinander umgerechnet werden:

$$L_E = 10 \log \left(10^{\frac{L_{eq}}{10}} - 10^{\frac{L_{hg}}{10}} \right) - 10 \log \frac{nT_0}{T} \quad (4.3)$$

Hierin ist n die Anzahl der Schallereignisse, also der Rammschläge, innerhalb der Zeit T . Wie vor ist $T_0 = 1$ s. Die Anwendung von Gleichung (4.3) auf eine L_{eq} -Messung liefert somit den mittleren L_E von n Schallereignissen. L_{hg} ist der Stör- bzw. Hintergrundpegel zwischen den Schallereignissen. Wenn der Pegel des Störschalls deutlich niedriger (z.B. 10 dB) als der Rammschall ist, kann mit guter Genauigkeit mit einer Vereinfachung von Gleichung (4.3) gerechnet werden:

$$L_E \approx L_{eq} - 10 \log \frac{nT_0}{T} \quad (4.4)$$

Spitzenpegel L_{peak}

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

$$L_{\text{peak}} = 20 \log \left(\frac{|p_{\text{peak}}|}{p_0} \right) \quad (4.5)$$

Dabei ist p_{peak} der maximal festgestellte positive oder negative Schalldruck. Ein Beispiel ist in Bild 4.1 dargestellt. Der Spitzenpegel ist stets höher als der Einzelereignispegel L_E , bei Unterwasser-Rammgeräuschen beträgt dieser Unterschied 15 bis 30 dB.

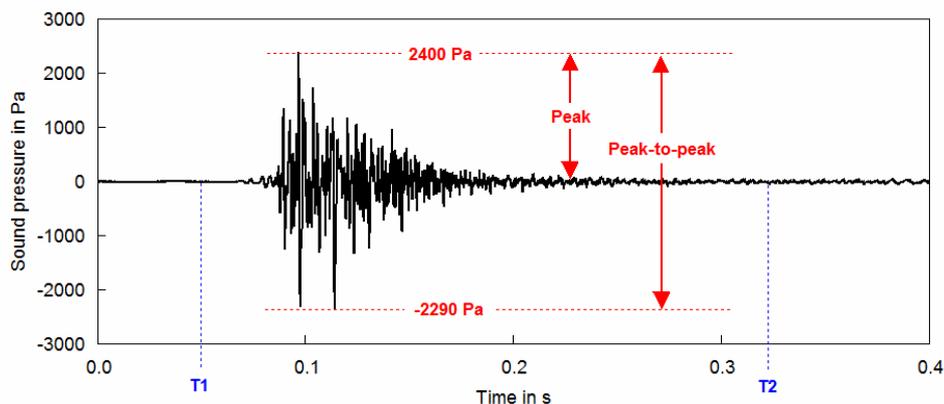


Bild 4.1: Typisches Zeitsignal des Unterwasserschalls eines Rammschlages, aufgenommen in einigen 100 Metern Entfernung. T_1 und T_2 sind in der Definition des Einzelereignispegels erklärt, siehe Gleichung (4.2). Der Spitzenpegel L_{peak} ist $20 \log(2400 \text{ Pa}/1 \mu\text{Pa}) \text{ dB} = 187,6 \text{ dB}$ (der Einzelereignispegel L_E beträgt bei diesem Beispiel etwa 162 dB).

4.3 Theoretische Grundlagen

von Klaus Betke (Institut für technische und angewandte Physik)

4.3.1 Wirkung von Gasblasen auf Schall im Wasser

Die schalldämmende Wirkung von Gasblasen in Wasser beruht auf dem Phänomen der *Schallstreuung* an den Blasen und insbesondere darauf, dass Blasen im Wasser resonanzfähige Gebilde sind (Medwin 2005, 182 bis 197). Bei der Resonanzfrequenz wirkt die Blase für die einfallenden Schallwellen wie ein viel größeres „Hindernis“, als es ihrer geometrischen Größe entspricht. Die Resonanzfrequenz f_R hängt von der Größe der Blase ab und ist bei geringem Wasserdruck

$$f_R = 0,0136 \frac{c}{\pi d} \quad (4.6)$$

Darin ist c die Schallgeschwindigkeit im Wasser (ca. 1500 m/s) und d der Durchmesser der Blase (tatsächlich ist dies die *erste* Resonanz der Blase; es existieren Resonanzen bei höhe-

ren Frequenzen, die jedoch nur schwach ausgeprägt sind). Der Zusammenhang zwischen f_R und d ist in Bild 4.2 dargestellt.

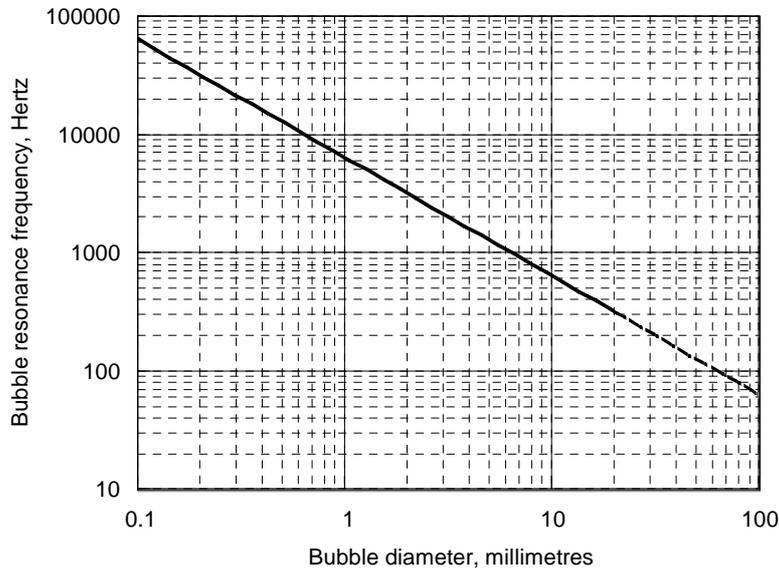


Bild 4.2: Resonanzfrequenz einer Blase in Abhängigkeit vom Durchmesser nach Gleichung (4.6)

Mit Hilfe der Streutheorie kann nun die Intensität des "abgelenkten" Teils einer einfallenden ebenen Welle berechnet werden. Für die Abschwächung in dB je Meter Dicke des Blasen-schleiers erhält man

$$\alpha = 4,34 \sigma N \tag{4.7}$$

Dabei ist N ist die Anzahl Blasen je m^3 und σ ist der sogenannte Extinktionsquerschnitt:

$$\sigma = \frac{\pi d^2 \left(\frac{\delta}{\delta_r} \right)}{\left(\left(\frac{f_R}{f} \right)^2 - 1 \right)^2 + \delta^2} \tag{4.8}$$

Hier ist d der Durchmesser der Blase und f_R ist ihre Resonanzfrequenz; bei dieser Frequenz f hat σ ein Maximum. Die Größen δ und δ_r sind Dämpfungsparameter, welche die "Resonanz-schärfe" bestimmen.

Bild 4.3 zeigt – mit Hilfe von Gleichung (4.7) und (4.8) berechnet – die theoretische Abschwächung des Schalls bei Durchgang durch blasenhaltiges Wasser, und zwar für einen Laufweg von 1 m und $N = 1/m^3$, also 1 Blase je m^3 . Der Dämpfungsparameter δ ist schwierig abzuschätzen. Im oberen Diagramm von Bild 4.3 wurde mit $\delta = \delta_r = f d/c$ gerechnet, das entspricht der theoretisch kleinstmöglichen Dämpfung, im unteren Diagramm mit einer 5-fach größeren Dämpfung.

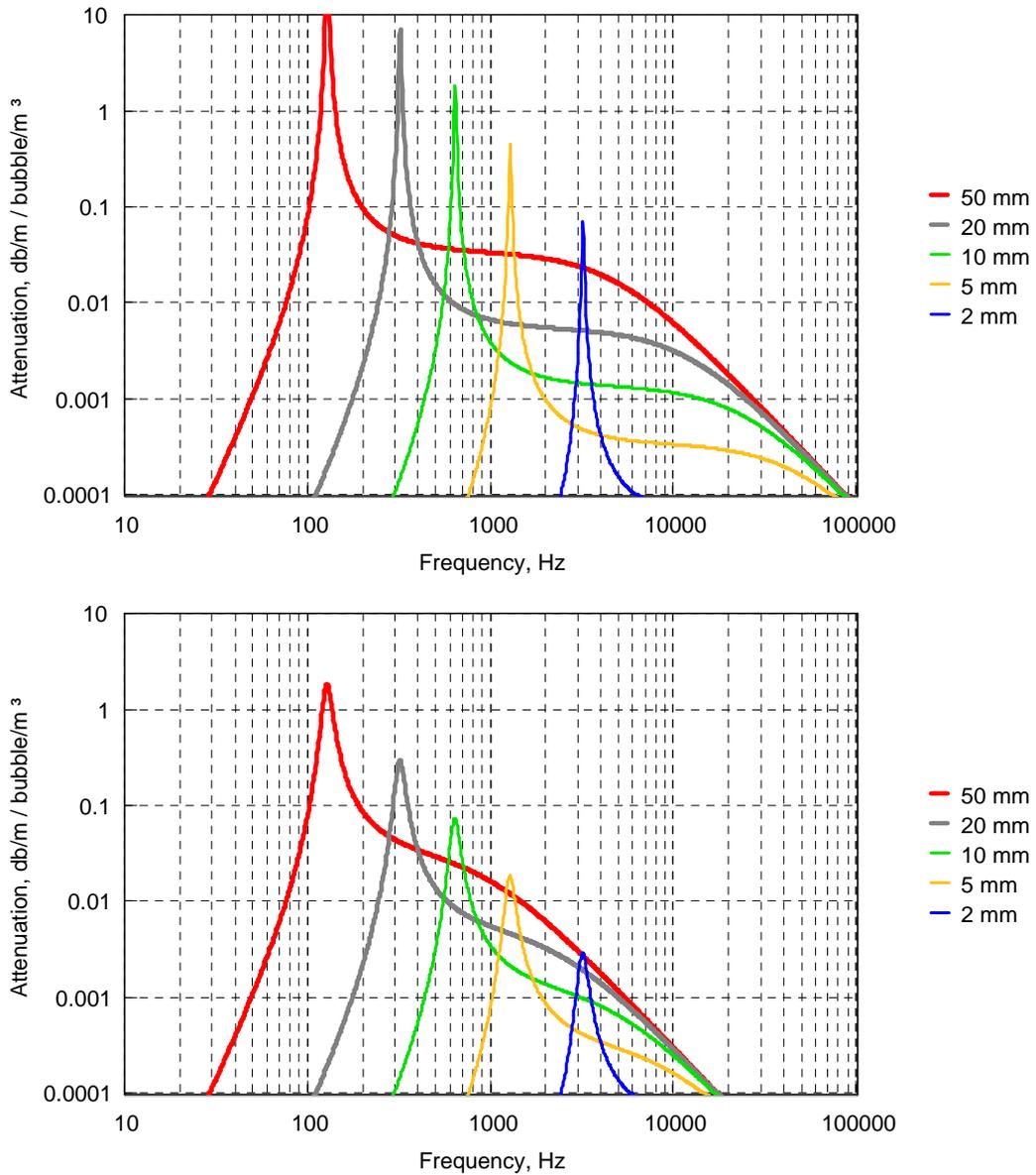


Bild 4.3: Theoretische Abschwächung des Schalls bei Durchgang durch blasenhaltiges Wasser für einen Laufweg von 1 m und 1 Blase je m³, für verschiedene Blasendurchmesser. Die Kurven gelten für geringe Tiefen (Druck \approx Luftdruck). Oben mit minimaler Dämpfungskonstante $\delta = \delta_r = f d/c$, unten mit 5-fach höherer Dämpfung.

4.3.2 Einschränkungen der Theorie

Wenn die Verteilung der Blasengrößen bekannt ist, kann man nun im Prinzip die Schalldämmung eines Blasenschleiers berechnen. Die hier benutzte Theorie enthält allerdings Vereinfachungen, welche die Berechnung erschweren:

- 1) Die Blasen sind weit voneinander entfernt (ein Mehrfaches des Streudurchmessers, größenordnungsmäßig 100 Blasendurchmesser).

Diese Voraussetzung ist bei technisch ausgeführten Blasenschleiern u. U. verletzt, da die Blasen in einer relativ engen Zone konzentriert sind. Ob dies negative Auswirkungen hat, ist unklar. Es sind aber auch positive Effekte zu erwarten: Mehrere benach-

barte Blasen können wie eine größere Blase mit entsprechend niedrigerer Resonanzfrequenz wirken (Feuillade 1995). Da der Hauptanteil des Rammschalls bei niedrigen Frequenzen liegt (100 Hz bis einige 100 Hz), ist dieser Effekt nützlich, da große Blasen schwieriger zu erzeugen sind.

- 2) Die Blasen sind klein gegen die akustische Wellenlänge.

Dies ist bei Rammschall weitgehend erfüllt.

- 3) Es wird nur die Streuung ebener Wellen berücksichtigt.

Das bedeutet, die Blasen befinden sich im Fernfeld einer Schallquelle, d.h. mehrere Wellenlängen davon entfernt. Bei einem Blasen Schleier, der als Ramm-Schallschutz nur einige Meter entfernt vom Rammpfahl angeordnet ist, ist diese Bedingung teilweise verletzt (Wellenlänge bei 100 Hz = 15 m).

- 4) Mehrfachstreuung wird nicht berücksichtigt.

Diese Einschränkung erschwert die Prognose der Schalldämmung eines Blasen schleiers, der die Schallquelle *umschließt*, wie es beim Ramm-Schallschutz der Fall sein wird (bei einem solchen Blasen schleier besteht außerdem wie bei allen Schallschutzhüllen das Problem, dass der Pegel innerhalb der Hülle in schwer vorhersehbarer Weise ansteigt, was die schalldämmende Wirkung teilweise aufhebt).

- 5) Die Blasen sind kugelförmig.

Wahrscheinlich stellt diese Annahme kein prinzipielles Problem dar. Allerdings sind nur sehr kleine Blasen bis etwa 1 mm kugelförmig; darüber ähnelt die Form mehr einem Ellipsoid oder einer Linse. Bei solchen Blasen ist die Resonanzfrequenz gegenüber der Kugelform erhöht und die Resonanzgüte etwas verringert, je nach Größe der Abweichung von der Kugelform (Feuillade & Werby 1994).

Eine Schwierigkeit ergibt sich jedoch daraus, dass große Blasen, die zur Schallminderung bei tiefen Frequenzen benötigt werden, schwierig zu erzeugen sind und dass aufgrund der Verschiebung der Resonanz durch die Verformung "noch größere" Blasen benötigt werden. Das Problem verschärft sich mit der Wassertiefe, weil die Resonanzfrequenz einer Blase bei gleicher Größe mit zunehmendem Druck steigt.

4.3.3 Einfluss der Wassertiefe

Die bisherigen Überlegungen gelten für Blasen in der Nähe der Wasseroberfläche, also bei geringem Wasserdruck. Vor allem aber hängt die Resonanzfrequenz der Blasen vom Druck ab. Sie steigt mit dem Druck an und ist näherungsweise gegeben durch (Medwin 2005, S.186)

$$f_R = \frac{6,5}{d} \sqrt{1 + 0,1 \cdot z} \quad (4.9)$$

In dieser Gleichung, die also Gleichung (4.6) ersetzt, ist d der Durchmesser der Blase in m und z die Wassertiefe in m.

Es ergeben sich somit die in Bild 4.4 dargestellten Verhältnisse. In z. B. 30 m Tiefe hat eine Blase bestimmter Größe eine doppelt so hohe Resonanzfrequenz als an der Wasseroberfläche. Um die Resonanz wieder auf die gewünschte Frequenz zu bringen, ist also der doppelte Durchmesser bzw. das 8-fache Volumen erforderlich. Abgesehen vom stark erhöhten Luftbedarf ist unsicher, ob sich die dadurch für niedrige Frequenzen erforderlichen großen Blasen überhaupt erzeugen lassen.

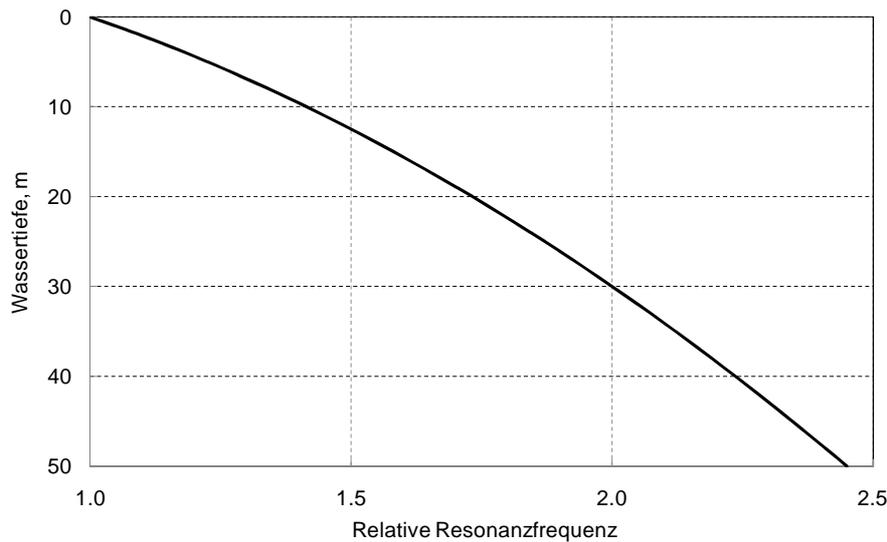


Bild 4.4: Einfluss des Wasserdrucks bzw. der Wassertiefe auf die Resonanzfrequenz einer Luftblase bestimmter Größe.

Bei einer Luftblase vergrößert sich beim Aufstieg zur Wasseroberfläche außerdem das Volumen wegen des abnehmenden hydrostatischen Drucks. In z. B. 30 m Tiefe ist der Druck 4-mal so hoch wie an der Oberfläche; dadurch steigt das Volumen der Blasen beim Aufstieg um den Faktor 4 an und der Durchmesser etwa um den Faktor 1.6. Insgesamt ändert sich dadurch die Resonanzfrequenz einer kugelförmigen Blase auf ihrem Weg zur Wasseroberfläche, wie in Bild 4.5 dargestellt ist.

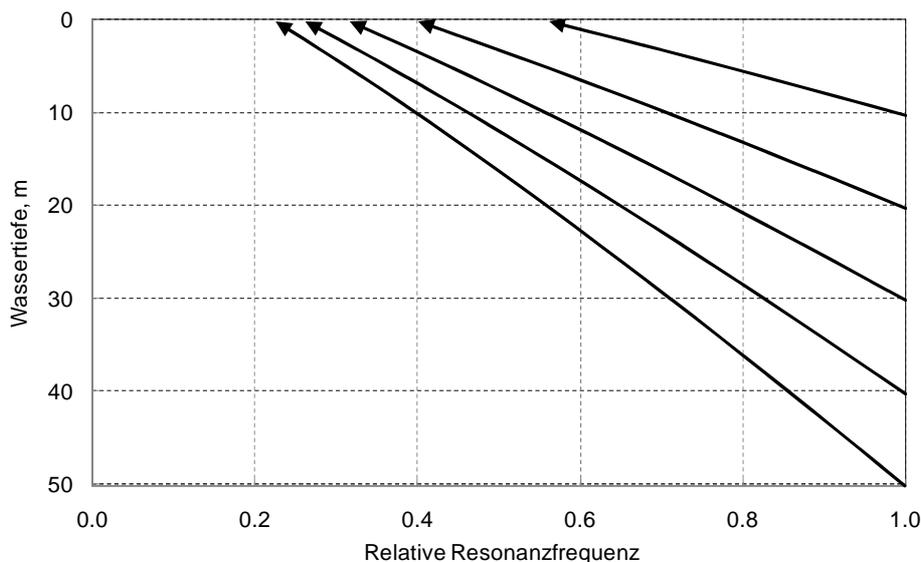


Bild 4.5: Änderung der Resonanzfrequenz einer Luftblase, die in einer Tiefe von 10 m, 20 m, ... 50 m freigesetzt wird, bei ihrem Aufstieg zur Wasseroberfläche.

4.4 Voraussetzungen am Standort und technische Umsetzung des Konzepts

von Tanja Grießmann, Jörg Rustemeier (Institut für Statik und Dynamik)

Im Sommer 2008 wurde in der Nordsee etwa 80 km westlich von Sylt bei den Rammarbeiten zur Erstellung der Forschungsplattform FINO3 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, der einen Durchmesser von 2,70 bis 4,70 m und eine Einbindetiefe von ca. 30 m in den Meeresboden aufweist. Die maximale Rammenergie erreichte aufgrund der Größe des Monopiles mit ca. $E = 800 \text{ kNm}$ Maximalwerte. Die Wassertiefe am Standort von FINO3 beträgt ungefähr 23 m. Die aus Gezeiten- und Windeinfluss resultierende Strömungsgeschwindigkeit wird hier mit im Mittel $v = 1,2 \text{ m/s}$ an der Meeresoberfläche angegeben. Eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit liegt etwa bei $v = 0,5 \text{ m/s}$.

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 nahe dem Meeresboden austreten, aufsteigen und auf ihrem Weg zur Wasseroberfläche einen dichten Vorhang bilden. Infolge des abnehmenden hydrostatischen Umgebungsdrucks in Richtung geringerer Wassertiefen vergrößern sich die Luftblasen beim Aufsteigen mit der Folge, dass die Dicke und Dichte des Blasenvorhangs zunehmen (Bild 6.1).

Der mit 70 m relativ große Abstand vom Pfahl musste aus zwei Gründen gewählt werden. Zum einen durfte die Arbeit der schwimmenden Großgeräte nicht behindert werden (Bild 6.4), zum anderen musste sichergestellt sein, dass der infolge der Strömung geneigte Bla-

senschleier 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 die rund 440 m lange Rohrleitung mit einer maximalen Druckluftmenge von ca. 0,39 m³/min bezogen auf 1 m Rohrlänge befüllt werden. Dazu wurden neun Kompressoren eingesetzt (Bild 6.2).

4.5 Messprogramm

von Tanja Grießmann, Jörg Rustemeier (Institut für Statik und Dynamik)

Wegen der direkten Nähe zum Meeresschutzgebiet „Sylter Außenriff“ und der damit verbundenen Gefahr der Vertreibung oder Schädigung der Meeressäuger durfte der Blasenschleier während der Rammarbeiten nicht ausgeschaltet werden, um Referenzmessungen durchzuführen. Aus diesem Grund konnten Messungen bei ausgeschalteten Blasenschleier nur im Anschluss an die eigentliche Pfahlrammung im Rahmen eines komprimierten Versuchsprogramms durchgeführt werden. Um eine Gefährdung der Meeressäuger zu vermeiden, musste die Einbringenergie dabei auf 20 % der maximalen Energie reduziert werden. Während der Pfahlrammung und der anschließenden Versuche wurden Schalldruckmessungen im Meerwasser in verschiedenen Entfernungen vom Monopile realisiert. In Tabelle 4.1 sind die Messpunkte und Entfernungen angegeben.

Tabelle 4.1: Entfernungen und Lage der Messpunkte.

	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5
Entfernung vom Rammzentrum in m	35	245	910	~ 5.000	~ 15.000
Richtung		Süd	Ost-Süd-Ost		Ost-Süd-Ost

In Tabelle 4.2 sind die Versuchsschritte, 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.

Tabelle 4.2: Versuchsprogramm.

Versuchsschritt	Rammenergie E 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

Vorab wurden die Schalldruckpegel (ohne Schallschutzmaßnahme) in einer Entfernung von 750 m rechnerisch abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 4.3. Es ist ersichtlich, dass bei den geplanten Rammarbeiten mit einer deutlichen Überschreitung der Richtwerte - auch noch bei der reduzierten Rammenergie - zu rechnen war.

Tabelle 4.3: Prognosewerte für Rammarbeiten ohne Blasenschleier und Richtwerte (Entfernung 750 m).

Rammenergie E kNm	Prognosewerte		Richtwerte	
	L _{peak} dB re 1µPa	L _E dB re 1µPa	L _{peak} dB re 1µPa	L _E dB re 1µPa
800	195	174	190*	160
160	185	164		

*Der UBA-Richtwert für den Spitzenpegel wurde 2010 um 10 dB erhöht

4.6 Vorgehensweise bei Messung und Auswertung

4.6.1 Ausgewertete Messpunkte und Vorgehensweise

von Tanja Grießmann, Jörg Rustemeier (Institut für Statik und Dynamik)

An allen in Tabelle 4.1 aufgeführten Messpunkten wurden Hydroschallmessungen durchgeführt. Im Messpunkt MP 1 in unmittelbarer Nähe zum Rammzentrum wurde von der Hubinsel mit einem Einzelhydrofon gemessen. Aufgrund der stark übersteuerten Datenaufnahme konnte hier jedoch keine Auswertung erfolgen. Der Messpunkt ist daher im Folgenden nicht erwähnt.

Am Messpunkt MP 4 wurde durch itap eine autonome Messboje abgesetzt, die leider verloren ging, sodass auch hier keine Daten ausgewertet werden konnten.

Die Messungen in den anderen Entfernungen – in 245 m und in 15 km vom Schiff aus mit einem Einzelhydrofon und in 910 m mit einer autonomen Messboje durchgeführt - sind erfolgreich gewesen und werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

4.6.2 Messpunkte MP 2 und MP 3 in 245 m und 910 m Entfernung

von Klaus Betke (Institut für technische und angewandte Physik)

Die Rammarbeiten für FINO3 wurden zum einen von der MS Beaufort aus gemessen, die dazu zunächst in etwa 450 m Entfernung von der Pfahlposition ankerte. Diese Parkposition musste wegen des Verkehrs von Baustellenfahrzeugen später verlassen werden. Ab dem 31.07.2008 10:00 MESZ wurde 245 m südlich vom Rammpfahl geankert. Der Hauptteil der Rammarbeiten ab 11:00 Uhr und die abschließenden Versuche mit dem Blasenschleier wurden an dieser Position gemessen. Bedingt durch die Tidenströmung variierte die Messentfernung leicht von 245 bis 270 m. Das Hydrofon befand sich 15 m unter der Wasseroberfläche. Aufgezeichnet wurden Schallsignale bis 40 kHz.

Ein zweiter Messpunkt befand sich in 910 m bei 55° 1.59' n 07° 10.30' e, wo am 30.07.2008 ein autonomes Messsystem ausgebracht wurde (Bild 4.6). Das Hydrofon befand sich hier 1,2 m über dem Meeresgrund; aufgezeichnet wurde im Frequenzbereich bis 20 kHz.

Es wurden die in Tabelle 4.4 aufgelisteten Geräte eingesetzt.



Bild 4.6: Ausbringen der Schallmessboje in 910 m Entfernung von FINO3.

Tabelle 4.4: Benutzte Geräte für die Messungen von Bord der MS Beaufort und mit der Messboje.

Gerät	Hersteller
Hydrofon 8105 (Schiff)	Brüel & Kjær
Ladungsverstärker 2635 (Schiff)	Brüel & Kjær
Recorder HD-P2 (Schiff)	Tascam
Hydrofon ITC-1001 (Messboje)	International Transducer Corp.
Recorder PMD 670 (Messboje)	Marantz
Kalibrierquelle 1 V _{rms} und 100 pC _{rms}	itap
Druckkammer zur Hydrofon-Kalibrierung	itap
Mikrofon 4189 (in Kalibrierkammer)	Brüel & Kjær

4.6.3 Messpunkt MP 5 in 15 km Entfernung

von Joachim Gabriel, Thomas Neumann (Deutsches Windenergie-Institut)

Zur Bestimmung der Messposition wurden die UTM WGS84 Daten aus der Zone 32U mittels der schiffinternen Navigationstechnik erfasst und je halbstündlich protokolliert (Tabelle 4.5).

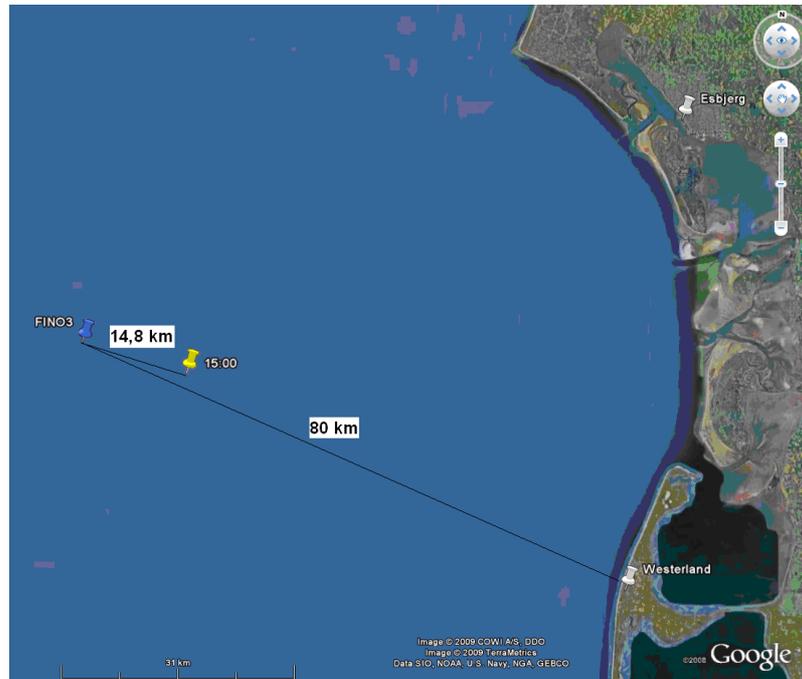


Bild 4.7: Lage des Messpunkts MP 5 - Darstellung mit Google Earth.

Dabei wurde ein Abstand von ca. 14,7 bis 15,0 km vom Mittelpunkt der FINO3 Baustelle gemessen (Bild 4.7). Bild 4.8 zeigt die Bau- und Messposition in Relation zur deutsch-dänischen Grenze und zum Naturschutzgebiet an.

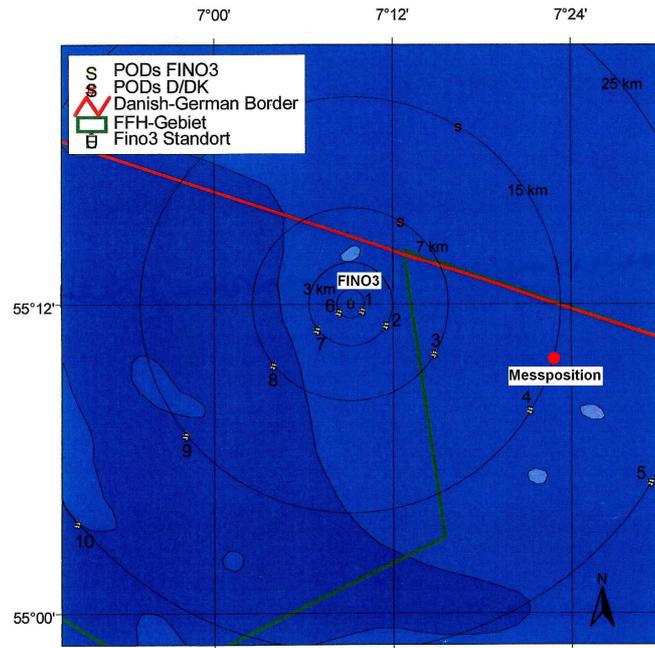


Bild 4.8: POD-Positionskarte von BioConsult.

Die folgenden Koordinaten wurden mit der Software HAMMAP Vers. 11.0b umgerechnet.

Tabelle 4.5: Liste der Positionen nach UTM WGS84

	WGS 84		WGS 84	
	Grad Sekunden		Gauß-Krüger (DL)	
	Minuten	Grad Sekunden	Länge (x)	Länge (y)
Fino3	Nord	Ost	Rechts	Hoch
	55° 11' 42.3"	7° 9' 29.1"	2 573 789	6 119 125
Schiffsposition	UTM WGS84			
05:00	55° 9' 38.8"	7° 23' 2.3"	2 588 209	6 116 3
05:30	55° 9' 38.5"	7° 23' 2.0"	2 588 203	6 115 994
06:00	55° 9' 37.7"	7° 23' 1.9"	2 588 208	6 115 969
06:30	55° 9' 37.2"	7° 23' 2.2"	2 588 208	6 115 954
07:00	55° 9' 37.1"	7° 23' 2.0"	2 588 204	6 115 951
07:30	55° 9' 37.4"	7° 23' 2.0"	2 588 204	6 115 960
08:00	55° 9' 36.5"	7° 23' 3.7"	2 588 235	6 115 933
08:30	55° 9' 36.1"	7° 23' 5.2"	2 588 262	6 115 921
09:00	55° 9' 34.8"	7° 23' 12.6"	2 588 393	6 115 883
09:30	55° 9' 34.3"	7° 23' 13.0"	2 588 401	6 115 868
10:00	55° 9' 34.5"	7° 23' 13.4"	2 588 408	6 115 874
10:30	55° 9' 34.4"	7° 23' 11.6"	2 588 376	6 115 871
11:00	55° 9' 36.1"	7° 23' 5.2"	2 588 262	6 115 921
11:30	55° 9' 36.5"	7° 23' 5.3"	2 588 263	6 115 933
12:00	55° 9' 38.2"	7° 23' 1.9"	2 588 202	6 115 985
12:30	55° 9' 38.2"	7° 23' 1.6"	2 588 197	6 115 985
13:00	55° 9' 39.1"	7° 23' 1.9"	2 588 201	6 116 12
13:30	55° 9' 40.3"	7° 23' 3.1"	2 588 222	6 116 50
14:00	55° 9' 41.0"	7° 23' 4.7"	2 588 250	6 116 72
14:30	55° 9' 41.2"	7° 23' 5.0"	2 588 255	6 116 79
15:00	55° 9' 41.2"	7° 23' 4.9"	2 588 253	6 116 78
15:30	55° 9' 40.7"	7° 23' 4.2"	2 588 241	6 116 63
16:20	55° 9' 40.7"	7° 23' 3.7"	2 588 232	6 116 63
16:50	55° 9' 40.1"	7° 23' 3.0"	2 588 220	6 116 44

Tabelle 4.6: Relevante Messereignisse am 31.07.2008.

Zeit	Aktion
14:45 h bis 15:21 h	Relevante Messung der Rammgeräusche
ca. 15:25 h	Reduktion der Rammenergie auf 20 %
ca. 15:29 h	Reduktion der Druckluftmenge auf 50 %
ca. 15:32 h	Abstellen der Druckluft

Während der Rammung befand sich das Schiff in ost-süd-östlicher Richtung in einer Entfernung von 14,8 km von der Baustelle.

Die Messsensoren wurden auf der Backbord-Seite des Schiffes ausgehängt. Wie man in Bild 4.9 sehen kann, gibt es während der Hauptmesszeit kaum eine Änderung der Schiffsausrichtung zu der FINO3- Baustelle.

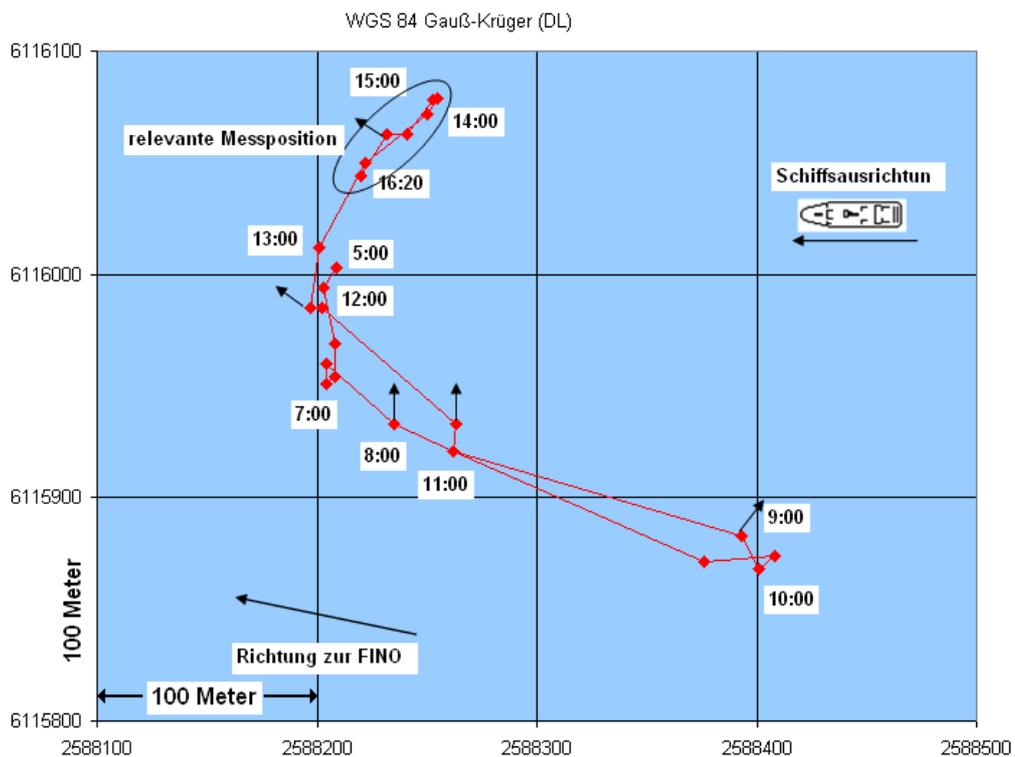


Bild 4.9: Schiffsbewegung und -orientierung während der Messung.



Bild 4.10: Hydrofon, angeschlossen am linken Kanal.

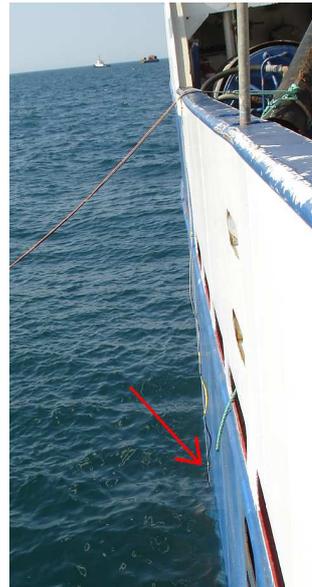


Bild 4.11: Hydrofon, angeschlossen am rechten Kanal.

Messaufbau

Dazu wurde zunächst eine Meerestiefe von 23 m ausgelotet. Der rechte Kanal wurde in einer Tiefe von 15 Metern platziert, der linke in einer Tiefe von 18 Metern. Auf beiden Messhöhen hat man mit Hydrofonen des Typs 8105 [1] gemessen. Eine genaue Anschlussliste ist in Tabelle 4.7 zusammengestellt.

Tabelle 4.7: Anschlussliste.

	Messposition 1	Messposition 2
Hydrofon-Typ	8105 [1]	8105 [1]
Hausinterne Nummer	DEWI Nr. 3	DEWI Nr. 1
Befestigung	Kranausleger	Bordwand-Befestigung
Kabellänge	30 Meter	26 Meter
Tiefe	18 Meter	15 Meter
Schiffseite	Backbord	Backbord
Verstärker	Nexus [2]	Nexus [2]
Kanal	1	2
Einstellung	1 mV/Pa	1 mV/Pa
Flash-Karten-Recorder	Fostex [3]	Fostex [3]
Kanal	links	rechts

Die folgende Tabelle listet die verwendeten Geräte auf.

Tabelle 4.8: Für die Messungen am Messpunkt MP 5 verwendete Geräte.

Gerät	Hersteller
1 Hydrofon	Bruel & Kjaer 8105
2 Ladungsverstärker	Bruel&Kjaer NEXUS 2692
3 Rekorder	Fostex FR-2
4 Schallpegelmesser	Bruel & Kjaer 2236
5 Frequenzfilter	Stanford Research System SR650
6 Frequenzanalysator	Bruel & Kjaer 2143
Hydrofonkalibrator	Bruel & Kjaer 4229
Entfernungsmessung/Positionsbestimmung	LEM 300-Geo Schiffsinternes GPS-System

Immissionssituation und Messdatenauswertung

In 15 km Entfernung waren im abgehörten Hydrofonsignal während der gesamten Rammzeit die Hammergeräusche deutlich wahrnehmbar. Das aufgezeichnete Hydroschallsignal ist ansonsten von tieffrequenten Maschinen- und anderen vom Schiff abgestrahlten Geräuschen geprägt.

Im Gegensatz zu der deutlichen Wahrnehmbarkeit (durch das menschliche Ohr) werden im Zeitverlauf der äquivalenten Dauerschalldruckpegel die Rammgeräusche im Wesentlichen von den Fremdgeräuschen verdeckt. Um Aussagen zur Wirksamkeit des Blasenschleiers zu erhalten, wurde daher für die nachfolgend dokumentierte Auswertung ein Hochpassfilter verwendet. Dargestellt ist die Auswertung für den Messkanal 2 (rechter Kanal des Datenrekorders).

Die im folgenden Bild gezeigte Pegelbewertung erfolgte mit einem Schallpegelmesser |4| (Tabelle 4.8). Die Auswertung erfolgte hier im 1-Sekunden Takt.

Tieffrequente Fremdgeräusche im Frequenzbereich bis 60 Hz wurden bei der Auswertung durch Filterung |5| (Tabelle 4.8) unterdrückt. Die untere Grenzfrequenz des Hochpassfilters von 60 Hz wurde gewählt, um dominante Fremdsignalanteile bei hinreichend großem (Frequenz-) Abstand zum Maximum des Spektrums des Rammgeräusches (bei ca. 200 Hz) zu eliminieren.

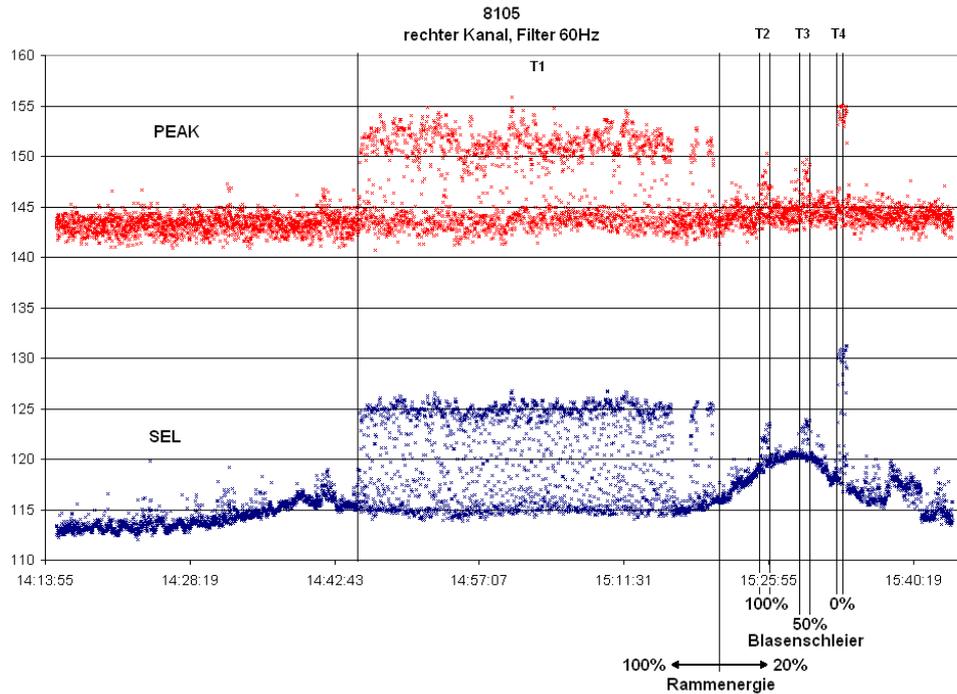


Bild 4.12: Auswertung des rechten Kanals (Messposition 2 in Tabelle 4.7).

Spektralanalyse

Das gemessene Signal wurde zur Frequenzanalyse mit einem Spektralanalysator [6] ausgewertet (Bild 4.13). Bei 50 Hz ist eine Pegelspitze zu erkennen, die, wie im Bild 4.14 gezeigt, als Störsignal identifiziert werden kann. Der Ursprung des Störsignals liegt vermutlich beim Schiffs-Stromgenerator, der ohne Unterbrechung lief. Der Hauptfrequenzanteil des Rammgeräusches auf 15 km befindet sich zwischen 80 und 500 Hz.

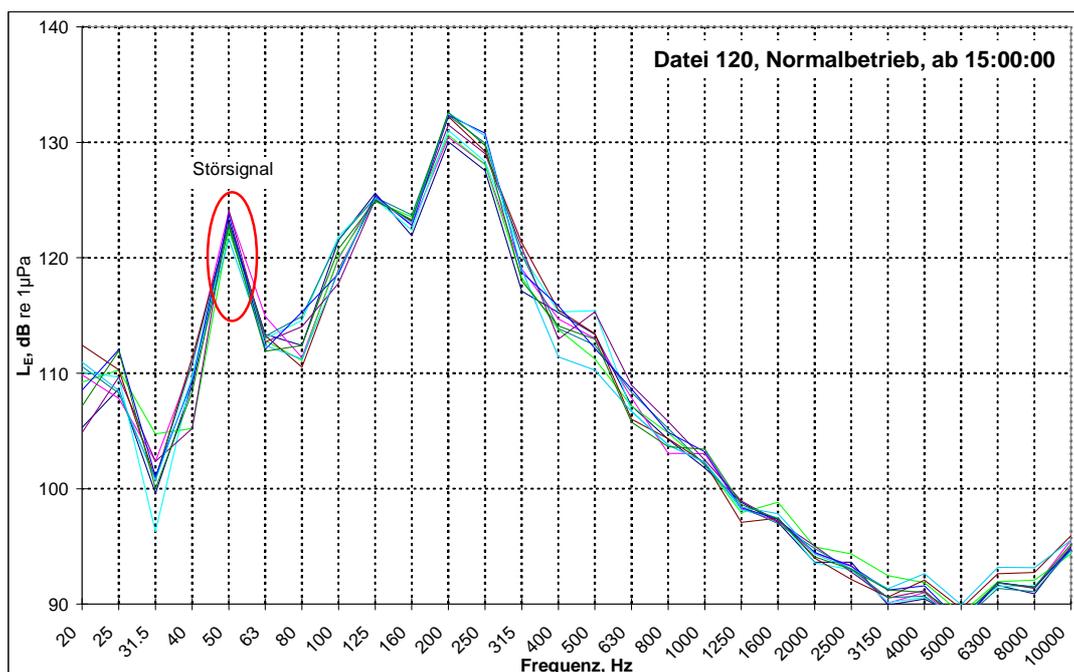


Bild 4.13: Spektralanalyse von zehn Rammimpulsen, beginnend ab 15:00 h.

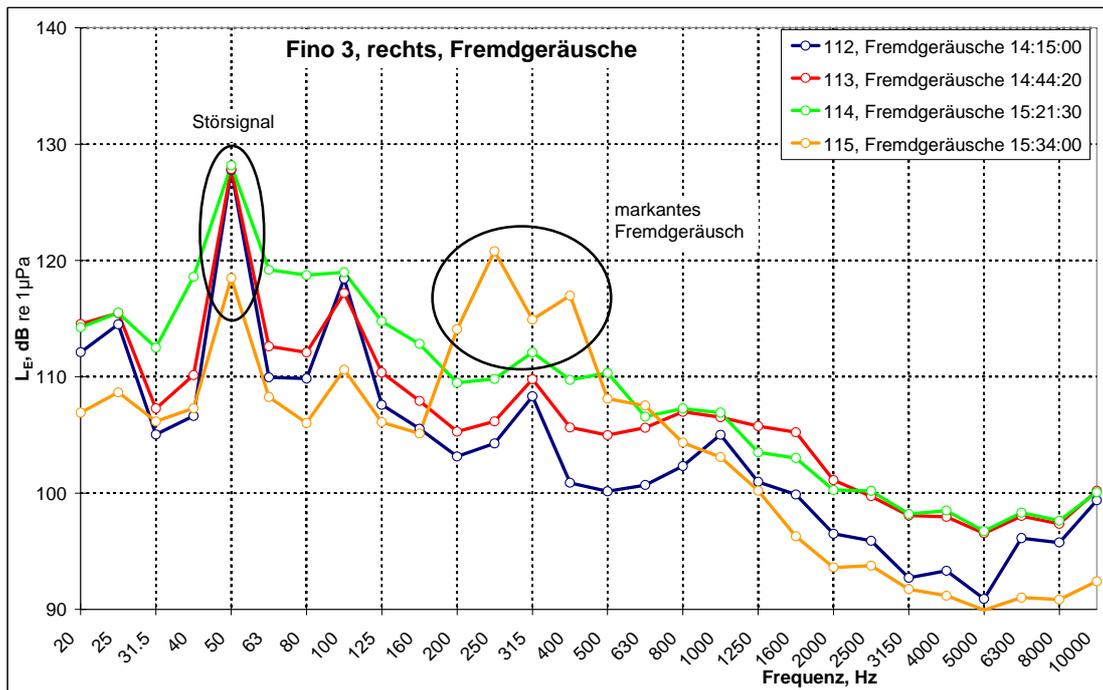


Bild 4.14: Fremdgeräusch - Mittelwert von je zehn Rammimpulsen zu verschiedenen Zeitpunkten.

4.7 Ergebnisse

von Tanja Griebmann, Jörg Rustemeier (Institut für Statik und Dynamik)

und Joachim Gabriel, Thomas Neumann (Deutsches Windenergie-Institut)

4.7.1 Schalldruckmessungen

Die Ergebnisse der Schalldruckmessungen (Verlauf der Schalldruckamplitude p in Abhängigkeit der Zeit t) für die auf 20 % reduzierte Rammenergie sind auf der folgenden Seite (Bild 4.15 bis Bild 4.17) für die Messpunkte in 245 m, 910 m und 15 km Entfernung dargestellt. In den Entfernungen 245 m und 15 km wurden die Messungen vom Schiff aus vorgenommen, in der Entfernung 910 m mit Hilfe einer autonomen Messboje. Die Rammschläge erfolgten in einem zeitlichen Abstand von ca. 2 bis 3 Sekunden. Die Wirkung des Blasenschleiers ist an der Reduktion der maximalen Schalldruckamplitude um rund 70 % in den Messpunkten MP 2 und MP 3 deutlich zu erkennen. Am Messpunkt MP 5 dagegen sind die Rammschläge bei laufendem Blasenschleier aus dem Zeitschrieb aufgrund der starken Minderung in dieser Entfernung und wegen der Größe der Hintergrundgeräusche nicht mehr herauszulesen.

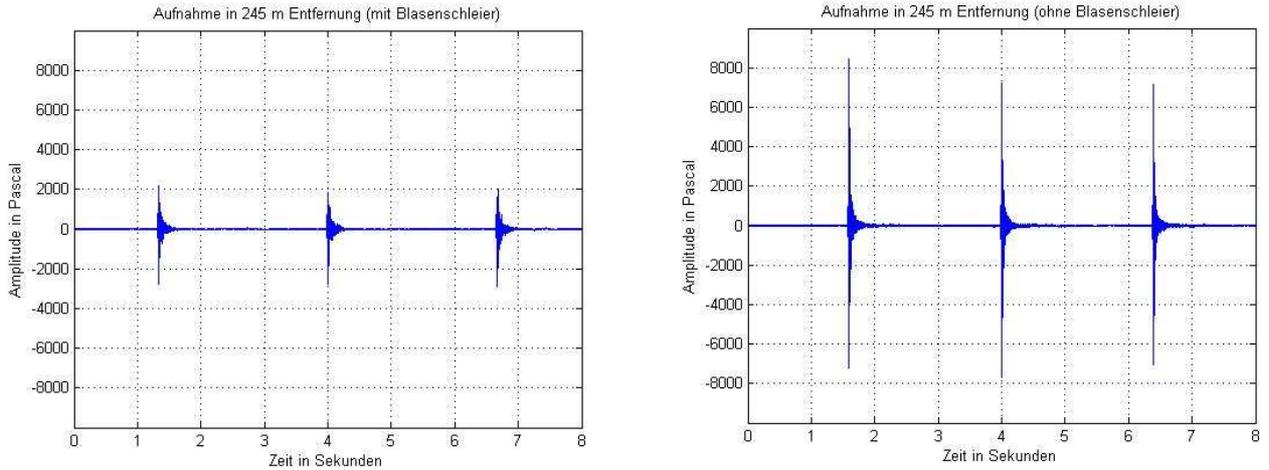


Bild 4.15: Gemessener Zeitverlauf des Schalldrucks am Messpunkt MP 2, links: Blasenschleier eingeschaltet, rechts: Blasenschleier ausgeschaltet. Rammenergie: ca. 160 kNm. Aufnahme der Messdaten: itap.

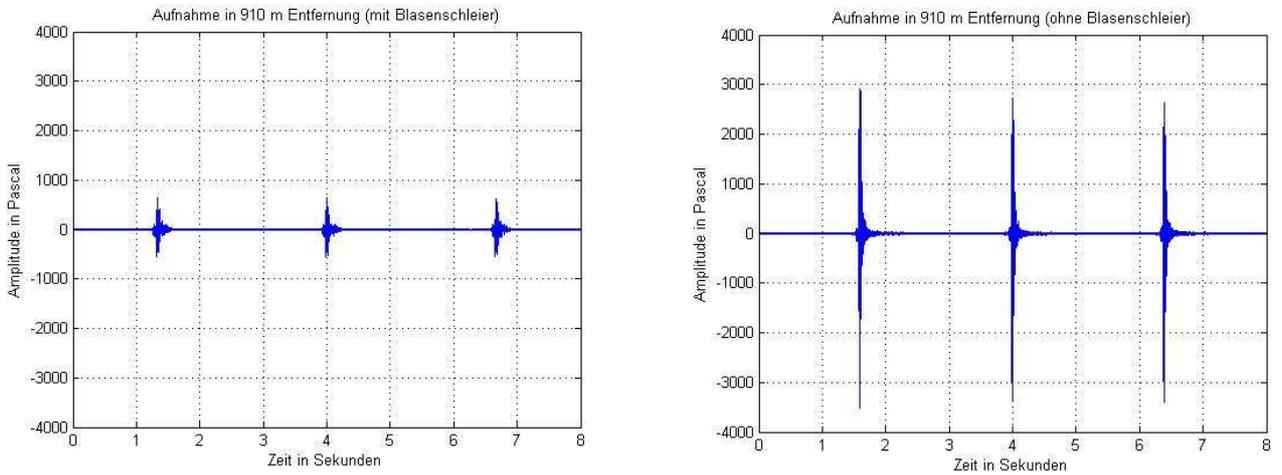


Bild 4.16: Gemessener Zeitverlauf des Schalldrucks am Messpunkt MP 3, links: Blasenschleier eingeschaltet, rechts: Blasenschleier ausgeschaltet. Rammenergie: ca. 160 kNm. Aufnahme der Messdaten: itap.

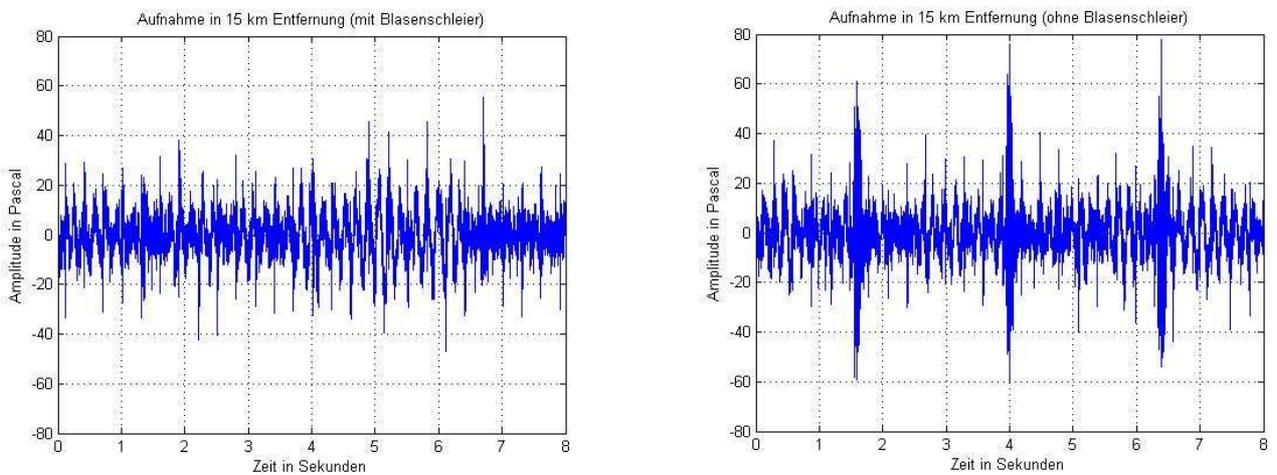


Bild 4.17: Gemessener Zeitverlauf des Schalldrucks am Messpunkt MP 5, links: Blasenschleier eingeschaltet, rechts: Blasenschleier ausgeschaltet. Rammenergie: ca. 160 kNm. Aufnahme der Messdaten: DEWI.

4.7.2 Spitzenpegel L_{peak} und Einzelereignispegel L_E

Auf Basis des gemessenen Schalldrucks werden mit den Gleichungen (4.2) und (4.5) die für die Beschreibung der Schallereignisse relevanten Pegelgrößen L_{peak} und L_E bestimmt. Dabei stellt der L_E (oder auch „SEL“) einen über die Dauer $T_0 = 1$ s gemittelten Pegelwert dar, der L_{peak} dagegen ist keine gemittelte Größe. Für die sich anschließende Mittelwertbildung werden alle Rammschläge einer Rammschlaggruppe (mit Ausnahme des jeweils ersten und letzten Schläges jeder Gruppe) herangezogen. Die Anzahl der Schläge beträgt in den fünf Rammschlaggruppen (Bild 4.18) zwischen 16 und 22. Die Anzahl der ausgewerteten Schläge beträgt somit 14 bis 20.

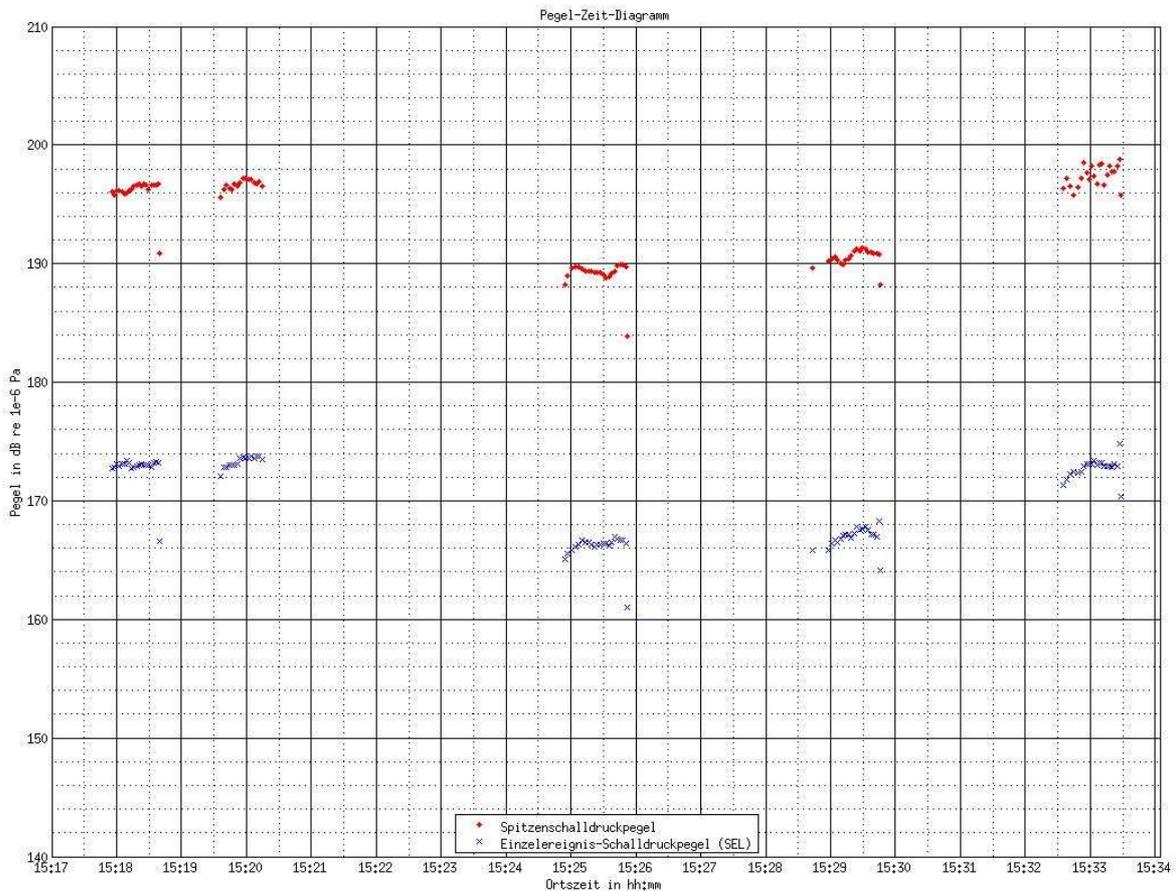


Bild 4.18: Pegel-Zeit-Diagramm für den Zeitraum 15:17 h bis 15:34 h. Rote Punkte: Pegelwerte für den L_{peak} . Blaue Punkte: Pegelwerte für den SEL. Jeder Punkt steht für einen einzelnen Rammschlag. Jede Häufung von Punkten steht für eine Rammschlaggruppe. Dargestellt sind fünf Rammschlaggruppen: Erste und zweite Gruppe von links bei Rammenergie 100 %; mittlere Gruppe bei Rammenergie 20 % und 100 % Druckluft. Zweite Gruppe von rechts: Rammenergie 20 % und 50 % Druckluft. Gruppe ganz rechts: Rammenergie 20 % und Druckluft 0 %.

In Bild 4.19 und Bild 4.20 sind die Ergebnisse für den Spitzenpegel und den breitbandigen SEL der fünf Rammschallgruppen dargestellt. Besonders zu beachten sind die Ergebnisse in der Entfernung von 910 m, weil hier ein ungefährer Vergleich zu den Richtwerten (Tabelle 4.3) gezogen werden kann.

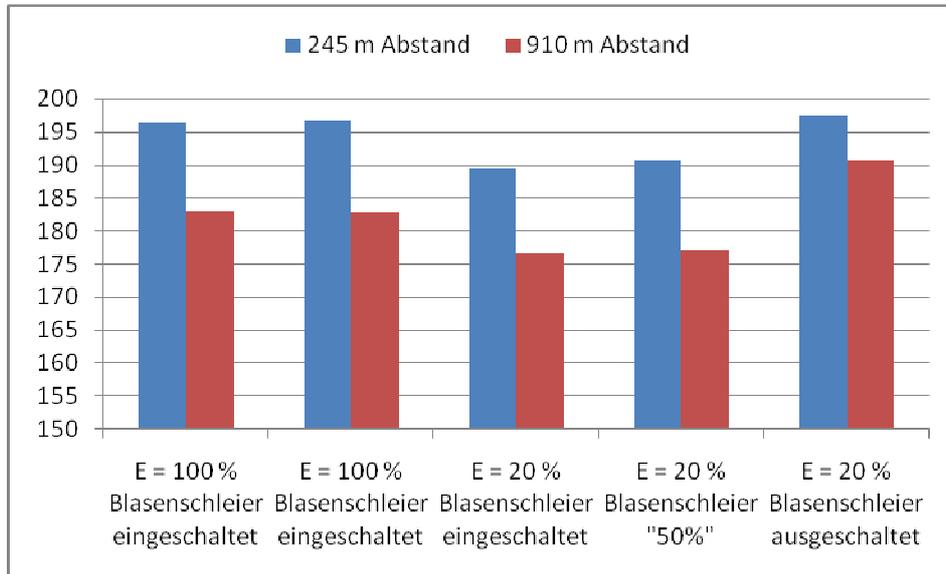


Bild 4.19: Ergebnisse für den Spitzenpegel L_{peak} in Abhängigkeit der Rammenergie und der Druckluftmenge. Rammenergie: ca. 160 kNm. Linke Säulengruppe: Auswertung von 20 Rammschlägen, zweite Säulengruppe von links: Auswertung von 14 Rammschlägen. Übrige Säulengruppen: Auswertung von 20 Rammschlägen. Aufnahme der Messdaten: itap.

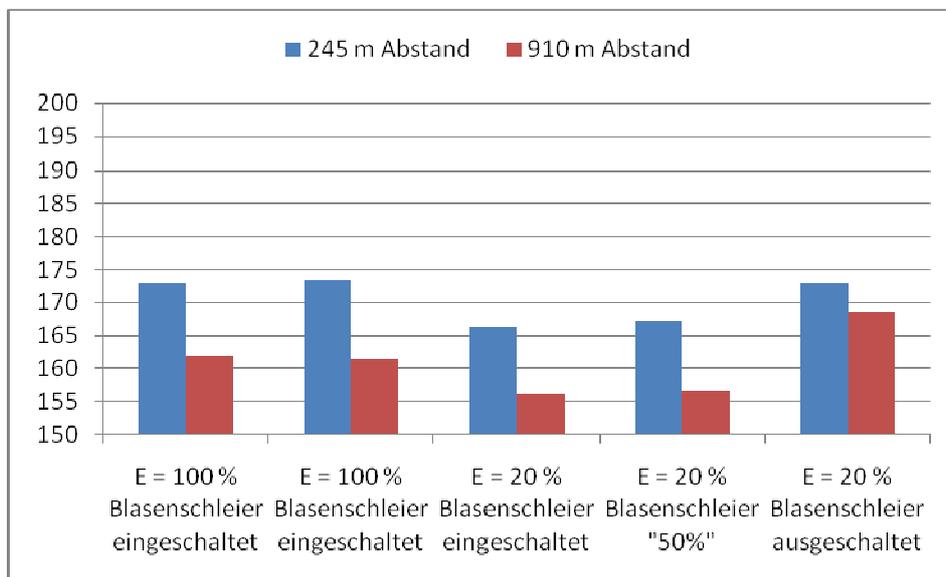


Bild 4.20: Ergebnisse für den SEL in Abhängigkeit der Rammenergie und der Druckluftmenge. Rammenergie: ca. 160 kNm. Linke Säulengruppe: Auswertung von 20 Rammschlägen, zweite Säulengruppe von links: Auswertung von 14 Rammschlägen. Übrige Säulengruppen: Auswertung von 20 Rammschlägen. Aufnahme der Messdaten: itap.

Tabelle 4.9: Darstellung der ausgewerteten Schalldruckpegel – Ergebnisse FINO3.

Status des Blasenschleiers	Entfernung zum Emissionsort m	L_{peak} dB re 1 μ Pa	L_E dB re 1 μ Pa	Rammenergie E kJNm
ein	245	197	174	800
	910	184	162	
	15.000	152	125	
ein	245	190	167	160
	910	178	157	
	15.000	147	122	
50%	245	191	168	160
	910	179	157	
	15.000	148	123	
aus	245	199	173	160
	910	192	169	
	15.000	155	130	

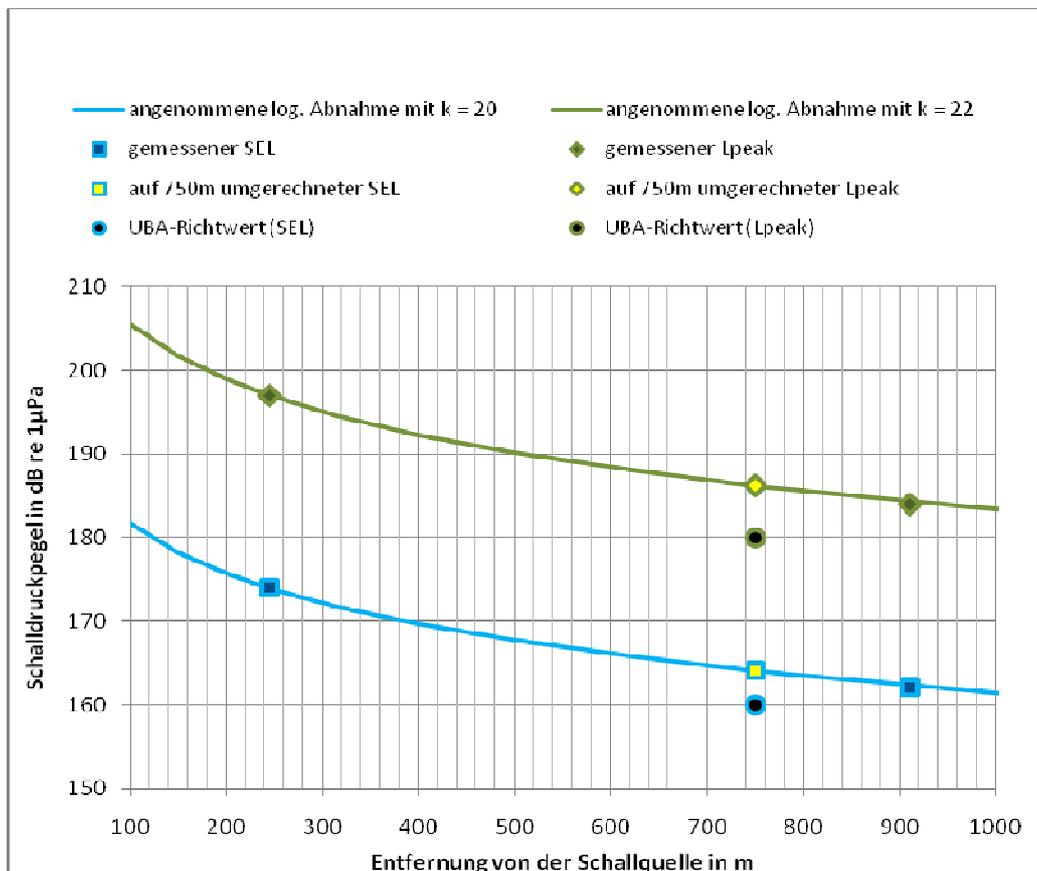


Bild 4.21: Gemessene Abnahme von SEL und L_{peak} bei voller Rammenergie in Abhängigkeit der Entfernung sowie Vergleich mit den UBA-Richtwerten aus 2009.

Bei voller Rammenergie wird der geforderte Richtwert für den SEL in 750 m Entfernung noch überschritten. Aus den Messwerten lassen sich hier Pegelwerte von 164 dB re 1 μ Pa für den SEL und 186 dB re 1 μ Pa für den L_{peak} interpolieren, wie Bild 4.21 zeigt.

Vergleicht man die für die reduzierte Rammenergie ausgewerteten Pegel für den SEL der Zustände „Blasenschleier eingeschaltet“ und „Blasenschleier ausgeschaltet“ in Tabelle 4.9, so lassen sich folgende Ergebnisse ablesen:

- Entfernung 245 m: Reduktion von 6 dB
- Entfernung 910 m: Reduktion von 12 dB
- Entfernung 15 km: Reduktion 8 dB

Beim Spitzenpegel ergeben sich die folgenden Minderungen:

- Entfernung 245 m: Reduktion von 9 dB
- Entfernung 910 m: Reduktion von 14 dB
- Entfernung 15 km: Reduktion 8 dB

Es zeigt sich eine besonders gute Wirkung des Blasenschleiers in der Entfernung 910 m. Weshalb die breitbandige Wirkung in den Entfernungen 245 m und 15 km ebenfalls beachtlich, aber deutlich geringer ausgefallen ist, kann derzeit noch nicht erklärt werden.

Besonders interessant ist auch das Ergebnis, dass eine Reduktion der Druckluftmenge auf die Hälfte in Versuchsschritt 3 zu keiner wesentlichen Erhöhung der Hydroschallpegel geführt hat – weder beim SEL noch beim L_{peak} (siehe Tabelle 4.9 - Ergebnisse für „Status des Blasenschleiers 50 %“).

Für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ist dieses Ergebnis von großer Bedeutung, da das Bereitstellen von Kompressoren im Fall von FINO3 einen großen logistischen und finanziellen Aufwand bedeutet hat und hier offensichtlich ein deutliches Optimierungspotenzial besteht.

4.7.3 Frequenzabhängige Wirkung des Blasenschleiers

Neben der Ermittlung der breitbandigen Wirkung, die einen Vergleich mit Richtwerten etc. erlaubt, ist aus Sicht der Forschung auch die Frage interessant, wie die Schallpegelreduktion von der Frequenz abhängt. Gerade hier lässt sich vermutlich das Optimierungspotenzial des Konzepts Blasenschleier ablesen und erkennen, inwiefern die mittlere Blasengröße verändert werden muss, um die schallreduzierende Wirkung noch weiter zu verbessern.

Um eine frequenzabhängige Darstellung der gemessenen Schallpegel zu erhalten, wurde jeweils der Mittelwert über 20 Rammschläge ausgewertet. Die Auswertung von DEWI am Messpunkt MP 5 berücksichtigt 10 Rammschläge. Der Unterschied von 10 zu 20 ausgewerteten Rammschlägen hat einen Einfluss auf die Mittelwertbildung < 1 dB.

Die folgenden Bilder zeigen die Ergebnisse der 1/3 – Oktavanalyse. Die einzelnen Werte für den SEL sind jeweils aufgetragen bei der Mittenfrequenz.

In Bild 4.22 und Bild 4.23 ist sehr deutlich die stark frequenzabhängige Wirkung des eingesetzten Blasenschleiers zu erkennen. Für die Entfernung 245 m zeigt das Konzept bis zu Frequenzen von rund 100 Hz eine vernachlässigbare bis geringe Wirkung (Entfernung 910

m: bis ca. 40 Hz). Die Wirkung ist dagegen maximal im Frequenzbereich zwischen ca. 2 und 6 kHz – sowohl bei 245 als auch bei 910 m Entfernung.

Zur besseren Übersicht zeigt Bild 4.24 den frequenzabhängigen Verlauf des Differenzpegels. Im Frequenzbereich zwischen 2 und 6 kHz (bei 245 m) bzw. 1,5 bis 2,5 kHz (bei 910 m) sind offensichtlich Schallpegelminderungen bis zu 35 dB aufgetreten. Unter der Voraussetzung, dass die starke Minderung wesentlich auf Resonanzschwingungen der Blasen zurückzuführen ist, gibt dies einen Hinweis auf die mittlere Blasengröße, die vorherrschend war (s. auch Kap. 4.3).

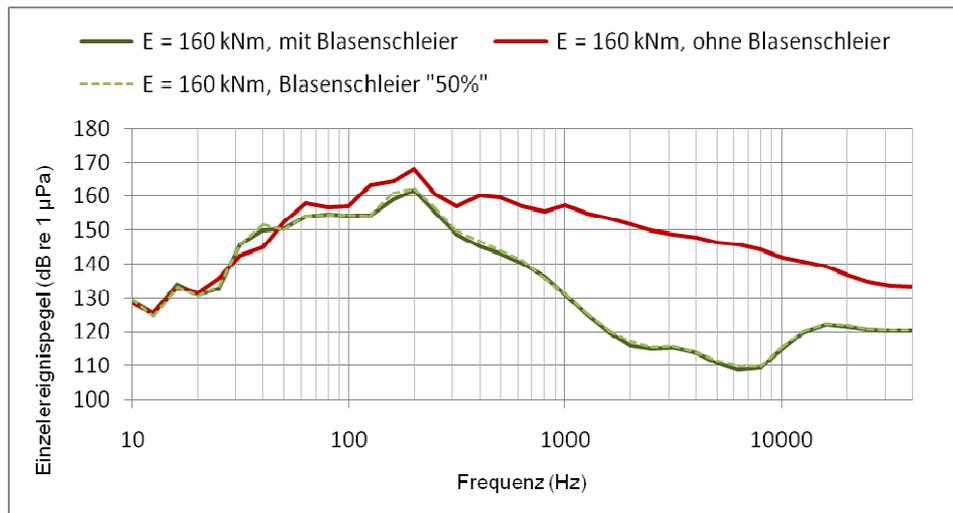


Bild 4.22: Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 245 m Entfernung bei reduzierter Rammenergie. Aufnahme der Messdaten: itap.

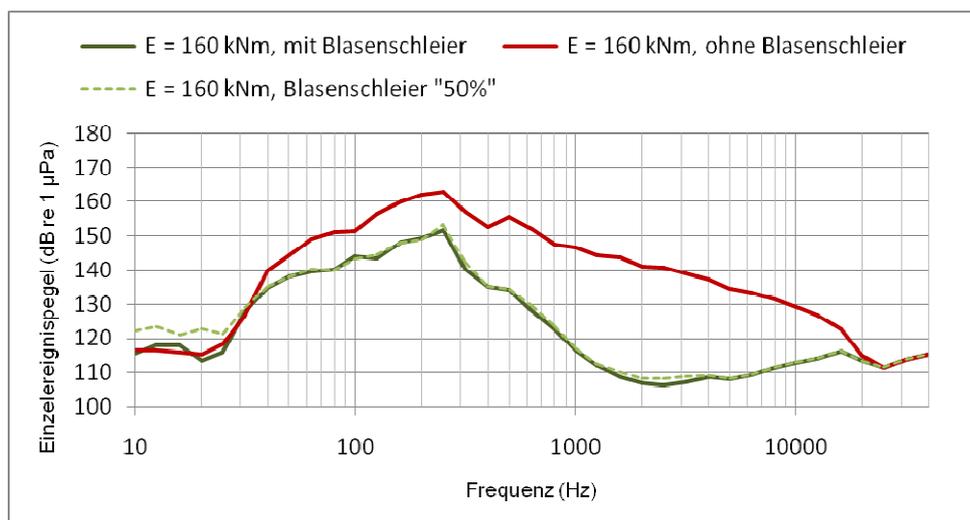


Bild 4.23: Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 910 m Entfernung bei reduzierter Rammenergie. Aufnahme der Messdaten: itap.

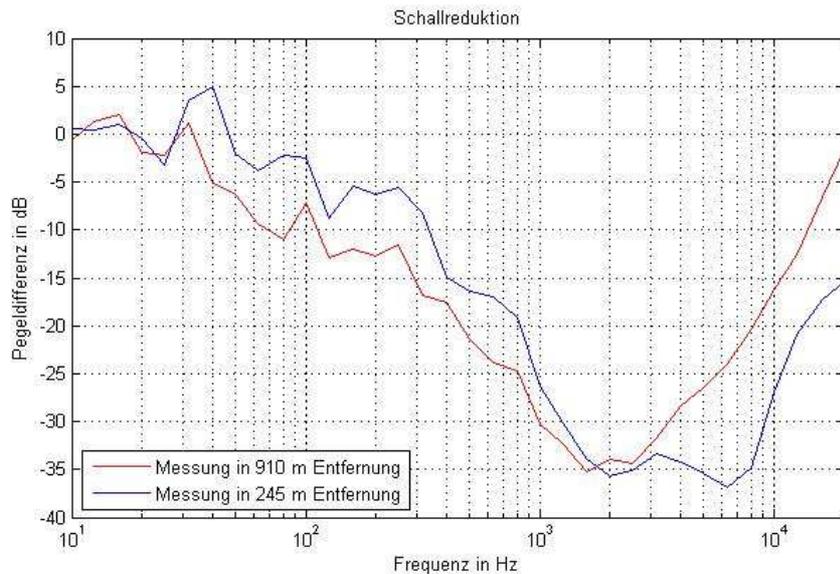


Bild 4.24: Pegeldifferenzen (Vergleich Blasenschleier an/aus), aus den Differenzen der jeweils roten und grünen Kurven von Bild 4.22 und Bild 4.23 ermittelt.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist, dass eine deutliche Reduktion der Druckluftmenge den SEL nicht nur in seiner breitbandigen Wirkung, sondern auch über das gesamte Spektrum kaum beeinflusst, wie in Bild 4.22 und Bild 4.23 (Vergleich der grün gekennzeichneten Kurven) deutlich zu sehen ist. Dies bedeutet, dass die vorherrschende mittlere Blasengröße (auch hier wieder Resonanzschwingungen der Blasen als die wesentliche Minderungsursache vorausgesetzt) keinen Einfluss auf die frequenzabhängige Wirksamkeit hat, wenn man mit dem Kurvenverlauf bei voller Druckluftmenge vergleicht.

Dieses Ergebnis ist bedeutsam für das weitere Vorgehen zur Verbesserung der physikalischen Wirksamkeit bei gleichzeitiger Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Sollten sich die hier erzielten Ergebnisse in zukünftigen praktischen Erprobungen bestätigen, kann die Optimierung der physikalischen Wirkung durch Verschieben der mittleren Blasengröße möglicherweise unabhängig von der Optimierung der Druckluftmenge erfolgen.

Am Messpunkt MP 5 in der Entfernung 15 km ist ebenfalls die deutliche Schallminderung durch den Blasenschleier in der Spektralanalyse (Bild 4.25) zu sehen.

Auch hier zeigt sich, dass eine Reduktion der Druckluftmenge auf 50 % den frequenzabhängigen SEL kaum beeinflusst (Vergleich der blauen und der grünen Kurve in Bild 4.26).

Ein wesentlicher Unterschied zu den Spektren der Messpunkte in 245 und 910 m Entfernung ist aber, dass der Differenzpegel (Vergleich zwischen an- und ausgeschaltetem Blasenschleier bei reduzierter Rammenergie) längst nicht so frequenzabhängig ist, wie in den Auswertungen der kürzeren Entfernungen. Dieses Ergebnis kann derzeit noch nicht erklärt werden.

Für die Beurteilung des Konzepts ist eine gute Minderungswirkung in mittlerer und großer Entfernung von besonderem Interesse, weil hier das Potenzial besteht die betroffenen Störflächen deutlich zu reduzieren.

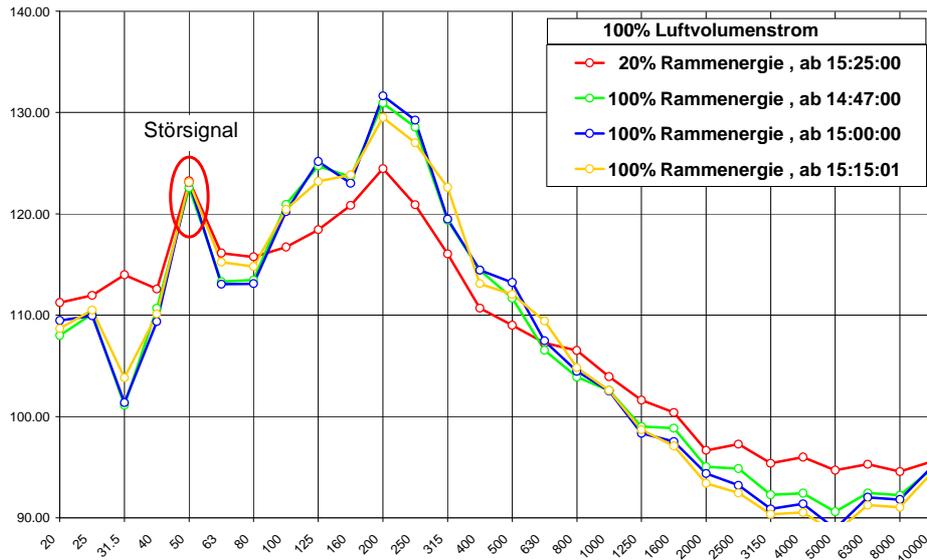


Bild 4.25: Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 15 km Entfernung bei reduzierter und voller Rammenergie, Druckluftmenge 100%. Aufnahme der Messdaten: DEWI. Die x-Achse gibt die Frequenz in Hz an.

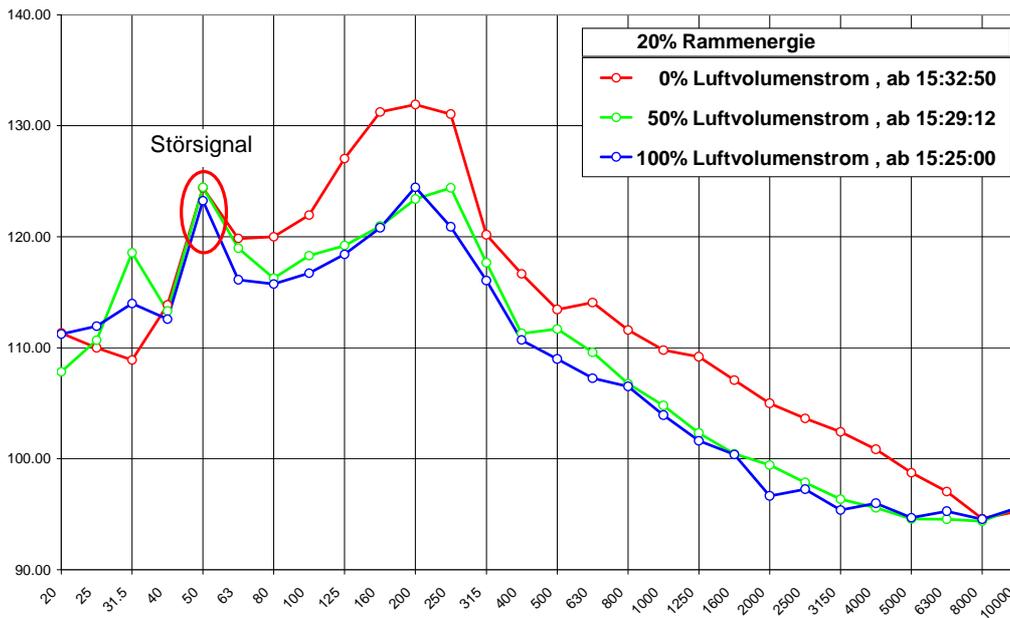


Bild 4.26: Ergebnisse für den SEL (1/3-Oktavspektrum) in 15 km Entfernung bei reduzierter Rammenergie, Druckluftmenge 0, 50 und 100%. Aufnahme der Messdaten: DEWI. Die x-Achse gibt die Frequenz in Hz an.

4.8 Vergleich mit Literaturdaten und mit Richtwerten

von Klaus Betke (*Institut für technische und angewandte Physik*)

4.8.1 Vergleich mit Literaturdaten

Zwar wurden Blasenschleier zur Minderung von Unterwasser-Rammgeräuschen bereits häufiger eingesetzt. Angaben darüber finden sich aber überwiegend in "grauer Literatur" und Messberichten von sehr unterschiedlicher Qualität. In Tabelle 4.10 wurde der Versuch einer Gegenüberstellung verschiedener Projekte und der wichtigsten Parameter gemacht. Die angegebenen Luftmengen wurden der besseren Vergleichbarkeit wegen auf einen Volumenstrom je Meter Breite des Blasenschleiers umgerechnet. Man erkennt, dass der Blasenschleier bei FINO3 gemessen am Luftverbrauch vergleichsweise wirkungsvoll war.

Soweit verfügbar ist in Bild 4.27 die frequenzabhängige Schalldämmung einiger Blasenschleier abgebildet. Aus dieser Darstellung lassen sich auch ungefähre Angaben über die Verteilung der Blasengröße ableiten. Der Blasenschleier bei FINO3 z. B. hatte seine beste Wirkung im Frequenzbereich 1,5 bis 4 kHz, was darauf hindeutet, dass ein großer Teil der Blasen einen Durchmesser zwischen 1,5 und 5 mm hatte. Auffällig ist beim Blasenschleier von Rodkin & Reyff (2007) die erhebliche Schalldämmung bei tiefen Frequenzen, die auch der Grund für die starke Minderung des Summenpegels in Tabelle 4.10 ist. Dies deutet auf sehr große Blasen von mehreren Zentimetern hin (siehe Kap. 4.3). Wenn solche Blasen in ausreichender Menge erzeugt werden können, bedeutet dies weiter, dass beispielsweise das bei FINO3 verwendete Design noch einiges Optimierungspotenzial bietet, z. B. durch Verschieben bzw. Ausdehnen der optimalen Schalldämmung zu tieferen Frequenzen (< 1 kHz).

Tabelle 4.10: Verschiedene Blasenschleier im Vergleich mit FINO3.

Konstruktion	Durchmesser m	Luftversorgung Blasenschleier m ³ /minute je m	Wasser- tiefe m	Breitbandige Reduzierung von Rammschall dB	Autoren
1 Ring	50	0.25	6 bis 8	3 bis 5	Würsig et al. 2000
1 Ring	ca. 4	3.6	7 bis 9	0 bis 2	Illingsworth 2001
1 Ring, Blasen in Textilhülle				5 bis 10	
2 Ringe, vertikaler Abstand 5 m	ca. 6	14	7 bis 9	3 bis 10 (L _{eq}) 9 bis 17 (L _{peak})	Reyff 2003
2 konzentrische Ringe mit 0,1 m Abstand	3	0,05	7	Nicht angegeben. ≥18 dB bei ≥10 kHz	Vagle 2003
3 Ringe, vertikaler Abstand 3 m	1,7	5,6	Unbekannt (>12)	5	Petrie 2005
5 Ringe vertikal ge- stockt	Unbekannt. Pfaß = 2,4 m	Unbekannt	Unbekannt	25 bis 30	Rodkin & Reyff 2007
1 Ring	140	0,2 bis 0,4	23	7 bis 12	(FINO3)

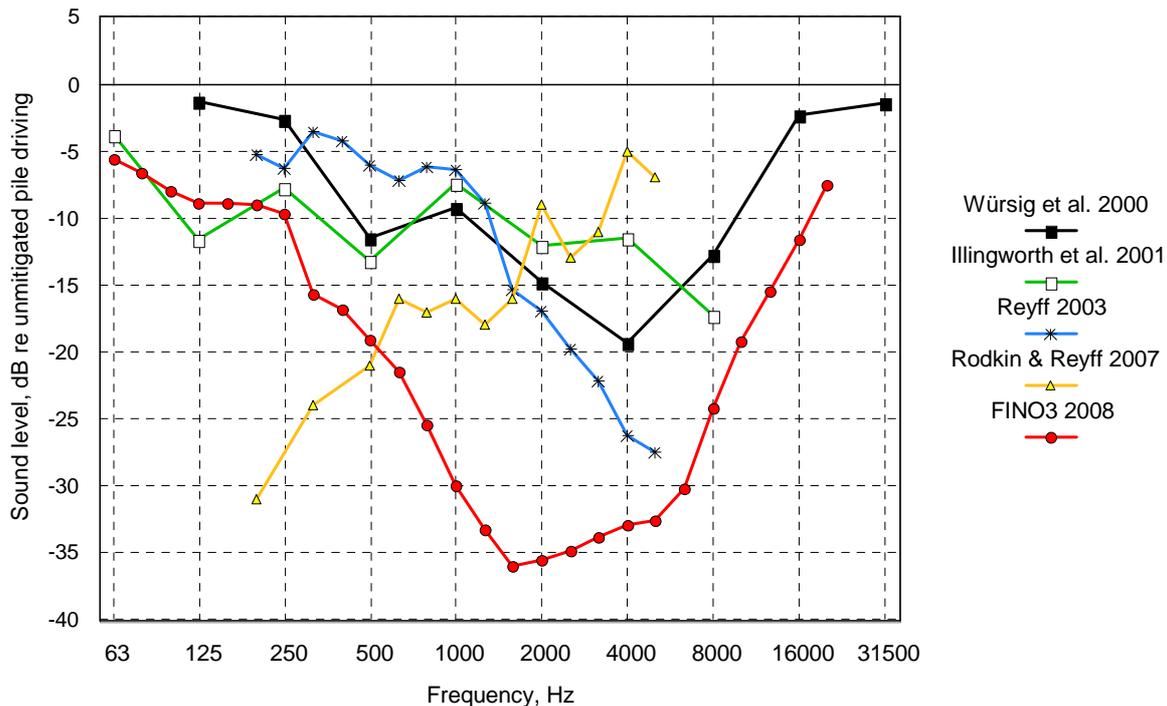


Bild 4.27: Frequenzabhängige Wirkung verschiedener Blasenschleier. Die 0-dB-Linie gibt den Pegel bei abgeschaltetem Blasenschleier an. Für FINO3 wurden die Medianwerte aus den Messungen bei 245 m und bei 910 m Entfernung von der Ramme eingezeichnet.

4.8.2 Vergleich mit dem UBA-Vorsorgewert

Vom Umweltbundesamt wurde als sogenannter Vorsorgewert ein Einzelereignispegel von 160 dB re 1µPa vorgeschlagen, der in einer Entfernung von 750 m und mehr vom zu rammenen Pfahl nicht überschritten werden sollte. Wenngleich im einzelnen nicht klar ist, wie dieser Wert zustande gekommen ist, wird vom BSH in neueren Baugenehmigungen für Offshore-Windparks die Einhaltung inzwischen verbindlich gefordert.

In Bild 4.28 sind bei Offshore-Rammarbeiten gemessene Einzelereignispegel über dem Durchmesser des Rammpfahls aufgetragen. Die Messdaten wurden auf eine Entfernung von 750 m normiert gemäß $L_{\text{norm}} = L_{\text{gemessen}} + 15 \log(R/750 \text{ m})$, dabei ist R die Messentfernung. Die Korrektur mit dem einfachen 15-log-Gesetz ist hier vertretbar, da die Entfernungen zwischen 250 m und 850 m relativ nahe bei der Normentfernung liegen.

Abgesehen von sehr kleinen Pfählen, die bei Baumaßnahmen im Zusammenhang mit Offshore-Windenergie keine Rolle spielen, wird der Wert von 160 dB re 1µPa stets überschritten. Der Pegel der Rammarbeiten bei FINO3 mit Blasenschleier liegt zwar ebenfalls noch über 160 dB re 1µPa, jedoch 7 bis 10 dB unter dem bei diesem Pfahldurchmesser zu erwartenden Wert.

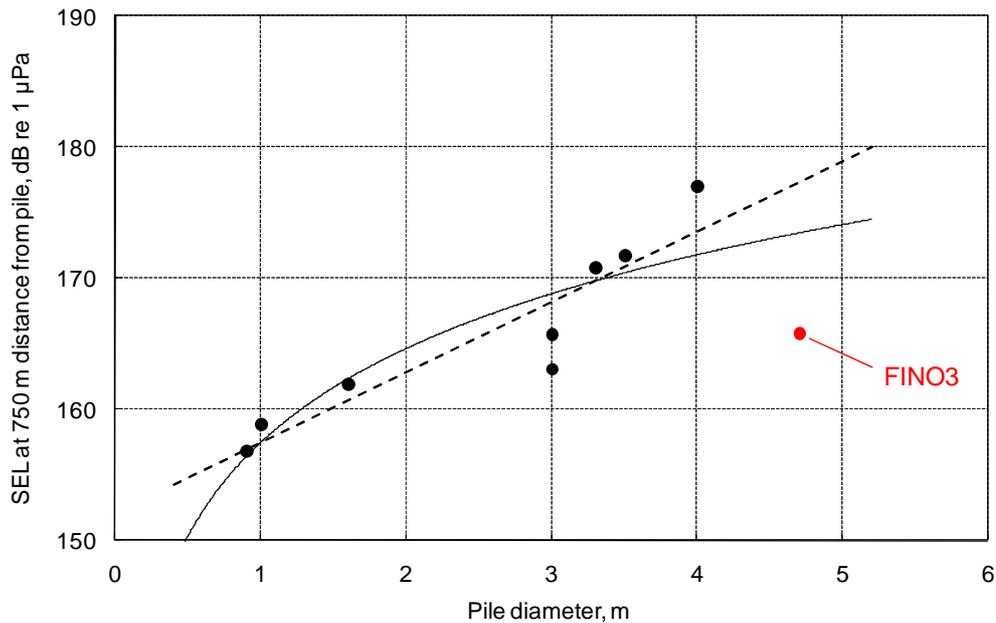


Bild 4.28: Bei verschiedenen Offshore-Rammarbeiten gemessene und auf 750 m Entfernung normierte Einzelereignispegel mit linearer (gestrichelt) und logarithmischer Näherungskurve. Der Ursprung der Daten ist in Tabelle 4.11 aufgeführt.

Tabelle 4.11: Ursprung der Daten in Bild 4.28.

Pfahl ø (m)	Wassertiefe (m)	Messentfernung (m)	Projekt	Quelle
0.9	11	340	Hafenbau, 2005	ISD/DEWI/ITAP 2007
1	11	340	Hafenbau, 2005	ITAP, unveröffentlicht
1.6	29	400	FINO 1, 2003	CRI/DEWI/ITAP 2004
3	10	720	Utgrunden, 2000	McKenzie Maxon 2000
3	21	260	SKY 2000, 2002	CRI/DEWI/ITAP 2004
3.3	24	530	FINO 2, 2006	ISD/DEWI/ITAP 2007
3.5	23	850	Amrumbank West, 2005	ISD/DEWI/ITAP 2007
4	20	750	Q7, 2007	De Jong & Ainslie 2008
4.7	23	245	FINO3, 2008	

4.8.3 M-gewichtete, kumulative Schallpegel

Für die Beurteilung der Gefährdung der marinen Fauna sind Einzah-Pegelwerte zur Charakterisierung des Schalls wünschenswert. Der UBA-Vorsorgewert ist so eine Einzahangabe. Nicht explizit berücksichtigt sind darin aber Eigenschaften des auditorischen Systems der

Tiere, also etwa kumulative Effekte (mehrere Rammimpulse sind schädlicher als ein einzelner) und vor allem der Frequenzgang des Gehörs.

Um ein Geräusch durch einen einzigen Pegelwert zu beschreiben, ist in der Regel eine spektrale Gewichtung des Geräusches notwendig, bevor der Pegel berechnet wird. Am bekanntesten ist die A-Bewertung ("dB(A)"), die allerdings für Luftschall und für das menschliche Gehör entwickelt wurde. Von Southall et al. (2007) wird für Unterwasserschall eine Frequenzgewichtung, vorgeschlagen, die große Teile des Frequenzspektrums unbewertet lässt und lediglich tieffrequente und hochfrequente Signalanteile abschwächt. Diese M-Bewertung (das M steht für mammals = Säugetiere) orientiert sich mathematisch an der vom Luftschall her bekannten C-Bewertung, allerdings mit anderen Eckfrequenzen, die sich für verschiedene Tiergruppen außerdem unterscheiden. Die M-Bewertungen für Schweinswale und für Robben (also auch für Seehunde) sind in Bild 4.29 grafisch dargestellt.

In Bild 4.30 sind bei FINO3 gemessene M-gewichtete (für Schweinswale) und ungewichtete Einzelereignispegel aufgetragen.

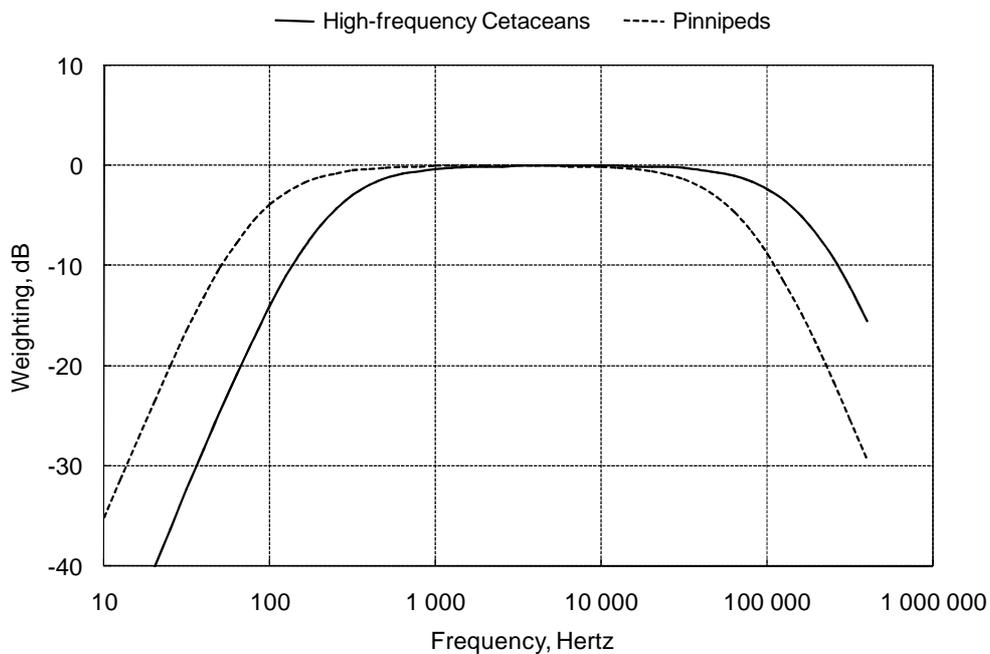


Bild 4.29: M-Gewichtung für "high-frequency cetaceans" (z.B. Schweinswale) und für Robben.

Neben dem Frequenzgang des Gehörs berücksichtigt das Konzept von Southall et al. außerdem die kumulative Wirkung von Rammschlägen, zumindest soweit es die dauerhafte physische Schädigung betrifft (permanent threshold shift PTS). Dazu wird nicht der einzelne Rammimpuls als "Ereignis" herangezogen, sondern – im Sinne der Betrachtung einer Schalldosis – eine Reihe von Impulsen, u. U. auch der gesamte Einbringvorgang eines Pfahls. Zur Unterscheidung vom Einzelschlag wird der Begriff "kumulativer" SEL benutzt. Wenn alle Impulse gleich sind, ist der kumulative SEL einfach gegeben durch

$$SEL_{cum} = SEL_{einzel} + 10 \log(n) \quad (4.10),$$

wobei n die Anzahl der Impulse ist. D.h. bei jeder Verzehnfachung der Anzahl Impulse erhöht sich der SEL_{cum} um 10 dB.

Als Richtwerte für Verletzung (permanent threshold shift PTS) und für eine temporäre Hörschwellenanhebung (temporary threshold shift TTS) werden die Pegel in Tabelle 4.12 genannt. Zur TTS wird allerdings gesagt, dass die beschriebene Art der energetischen Kumulation des Schalls dafür wahrscheinlich nicht anwendbar ist und die TTS-Schwellen in Tabelle 4.12 daher streng genommen nur für einzelne Rammschläge gelten. Vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) wird dieser Teil der Southall-Methodik skeptisch bewertet. Für eine ausführlichere Diskussion dieses und anderer Bewertungskonzepte siehe Nehls et al. (2010, in Vorbereitung).

Der kumulative SEL (für Schweinswale) der Rammarbeiten bei FINO3 ist in Bild 4.31 dargestellt.

Tabelle 4.12: Kriterien für PTS und TTS nach Southall et al. (2007).

Tier	PTS	TTS
	SEL_{cum} , dB re 1 μ Pa	$SEL_{cum?}$, dB re 1 μ Pa
Schweinswale	198	183
Robben	186	171

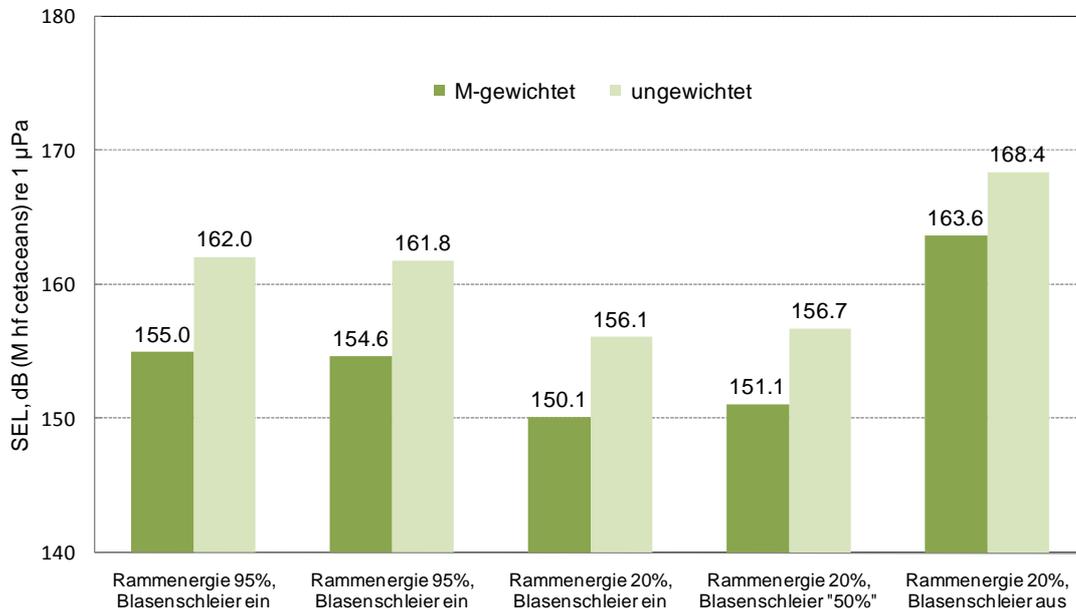


Bild 4.30: M-gewichtete und ungewichtete Einzelereignispegel (Mittelwerte aus jeweils 20 Rammschlägen) gegen Ende der Rammarbeiten bei FINO3 (die linken beiden Säulenpaare wurden bei regulären Schlägen gemessen, die übrigen bei den Versuchen zur Abschaltung des Blasenschleiers, die mit verminderter Schlagenergie durchgeführt wurden).

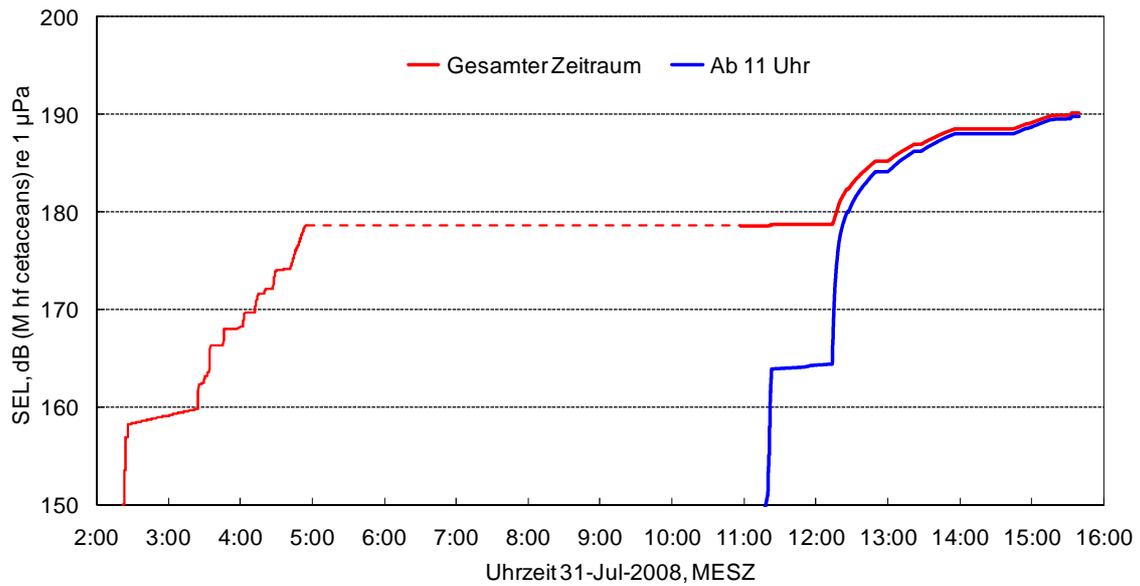


Bild 4.31: M-gewichteter (high-frequency cetaceans) kumulativer SEL bei den FINO3-Rammarbeiten für die Messentfernung 910 m. Von etwa 5:00 Uhr bis 11:00 Uhr waren die Rammarbeiten unterbrochen.

4.9 Literatur zu Kapitel 4

- CRI/DEWI/ITAP (2004): Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallimmission von Offshore-Windenergieanlagen. Abschlussbericht zum Vorhaben Nr. 0327528A des Bundesumweltministeriums
- De Jong CAF, Ainslie MA (2008): Underwater radiated noise due to the piling for the Q7 Offshore Wind Park. ASA-EAA joint conference Acoustics'08, Paris
- Feuillade C (1995): Scattering from collective modes of air bubbles in water and the physical mechanism of superresonances. *J. Acoust. Soc. Am.* 98, 1178-1190
- Feuillade C, Werby MF (1994): Resonances of deformed gas bubbles in liquids. *J. Acoust. Soc. Am.* 96, 3684-3692
- Illingsworth & Rodkin, Inc. (2001): Noise and Vibration Measurements Associated with the Pile Installation Demonstration Project for the San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span. Final Data Report, Appendix D-8901
- ISD/DEWI/ITAP (2007a): Standardverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Belastung der Meeresumwelt durch die Schallimmission von Offshore-Windenergieanlagen. Abschlussbericht zum Vorhaben Nr. 0329947 des Bundesumweltministeriums
- ISD/DEWI/ITAP (2007b): Untersuchung von Schallminderungsmaßnahmen an FINO 2. Abschlussbericht zum Vorhaben Nr. 0329947b des Bundesumweltministeriums
- McKenzie Maxon C (2000): Offshore Wind-Turbine Construction. Offshore Pile-Driving Underwater and Above-water Noise Measurements and Analysis. Ødegaard & Danneskiold-Samsøe A/S Rådgivende Ingeniører, Report no. 00.877
- Medwin H, Clay C (1998): *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press, San Diego
- Medwin H (2005): *Sounds in the Sea*. Cambridge University Press, Cambridge
- Nehls G, Betke K, Eckelmann S, Ros M (2007): Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. BioConsult SH report, Husum, Germany. On behalf of COWRIE Ltd.
- Nehls G, Betke K, Koschinski S, Lüdemann K (2010, in Vorbereitung): Sources of underwater noise and their implications on marine life with special emphasis on the North Sea and the Baltic Sea. Abschlussbericht zum Vorhaben des Umweltbundesamtes FKZ 206 25 2021
- Petrie FS (2005): Washington State Ferries' Experience with Bubble Curtains: Purpose, Hardware, and Use. 2005 Summer Meeting/Conference of the Transportation Research Board ADC40 (A1F04) Noise & Vibration Committee.
- Reyff JA (2003): Underwater sound pressures associated with the restrike of the pile installation demonstration project piles. Report prepared by Illingsworth & Rodkin, Inc. for State of California, Department of Transportation.
- Rodkin RB, Reyff JA (2007): Underwater Sound From Marine Pile Driving. Effects of Noise on Aquatic Life, Session 6: Anthropogenic sources. Nyborg, 13-17 August
- Southall BA, Bowles AE, Ellison WT, Finneran JJ, Gentry RL, Greene Jr CR, Kastak D, Ketten DR, Miller JH, Nachtigall PE, Richardson WJ, Thomas JA, Tyack PL (2007): Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals* **33**, 411-522
- Vagle S (2003): On the Impact of Underwater Pile-Driving Noise on Marine Life. Institute of Ocean Sciences, DFO/Pacific, Ocean Science and Productivity Division
- Würsig B, Greene CR, Jefferson TA (2000): Development of an air bubble curtain to reduce underwater noise of percussive piling. *Mar. Environ. Res.* 49, 79-93

5. Einfluss der Rammarbeiten zur Errichtung der Forschungsplattform FINO3 auf Schweinswale (*Phocoena phocoena*)

von Miriam Brandt, Ansgar Diederichs, Georg Nehls (BioConsult SH)

5.1 Zielsetzung der ökologischen Begleituntersuchung

Im Rahmen dieser Studie sollten die Reaktionen von Schweinswalen auf die Rammarbeiten zur Errichtung der Forschungsplattform FINO3 untersucht werden. Schallemissionen von Unterwasser-Rammarbeiten für die Gründung großer Monopiles können hohe Lärmemissionen verursachen, die zu einer Schädigung oder Störung von Fischen und marinen Säugetieren führen können (Madsen *et al.* 2006, Nehls *et al.* 2010, in Vorbereitung). Die FINO3 wurde in einem Gebiet mit hoher Schweinswaldichte und zu einer Zeit errichtet, zu der die meisten Jungtiere im Gebiet vorkommen (Gilles *et al.* 2009, Grünkorn *et al.* 2004, Scheidat *et al.* 2004, Brandt *et al.* 2008). Ebenso befand sich die Baustelle in 6 km Entfernung zum Meeresschutzgebiet „Sylter Außenriff“. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der Einsatz von Schallminderungsmaßnahmen und Vergrämungsmaßnahmen beim Bau der Plattform vorgesehen. Zudem bestand für das Vorhaben ein besonderes Interesse, die Reaktionen von Schweinswalen zu untersuchen.

In der Deutschen Nordsee ist der Bau mehrerer Offshore-Windparks geplant, die unter anderem auch in Gebieten mit hohem Vorkommen von Schweinswalen errichtet werden sollen. Da die hierfür notwendigen Rammarbeiten stark wetterabhängig sind, werden sie voraussichtlich mit der Reproduktionsphase der Schweinswale im Sommer zusammenfallen. Auch vor diesem Hintergrund ist es von besonderem Interesse, Schallminderungsmaßnahmen zu entwickeln und deren Effektivität zu überprüfen. Während des Baus der FINO3 wurde ein einreihiger Blasenschleier um die Rammstelle ausgelegt, um den Schall abzumildern. Bei keiner der bisherigen Studien zum Einfluss von Rammarbeiten auf Schweinswale haben Schallminderungsmaßnahmen stattgefunden. Die vorliegende Studie ist demnach die erste, welche dies bei Rammarbeiten und der Untersuchung ihrer Auswirkung auf Schweinswale berücksichtigt.

Ziel dieser Studie ist es, die räumlichen und zeitlichen Auswirkungen der Rammarbeiten während des Baus der FINO3 unter Anwendung von Schallminderungsmaßnahmen auf Schweinswale zu ermitteln. Weiterhin gilt es, die Wirksamkeit der vorgenommenen Vergrämungsmaßnahmen durch Seal scarer und Pinger zu überprüfen (s. Kap. 5.4.2). Dies wird mit Hilfe einer Kombination aus passivem akustischem Monitoring mit Hilfe von PODs (Porpoise Detectors) und direkten Erfassungsflügen vor und während der Rammarbeiten erreicht. PODs erlauben auch unter ungünstigen Wetterbedingungen über einen langen Zeitraum hinweg die Aktivität von Schweinswalen in lokal begrenzten Bereichen zu erfassen. Der Vorteil gegenüber Erfassungsflügen besteht also in der Wetterunabhängigkeit und in der hohen zeitlichen Auflösung der Daten (Diederichs *et al.* 2008b). Die räumliche Auflösung ist hingegen durch die maximale Anzahl an eingesetzten Geräten sehr begrenzt und die Berechnung absoluter Schweinswaldichten anhand dieser akustischen Daten ist in Gebieten mit hohem

Dichten bisher nicht möglich. Daten aus Erfassungsflügen hingegen liefern nur eine Momentaufnahme der momentanen Schweinswalverteilung, dafür ist die die räumliche Abdeckung wesentlich höher, und mit Hilfe der Software „Distance“ können (Thomas et al. 1998, Buckland *et al.* 2001) absolute Schweinswaldichten errechnet werden. Zusammengekommen stellen die beiden Methoden daher eine exzellente Methode dar, um eine höchstmögliche zeitliche und räumliche Auflösung der Daten über die Nutzung eines Gebiets durch Schweinswale zu erhalten und den Einfluss der Rammarbeiten auf diese Art abzuschätzen. Die POD-Untersuchungen finden kontinuierlich in unterschiedlichen Distanzen zur Baustelle statt, so dass die Daten hinsichtlich der Dauer eines Effektes und nach Möglichkeit auch eines eventuellen räumlichen Gradienten in dieser Dauer untersucht werden können. Im Falle einer Abnahme der von PODs aufgezeichneten Schweinswalaktivität in Folge der Rammarbeiten kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich nicht um eine Verminderung der Schweinswaldichten, sondern nur um eine Änderung des Echoortungsverhaltens handelt. Für andere Walarten ist eine Reduzierung der Echoortung während und nachdem sie einem lauten Schallereignis ausgesetzt waren beschrieben worden (für eine Übersicht über diese Studien siehe Weilgart 2007). Nur die gleichzeitige Erfassung mittels visueller Methoden kann hierüber Aufschluss geben und gleichzeitig auch eine Angabe über Veränderungen in der absoluten Dichte an Schweinswalen ermöglichen.

Die Untersuchung erfolgte im Rahmen eines Unterauftrags des Instituts für Statik und Dynamik der Leibniz Universität Hannover.

5.2 Zusammenfassung

Die Errichtung der Forschungsplattform FINO3 erfolgte in einem Bereich mit hohem Schweinswalvorkommen und in direkter Nähe zum Meeresschutzgebiet „Sylter Außenriff“, welches den Schutz dieser Art zum Ziel hat. Rammarbeiten können sich potentiell durch physische Schädigung und Störung der Tiere negativ auf Schweinswale auswirken, und um diese Effekte so weit es geht zu vermeiden, wurde während der Rammarbeiten ein Blasen-schleier zur Schallminderung eingesetzt. Diese Studie untersucht, wie Schweinswale auf die Rammarbeiten unter Anwendung der Schallminderungsmaßnahmen reagieren.

Hierzu wurden sowohl eine direkte Schweinswalerfassung vom Flugzeug aus sowie eine Erfassung mit Hilfe von Porpoise Detectors (C-PODs) (Geräte zur Aufzeichnung von Schweinswal-Ortungslauten), die über einen Zeitraum von ca. zwei Monaten im Gebiet ausgebracht waren, durchgeführt. Die Flugzeugerfassung zielte hierbei darauf ab, eine möglichst genaue Beschreibung der räumlichen Auswirkungen auf die Schweinswaldichten zu erhalten. Gleichzeitig sollte sie feststellen, ob die Schallimmissionen nur zu einer Änderung des Echoortungsverhaltens der Tiere führen oder auch zu einem Verlassen des betroffenen Gebietes. Die Untersuchung mittels C-PODs zielte hingegen darauf ab, zu quantifizieren, über welchen Zeitraum Schweinswale aus Gebieten in unterschiedlicher Distanz zur Baustelle vertrieben werden.

Es wurden insgesamt fünf Erfassungsflüge (drei vor, einer während und einer nach den Rammarbeiten) durchgeführt. Diese ergaben außerhalb der Rammperiode sehr hohe Schweinswaldichten mit ca. 6 bis 8 Tieren pro km² im gesamten Untersuchungsgebiet und einem Anteil von ca. 12 % Schweinswalkälbern. Am Tag der Rammung war die Schweins-

waldichte gegenüber dem Vortag um 78 % reduziert und alle Indizien wiesen auf die Rammarbeiten als Ursache hin. Ein Gradient mit zunehmendem Abstand zur Baustelle konnte bei den Schweinswaldichten auch bis in 25 km Entfernung nicht festgestellt werden.

Die Erfassung mittels C-PODs ergab einen deutlichen Vertreibungseffekt im Nahbereich bis in 1 km Entfernung, der insgesamt 18 bis 45 Stunden anhielt und bis 5 bis 11 Stunden nach Ende der Rammung andauerte. Ein deutlicher temporärer Vertreibungseffekt war mit abnehmender Dauer auch noch in 7 km Entfernung zur Baustelle zu beobachten, er könnte jedoch auch weiter gereicht haben. In größeren Distanzen reicht die Datenlage mit einem einzigen Rammereignis aufgrund kürzerer Effekte und starker natürlicher Schwankungen in der Schweinswalaktivität für belastbare Aussagen nicht aus. Teilweise ist es auch an den Tagen vor der Rammung bereits an einigen Positionen zu verminderter Schweinswalaktivität gekommen, was auf die Anwesenheit der Baufahrzeuge im Baugebiet zurückzuführen sein könnte.

Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit Untersuchungen zu den Bauarbeiten der Offshore Windparks Horns Rev 2 und Alpha ventus in 2008 überein, stellen jedoch den ersten Nachweis dar, dass es sich bei einer Abnahme der von PODs aufgezeichneten Schweinswalclicks in Folge einer Rammung nicht nur um eine Änderung im Echoortungsverhalten handelt, sondern auch um eine teilweise Vertreibung der Schweinswale aus dem Eingriffsgebiet.

Der Blasenschleier verminderte den Schallmessungen zufolge die Schallemissionen im Nahbereich um ca. 6 dB. Besonders im für Schweinswale relevanten hochfrequenten Bereich kam es zu einer deutlichen Schallreduzierung. Der UBA-Richtwert von 160 dB re 1 μ Pa (SEL) der in 750 m Entfernung zur Baustelle erreicht sein sollte, wurde in ca. 1150 m Entfernung erreicht. Eigene Untersuchungen bei der Rammung des dänischen Offshore-Windparks Horns Rev 2 (Brandt et al. 2009) zeigten eine anhaltende Störung (> 1 Tag) bei Schallpegeln von 160 dB re 1 μ Pa (SEL) und eine auf die Rammzeit begrenzte Störung bei Schallpegeln bis 140 dB re 1 μ Pa (SEL). Ein Wert von 140 dB re 1 μ Pa (SEL), bis zu welchem eine kurzzeitige Störung der Tiere angenommen werden kann, wurde gemäß Darstellung in Bild 4.21 bei ca. 8900 m Entfernung erreicht. Dies stimmt in etwa mit der bis in mindestens 7 km Entfernung deutlich zu beobachtende Vertreibung von Schweinswalen überein. Ohne Blasenschleier wären diese Werte erst bei ca 4 km (Einwirkradius für 160 dB re 1 μ Pa (SEL)) bzw. ca. 26 km (Einwirkradius für 140 dB re 1 μ Pa (SEL)) Entfernung erreicht worden und von einer dementsprechend weiter reichenden Störwirkung hätte ausgegangen werden müssen. Der Einsatz des Blasenschleiers wird als erfolgreich bewertet, da die Reichweite der Störwirkung und einer möglichen Schädigungswirkung auf Schweinswale deutlich reduziert werden konnte.

Da die direkte Umgebung der Baustelle über einen längeren Zeitraum gemieden wurde, wird angenommen, dass es durch die Rammung zu keinen Hörschädigungen bei Schweinswalen gekommen ist. Dies kann an den Vergrämungsmaßnahmen, aber auch an den Schallemissionen der Baufahrzeuge liegen.

Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit der Wirkungsprognose für die Auswirkungen des Baus der FINO3 auf Schweinswale überein, nach welcher zwar eine großflächige Störung jedoch keine dauerhafte Vertreibung von Schweinswalen zu erwarten gewesen war (Nehls 2008).

5.3 Kenntnisstand

5.3.1 Projekthintergrund

Rammarbeiten, wie sie zur Installation von Windkraftanlagen und Forschungsplattformen durchgeführt werden, gehen mit einer hohen Schallemission unter Wasser einher, was starke negative Auswirkungen auf marine Säuger haben kann (Madsen *et al.* 2006). Hierbei kann man die Effekte, je nachdem wie schwerwiegend sie sind und in welchem Radius von der Schallquelle sie auftreten, in unterschiedliche Klassen einteilen (Richardson *et al.* 1995; Bild 5.1).

- 1) Hohe Lärmemissionen, wie sie im direkten Nahbereich von Rammarbeiten auftreten, können zu permanenter Hörschädigung bei Schweinswalen führen (PTS = permanent threshold shift) (Madsen *et al.* 2006, Nehls *et al.* 2010, in Vorbereitung). Southall *et al.* (2007) berechneten einen Schwellenwert von 230 dB re 1 μ Pa (L_{peak}) und 198 dB re 1 μ Pa (SEL), oberhalb dessen eine dauerhafte Hörschädigung bei kleinen Walen zu erwarten ist. Da die Tiere auf Echoortung angewiesen sind, um sich zu orientieren und um Beute auszumachen und zu fangen, kann die Schädigung dieses Sinnessystems direkte negative Auswirkungen auf ihre Überlebenschancen haben.
- 2) Bei geringerer Lärmeinwirkung oder größerer Distanz zur Schallquelle kann eine vorübergehende Gehörschwellenverschiebung auftreten (TTS = temporal threshold shift). Southall *et al.* (2007) geben hierfür Werte von 224 dB re 1 μ Pa (L_{peak}) bzw. 183 dB re 1 μ Pa (SEL) an. Nach Untersuchungen von Lucke *et al.* (2009) kann TTS ab ca. 200 dB re 1 μ Pa (L_{peak}) und 164 dB re 1 μ Pa (SEL) eintreten.
- 3) Bei geringerer Einwirkung tritt keine Schädigung des Sinnessystems mehr auf, doch die Tiere können weiterhin ein deutliches Meideverhalten gegenüber der Schallquelle zeigen, in dem sie z.B. die Nahrungssuche abbrechen und / oder sich weiter von der Schallquelle entfernen (zone of responsiveness). Meidereaktionen von Meeressäugern auf Grund von anthropogen verursachten Störgeräuschen sind von mehreren Autoren beschrieben worden (s. Nehls *et al.* 2010, in Vorbereitung). Eigene Untersuchungen bei der Rammung des dänischen Offshore-Windparks Horns Rev 2 (Brandt *et al.* 2009) zeigten eine anhaltende Störung (> 1 Tag) bei Schallpegeln von 160 dB re 1 μ Pa (SEL) und eine auf die Rammzeit begrenzte Störung bei Schallpegeln bis 140 dB re 1 μ Pa (SEL). Gerade zur Fortpflanzungszeit besteht zusätzlich die Befürchtung, dass Mutter-Kalb-Paare besonders stark durch hohe Lärmemission beeinflusst werden. So konnten z.B. Novacek *et al.* (2001) zeigen, dass Mutter-Kalb-Paare bei Großen Tümmlern (*Tursiops truncatus*) besonders sensibel auf Bootsverkehr reagierten.
- 4) In größeren Distanzen kann die Detektierbarkeit von Geräuschen eventuell durch den Lärm überlagert (zone of masking) werden. Der empfindlichste Hörbereich des Schweinswals deckt sich mit der Frequenz seiner Echoortungsrufe und befindet sich zwischen 16 bis 140 kHz, wo die Hörschwelle bei 32 bis 46 dB re 1 μ Pa (SEL) liegt. Das Hörspektrum des Schweinswal reicht von ca. 200 Hz bis 140 kHz (Kastelein *et al.* 2002). Die Wahrnehmung eines Geräusches wird generell durch Hintergrundgeräusche in ähnlichen Frequenzbereichen beeinflusst. Ein hoher Lärmpegel in ähnli-

chem Frequenzbereich zu den von Schweinswalen ausgestoßenen Lauten kann somit dazu führen, dass die Effizienz der Echoortung herabgesetzt ist.

- 5) Schließlich ist das Geräusch zwar noch durch die Tiere wahrnehmbar, löst jedoch keine Reaktionen mehr aus und führt nicht zu einer Beeinflussung der Wahrnehmung anderer Geräusche (zone of audibility).

Bisher ist wenig zum zeitlichen und räumlichen Ausmaß der Störwirkung von Rammarbeiten auf Schweinswale bekannt. Einige neue Studien haben diese Fragestellung untersucht und kommen zu unterschiedlichen Aussagen. Tougaard *et al.* (2006a) untersuchten den Einfluss der Rammarbeiten für den Offshore-Windpark Horns Rev I in der dänischen Nordsee und fanden eine Reaktion von Schweinswalen bis in eine maximal untersuchte Distanz von 15 km zur Baustelle, ohne einen räumlichen Gradienten in der Dauer der Auswirkungen feststellen zu können. Die Zeit, bis wieder Schweinswale von den Hydrofonen aufgezeichnet wurden, verlängerte sich gegenüber der Zeit zwischen zwei Schweinswalaufzeichnungen während der Basisdatenaufnahme um das Dreifache auf vier Stunden. Carstensen *et al.* (2006) fanden bei Rammarbeiten im Offshore Windpark Nystedt in der dänischen Ostsee eine sechsfach längere Zeit im Vergleich zur Basiszeit, bis Schweinswale wieder in das Baugebiet zurückkehrten. Hier dauerte es im Nahbereich bis zu 35 bis 60 Stunden an, bis die Tiere wieder im Erfassungsbereich der Hydrofone waren. Auch in 15 km Entfernung wurde noch ein Effekt festgestellt, dieser war jedoch von kürzerer Dauer als im Nahbereich.

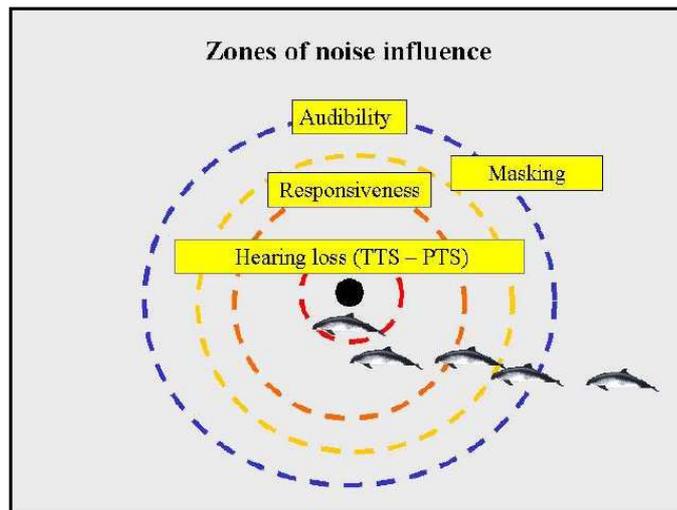


Bild 5.1: Unterschiedliche Beeinflussungszonen des Schweinswals durch Lärm (nach Richardson et al. 1995).

In 2008 wurden die Fundamente für den Offshore Windpark Horns Rev II ebenfalls in der dänischen Nordsee gerammt. Hier stellten Brandt *et al.* (2009) durch eine Analyse der Wartezeiten zwischen aufgezeichneten Schweinswalklicks einen bis zu 23 Stunden andauernden Effekt im Nahbereich fest. Die Dauer des Effektes nahm in 10 km Entfernung drastisch ab und war hier etwa auf die Zeit der Rammarbeiten und Vergrämungsmaßnahmen von 1 bis 2 Stunden beschränkt. Auch in maximal untersuchten Distanzen von 18 bis 25 km fand sich ein auf die Rammzeiten begrenzter Effekt. Der deutliche räumliche Gradient wurde wahrscheinlich durch eine stärkere Schallabschwächung im flachen Gewässer des Riffs verstärkt, und ein weiter reichender Effekt könnte im tieferen Wasser in nördliche Richtung stattgefunden haben. Neueste Untersuchungen zu den Rammarbeiten der Umspannplattform des deutschen Offshore Windpark alpha ventus, welcher im tieferen Wasser erbaut wurde, weisen auf einen solchen Umstand hin: Hier dauerte es 44 Stunden im Nahbereich, bis wieder Ausgangswerte erreicht wurden, und auch bis in maximal untersuchte Distanzen von 23 km zeigte sich noch ein etwa 5-stündiger Effekt (Diederichs *et al.* 2009). Auch hier war ein deutlicher räumlicher Gradient zu beobachten, da die Dauer des Effektes mit der Distanz zur Baustelle kontinuierlich abnahm (Diederichs *et al.* 2009).

Auf der Grundlage der prognostizierten Schallemissionen für die Errichtung der FINO3 ergab sich ein Gefährdungsradius für eine dauerhafte Gehörschädigung von weniger als 50 m, für eine reversible Gehörschädigung von weniger als 1000 m (Nehls *et al.* 2010, in Vorbereitung). Für die Störwirkung wurde unter Bezug auf die Untersuchungen zum Offshore-Windpark Horns Rev I eine großräumige aber nur kurzzeitige Störung angenommen.

5.3.2 Verbreitung und Reproduktion des Schweinswals

Schweinswale kommen in allen Ozeanen der nördlichen Hemisphäre vor, wobei zwischen drei Unterarten unterschieden wird: *Phocoena phocoena phocoena* im Nordatlantik, *Phocoena phocoena vomerina* im Nordpazifik und *Phocoena phocoena relicta* im schwarzen Meer. Der in der Nord- und Ostsee vorkommende Schweinswal wird der Unterart *Phocoena phocoena phocoena* zugeordnet. Seine Körperlänge beträgt etwa 149 bis 160 cm (Schulze 1996). Schweinswalmännchen erreichen mit etwa 2 bis 3 Jahren, Weibchen mit 3 bis 4 Jahren Geschlechtsreife, und die Weibchen gebären meist jährlich ein Kalb. Dies bedeutet, dass

sie oft zur gleichen Zeit säugen und trächtig sind, was zu einem hohen Energiebedarf führt. In der Ostsee gebären Schweinswale wahrscheinlich zwischen Mai und Juli (Benke *et al.* 1998), und auch in der Nordsee werden die meisten Schweinswalkälber um diese Zeit herum beobachtet (Sonntag *et al.* 1999, Grünkorn *et al.* 2002, Scheidat *et al.* 2004, Brandt *et al.* 2008). Schweinswale tauchen bis zu einer Tiefe von 100 m (Teilmann 2000), werden allerdings auch oft in Küstennähe angetroffen. Sie ernähren sich von Fischen aus demersalen und pelagischen Habitaten, wobei ein großer Teil der Nahrungssuche wahrscheinlich in der Nähe des Meeresgrundes stattfindet (Santos & Pierce, 2003).

Schweinswale sind in der gesamten Nordsee verbreitet. Nach SCANS Untersuchungen in den Jahren 1994 und 2005 wurde der Bestand in der Nordsee und im englischen Kanal auf 250.000 bzw. 230.000 Tiere geschätzt (Hammond *et al.* 1995, Hammond *et al.* 2002, Hammond 2006). Besonders das Gebiet westlich von Sylt ist durch hohe Schweinswaldichten gekennzeichnet (Benke *et al.* 1998, Sonntag *et al.* 1999, BioConsult SH & GFN 2002, Scheidat *et al.* 2004, Gilles *et al.* 2005, Brandt *et al.* 2008). Hier wurde ein starker saisonaler Verlauf festgestellt, mit hohen Schweinswaldichten im Sommer und niedrigeren Dichten im Winter (Diederichs *et al.* 2004, Gilles *et al.* 2005, Brandt *et al.* 2008).

Die Verbreitung aller Meeressäuger wird zu einem großen Teil von der vorhandenen Nahrungsverfügbarkeit bestimmt sowie von anderen physikalischen Faktoren, wie z. B. Strömung, Wassertemperatur, Wassertiefe, Salinität und Sedimentbeschaffenheit, welche die Tiere entweder direkt oder indirekt über die Wirkung auf ihre Nahrungsressourcen beeinflussen (z. B. Jaquet & Whitehead 1996, Jaquet & Gendron 2002 und Heithaus & Dill 2002, Johnston *et al.* 2005, Skov & Thomsen 2008).

5.3.3 Schutzstatus

Der Schweinswal wird auf der Roten Liste für Deutschland als stark gefährdete Art geführt (Boye *et al.* 1998). Er ist zudem im Anhang II und IV der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (von der EU 1992 beschlossen und in § 19b BNatSchG in nationales Recht umgesetzt) gelistet und stellt somit eine „Art von gemeinschaftlichem Interesse“ dar, „für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen“. Artikel 12 FFH-RL besagt weiterhin, dass „alle absichtlichen Formen des Fangs oder der Tötung“ sowie „jede absichtliche Störung dieser Art, insbesondere während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten“ untersagt sind.

Des Weiteren ist der Schweinswal im Anhang II der Bonner Konvention (CMS, Bonn 1979) gelistet. Das Übereinkommen enthält die Verpflichtung der Vertragsstaaten, Maßnahmen zum weltweiten Schutz und zur Erhaltung wandernder wild lebender Tierarten zu treffen. In diesem Rahmen ist die Ausarbeitung von Regionalabkommen vorgesehen, in denen rechtsverbindlich Schutz, Erhaltung und nachhaltige Nutzung einiger Arten über ihren gesamten Wanderungsbereich geregelt und die Zusammenarbeit der betroffenen Staaten koordiniert werden soll. Daraufhin trat 1994 das Abkommen zur Erhaltung der Kleinwale in Nord- und Ostsee in Kraft (ASCOBANS), deren Vertragsstaaten (u. a. Deutschland) sich verpflichtet haben, diese Arten in einem günstigen Erhaltungszustand zu halten oder sie in einen solchen zu bringen. Konkrete Maßnahmen hierzu nennt der dem Abkommen beigefügte Managementplan. Hiernach sollen negative Einflüsse auf Kleinwale und Aktivitäten, welche ihre

Nahrungsressourcen signifikant beeinflussen, reduziert werden. Zudem sollen andere Störfaktoren insbesondere von akustischer Natur, vermieden werden. Auch wird im Managementplan eindeutig Forschung gefordert, die der Identifizierung von momentanen und potentiellen Bedrohungen dient.

Am 25. Mai 2004 hat Deutschland der EU-Kommission ein ca. 5300 km² großes Natura 2000 - Gebiet in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) westlich von Sylt gemeldet. Hauptausweisungsgrund für dieses Schutzgebiet „Sylter Außenriff“ ist der Schweinswal. Im November 2007 wurde das Gebiet von der EU als Gebiet gemeinschaftlicher Bedeutung (Site of Community Importance – SCI) anerkannt und ist mit Veröffentlichung im Januar 2008 rechtskräftig geworden.

5.3.4 Merkmale der Echoortungslaute

Wie wahrscheinlich alle Zahnwalarten verwenden Schweinswale zur Orientierung und Nahrungssuche Echoortung (Buznel & Dziedzic 1967, Verfuß & Schnitzler 2002, Verfuß *et al.* 2005), das heißt sie stoßen hochfrequente Laute aus, deren Echos ihnen Information über ihre Umgebung liefern. Viele Arten stoßen neben diesen Echoortungsrufen auch Pfiffe aus, welche hauptsächlich zur Kommunikation verwendet werden. Für Schweinswale sind solche Laute hingegen bisher nicht festgestellt worden, und es wird angenommen, dass die Echoortungsrufe zum Teil auch der Kommunikation dienen (Verboom & Kastelein 1997, Koschinski *et al.* 2008). Ihre Echoortungsrufe sind im Gegensatz zu denen von Delphinen relativ lang und tonal. Die Frequenz eines Klicks liegt zwischen ca. 100 und 250 kHz, wobei die Hauptenergie bei etwa 130 kHz liegt (Verboom & Kastelein 1997). Der Öffnungswinkel des stark gerichteten Echokegels ist etwa 16 Grad und hat eine Differenz von etwa 3 dB zwischen Zentrum und Außenbereichen (Au *et al.* 1999). Diese Charakteristika ermöglichen es, die Rufe mit automatisierten Aufnahmegeräten zu erfassen und von anderen Geräuschen zu unterscheiden.

5.4 Vorgehensweise und technische Umsetzung

5.4.1 Untersuchungsgebiet

Der Bau der Forschungsplattform FINO3 findet in etwa 80 km Entfernung zur Küste Sylts und ca. 6 km westlich des FFH-Gebietes Sylter Außenriff statt. Die Tiefenlinien verlaufen hier etwa parallel zur Küste. Das mit Hilfe von Flugzeugzählungen erfasste Seegebiet wurde so gelegt, dass eine Fläche von ca. 1350 km² (30 x 45 km) abgedeckt wurde, wobei der Ort der FINO3 etwa in der Mitte dieses Gebietes liegt. Das Gebiet befindet sich in einer Wassertiefe von ca. 15 bis 30 m und erstreckt sich zwischen 55 km und 100 km nordwestlich vor die Küste Sylts. Die Lage des Planungsgebietes, Lage der Transekte sowie der ausgebrachten C-PODs zur Schweinswalerfassung sind in Bild 5.2 dargestellt.

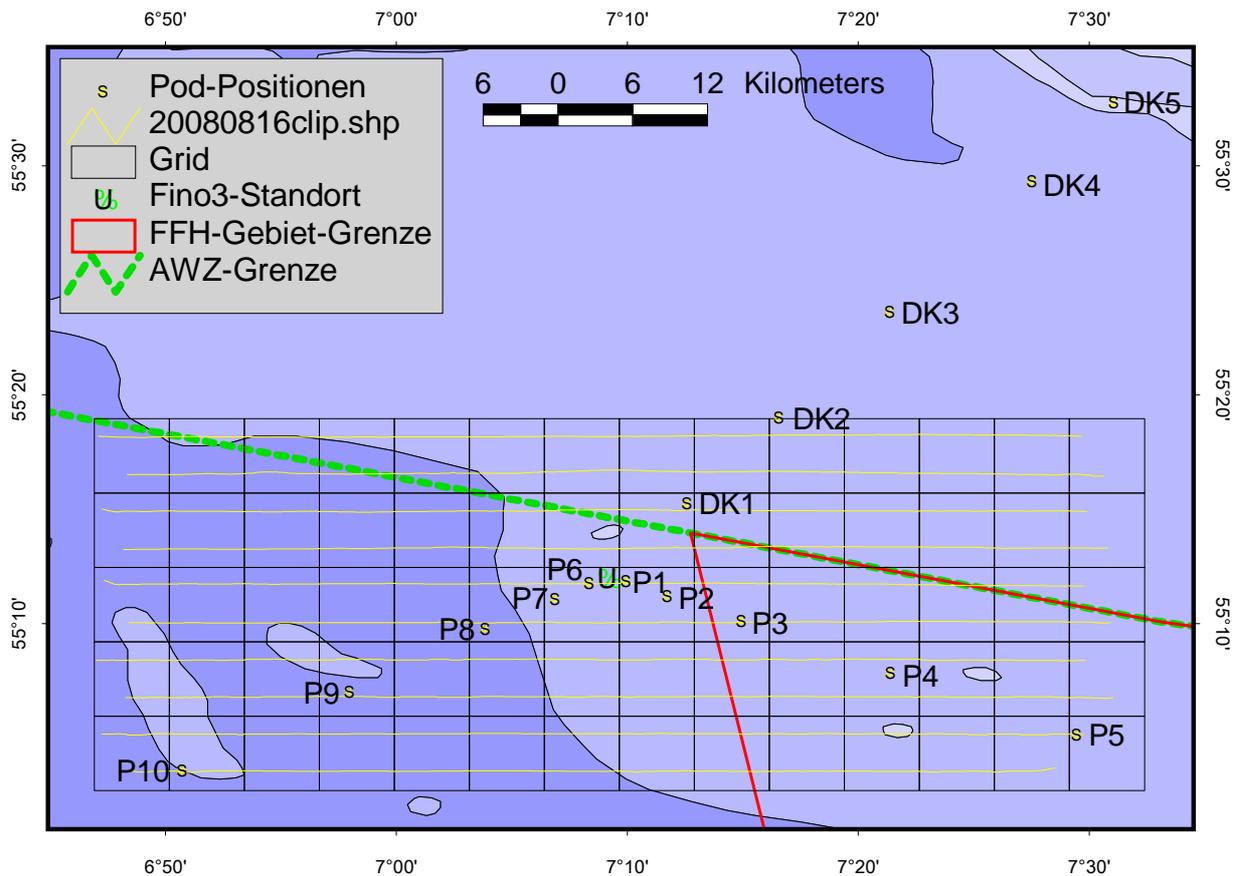


Bild 5.2: Untersuchungsgebiet mit Grenze des FFH-Gebietes und der AWZ, sowie Lage der Flugtransekte und Position der ausgebrachten C-PODs mit Beschriftung.

5.4.2 Vergrämungsmaßnahmen

Um marine Säuger aus dem Gefährdungsradius, in dem physische Schädigung auftreten könnte, fernzuhalten, wurden zusätzlich Vergrämungsmaßnahmen angewendet. Hierzu wurden im Nahbereich der Baustelle zwei Pinger und ein Seal scarer ausgebracht.

Die eingesetzten Pinger waren zwei Aquamark 100 (www.aquatecgroup.com), speziell für Schweinswale entwickelte Pinger, welche die Tiere von Stellnetzen fernhalten sollen. Diese Geräte werden standardmäßig zur Markierung von Stellnetzen eingesetzt. Der empfohlene Abstand zwischen zwei Geräten beträgt 200 m, so dass der gesicherte Vergrämungsradius 100 m beträgt. Die Geräte senden akustische Signale von 200 bis 300 ms Länge im Frequenzbereich von 20 bis 160 kHz und erreichen eine Stärke von 145 dB re 1µPa @ 1 m. Das Gerät schaltet sich bei Wasserkontakt automatisch ein.

Beim ausgebrachten Seal scarer handelte es sich um ein Gerät der Firma Lofitech (www.lofitech.no). Der Seal scarer arbeitet bei einer Frequenz von 13,5 bis 15 kHz. Die Signale werden in unregelmäßigen Folgen mit Pausen zwischen 60 und 90 Sekunden ausgesendet. Die Stärke des Signals beträgt etwa 189 dB re 1µPa @ 1 m. Die Störwirkung dieses Seal scarers auf Schweinswale ist bislang nicht untersucht worden. Anhand der beschriebenen Reaktion auf den Airmar Seal scarer, der 5 dB lauter ist als der Lofitech Seal scarer, kann eine etwa halb so große Störwirkung, also etwa 1 bis 2 km angenommen werden.

5.4.3 Flugtransekte

5.4.3.1 Datenaufnahme

Zur Erfassung der Meeressäuger vor Sylt wurden Flugzeugzählungen nach der von BioConsult SH zusammen mit dem dänischen National Environmental Research Institute (NERI) entwickelten Methode durchgeführt (Diederichs *et al.* 2002, Kahlert *et al.* 2000, Noer *et al.* 2000). Zwischen dem 01.06.2007 und dem 02.06.2008 wurden in einem ca. 1700 km² großen Gebiet westlich vor Sylt während 5 Flügen jeweils 10 ca. 45 km lange parallel in West-Ostrichtung verlaufende Transekte mit einem Abstand von 3 km voneinander beflogen (Bild 5.2). Eine West-Ost-Ausrichtung wurde gewählt, damit die Transekte die in Nord-Südrichtung verlaufenden Tiefenlinien queren, von welchen angenommen werden kann, dass sie die Habitatnutzung durch Meeressäuger maßgeblich beeinflussen. Drei Erfassungsflüge fanden vor den Rammarbeiten statt (06.07., 24.07. und 30.07.2008), einer während der Rammarbeiten (31.07.2008) und einer nach den Rammarbeiten am 16.08.2008. Ein früherer Flug nach den Rammarbeiten war auf Grund ungünstiger Wetterbedingungen nicht möglich.

Für die Erfassungsflüge wurde ein zweimotoriges hochflügeliges Propellerflugzeug (Partenavia P 68 bzw. Britten Norman) eingesetzt. Die Partenavia war auf den Sitzen hinter Pilot und Copilot mit nach außen gewölbten so genannten „Bubblewindows“ ausgestattet. Das Flugzeug flog mit einer Geschwindigkeit von ca. 180 km/h in 600 Fuß (180 m) Höhe entlang der Transekte. Ein GPS zeichnete alle 2,5 Sekunden (ca. alle 125 m) die Position auf und drei erfahrene Beobachter sprachen kontinuierlich alle Beobachtungen von Meeressäugern auf Diktafon. Jeweils ein Beobachter saß auf der linken Seite bzw. rechten Seite und ein dritter Beobachter beobachtete jeweils die Seite mit den besten Sichtbedingungen. Um sicher zu stellen, dass die Daten unabhängig voneinander aufgenommen wurden, hatten die Zähler Kopfhörer auf, was verhinderte, dass sie sich untereinander hören konnten. Für alle Säugetiersichtungen wurden Art, Alter (adultes Tier oder Kalb), Gruppengröße, Verhalten (schwimmend, abtauchend, flüchtend und bei Seehunden senkrecht in der Wassersäule stehend), Schwimmrichtung und die sekundengenaue Uhrzeit anhand mit der GPS-Zeit (UTC) synchronisierter Digitaluhren festgehalten. Hierdurch konnten jeder Beobachtung durch die Verknüpfung von Beobachtungs- und GPS-Zeit Koordinaten zugewiesen werden. Zu jeder Schweinswalsichtung wurde außerdem vermerkt, ob das Tier sich zum Zeitpunkt der ersten Sichtung mit dem gesamten Körper unter der Wasseroberfläche befand oder ob ein Teil des Körpers (zumeist die Rückenfinne bei Schweinswalen, bzw. der Kopf bei Seehunden) sich über Wasser befand. Zusätzlich wurde für jede Säugetiersichtung mit Hilfe eines Klinometers der Sichtwinkel relativ zum Horizont gemessen, woraus sich die rechtwinklige Entfernung der Tiere von der Grundlinie mit folgender Formel berechnen lässt: Entfernung = Höhe über Grund x tan (90° - Winkel) (Bild 5.3).

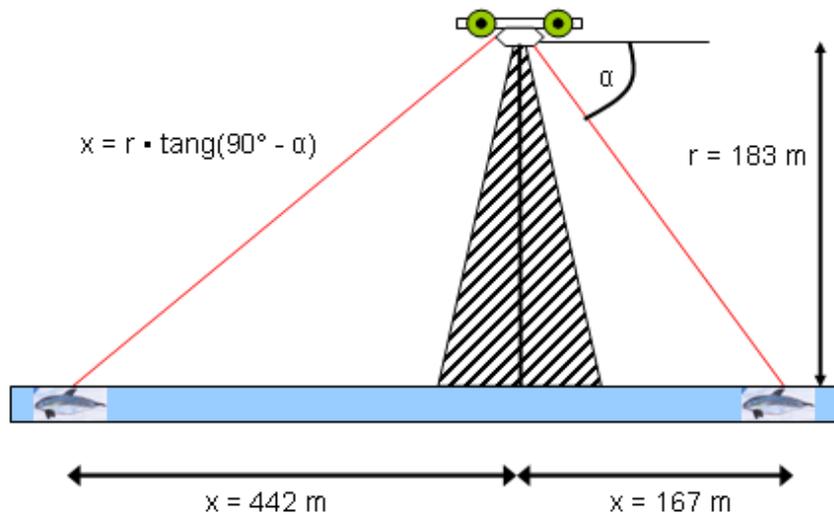


Bild 5.3: Mit Hilfe von Winkelmessern gemessene Abstände der Tiere bei einer Flughöhe von 183 m.

Die Erfassung von Meeressäugern kann durch Seegang und Sichtbedingungen erheblich eingeschränkt werden (Teilmann *et al.* 2003). Daher wurden Flüge nur bei einer maximalen Windgeschwindigkeit von zehn Knoten (5 m/sec) und bei einer Sichtweite von mindestens 5 km durchgeführt. Da sich Wetterbedingungen auf See schnell ändern können, registrierten die Beobachter zu jedem Transektanfang, und wann immer sich die Bedingungen änderten, den Seegang nach der Beaufort Skala, die Sichtbedingungen abhängig von eventuellem Gegenlicht oder Reflektion auf der Wasseroberfläche (1 = gut, 2 = moderat, 3 = nicht ausreichend) und den Grad der Bewölkung in Achteln. Daten, welche unter nicht optimalen Bedingungen erhoben wurden (Seegang > 3 oder nicht ausreichende Sicht), wurden aus der Bewertung herausgenommen, und der Flugaufwand wurde dementsprechend korrigiert. Daten, die unter moderaten Sichtbedingungen aufgenommen wurden, flossen nur dann in die Auswertung ein, wenn sich kein offensichtlicher Unterschied zur Anzahl der auf der anderen Seite unter guten Bedingungen gesehen Tieren ergab. Die Anzahl der geflogenen auswertbaren Kilometer pro Flug (für die beiden vorderen Beobachter einzeln gewertet) sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Insgesamt konnten unter ausreichenden Sichtbedingungen 3756 km während 5 Flügen befliegen werden.

Tabelle 5.1: Beobachtungsaufwand unter guten Sichtbedingungen für die jeweiligen Flugtage.

Flugdatum	Geflogene km
06.07.2008	677
24.07.2008	867
30.07.2008	903
31.07.2008	859
16.08.2008	450
Summe	3756

5.4.3.2 Datenauswertung

Um die Verteilung der erfassten Arten im Untersuchungsgebiet darzustellen, verwendeten wir alle von den beiden vorderen Beobachtern unter guten Sichtbedingungen erhobenen Daten. Die Sichtungen wurden in einem Geografischen Informations System (GIS) ausgewertet.

Die Bestimmung der Schweinswaldichten folgte der „line-transect distance sampling“- Methode (Thomas *et al.* 1998, Buckland *et al.* 2001). Die Beobachtungswahrscheinlichkeit eines Tieres sinkt mit seiner zunehmenden Entfernung vom Transekt. Mit Hilfe der Software DISTANCE (Thomas *et al.* 1998) kann aus den gemessenen Entfernungen der Sichtungen eine Dichte berechnet werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass a) die Sichtungshäufigkeit mit zunehmender Entfernung zur Grundlinie in mathematisch berechenbarer Weise abnimmt („half-normal“ oder „hazard-rate“ Modell), b) nahe der Grundlinie alle Tiere gesehen werden ($g(0)=1$), und c) die Tiere nicht auf die Beobachtungsplattform reagieren.

a) Die Sichtungswahrscheinlichkeit von Schweinswalen folgte einem „half-normal Model“ (Bild 5.35 bis Bild 5.39 im Anhang), und in DISTANCE konnte die „effective strip width“ (ESW) berechnet werden. Die ESW beschreibt die Fläche, auf welche bei der Dichteberechnung alle Beobachtungen bezogen werden. Trotz der nach außen gewölbten Fenster muss berücksichtigt werden, dass ein von der Flughöhe abhängiger Streifen unter dem Flugzeug nicht oder nur sehr eingeschränkt einsehbarer ist. Wir berücksichtigen diese Gegebenheiten mit einer Kappung der Entfernungsdaten bei 85 m. Die für die einzelnen Flüge berechneten ESW-Werte sind in Tabelle 5.2 aufgelistet.

Tabelle 5.2: Berechnung von ESW und Standardabweichung an den einzelnen Flugtagen.

Datum	Mittlere Anzahl Schweinswale / km ²	ESW in m	Standardabweichung	Größe des beflogenen Gebietes in km ²
06.07.2008	14,69	58,66	15,37	39,72
24.07.2008	6,64	135,9	3,76	117,86
30.07.2008	7,26	179,49	4,14	162,11
31.07.2008	1,62	138,79	0,78	109,86
16.08.2008	7,90	116,00	6,51	52,20
Mittelwert: 7,60 ± 4,7				Summe: 481,3

b) Bei Schweinswalen kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Tiere auf der Grundlinie erfasst werden können. Zum einen wird ein Teil der Tiere übersehen, zum anderen befindet sich immer nur ein Teil der im Gebiet anwesenden Tiere nahe genug an der Wasseroberfläche, um gesehen werden zu können. Die tatsächliche Sichtungswahrscheinlichkeit ($g(0) < 1$) bestimmten wir der Methode von Grünkorn *et al.* (2005) folgend durch einen Korrekturfaktor, welcher sich aus der Wiedersichtungsrate und aus Literaturdaten über die Aufenthaltszeiten der Tiere in der oberen Wassersäule nach Teilmann *et al.* (2000) ergibt. Um die Wiedersichtungsrate zu bestimmen, errechneten wir, wie viele der vom hinteren Beobachter registrierten Sichtungen auch von dem davor sitzenden registriert wurden. Für jeden Flug mit mehr als 10 Sichtungen des hinteren Beobachters ermittelten wir eine spezifische Wiedersichtungsrate. Für den Flug am 31.07.2008, an welchem nur 10 solcher Sichtungen erreicht wurden, verwendeten wir den Mittelwert aus den vorhergegangenen Flügen (

Tabelle 5.3). Die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten in der oberen 1 m tiefen Wassersäule entnehmen wir Teilmann *et al.* (2000), welcher Tauchtiefen und Länge der Tauchgänge für Schweinswale in der dänischen Ostsee untersuchte

Tabelle 5.3). Zwar ist in der Nähe des Flugzeugs die Wassersäule bis zu 2 m einsehbar, dies reduziert sich jedoch mit weiterer Entfernung erheblich, und ab einer bestimmten Entfernung können nur noch Tiere, die die Wasseroberfläche durchbrechen, gesehen werden. Es scheint uns daher sinnvoll die Aufenthaltswahrscheinlichkeit in 1 m Wassersäule zu Grunde zu legen. Zur Berechnung der Wiedersichtungsrate wurden nur Sichtungen bei einem Winkel von unter 25° berücksichtigt.

Tabelle 5.3: Berechnung des $g(0)$ -Wertes für die Schweinswaldichteberechnung an den einzelnen Flugtagen. Bei dem mit Sternchen gekennzeichneten Wert für die Wiedersichtungsrate handelt es sich um den Mittelwert der vorher durchgeführten Flüge, da die geringe Anzahl an Sichtungen die Berechnung eines flugspezifischen Wertes nicht zuließ.

Datum	Schweinswal-sichtungen des hinteren Beobachters	Wieder-sichtungen	Wieder-sichtungsrate	Aufenthalts-wahrscheinlichkeit in der oberen 1 m Wassersäule	$g(0)$
06.07.2008	29	14	0,48	0,4	0,19
24.07.2008	56	20	0,36	0,4	0,14
30.07.2008	74	34	0,46	0,4	0,18
31.07.2008	10	1	0,42*	0,4	0,17
16.08.2008	47	28	0,6	0,4	0,24

c) Die Schweinswaldichten der einzelnen Flüge berechneten wir, indem wir die gesamte Anzahl gesichteter Individuen durch den für jeden Flug spezifisch ermittelten $g(0)$ -Wert teilten und in Beziehung zu der insgesamt abgedeckten Fläche setzten, die sich durch die Gesamtzahl der unter guten Bedingungen geflogenen Meter multipliziert mit dem flugspezifischen ESW-Wert ergibt.

Die Sichtungswahrscheinlichkeit von Schweinswalen kann stark vom Seegang abhängen, da die Tiere bei unruhiger Wasseroberfläche öfter übersehen werden. Durch die Berechnung eines flugspezifischen $g(0)$ -Wertes, sollte für diesen Einfluss bereits korrigiert worden sein. Wir überprüften dies, indem wir eine Regression über die nicht korrigierte Anzahl gesichteter Schweinswale bzw. die durch Einbeziehung des $g(0)$ -Wertes korrigierten Schweinswaldichten und den mittleren Seegang berechneten. Die Daten wurden vor Durchführung der Regression logarithmiert, um ein Normalverteilung der Daten zu erreichen. Trägt man die nicht korrigierte Anzahl der beobachteten Schweinswale pro Transekt gegen den mittleren Seegang auf und vergleicht dies mit der Auftragung der korrigierten Dichten gegen den Seegang, wird deutlich, dass für einen erheblichen Einfluss des Seegangs korrigiert werden konnte (Bild 5.4). Es besteht ein deutlicher signifikanter linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl gesichteter Wale und dem mittleren Seegang ($R^2= 0,35$; $t= -5,05$; $B= -0,28$; $p< 0,01$) (Bild 5.4a). Der lineare Zusammenhang zwischen der bereits korrigierten Schweinswaldichte und dem mittleren Seegang ist hingegen weniger stark (Bild 5.4b). Allerdings besteht auch hier noch immer ein, wenn auch nicht starker so doch signifikanter, Zusammenhang

($R^2= 0,14$; $t= -2,77$; $B= -0,18$; $p< 0,01$). Bei der Berechnung der folgenden statistischen Modelle ließen wir den mittleren Seegang daher als Zufallsvariable einfließen, um für den Einfluss des Seegangs zu korrigieren.

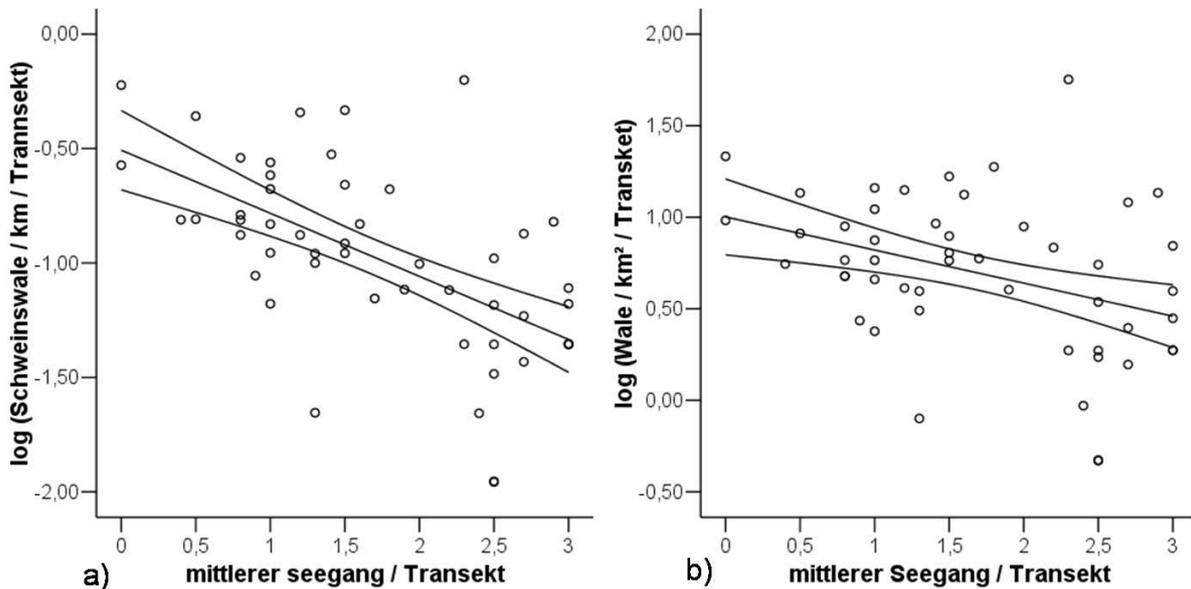


Bild 5.4: Anzahl gesichteter Schweinswale pro geflogenem km pro Transekt bzw. die durch Wiedersichtungsrate, Aufenthaltswahrscheinlichkeit und ESW korrigierten Schweinswaldichten pro km^2 aufgetragen gegen den pro Transekt ermittelten mittleren Seegang.

Um zu testen, ob zwischen den durchgeführten Flügen ein Unterschied in den Schweinswaldichten besteht, berechneten wir die mittlere Schweinswaldichte mit Standardabweichung für jeden Flugtag, wobei die Dichte pro Transekt die Stichprobeneinheit darstellt. Hierüber berechneten wir ein „General linear model“ (GLM), welches ermöglicht den Einfluss von mehreren kontinuierlichen Variablen sowie von Faktoren auf eine abhängige Variable zu testen. Hierbei war „Schweinswale / km^2 / Transekt“ die abhängige Variable, „Flugdatum“ wurde als Faktor und „mittlerer Seegang / Transekt“ als Kovariate eingegeben. Die Daten wurden mit Hilfe eines Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung getestet, und mit Hilfe des Levene’s Test für Varianzhomogenität wurde überprüft, ob Homogenität der Varianzen über den Faktor „Flugdatum“ gegeben war. Die Daten wurden vor Berechnung eines GLM log-transformiert, um Normalverteilung zu erreichen. Hiernach wichen die Daten nicht mehr signifikant von einer Normalverteilung ab. Homogenität der Varianzen über den Faktor Flugdatum war ebenfalls gegeben.

Für die Darstellung der Schweinswalsichtungen und –dichten erstellten wir Rasterkarten mit Flugaufwand und Schweinswaldichten. Hierzu legten wir ein Gitternetz mit $3,5 \times 6$ km messenden Quadranten über das Untersuchungsgebiet, wobei die geflogenen Transekte durch die Mitte dieser Quadranten verlaufen (Bild 5.4). Nun errechneten wir für jeden Flug unter Berücksichtigung der unter guten Bedingungen erhobenen Daten die Anzahl der Sichtungen pro geflogenem Quadratkilometer in jedem dieser Quadranten. Auf den Rasterkarten zur Darstellung der Schweinswaldichten sind zusätzlich alle Schweinswalsichtungen als Punkte eingetragen, anhand welcher sowohl Gruppengröße als auch das Vorhandensein von Jungtieren ersichtlich ist.

Um zu überprüfen, ob ein räumlicher Gradient festzustellen ist, mit welchem sich die Rammarbeiten auf die Schweinswaldichten auswirken, berechneten wir weiterhin eine nichtparametrische Spearman Rank Korrelation (da die Daten nicht normalverteilt waren) über die Schweinswaldichten in den einzelnen Quadranten am Tag der Rammung und den Abstand der einzelnen Quadranten zur Baustelle.

Für Seehunde verzichteten wir auf Grund des geringen Datensatzes (insgesamt nur neun Beobachtungen) auf eine Dichteberechnung und statistische Analyse. Wir stellten die räumliche Verteilung der Seehundbeobachtungen in Relation zum Eingriffsgebiet in einer Punktkarte unter Berücksichtigung aller Sichtungen dar.

5.4.4 C-POD-Daten

5.4.4.1 Datenaufnahme

Ein C-POD (Klick Porpoise Detector) ist ein Gerät, welches die hochfrequenten Echoortungsrufe von Schweinswalen mit Hilfe eines Hydrofons aufnimmt und nach Vorgabe verschiedener Filter in digitale Daten umwandelt und abspeichert. Es ist das Nachfolgemodell des bereits oft angewandten T-PODs und unterscheidet sich von diesem dadurch, dass ein wesentlich breiteres Frequenzspektrum erfasst wird und zusätzlich eine Vielzahl von spezifischen Klickcharakteristika mit abgespeichert wird. Für die technische Beschreibung siehe Diederichs et al. 2008b. Der C-POD speichert die Wellencharakteristik eines einzelnen Klicks in digitaler Form. Für jedes einzelne Lautereignis werden Zeitdauer, Hauptfrequenz, Intensität und Bandbreite gespeichert. Diese Charakteristika werden mit Hilfe eines vom Hersteller entwickelten Algorithmus verglichen, um echte Schweinswalklicks von hochfrequenten Störgeräuschen zu unterscheiden.

Damit arbeitet der C-POD analog zum Vorgängermodell T-POD und es wird erwartet, dass die Datensätze beider Gerätetypen direkt miteinander vergleichbar sind. Aufgrund fehlender Datensätze liegen hierüber jedoch nur theoretische Überlegungen, nicht aber tatsächliche Vergleichsdaten vor.

PODs liefern folgende wesentliche Informationen über die Tiere:

1. An-/Abwesenheit von Schweinswalen an einem Standort.
2. Relative Dichte der Tiere an einem Standort über das Maß „schweinswalpositiver Zeiteinheit“.
3. Nutzungsintensität eines Gebietes über die Aufenthaltsdauer (Ereignislänge) der Tiere im Erfassungsbereich der Geräte.
4. Eine Analyse der Klicksequenzen mit hoher zeitlicher Auflösung kann Aufschluss über verschiedene Verhaltensweisen geben.

Unter der Annahme, dass die Aufzeichnungsrate nicht wesentlich durch unterschiedliche Empfindlichkeiten individueller Geräte beeinflusst wird, lassen sich relative Unterschiede zwischen verschiedenen Standorten und zeitliche Veränderungen über einen langen Zeitraum und mit hoher zeitlicher Auflösung erfassen.

Technische Beschreibung eines C-PODs

C-PODs (Chelonia Ltd., UK) (Bild 5.5) sind autonome Aufnahmegeräte ('data logger'), die hochfrequente Lautereignisse erkennen und registrieren. C-PODs bestehen aus einer 80 cm langen Plastikröhre, an deren einem Ende sich ein Hydrofon befindet. Direkt darunter befinden sich ein Verstärker und ein elektronische Filter. Das Hydrofon zeichnet omnidirektional alle Lautereignisse in einem Frequenzbereich von 20 bis 150 kHz auf. Hauptfrequenz, Frequenzverlauf, Lautdauer, Intensität (in 8 bit-Schritten), Bandbreite und Hüllkurve des Frequenzspektrums werden für jeden einzelnen Klick abgespeichert.

Insgesamt zehn 1,5 Volt D-Batterien versorgen das Gerät mit ausreichender Spannung für mindestens sechs Wochen. Über SD-Karten steht eine einfach auszulesende Speichereinheit von bis zu vier GB zur Verfügung.

Die Geräte sind vom Hersteller auf der Hauptfrequenz von Schweinswalklicks (130 kHz) kalibriert und auf einen gleichen Hörschwellenwert eingestellt ($\pm 2\text{dB}$).

Mit Hilfe eines in der Software CPOD.exe (Chelonia Ltd., UK) enthaltenen Algorithmus können aus den gespeicherten Rohdaten „Klicktrains“ von Schweinswalen, Delphinen oder Bootssonaren herausgefiltert und von Hintergrundrauschen getrennt werden.

Ausbringung der C-PODs

An 15 Stationen wurde am 10. und am 11. Juli je ein C-POD ausgebracht (Bild 5.2). Auf zwei Transekten, welche von der FINO3-Baustelle in Richtung Südosten bzw. Südwesten verliefen, wurden jeweils fünf Geräte mit bis zu einer maximalen Entfernung von 25 km zur Baustelle ausgebracht (P1 bis P5 bzw. P6 bis P10). Fünf weitere von DONG Energy finanzierte C-PODs wurden zusätzlich entlang eines nach Norden in Richtung des Windparks Horns Rev II verlaufenden Transektes (DK1 bis DK5) bis in eine maximale Entfernung von 35 km zur FINO3 ausgebracht (Tabelle 5.4). Die Geräte wurden durch ein Seil mit einem Ankerstein verbunden und befanden sich nach Ausbringung 1,5 m über dem Meeresboden. Dieser Ankerstein war über ein Seil mit einem zweiten Ankerstein verbunden, an welchem ein gelber Fender befestigt war, der die Position der PODs auf See markierte (Bild 5.5). Zusätzlich wurde in unmittelbarer Nähe zu jeder POD-Position eine gelbe Leuchtpiere als zusätzliche Markierung mit Hilfe eines großen Ankersteins befestigt (Bild 5.6).



Bild 5.5: Foto eines C-PODs und des Verankerungssystems der C-PODs mit zwei Ankerblöcken und Fender.



Bild 5.6: Schema des auf See ausgebrachten POD-Systems und Foto der für die Leuchtspiere verwendeten Ankersteine und der verankerten Leuchtspiere.

An den POD-Positionen P1 bis P10 wurden während des Untersuchungszeitraums zwischen dem 10.7.08 und dem 8.9.08 insgesamt an 472 Tagen Daten aufgezeichnet. An 56 Tagen zeichneten die Geräte aufgrund eines technischen Defektes keine Daten auf, und an 72 Tagen konnten aufgrund des Verlustes von zwei Geräten keine Daten gewonnen werden. An den Positionen DK1 bis DK5 wurden an 288 Tagen Daten aufgezeichnet, an 126 Tagen zeichneten die Geräte nichts auf, und von 17 Tagen konnten aufgrund des Verlustes eines Gerätes keine Daten gewonnen werden. Für den Hauptuntersuchungszeitraum (10.7. bis 8.9.08) liegen also insgesamt Daten von 631 POD-Tagen von 15 Positionen vor (Bild 5.7). Während des Tages, an dem die Rammung stattfand, konnten Daten von 13 Positionen gewonnen werden. Nach Abschluss der C-POD Messungen waren 2 Geräte verloren gegangen; zwei weitere Geräte, die vorher bereits keine Daten aufgezeichnet haben, waren komplett defekt.

Tabelle 5.4: Name, Position und Entfernung der PODs zur Küste und zur FINO3.

POD-Position	Breitengrad	Längengrad	Entfernung zur FINO3 in km
P1	55°11.729'	7°09.965'	1
P2	55°11.179'	7°11.585'	3
P3	55°10.007'	7°14.824'	7
P4	55°07.870'	7°21.294'	15
P5	55°05.102'	7°29.364'	25
P6	55°11.668'	7°08.408'	1
P7	55°10.990'	7°06.941'	3
P8	55°09.635'	7°04.012'	7
P9	55°06.920'	7°58.163'	15
P10	55°03.521'	7°50.870'	25
DK1	55°15.229'	7°12.566'	7
DK2	55°18.917'	7°16.481'	15
DK3	55°23.525'	7°21.392'	25
DK4	55°29.296'	7°27.574'	35
DK5	55°32.977'	7°31.536'	45

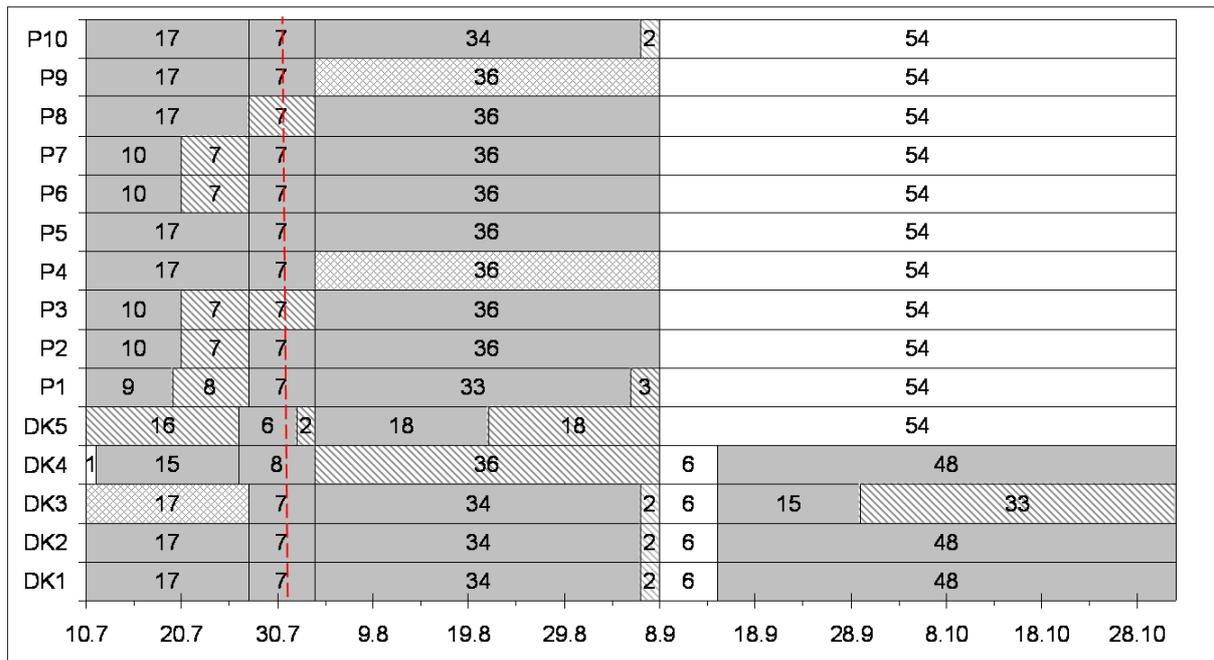


Bild 5.7: Datenaufzeichnung der Schweinswalaktivität durch C-PODs zwischen dem 10.7.08 und dem 2.11.08. Graue Balken: POD zeichnete Daten auf, karierte Balken: Gerät ging verloren, schraffierte Balken: Gerät war ausgebracht, zeichnete jedoch aufgrund eines technischen Defektes keine Daten auf, weiße Balken: kein Gerät ausgebracht. Die rote gebrochene Linie markiert den Tag der Rammung der FINO3 (31.7.08).

5.4.4.2 Datenauswertung

Software

Die Signale werden in Echtzeit aufgezeichnet, so dass es durch die zeitliche Auflösung der Klicks möglich wird, Klickabfolgen („trains“) zu erkennen. Die Klickrohdaten werden mit der zu den Detektoren gehörenden Software CPOD.exe ausgelesen und mit Hilfe eines programmierten Algorithmus auf die Wahrscheinlichkeit von echten Schweinswalklicks hin geprüft. Der Algorithmus sucht nach Klickserien mit bestimmten Mustern und nutzt dazu sämtliche aufgezeichneten Merkmale eines Lautereignisses, wie z. B. Bandbreite, Frequenzspektrum oder Lautintensität. Die Klicks werden von der Software in vier verschiedene Klassen mit abnehmender Wahrscheinlichkeit eingeteilt:

Train filters quality high: Diese Klickserien sind mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit (> 95%) Schweinswallaute.

Train filters quality moderate: Kurze Klickserien, die wahrscheinlich Schweinswallaute sind.

Train filters quality low: Klicktrains mit Lautmustern, die möglicherweise Schweinswallaute sind, aber aufgrund ihres vom Ideal abweichenden Musters auch anderen Ursprungs sein können.

Train filters quality doubtful: Abfolgen von Klickserien, die aufgrund ihrer Länge oder zeitlichen Muster eher technischen Ursprungs sind. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden,

dass sich darunter auch Schweinswalklickserien von Tieren befinden, deren ausgestoßene Laute das Hydrofon nur teilweise, aus großer Entfernung oder einem ungünstigen Winkel treffen.

Zur weiteren Auswertung wurden nur Schweinswalklicks herangezogen, die in den beiden oberen Klassen eingestuft wurden. Damit schließen wir aus, dass fälschlicherweise als Schweinswale klassifizierte Laute mit in die Auswertung einbezogen werden. Da wir uns im Seegebiet westlich von Sylt in einem Gebiet mit relativ hohen Schweinswaldichten bewegen und auch mit den beiden höchsten Kategorien täglich Wale aufzeichneten, ist die Datenmenge ausreichend, um Aussagen über An-/Abwesenheitsmuster und relative Dichten treffen zu können, ohne dass die Daten über falsche Klassifizierungen beeinflusst sind. Da der Fehler, der durch den Algorithmus übersehenen echten Schweinswalklickserien entsteht, konstant und für alle Positionen gleich ist, wird er nicht weiter berücksichtigt.

Wichtige Voraussetzung für den Vergleich verschiedener Positionen ist, dass sich die Sensitivität der Geräte nicht unterscheidet. Laut Herstellerangaben liegt der maximale Unterschied in der absoluten Hörempfindlichkeit bei 130 kHz bei nur 2 dB, was keinen Effekt aufgrund verschiedener Sensitivitäten erwarten lässt.

Auswertungsparameter und Statistik

Die aufgezeichneten Daten aller vom Algorithmus identifizierten Klicktrains der beiden höchsten Wahrscheinlichkeitsklassen werden in einer mikrosekundengenauen Auflösung mit Hilfe der Software CPOD.exe exportiert, in eine Access-Datenbank überführt und dort weiter ausgewertet.

Folgende Parameter wurden ausgewertet:

„Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag“ („Porpoise Positive ten Minutes per day“, PP10M/day): Zeigt an, wie viele der 144 10-Minutenblöcke eines 24-Studentages mit mindestens einer Schweinswalregistrierung sind. Fast alle Angaben beziehen sich auf einen 24-Stunden-Tag mit Ausnahme der wenigen Tage, an denen die Geräte ausgetauscht wurden. Dann fehlen drei bis sechs Stunden des entsprechenden Tages. Auch dieser Parameter dient als Maß für relative Schweinswaldichte mit einer zeitlich höheren Auflösung und wurde von uns zur Darstellung der Phänologie des Schweinswals im Seegebiet um FINO3 benutzt.

Für die Auswertung des Anteils schweinswalpositiven zehn Minuten pro Tag zogen wir nur Tage heran, an denen die Geräte mindestens zehn Stunden aufzeichneten. Da die Daten keine Normalverteilung sondern eine Poisson-Verteilung aufwiesen, verwendeten wir für den Vergleich zwischen Positionen und Monaten Mediane und keine Mittelwerte. Um auf Unterschiede zwischen den Monaten Juli und August (der Hauptuntersuchungszeitraum) zu testen, verwendeten wir einen nichtparametrischen Mann-Whitney-Test für zwei unabhängige Stichproben. Um auf Unterschiede zwischen den einzelnen POD-Positionen zu testen nutzten wir einen nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test für mehrere unabhängige Stichproben.

„Schweinswalpositive Minuten pro Stunde“ („Porpoise Positive Minutes per Hour“, PPM/H): zeigt an, wie viele der 60 Minuten einer Stunde mit mindestens einer Schweinswalregistrierung sind. Dieser Wert wurde zur Analyse eines Tagesrhythmus herangezogen. Da in diesem Fall Daten jeweils eines Gerätes miteinander verglichen werden, kann hier auf den höchst auflösenden Parameter PPM zurückgegriffen werden, ohne dass eine Gefahr der Verzerrung durch unterschiedlich sensitive Geräte besteht.

Einen 24-Stunden Zyklus berechneten wir im Weiteren mit Hilfe von GAM-Analysen. Ein Generalized Additive Model (GAM), mit welchem man nichtlineare Zusammenhänge überprüfen kann, ist ein statistisches Modell (Hastie & Tibshirani, 2001), mit dem Erwartungswerte E einer abhängigen Variablen y (response variable, hier PPM/H) mit Hilfe einer oder mehrerer unabhängiger (Co-)Variablen (x_1 bis x_n) (predictor variable) berechnet werden können. Hierzu werden frei wählbare, oft nicht parametrische Funktionen der unabhängigen Co-Variablen mathematisch bestimmt, die additiv die Erwartungswerte der abhängigen Variablen wiedergeben. Neben der Angabe, wie gut das Modell mit den gewählten Co-Variablen die Daten der abhängigen Variable erklärt, wird für jede einzelne Co-Variable die Signifikanz des Einflusses auf die abhängige Variable angezeigt. In unserem Fall wendeten wir parameterfreie GAMs (Wood, 2006) auf die Daten an, unter Benutzung des Statistikprogramms R (R, Version 2.5.1, Development Core Team, 2007) und dem Packet mgcv (Wood, 2004). Die Anzahl schweinswalpositiver Minuten pro Stunde (PPM/hour) wurde als abhängige Variable unter der Annahme einer Quasi-Poisson-Verteilung gewählt, Stunde wurde als nicht lineare Variable, Position und Monat als Faktor sowie die Interaktion von Stunde mit Position eingegeben. Da der Einfluss dieser Interaktion sich als signifikant herausstellte, rechneten wir das Modell in einem zweiten Schritt getrennt für die einzelnen Positionen und stellten den Zusammenhang zwischen der Tageszeit und der Schweinswalaktivität visuell als die mittlere Abweichung der „PPM/hour“ in Abhängigkeit der Co-Variablen „Stunde eines Tages“ (entsprechen 0 bis 23Uhr) samt 95 %igen Vertrauensbereich (CI) vom Mittelwert des PPM/hour über den gesamten Untersuchungszeitraum berechnet dar. In dieser graphischen Darstellung dient der Mittelwert als Nulllinie. Allgemein gilt: liegt der berechnete Vertrauensbereich über oder unter dem Mittelwert, so ist die Abweichung vom Mittelwert signifikant unterschiedlich. In diese Untersuchungen flossen nur die Daten zwischen dem 10.07.08 und dem 8.9.08 ein, da zu späteren Zeitpunkten nur Daten von DK1 bis DK4 vorlagen.

„Schweinswalereignis“: Wird auch als „encounter“ bezeichnet und ist ein Maß für die Nutzung des Gebietes durch Schweinswale. Ein Schweinswalereignis ist definiert als die Zeitlänge in Minuten, in der Schweinswallaute registriert werden mit einem zeitlichen Abstand von weniger als 10 Minuten zueinander. Dieses Zeitintervall von 10 Minuten wurde von Teilmann *et al.* (2002) nach Inspektion der Klickmuster von Schweinswalen vorgeschlagen und in folgenden Studien von mehreren Autoren verwendet (Tougaard *et al.* 2006a, Carstensen *et al.* 2006, Diederichs *et al.* 2008a, Brandt *et al.* 2009).

Sobald eine längere Pause (=„Wartezeit“) von mehr als 10 Minuten entsteht, beginnt ein neues Ereignis mit der Aufnahme von erneuten Schweinswallauten. Entsprechend ist die „Wartezeit“ die Zeit zwischen zwei Ereignissen und definitionsgemäß mindestens 10 Minuten lang. Der Faktor Wartezeit wurde zur Analyse des Einflusses der Rammarbeiten herangezogen. Dazu wurde die Wartezeit, die vor dem ersten Schweinswalereignis nach Ende der Rammaktivität aufgezeichnet wurde, als erste Wartezeit (nach Ende der Rammaktivität) bestimmt. Alle folgenden Wartezeiten wurden entsprechend fortlaufend nummeriert. Eine statistische Auswertung war aufgrund eines einzelnen Rammereignisses nicht möglich. Daher wurde die Länge der ersten Wartezeit nach Ende der Rammaktivität als Maß dafür gewertet, wie lange Schweinswale aus dem Gebiet während und nach der Rammung in den einzelnen Entfernungskategorien an denen PODs ausgebracht waren, vertrieben wurden.

Um die Wartezeiten nach der Rammung mit normalerweise erwarteten Werten vergleichen zu können, stellten wir zum einen alle Wartezeiten während 5 Tage vor und nach der Rammung dar. Da dieser Werte aufgrund eines statistischen Problems (das „bus paradox“ Ito *et*

a). 2003) jedoch nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind, legten wir zum anderen 15 zufällige Zeitpunkte aus dem gesamten Untersuchungszeitraum fest und ordneten diesen die entsprechenden Wartezeiten zu. Die nach der Rammung beobachteten Wartezeiten wurden nun mit diesen 15 zufälligen Wartezeiten in Beziehung gesetzt. Da diese Wartezeiten zu einem großen Teil jedoch die insgesamt 13 Stunden andauernde Rammperiode beinhalteten, und es auch von Interesse ist, wie lange nach Ende der Rammung es dauert, bis wieder Schweinswale im Gebiet sind, rechneten wir aus, wie lange nach der Rammung es dauerte bis wieder Schweinswale registriert wurden (der Teil der ersten Wartezeit nach Rammung, die nach Ende der Rammung liegt). Dies verglichen wir dann ebenso mit der Teildauer der 15 zufälligen Wartezeiten, die nach den zufällig gesetzten Zeitpunkten liegt.

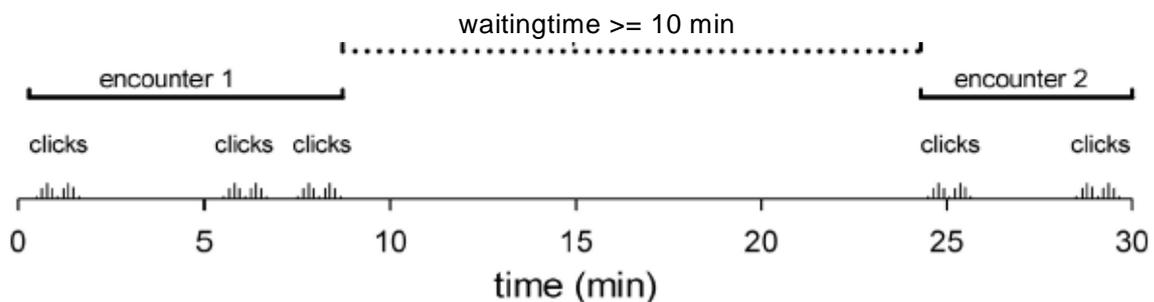


Bild 5.8: Schweinswalereignis (encounter) und Wartezeit (waitingtime) als Parameter für Schweinswalaktivität.

5.5 Ergebnisse

5.5.1 Flugzeugetfassungen

5.5.1.1 Schweinswaldichten

Insgesamt betrug der effektive auswertbare Flugaufwand 3756 km. Hieraus ergab sich unter Berücksichtigung des einzusehenden Bereiches anhand der ESW ein insgesamt 480,25 km² großes Gebiet, das abgedeckt werden konnte (Tabelle 5.5). Hierbei wurden insgesamt 536 Schweinswale während 367 Sichtungen registriert (Tabelle 5.8). Es konnten während aller fünf Flüge Schweinswale auch mit Kälbern im Untersuchungsgebiet beobachtet werden. Die Schweinswaldichten variierten zwischen den einzelnen Flugtagen und lagen an den drei Flügen vor der Rammung der Forschungsplattform zwischen 6,6 und 14,7 Tieren / km². Der erste Flugtag mit 14,7 Tieren / km² ist hierbei jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da diese Berechnung auch eine sehr hohe Standardabweichung aufweist, sowie eine ungewöhnlich kleine ESW berechnet wurde und der Wert somit mit einem sehr hohen Unsicherheitsfaktor belegt ist. Dies wird auch deshalb deutlich, weil an den beiden anderen Flügen vor der Rammung sowie am Flug zwei Wochen nach der Rammung die Dichten mit einer deutlich geringeren Standardabweichung sehr nah beieinander lagen (6,6, 7,3 Wale und 7,9 Wale / km²). Am Tag der Rammung sank die Schweinswaldichte auf 1,6 Tiere / km² ab; 16 Tage nach der Rammung lag die Dichte wieder bei 7,9 Tieren / km² (Bild 5.9). Die Gründe für einen geringen ESW Wert am ersten Flugtag (06.07.2008) sind unklar. Bei einer sehr unter-

schiedlichen Anzahl an Sichtungen auf den einzelnen Transekten, welche zufällig sehr nahe der Grundlinie liegen, kann es zu einer solchen Situation kommen. Dies wurde vermutlich durch nur suboptimale Sichtungsbedingungen, welche die Sichtung von Tieren in größerer Distanz zur Grundlinie erschweren, verstärkt. Die hohe Streuung in den Daten zeigen die Unsicherheit des Medians an, so dass der Median als Resultat nicht ausgehend diskutiert wird. Die Ergebnisse dieses Tages sind im Ergebnisteil als unsicherer Wert gekennzeichnet.

Das Flugdatum hatte einen hochsignifikanten Einfluss auf die Schweinswaldichten (Tabelle 5.6). Ein Post Hoc-Tukey-Test für multiple Vergleiche ergab, dass diese Unterschiede zwischen der am Tag der Rammung ermittelten Schweinswaldichte und denen an den übrigen vier Flügen ermittelten Dichten liegen (Tabelle 5.7), die anderen Dichten unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Tabelle 5.7). Am Tag der Rammung reduzierte sich die Schweinswaldichte mit 1,62 Schweinswalen / km² im gesamten Untersuchungsgebiet um 78 % gegenüber der Dichte am Tag zuvor. Am 16.08.2008 hingegen war die Dichte jedoch wieder stark angestiegen und lag in der Größenordnung der vor der Rammung festgestellten Schweinswaldichten.

Tabelle 5.5: Mittlere Schweinswaldichten mit Standardabweichung und Größe des effektiv abgesuchten Gebietes (sich ergebend aus geflogenen Kilometern und der ESW) an den einzelnen Flugtagen berechnet über einzelne Transekte. Die Werte für den 06.07.2008 beinhalten einen hohen Unsicherheitsfaktor und werden daher nicht weiter interpretiert.

Datum	Mittlere Anzahl Schweinswale / km ²	Standardabweichung	Größe des beflogenen Gebietes in km ²
06.07.2008	(14,69)	(15,37)	(39,27)
24.07.2008	6,64	3,76	117,86
30.07.2008	7,26	4,14	162,11
31.07.2008	1,62	0,78	109,86
16.08.2008	7,90	6,51	52,20
Mittelwert: 7,60 ± 4,7			Summe: 481,3

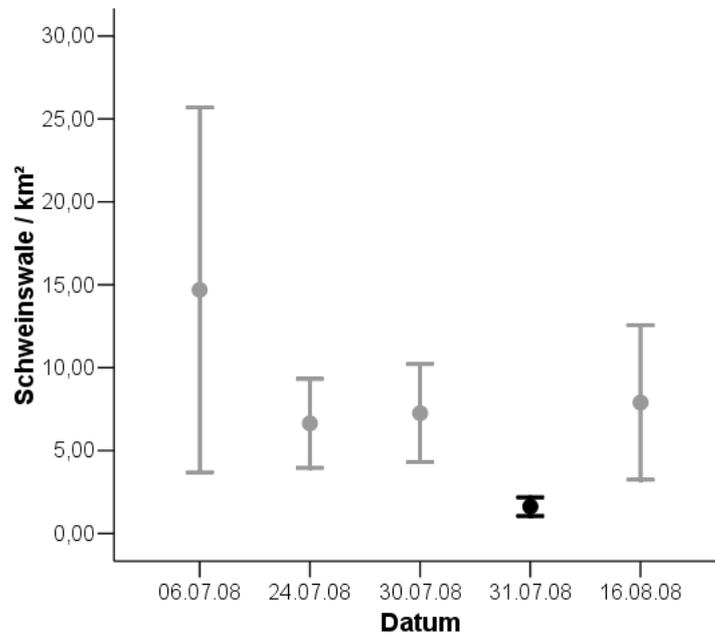


Bild 5.9: Mittlere Schweinswaldichten mit Standardabweichung während der einzelnen Flugtage. Die Dichte am Tag der Rammung der FINO3 (31.07.2008) ist in schwarz, die an den übrigen Tagen in grau dargestellt.

Tabelle 5.6: Ergebnisse des GLM zur Berechnung des Einflusses des Flugdatums auf die Schweinswaldichten (für Statistik siehe Sokahl and Rohlf 1995).

Abhängige Variable: log (Wale / km² / Transekt)				
Unabhängige Variable	Typ III Sum of Squares	df	F	p
Korrigiertes Modell	4,8	5	10,73	< 0,001
Flugdatum	3,60	4	10,06	< 0,001
Seegang	0,43	1	4,83	< 0,05
Intercept	3,93	1	44,34	< 0,001
Total sum of squares	32,98			

Tabelle 5.7: Ergebnisse des Tukey-Tests (Sokahl and Rohlf 1995) zur Berechnung der Unterschiede zwischen den Schweinswaldichten and den jeweiligen Flugtagen.

Abhängige Variable: log Wale / km² / Transekt			
Flugdatum der zu vergleichenden Schweinswaldichte:	verglichen mit Schweinswaldichten während des Fluges am:	p	Mittlerer Unterschied in log Wale / km² / Transekt
06.07.2008	24.07.2008	0,28	0,28
	30.07.2008	0,43	0,24
	31.07.2008	< 0,001	0,89 *
	16.08.2008	0,26	0,29
24.07.2008	06.07.2008	0,28	- 0,28
	30.07.2008	1,00	- 0,04
	31.07.2008	< 0,01	0,61 *
	16.08.2008	1,00	0,01
30.07.2008	06.07.2008	0,43	- 0,24
	24.07.2008	1,00	0,04
	31.07.2008	< 0,001	0,65 *
	16.08.2008	1,00	0,05
31.07.2008	06.07.2008	< 0,001	- 0,89 *
	24.07.2008	< 0,01	- 0,61 *
	30.07.2008	< 0,001	- 0,65 *
	16.08.2008	< 0,01	- 0,61 *
16.08.2008	06.07.2008	0,26	- 0,29
	24.07.2008	1,00	- 0,01
	30.07.2008	1,00	- 0,05
	31.07.2008	< 0,01	0,61 *

5.5.1.2 Räumliche Verteilung

Die Schweinswale waren an den einzelnen Flugtagen recht unterschiedlich im Untersuchungsgebiet verteilt (Bild 5.10 bis Bild 5.14). Die Verteilung der Kälber wies kein besonderes Muster auf, sondern folgte der Verteilung der übrigen adulten Tiere (Bild 5.10 bis Bild 5.14). Am 6.7.08 trat eine höhere Konzentration an Schweinswalen im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf, während der westliche Teil nur in sehr geringem Maß genutzt wurde (Bild 5.10). Dies ist am 24.07 (Bild 5.11) und am 30.07. (Bild 5.12) so nicht mehr erkennbar. Nur der südwestliche Bereich des Untersuchungsgebietes schien generell in geringerem Ausmaß genutzt zu werden als die übrigen Teilgebiete. Dies war während der vier Flüge vor und nach der Rammung ersichtlich. Des Weiteren wurde in dem Quadranten direkt südwestlich der FINO3 während aller Flüge konstant eine hohe Zahl an Schweinswalen beo-

bachtet. Am 16.08., dem Flug zwei Wochen nach der Rammung, ist eine höhere Konzentration im östlichen Bereich wieder erkennbar (Bild 5.14). Zusammenfassend scheint es kleine Teilgebiete zu geben, die über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg ziemlich kontinuierlich genutzt wurden, (z.B. der eine Quadrant südöstlich der FINO) sowie Teilgebiete, die nur wenig genutzt wurden (der gesamte südwestliche Bereich des Untersuchungsgebietes). Darüber hinaus war die Verteilung der Schweinswale jedoch überaus variabel. Die Tiere tauchten meist gehäuft in einigen Teilgebieten auf, deren genaue Lage jedoch zwischen den einzelnen Tagen sehr variierte.

Am Tag der Rammung (31.07.08) war die beobachtete Schweinswaldichte im gesamten Untersuchungsgebiet gering. Eine räumliche Abgrenzung dieses Effektes ist nicht erkennbar. Auch konnte keine signifikante Korrelation zwischen der Distanz eines Quadranten zur Baustelle und der in diesem Quadranten berechneten Schweinswaldichte festgestellt werden ($r=0,24$; $n=70$; $p=0,84$). Es ist jedoch auffällig, dass alle Quadranten, in denen Dichten mit mehr als 5 Tieren / km² festgestellt wurden, ausschließlich am äußersten Rand des Untersuchungsgebietes lagen (Bild 5.13), was an den Tagen zuvor und danach, als hohe Dichten auch im Zentrum des Gebietes beobachtet wurden, so nicht feststellbar war.

Der Aufwand an den einzelnen Flugtagen ist Bild 5.40 bis Bild 5.44 im Anhang zu entnehmen.

Eine Abhängigkeit der Waldichten in den einzelnen Quadranten vom Abstand dieser Quadranten zur FINO3-Baustelle war nur am 24.07.08 zu erkennen. An diesem Tag nahmen die Dichten mit größerer Distanz zur FINO3 signifikant ab ($r=0,27$, $n=70$, $p<0,05$). An keinem anderen Tag war ein solcher signifikanter Zusammenhang erkennbar (alle $p>0,1$). Auch am Tag der Rammung (31.07.08) war kein signifikanter Zusammenhang erkennbar ($r=0,02$, $n=70$, $p=0,88$). Obwohl die Schweinswaldichte im gesamten Untersuchungsgebiet am Tag der Rammung signifikant reduziert war, war kein räumlicher Gradient in Abhängigkeit von der Distanz zur Baustelle erkennbar (Bild 5.15).

5.5.1.3 Gruppenzusammensetzung und Kälberanteil

Schweinswalkälber wurden während aller Flüge beobachtet. Der Kälberanteil schwankte zwischen 8,5 % und 15,2 %. Bei allen Sichtungen von eindeutig identifizierten Schweinswalkälbern handelte es sich um Gruppen mit zusätzlich mindestens einem adulten Tier. Einzelne Kälber wurden nicht beobachtet. Der Kälberanteil am Tag der Rammung war zwar der höchste während aller fünf Flüge beobachtete Wert, schien sich jedoch nicht stark von denen an den übrigen Tagen festgestellten Anteilen zu unterscheiden (Tabelle 5.15: im Anhang).

Den größten Anteil der beobachteten Gruppengrößen bildeten mit 71 % Einzeltiere, gefolgt von Gruppen mit zwei Tieren (23 %) (Tabelle 5.16 im Anhang). Von den Gruppen mit zwei Tieren waren 58 % (51 Sichtungen) Gruppen mit einem adulten Tier und einem Kalb. Die restlichen Gruppengrößen von drei bis sechs Tieren machten insgesamt etwa 6 % aus. Unter diesen waren 39 % (9 Sichtungen) mit mindestens einem Jungtier. Insgesamt zweimal konnten Gruppen mit mehr als einem Jungtier beobachtet werden. Hierbei handelte es sich einmal um eine Gruppe mit zwei Kälbern und zwei adulten Tieren am 24.07.2008 und einmal um eine Gruppe mit 2 Kälbern und drei adulten Tieren am 16.08.2008. Die mittlere Gruppengröße während der Rammung lag zwischen denen an den übrigen Flugtagen (Tabelle 5.17 im Anhang).

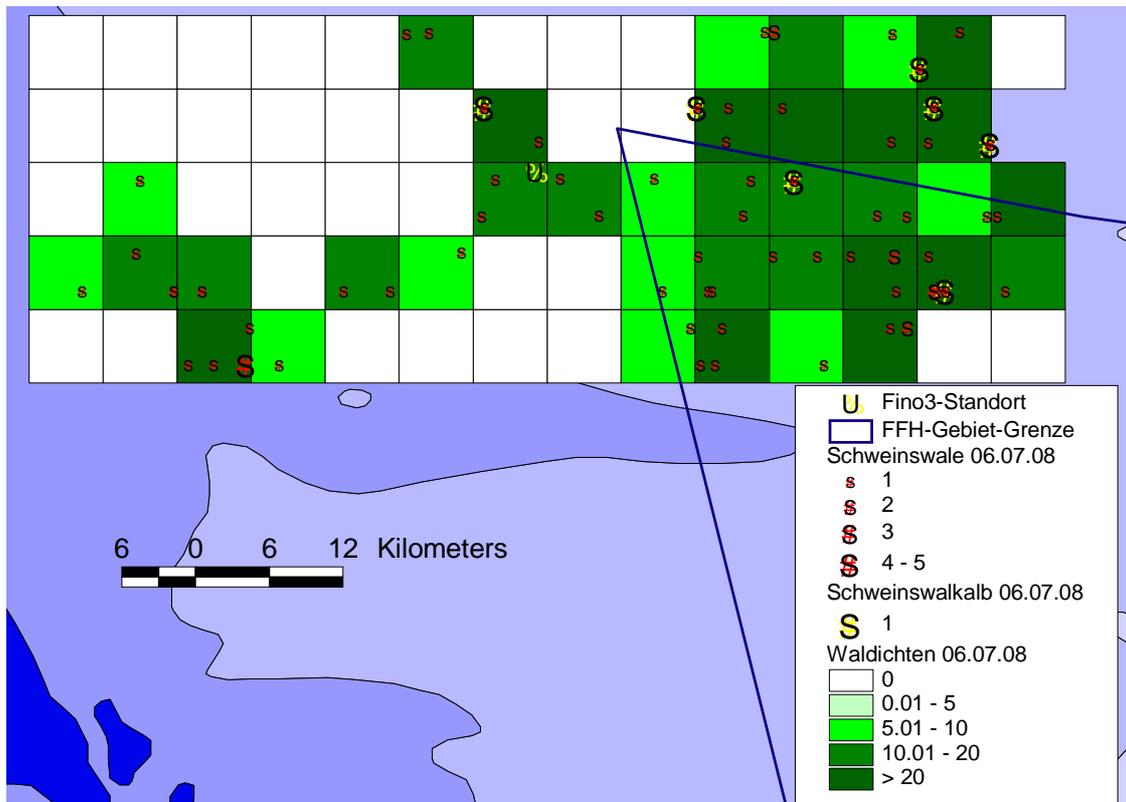


Bild 5.10: Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km² am 06.07.2008. Zusätzlich sind die einzelnen Schweinswalbeobachtungen als rote Punkte eingetragen.

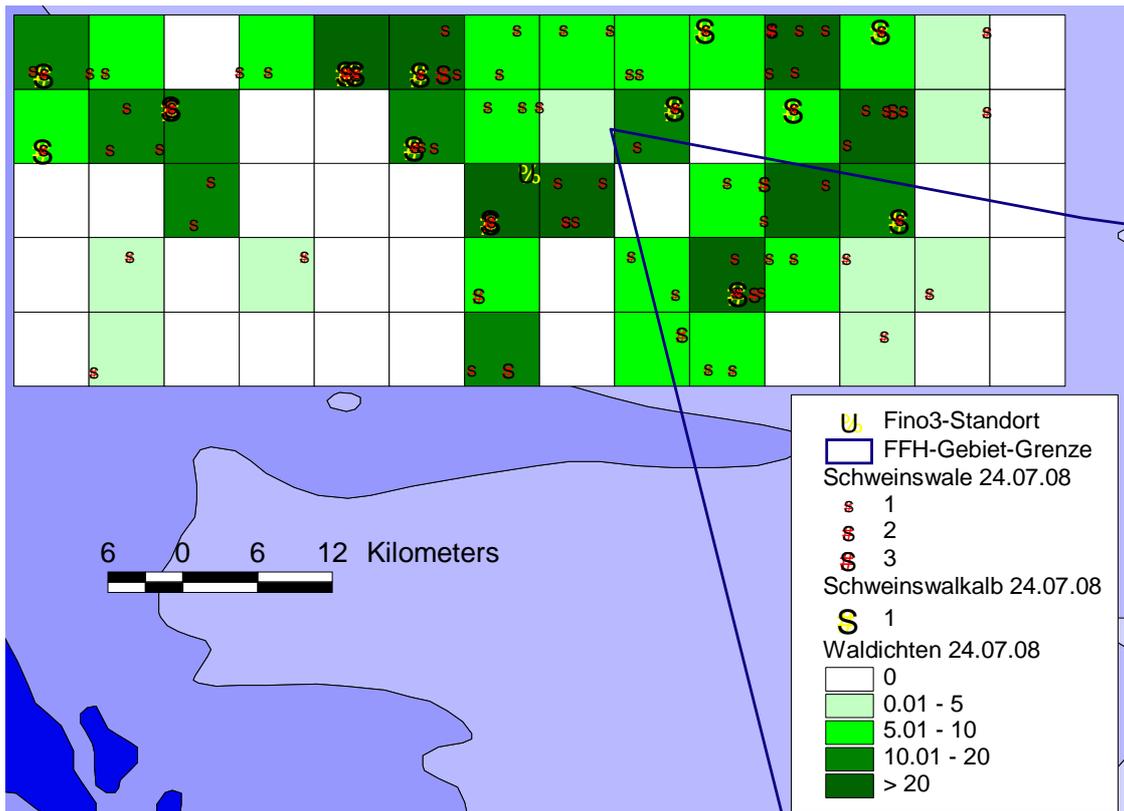


Bild 5.11: Schweinswalddichten angegeben in Schweinswale / km² am 24.07.2008. Zusätzlich sind die einzelnen Schweinswalbeobachtungen als rote Punkte eingetragen.

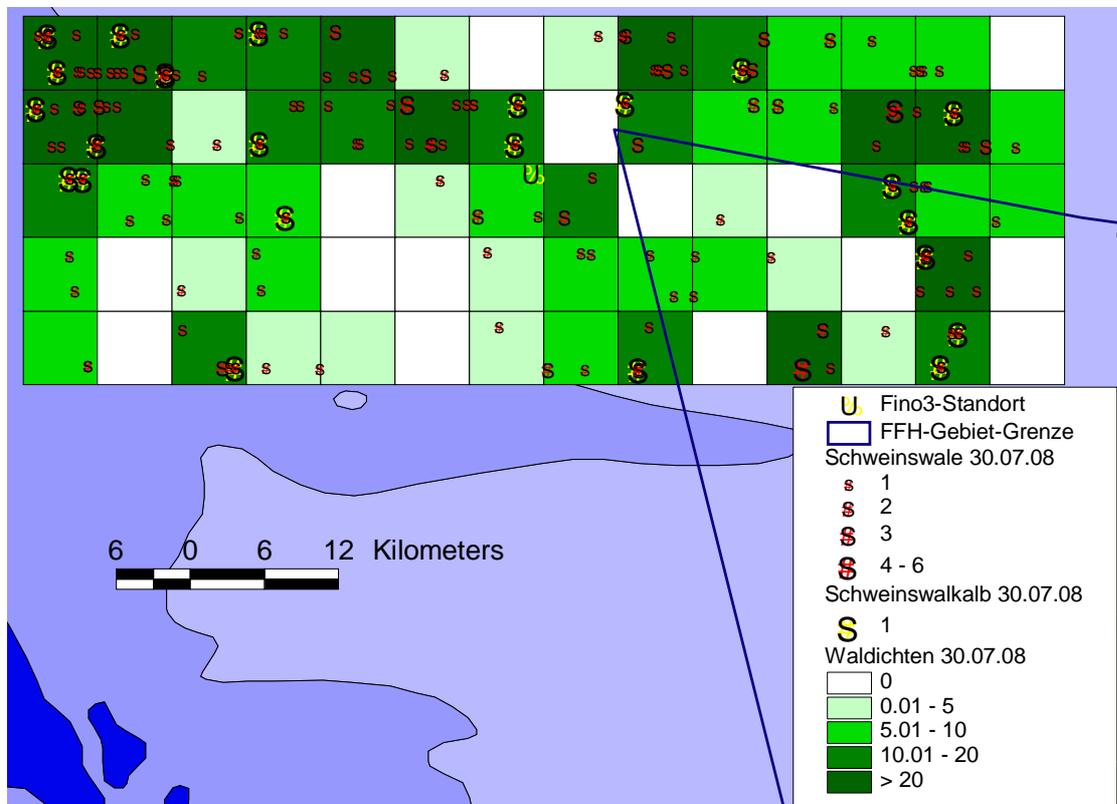


Bild 5.12: Schweinswalddichten angegeben in Schweinswale / km² am 30.07.2008. Zusätzlich sind die einzelnen Schweinswalbeobachtungen als rote Punkte eingetragen.

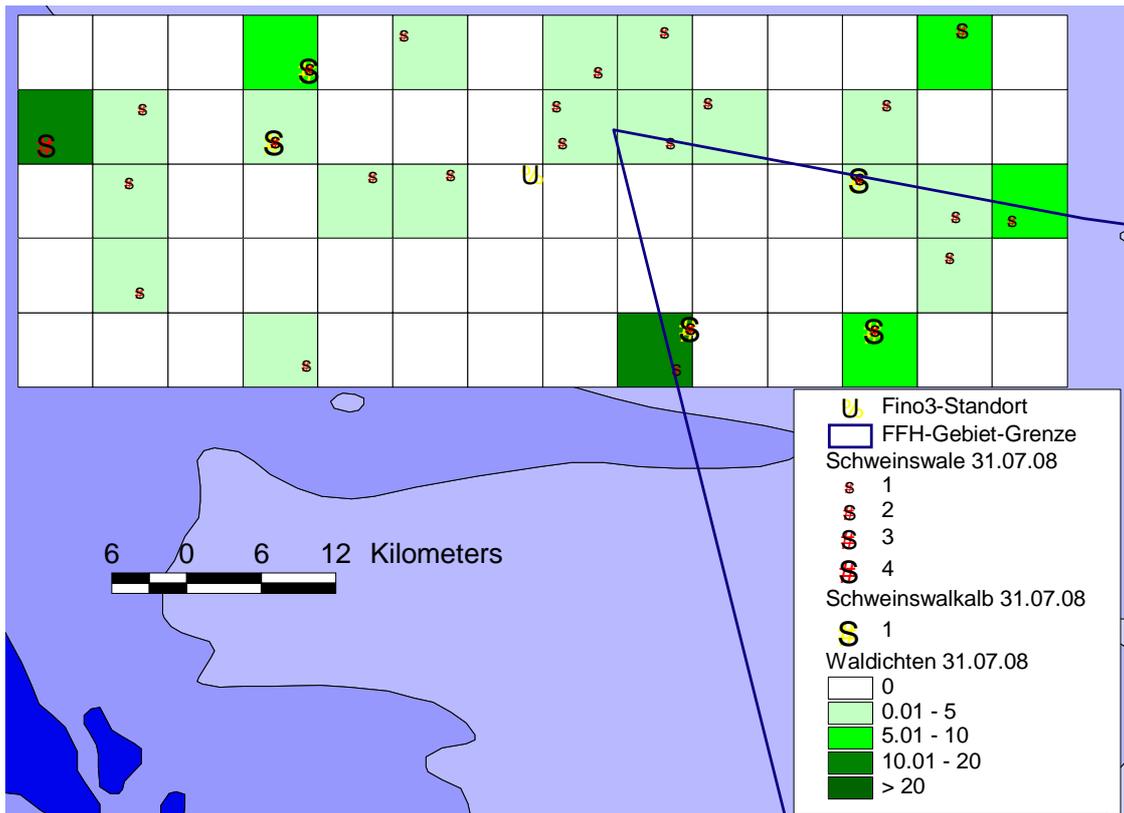


Bild 5.13: Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km² am 31.07.2008. Zusätzlich sind die einzelnen Schweinswalbeobachtungen als rote Punkte eingetragen.

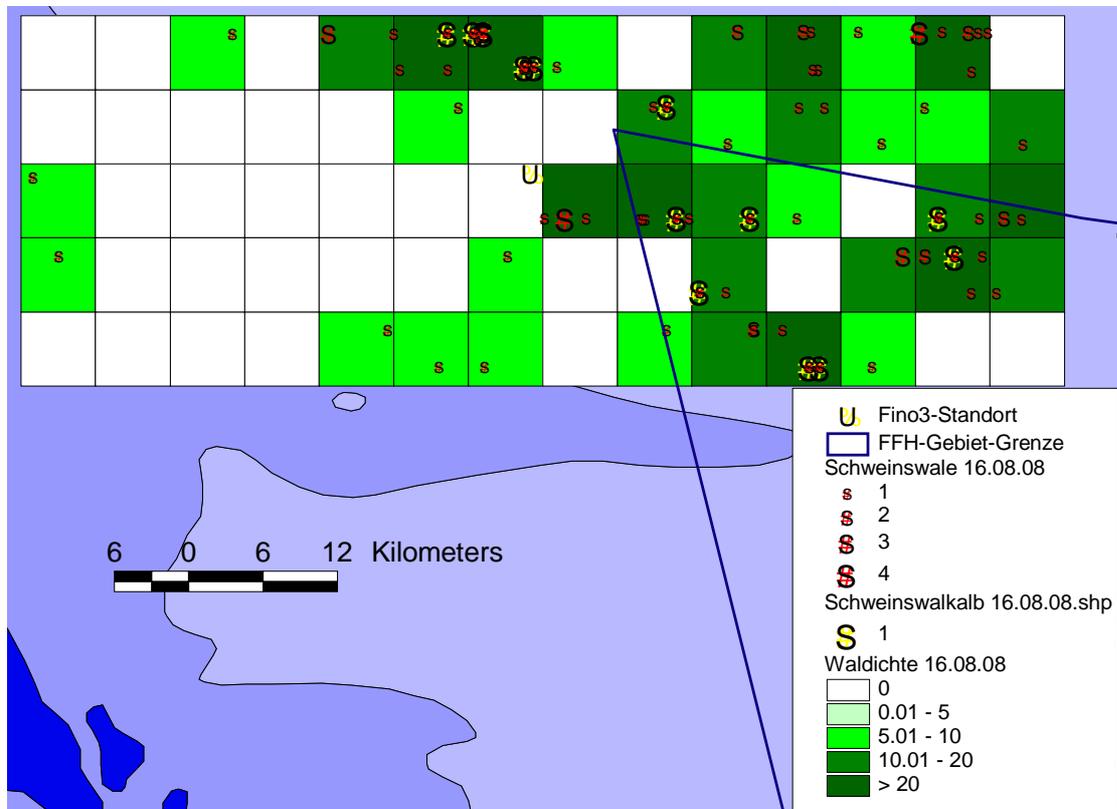


Bild 5.14: Schweinswaldichten angegeben in Schweinswale / km² am 16.08.2008. Zusätzlich sind die einzelnen Schweinswalbeobachtungen als rote Punkte eingetragen.

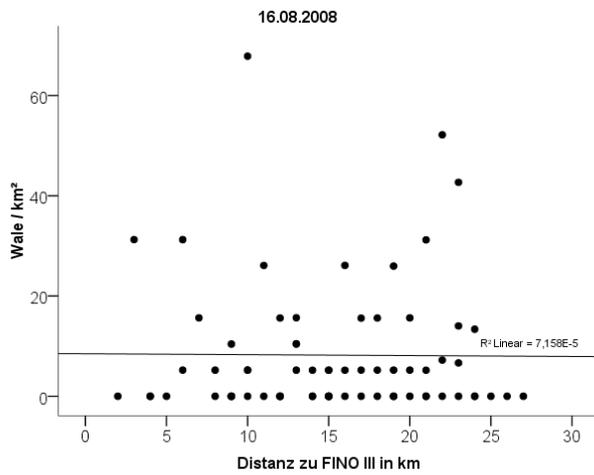
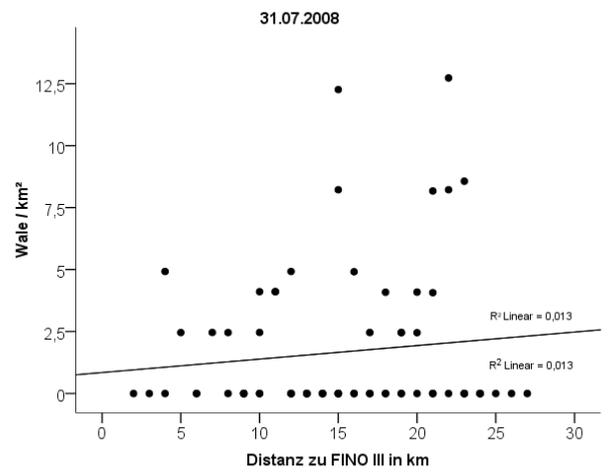
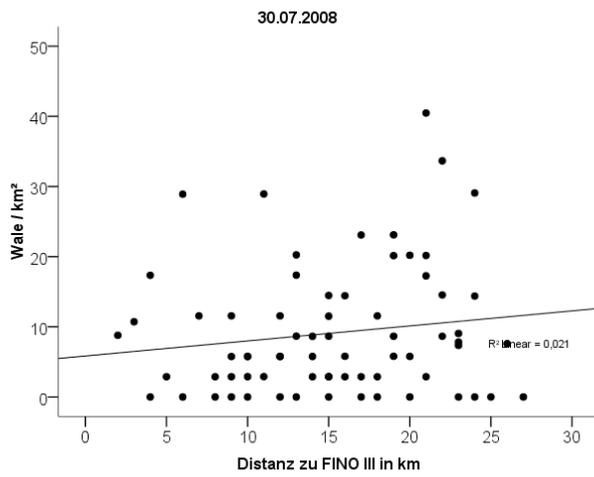
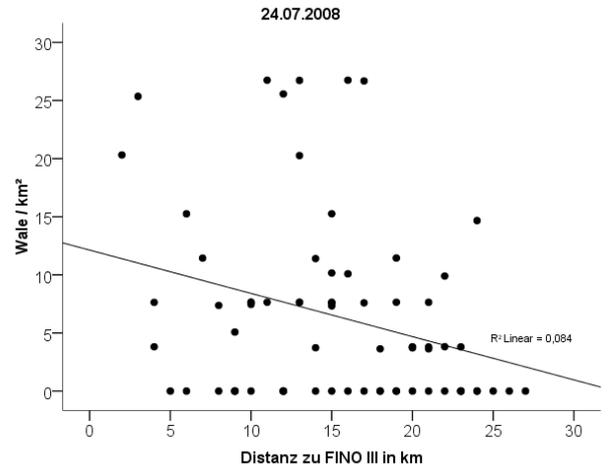
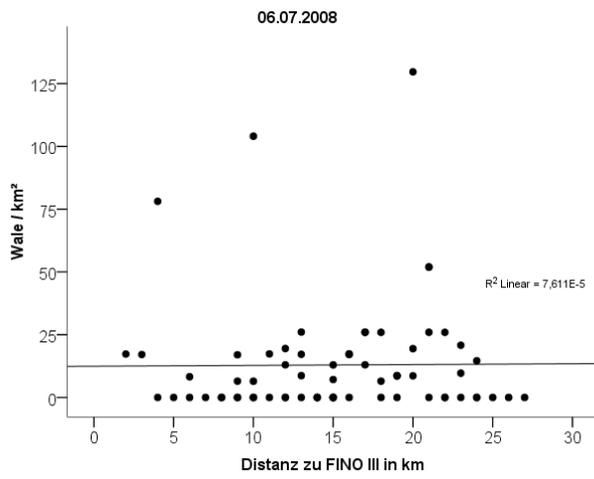


Bild 5.15: Waldichten, in den einzelnen Quadranten aufgetragen, gegen den Abstand dieses Quadranten zur FINO3. Ein signifikanter Zusammenhang ergab sich nur für den 24.07.08.

5.5.1.4 Schwimmrichtungen

Die Schwimmrichtungen der beobachteten Schweinswale an den einzelnen Flugtagen weist keine besondere Ausrichtung auf. Sie scheinen, abgesehen davon, dass in der Regel absolute Himmelsrichtungen (Nord, Ost, Süd und West) öfter vorkommen als dazwischen liegende Richtungen (z.B. Südwest), eher zufällig verteilt zu sein (Bild 5.16). Nur am Tag der Rammung am 31.07. schien ein besonders hoher Anteil an Schweinswalen eher nach Süden und Westen ausgerichtet zu sein als nach Norden oder Osten. Diese ungleichmäßige Verteilung könnte aber auch einfach an den geringen Sichtungen liegen, die für diesen Tag vorliegen. Am 06.07. schwamm ein etwas höherer Anteil an Schweinswalen nach Westen als in die übrigen Richtungen. Es konnte nicht festgestellt werden, dass die am Tag der Rammung gesichteten Tiere generell eine Schwimmrichtung von der Schallquelle weg aufwiesen (Bild 5.17d), allerdings schwammen auch nur 2 Tiere im ganz äußersten Bereich des Gebiets direkt auf die Schallquelle zu (Bild 5.17d).

5.5.1.5 Abstand der Schweinswalbeobachtungen zur FINO3-Baustelle

Am Tag der Rammung, sowie am Tag zwei Wochen nach der Rammung war der Abstand des nächsten Schweinswals und des nächsten Schweinswalkalbs zur Baustelle der FINO3 etwas höher als an den drei Flugtagen zuvor (Tabelle 5.8). Der Unterschied war jedoch eher gering, und aufgrund der geringen Sichtungsanzahl sind die Beobachtungen vom Tag der Rammung auch nicht direkt mit den übrigen Tagen vergleichbar.

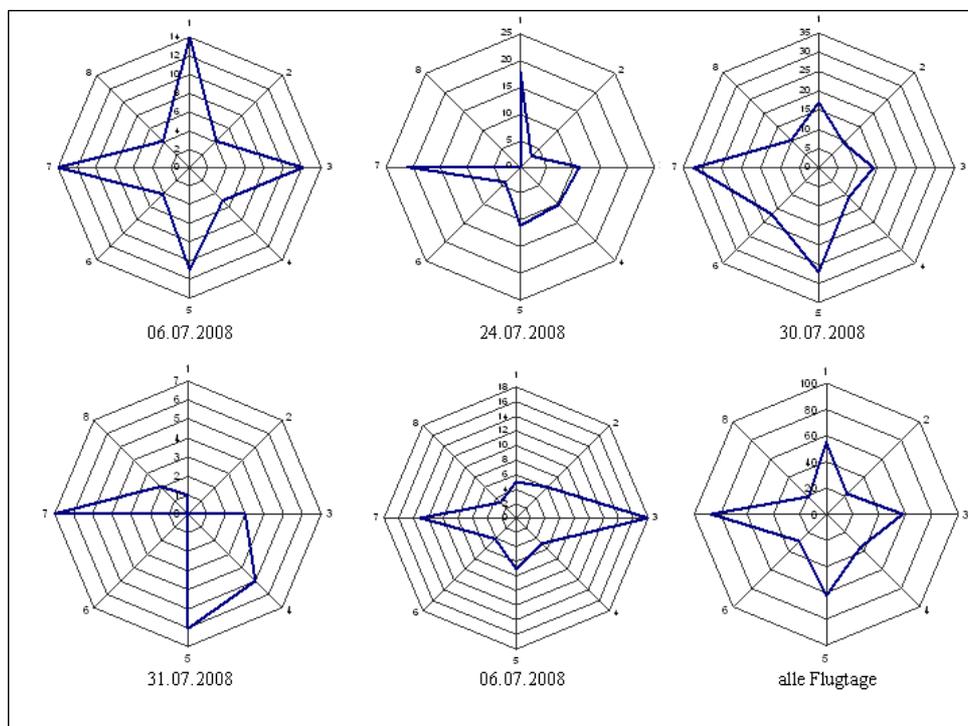


Bild 5.16: Dargestellt ist die Anzahl der festgestellten jeweiligen Schwimmrichtungen der beobachteten Schweinswale bzw. Schweinswalgruppen an den jeweiligen Flugtagen bzw. an allen Flugtagen zusammengefasst.

Tabelle 5.8: Mindestabstand der beobachteten Schweinswale zur Baustelle während der einzelnen Flugtage.

Datum	Distanz des nächsten Schweinswals zur Baustelle der FINO3 in km	Distanz des nächsten Schweinswalkalbs zur Baustelle der FINO3 in km
06.07.2008	1,3	5,8
24.07.2008	1,6	5,6
30.07.2008	2,5	2,5
31.07.2008	3,0	12,0
16.08.2008	3,7	7,7

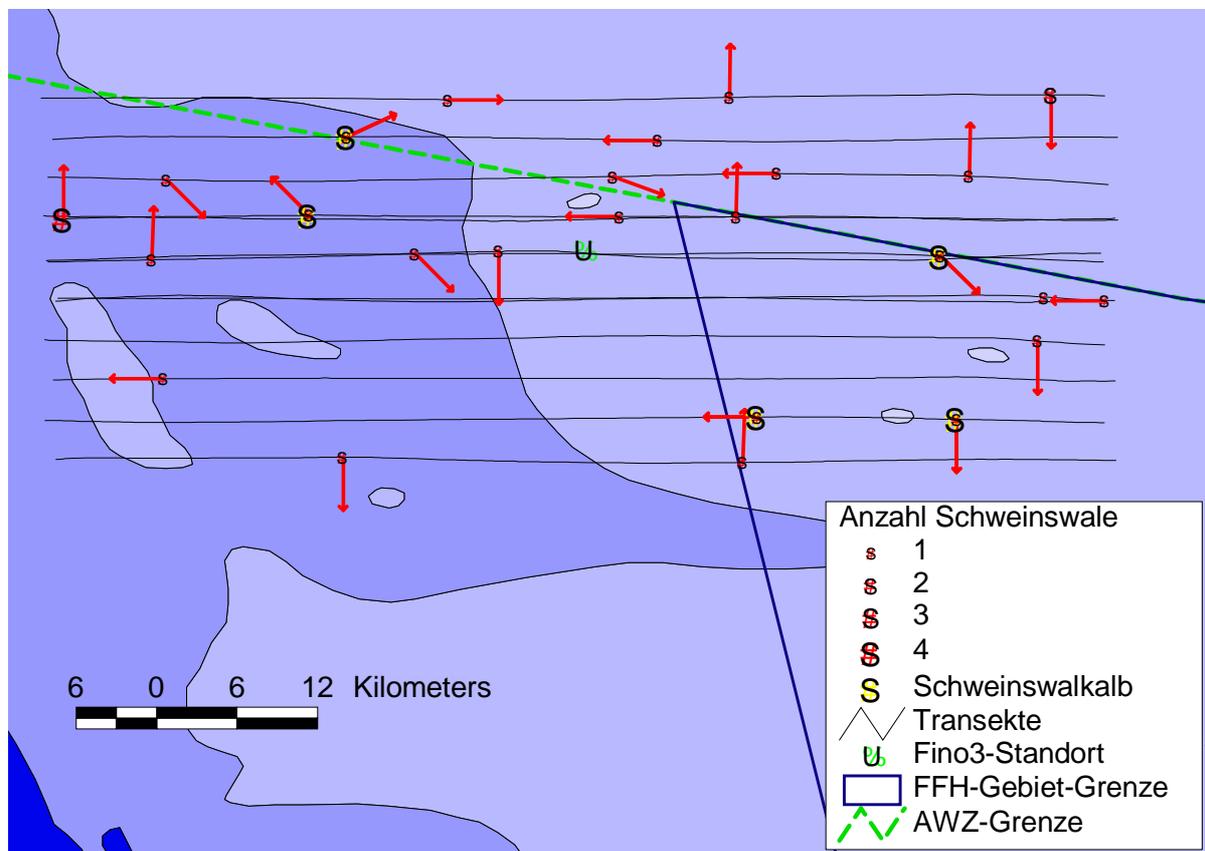


Bild 5.17: Schweinswalverteilung während des Fluges am 31.07.2008, dem Tag der Rammung. Zusätzlich sind hier in roten Pfeilen die Schwimmrichtungen der einzelnen Schweinswale / Schweinswalgruppen dargestellt.

5.5.2 C-POD-Daten

C-PODs werden erst seit Juli 2008 produziert, so dass bisher keinerlei Erfahrungswerte mit diesen Geräten vorliegen. Die vorliegende Studie ist die erste, die mit Hilfe dieser neuen Geräte durchgeführt wurde. Demnach ist ein direkter Vergleich mit Studien, die T-PODs verwendeten, nicht ohne weiteres möglich. Die visuelle Kontrolle zufällig ausgewählter von der

CPOD.exe Software als wahrscheinliche Schweinswalklicks identifizierten Klicktrains ergab keine falsch klassifizierten Klicksequenzen. Es zeigt sich jedoch, dass die Geräte sehr sensitiv auf hochfrequente Störgeräusche reagieren, die deutlich mit Starkwindwetterlagen in Verbindung standen. Einen ähnlichen Zusammenhang konnten Diederichs *et al.* (2008a) auch für Ergebnisse der T-PODs im Seegebiet von Horns Rev darstellen. Bild 5.18 zeigt einen Datenausschnitt vom 6. bis zum 17. August 2008. In dieser Phase lagen drei Starkwindwetterphasen mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 10m/sec (5 Bft). An den Positionen P1 und P2 ist bei allen drei windigen Phasen ein deutlicher Anstieg der aufgezeichneten Rohdatenklicks zu erkennen. Am 13./14. August bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 7 Bft wurde an beiden Positionen sogar das Scanlimit von 4096 Klicks pro Minute für alle Minuten einer Stunde erreicht (245.760 Klicks/Stunde). Gleichzeitig wird deutlich, dass in den Phasen mit starkem Wind und hoher Aufzeichnungsrate von Klicks der Algorithmus der CPOD.exe Software nur sehr wenige bis gar keine echten Schweinswalklicks erkennt.

Wahrscheinlich konnten innerhalb des sehr starken Grundrauschens zu diesem Zeitpunkt keine Schweinswallaute mehr identifiziert werden. Die Geräte sind mit einem so genannten Scanlimit voreingestellt. Das bedeutet, dass sobald eine bestimmte Anzahl Klicks pro Minute aufgezeichnet wurden, keine weiteren Klicks in dieser Minute mehr aufgezeichnet werden können und das Gerät bis zum Beginn der nächsten Minute „taub“ bleibt. Wenn das Hintergrundrauschen so stark ist, dass bereits nach wenigen Sekunden das Scanlimit (in unserem Fall: 4096 Klicks pro Minute) erreicht wird, kann in der Zwischenzeit auch kein Schweinswalklick mehr aufgezeichnet werden.

Die Zeiten mit sehr hohem Hintergrundrauschen sind bei der Auswertung gesondert zu betrachten, um den Fehler zu vermeiden, dass Schweinswale in dieser Zeit aus methodischen Gründen nicht aufgezeichnet werden konnten. Wir haben dazu einen Schwellenwert von 150.000 Klicks pro Stunde definiert, ab dem Daten in der Auswertung als kritisch zu betrachten sind.

Wenden wir diesen Wert auf die Rohdaten an, so zeigt sich, dass nicht an allen Positionen die Geräte gleichermaßen auf Windereignisse reagierten (Bild 5.19). Neben der Position DK5, die mit Abstand die höchste Geräuschbelastung hatte und an 64% aller Stunden das Scanlimit erreichte, sind die Positionen P1, P2, P3 und P7 Positionen mit einem hohen Hintergrundrauschen bei Starkwindwetterlagen. Jedoch bleiben diese Zeiten insgesamt unter 10 % der Gesamtaufzeichnungszeit und nur bei Position P1 erreichen sie 11 %. Da das Phänomen des Hintergrundrauschens unabhängig von den jeweilig eingesetzten Geräten war und positionsstabil immer wieder an denselben Stationen beobachtet werden konnte, können wir davon ausgehen, dass die Ursache dafür nicht bei den C-PODs lag. Unsere Hypothese ist, dass die spezifische Beschaffenheit des Meeresbodens an den jeweiligen Positionen Auslöser für die Aufzeichnung der Störgeräusche ist: Es ist bekannt, dass wandernde Sandkörner, die auf das Hydrofon treffen, hochfrequente Laute auslösen (Tregenza per. Mitt.). Ab einer bestimmten Windgeschwindigkeit kann es dazu kommen, dass durch Strömung und/oder Wellenbewegung Sand in Bewegung gerät und auf die nur ca. 1,5 m über dem Meeresgrund ausgebrachten C-PODs trifft. Dass nicht an allen Positionen gleichermaßen Störgeräusche aufgezeichnet wurden, könnte an unterschiedlichen Strukturen des Meeresbodens liegen.

Da die Geräuschbelastung durch hochfrequentes Hintergrundrauschen an allen Positionen außer an Position DK5 relativ gering war und zudem am stärksten an den Positionen auftrat,

an denen trotzdem die meisten Schweinswale aufgenommen wurden (P1, P2 und P7), wurden von diesen Positionen alle Daten in die Auswertung mit einbezogen. Insbesondere während der Rammarbeiten Ende Juli/Anfang August herrschten geringe Windverhältnisse, so dass kein Hintergrundrauschen auftrat.

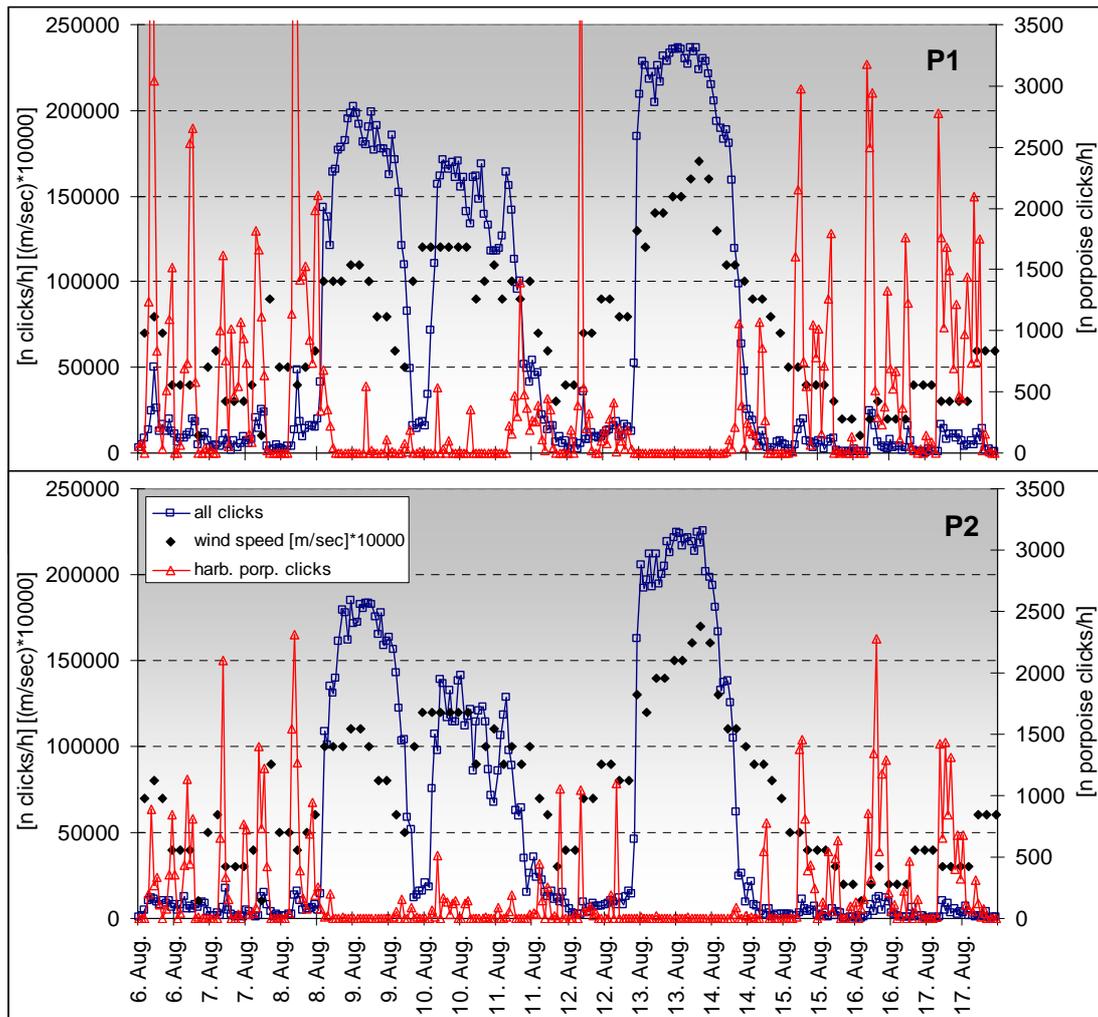


Bild 5.18: Anzahl Rohdatenclicks pro Stunde im Vergleich zur Anzahl durch den Algorithmus erkannter Schweinswalkclicks. Daneben ist die Windgeschwindigkeit nach dem aktuellsten Vorhersagemodell für Helgoland für alle drei Stunden angegeben (Quelle: www.windguru.de).

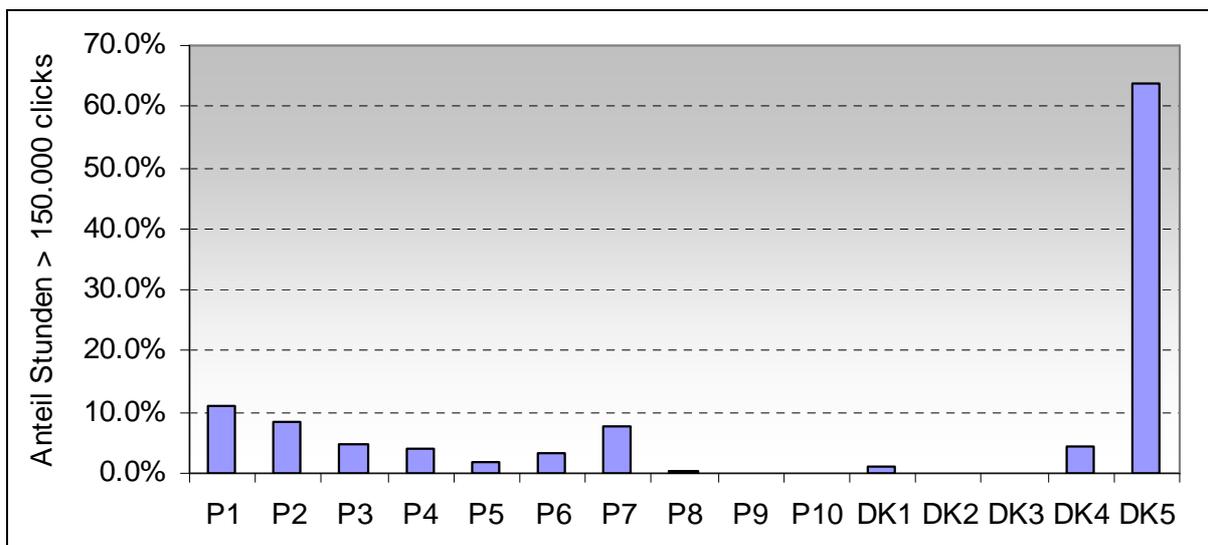


Bild 5.19: Anteil der Stunden mit mehr als 150.000 Rohdatenclicks pro Stunde an der Gesamtaufzeichnungszeit pro Station.

5.5.2.1 Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag (PP10M/day)

Saisonaler Verlauf der Schweinswalaktivität und lokale Unterschiede

Durch die Analyse des Parameters Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag (PP10M/day) lässt sich der saisonale Verlauf der Schweinswalaktivität im Untersuchungsgebiet darstellen, und die einzelnen untersuchten Standorte lassen sich hinsichtlich ihrer Nutzung durch Schweinswale miteinander vergleichen. Wie in Bild 5.20 ersichtlich, ist gemittelt über die einzelnen Monate nur an den POD-Positionen (P1 bis P5) des ersten von der FINO3-Plattform in Richtung Südosten verlaufenden Transektes ein saisonaler Effekt erkennbar: Hier war die Schweinswalaktivität im Juli und August am höchsten und nahm im September ab. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Geräte im September nur in den ersten acht Tagen des Monats an diesen Positionen im Einsatz waren. An den Positionen (P6 bis P10) des zweiten von der FINO3 in Richtung Südwesten verlaufenden Transektes ist kein deutlicher saisonaler Trend erkennbar. An den Positionen des dritten Transektes Richtung Norden (DK1 bis DK5) sind zwischen Juli und September ebenfalls nur geringe Schwankungen in der Schweinswalaktivität zu beobachten, im Oktober und November (als auf den anderen beiden Transekten keine Geräte mehr ausgebracht waren) nahm die Schweinswalaktivität hingegen leicht zu. Vergleicht man die Schweinswalaktivität der Monate Juli und August (während die meisten Geräte im Einsatz waren) über alle Positionen miteinander gibt es lediglich eine schwache Tendenz zu etwas weniger Aktivität im August ($Z_{243,363}=-1,7$; $p=0,09$).

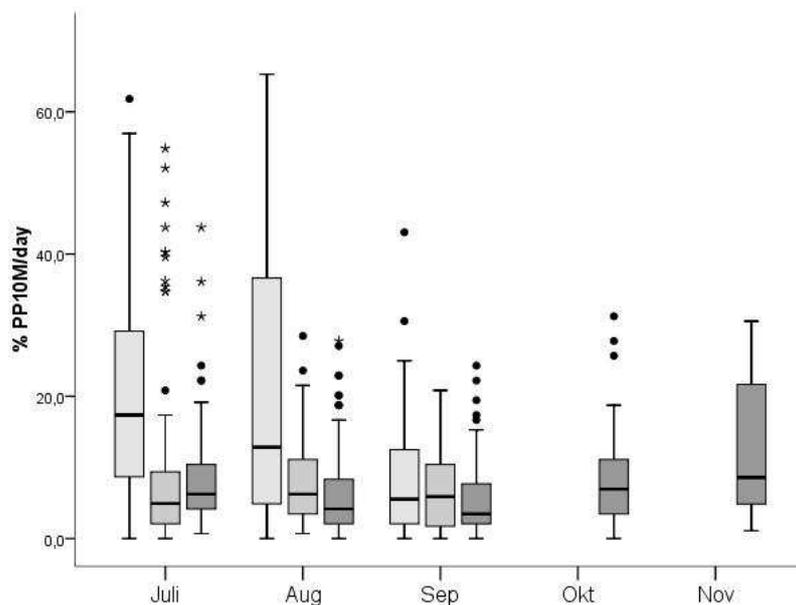


Bild 5.20: Anteil der zehn Minutenintervalle pro Tag, an denen Schweinswalklicks aufgezeichnet wurden für die einzelnen Monate und aufgeteilt nach den drei Transekten (hellgraue Balken: POD-Positionen P1-P5, graue Balken: POD-Positionen P6-P10, dunkelgraue Balken: POD-Positionen DK1-DK5 dargestellt als Box-Whisker-Plots mit Ausreißern (Punkte und Sternchen).

Hingegen war die Schweinswalaktivität signifikant unterschiedlich zwischen den einzelnen POD-Positionen ($\chi^2_3=238,3$; $df=14$, $p<0,001$). Bei näherer Betrachtung der lokalen Unterschiede in der Schweinswalaktivität (Bild 5.21, Tabelle 5.9) wird deutlich, dass diese an den

Positionen P1 und P2 wesentlich höher als an den übrigen Positionen war. Hier liegt der Median mit 44 bzw. 22 % schweinswalpositiver zehn Minuten deutlich über dem Gesamtmittelwert über die Mediane aller Positionen, welcher sich bei etwa 10 % befindet (Tabelle 5.9). Auch an P5 und P6 ist mit jeweils 12 % eine etwas erhöhte Schweinswalaktivität gegenüber den übrigen POD-Positionen erkennbar, während sie bei allen übrigen Positionen zwischen 3 und 6 % schwankte und damit deutlich unter dem Gesamtmittelwert liegt.

Diese lokalen Unterschiede sind unabhängig von den einzelnen eingesetzten Geräten erkennbar, da unabhängig der POD-ID kontinuierlich hohe Aktivität an z.B. Positionen P1 festgestellt wurde, und die gleichen Geräte, wenn sie an anderen Positionen im Einsatz waren, wesentlich niedrigere Werte aufzeichneten (Bild 5.22).

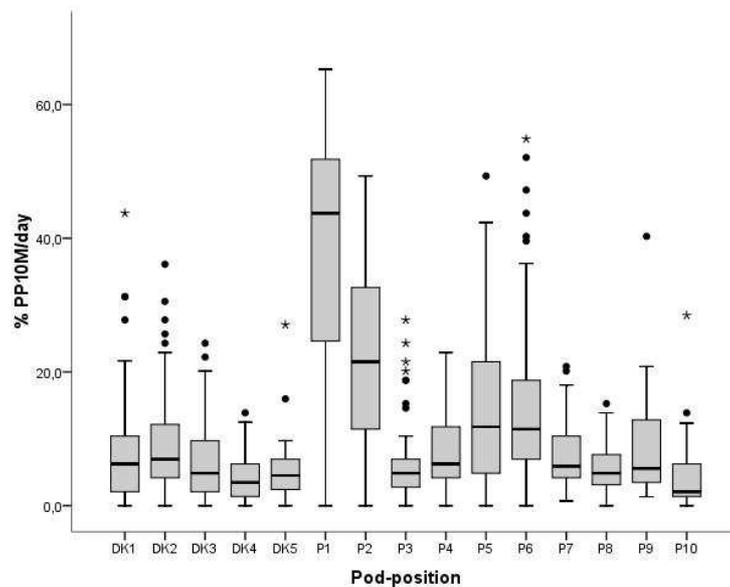


Bild 5.21: Anteil der zehn Minutenintervalle pro Tag, an denen Schweinswalklicks aufgezeichnet wurden für die einzelnen POD-Positionen dargestellt als Box-Whisker-Plots mit Ausreißern (Punkte und Sternchen).

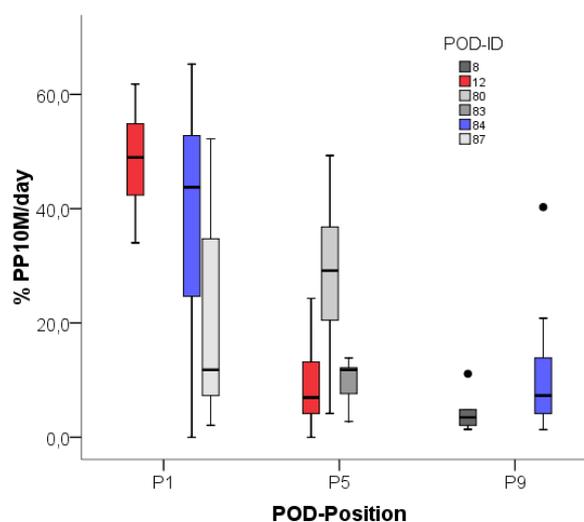


Bild 5.22: Anteil schweinswalpositiver 10-Minuten exemplarisch für drei einzelne POD-Positionen, aufgeteilt nach unterschiedlichen POD-IDs.

Einfluss der Rammarbeiten auf PP10M/Tag

Um den Einfluss der Rammarbeiten auf die Schweinswalaktivität zu untersuchen, stellen wir in Bild 5.23 bis Bild 5.25 die Schweinswalaktivität an jedem Tag an den einzelnen POD-Positionen dar. Hierbei ist zu erkennen, dass an den POD-Positionen P1 und P2 des ersten Transektes im Abstand von 1 und 3 km zur Baustelle ein deutlicher Rückgang der PP10M/Tag am Tag der Rammung gegenüber den vorhergehenden Tagen erkennbar ist (Bild 5.23). An P1 beträgt die Aktivität an diesem Tag nur 2,1 % PP10M/day und stellt somit einen Rückgang von ca. 95 % gegenüber dem Median über den gesamten Untersuchungszeitraum (44 % PP10M/day) dar. An P2 verhält es sich mit einem Rückgang von 94 % von 22 % PP10M/day auf 1,4 % PP10M/day ähnlich. An P3 (7 km Entfernung) war zur Rammzeit kein Gerät im Einsatz. An P4 (15 km Entfernung) und P5 (25 km Entfernung) liegt die Schweinswalaktivität mit 2,8 % bzw. 4,2 % PP10/Tag am 31.8.08 zwar noch immer um 56 % bzw. 64 % niedriger als der Median (Tabelle 5.9), allerdings ist hier im Vergleich zu den vorhergehenden Tagen kein deutlicher Einbruch in der Schweinswalaktivität zu erkennen (Bild 5.23).

Auf dem zweiten Transekt ist am 31.07.08 an P6 (1 km Entfernung) ein Rückgang der Schweinswalaktivität von im Median 11,5 % auf 0 % PP10M/day zu beobachten (Tabelle 5.9). Allerdings hatte bereits an den vier Tagen zuvor eine starke Verringerung der Aktivität stattgefunden, so dass es sich nicht um einen plötzlichen Einbruch am Tag der Rammung handelte (Bild 5.24). An P7 (3 km) ist dies nicht zu beobachten, hier lag die Schweinswalaktivität sogar um 34 % höher als der Median (Tabelle 5.9, Bild 5.24). An P8 liegen für den Ramm-Zeitraum keine Daten vor, und an P9 (15 km) und P10 (25 km) ist nur eine leichte Reduzierung bzw. eine Erhöhung der Aktivität am Tag der Rammung zu erkennen, wobei die Werte im Rahmen der üblichen Schwankungen liegen (Tabelle 5.9, Bild 5.24).

Auf dem dritten Transekt Richtung Norden ist an DK1 (in 7 km Entfernung) ein deutlicher Einbruch der Schweinswalaktivität um ca. 89 % von 6,3 % auf 0,7 % PP10M/day zu beobachten, und dies ist auch im Vergleich mit den vorhergehenden und darauf folgenden Tagen deutlich (Bild 5.25). An DK2 bis DK5 hingegen liegt die Aktivität am Rammtag im Rahmen der üblichen Werte und ist an DK4 und DK5 sogar wesentlich höher (Tabelle 5.9, Bild 5.25) als der Median.

Zusammenfassend nahm die Schweinswalaktivität gemessen als PP10M/day am Tag der Rammung an den meisten Stationen im Umkreis bis zu 3 km zur Baustelle deutlich gegenüber der Aktivität zu den vorhergehenden Tagen und zum Median über den gesamten Untersuchungszeitraum ab. An den weiter entfernten Positionen ist dies nicht mehr eindeutig zu erkennen, und an den beiden am weitesten entfernten Positionen (35 und 45 km) kam es zu einer Zunahme der Aktivität.

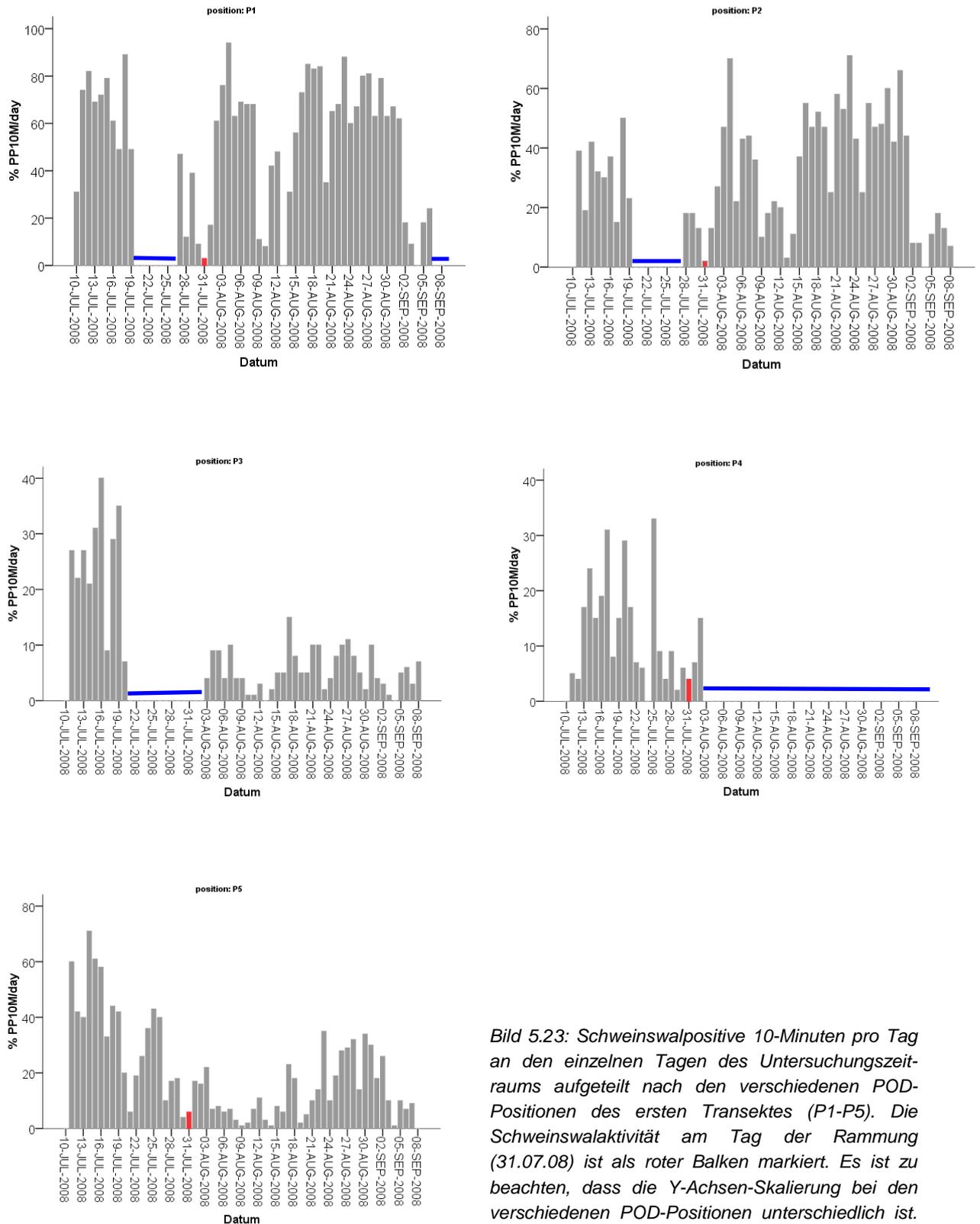


Bild 5.23: Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag an den einzelnen Tagen des Untersuchungszeitraums aufgeteilt nach den verschiedenen POD-Positionen des ersten Transektes (P1-P5). Die Schweinswalaktivität am Tag der Rammung (31.07.08) ist als roter Balken markiert. Es ist zu beachten, dass die Y-Achsen-Skalierung bei den verschiedenen POD-Positionen unterschiedlich ist. Datenlücken sind durch blaue Querbalken markiert.

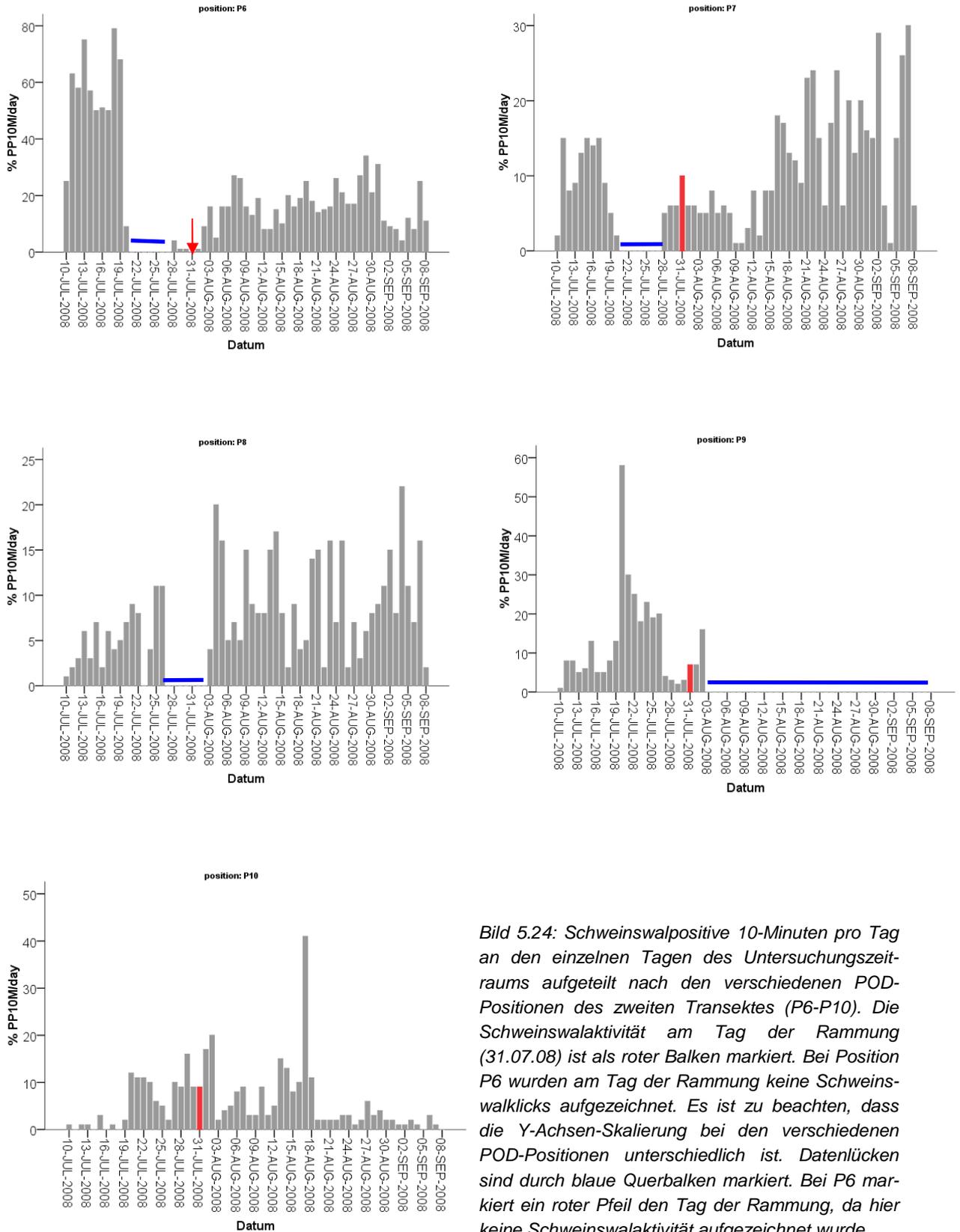


Bild 5.24: Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag an den einzelnen Tagen des Untersuchungszeitraums aufgeteilt nach den verschiedenen POD-Positionen des zweiten Transektes (P6-P10). Die Schweinswalaktivität am Tag der Rammung (31.07.08) ist als roter Balken markiert. Bei Position P6 wurden am Tag der Rammung keine Schweinswalclicks aufgezeichnet. Es ist zu beachten, dass die Y-Achsen-Skalierung bei den verschiedenen POD-Positionen unterschiedlich ist. Datenlücken sind durch blaue Querbalken markiert. Bei P6 markiert ein roter Pfeil den Tag der Rammung, da hier keine Schweinswalaktivität aufgezeichnet wurde.

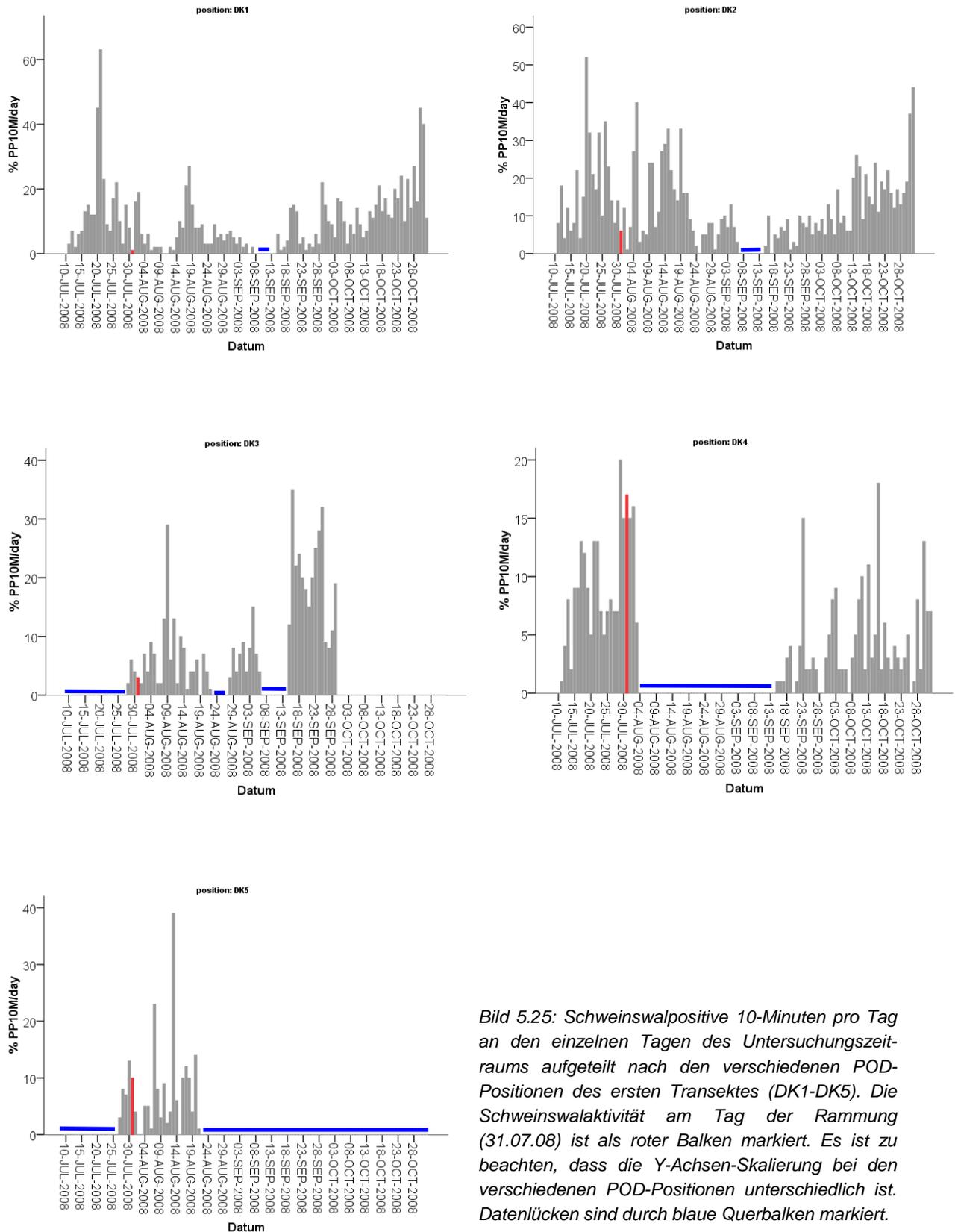


Bild 5.25: Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag an den einzelnen Tagen des Untersuchungszeitraums aufgeteilt nach den verschiedenen POD-Positionen des ersten Transektes (DK1-DK5). Die Schweinswalaktivität am Tag der Rammung (31.07.08) ist als roter Balken markiert. Es ist zu beachten, dass die Y-Achsen-Skalierung bei den verschiedenen POD-Positionen unterschiedlich ist. Datenlücken sind durch blaue Querbalken markiert.

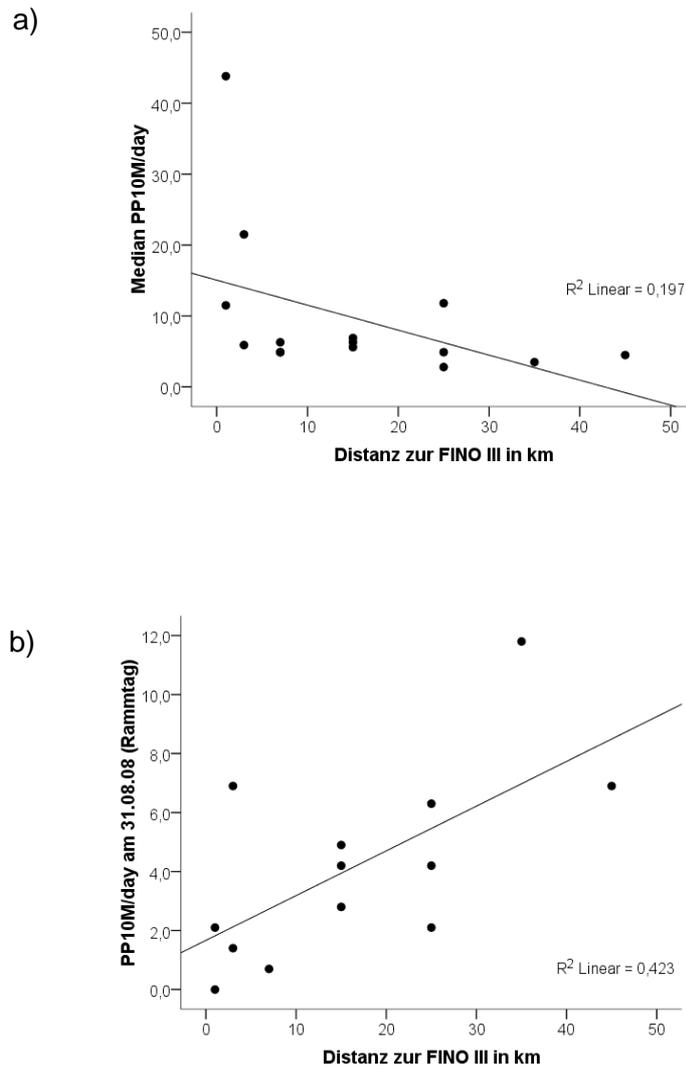


Bild 5.26: PP10M/day als Mediane über den gesamten Untersuchungszeitraum (a) und am Tag der Rammung (b) in Abhängigkeit von der Distanz zur FINO3.

Tabelle 5.9: Median, Minimum und Maximum von PP10M/Tag an den einzelnen POD-Positionen.

POD-Position	Median PP10M/ day	Mittel- wert PP10M/d ay	Min. und Max. von PP10M/ day	N Tage	PP10M/ day am Rammtag	Veränderung am Tag der Rammung zum Median
P1	43,8	37,9	0-65,3	52	2,1	- 95,2 %
P2	21,5	22,3	0-49,3	52	1,4	- 93,5 %
P3	4,9	6,8	0-27,8	47		
P4	6,3	8,7	0-22,9	23	2,8	- 55,6 %
P5	11,8	14,2	0-49,3	60	4,2	- 64,4 %
P6	11,5	16,1	0-54,9	54	0,0	- 100 %
P7	5,9	7,7	0-20,8	54	6,9	+ 35,5 %
P8	4,9	5,8	0-15,3	55		
P9	5,6	9,0	0-40,3	24	4,9	- 12,5 %
P10	2,8	4,1	0-28,5	60	6,3	+ 125,0 %
DK1	6,3	7,6	0-43,8	108	0,7	- 88,9 %
DK2	6,9	9,4	0-36,1	107	4,2	- 39,1 %
DK3	4,9	6,6	0-24,3	56	2,1	- 57,1 %
DK4	3,5	4,2	0-13,9	73	11,8	+ 237,1 %
DK5	4,5	5,9	0-27,1	24	6,9	+ 53,3 %
<i>Gesamt-Mittelwert</i>	<i>9,7</i>	<i>11,1</i>				

Trägt man PP10M/day gegen die Distanz zur Baustelle auf, ergibt sich für die über den gesamten Untersuchungszeitraum gemessenen Mediane ein signifikanter negativer Zusammenhang ($r=-0,64$, $n=15$, $p<0,05$): Die Schweinswalaktivität war in der Nähe zur FINO3 höher als an den weiter entfernten Positionen (Bild 5.26a). Am Tag der Rammung hingegen ergab sich ein umgekehrtes Bild: Die Aktivität war signifikant höher, desto weiter die POD-Position von der Baustelle entfernt waren ($r=0,64$, $n=13$, $p<0,05$) (Bild 5.26b).

5.5.2.2 Wartezeiten zwischen Schweinswalereignissen

Generelle Wartezeiten

Die Wartezeit zwischen zwei Schweinswalereignissen liegt an den einzelnen Stationen im Median zwischen 0,3 und 1,9 Stunden. Die kürzesten Wartezeiten wurden hierbei mit deutlich weniger als einer Stunde bei P1, P2, P5 und P6 festgestellt, also an denen der Baustelle mit einer maximalen Distanz von 3 km nächstgelegenen Positionen. Die kürzesten Wartezeiten traten mit einem Median von 0,3 Stunden bei P1 auf. Aufgrund der Poisson-Verteilung der Daten liegen die Mittelwerte der Wartezeiten erheblich über den Medianen. Die mittleren Wartezeiten schwanken zwischen 0,9 und 5,1 Stunden, und die niedrigsten Werte traten auch hier mit unter 2 Stunden an den Positionen P1, P2, P5 und P6 auf (Tabelle 5.10).

Einfluss der Rammung auf Wartezeiten

Die erste Wartezeit, deren Ende nach der Rammung liegt, liegt an den der Baustelle nächstgelegenen Positionen (P1 und P6 in 1 km Entfernung) mit 17,8 bzw. 44,6 Stunden deutlich über allen anderen hier zwischen dem 27.7. bis 6.8.08 gemessenen Wartezeiten (Bild 5.27). Verglichen mit dem Median über 15 zufällige Wartezeiten ist die erste Wartezeit nach der Rammung an P1 30fach und an P6 74fach verlängert, und dauerte 4,8 bzw. 11,4 Stunden nach Ende der Rammung an (Tabelle 5.11). An der in 3 km Entfernung liegenden Positionen P2 liegt die erste nach der Rammung gemessene Wartezeit mit 17,6 Stunden ebenfalls deutlich über allen anderen vom 27.7. bis 6.8.08 gemessenen Wartezeiten (Bild 5.27). An P7 in ebenfalls 3 km Entfernung liegt sie auch vergleichsweise hoch, stellt jedoch für den Zeitraum 27.7. bis 6.8.08 nicht den Maximalwert dar (Bild 5.27). An P2 ist die erste Wartezeit 20fach gegenüber 15 zufälligen Wartezeiten erhöht und dauert 2,5 Stunden nach der Rammung an, an P7 ist sie 4fach erhöht und dauert 8 Stunden nach Rammende an (Tabelle 5.11). An DK1 in 7 km Entfernung stellt die erste Wartezeit nach der Rammung wieder den Maximalwert für den 27.7.-6.8.08 dar (Bild 5.27), ist gegenüber zufälligen Wartezeiten 12fach erhöht und dauert 6,5 Stunden nach Rammung an (Tabelle 5.11). An den übrigen Positionen in 15 und 25 km Entfernung liegen die ersten Wartezeiten nur noch teilweise höher als die Mediane der zufälligen Wartezeiten (Tabelle 5.11) und fallen in den Bereich der auch normalerweise an diesen Positionen gemessenen Werte (Bild 5.27). Die erste Wartezeit dauerte hier zwischen 5,6 und 13,8 Stunden, ist zur mittleren Wartezeit 1 bis 6fach erhöht (Tabelle 5.10), und dauerte 1,8 - 9,5 Stunden nach der Rammung an.

Wie Bild 5.29: entnommen werden kann, überschneidet sich der größte Teil der ersten Wartezeit nach der Rammung mit der Zeit, während der Vergrämungsmaßnahmen und Rammaktivitäten durchgeführt wurden. Zum Teil beinhaltet die Wartezeit auch bereits Zeiten vor Beginn der Rammarbeiten (siehe besonders P1). Die Rammaktivität verlief am 31.07.08 über insgesamt 13 Stunden. Daher weichen die Dauer der Wartezeit und die Zeit, welche hiervon nach der Rammung liegt, teils deutlich voneinander ab (Tabelle 5.11). Statistisch unterscheiden sich die ersten Wartezeiten nach der Rammung nicht von 15 zufällig aus dem gesamten Untersuchungszeitraum ausgewählten Wartezeiten (alle $p > 0,1$). Jedoch ist ein solcher statistischer Test, der auf der Untersuchung nur einer Rammung basiert nicht aussagekräftig. Optisch unterscheidet sich die Zeit nach der Rammung bis wieder Schweinswale registriert wurden bis in ca 7 km Distanz von den zufällig ausgewählten Wartezeiten, in größerer Entfernung nicht mehr (Bild 5.28).

Die Mediane der Wartezeiten an den einzelnen POD-Stationen korrelierten signifikant mit der Distanz dieser Positionen zur FINO3 ($r=0,69$, $n=11$, $p<0,05$), wobei die Wartezeit mit der Distanz zur FINO3 zunahm. Die ersten Wartezeiten nach der Rammung korrelierten hingegen nicht mehr signifikant mit der Distanz zur FINO3 ($r=-0,52$, $n=11$, $p=0,10$), und auch für die Dauer dieser Wartezeit nach der Rammung war keine signifikante Korrelation zu erkennen ($r=-0,21$, $n=11$, $p=0,55$).

Zusammenfassend ist also anhand der Wartezeit nach der Rammung und der Zeit, die es nach Ende der Rammung dauert bis wieder Schweinswale registriert wurden, optisch ein deutlicher Effekt bis in 7 km zu beobachten, an 15 km oder weiter entfernten Positionen ist hingegen kein eindeutiger Effekt mehr erkennbar. Eine potentiell durch die Rammung verlängerte Wartezeit fällt hier in den Bereich der auch außerhalb der Rammzeit beobachteten Schwankungen.

Tabelle 5.10: Median, Mittelwert, Minimum, Maximum und Stichprobengröße aller aufgezeichneten Wartezeiten in Stunden sowie Länge der ersten Wartezeit direkt nach dem Rammereignis für die jeweiligen POD-Positionen.

POD-Position	Median Wartezeit [h]	Mittelwert Wartezeit [h]	Min. - Max. Wartezeit [h]	N
P1	0,3	0,9	0,2 – 34,2	1010
P2	0,5	1,1	0,2 – 27,7	1000
P3	1,0	3,0	0,2 – 55,9	369
P4	1,1	2,3	0,2 – 33,6	226
P5	0,7	1,7	0,2 – 31,2	784
P6	0,7	1,5	0,2 – 44,6	836
P7	1,1	2,7	0,2 – 38,5	453
P8	1,9	3,7	0,2 – 27,9	343
P9	1,4	2,5	0,2 – 30,0	216
P10	2,1	5,1	0,2 – 54,2	268
DK1	1,3	2,8	0,2 – 73,4	881
DK2	1,3	2,4	0,2 – 35,1	1031
DK3	1,5	3,2	0,2 – 149,6	406
<i>Mittelwert</i>	<i>1,2</i>	<i>2,5</i>		

Tabelle 5.11: Mediane, Maximum und Minimum von 15 zufällig ausgewählten Wartezeiten und deren Dauer nach einem zufällig gesetzten Zeitpunkt, sowie Länge der ersten Wartezeiten nach der Rammung und deren Dauer nach Ende der Rammung an den einzelnen POD-Positionen. Angegeben ist ebenfalls die Verlängerung der ersten Wartezeit gegenüber den Medianen der 15 zufälligen Wartezeiten und die Verlängerung der Zeit nach der Rammung bis zur Aufzeichnung eines Schweinswals gegenüber einem zufällig gesetzten Zeitpunkt.

POD-Position	Entfernung zur FINO3 [km]	Zufällige Wartezeit (n=15)			Erste Wartezeit nach Rammung (n=1)		Effekt	
		Median [h]	Min. - Max. [h]	Mediane Zeit nach zufälligem Zeitpunkt [h]	Wartezeit [h]	Zeit nach Rammung [h]	Verlängerung Wartezeit	Verlängerung Zeit nach Rammung
P1	1	0,6	0,2 – 11,1	0,2	17,8	4,8	30x	24x
P2	3	0,9	0,4 – 7,3	0,3	17,6	2,5	20x	8x
P3	7	2,7	0,4 – 8,2	0,5				
P4	15	3,0	0,8 – 33,6	1,4	13,8	8,1	5x	6x
P5	25	1,6	0,6 – 5,7	0,7	10,4	5,4	7x	8x
P6	1	0,6	0,2 – 34,0	0,1	44,6	11,4	74x	114x
P7	3	2,5	0,2 – 14,6	0,9	8,8	8,0	4x	9x
P8	7	10,5	0,7 – 27,9	1,8				
P9	15	4,2	0,3 – 22,2	2,1	5,6	3,8	1x	2x
P10	25	13,0	0,3 – 49,5	5,4	9,5	9,5	1x	2x
DK1	7	2,1	0,5 – 12,6	1,4	25,6	6,4	12x	5x
DK2	15	2,8	0,5 – 10,6	0,8	8,8	1,8	3x	2x
DK3	25	9,4	0,7 – 36,4	4,0	10,0	4,7	1x	1x
	Mittelwert	1,2						

Tabelle 5.12: Datum und Zeit der Schweinswalvergrämungsmaßnahmen und der Rammarbeiten an der FINO3.

Aktivität	Datum und Startzeit (UTC)	Datum und Endzeit (UTC)
Pinger	30.08.2008 17:00	30.08.2008 19:50
Seal scarer	30.08.2008 18:00	30.08.2008 19:50
Pinger	30.08.2008 23:30	31.08.2008 13:45
Seal scarer	31.08.2008 00:30	31.08.2008 13:45
Rammung	31.08.2008 00:20	31.08.2008 02:55
Rammung	31.08.2008 05:18	31.08.2008 08:00
Rammung	31.08.2008 10:15	31.08.2008 13:20

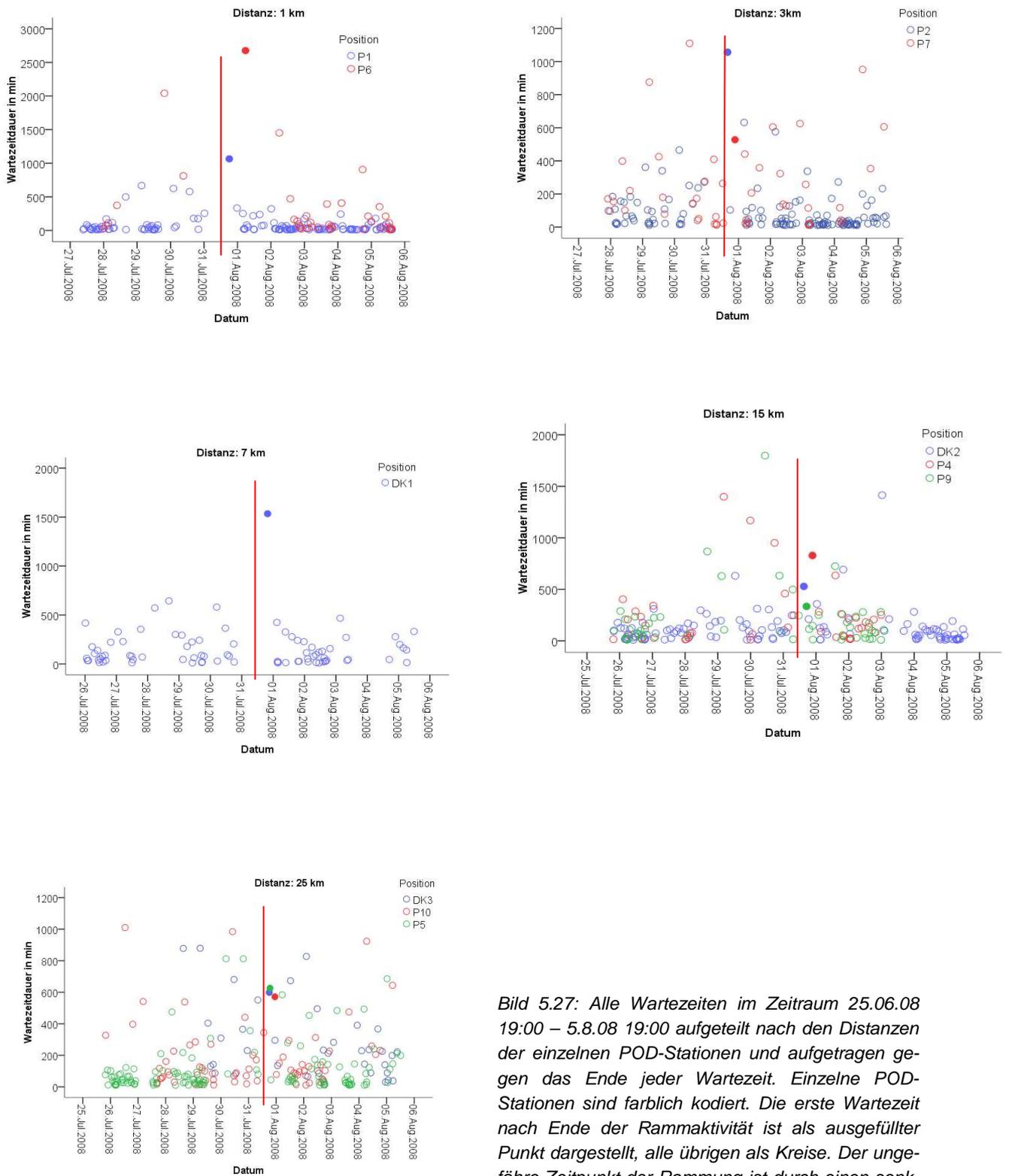


Bild 5.27: Alle Wartezeiten im Zeitraum 25.06.08 19:00 – 5.8.08 19:00 aufgeteilt nach den Distanzen der einzelnen POD-Stationen und aufgetragen gegen das Ende jeder Wartezeit. Einzelne POD-Stationen sind farblich kodiert. Die erste Wartezeit nach Ende der Rammaktivität ist als ausgefüllter Punkt dargestellt, alle übrigen als Kreise. Der ungefähre Zeitpunkt der Rammung ist durch einen senkrechten roten Strich gekennzeichnet.

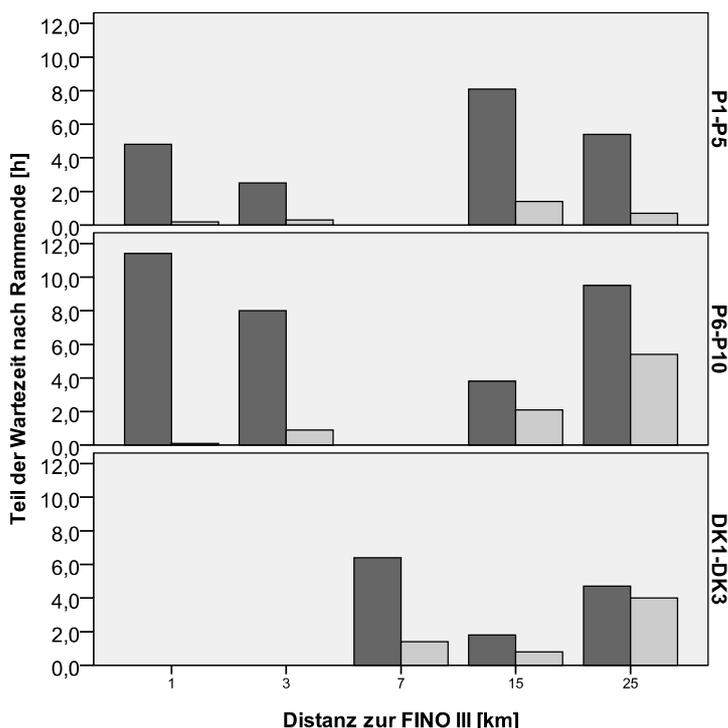


Bild 5.28: Wartezeiten an den einzelnen POD-Positionen in Abhängigkeit der Distanz zur FINO3. Dunkle Balken geben die Zeit nach der Rammung bis zum ersten Schweinswalekontakt nach Ende der Rammung an. Helle Balken stellen die mediane Zeit von 15 zufällig gesetzten Zeitpunkten bis zum ersten Schweinswalekontakt dar.

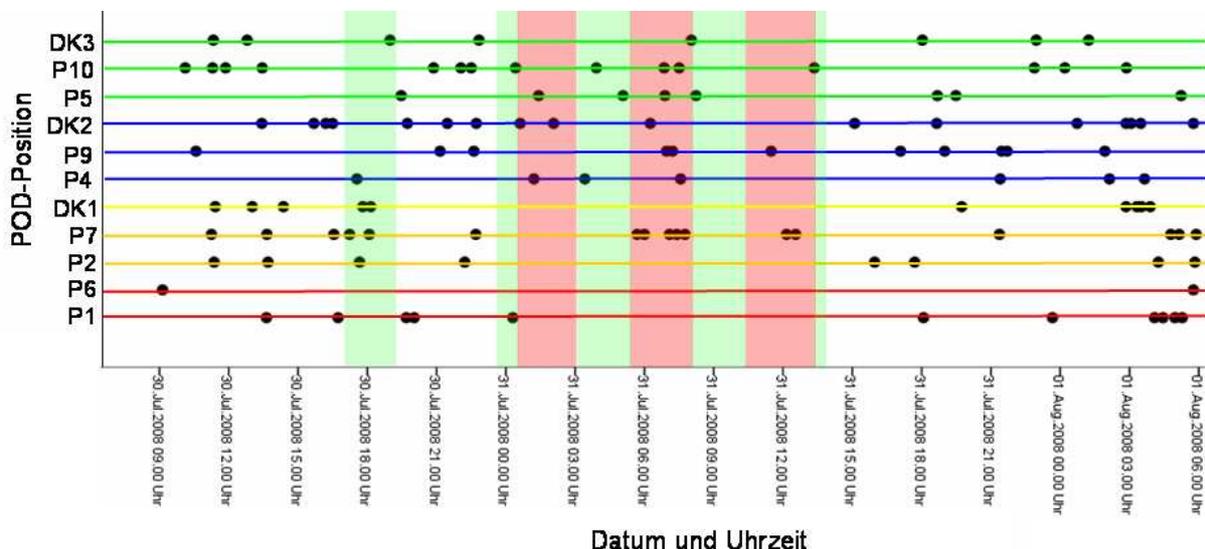


Bild 5.29: Zeitlicher Verlauf der Schweinswalregistrierungen an den jeweiligen POD-Stationen für den Zeitraum 30.07.08 9:00 bis 1.8.08 6:00. Jeder Punkt markiert ein Schweinswalereignis. Die Farben der Linien markieren hierbei die Distanzen der PODs zum gerammten Pfahl (rot: 1 km, orange: 3 km, gelb: 7 km, blau: 15 km, grün: 25 km). Der rot hinterlegte Bereich markiert den Bereich, in welchem Rammaktivität sowie Vergrämungsmaßnahmen stattfanden, der grün hinterlegte Bereich jenen, in welchem nur Vergrämungsmaßnahmen stattfanden.

Schweinswale wurden an den beiden Geräten in 1 km Entfernung zur Baustelle während der Rammarbeiten nicht aufgezeichnet. Dies war ebenso wenig an P2 in 3 km oder an DK1 in 7 km Entfernung der Fall. An P7 in 3 km Entfernung wurden hingegen während der Rammarbeiten insgesamt siebenmal Schweinswale registriert. Drei mal handelte es sich um mehrere Minuten andauernde Anwesenheiten (9 min, 8 min und 2 min), die übrigen waren einmalige kurze nicht länger als maximal eine Minute andauernde Ereignisse.

5.5.3 Vergleich der POD- und Flugerfassungsdaten

Um die von den C-PODs aufgezeichneten Daten zur Schweinswalaktivität mit den anhand der Flugzeußerfassung errechneten Schweinswaldichten zu vergleichen, verglichen wir die am jeweiligen Tag in einem Quadranten vom Flugzeug aus erfassten Schweinswaldichten mit dem Anteil PP10M/Tag den die C-PODs in diesem Quadranten aufgezeichnet hatten (Tabelle 5.13, Bild 5.30a). Eine Korrelation zwischen % PP10M/day mit den Schweinswaldichten grenzte an statistische Signifikanz ($r_s = 2,71$, $n=37$, $p=0,053$). In einem zweiten Schritt berechneten wir die Mediane der Häufigkeit von Schweinswalregistrierungen (% PP10M/Tag) der PODs (P1 bis P10 und DK1 bis DK2), die im vom Flugzeug aus erfassten Gebiet ausgebracht waren, mit der für diesen Tag errechneten Schweinswaldichte (Bild 5.30b). Diese beiden Parameter korrelierten signifikant miteinander ($r_s=0,95$, $n=4$, $p<0,05$). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich lediglich um vier Werte handelt, die Stichprobengröße und damit die Aussagekraft dieses Tests also gering sind. Betrachtet man die Daten im Einzelnen, so fällt auf, dass in dem Quadranten direkt südöstlich der FINO3, in welchem sich P1 und P2 befanden, an allen drei Flugtagen außerhalb der Rammzeit kontinuierlich hohe Schweinswaldichten erfasst wurden. Dies deckt sich mit den kontinuierlich hohen Werten für % PP10M/day an P1 und P2 (Bild 5.21).

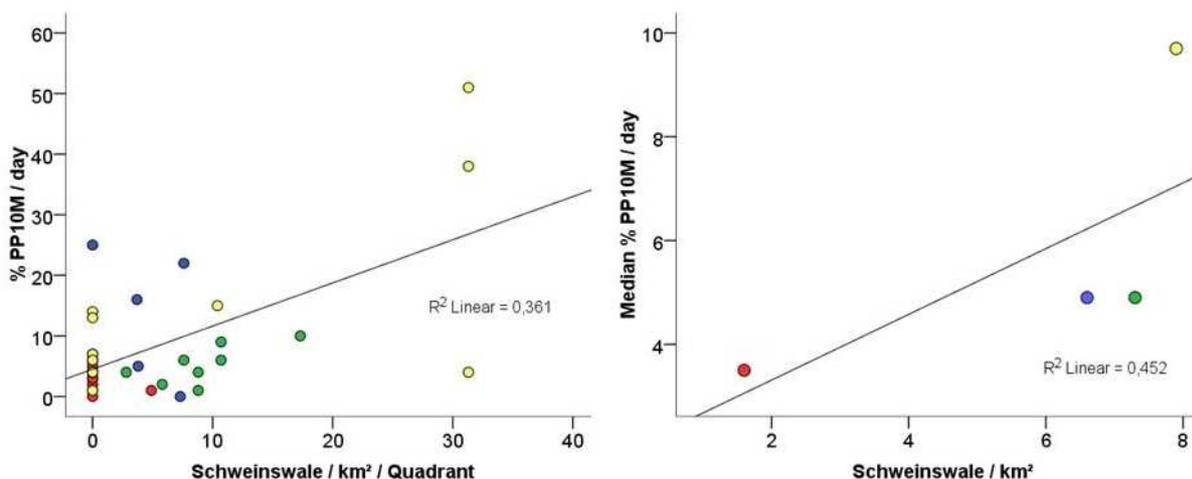


Bild 5.30: Häufigkeit von Schweinswalregistrierungen (% PP10M/day) für die einzelne POD-Position aufgetragen gegen die vom Flugzeug erfasste Schweinswaldichte im dazugehörigen Quadranten (a) und Median der PP10M/day gerechnet über alle POD-Positionen gegen vom Flugzeug aus erfasste Schweinswaldichte im gesamten Gebiet am dazugehörigen Tag. Die Farbe der Punkte markiert das Datum: blau: 24.7., grün: 30.7., rot: 31.7. (Rammtag) und gelb: 16.08.08.

Tabelle 5.13: Mediane, Mittelwerte, Standardabweichung und Stichprobengröße der PP10M/day gerechnet über Positionen P1-P10 und DK1-DK2 am jeweiligen Tag und die vom Flugzeug aus an diesem Tag erfasste Schweinswaldichte.

Datum	Median PP10M/day	Mittelwert PP10M/day	Standardabweichung PP10M/day	N PP10M/day	Wale / km ²
24.07.08	4,9	10,7	10,2	7	6,6
30.07.08	4,9	5,1	2,9	10	7,3
31.07.08	3,5	3,3	2,3	10	1,6
16.08.08	9,7	15,2	16,4	10	7,9

5.5.4 Flugzeugerfassung des Seehundes (*Phoca vitulina*)

Insgesamt wurden nur neun Seehunde bei drei Flügen gesichtet (Bild 5.31). Sechs Tiere wurden am 16.08.08 beobachtet. Aufgrund der geringen Datenlage lassen sich somit keine weiteren Aussagen zu Verteilungsmustern treffen. Am Tag der Rammung wurde kein Seehund im Gebiet beobachtet.

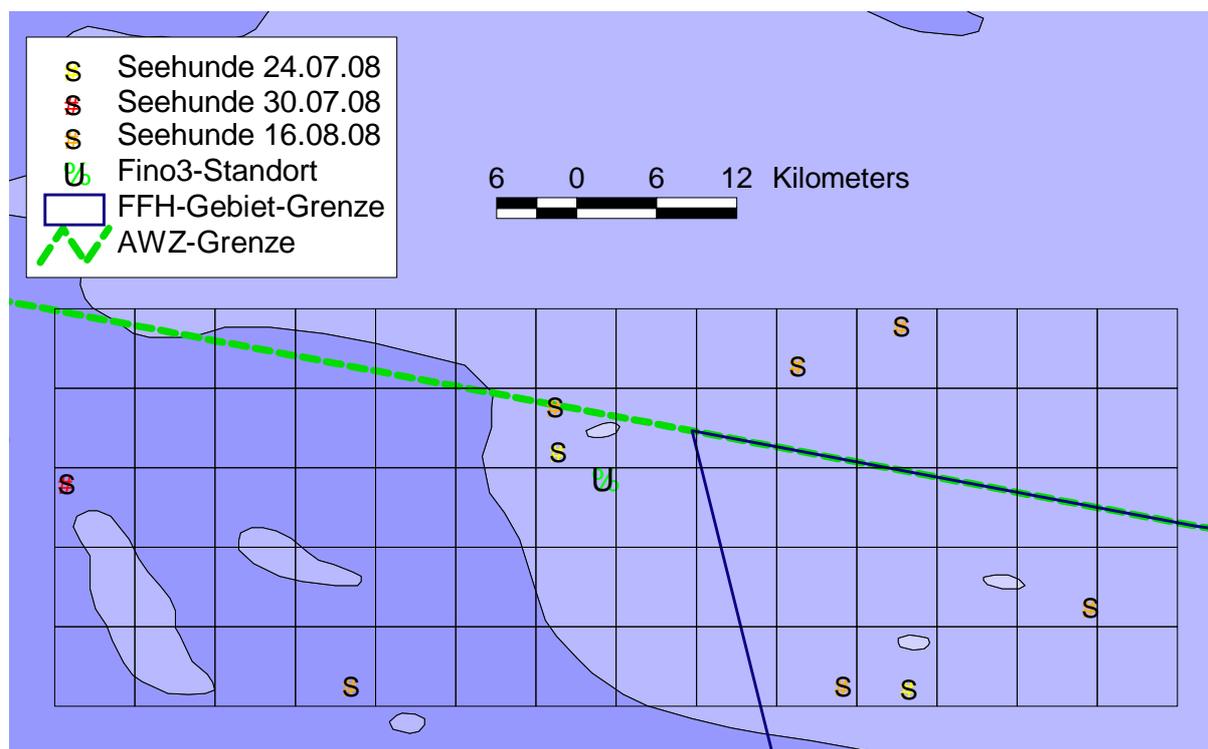


Bild 5.31: Seehundsichtungen während aller durchgeführten Flüge (am 31.7.08 wurde kein Seehund gesichtet).

5.6 Diskussion

5.6.1 Räumliches und zeitliches Verteilungsmuster der Schweinswale

Die von uns im Juni und August vor und nach den Rammarbeiten im Untersuchungsgebiet um die FINO3 (in 55 bis 100 km Entfernung zur Küste) ermittelten Schweinswaldichten mit 6,6 - 14,7 Tieren / km² zählen zu den bisher höchsten im Bereich der Nordsee festgestellten Werten. Die Dichte am 07.06.08 von 14,7 Tieren / km² ist hierbei jedoch mit Vorsicht zu betrachten. Durch hohen Seegang reduzierte Sichtbedingungen an diesem Tag führten zu einem ungewöhnlich niedrigen ESW-Wert, was starke Auswirkungen auf die Dichteberechnung hatte. Zudem handelt es sich hierbei um einen Mittelwert über alle Transekte, der an diesem Tag eine ungewöhnlich hohe Standardabweichung aufweist, was auf eine stark geklumpfte Schweinswalverteilung hinweist. Die an den übrigen drei Flugtagen festgestellten Werte liegen mit 6,6 – 7,9 Tieren / km² hingegen dicht beieinander und weisen eine geringere Standardabweichung auf. Diese Dichten liegen deutlich höher als alle bisher festgestellten Schweinswaldichten in diesem Seegebiet: Während der fünfjährigen Untersuchungszeit der MINOS+ Studie wurde in einem Jahr (2003) eine maximale Schweinswaldichte von 3,5 Tieren / km² im Juni für das Stratum Nordfriesland gefunden. (Gilles *et al.* 2007). Die Studie zeigt, dass sich das Gebiet mit den höchsten Dichten innerhalb der deutschen Nordsee um das FFH-Gebiet „Sylter Außenriff“ mit 40-130 km Entfernung zur Küste Sylts und Amrums befand. Im gleichen Gebiet lagen auch Maximaldichten während Befliegungen im Rahmen des BfN-Projektes EMSON (Erfassung von Meeressäugtieren und Seevögeln in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone in Nord- und Ostsee) während der Jahre 2002 bis 2005. Jeweils im Mai und Juni wurden hier teilweise bis zu 5 Tiere / km² gezählt (Gilles *et al.* 2005). Die Hauptkonzentrationsgebiete lagen in allen Jahren in etwa 80 bis 120 km Entfernung vor der Küste Sylts. Hier wurden lokal bis zu 10 Tiere / km² beschrieben (Gilles *et al.* 2005). Während einer Studie für den Bürgerwindpark Butendiek wurde ein Gebiet in etwa in 10 bis 100 km Entfernung westlich vor der Küste Sylts befliegen. Hier wurden ebenfalls maximale Schweinswaldichten von 3,7 Tieren / km² (2001), 3,9 Tiere / km² (2002) und 5,6 Tiere / km² (2003) im Juni festgestellt (Grünkorn *et al.* 2002, 2004). Brandt *et al.* (2008) untersuchten 2007 - 2008 ein Gebiet westlich von Sylt mit maximal 45 km Entfernung zur Küste. Nach einer Unterteilung in ein küstennahes (bis zu 18 km Entfernung von der Küste) und ein küstenfernes (über 18 km Entfernung zur Küste) Gebiet wurden im küstenfernen Gebiet deutlich höhere Schweinswaldichten festgestellt. Die maximalen Dichten lagen hier im Juni 2008 bei 4,6 Tieren / km². Alle diese Studien stimmen darin überein, dass die höchsten Schweinswaldichten in diesem Gebiet in mehr als 50 km Entfernung zur Küste beobachtet wurden.

Ein Vergleich der mit C-PODs gemessenen Schweinswalaktivität mit den anhand von T-PODs gewonnenen Ergebnisse anderer Studien ist zur Zeit nicht möglich, da C-PODs zu den bisher verwendeten T-PODs wahrscheinlich erhebliche Unterschiede in der Sensitivität aufweisen. Eine Interkalibrierung dieser beiden Gerätetypen ist notwendig, bevor die mit unterschiedlichen Geräten erfassten Daten vergleichbar sind.

Während der Flugzeugetfassungen im Untersuchungsgebiet um die FINO3 fanden wir hohe räumliche Unterschiede in der Schweinswalverteilung. Die Gebiete mit den höchsten Schweinswaldichten waren zwischen den einzelnen Flugtagen wie auch während anderer Studien nicht konstant. Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen zeigte sich darüber hinaus jedoch auch eine gewisse zeitliche Stabilität der Verteilungsmuster, da die unmittelbare

Umgebung der Baustelle konstant stark genutzt wurde. Dies spiegelt sich ebenfalls in den POD-Daten wieder. Auch hier wurde an den POD-Positionen P1, P2 und P5 in direkter Nähe zur Baustelle eine konstant hohe akustische Schweinswalaktivität festgestellt, welche an allen übrigen Positionen wesentlich geringer war. Ein solch kleinräumig festzustellender zeitlich stabiler Unterschied in der Schweinswalaktivität und –dichte wurde bisher noch nicht beschrieben und könnte sich durch die Nutzung verschiedener Nahrungsressourcen erklären. Sowohl pelagische als auch demersale Fische dienen Schweinswalen als wichtige Nahrungsressourcen (Santos & Pierce, 2003). Die räumliche Verteilung pelagischer Fischschwärme ist womöglich (da an sich zeitlich schnell verändernde Strömungsbedingungen und Planktonvorkommen gekoppelt) zeitlich extrem variabel. Die Verteilung demersaler Fische ist hingegen womöglich zeitlich stabiler, da sie hauptsächlich von sich nicht schnell ändernden Sedimentbeschaffenheiten und der Topographie abhängt. Ein einerseits zeitlich stark variables Verteilungsmuster könnte somit an das Vorkommen kurz auftretender pelagischer Fischschwärme gekoppelt sein, während zeitlich stabilere Schweinswalkonzentrationen vielleicht auf wertvolle Habitate für demersale Fische mit hoher Nahrungsverfügbarkeit hinweisen. Leider liegen uns für dieses Gebiet bisher keine Sediment- oder Fischverteilungsdaten vor, um dies überprüfen zu können. Es ist möglich, dass es sich beim Untergrund, auf welchem die FINO3 erbaut wurde, um besonders günstige Nahrungshabitate handelt, da hier konstant viel Schweinswalaktivität festgestellt wurde. An den hier befindlichen POD-Positionen P1 und P2 wurde eine starke Abhängigkeit der Anzahl aufgenommener Störgeräusche von dort gemessenen Windgeschwindigkeiten festgestellt. Dies könnte auf einen ausgeprägten Feinsandbereich hinweisen, welcher bei starkem Seegang in Bewegung gerät und auf die dort ausgebrachten PODs trifft.

Ausgeprägte saisonale Schwankungen konnten im Hauptuntersuchungszeitraum 6.7.08 bis 8.9.08 weder bei absoluten Schweinswaldichten noch in der von PODs erfassten akustischen Aktivität festgestellt werden. Dies stimmt mit anderen Untersuchungen in diesem und anliegenden Gebieten überein, da hier bis einschließlich August konstant hohe Schweinswaldichten beobachtet wurden (Grünkorn *et al.* 2002, 2004, 2007, Brandt *et al.* 2008, Gilles *et al.* 2009). An den Positionen DK1-DK3, welche bis Ende Oktober ausgebracht waren, nahm die Schweinswalaktivität im September und Oktober hingegen noch weiter zu. Dies steht im Gegensatz zu den bisherigen Beobachtungen, wonach die Dichten ab September wieder abnahmen (Tougaard *et al.* 2006a, Diederichs *et al.* 2008a).

5.6.2 Vergleichbarkeit der Erfassungsmethoden

Die oben beschriebene Übereinstimmung der anhand der C-PODs gemessenen hohen akustischen Schweinswalaktivität im Bereich der Baustelle und der hohen vom Flugzeug aus erfassten Schweinswaldichten in diesem Quadranten lässt auch während dieser Studie auf einen generellen Zusammenhang dieser Daten (PP10M/day und absolute Schweinswaldichten) schließen. Ebenso korrelierten Schweinswaldichten an den einzelnen Flugtagen signifikant mit den an diesen Tagen von PODs gemessenen PP10M. Änderungen der relativen Schweinswalaktivität in einem großen Gebiet stellen somit Änderungen in der absoluten Schweinswaldichte dar. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese signifikante Korrelation nur gegeben ist, wenn der Ramntag mit stark reduzierter Schweinswalaktivität in diese Auswertung einfließt. Feine Unterschiede in der Verteilung lassen sich somit womöglich nicht gleichartig mit beiden Methoden wiedergeben. Dieses Ergebnis deckt sich also weitgehend mit den bis-

herigen Erkenntnissen (Diederichs *et al.* 2004, Tougaard *et al.* 2006c, Verfuß *et al.* 2007, Siebert and Rye 2008).

5.6.3 Auswirkungen der Rammarbeiten auf Schweinswale

Bei der Interpretation der reduzierten Schweinswaldichte am Rammtag ist zu berücksichtigen, dass am Rammtag keine idealen Wetterbedingungen für Schweinswal-Erfassungsflüge vorlagen, und dass bereits der Seegang zu einer niedrigeren Sichtungsrate geführt haben könnte. Allerdings sind die Sichtbedingungen mit hauptsächlich Seegang 3 ähnlich derer am 6.7.08. An diesem Tag wurden jedoch extrem hohe Schweinswaldichten mit einer hohen Standardabweichung gefunden. Die niedrigen Dichten am Rammtag, lassen sich also nicht alleine durch erschwerte Erfassungsbedingungen erklären, sondern beruhen aller Wahrscheinlichkeit nach auf der Rammaktivität. Diese Annahme wird weiterhin dadurch unterstützt, dass höhere Dichten nur in den am Rand des erfassten Gebietes befindlichen Quadranten festgestellt wurden, was auf einen Einfluss im Zentrum des Gebietes schließen lässt (also am FINO3-Standort). Jedoch korrelierten die Dichten in den einzelnen Quadranten nicht signifikant mit der Distanz zur Baustelle, sondern waren generell signifikant niedriger als die Werte am Vortag. Dies lässt auf eine zumindest kurzfristige Vertreibung aus dem gesamten Untersuchungsgebiet während der Rammung bis in die maximale Entfernung von 25 km schließen. Die niedrigen Sichtungsraten am Tag der Rammung sind weitgehend in Übereinstimmung mit den Aufzeichnungen der PODs, auch wenn sie den räumlichen Gradienten, den die POD-Daten ergaben, nicht widerspiegeln. Anhand der POD-Daten ließ sich ein Vertreibungseffekt bis in mindestens 7 km Entfernung beobachten. In Entfernungen über 15 km war dies jedoch nicht mehr ersichtlich. Während die Schweinswalaktivität außerhalb der Rammtage mit der Distanz zur FINO3 abnahm, kehrte sich diese Beziehung am Rammtag um. Auch dies liefert einen Hinweis darauf, dass der Nahbereich der Baustelle von Schweinswalen aufgrund der Rammung gemieden wurde.

Der scheinbare Widerspruch in den beiden Datensätzen bezüglich des räumlichen Gradienten liegt an der fehlenden zeitlichen Komponente bei vom Flugzeug aus erfassten Daten. Der anhand der POD-Daten beobachtete räumliche Gradient bezieht sich auf die Dauer des Vertreibungseffektes. Die Flugzeugdaten hingegen stellen eine Momentaufnahme dar, mit welcher die Länge eines Effektes nicht darstellbar ist.

Zusammenfassend deuten die Daten darauf hin, dass während der Rammung temporär ein weit reichendes Gebiet verlassen wurde, jedoch wahrscheinlich nur bis in eine Distanz von etwa 7 bis 15 km eine über die Rammzeit hinausgehende Vertreibung stattgefunden hat.

Da neben der Reduzierung der mit Hilfe von PODs gemessenen Echoortungsaktivität auch eine Abnahme der mit Hilfe von Flugzeugerfassungen ermittelten absoluten Dichten festzustellen war, stellt diese Studie den ersten Nachweis dar, dass sich während einer Rammung tatsächlich die absolute Schweinswaldichte im umgebenden Gebiet reduzierte und es sich nicht nur um eine Reduzierung des Echoortungsverhaltens handelte.

Anhand der C-POD-Daten konnte die Dauer für welche Schweinswale nach der Rammung das Gebiet verließen in etwa quantifiziert werden. In 1 km Entfernung zur Baustelle kam es während der Rammarbeiten zu Wartezeiten von 18 und 45 Stunden. In den 45 Stunden ist jedoch neben der 14 Stunden andauernden Ramm- bzw. Vergrämungszeit auch noch eine

schweinswalfreie Zeit von ca. 20 Stunden vor dem eigentlichen Rammbeginn beinhaltet. Dies könnte auf einen Effekt des Baustellenverkehrs und der Rammvorbereitungen zurückzuführen sein. Nach der Rammung dauerte es an den nächstgelegenen POD-Positionen 5 bzw. 11 Stunden bis wieder Schweinswale registriert wurden. Die Daten zeigen eine abnehmende Tendenz mit größerer Entfernung zur Baustelle, und in 15 km Entfernung war ein Effekt nicht mehr eindeutig zu identifizieren. Dies könnte sich jedoch mit einer höheren Stichprobe durchaus ändern, und muss daher mit Vorsicht interpretiert werden. Eine statistische Absicherung dieser Ergebnisse war aufgrund eines einmaligen Ereignisses nicht möglich.

Die hohe Aktivität von Schweinswalen, die vor und nach den Rammarbeiten in unmittelbarer Baustellennähe gemessen wurde, weist darauf hin, dass es sich hier um ein wichtiges Nahrungshabitat für Schweinswale handeln könnte. Die Motivation der Tiere hierhin zurückzukehren, dürfte dann auch nach einer Störung dementsprechend hoch sein. Bei den hohen Schweinswalddenken, die im Untersuchungsgebiet gefunden wurden, ist es zudem eher möglich, dass Tiere, welche dem Schall der Rammung nicht unmittelbar ausgesetzt waren, in das Gebiet einwandern. Dies könnte somit zu zeitlich kürzeren Effekten führen als in Gebieten mit niedrigeren Dichten.

Aus diesem Grund und auch aufgrund der unterschiedlichen Rammdauer (bei Horns Rev II im Mittel 45 min), der stark unterschiedlichen Stichprobenzahl und auch aufgrund der unterschiedlichen eingesetzten Erfassungsgeräte (T-PODs und C-PODs) ist ein Vergleich dieser Ergebnisse mit denen anderer Studien nicht ohne weiteres möglich und muss mit Vorsicht betrachtet werden. Die von uns festgestellten Vertreibungszeiten im Nahbereich fallen jedoch ungefähr in die während der Rammarbeiten bei den Offshore-Windparks Horns Rev II (im Median 17 h) und Alpha ventus (im Median 25 h) festgestellten Wartezeiten, und liegen wesentlich über dem von Tougaard *et al.* (2006a,b) bei Horns Rev I festgestellten Wert von nur 8 Stunden. Zur Übersicht haben wir die bekannten Parameter der einzelnen Studien in Tabelle 5.14: aufgelistet.

Der Quellpegel lag während der Rammung der FINO3 unter Einsatz des Blasenschleiers in 1 m Distanz etwa im Rahmen der bei Horns Rev II und 7 dB über den bei Alpha ventus erzielten Werten. Der Einsatz des Blasenschleiers brachte je nach Entfernung der Messstelle eine Reduzierung des SEL von 6 bis 12 dB (s. Tabelle 4.9). Besonders im hochfrequenten Bereich von über 1 kHz, also in dem Bereich der höchsten Hörempfindlichkeit von Schweinswalen, war die Schallminderung besonders effektiv. Im Bereich unter 200 Hz wurde hingegen nur eine geringe Reduktion erreicht, wie die Ergebnisse in Bild 4.24 zeigen. Der vom UBA für 750 m Distanz festgelegte Vorsorgewert von 160 dB re 1 μ Pa (SEL) wurde bei Annahme eines k-Faktors von $k = 20$ gemäß Darstellung in Bild 4.21 bei etwa 1150 m erreicht. Dies liegt unter den während der Wirkungsprognose angenommenen 1,5 km Entfernung (Nehls 2008). Brandt *et al.* (2009) fanden während Untersuchungen bei Horns Rev II noch bis zu etwa 144 dB re 1 μ Pa (SEL) eine auf die Rammzeit begrenzte temporäre Vertreibung von Schweinswalen aus dem Gebiet. Es kann also vorsichtig angenommen werden, dass eine Reaktion von Schweinswalen bis zu etwa 140 dB re 1 μ Pa (SEL) stattfindet. Dieser Wert wurde unter Annahme eines k-Faktors von $k = 22$, der, wie in Kap. 4.7.2 dargestellt, die Abnahme in größeren Entfernungen realitätsnah beschreibt, in dieser Studie bei ca. 8,9 km Entfernung zur Baustelle erreicht. Da eine deutliche Reaktion der Schweinswale während der Rammung der FINO3 bei 7 km feststellbar war, jedoch nicht mehr in 15 km Entfernung, deckt sich dieses Ergebnis in etwa mit den auf den Ergebnissen von Horns Rev II basierenden Erwartungen. Ohne den Einsatz des Blasenschleiers hätte sich der Störradius auf ca. 26 km entsprechend vergrößert. Der

Einsatz des Blasenschleiers kann somit als Erfolg und als notwendige Maßnahme gewertet werden.

Nach Angaben von Southall *et al.* (2007), liegt der Schwellenwert, oberhalb dessen bei Schweinswalen eine *vorübergehende* Gehörschwellenverschiebung (TTS) auftreten könnte, bei 183 dB re 1 μ Pa (SEL), der Schwellenwert, oberhalb dessen eine *permanente* Hörschädigung (PTS) eintreten könnte, bei 198 dB re 1 μ Pa (SEL) bzw. 230 dB re 1 μ Pa (L_{peak}). Der Quellpegel (1 m) lag bei der Rammung der FINO3 unter Einsatz des Blasenschleiers bei etwa 218 dB re 1 μ Pa (SEL) und bei 242 dB re 1 μ Pa (L_{peak}). In direkter Nähe zur Baustelle hätte es also beim Schweinswal zu Hörschädigungen kommen können. Jedoch wird der von Southall *et al.* (2007) für Hörschädigung zu Grunde gelegte Wert von 198 dB re 1 μ Pa (SEL) bereits in ca. 50 m unterschritten. Da Vergrämungsmaßnahmen in Form von Pingern und einem Seal scarer angewandt wurden und kein Schweinswal während der Rammung in 1 km Entfernung von den PODs registriert wurde, ist es sehr unwahrscheinlich, dass sich während der Rammung im Nahbereich ein Tier aufgehalten hat.

In einer Entfernung von 900 m zur Baustelle der FINO3 wurde während der letzten Rammperiode nach etwa 4 Stunden Rammdauer ein M-gewichteter kumulativer Schallpegel von ca. 190 dB re 1 μ Pa (SEL) erreicht (Bild 5.32). Dies reicht demnach nicht aus, um eine permanente Hörschädigung beim Schweinswal zu verursachen. Allerdings könnte es zu einer vorübergehenden Gehörschwellenverschiebung beim Schweinswal gekommen sein, wenn sich ein Tier über zwei Stunden in dieser Distanz aufgehalten hätte. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass ein Schweinswal trotz des hohen Lärmpegels so lange im Gebiet verweilen würde und es wurden keine Tiere in diesem Bereich nachgewiesen. Die Daten zeigen, dass es zu einer eindeutigen Meidereaktion während und teilweise nach den Rammarbeiten gekommen ist. Die minimale Distanz zur Baustelle, in der während der Flugfassung ein Schweinswal beobachtet wurde, lag bei 3 km. Dies stimmt in etwa mit den POD-Daten überein. Hier wurde an den beiden POD-Positionen in 1 km Entfernung kein Schweinswal während der Rammarbeiten registriert, in 3 km Entfernung wurden hingegen an einer von zwei Positionen sieben mal Schweinswalklicks aufgezeichnet. Das längste Ereignis dauerte hierbei 9 min. Es ist unklar, wie nah sich diese Tiere der Schallquelle näherten. In 3 km Entfernung sollte laut Schallmessung allerdings keine Gefahr einer temporären oder gar permanenten Hörschädigung mehr bestanden haben, da der breitbandige Einzelereignis-Schalldruckpegel in 1,2 km Entfernung bereits unter 160 dB re 1 μ Pa (SEL) gelegen hat. Bild 5.34 ist zu entnehmen, dass auch in 3 km Entfernung der Schalldruckpegel 20 bis 40 dB (SEL) über der Hörkurve von Schweinswalen gelegen hat, was bedeutet, dass das Rammgeräusch in dieser Entfernung eindeutig von den Tieren wahrgenommen werden konnte.

Überraschend ist, dass während der Flugzeugzählung am Tag der Rammung keine deutliche Orientierung der Tiere von der Baustelle weg beobachtet werden konnte. Die festgestellte starke Reduzierung der Dichte und akustischen Aktivität ließe erwarten, dass sich die Tiere gerichtet von der Schallquelle entfernen. Dies war jedoch nicht festzustellen. Möglicherweise lässt sich ein solches Verhalten nur kurz nach dem Einsetzen der Störgeräusche beobachten. Zum Zeitpunkt, als das Flugzeug die Baustelle überquerte, waren die Rammarbeiten bereits mehrere Stunden in Gang. Womöglich hatten Tiere, die sich davon gestört fühlten, bereits eine ausreichende Distanz erreicht, so dass sie sich nicht mehr gerichtet von der Schallquelle weg bewegen mussten. Es ist jedoch auch möglich, dass die Tiere die Schallquelle nicht genau orten konnten und ihnen eine gerichtete Fluchtreaktion somit gar nicht möglich war. Wie gut Schweinswale Rammgeräusche orten können, sollte Gegenstand weiterer Untersuchun-

gen sein. Generell wiesen die Schwimmrichtungen keine Besonderheiten auf, sondern schienen relativ zufällig verteilt.

5.6.4 Kälberanteil

Der festgestellte Kälberanteil von 8,5 bis 15,2 % entspricht in etwa den während anderer Studien in diesen Gewässern beobachteten Anteilen. Sonntag *et al.* (1999) berechneten 1995 und 1996 einen Kälberanteil von 14 % in den Küstengewässern westlich von Sylt. Grünkorn *et al.* (2002, 2004) beobachteten in einem etwas südlich des Untersuchungsgebietes gelegenen Bereich 2001 - 2003 einen Kälberanteil von maximal 28 % im Juni 2001, in der Regel jedoch ebenfalls einen Anteil von 8,6 % und 14,3 % während der Sommermonate. Brandt *et al.* (2008) stellten einen Kälberanteil von 10 bis 12 % während der Sommermonate in den Gewässern direkt westlich von Sylt fest.

Die Verteilung der Kälber im Untersuchungsgebiet schien, wie auch von Grünkorn *et al.* (2002, 2004) und Brandt *et al.* (2008) beobachtet, der generellen Verteilung der Schweinswale zu folgen und lässt keine besonderen Schwerpunkte innerhalb der von Schweinswalen genutzten Bereiche erkennen. Das Gebiet, in welchem Kälber vorkommen, beschränkt sich eindeutig nicht auf den küstennahen Bereich.

Es könnte während der Rammung zu einem veränderten Bild bezüglich des Kälberanteils kommen, da Mutter-Kalb-Paare eventuell störanfälliger sind, und somit das Gebiet eher verlassen oder weil Gruppen mit Kälbern das Gebiet weniger schnell verlassen können. Der Kälberanteil lag während der Rammung minimal höher als an den übrigen Flugtagen (15,2 % gegenüber 8,5 bis 13,6 %), fällt jedoch in den Bereich der üblichen Schwankungen und stellt einen für diesen Bereich durchaus üblichen Wert dar. Es gibt somit keine Hinweise, dass die Rammung zu einer Änderung des Jungtieranteils bei den beobachteten Schweinswalen geführt hat.

5.6.5 Gruppengröße

Die von uns beobachtete mittlere Gruppengröße von 1,4 Tieren stimmt gut mit während anderer Studien beobachteten Gruppengrößen überein. Brandt *et al.* (2008) fanden vor Sylt eine mittlere Gruppengröße von 1,2 Tieren, Grünkorn *et al.* (2002) ermittelten mittleren Gruppengröße von 1,1 und 1,2 Tieren (Grünkorn *et al.* 2004) in angrenzenden Gebieten und Gilles *et al.* (2005) beobachteten je nach Jahreszeit mittlere Gruppengrößen von 1,0 bis 2,6 hauptsächlich jedoch von 1,1 bis 1,3 Tieren. Der weitaus größte Teil der Sichtungen bestand mit 71 % wie bei Grünkorn *et al.* (2002) (hier 84 %), Grünkorn *et al.* (2004) (hier 86 %) und Brandt *et al.* (2008) (hier 89 %) aus einzelnen Tieren. Die maximale beobachtete Gruppengröße umfasste in dieser Untersuchung sechs Tiere. Mehr als die Hälfte der Gruppen mit mehr als einem Tier beinhaltete ein Kalb und stellte sehr wahrscheinlich Mutter-Kalb-Paare dar. Am Tag der Rammung war keine Abweichung hiervon erkennbar.

Tabelle 5.14: Information zu den bekannten Rammparametern und Wartezeiten zwischen Schweinswalereignissen während der bisher durchgeführten Studien zum Einfluss von Rammarbeiten auf Schweinswale.

Untersuchungsgebiet	Anzahl gerammter Pfähle	Mittlere Dauer des Rammens	Abstand POD zur Baustelle	Berechneter Quellpegel in dB re 1 μ Pa ² s at 1 m ^{*1} SEL	Prognostizierter Schallpegel in dB re 1 μ Pa ² s at 750 m ^{*1}	Mittlere erste Wartezeit i	Median der ersten Wartezeit	Median der normalen Wartezeit	Quelle
		min	km			h	h	h	
Horns Rev I	80	60 bis 120	0-15	?			7-8	2-3	Tougaard <i>et al.</i> 2006a,b
Nystedt I				?		35-50			Carstensen <i>et al.</i> 2006, Henriksen <i>et al.</i> 2003
Horns Rev II	92	45	0,5-6	241	176	21,8	16,6	1,1	Brandt <i>et al.</i> 2008
Alpha ventus	4	75	0,8-2	211	168	30,7	25,4	1,7	Diederichs <i>et al.</i> 2009
FINO3	1		1	218	175	17,8 und 44,6 ^{*2}			Diese Studie

*1 Werte aus Nehls *et al.* (2010, in Vorbereitung) entnommen. Quellpegel wurden basierend auf Messungen in unterschiedlichen Distanzen unter Berücksichtigung der Thiele Formel zur Schallausbreitung berechnet.

*2 Nur zwei einzelne Werte, daher keine sinnvollen Mittelwerte oder Mediane berechenbar

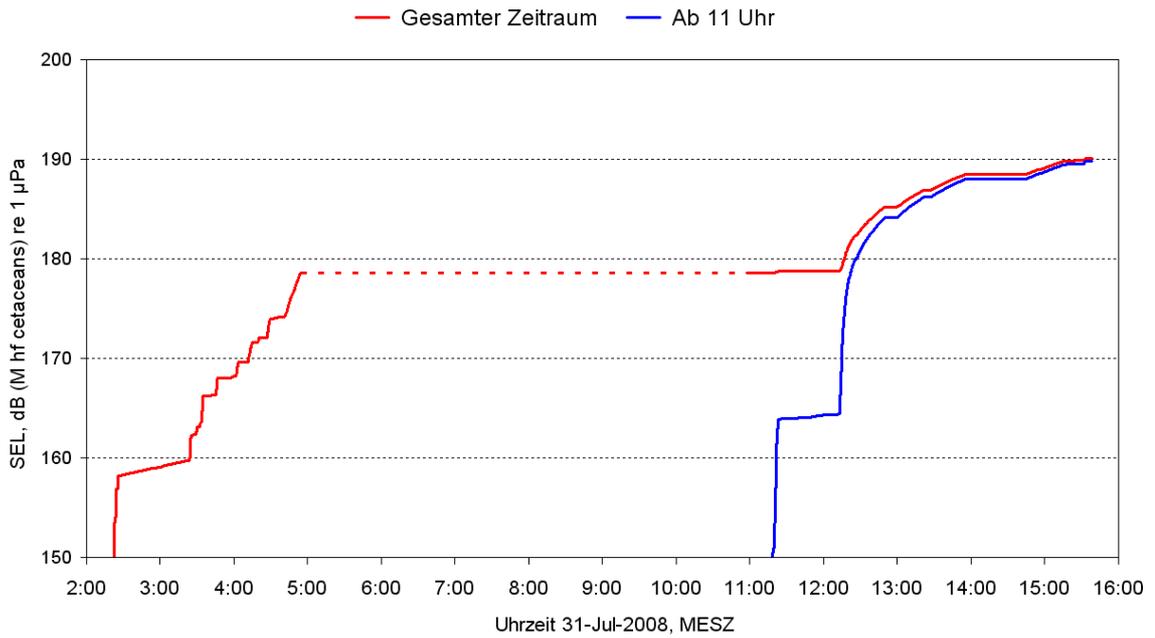


Bild 5.32: M-gewichteter (high-frequency cetaceans) kumulativer SEL bei den FINO3-Rammarbeiten für die Messentfernung 910 m.

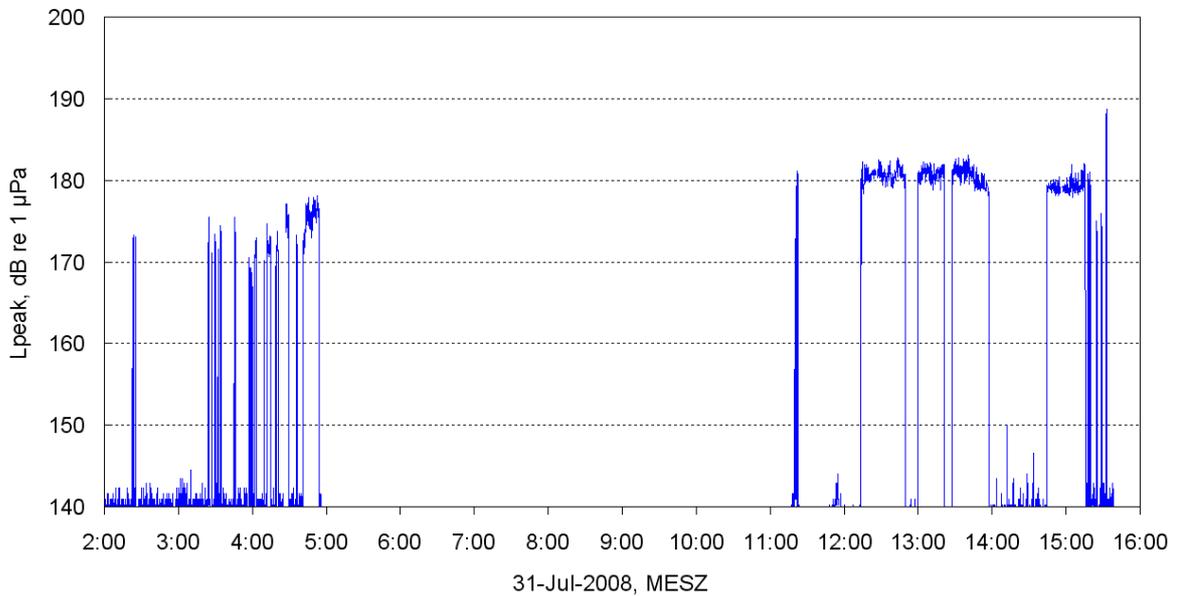


Bild 5.33: Spitzenpegel während der einzelnen Rammschläge in 910 m Abstand zum Ort der Rammung.

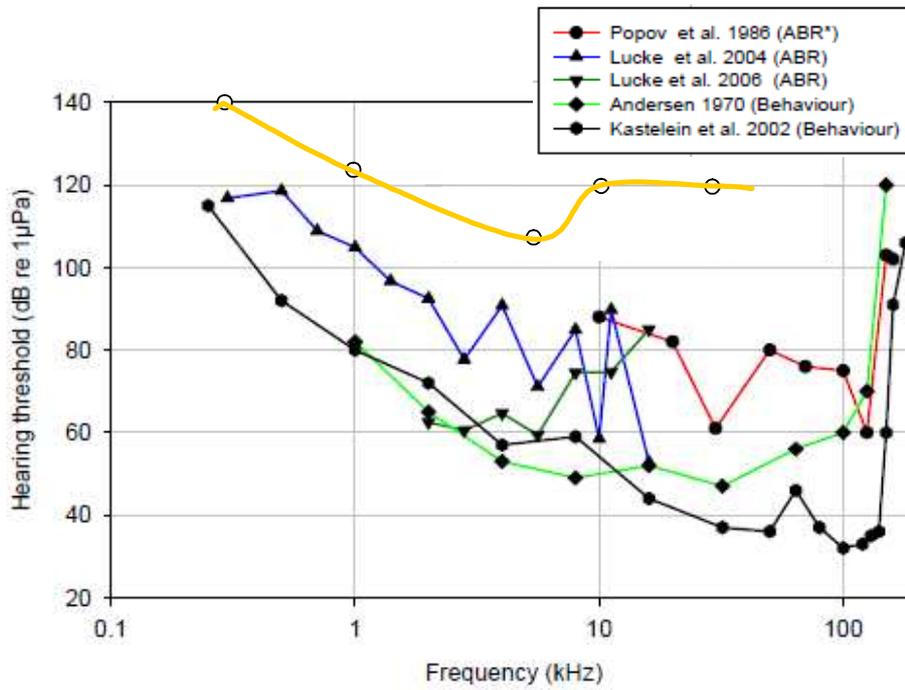


Bild 5.34: Audiogramme von Schweinswalen (ABR = Ableitungen von Hirnströmen, Behaviour = Audiogramm über Verhaltensreaktionen, * = über implantierte Elektroden). Aus Thomsen et al. 2006. Zusätzlich ist der gemessene breitbandige Schallpegel (SEL) bei den Rammarbeiten zu FINO3 in einer Entfernung von 245 m (orange) angegeben.

5.7 Literatur zu Kapitel 5

- Akamatsu, T., J. Teilmann, L.A. Miller, J. Tougaard, R. Dietz, D. Wang, K. Wang, U. Siebert, & Y. Naito (2007): Comparison of echolocation behaviour between coastal and riverine porpoises. *Deep-Sea Res.* 54: 290-297.
- Au, W.W.L., R.A. Kastelein, T. Rippe & N.M. Schooneman (1999): Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). *J. Acoust. Soc. Am.* 106: 3699–3705.
- Benke, H., U. Siebert, R. Lick, B. Bandomir & R. Weiss (1998): The current status of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in German waters. *Arch. Fish. Mar. Res.* 46: 97-123.
- BioConsult SH & GfN (2002): Environmental Impact Assessment Butendiek. Report to Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co KG, Husum.
- Boye, P., R. Hutterer & H. Benke unter Mitarbeit von M. Braun, D. Heidecke, G. Heidemann, H. Meinig & G. Schlapp. 1998: Rote Liste der Säugetiere (Mammalia), (Bearbeitungsstand: 1997). S.33-39. In: Binot, M., R. Bless, P. Boye, H. Gruttke & P. Pretschner (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. - Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.), Bonn-Bad Godesberg, 434 S.
- Brandt, M. J., A. Diederichs & G. Nehls (2008): Fachgutachten Meeressäuger. Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie für das Sandentnahmegebiet „Westerland III“ westlich von Sylt. BioConsult SH, Husum, Germany.
- Brandt, M. J., A. Diederichs & G. Nehls (in Vorbereitung): Harbour porpoise responses to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. Final report to DONG Energy. BioConsult SH, Husum, Germany.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers & L. Thomas (2001): Introduction to distance sampling – Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press.
- Carstensen J., O. D. Henriksen & J. Tielmann (2006): Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: acoustic monitoring of echo-location activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology Progress Series*, 321: 295-308.
- Diederichs, A., T. Grünkorn & G. Nehls (2002): Erprobung von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswalen im Sommer und Herbst 2002 im Seegebiet westlich von Sylt. Status report to Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co KG, Husum.
- Diederichs, A., T. Grünkorn & G. Nehls (2004): Einsatz von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswalen im Seegebiet westlich von Sylt. Final report to Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co KG, Husum.
- Diederichs, A. V. Henning & G. Nehls (2008a) Investigations on the bird collision risk and the responses of harbour porpoises in the offshore wind farm Horns Rev, North Sea and Nysted, Baltic Sea, in Denmark, Part II: harbour porpoises. Final report to the German federal ministry of the environment, nature conservation and nuclear safety.
- Diederichs, A., G. Nehls, M. Dähne, S. Adler, S. Koschinski & U. Verfuß (2008b): Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms. BioConsult SH report to COWRIE Ltd.
- Diederichs A., K. J. Brandt & G. Nehls (2009): Auswirkungen des Baus des Umspannwerks am Offshore-Testfeld „alpha ventus“ auf Schweinswale. Untersuchungen zu Schweinswalen mit T-PODs. Bericht im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie. BioConsult SH, Husum, Germany.
- Gilles, A., D. Risch, M. Scheidat & U. Siebert (2005): Erfassung von Meeressäugtieren und Seevögeln in der deutschen AWZ von Nord- und Ostsee (EMSON). Teilvorhaben: Erfassung von Meeressäugtieren. Endbericht für das Bundesamt für Naturschutz. F+E Vorhaben FKZ: 802 85 250, 92 pp.
- Gilles, A., H. Herr, K. Lehnert, M. Scheidat, K. Kaschner, J. Sundermeyer, U. Westerberg & U. Siebert (2007): Erfassung der Dichte und Verteilungsmuster von Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) in der deutschen Nord- und Ostsee. In: Forschungsverbund MINOSplus- Weiterführende Arbeiten an Seevögeln und Meeressäugern zur Bewertung von Offshore – Windkraftanlagen. Teilvorhaben 2.

- Gilles, A., M. Scheidat & U. Siebert (2009): Seasonal distribution of harbour porpoises and possible interference of offshore wind farms in the German North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 383: 295-307.
- Grießmann, T., Gerasch, W.-J., Rustemeier, J. (2009): Hydroschall beim Bau und Betrieb von Offshore-Windenergieanlagen. In: *Bauphysik-Kalender 2009*, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- Grünkorn, T., A. Diederichs, S. Gruber & G. Nehls (2002): Fachgutachten Meeressäuger. BioConsult SH. Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie für den Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek.
- Grünkorn, T., A. Diederichs & G. Nehls (2004): Fachgutachten Meeressäuger. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co.KG.
- Grünkorn, T., A. Diederichs & G. Nehls (2005): Aerial surveys in the German Bight - estimating g(0) for harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) by employing independent double counts. *ECS Newsletter*, 44, 25-31.
- Hammond P.S., H. Benke, P. Berggren, A. Collet, M.P. Heide-Jørgensen, S. Heimlich-Boran, M.F. Leopold & N. Øien (1995): The distribution and abundance of harbour porpoises and other small cetaceans in the North Sea and adjacent waters. LIFE 92-2/UK/027 final report to the European Commission. European Community, Brussels.
- Hammond, P.S., P. Berggren, H. Benke, D.L. Borchers, A. Collet, M. P. Heide- Jørgensen, S. Heimlich, A. R. Hiby, M. F. Leopold & N. Øien, N. (2002): Abundance of harbour porpoise and other cetaceans in the North Sea and adjacent waters. *J. Appl. Ecol.* 39: 361-376.
- Hammond, P.S. (2006): Small Cetaceans in the European Atlantic and North Sea (SCANS-II). In: LIFE04NAT/GB/000245. Final Report. St Andrews, UK. pp 1-52.
- Hastie, T., R. Tibshirani & J. Friedman. 2001. *The Elements of Statistical Learning*. Springer New York.
- Heithaus, M. R. & L. M. Dill. (2002): Food availability and tiger shark predation risk influence bottlenose dolphin habitat use. *Ecology*, 83, 480-491.
- Henriksen, O.D., J. Teilmann & J. Carstensen (2003): Effects of the Nysted Offshore Wind Farm construction on harbour porpoises. 2002 annual status report for the acoustic TPOD monitoring programme. Ministry of the Environment.
- Ito, J. A. R. Nikolaev, M. Luman, M. F. Aukes, C. Nakatani & C. V. Leeuwen (2003): Perceptual switching, eye movements, and the bus paradox. *Perception* 32:681-698.
- Jaquet, N. & D. Gendron (2002): Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology*, 141, 591-601.
- Jaquet, N. & H. Whitehead (1996): Scale-dependent correlation of sperm whale distribution with environmental features and productivity in the South Pacific. *Marine Ecology-Progress Series*, 135, 1-9.
- Johnston, D.W., A.J. Westgate & Read, A. J. (2005): Effects on fine-scale oceanographic features on the distribution and movements of harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the Bay of Fundy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 295: 279-293.
- Kahlert, J., M. Desholm, I. Clausager & I. K. Petersen (2000): Environmental impact assessment of an offshore wind park at Rødsand: Technical report on birds. Figures and appendices., pp. 1-65: Department of Coastal Zone Ecology (im Auftrag von SEAS Distribution 2000).
- Kastelein, R. A., P. Bunskoek, M. Hagedoorn & W. W. L. Au. (2002): Audiogram of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112(1), 334-344.
- Koschinski, S., A. Diederichs & A. Amundin (2008): Click train patterns of free-ranging harbour porpoises acquired via T-POD may be useful as indicators of their behaviour. *J. Cetacean Res. Manage.* 10:147-155.
- Lucke, K., P. A. Lepper, A.-M. Blanchet & U. Siebert (2008): How tolerant are harbour porpoises to underwater sound? In: Wollny-Goerke, K. & K. Eskildsen (Eds.). *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Teubner.
- Madsen, P.T., M. Wahlberg, J. Tougaard, K. Lucke & P.L. Tyack (2006): Wind turbine underwater noise and marine mammals: Implications of current knowledge and data needs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 309: 279-295.

- Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein (MLUR) (2004): Das Walschutzgebiet im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer - Begründung für die Notwendigkeit von Regelungen und deren Umsetzung in EU-Recht.
- Nehls, G., K. Betke, S. Koschinski, S. & K. Lüdemann (2010, in Vorbereitung): Sources of underwater noise and their implications on marine wildlife - with special emphasis on the North Sea and the Baltic Sea. Report to German Federal Environmental Agency.
- Nehls, G. (2008): Stellungnahme zu den möglichen Auswirkungen der Rammarbeiten zur Errichtung der Forschungsplattform FINO 3 auf marine Säugetiere – Stellungnahme im Auftrag des Forschungs- und Entwicklungszentrums der Fachhochschule Kiel.
- Nowacek, D. P., L. H. Thorne M. P. Johnston, P. L. & Pyack (2007): Responses of cetacean to anthropogenic noise. *Mammal Rev.* 37: 81-115.
- Rendell, L. E. & J. C. D. Gordon (1999): Vocal response of long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) to military sonar in the Ligurian Sea. *Mar. Mamm. Sci.* 15: 198-204.
- Richardson, W.J., C.R. Greene, C.I. Malme & D.H. Thompson (1995): *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego, California.
- Santos, M. B. and G. J. Pierce (2003): The diet of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the north-east Atlantic. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 41: 355- 390.
- Scheidat, M., A. Gilles & U. Siebert (2004): Erfassung der Dichte und Verteilungsmuster von Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) in der deutschen Nord- und Ostsee. In: A. Kellermann et al. 2004: *Marine Warmblüter in Nord und Ostsee: Grundlagen zur Bewertung von Windkraftanlagen im Offshore-Bereich*. Verbundvorhaben MINOS Teilprojekt 2. Band 1.
- Schulze, G. (1996): *Die Schweinswale*. Magdeburg. Neue Brehm Bücherei. 188 pp.
- Siebert, U. and J.H. Rye (2008): Correlation between aerial surveys and acoustic monitoring. In: Wollny-Goerke, K. and K. Eskildsen (eds) *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Teubner Verlag, Wiebaden, p. 37-39.
- Skov, H. & F. Thomsen (2008): Resolving the fine-scale tempo-spatial dynamics of harbour porpoise *Phocoena phocoena*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 373: 173-186.
- Sokal, R. R. & Rohlf F. J. (1995) *Biometry*. Freeman and Company, New York.
- Sonntag, R.P., H. Benke, A.R. Hiby, R. Lick & D. Adelung (1999): Identification of the first harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) calving ground in the North Sea. *J. Sea Res.* 41: 225–232.
- Southall, B.L., A. E. Bowles, W. T. Ellison, J. J., Finneran, R. L. Gentry, C. R. Greene, D. Kastak, D. R. Ketten, J. H. Miller, P. E. Nachtigall, W. J. Richardson, J. A. Thomas & P. L. Tyack (2007): *Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations*. *Aquatic Mammals* 33, 411-522
- Teilmann, J. (2000): The behaviour and sensory abilities of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in relation to bycatch in Danish gillnet fishery. PhD-thesis. pp. 219. Odense: University of southern Denmark.
- Teilmann, J., O. D. Henriksen, J. Carstensen & H. Skov (2002): Monitoring effects of offshore wind farms on harbour porpoises using PODs (porpoise detectors). Technical report to SEAS Wind Energy Center and Tech-wise A/S.
- Teilmann, J., (2003): Influence of sea state on density estimates of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *J. Cetacean Res. Manage.* 50: 85-92.
- Teilmann, J. The behaviour and sensory abilities of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in relation to bycatch in Danish gillnet fishery. Pp. 219. Odense: University of Southern Denmark
- Teilmann, J., S. Sveegaard, R. Dietz, I. Krag Petersen, P. Berggren & G. Desportes (2008): High density areas for harbour porpoises in Danish waters. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 84 pp. – NERI Technical Report No. 657.
- Thomas L., Laake J. L., Derry J. F., Buckland S. T. Borchers D. L., Anderson D. R., Burnham K. P., Strindberg, S., Hedley, S. L., Marques, F. F. C., Pollard J. H. and Fewster R. M. (1998): *Distance 3.5*. Research Unit for Wildlife Population Assessment, University of St Andrews, St Andrews, UK.

- Thomsen, F., K. Lüdemann, R. Kafemann & W. Pieper (2006): Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd.
- Tougaard, J., J. Carstensen, M. S. Wiesz, M. Jespersen, J. Teilmann & N. I. Bech (2006a): Harbour porpoises on Horns Reef, effects of the Horns Reef wind farm. Final report to Vattenfall A/S. Roskilde, Denmark, NERI.
- Tougaard, J., J. Carstensen, N. I. Bech & J. Teilmann (2006b) Final report on the effect of Nysted offshore wind farm on harbour porpoises - Annual Report 2005. Technical report to Energi E2 A/S. Ministry of the Environment, Roskilde, Denmark. NERI.
- Tougaard, J., L. Rosager Poulsen, M. Amundin, F. Larsen, J. Rye, J. & J. Teilmann (2006c): Detection function of T-PODs and estimation of porpoise densities. ECS NEWSLETTER NO. 46 - SPECIAL ISSUE - Proceedings of the workshop STATIC ACOUSTIC MONITORING OF CETACEANS Held at the 20th Annual Meeting of the European Cetacean Society, Gdynia, Poland, 2 April 2006. European Cetacean Society. 14 pp.
- Verboom, W.C. & R.A. Kastelein (1997): Structure of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) click train signals. In: A. J. Read, P.R. Wiepkema & P.E. Nachtigal [eds.]: The biology of the harbour porpoise. De Spil Publishers, Woerden, pp. 343-362.
- Verfuß, U.K. & H.-U. Schnitzler (2002): Untersuchungen zum Echoortungsverhalten der Schweinswale (*Phocoena phocoena*) als Grundlage für Schutzmaßnahmen. Report to the Federal Agency for Nature Protection, Bonn. FKZ-Nr.: 898 86 021. Eberhard Karls Universität Tübingen.
- Verfuß, U.K., L.A. Miller & H.-U. Schnitzler (2005): Spatial orientation in echolocating harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). J. Exp. Biol. 208: 3385-3394.
- Verfuß, U.K., C. Honnef & H. Benke (2004): Untersuchung zur Raumnutzung durch Schweinswale in der Nord- und Ostsee mit Hilfe akustischer Methoden (PODs). In: A. Kellermann et al. 2004 : Marine Warmblüter in Nord und Ostsee: Grundlagen zur Bewertung von Windkraftanlagen im Offshore-Bereich. Verbundvorhaben MINOS, Teilprojekt 3. Band 1.
- Weilgart, L. S. (2007): The impacts of anthropogenic noise on cetaceans and implications for management. Can. J. Zool. 85: 1091-1116.
- Wood, S.N. (2004): Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. Journal of the American Statistical Association. 99:673-686.
- Wood, S.N. (2006): Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC, London.

Anhang

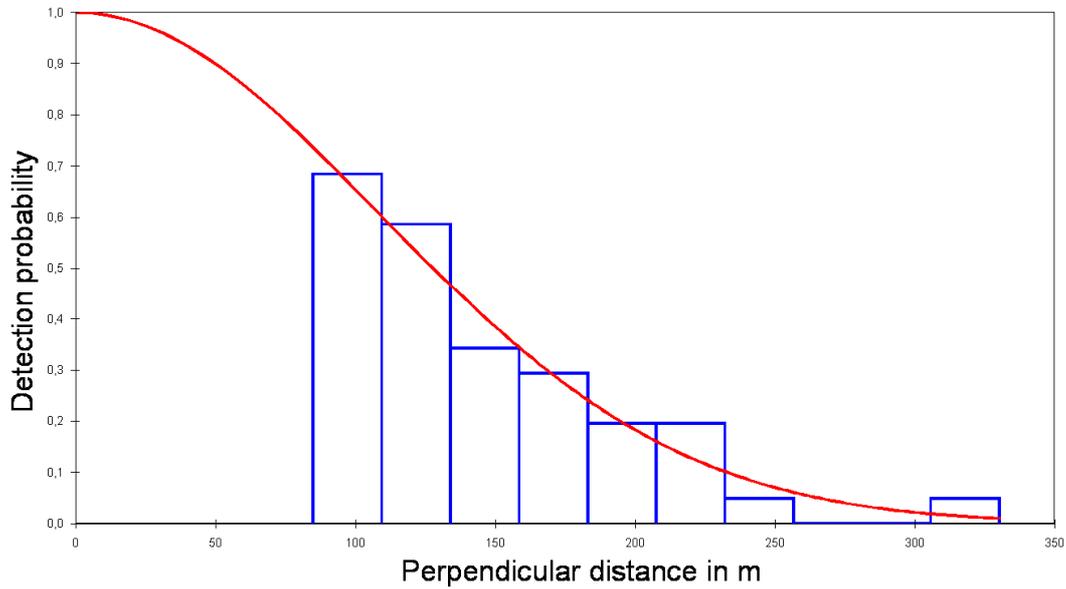


Bild 5.35: Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie während des Fluges am 06.07.2008. Hier ergab sich eine ESW von 58,66 m.

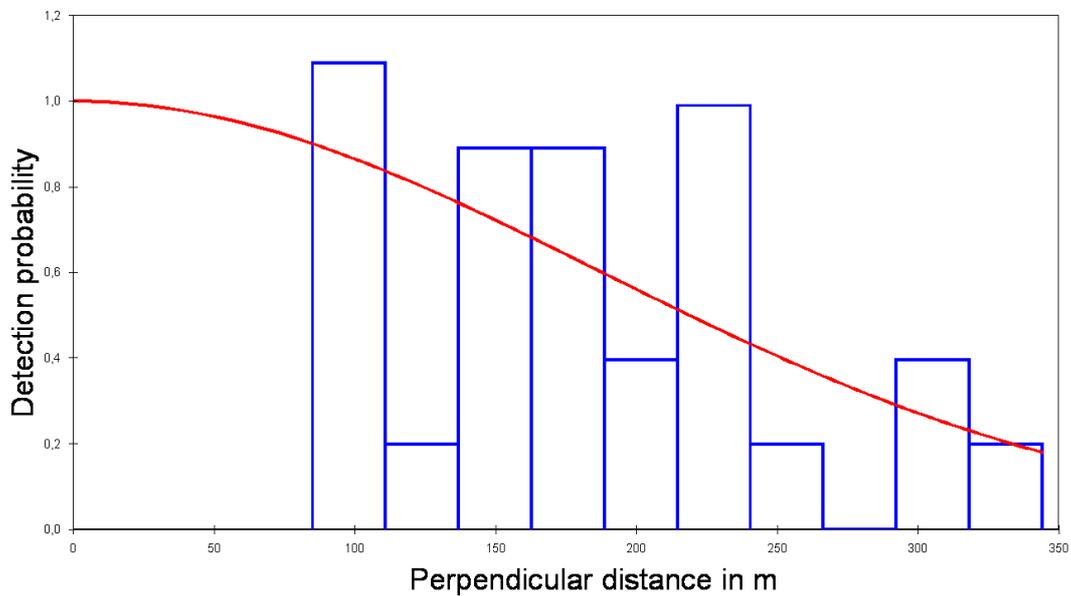


Bild 5.36: Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie während des Fluges am 24.07.2008. Hier ergab sich eine ESW von 135,90 m.

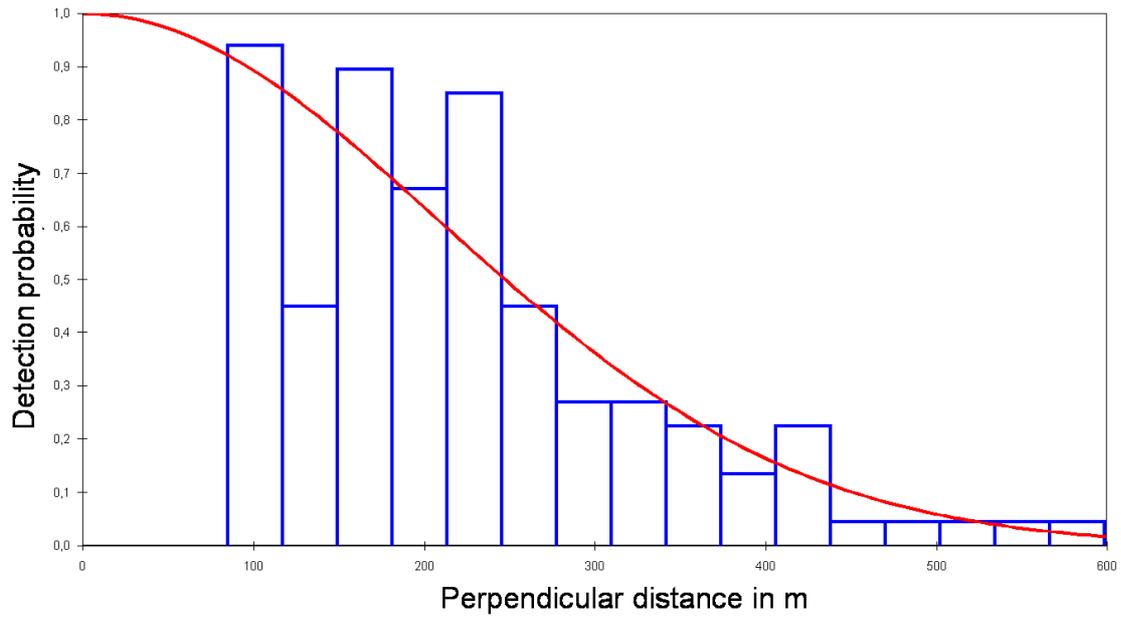


Bild 5.37: Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie während des Fluges am 30.07.2008. Hier ergab sich eine ESW von 179,49 m.

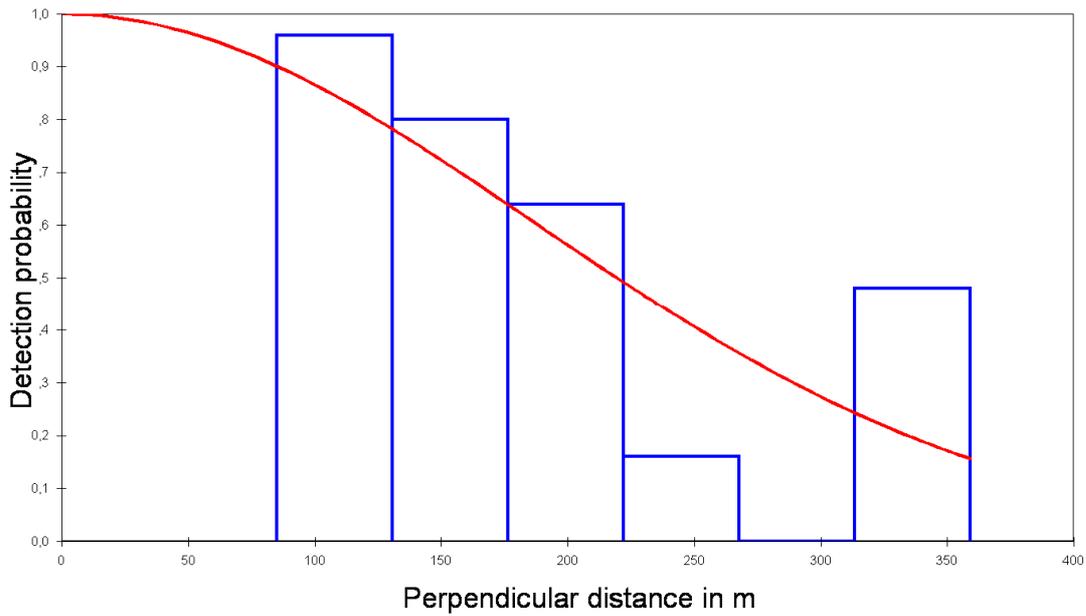


Bild 5.38: Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie während des Fluges am 31.07.2008. Hier ergab sich eine ESW von 138,79 m.

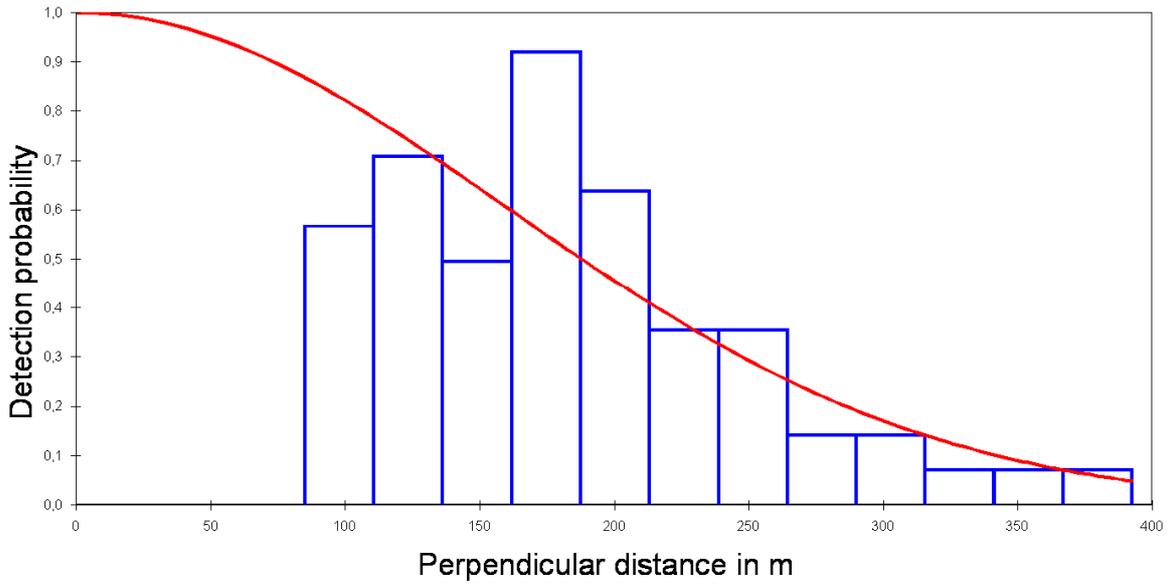


Bild 5.39: Abhängigkeit der Sichtungswahrscheinlichkeit von der Distanz zur Grundlinie während des Fluges am 16.08.2008. Hier ergab sich eine ESW von 116,0 m.

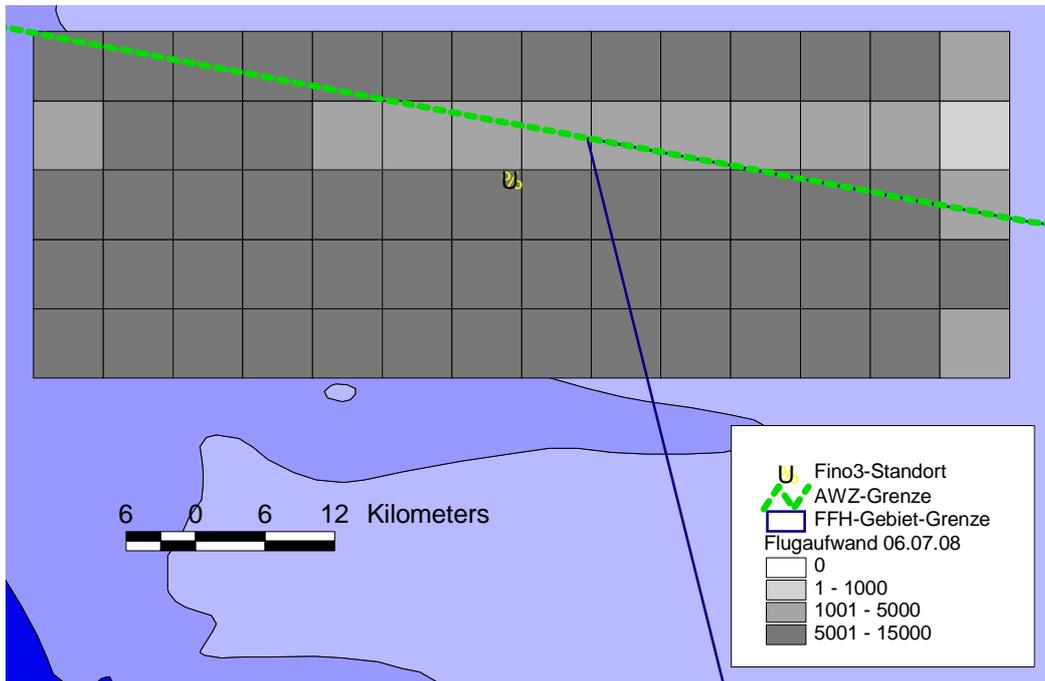


Bild 5.40: Flugaufwand angegeben in geflogenen m für den 06.07.2008.

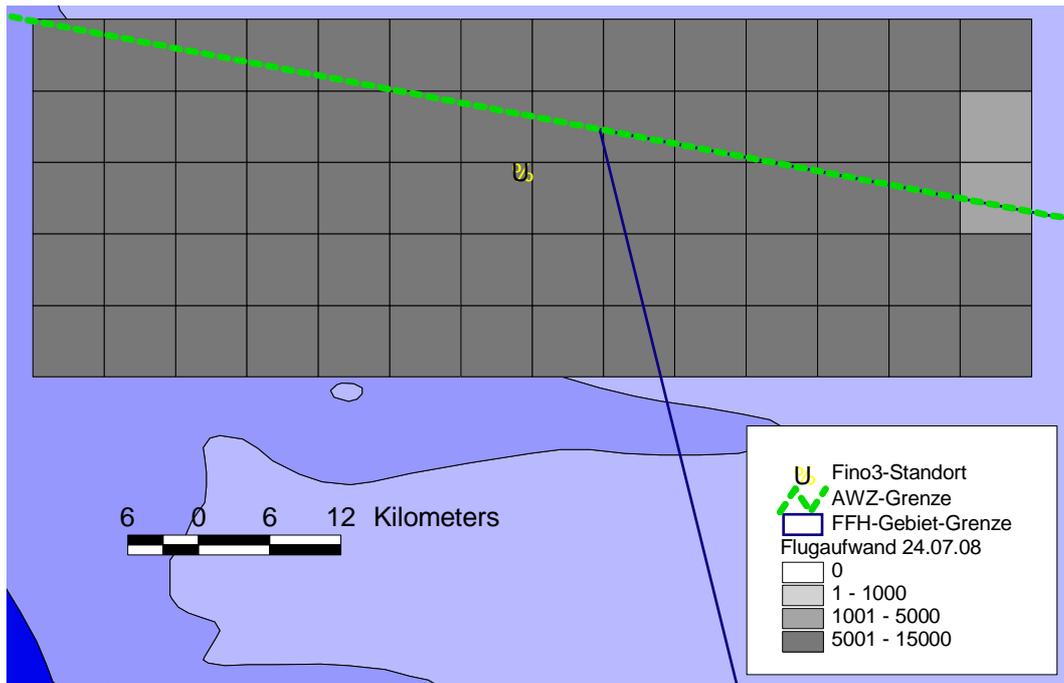


Bild 5.41: Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 24.07.2008.

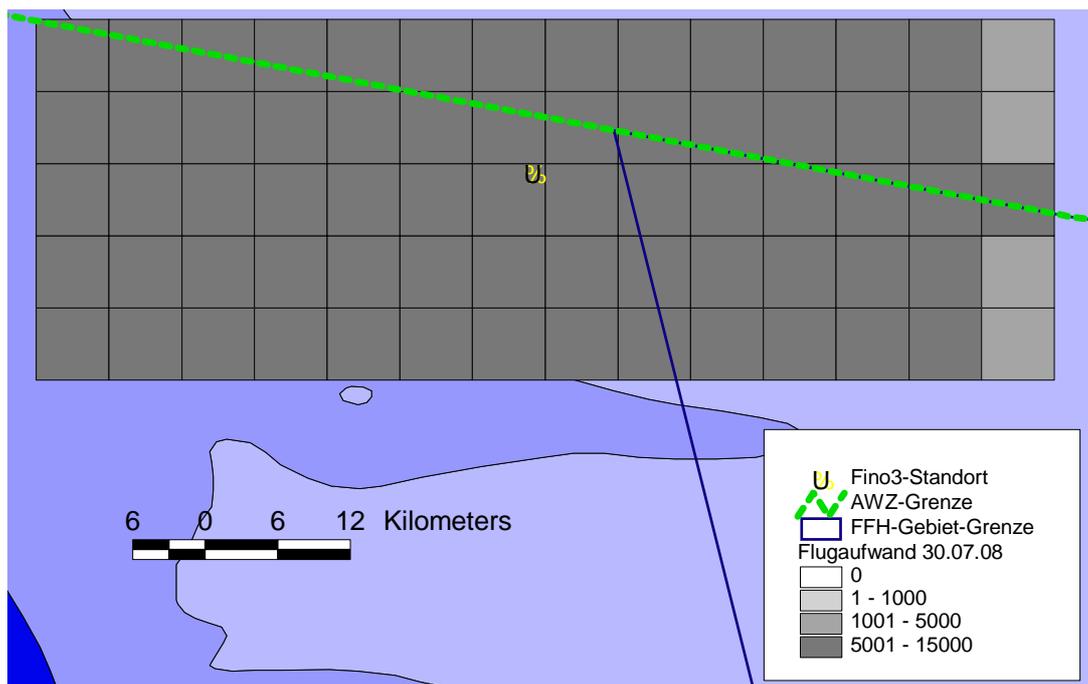


Bild 5.42: Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 30.07.2008.

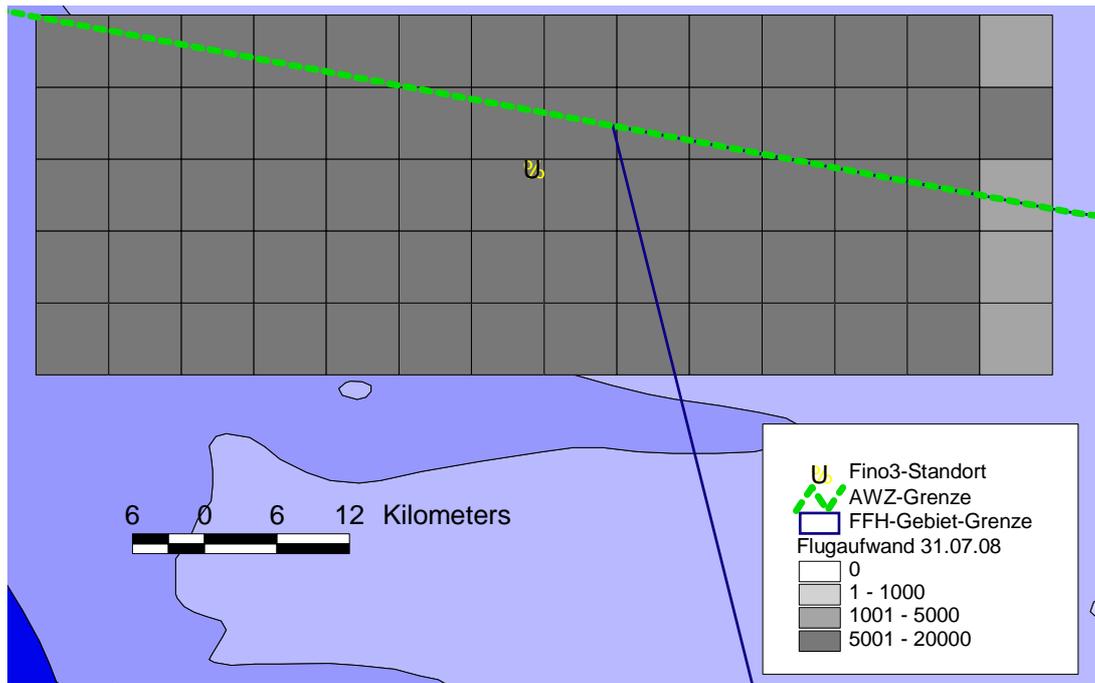


Bild 5.43: Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 31.07.2008.

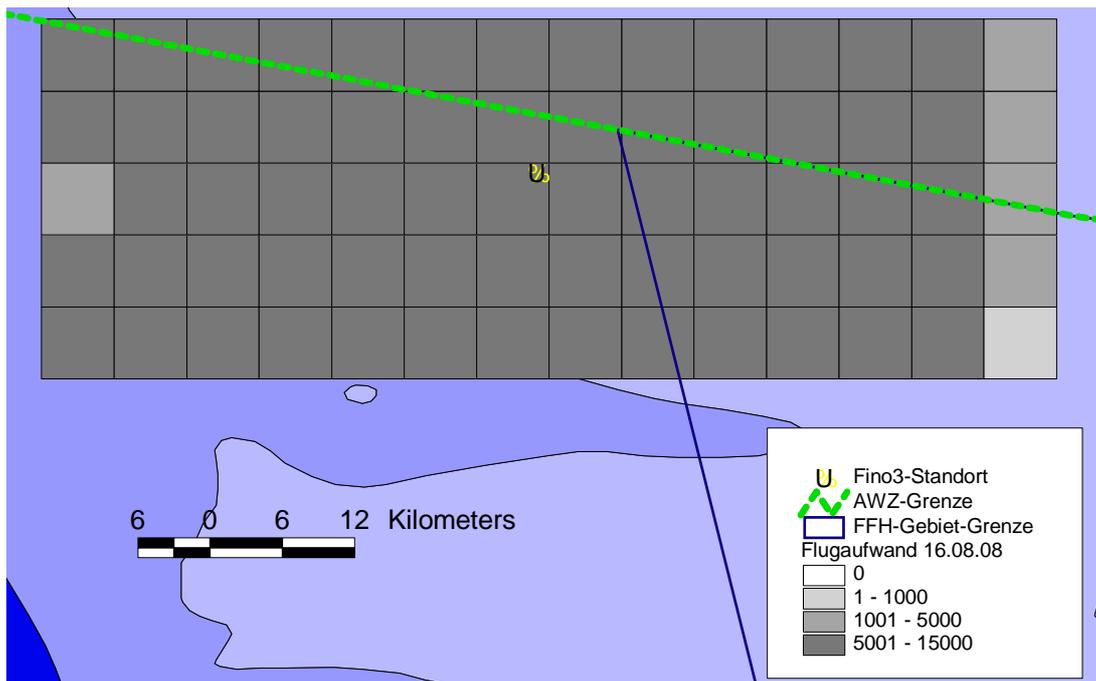


Bild 5.44: Flugaufwand angegeben in geflogenen Metern für den 16.08.2008.

Table 5.15: Anzahl Schweinswalsichtungen der beiden vorderen Beobachter, gesichteter Schweinswalindividuen, Schweinswalkälber und Anteil gesichteter Schweinswalkälber an den einzelnen Flugtagen.

Datum	Anzahl Schweinswal-sichtungen	Anzahl gesichteter Schweinswale	Anzahl Schweinswalkälber	Anteil Schweinswalkälber
06.07.2008	66	82	7	8,5 %
24.07.2008	80	110	15	13,6 %
30.07.2008	152	212	23	10,8 %
31.07.2008	24	33	5	15,2 %
16.08.2008	65	99	14	14,1 %
Summe	387	536	64	11,9

Table 5.16: Anzahl der Beobachtungen der jeweiligen Gruppengrößen an den einzelnen Flugtagen.

Datum	1 Wale	2 Wale	3 Wale	4 Wale	5 Wale	6 Wale
06.07.2008	53	12	0	0	1	0
24.07.2008	58	17	2	3	0	0
30.07.2008	106	37	6	2	0	1
31.07.2008	17	6	0	1	0	0
16.08.2008	42	16	4	2	1	0
Summe	276	88	12	8	2	1
Prozent	71,3 %	22,7 %	3,1 %	2,1 %	0,5 %	0,3 %

Table 5.17: Mittlere Gruppengrößen mit und ohne Kälber an den einzelnen Flugtagen.

Datum	Mittlere Gruppengröße mit Kälbern	Mittlere Gruppengröße ohne Kälber
06.07.2008	1,24	1,14
24.07.2008	1,38	1,19
30.07.2008	1,39	1,24
31.07.2008	1,38	1,17
16.08.2008	1,52	1,31
Mittelwert ± Standardabweichung	1,38 ± 0,1	1,21 ± 0,07

Tabelle 5.18: Ergebnisse des GAMs für die Berechnung des Einflusses von Position, Monat und Tageszeit (Stunde) auf den Parameter PPM/H für jede POD-Position einzeln berechnet.

POD-Position	Variable	df	F	P	Erklärte Abweichung
P1	Monat	2	37,8	<0,001	
	Stunde	9,3	28,9	<0,001	24,5 %
P2	Monat	2	69,1	<0,001	
	Stunde	9,2	34,5	<0,001	30,8 %
P3	Monat	2	155,1	<0,001	
	Stunde	7,7	9,4	<0,001	26,2 %
P4	Monat	1	2,7	0,1	
	Stunde	4,5	5,0	<0,001	5,1 %
P5	Monat	2	116,2	<0,001	
	Stunde	8,6	9,4	<0,001	19,7 %
P6	Monat	2	157,3	<0,001	
	Stunde	3,5	14,4	<0,001	22,5 %
P7	Monat	2	17,9	<0,001	
	Stunde	8,6	11,5	<0,001	10,6 %
P8	Monat	2	22,3	<0,001	
	Stunde	7,3	11,5	<0,001	10,4 %
P9	Monat	1	3,0	0,09	
	Stunde	1,5	1,7	0,19	1,1 %
P10	Monat	2	16,4	<0,001	
	Stunde	4,5	2,0	0,08	4,0 %
DK1	Monat	2	66,2	<0,001	
	Stunde	5,8	6,0	<0,001	12,3 %
DK2	Monat	2	12,9	<0,001	
	Stunde	3,9	9,0	<0,001	5,3 %
DK3	Monat	2	7,7	<0,001	
	Stunde	6,6	3,3	<0,001	4,2 %
DK4	Monat	1	6,5	<0,05	
	Stunde	5,3	5,0	<0,001	7,3 %
DK5	Monat	1	0,1	0,7	
	Stunde	6,1	7,0	<0,001	8,2 %

6. Konstruktion und Offshore-Einsatz des Blaseschleiers

von Jan Bachmann (Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH)

6.1 Kurzdarstellung

6.1.1 Aufgabenstellung

Monopiles stellen eine der möglichen Gründungsarten für Offshore-Windenergieanlagen dar. Die Einbringung von Pfahlgründungen erfolgt in der Regel durch Rammungen, bei denen sich überwiegend hochfrequenter Hydroschall im Wasser ausbreitet. Diese Immissionen können für die Meeressäuger, die sich in der Nähe der Rammung aufhalten (in der Nordsee vor allem Schweinswale), potentiell schädlich sein. Es besteht aus diesem Grund das Erfordernis, durch geeignete Maßnahmen die Schallimmissionen beim Rammen so weit wie möglich zu reduzieren.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die Wirkung eines Blaseschleiers zur Schallreduktion untersucht. Das Hauptziel des Projektes war es, die Wirksamkeit eines Blaseschleiers quantifiziert zu ermitteln und unter Berücksichtigung der Versuchsbedingungen vorhersehbar zu machen.

Das Vorhaben diente dem Schutz der Meeressäuger in diesem Gebiet während der Bauzeit von FINO3 und der Erprobung eines Verfahrens, dass bei der Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen eingesetzt werden kann. Langfristiges Ziel ist die Identifikation von technisch und wirtschaftlich geeigneten Maßnahmen zur Reduzierung der Schallimmissionen.

Darüber hinaus sollten auch mögliche Vergrämungsmaßnahmen auf Ihre Wirksamkeit geprüft werden.

6.1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Umweltbundesamt (UBA) hat den empfohlenen Richtwert von 160 dB re 1 μ Pa für den SEL in einer Entfernung von 750 m als für den Bau zulässigen Schallimmissionswert abgeleitet.

Aufgrund der zunehmenden Praxis des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) diese Empfehlung als Grenzwert in die Genehmigungsbescheide für Offshore-Windparks aufzunehmen, bzw. hier sowohl strenge als auch gleichzeitig nur wenig konkrete Auflagen hinsichtlich der Schallimmissionen zu formulieren (hinzu kommen die fehlenden technischen Standards zum Unterwasser-Schallschutz), stehen die Parkprojekte vor kaum kalkulierbaren Risiken hinsichtlich der Installation ihrer Windenergieanlagen.

Ein Forschungsvorhaben zum Schallschutz war daher bereits 2007 vom ISD der Universität Hannover in Kooperation mit dem FINO3-Generalunternehmer, Ed. Züblin AG, beim Projektträger Jülich eingereicht worden. Der Antrag wurde jedoch von der Firma Ed. Züblin AG in 2008 zurückgezogen.

Die FuE GmbH als Bauherr der Forschungsplattform FINO3 hat daraufhin kurzfristig und ob des großen öffentlichen Interesses an Schallschutzmaßnahmen beim Bau der Forschungs-

plattform diesen Teil des Industriepartners übernommen und die notwendigen Schritte veranlasst.

6.1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

6.1.3.1 Einsatz eines Blasenschleiers

In Gesprächen mit dem BMU wurde Ende Mai 2008 ein „doppelter Blasenschleier“ als zeitlich und technisch realisierbare und gleichzeitig effektive Schallschutzmaßnahme für die Ende Juli geplanten Bauarbeiten erörtert (Bild 6.1).

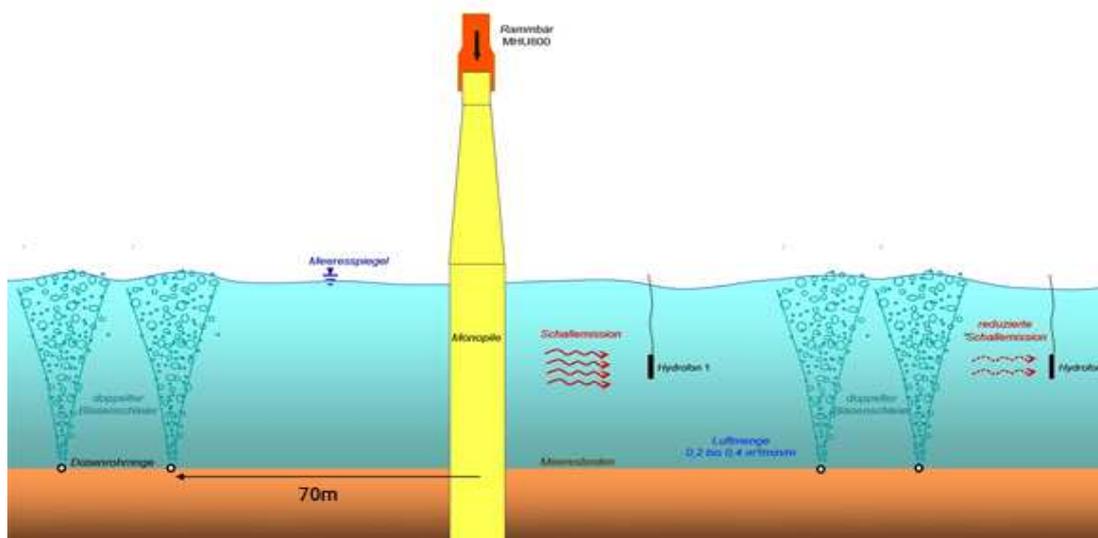


Bild 6.1: Schemazeichnung: Doppelter Blasenschleier.

Die Firma BioConsult SH erarbeitete eine fachliche „Stellungnahme zu den möglichen Auswirkungen der Rammarbeiten auf marine Säugetiere“.

Am 15.07.08 wurde ein Treffen mit Nicht-Regierungs-Organisationen (NGOs) und Experten aus Forschung und Behörden durchgeführt, in dem das Vorhaben offen diskutiert wurde und den verschiedenen Institutionen die Möglichkeit gegeben wurde, Vorschläge zur Verbesserung einzubringen sowie bei Interesse an der Seemontage teilzunehmen, um das Forschungsprojekt zu begleiten.

Bereits am 16.06.08 war von der FuE GmbH mit dem Unternehmen Ed. Züblin AG eine Vereinbarung getroffen worden, die vorsah, die Rammarbeiten des Gründungsrohres von FINO3 unter Berücksichtigung des Schallschutzes in Form eines doppelten Blasenschleiers durchzuführen.

Als Unterauftragnehmer begann die Firma Hydrotechnik Lübeck GmbH unmittelbar, in Abstimmung mit den forschenden wissenschaftlichen Instituten, mit der Fertigung der benötigten HDPE-Düsenrohre (mit gratfreien Bohrungen im Abstand von 25 cm) sowie der Druckluftverteilungen und Grundgewichte und buchte die notwendigen Dieselkompressoren (Leihgeräte). Hierfür waren von Hydrotechnik Lübeck zuvor 5 bis 6 Wochen Vorlauf angekündigt worden, die sich für die ebenfalls diskutierte Variante „einfacher Blasenschleier“ um etwa 2 Wochen verkürzt hätten.

Bei der planerischen Auslegung des Blasenschleiers wurde auf die Erfahrungen der Firma bei der Installation von Druckluftölsperren und bei der Schallminderung bei Unterwasser-Sprengungen zurückgegriffen, in Abstimmung mit ITAP Oldenburg wurden kleinere Anpassungen an den Düsenrohren vorgenommen. Der Durchmesser von 140 mm bestimmte sich maßgeblich aus der Forderung, dass der Schleier durch den Strom nicht bis an den Pfahl heran vertrieben werden darf, den zu erwartenden Strömungsgeschwindigkeiten an der Lokation von bis zu 0,5 m/s und der Wassertiefe von 23 m.

Um die Rammarbeiten nicht zu behindern, sollten die Rohrleitungen für den Blasenschleier vor Eintreffen des Großgerätes am 28.07.08, um die geplante Position des Monopiles herum, auf dem Seeboden verlegt werden.

Fa. Hydrotechnik Lübeck installierte beginnend am 23.7.08 – also mehr als 5 Tage vor der Rammung des Pfahls bzw. den damit zusammenhängenden Aktivitäten – unter Einsatz des Ölbekämpfungsschiffes Vilm und eines Tauchers diesen Blasenschleier.

In ca. 23 m Wassertiefe wurde das insgesamt 440 m lange Düsenrohr um die mit einer Boje markierte Position verlegt. Um die Rohrleitungen am Boden zu halten, mussten sie mit Ankersteinen fixiert werden. Diese wurden zunächst gesetzt und markiert, erst dann wurden die Rohre eingeschwommen, abgesenkt und befestigt. Die flexible Zuluftleitung wurde innerhalb des Blasenschleiers an die Wasseroberfläche geführt.

Zur Verlegung des vorgesehenen zweiten Ringes bestehend aus einem weiteren, 470 m langen Rohr, im Abstand von 5 m parallel zum ersten, kam es aus zeitlichen und bautechnischen Gründen nicht mehr.

Der einsatzfähige Ring wurde zunächst mit einem einzelnen Kompressor von der Vilm aus probetrieben.

Die anderen neun (annähernd baugleichen) fahrbaren Schraubenverdichter-Kompressoren vom Typ CompAir 210 TS12 wurden am 22.07.08 mit einem Autokran auf den Seeponton für den Monopile und den Rammbär verladen und gelascht. Ebenso wurden fünf Dieseltanks für den Betrieb der Kompressoren aufgestellt und gelascht.

Der Seeponton wurde am 27.07.08 von Cuxhaven zur Position geschleppt und war am 28.07.08 gegen 5 Uhr vor Ort.



Bild 6.2: Seeponton mit Monopile, Rammbar und 9 Dieselkompressoren.

Nach Ankunft aller Großgeräte und Positionierung des Stelzenpontons MP45, an dem der Monopile mit Hilfe einer Rammführung geführt werden sollte, konnte der Seeponton gegen 16 Uhr längsseits gehen. Anschließend wurden dann die Kompressoren über eine Verteiler- bzw. Sammelstation mit dem an einer Boje befestigten Zuluftschlauch des verlegten einsatzklaren Düsenrohring verbunden.



Bild 6.3: Druckluft-Sammelstation mit flexiblen Schläuchen zu den Kompressoren sowie zur Ringleitung.

Bereits Stunden vor der Rammung wurde das eingedrungene Wasser mit Druckluft aus dem Ring gedrückt, der Ring dann durchgehend mit vergleichsweise kleiner Luftmenge frei gehalten.



Bild 6.4: Blasenschleier im Testbetrieb (Schwimmkran Samson, Hubinsel mit aufgerichtetem Pfahl in der Rammführung, Seeponton mit Dieselkompressoren, Ölbekämpfungsschiff, Verkehrssicherungsschiff).

Die vorgesehene Druckluftmenge von $0,2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$, die die neun Kompressoren für den doppelten Blasenschleier hätten bereit stellen können, wurde kurz vor der Rammung komplett auf den funktionsfähigen einzelnen Ring gelegt, die spezifische Luftmenge dieses Ringes dadurch auf $0,39 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$ erhöht. Bild 6.4 zeigt den Blasenschleier im Testbetrieb.

Zeitgleich konnten die Wissenschaftler des ISD wie auch die Mitarbeiter der TU Braunschweig, die u.a. die Rammbeschleunigungen des Pfahles erfassen sollten, ihre Versuchseinrichtung auf dem Stelzenponton MP45 in Betrieb nehmen.

Die Rammung verzögerte sich aufgrund verschiedener technischer Probleme am Rammbar immer wieder.

Zu Ende der Rammung wurde für das abschließende Versuchsprogramm bei auf 20% verminderter Rammenergie (160 kJ) der Blasenschleier bei voller Luftmenge und bei auf die Hälfte gedrosselter Luftmenge untersucht. Wichtig waren zusätzlich die Referenzmessungen bei abgeschaltetem Blasenschleier.

Nach Beendigung aller Maßnahmen der Seemontage wurde das Seeponton mit den Kompressoren wieder nach Cuxhaven geschleppt und Fa. Hydrotechnik Lübeck begann auf See mit der Demontage des Blasenschleiers und der Bergung der Materialien vom Meeresgrund.

Die Untersuchung der Wirksamkeit eines Blasenschleiers unter Offshore-Bedingungen war eines der Projektziele, die Wirksamkeit konnte somit nicht vorausgesetzt werden. Vor Aufnahme der schallintensiven Ramarbeiten wurden daher von der FuE GmbH zusätzlich Vergrämungsmaßnahmen mit Pingern und Seal scarern vorgenommen, die sicherstellen sollten, dass sich zu Rammbeginn keine Tiere mehr in der Gefährdungzone ($\sim 750 \text{ m}$) aufhalten. Die Wirksamkeit dieser – als Stand der Technik zu bezeichnenden Vergrämungsmethode – wurde durch aufwendiges Monitoring mittels optischer Beobachtung von Schiffen sowie per Online-Schlepphydrofon überprüft. Hiermit wurde die Firma BioConsult SH beauftragt, die im Rahmen

des Forschungsvorhabens (Teil A) mit der Leibniz Universität Hannover bereits in das Projekt eingebunden war und u.a. großräumige Untersuchungen zur Schweinswalddichte mit T-Pods und Flugzeugzählungen durchführte.

Die Pinger wurden zwei Stunden vor Rammbeginn an der Baustelle auf verschiedenen Fahrzeugen eingesetzt um die ggf. anwesenden Schweinswale aus dem Nahfeld (50 bis 100 m) zu vertreiben. Etwa eine Stunde vor Rammbeginn wurde der Seal scarer von der Hubinsel MP45 zu Wasser gelassen, der einen Schalldruckpegel von bis zu 189 dB re 1 μ Pa @ 1m entwickelt. Hiermit sollten die Tiere auch aus der weiteren Umgebung (1 bis 2 km) vertrieben werden.

Die Rammung begann dann unter voll aufgebautem Blasenschleier mit leichten Schlägen von ca. 10% der maximalen Rammenergie, dieses allein aus technischen Gründen gewählte sanfte Anfahren des Hammers in den weichen oberen Bodenschichten ist der sogenannten Soft-Start-Methode zur weiteren Vergrämung äquivalent.

Seal scarer und Pinger wurden auch während der technisch bedingten mehrfachen Unterbrechungen der Rammarbeiten in Betrieb gehalten.

6.1.3.2 Erfassung von Meeressäugern vom Schiff

Während der Gründungs- und Rammarbeiten für die Forschungsplattform FINO3 in der deutschen AWZ der Nordsee wurden verschiedene Schallminderungs- und Vergrämungsverfahren eingesetzt, um mögliche Schädigungen von marinen Säugetieren, insbesondere Schweinswalen, zu vermeiden. Zur Untersuchung des Einflusses der akustischen Vergrämung wurden von BioConsult SH im Auftrag des Forschungs- und Entwicklungszentrums der Fachhochschule Kiel verschiedene Messungen und Observationen vor und während der Rammarbeiten durchgeführt.

Es wurden Sichtbeobachtungen vom Schiff vorgenommen und passive akustische Monitoringmethoden (PAM) angewendet.

Passives Akustisches Monitoring (PAM) mit Schlepphydrofon-Array nach IFAW-Design (Seiche Ltd., England)

Aufwand

- 60,25 h Schleppen des Hydrofons auf Transektlinien im Baugebiet über 421,75 nm 250 m achteraus in 10 m Wassertiefe (siehe Abb. 6)
- 2,50 h stationärer Einsatz auf Transektlinie zur Fehlersuche
- 10,75 h Schleppen des Hydrofons auf Kreistransekt im Baugebiet in ca. 1000 bis 2500 m Entfernung zur Rammstelle (Schallquelle) auf 75,25 nm 250 m achteraus in 10 m Wassertiefe; die Wegstrecke auf dem Kreistransekt wurde den Möglichkeiten vor Ort angepasst, der Weg führte zwischen einer Vielzahl von ankernden Baubegleitschiffen mit Beibootverkehr und teilweisen Schiffsbewegungen hindurch
- 5,50 h stationärer Einsatz ankernden Schiff während der Reparaturarbeiten am Hammerkopf, währenddessen
- 5,50 h zusätzlicher Einsatz von zwei TPODS (Klickdetektoren CHELONIA Ltd., England)

Zeitraum

- Transektlinienfahrten (Bild 6.5) vom 28.07.2008 6:00 Uhr bis zum 30.07.2008 20:30 Uhr, unterbrochen von
 - Stationärer Einsatz am 29.07.2008 von 16:00 Uhr bis 18:30 Uhr
 - Kreistransektfahrt vom 30.07.2008 20:30 Uhr bis 31.07.2008 12:45 Uhr, unterbrochen von
 - Stationärer Einsatz vom 30.07.2008 23:00 Uhr bis 31.07.2008 04:30 Uhr

Untersuchungsziel

- Überwachung der Anwesenheit von Schweinswalen im Baugebiet „live“ während des Schalleintrages

Optische Erfassung von Meeressäugern vom Schiff

Aufwand

- 10,50 h Sichtbeobachtung auf Transektlinien, Erfassung mit bloßem Auge, dann fernglasverstärkt 300 m recht voraus in Fahrtrichtung sowie in einem 300 m Bereich 90° zu jeder Schiffsseite
- 73,5 nm on effort
- 2,00 h Sichtbeobachtung auf Kreistransekt, s.o., Abbruch wegen Verschlechterung der Sichtbedingungen (seastate 3 übergehend zu 4)
- 14 nm on effort

Zeitraum

- Transektlinienfahrten (Abb. 5) am 30.07.2008 von 10:00 Uhr bis 20:30Uhr
- Kreistransektfahrt am 31.07.2008 von 9:00 Uhr bis 11:00 Uhr

Untersuchungsziel

- Überwachung der Anwesenheit von Schweinswalen im Baugebiet „live“ während des Schalleintrages

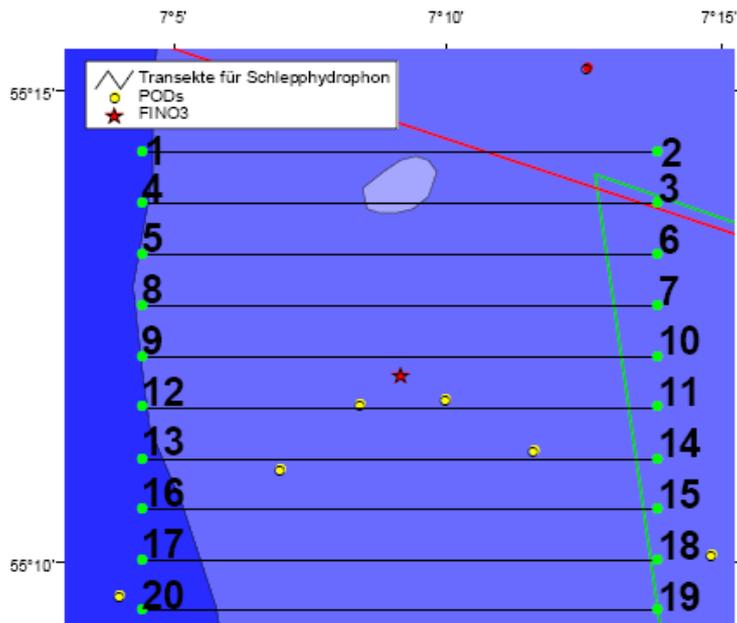


Bild 6.5: Lage der Transektlinien während der Schlepphydrofonfahrten.

Tabelle 6.1: Koordinaten der Transekte mit Schlepphydrofon.

Wpt-Nr.	LAT	LONG	Wpt-Nr.	LAT	LONG
1	55°14.332	7°04.410	11	55°11.637	7°13.839
2	55°14.332	7°13.839	12	55°11.637	7°04.410
3	55°13.793	7°13.839	13	55°11.098	7°04.410
4	55°13.793	7°04.410	14	55°11.098	7°13.839
5	55°13.254	7°04.410	15	55°10.559	7°13.839
6	55°13.254	7°13.839	16	55°10.559	7°04.410
7	55°12.715	7°13.839	17	55°10.020	7°04.410
8	55°12.715	7°04.410	18	55°10.020	7°13.839
9	55°12.176	7°04.410	19	55°09.481	7°13.839
10	55°12.176	7°13.839	20	55°09.481	7°04.410

Die Transekte waren 10 km lang und 1 km voneinander entfernt. Aufgrund der Gegebenheiten auf der Baustelle konnten die Transektlinien von WPT 7 bis WPT 12 nur selten befahren werden. Nach Vorgaben der Bauleitung vor Ort musste das Schleppschiff einen Mindestabstand einhalten.

6.1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Rammarbeiten für die Errichtung von Offshore-Windparks werden bis dato weltweit ohne Schallminderungsmaßnahmen durchgeführt, einen Stand der Technik, dessen man sich bedienen könnte, gibt es bislang nicht (Nehls et al. 2007).

Das Prinzip des Blasenvorhangs wird bereits seit Jahren zur Seesänierung, zur Verhinderung von Salzwassereinträgen, zur Eisfreihaltung, als Wellenbrecher und als Druckluftölsperre sowie als Schallschutz bei Unterwassersprengungen wirksam eingesetzt. Um einen effektiven

Blasenvorhang aufzubauen, ist das Wissen über die Entstehung sowie das Verhalten der Druckluftblase im Wasser unabdingbar und setzt viel Erfahrung voraus. Das Unternehmen Hydrotechnik Lübeck GmbH besitzt die technischen Einrichtungen und für die o.g. Anwendungsgebiete das Know-how um die beeinflussenden Parameter

- Luftdruck des einspeisenden Kompressors,
- Druckluftvolumenstrom,
- Anzahl der Düsen je Meter Blasenrohrlänge,
- Form der Düsen im Blasenrohr,
- Ausrichtung der Düsen,
- Düsendurchmesser bzw. Blasendurchmesser

zu dimensionieren und zu realisieren. Auch bei der Herstellung, der Montage und dem Betrieb von Blasenschleiern hat die Firma langjährige Erfahrung, auf die hier zurückgegriffen wurde.

6.2 Ausführliche Darstellung

6.2.1 Erzielte Ergebnisse

6.2.1.1 Erfassung von Meeressäugern vom Schiff

Die Rammung der Forschungsplattform FINO3 erfolgte in einem Seegebiet, in dem vor dem Zeitpunkt der Rammung die höchste bislang bekannte Schweinswaldichte der Nordsee ermittelt wurde. Beim Einsatz des Schlepphydrofons wurden keine Meeressäuger sicher detektiert. Dieses Ergebnis ist vorläufig. Es gilt vorbehaltlich einer andauernden, intensiven Diskussion mit dem Hersteller SEICHE Ltd. und einer noch möglichen Auswertung der aufgezeichneten Daten.

Die Sichtbeobachtungen vom Schiff ergaben am 30.07.2008 17 Sichtungen mit insgesamt 36 Schweinswalen (Bild 6.6). Dies ist eine für Schiffe relativ hohe Anzahl Sichtungen, die mit der an diesem Tag mit Flugzeugzählungen ermittelten hohen Dichte gut übereinstimmt. Aufgrund der Vorbereitung zu den Bauarbeiten war bei den Transektfahrten am 30.07. zunächst nicht zugelassen, bis direkt in den Baubereich zu fahren. Dies wurde dann vor Beginn der Rammung zugelassen. Die Rammung begann jedoch nachts, so dass keine Sichtbeobachtungen möglich waren. Am 31.07.2008 hatten sich die Wetterbedingungen deutlich verschlechtert, was Beobachtungen erheblich erschwerte (Seastate 3 übergehend in 4 und Glare auf 40% der Wegstrecke). Während der Rammarbeiten am 31.07. wurden Sichtbeobachtungen auch im Nahbereich der Baustelle durchgeführt. Dabei wurden keine Schweinswale oder andere marine Säugetiere gesichtet.

Ergebnis der Untersuchung ist somit, dass in dem Seegebiet bei FINO3 vor Beginn der Rammung relativ viele Schweinswale gesichtet wurden, während der Rammung jedoch kein Nachweis erfolgte, dass sich Schweinswale in dem Gefährdungsbereich der Baustelle aufhielten. Die Aussagekraft der Beobachtungen während der Rammung wird jedoch durch die ungünstigen Wetterbedingungen stark eingeschränkt.

Die Schweinswahlkonzentration um die Lokation hatte zwei Wochen nach Abschluss der Rammarbeiten bereits wieder das hohe Niveau der Zeit vor der Rammung erreicht.

Die Daten weisen insgesamt auf eine großräumige Störung während der Rammung hin, die allerdings räumlich und zeitlich noch nicht näher eingegrenzt werden kann.

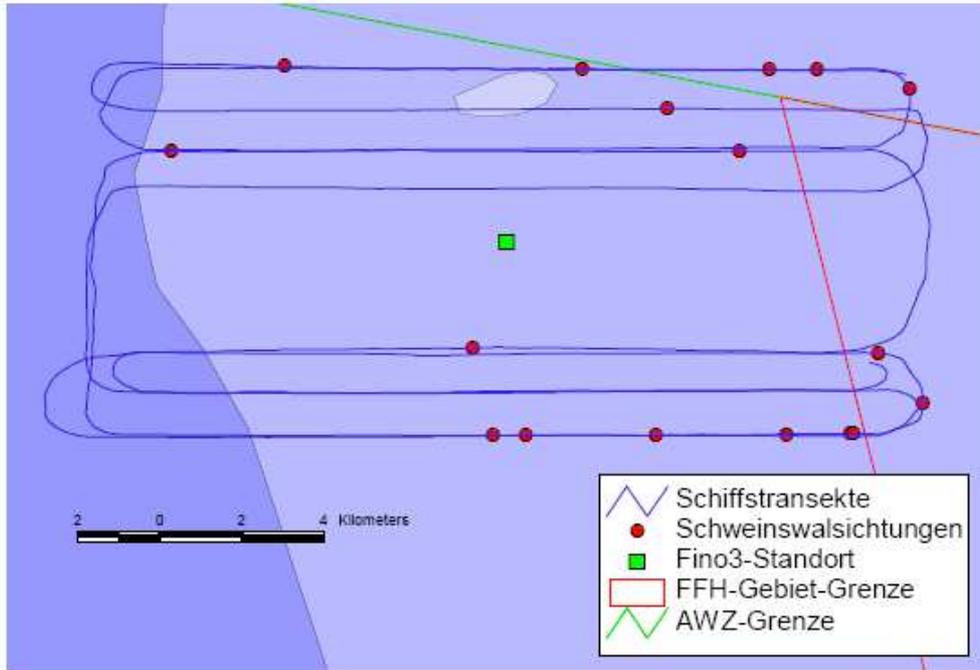


Bild 6.6: Sichtungen von Schweinswalen bei Transektfahrten am 30.07.08.

Tabelle 6.2: Sichtbeobachtungen vom Schiff am 30.07.2008, Backbordseite.

Nr.	Uhrzeit UTC		Art	Anzahl	Alter	Dist. in m	Schwimmrichtung	Bemerkung
1	09	52	Ph.	2	Ad./Juv.	>300	Von W auf S	M/K Ziehend
2	10	50	Ph.	2	Ad.	>300	W	Ziehend
3	10	52	Ph.	2	Ad./Juv.	>300	W	M/K Ziehend
4	11	00	Ph.	2	Ad./Juv.	200	W	M/K Ziehend
5	15	06	Ph.	2	Ad./Juv.	50-100	W	M/K Ziehend
6	17	15	Ph.	3	Ad.	100-200	NW	Ziehend

Legende: Ph. - Phocoena phocoena; Ad. - Adultes Tier; Juv. - Juveniles Tier; M/K – Mutter/Kalbpaar

Tabelle 6.3: Sichtbeobachtungen vom Schiff am 30.07.2008, Steuerbordseite.

Nr.	Uhrzeit UTC		Art	Anzahl	Alter	Dist. m	Schwimmrichtung	Bemerkung
1	08	58	Ph.	1	Ad.	>300	NW	Ziehend
2	11	08	Ph.	4	Ad.	200-400	W	2 Tiere nah beieinander, 2 einzeln, ziehend
3	11	12	Ph.	2	Ad./Juv.	200	W	M/K Ziehend
4	11	12	Ph.	1	Ad.	300	W	Ziehend
5	13	38	Ph.	2	Ad.	100-200	NE	Ziehend
6	14	25	Ph.	2	Ad.	100-200	-	Jugend, Basstöpel taucht mehrfach dazwischen
7	14	44	Ph.	2	Ad.	50-100	W	Ziehend
8	14	56	Ph.	2	Ad./Juv.	100-200	W	Ziehend
9	14	59	Ph.	3	2 Ad./ 1 Juv.	200-300	Von S auf W	Ziehend
10	15	53	Ph.	3	Ad.	100-200	-	Sehr schnell, 1 Tier taucht fast ganz auf, Sichtung sehr kurz, dann alle abgetaucht
11	17	22	Ph.	1	Ad.	50-100	SE	Ziehend

Legende: Ph. - Phocoena phocoena; Ad. - Adultes Tier; Juv. - Juveniles Tier; M/K – Mutter/Kalbpaar

6.2.1.2 Einsatz eines Blaseschleiers

Die vorgegebenen Richtwerte zum Schutz der maritimen Lebewesen können bei Rammarbeiten offshore ohne Schallschutz nicht eingehalten werden. Schallschutzmaßnahmen sind daher beim Bau von Offshore-Windparks erforderlich. Der Einsatz von schallmindernden Maßnahmen ist insgesamt in einem Pilotstatus und nicht Stand der Technik. Die Einsetzbarkeit des Blaseschleiers in der Praxis muss aber insbesondere im Hinblick auf Kostenreduktion und Praktikabilität bei der Serienanwendung noch deutlich verbessert werden.

Schallschutztechniken müssen dahingehend weiterentwickelt werden, dass sie entweder in den Arbeitsablauf beim Bau von Offshore Windparks reibungslos integriert werden können oder entkoppelt vom Ablauf der Bauarbeiten erfolgen. Auch die Lärmschutzwirkung selbst muss noch optimiert werden. Die Möglichkeiten der Kombination von Rüttler und Rammbar, Schallschutzhüllen, Stoßzeitverlängerung sowie die Möglichkeiten der Schachtbohrtechnik sind noch nicht hinreichend untersucht worden.

Angesichts des prognostizierten Ausbaus der Offshore-Windenergie sollten Auswirkungen paralleler Rammarbeiten auf die Schweinswale weiter untersucht werden wie auch deren Verhalten unter den auftretenden Belastungen allgemein.

6.2.2 Projekterkenntnisse bezüglich Bauablauf und Projektplanung

Die Errichtung und die Anwendung des Schallschutzkonzepts Blasenschleier wurden planerisch in den Gesamtablauf des Bauabschnitts „Rammung“ integriert. Vom Zeitablauf her wurde die Errichtung des Blasenschleiers durch Taucher dem Bauabschnitt der Rammung vorgeschaltet. Dies bedeutete, dass das Taucherteam, welches den Blasenschleier verlegte, fünf Tage vor Beginn der Rammung zur 80 km vor der Küste liegenden Lokation hinausfuhr. Ziel war es, den gesamten Blasenschleier komplett montiert und funktionsfähig installiert zu haben, bevor die schwimmenden Großgeräte an der FINO3-Baustelle eintrafen. Dies war wichtig, da jegliche Behinderung des Bauablaufs zur Rammung des Monopiles ausgeschlossen werden musste. Für die reibungslose Verlegung des Blasenschleiers selbst werden zwei bis drei Tage mit „gutem“ Wetter benötigt. Grundsätzlich können die Düsenrohre und Zuluftleitungen für den Blasenschleier auch weit vor Beginn der Errichtungsarbeiten für die Fundamente verlegt werden und auf dem Meeresboden verbleiben, bis die Rammarbeiten beginnen. Diese Entkopplung der Gewerke – und damit auch der jeweils erforderlichen Wetterfenster - ist zwingend notwendig, da ansonsten bei Notwendigkeit eines deutlich verlängerten, zusammenhängenden Wetterfensters die finanziellen Risiken für das Projekt immens steigen würden - Risiken, welche von der hauptverantwortlichen Baufirma in der Regel nicht getragen werden können.

Grundsätzlich gilt, dass bei der Anwendung von Schallschutzkonzepten Eingriffe in den Bauablauf der Hauptgewerke zu vermeiden sind.

Aus der Perspektive der „Verantwortlichkeit für die Gesamtbaustelle“ ist beim Verfahren des Blasenschleiers zu beachten, dass es sich hier trotz nicht vorhandener „realer“ Behinderung um einen Eingriff in den Bauablauf ganz generell handelt. Die vertragliche Verantwortung für die Umsetzung des Blasenschleiers kann nur dem ausführenden Bauunternehmen für das Gesamtprojekt übergeben werden. Dies bedeutet jedoch – trotz Ausführung des Blasenschleiers durch eine Fachfirma – eine Erweiterung des Leistungsumfanges der hauptverantwortlichen Baufirma mit ggf. negativen Konsequenzen auf Lieferzeit und Kosten. Eine Alternative hierzu gibt es praktisch nicht, da bei getrennter Vergabe der Gewerke „Rammung/Seemontage“ und „Errichtung Blasenschleier“ grundsätzlich ein hohes Risiko einer realen oder möglichen Behinderung besteht. Dies führt nach den üblichen Vertragswerken (VOB) sofort zu einer Behinderungsanzeige des vermeintlichen behinderten Unternehmens. Eine Behinderungsanzeige wiederum hat gemäß VOB automatisch höhere Kosten und verlängerte Lieferzeiträumen zur Folge, die zu Lasten des Auftraggebers gehen. Im Falle des hier durchgeführten Projektes konnte mit der für den Bau hauptverantwortlichen Firma eine Einigung erzielt werden, so dass die Errichtung des Blasenschleiers unter der Verantwortung des Generalunternehmens durchgeführt wurde. Damit konnten die oben genannten Risiken ausgeschlossen werden.

Die Durchführung des Projektes hat gezeigt, dass mit dem Verfahren des Blasenschleiers eine beträchtliche Schallminderung erzielt werden konnte. Somit ist das Verfahren an sich für eine schallmindernde Maßnahme bei der Errichtung von Offshore-Anlagen grundsätzlich geeignet. Da das Verfahren in diesem Maßstab unter realen Bedingungen weltweit erstmalig eingesetzt wurde, ist jedoch davon auszugehen, dass es hinsichtlich Technikverbesserung und Kosteneinsparungsmöglichkeiten noch erhebliche Potenziale besitzt.

Aus technischer Sicht schlägt vor allem die Einzelanfertigung (Länge, Zahl der Bohrungen, u.a.) der Rohre für den speziellen Einsatzzweck im FINO3-Projekt zu Buche. Die Einzelanfertigung war notwendig, da die verwendeten Rohre mit den genauestens vorgegebenen Düsendurchmessern nicht auf dem Markt als Standardware erhältlich sind. Die Rohrlänge bestimmte sich

durch den errechneten Blasenschleier von ca. 70 Metern Durchmesser. Weiterhin verbessert werden muss auch die Luftversorgung. Auf See wurden neun mobile Kompressoren, wie sie beim Tiefbau an Land üblich sind, eingesetzt. Diese Kompressoren sind anfällig gegenüber Wetterbedingungen auf See und deshalb nur eingeschränkt geeignet.

Für den seriellen Einsatz bei der Errichtung von Offshore-Windparks ist die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens Blasenschleier noch deutlich zu verbessern und sicherzustellen, dass die Anwendung des Konzepts nicht zu einer Verlängerung der Errichtungszeit führt, was die Seemontage des gesamten Parks erheblich verteuern würde.

Für einen wirtschaftlichen Einsatz des Verfahrens sollten folgende Randbedingungen erfüllt sein:

- Montagezeiten des Blasenschleieres von nur wenigen Stunden
- Flexibilität des Blasenschleierdurchmessers innerhalb einer bestimmten Toleranz (z. B. 50 bis 200 Meter Durchmesser), um nicht nur den Einsatz bei Monopiles sondern auch bei anderen Gründungskonstruktionen zu ermöglichen
- Substitution des „Unterwasserrohrsystems“ durch ein „Unterwasserschlauchsystem“
- Vermeidung der Auslegung von Ankersteinen durch Verwendung eines vielseitig verwendeten Schlauches, welcher selbst bestimmend auf eine bestimmte Tiefe absinkt
- Entwicklung von einfachen Montagesystemen, z. B. als Schlauchsystem mit einer „Verlegerolle“ von einem separaten Schiff aus
- Verwendung/Entwicklung von offshore-tauglichen Kompressoren flexibler Leistung, ggf. auf einem Schiff montiert
- Die Dienstleistung „Verlegung Blasenschleier“ sollte separat beauftragbar sein, um dem Auftraggeber die Möglichkeit zu eröffnen, diese Dienstleistung einzeln beschaffen zu können.

Es ist zu untersuchen, ob und mit welchem Aufwand entsprechende Systeme entwickelt werden können.

6.2.3 Voraussichtlicher Nutzen

Die gewonnenen Erkenntnisse sowohl hinsichtlich der Wirksamkeit der Schallschutzmaßnahme als auch der Vergrämungsmaßnahmen lassen einen Bau von Offshore-Windenergieanlagen mit Pfahlgründungen auch in den Gebieten mit höherer Schweinswalpopulation möglich erscheinen. Eine wichtige Grundlage zu den technischen Möglichkeiten des Schallschutzes mit Blasenschleiern ist mit den durchgeführten Versuchen gelegt worden.

6.2.4 Fortschritte anderer Stellen

Schallminderungsmaßnahmen mit Blasenschleiern wurden in jüngster Vergangenheit auch vom Innenministerium des Landes Schleswig-Holstein in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Wasserschall und Geophysik (FWG) bei Munitionssprengungen in der Ostsee eingesetzt. Konkrete Ergebnisse sind jedoch bisher nicht veröffentlicht worden.

6.2.5 Veröffentlichungen

Die qualitativen Ergebnisse der Maßnahme wurden erstmals auf der FINO3-Pressekonferenz im Rahmen der HusumWind am 10.09.08 vorgestellt.

Im von der DENA organisierten FOWEUM am 08.10.08 wurden mit NGOs ausführlich die Ergebnisse des ISD (Leibniz Universität Hannover), der Fa. BioConsult SH sowie des itap (Oldenburg) diskutiert, die Vorträge wurden auf der Internetseite

<http://www.offshore-wind.de/page/index.php?id=10914>

veröffentlicht. Auch die an der Erzeugung des Blaseschleiers beteiligte Firma Compar hat diverse populärwissenschaftliche Artikel in verschiedenen Journals lanciert.

Über die Seemontage der Forschungsplattform FINO3 und den dabei eingesetzten Blaseschleier wurde in verschiedenen Fachzeitschriften berichtet. Eine vollständige Übersicht findet sich unter

http://www.fino3.de/joomla15/index.php?option=com_content&view=article&id=206&Itemid=274

Die folgende Liste enthält Artikel, die auf der genannten Internet-Seite den Blaseschleier behandeln:

- April 2010:
<http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2010-04-30-Unternehmer-Impulsgeber-Energien%20der%20Zukunft.pdf>
- September 2009:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2009-09-00-Erneuerbare_Energien-Luftblasen_schuetzen_Wale_und_Robben.pdf
- Juli 2009:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2009-07-00-Erneuerbare_Energien-Faszinierende_Blaseschleier_helfen_beim_Aufbau.pdf
- Januar 2009:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2009-01-00-Erneuerbare_Energien-Luftblasen_gegen_Laerm.pdf
- Oktober 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-10-09-Kieler_Nachrichten-Schallschutz_fuer_Schweinswale_und_Seehunde.pdf
- Oktober 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-10-00-Erneuerbare_Energien-Auf_den_Spuren_der_Schweinswale.pdf
- September 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-09-00-Stahlbau_77-Die_Forschungsplattform_FINO3.pdf
- Juli 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-07-28-Die_Welt-Riesige_Forschungsplattform_waechst_vor_Sylt_aus_dem_Meer.pdf

- Juli 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-07-29-Hamburger_Abendblatt-Der_Windpark-Pionier_vor_Sylt.pdf
- Juli 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-07-30-Kieler_Nachrichten-FINO3_geht_auf_Position.pdf
- Juli 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-07-30-SHZ-Schadet_der_Rammbaer_den_Schweinswalen.pdf
- Februar 2008:
http://www.fino3.de/Media/PDF/pressespiegel/FINO3-ARTIKEL-2008-02-00-Inros-Lackner-Spezial-Forschungsplattform_FINO3.pdf

6.3 Literatur zu Kapitel 6

Elmer, K. H. (2008): Messung, Ausbreitung und Minderung von Hydroschall beim Bau von OWEA. In: Messen in der Geotechnik 2008. Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig, Heft Nr. 87, J. Stahlmann (Hrsg), Braunschweig.

Nehls, G., Betke, K., Eckelmann, S., Ros, M. (2007): Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. BioConsult SH report, Husum, Germany. On behalf of COWRIE Ltd. (Bericht erhältlich bei [COWRIE](#)).

Schultz-von Glahn, M., Betke, K., Nehls, G. (2006): Minderung des Unterwasserschalls bei Rammarbeiten für Offshore-WEA – Praktische Erprobung verschiedener Verfahren unter Offshore-Bedingungen. UFOPLAN Ref. No. 205 53 113, Abschlussbericht. Umweltbundesamt, Berlin ([pdf](#)).