

# **Auswirkungen des Baus des Umspannwerks am Offshore-Testfeld „alpha ventus“ auf Schweinswale**

Untersuchungen zu Schweinswalen mit T-PODs



Ansgar Diederichs  
Miriam J. Brandt  
Georg Nehls

Husum, Februar 2009

im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie



# Inhalt

1. Einleitung .....	2
2. Methoden .....	3
2.1. Untersuchungsgebiet .....	3
2.2. T-POD-Daten .....	7
2.2.1 Allgemeiner Ansatz .....	7
2.2.2 Technische Beschreibung eines PODs .....	8
2.3. Ausbringung der T-PODs .....	10
2.4. Datenanalyse durch TPOD.exe .....	11
2.5. Kalibrierung .....	12
2.6. Auswertungsparameter .....	13
2.7. Durchführung der Rammarbeiten .....	15
3. Ergebnisse .....	17
3.1. Aufzeichnungsdauer der ausgebrachten T-PODs .....	17
3.2. T-POD Daten .....	19
3.3. Saisonalität .....	20
3.4. Auswirkungen der Rammarbeiten .....	23
3.4.1 Schweinswalpositive 10 Minuten .....	23
3.4.2 Schweinswalpositive Minuten pro Stunde .....	24
3.4.3 Wartezeit .....	26
3.4.4 Schweinswalereignis .....	30
4. Diskussion .....	31
4.1. Diskussion der Ausbringmethode .....	31
4.2. Diskussion der Ergebnisse .....	32
4.2.1 Zeitliches und räumliches Verteilungsmuster .....	32
4.2.2 Auswirkungen der Rammarbeiten .....	34
5. Zusammenfassung .....	40
Referenzen .....	42

# 1. EINLEITUNG

In der Deutschen Bucht ca. 45 km nördlich von Borkum ist auf einer Fläche von 6,5 km<sup>2</sup> die Errichtung des Offshore-Windparks „alpha ventus“ mit zwölf Windkraftanlagen geplant. Ziel dieses Vorhabens ist neben der technischen Erprobung neuer Windenergieanlagen auch die Untersuchung ökologischer Auswirkungen der Offshore-Windenergieanlage. Die Bauarbeiten für den Bau der 12 Anlagen sollen im April 2009 beginnen. Im September 2008 wurde am geplanten Windpark die Umspannplattform errichtet, deren Fundament mit vier Pfählen im Meeresboden verankert wurde. Dieser Bericht beschreibt die Reaktionen von Schweinswalen auf die Bauarbeiten.

Im Bereich des Projektgebietes werden regelmäßig Schweinswale (*Phocoena phocoena*) beobachtet. Schweinswale werden auf der Roten Liste Deutschlands als stark gefährdete Art geführt, und sind im Anhang II und IV der FFH-Richtlinie gelistet. Dem Schutz des Schweinswals kommt somit eine hohe Bedeutung zu, und es sind spezielle Schutzgebiete für diese Art auszuweisen. Artikel 12 untersagt weiterhin das Töten der in Anhang IV geführten Arten. Der Bau eines Windparks kann durch Rammarbeiten für die Errichtung der Fundamente mit Schallemissionen verbunden sein, die sich negativ auf Schweinswale auswirken können. Offshore-Rammarbeiten können Schallemissionen verursachen, die zu Schädigungen von Schweinswalen führen können. Während des Betriebes könnten weiterhin die Geräuschentwicklung der Anlagen und der erhöhte Schiffsverkehr, welcher für die Wartung der Anlagen nötig ist, einen langfristigen Vergrämungseffekt verursachen.

Um die Auswirkungen des Baus und Betriebes von Windkraftanlagen auf Schweinswale zu untersuchen zu bewerten, ist eine umfassende Datenerhebung vor, während und nach den Bauarbeiten notwendig. Nur so kann der von der Baumaßnahme unbeeinflusste Zustand mit dem während des Baus und danach verglichen werden. Auf diese Kenntnis baut das von der Genehmigungsbehörde für den Bau von Offshore-Windenergieanlagen entwickelte Standarduntersuchungskonzept (StUK 3, BSH 2007) auf. Auch internationale Empfehlungen zum Monitoring von marinen Säugetieren im Zusammenhang mit der Entwicklung von Windkraftanlagen auf dem Meer empfehlen eine Datenerhebung vor dem Bau der Anlagen (Diederichs et al. 2008a). Dabei wird für die Erfassung von Schweinswalen besonders auf die Datenerhebung mit Hilfe von PODs abgezielt.

Im Rahmen der ökologischen Begleitforschung zu Rastvögeln und Meeressäugern des geplanten Windparks „alpha ventus“ hat die Stiftung Offshore-Windenergie BioConsult SH, Husum und Biola, Hamburg, mit ökologischen Begleituntersuchungen an Schweinswalen gemäß STUK 3 beauftragt. Die Untersuchung ist damit die Fortsetzung der Basisaufnahme aus dem Frühjahr 2008 (Diederichs et al. 2008b). Ziel der hier vorgestellten Untersuchung ist die akustische Erfassung der Habitatnutzung durch Schweinswale vor, während und nach den Rammarbeiten zum Bau des Umspannwerks des Windparks „alpha ventus“ zwischen dem 18. und 24. September 2008.

T-PODs sind stationäre akustische Unterwasserhydrophone, die die von Schweinswalen zur Echoortung erzeugten Klicklaute aufnehmen. Das Versuchsdesign folgte den Vorgaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Inhalt der Untersuchungen ist,

festzustellen, ob durch die Aufnahme der akustischen Lautäußerungen von Schweinswalen mit Hilfe von T-PODs, Aussagen über eine eventuelle Beeinflussung der Tiere durch die Bauarbeiten getroffen werden können. In diesem Bericht stellen wir die Ergebnisse speziell rund um die Rammarbeiten im September 2008 vor. Die hier ausgewertete Datenreihe reicht von Mitte März bis Ende Oktober 2008, wobei besonderer Fokus auf der Datenreihe vom 1. August bis zum 30. Oktober liegt.

## 2. METHODEN

### 2.1. Untersuchungsgebiet

Das Planungsgebiet für den Windpark „alpha ventus“ befindet sich in der deutschen Nordsee etwa 45 km nördlich von Borkum zwischen den beiden Verkehrstrennungsgebieten und weist eine Fläche von 6,5 km<sup>2</sup> Größe auf (Abb. 1). Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt zwölf T-PODs ausgebracht.

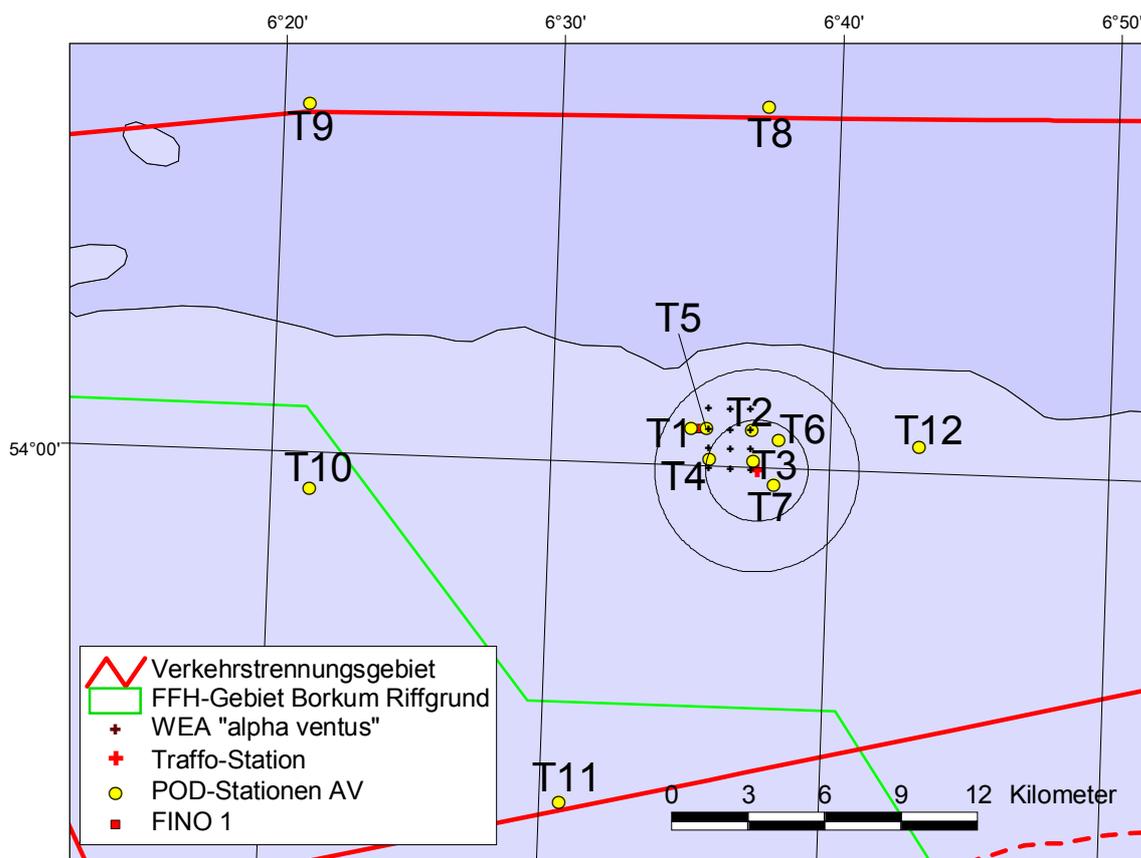


Abb. 1: Lage der Windenergieanlagen von „alpha ventus“ und der POD-Positionen zwischen Mitte März und Ende Juli 2008 mit der entsprechenden Positionskennung (T1 bis T12). Zusätzlich ist ein 2 km und 4 km breiter Radius um die 2008 gebaute Traffo-Station eingezeichnet.

Da in 2008 nur die vier Pfähle der Transformerstation gerammt wurden, wurden die 12 POD-Stationen in Beziehung zu dieser Position (Rotes Kreuz in Abb. 1 und Abb. 2) gesetzt. Zur Übersicht wurde in Abb. 1 der 2 km und 4 km-Radius um die Trafo-Station eingezeichnet. Die Bauarbeiten bedingten leider Veränderung der meisten Positionen im Bereich des Baugebietes. Nach Absprache mit dem Baustellenleiter durfte die kürzeste Distanz zum nächstgelegenen Turbinenfundament 800 m nicht unterschreiten. Zwei Positionen (3a und 4a) wurden daher im südlichen Bereich des geplanten Windparks in einer Entfernung von je 800 m zur nächsten Windenergieanlage ausgebracht.

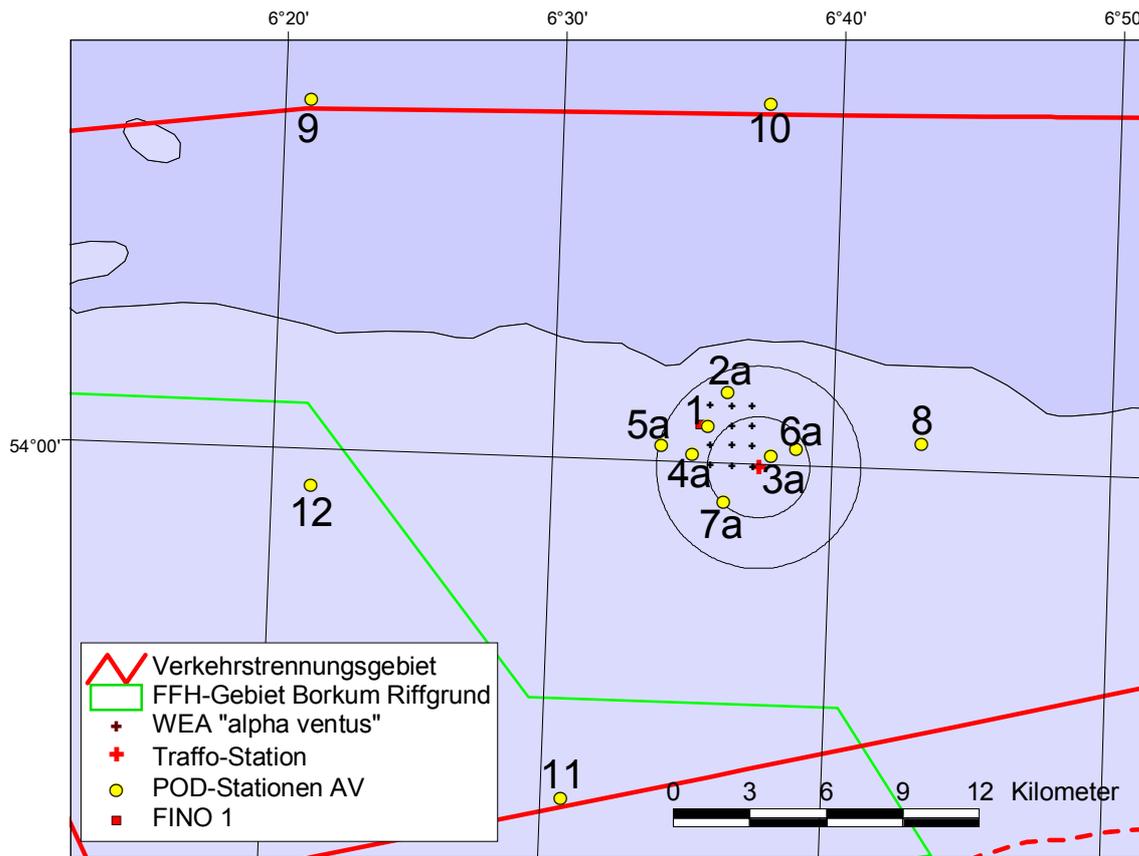


Abb. 2: Lage der Windenergieanlagen von „alpha ventus“ und der POD-Positionen ab 1. August 2008 mit der entsprechenden Positionskenung (1 bis 12). Zusätzlich ist ein 2 km und 4 km breiter Radius um die 2008 gebaute Trafo-Station eingezeichnet.

Abb. 3 zeigt die Lage der PODs im Baustellengebiet vor und nach der Verlegung gemäß den Vorgaben der Bauleitung. Zur Ermittlung des Einfluss der Rammarbeiten auf die Anwesenheit von Schweinswalen wurden nur Daten der PODs nach der Verlegung auf die neuen Positionen ausgewertet. In Tab. 1 sind die jeweiligen Entfernungen der POD-Stationen zur Trafo-Station aufgelistet. Die einzelnen Positionen wurden jeweils fünf Entfernungsklassen zugeordnet (für Lage der Positionen s. Abb. 2): Klasse 1: 0,8-2 km vom Ramm-Ort entfernt (Pos. 3a, 6a und 7a); Klasse 2: 2-4 km entfernt (Pos. 1, 2a, 4a und 5a). Klasse 3: 6,4 km (Pos. 8), Klasse 4: 14-18km (Pos. 10, 11, 12) und Klasse 5: 22,6 km (Pos. 9). Da von Position 8 und 9 keine kontinuierlichen Datensätze vorliegen, konnten die

Entfernungsklassen 3 und 5 nur eingeschränkt bezüglich der Auswirkungen der Rammarbeiten ausgewertet werden.

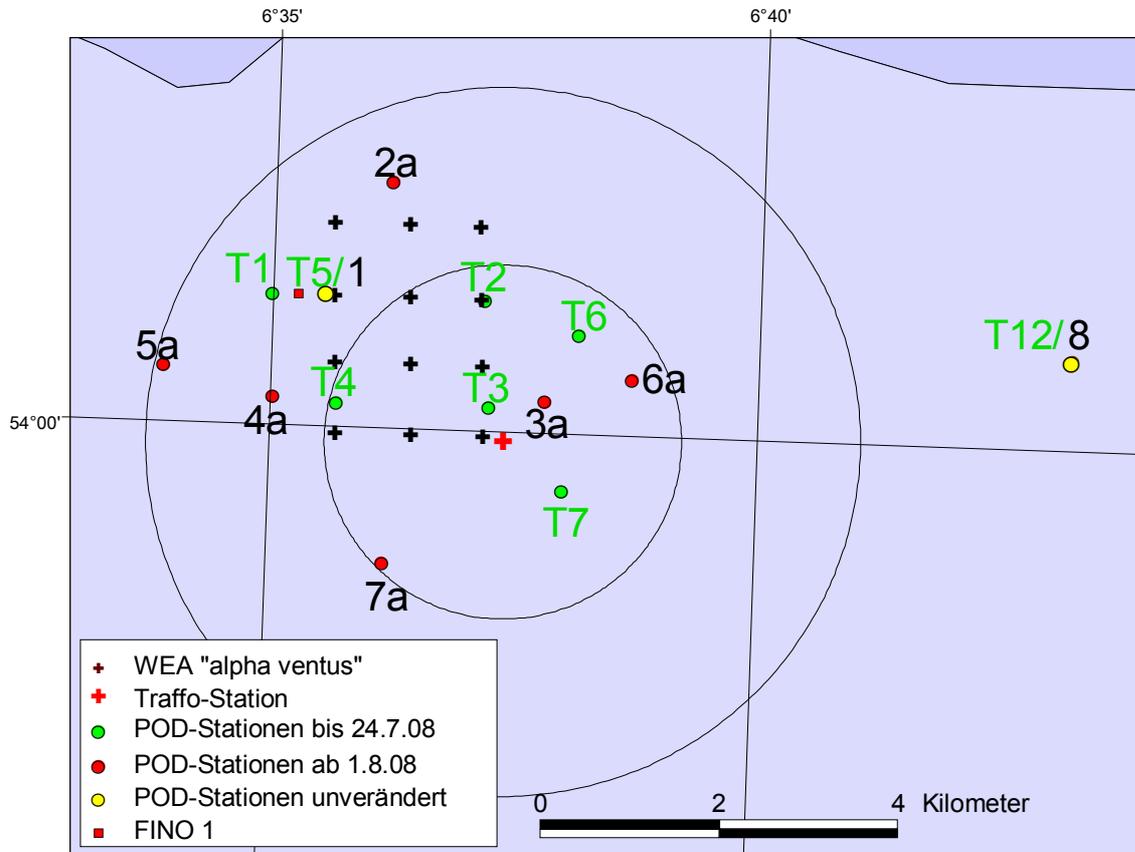


Abb. 3: Lage der T-PODs im Baugebiet von „alpha ventus“ bis zum 24.7 (grüne Punkte und grüne Beschriftung) und ab dem 1.8.2008 (rote Punkte und schwarze Beschriftung). Gelbe Punkte zeigen Positionen, die unverändert geblieben sind.

Tab. 1: Entfernungen der jeweiligen POD-Positionen zur Traffo-Station.

Position (ab 1.8.08)	Entfernung zur Traffo-Station [m]	Entfernungsklasse
1	2610	2
2a	3200	2
3a	865	1
4a	2450	2
5a	3840	2
6a	1650	1
7a	1830	1
8	6430	3
9	22600	5
10	14260	4
11	15135	4
12	17740	4

Zur Darstellung der Gesamtphänologie des Schweinswals im Seegebiet um „alpha ventus“ zwischen Mitte März und Ende Oktober 2008 wurden die Daten entsprechend der Einteilung des ersten Untersuchungsabschnitts zusammengefasst (Diederichs et al. 2008b, Tab. 2 und Tab. 3).

Dazu wurden vier verschiedene Gebietsklassen unterschieden: Die vier (alten) Positionen T2, T3, T4 und T5 und die neuen Positionen 1, 2a, 3a und 4a werden im Folgenden mit „Eingriffsgebiet“, bzw. Gebiet 1 bezeichnet. Die alten Positionen T1, T6, T7 lagen 700 bis 1.100 m entfernt zur nächsten geplanten Windenergieanlage und werden zusammen mit Position T12, die ca. 6,5 km östlich des Eingriffsgebiet liegt als „Referenzgebiet nah“, bzw. Gebiet 2 bezeichnet. Nach Ende Juli 2008 wurde diese Gebietsklasse durch die Geräte an den Positionen 5a, 6a, 7a und 8 beschrieben, die zwischen 1,5 und 6,5 km von der nächsten WEA entfernt liegen. Die alten Positionen T8 und T9 an der südlichen Grenze des nördlichen Verkehrstrennungsgebietes entsprechen den neuen Positionen 9 und 10 und werden als „Referenz Nord“, bzw. Gebiet 3 zusammengefasst. Die beiden vormaligen Positionen T10 und T11 innerhalb des FFH-Gebietes „Borkum Riffgrund“ entsprechen den neuen Positionen 12 und 11 und werden „Borkum Riff“, bzw. Gebiet 4 bezeichnet. Die genauen Positionen und die verschiedenen Entfernungen der einzelnen Positionen zur nächsten geplanten Windenergieanlage sind in Tab. 2 und Tab. 3 wiedergegeben.

Tab. 2: Koordinaten (WGS84) der jeweiligen POD-Positionen bis zum 1.8.2008 und ihr Abstand zur nächstgelegenen geplanten Windenergieanlage.

Stations-Nr. (bis 1.8.08)	Bezeichnung	LAT	LAT	WEA Nr.	Distanz [m]	Gebiet
T1	300m W FINO1	54° 00.854 N	06° 34.985 E	4	700	Referenz Nah
T2	Vorhabensgebiet N	54° 00.849 N	06° 37.169 E	6	50	Eingriffsgebiet
T3	Umspannwerk	54° 00.200 N	06° 37.234 E	12	340	Eingriffsgebiet
T4	Vorhabensgebiet S	54° 00.200 N	06° 35.679 E	10	330	Eingriffsgebiet
T5	300m O FINO1	54° 00.866 N	06° 35.534 E	4	120	Eingriffsgebiet
T6	Umgebung 1 km O	54° 00.658 N	06° 38.141 E	9	1140	Referenz Nah
T7	Umgebung 1 km SO	53° 59.704 N	06° 38.012 E	12	1070	Referenz Nah
T8	Referenz Schiffgebiet N	54° 07.730 N	06° 37.380 E	3	11930	Referenz Nord
T9	Referenz Schiffgebiet N	54° 07.480 N	06° 20.900 E	1	19720	Referenz Nord
T10	Referenz Schiffgebiet W	53° 59.280 N	06° 21.406 E	10	15650	Referenz Süd
T11	Referenz Schiffgebiet S	53° 52.800 N	06° 30.720 E	10	14450	Referenz Süd
T12	Referenz O	54° 00.590 N	06° 43.200 E	9	6600	Referenz Nah

Tab. 3: Koordinaten (WGS84) der jeweiligen POD-Positionen ab dem 1.8.2008 und ihr Abstand zur nächstgelegenen geplanten Windenergieanlage.

Stations-Nr. (ab 1.8.2008)	alte Nr.	Bezeichnung	LAT	LAT	WEA Nr.	Distanz [m]	Gebiet
1	T5	300m O FINO1	54° 00.866 N	06° 35.534 E	4	120	Eingriffsgebiet
2a	-	Baustellentonne_Nord	54° 01.556 N	06° 36.193 E	2	520	Eingriffsgebiet
3a	-	Vorhabensgebiet E	54° 00.250 N	06° 37.809 E	12	800	Eingriffsgebiet
4a	-	Vorhabensgebiet W	54° 00.224 N	06° 35.026 E	10	800	Eingriffsgebiet
5a	-	Baustellentonne_West	54° 00.400 N	06° 33.894 E	7	1920	Referenz Nah
6a	-	Baustellentonne_Ost	54° 00.397 N	06° 38.698 E	9	1680	Referenz Nah
7a	-	Baustellentonne_Süd	53° 59.238 N	06° 36.195 E	11	1480	Referenz Nah
8	T12	Referenz O	54° 00.590 N	06° 43.200 E	9	6600	Referenz Nah
9	T9	Referenz Schiffgebiet N	54° 07.480 N	06° 20.900 E	1	19720	Referenz Nord
10	T8	Referenz Schiffgebiet N	54° 07.730 N	06° 37.380 E	3	11930	Referenz Nord
11	T11	Referenz Schiffgebiet S	53° 52.800 N	06° 30.720 E	10	14450	Referenz Süd
12	T10	Referenz Schiffgebiet W	53° 59.280 N	06° 21.406 E	10	15650	Referenz Süd

## 2.2. T-POD-Daten

### 2.2.1 Allgemeiner Ansatz

Schweinswale orientieren sich unter Wasser mit Hilfe kurzer, hochfrequenter Klicklaute, die sie aussenden und anhand der Echos die Umgebung taxieren und Beute aufspüren (Echoortung). Ein T-POD (Timing PORpoise Detector) ist ein Gerät, welches diese Verhaltensweise nutzt, und mit Hilfe eines Hydrophons die Klicklaute aufnimmt und nach Vorgabe verschiedener Filter in digitale Daten umwandelt und abspeichert. Die Klicklaute der Schweinswale werden stark nach vorne gerichtet in einem Schallkegel mit einem Öffnungswinkel von maximal  $16,5^\circ$  ausgesendet (Au et al. 1999). Das bedeutet, dass PODs die Anwesenheit von Schweinswalen aufzeigen können, wenn diese (1) Klicklaute aussenden, (2) in geeigneter Entfernung zum Gerät (bei den hier eingesetzten T-PODs ca. 300 m) schwimmen und (3) ihren Kopf in Richtung des Hydrofons gerichtet halten. Die Aufzeichnung von Schweinswalklicks wird daher wesentlich durch die Aktivität des Tieres, die Entfernung und die Schwimmrichtung in Bezug zum POD beeinflusst.

Schweinswale, die mit einem am Tier befestigten Hydrophon ausgestattet waren, benutzten ihr Sonarsystem nahezu kontinuierlich (Akamatsu et al. 2007). Daher kann angenommen werden, dass die Echoortung von den Tieren als wichtigste Sinneswahrnehmung ständig eingesetzt wird und dadurch eine Korrelation zwischen der Kontaktrate auf den T-PODs und der Schweinswalddichte im entsprechenden Seegebiet besteht. Tougaard (2006c) und Koschinski et al. (2003) konnten eine Beziehung zwischen Echoortung und gleichzeitigen Sichtbeobachtungen herstellen und Tougaard (2006c) berechnete anhand der so genannten „Schweinswalpositiven Minuten pro Tag“ und mit Hilfe der Distance-Sampling Theorie (Buckland et al. 2001) eine abnehmende Kontaktrate von Schweinswalen auf den T-PODs mit zunehmender Entfernung der Tiere zum Hydrophon. Dieser Ansatz ermöglicht einen Zusammenhang zwischen absoluter Dichte und T-POD-Daten zu beschreiben. Für eine Validierung dieser Ergebnisse liegen derzeit noch zu wenige Daten vor. Auch Diederichs et al. (2002) und Siebert et al. (2007) konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen absoluten Dichteangaben, die durch Flugzeugzählungen ermittelt wurden und Daten von im selben Seegebiet ausgebrachten T-PODs herstellen. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Angabe von so genannter „Schweinswalpositiver Zeit“ ein relatives Maß für die Dichte von Schweinswalen ist.

T-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, wie z. B. 24-Stunden-Rhythmik 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. Eine der Untersuchung vorangestellte Kalibrierung der Geräte ist daher essenziell, um mögliche Sensitivitätsunterschiede zu vermeiden.

## 2.2.2 Technische Beschreibung eines PODs

T-PODs (Timing PORpoise Detectors) (Chelonia Ltd., UK, Abb. 4) sind autonome Aufnahmegeräte ('data logger'), die hochfrequente Lautereignisse erkennen und registrieren. T-PODs bestehen aus einer 80 cm langen Plastikröhre, an deren einem Ende sich ein Hydrophon befindet. Direkt darunter befindet sich ein Verstärker, ein elektronischer Filter mit einem 128 MB RAM Datenspeicher, zwei Batterieeinheiten von je sechs 1,5 Volt D-Batterien und ein serieller Kabelanschluss für die Kommunikation mit einem PC (Abb. 4).

Mit Hilfe der Software TPOD.exe (Chelonia Ltd., UK), kann man dem T-POD bestimmte Kriterien vorgeben, nach denen er die passenden Lautereignisse aus den Umgebungsgeräuschen herausfiltert und registriert. Innerhalb von einer Minute kann der TPOD mit Hilfe von sechs Scans sechs verschiedene Kriterien abfragen. Jeder Scan umfasst 9,3 Sekunden. Die verbleibenden 4,2 Sekunden werden für interne Prozesse benötigt, während derer keine Registrierungen erfolgen können. Folgende Parameter können individuell eingestellt werden (Abb. 5):

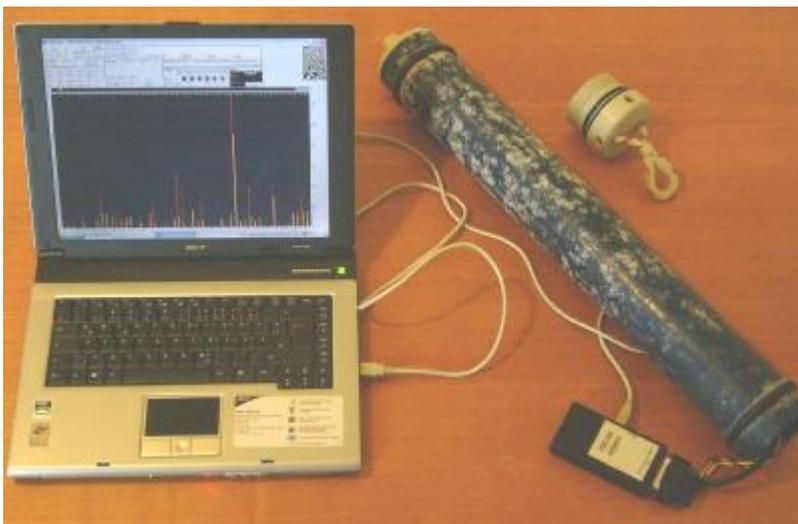


Abb. 4: T-POD der Version 4 mit angeschlossenem Notebook.

### 1. 'A' Filter:

Dieser Bandpass-Filter wird auf die Frequenz 130 kHz eingestellt, bei der die Hauptenergie der zu registrierenden Schweinswallaute liegt (Goodson et al. 1995; Kamminga et al. 1999).

Es werden nur Frequenzen um den definierten Bereich aus den Umgebungsgeräuschen herausgefiltert.

2. 'B' Filter:

Dieser Bandpass-Filter wird auf eine Vergleichs-Frequenz von 90 kHz gesetzt, welche nicht in den Schweinswallauten vorhanden ist. Es werden damit nur Geräusche aufgezeichnet, die ihr Frequenzspektrum bei 130 kHz, nicht aber gleichzeitig auch bei 90 kHz haben. Da sich das Frequenzspektrum von Schweinswallauten nur in einem kleinen Frequenzbereich bewegt (Goodson et al. 1995, Kamminga et al. 1999), viele Störgeräusche jedoch sehr breitbandig sind und sich über einen großen Frequenzbereich erstrecken, können dadurch viele der Störgeräusche von Schweinswallauten unterschieden werden.

3. 'Bandwidth':

Gibt die Filterschärfe damit den Frequenzbereich (die Bandbreite) an, dessen Energie mit dem 'B' Filter verglichen wird. Je größer die Filterschärfe ist, desto kleiner ist der Frequenzbereich um die eingestellte Filterfrequenz, der betrachtet wird.

4. 'AGC':

Hier kann über die Einstellung ',++' eine Rauschunterdrückung eingestellt werden, die das Registrieren von hochfrequenten Hintergrundrauschen reduzieren soll.

5. 'Sensitivity':

Gibt einen relativen Schwellenwert an, den die Energie eines Schallereignisses überschreiten muss, um registriert zu werden. Da die Geräte teilweise unterschiedlich sensitiv sind, besteht über diese Funktion die Möglichkeit, die Geräte auf eine (theoretische) Hörempfindlichkeit einzustellen.

6. Scanlimit':

Hier kann die Höchstzahl von Registrierungen (Klicks) angegeben werden, die pro 9.3 Sekunden dauernden Scan gespeichert werden sollen. Mit dieser Option kann verhindert werden, dass der RAM-Speicher durch viele Störgeräusche (z. B. durch nah vorbeifahrende Schiffe) voll ist und nichts mehr gespeichert werden kann. Wir haben das Limit auf 240 Klicks eingestellt.

v4	1	2	3	4	5	6
Scan	1	2	3	4	5	6
A kHz	130k	130k	130k	130k	130k	130k
B kHz	92k	92k	92k	92k	92k	92k
B.width	5	5	5	5	5	5
AGC	++	++	++	++	++	++
Sens	8	8	8	8	8	8
limit	240	240	240	240	240	240

Abb. 5: Beispiel der in dieser Untersuchung verwendeten Scan-Einstellungen im Programm T-POD.exe. Die Funktion „Sens“ wurde T-POD-spezifisch eingestellt. Die anderen Werte sind Standard-Einstellungen bei jedem Gerät.

## 2.3. Ausbringung der T-PODs

Erfahrungen des Herstellers Nick Tregenza zeigten, dass T-PODs nahe des Meeresbodens mit höherer Wahrscheinlichkeit Schweinswalklicks aufzeichneten, als gleichzeitig an der Oberfläche ausgebrachte Geräte (TEILMANN et al. 2001). Wir brachten die Geräte daher, in Übereinstimmung mit unseren bisherigen Erfahrungen in Nord- und Ostsee (Diederichs et al. 2008, Diederichs et al. 2004) und auch dänischen Untersuchungen im Zusammenhang mit Offshore-Windparks (Tougaard et al. 2006a,b), 2,5 m über dem Meeresboden mit dem Öffnungswinkel des Hydrofons in den freien Wasserkörper nach oben gerichtet aus. Der T-POD ist hierbei mit einem Seil an einem Anker befestigt, welcher über ein 40 – 50 m langes Seil mit einem zweiten Anker in Verbindung steht. Dieser zweite Anker ist über ein weiteres Seil mit einem 75 cm großen, gelben Fender verbunden, welcher das System an der Wasseroberfläche markiert (Abb. 6). Wir setzten ein 22 mm starkes Nylonseil („Himan“) ein. Der Fender und beide Anker sind mit Draht gesicherten Schekel in Seilschlaufen gesichert, die durch Plastikschlauchmäntel gegen Abrieb verstärkt sind. Der T-POD ist mit einem Karabiner in eine Seilschleife eingehakt. Dieses Verankerungssystem bietet den Vorteil, innerhalb weniger Minuten und auch bei Seegang von mehr als einem Meter geborgen werden zu können.

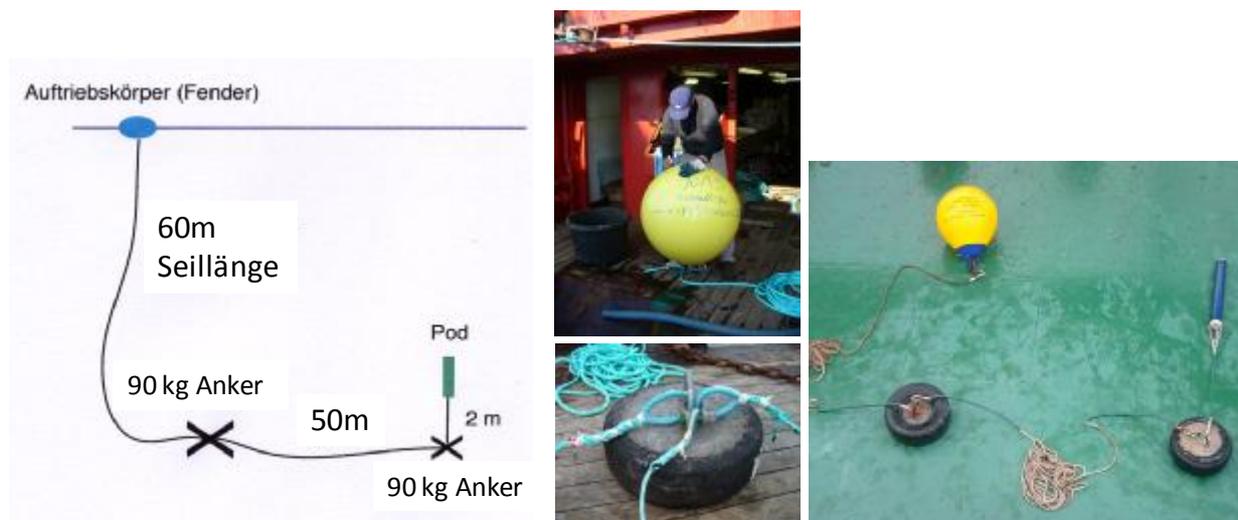


Abb. 6: Schematische Zeichnung des POD-Verankerungssystems und Fotos vom Fender, von den Betonankern und vom gesamten System.

Um einen Verlust durch Fischerei und sonstige Schifffahrt zu minimieren, versenkten wir dieses POD-Ankersystem an den Positionen T8, T9, T10 und T11 (entspricht den späteren Positionen (9 bis 12) in direkter Nähe zu bestehenden Fahrwassertonnen. An den Positionen T2, T3, T4, T6, T7 und T12 brachten wir zusätzlich ca. 3 m über die Wasseroberfläche ragende gelbe Leuchtspiere aus. Diese Tonnen verfügen über einen Radarreflektor und eine zwei Seemeilen weit reichende Blinklaterne. Das POD-Ankersystem wurde in einer Entfernung von ca. 100 m zu den Tonnen, bzw. Spieren ausgebracht. Jede dieser POD-Positionen verfügt daher über zwei Oberflächenmarkierungen (Abb. 7). Da im Umfeld von

mindestens 500 Meter um die Forschungsplattform FINO1 Fischerei nicht erlaubt ist und auch nur wenig Schiffsverkehr stattfindet, wurden die beiden Positionen T1 und T5, die nur je etwa 150 m entfernt von der Plattform ausgebracht waren, ohne weitere Leuchttonne markiert.



Abb. 7: Schematische Zeichnung der Leuchtspiere mit POD-Verankerungssystem und Fotos des Bojenankers und der Spiere auf See.

Zwischen dem 24. Juli und dem 1. August 2008 wurde das Baustellengebiet durch vier Warntonnen markiert. Im Anschluss verlegten wir vier Geräte in direkte Nähe dieser Baustellentonnen, markierten diese Positionen aber zusätzlich noch mit einer Leuchtspiere. Bei den beiden Positionen 3a und 4a wurde der POD nicht über ein unabhängiges Ankersystem ausgebracht, sondern direkt mit dem Ankerstein der Warnspiere über ein 50 m langes Bodenseil verbunden.

## 2.4. Datenanalyse durch TPOD.exe

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 TPOD.exe (Version 7.41) ausgelesen und mit Hilfe eines programminternen Algorithmus (Version 3.0) auf die Wahrscheinlichkeit von echten Schweinswalklicks hin geprüft. Der Algorithmus sucht nach Klickserien mit bestimmten Mustern und klassifiziert sie nach Angaben des Herstellers wie folgt:

**High probability click trains** (CetHi): Diese Klickserien sind mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit (> 95%) Schweinswallaute.

**Low probability click trains** (CetLo): Kurze Klickserien, die wahrscheinlich Schweinswallaute sind.

**Doubtful click trains** (“?”): Klicktrains mit Lautmustern, die möglicherweise Schweinswallaute sind, aber aufgrund ihres vom Ideal abweichenden Musters auch anderen Ursprungs sein können.

**Very doubtful click trains** (“??“): Abfolgen von Klickserien, die aufgrund ihrer Länge oder der 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.

**Boat trains („boat“):** In demselben Frequenzbereich, in dem Schweinswale echoorten, werden auch Klickserien von Bootssonaren ausgesendet. Sie unterscheiden sich von Schweinswalen durch ein exakt regelmäßiges Klickintervall. Der Algorithmus erkennt solche gleichförmigen Klickserien und klassifiziert sie als Bootssonar, wobei nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden kann, dass auch Schweinswalklickserien sehr ähnlich solchen Mustern von Bootssonaren sein können.

Alle weiteren außerhalb dieser fünf Kategorien aufgezeichneten Geräusche werden nach Anwendung des Algorithmus nicht dargestellt.

Für diese Untersuchung wurden im Folgenden nur die beiden höchsten Klassifizierungen („CetHi“ und „CetLo“) mit in die Auswertung einbezogen. Damit minimieren wir die Wahrscheinlichkeit, dass fälschlicherweise als Schweinswale klassifizierte Laute mit in die Auswertung einbezogen werden. Thomsen et al. (2005) konnten bei in Gefangenschaft lebenden Schweinswalen nachweisen, dass auch bei den weiteren Klassifizierungen Schweinswallaute enthalten waren. Da wir uns in einem Seegebiet mit relativ hohen Schweinswaldichten bewegen und auch mit den beiden höchsten Kategorien beinahe 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 durch vom Algorithmus übersehene echte Schweinswalklickserien verursachte Fehler konstant und für alle Positionen gleich ist, wird er nicht weiter berücksichtigt.

## 2.5. Kalibrierung

Wichtige Voraussetzung für den Vergleich verschiedener Positionen ist, dass sich die Sensitivität der Geräte nicht unterscheidet. Alle in dieser Studie eingesetzten Geräte wurden im Vorfeld im Deutschen Meeresmuseum Stralsund im Testtank kalibriert (zur näheren Beschreibung der Methode siehe Verfuß et al. 2008). Mit der Test-Tank Kalibrierung wird eine Detektionsschwelle bestimmt, also der POD-spezifische Schalldruckpegel, den ein Schweinswallaut mindestens haben muss, um von dem entsprechenden T-POD registriert zu werden. Der Schwellenwertpegel eines jeweiligen PODs kann über die Funktion „Sensitivity“ manuell eingestellt werden. Die Ergebnisse der Test-Tank Kalibrierungen wurden von uns in der Weise genutzt, dass die PODs auf ein gleiches Sensitivitätsniveau mit einem Schwellenwertpegel von jeweils 130 dB re 1  $\mu$ Pa eingestellt wurden.

Freilandtests mit den selben Geräten im Rahmen des Projekts „Untersuchungen über die Störwirkung auf Schweinswale in den Offshore-Windparks Horns Rev, Nordsee und Nysted, Ostsee in Dänemark“ (FKZ 0329963, Diederichs et al. 2008b) zeigten, dass mit Hilfe des Parameters PP10M und einem alternierenden Einsatz der Geräte ein guter Kompromiss zwischen einer möglichst hohen zeitlichen Auflösung und einer Minimierung der durch Sensitivitätsunterschiede verursachten Ungenauigkeit erreicht werden kann.

## 2.6. Auswertungsparameter

Die aufgezeichneten Daten aller vom Algorithmus identifizierten miteinander im Zusammenhang stehenden Klicks (=“Klicktrains“) werden in einer mikrosekundengenauen Auflösung mit Hilfe der Software TPOD.exe exportiert und in eine Access-Datenbank überführt und dort weiter ausgewertet.

Folgende Parameter wurden ausgewertet:

„*Schweinswalpositive Stunden pro Tag*“ (PPM/day): Zeigt an, an wie viele Stunden eines Tages Schweinswale von dem jeweiligen POD registriert wurden. Dieser zeitlich nicht hoch auflösende Faktor dient als Maß für relative Schweinswalldichte und ist wenig durch Sensitivitätsunterschiede zwischen verschiedenen PODs beeinflusst. Dafür lassen sich kleinskaligere Unterschiede mit diesem Faktor möglicherweise nicht auflösen. Wir berechneten daher als nächsten Parameter

„*Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag*“ (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-Studentag 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 Schweinswalldichte mit einer zeitlich höheren Auflösung und wurde von uns zur Darstellung der Phänologie des Schweinswals im Seegebiet um „alpha ventus“ benutzt.

„*Schweinswalpositive Minuten pro Stunde*“ (PPM/hour): Zeigt an, wie viele der 1440 Minuten eines 24-Studentages mit mindestens einer Schweinswalregistrierung sind. Dieser Wert wurde zur Analyse der Rammarbeiten herangezogen.

Den Einfluss der Rammarbeiten auf den Faktor PPM/Stunde berechneten wir mit Hilfe von GAM-Analysen. Ein Generalized Additive Model (GAM) ist ein statistisches Modell (Hastie & Tibshirani, 1990), mit dem Erwartungswerte  $E$  einer abhängigen Variablen  $y$  (response variable, hier PPM/hour) 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). Es wurden nur die ersten 130 Stunden nach Ende der Rammarbeiten in die Analyse einbezogen. Die Anzahl schweinswalpositiver Minuten pro Stunde (PPM/hour) wurde als abhängige Variable unter der Annahme einer Quasi-Poisson-Verteilung gewählt und die mittlere Abweichung der „PPM/hour“ in Abhängigkeit der Co-Variablen „Abstand zum Ende des Rammereignis“ (order after piling) samt 95%igen Vertrauensbereich (CI) vom Mittelwert des PPM/hour über den Untersuchungszeitraum berechnet, wobei in der graphischen Darstellung der Mittelwert als Nulllinie dient. Allgemein

gilt: liegt der berechnete Vertrauensbereich über oder unter dem Mittelwert, so ist die Abweichung vom Mittelwert signifikant unterschiedlich. Da im Rahmen dieser Analyse die Daten mehrerer Geräte zusammengefasst wurden, die jeweils eine unterschiedliche Entfernung zum Rammort hatten, wurde der Faktor „Position“ (von 1 = kürzester Abstand zum Rammort bis 12 = weitester Abstand) ebenfalls als abhängige Variable in das Modell hinein genommen. Weitere Co-Variable ist die Stunde eines Tages, da wir bereits im ersten Bericht über die Daten aus dem „alpha ventus“ Seegebiet einen deutlichen 24-Stunden Rhythmus in der Aktivität der Tiere erkennen konnten.

„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.

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 ebenfalls 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 entsprechen fortlaufend bis zur maximal 50. Wartezeit nummeriert. Zudem wurden die Wartezeiten in den 100 Stunden vor dem 17.9.2008 für jede Position gemittelt und als Basisdaten den entsprechenden Wartezeiten nach der Rammaktivität gegenüber gestellt. Dazu wurde eine 100stündige Datenbasis untersucht, die vom 12.9. bis zum 17.9.2008 dauerte. Der 17.9.2008 wurde nicht mehr berücksichtigt, da laut Baustellenprotokoll im Verlaufe dieses Tages ein Test der Vergrämer durchgeführt wurde, dessen Uhrzeit nicht protokolliert wurde. Am 18.9. wurden erste Rüttelarbeiten am ersten Pfahl durchgeführt und daher wurde dieser Tag ebenfalls nicht mehr in die Datenbasis einbezogen. Unterschiede zur Datenbasis wurden mit Hilfe eines nicht-parametrischen U-Tests untersucht und der p-Wert entsprechend nach Bonferroni korrigiert (Sokal and Rohlf 1995). Bei einem p-Wert  $< 0,05$  gehen wir von einem signifikanten Unterschied zwischen den jeweils getesteten Positionen aus. Alle statistischen Analysen wurden mit der Software R, Version 2.51 durchgeführt.

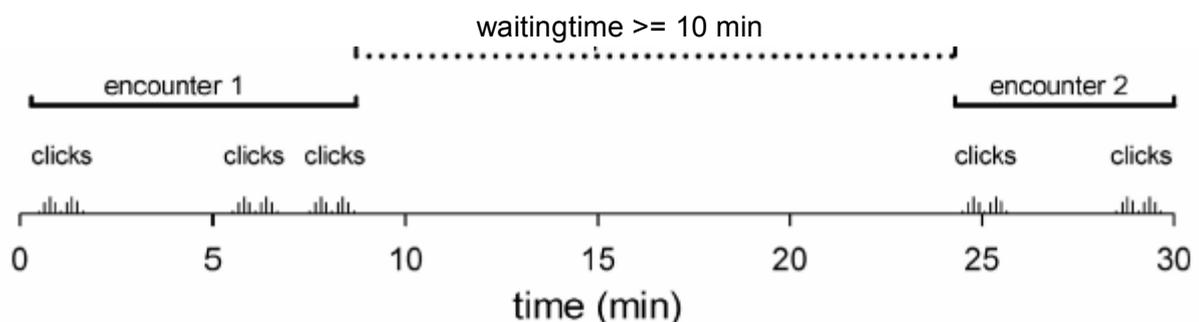


Abb. 8: Schweinswalereignis (encounter) und Wartezeit (waitingtime) als Parameter für Schweinswalaktivität.

### *Klicktrains*

Um die Wirksamkeit der Vergrämungsmaßnahmen zu testen, wurden die Rohdaten auf Schweinswal-Klicktrains hin untersucht, die während der Zeit der Vergrämungsmaßnahmen und während der schallintensiven Rammaktivitäten aufgezeichnet wurden und die Minuten mit aufgezeichneten Schweinswallauten ausgezählt und in Beziehung zur jeweiligen Entfernung zum Rammort gestellt.

## 2.7. Durchführung der Rammarbeiten

Die Umspannstation wurde als Jackett-Konstruktionen ausgeführt. Hierbei wurde eine vorgefertigte Struktur mit vier Rammpfählen am Meeresboden fixiert. Die Pfähle haben rund 2.6 m Durchmesser. Da Messdaten zum Rammschall für diese Gründung nicht vorlagen, bezieht sich die Schallprognose für „alpha ventus“ (Betke 2008) auf existierende Messungen von einer Reihe von Offshore-Pfahlgründungen, darunter auch die Jackett-Konstruktion FINO 1 in unmittelbarer Nähe des Vorhabengebietes (Übersicht in Nehls et al. 2007, 2008). Für die Prognose werden damit folgende Quellpegel zugrunde gelegt (Tab. 4):

Tab. 4: Prognostizierte Quellpegel für die Rammung bei „alpha ventus“ (aus Betke 2008).

Einzelereignispegel (SEL) breitbandig, dB re 1 $\mu$ Pa at 1 m	211
Spitzenpegel, dB re 1 $\mu$ Pa at 1 m	234

Mit den in der Prognose angenommenen Schallausbreitungen kommt der Autor der Schallprognose zum Schluss, dass der vom Umweltbundesamt (UBA) vorgegebene Vorsorgewert in 750 m Entfernung um etwa 9 dB überschritten wird. Unterschritten wird der Wert von 160 dB in etwa 3 km Entfernung zur Schalquelle.

Zur Auswertung der Auswirkungen der Rammarbeiten des Umspannwerks wurden die Schweinswaldaten mit den Arbeiten zur Installation abgeglichen. Hierzu diente uns ein chronologisches Arbeitsprotokoll der Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Installation des Umspannwerks (Tab. 5). Die Arbeiten starteten am 11.09. um 4:25 Uhr (alle Zeitangaben immer in UTC) mit der Ankunft der Hubinsel „Odin“ im Baugebiet. Während der folgenden Tage wurden keine schallintensiven Arbeiten durchgeführt. Es waren jedoch mehrere Schiffe im Baugebiet anwesend. Am 16.09. um 4:00 Uhr kam der Schwimmkran „Taklift 4“ im Baugebiet hinzu. Am 17.09. wurde ein erster Test der Vergrämer durchgeführt. Leider wurde hiervon kein Protokoll geführt, jedoch handelte es sich nach mündlicher Auskunft von DOTI um einen maximal 15minütigen Einsatz der Geräte im Wasser. Erste schallintensive Arbeiten wurden am 18.09. mit dem Rüttelarbeiten am ersten Pfahl durchgeführt. Diese Rüttelarbeiten waren nicht von Vergrämungsmaßnahmen begleitet. Eine erste Rammung erfolgte am

18.09. um 11:18 Uhr, musste jedoch aufgrund technischer Schwierigkeiten um 12:10 Uhr wieder abgebrochen werden. Die Rammarbeiten wurden am 21.09. um 19:25 Uhr fortgesetzt, mussten aber wiederum nach 50 Minuten abgebrochen werden. Ein erneuter Versuch, den ersten Pfahl auf Endtiefe zu rammen wurde am 22.09. nach 5 Minuten um 6:05 Uhr wieder abgebrochen. Von 8:17 Uhr bis 10:18 Uhr wurde der erste Pfahl schließlich auf Endtiefe gerammt. Die weiteren zwei Pfähle wurden dann am Stück am 22.09. und am 24.09. gerammt. Der vierte Pfahl wurde am 24.09. von 14:00 bis 14:45 Uhr und dann auf Endtiefe am 25.09. gerammt. Zur Untersuchung der Auswirkungen der Rammarbeiten wurden nur die Zeiten des Rammens untersucht. Insgesamt gab es 8 voneinander getrennte Rammarbeiten, die im Durchschnitt 75 Minuten dauerten. Jeweils dreimal lagen zwei Rammereignisse so dicht hintereinander, dass keine Schweinswale an keiner Position in der Zwischenzeit aufgezeichnet wurden. In der Auswertung der Wartezeiten wurden demnach fünf voneinander getrennte Rammereignisse ausgewertet. Da bereits schallintensive Arbeiten wie z. B. das Rütteln der Pfähle oder der Test der Vergrämungsmethoden im Vorfeld der eigentlichen Rammarbeiten (ab 17.09.) durchgeführt wurden, klammerten wir diese Zeit von der Datenbasis aus. Die 100stündige Datenbasis für den Vergleich von PPM/hour und Wartezeit endete demnach am 16.09. um 23:00 Uhr.

Tab. 5: Chronologischer Ablauf der schallintensiven Tätigkeiten bei der Installation des Umspannwerks bei „alpha ventus“.

Datum	Uhrzeit (UTC)	Aktivität
11.09.2008	04:25	Ankunft Hubinsel
16.09.2008	04:00	Ankunft Schwimmkran
17.09.2008	?	Test von SealScarer und Pinger
18.09.2008	21:00-21:15	Rüttelarbeiten
19.09.2008	09:50-12:25	Vergrämung
	11:18-12:10	Rammen
20.09.2008	10:10-10:45	Rüttelarbeiten
	12:40-12:50	Rüttelarbeiten
21.09.2008	09:30-09:45	Rüttelarbeiten
	16:45-17:20	Rüttelarbeiten
	17:30-20:15	Vergrämung
	19:25-20:15	Rammen
22.09.2008	05:20-06:20	Vergrämung
	06:00-06:05	Rammen
	07:30-10:20	Vergrämung
	08:17-10:18	Rammen
	11:05-13:50	Vergrämung
	11:50-13:45	Rammen
24.09.2008	10:30-15:00	Vergrämung
	11:20-13:25	Rammen
	14:00-14:45	Rammen
25.09.2008	10:00-12:30	Vergrämung
	10:50-12:15	Rammen

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. Aufzeichnungsdauer der ausgebrachten T-PODs

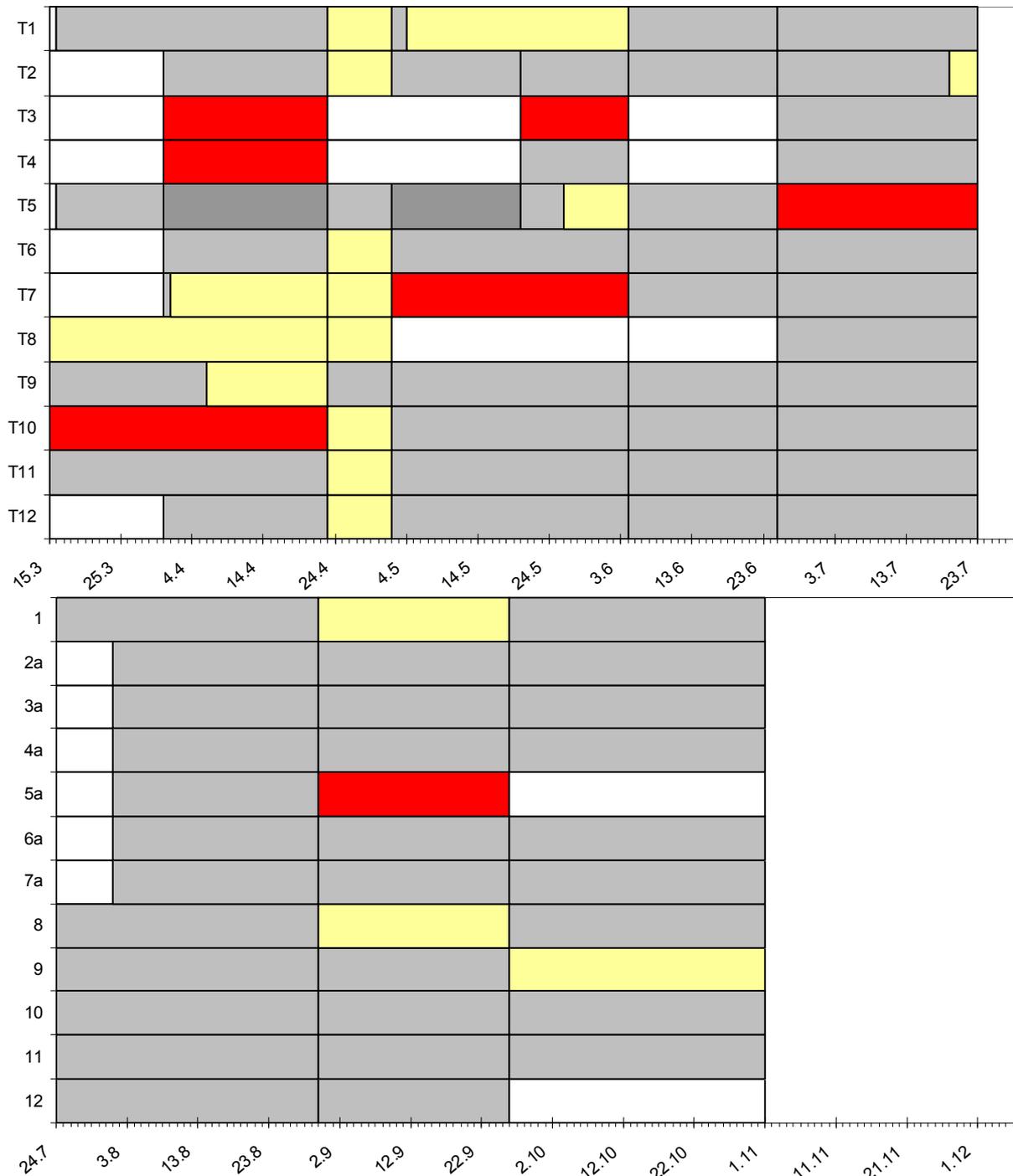


Abb. 9: Aufzeichnungszeit von POD-Daten im Seegebiet von „alpha ventus“. Oben: Datenreihe vom 15.3. bis 23.7.2008. Unten: Datenreihe vom 24.7. bis 30.10.2008. Weiße Balken: kein Gerät im Wasser; graue Balken: auswertbare Daten; dunkelgraue Balken: Daten von zwei Geräten an einer Position; gelbe Balken: Gerät im Wasser, aber keine auswertbaren Daten; rote Balken: Gerät verloren.

Zwischen dem 16. März und dem 30. Oktober 2008 konnten insgesamt 1.988 Tage mit POD-Daten an den 12 verschiedenen Stationen aufgezeichnet werden (entspricht 70 % der insgesamt möglichen Zeit, Abb. 9, Tab. 6, Tab. 7). Es konnten an allen Stationen während

der Basisuntersuchung (bis 24.7.) und während der Bauphase der Trafo-Station (bis 30.10.) Daten erhoben werden. Allerdings führten T-POD-Verluste wie auch Geräte-Defekte zu teilweise größeren Erfassungslücken. Während der in diesem Bericht primär betrachteten Bauphase des Umspannwerks konnte an 84 % der maximal möglichen Zeit auswertbare Daten geliefert werden. Mit nur einem Geräteverlust war auch die Verlustrate in diesem zweiten Untersuchungsabschnitt deutlich geringer. Wiederum betraf der Verlust ein Gerät in der Nähe zum Planungsgebiet des Windparks „alpha ventus“, wo die Verlustrate mit fünf PODs (von insgesamt sieben) sehr hoch war.

Tab. 6: Überblick über die auswertbaren POD-Daten während der Basisuntersuchung zwischen 15. März und 24. Juli 2008.

Position	Start der Untersuchung	Anzahl Tage seit dem 1. Ausbringen	Anzahl Tage mit auswertbaren Daten	Auswertbare Daten	POD-Verluste	Art der zus. Markierung
T1	16.03.2008	129	89	69%		ohne
T2	31.03.2008	114	101	89%		Spiere
T3	31.03.2008	114	28	25%	2	Spiere
T4	31.03.2008	114	43	38%	1	Spiere
T5	16.03.2008	129	92*)	71%	1	ohne
T6	31.03.2008	114	105	92%		Spiere
T7	31.03.2008	114	50	44%	1	Spiere
T8	15.03.2008	130	28	22%	1	Fahrw-tonne
T9	15.03.2008	130	113	87%		Fahrw-tonne
T10	15.03.2008	130	82	63%	1	Fahrw-tonne
T11	15.03.2008	130	121	93%		Fahrw-tonne
T12	31.03.2008	114	105	92%		Spiere
<b>Summe</b>		<b>1462</b>	<b>865</b>	<b>MW: 69%</b>	<b>7</b>	

\*) An Station T5 liegen für 43 Tage Daten von zwei PODs vor.

Tab. 7: Überblick über die auswertbaren POD-Daten während der Bauphase der Trafostation zwischen 24. Juli und 30. Oktober 2008.

Position	Start der Untersuchung	Anzahl Tage seit dem 1. Ausbringen	Anzahl Tage mit auswertbaren Daten	Auswertbare Daten	Anzahl POD-Verluste	Art der zus. Markierung
1	24.07.2008	98	71	72%		Spiere
2a	01.08.2008	91	91	100%		Spiere, Baust-tonne
3a	01.08.2008	91	91	100%		Spiere
4a	01.08.2008	91	91	100%		Spiere
5a	01.08.2008	91	28	31%	1	Spiere, Baust-tonne
6a	01.08.2008	91	91	100%		Spiere, Baust-tonne
7a	01.08.2008	91	91	100%		Spiere, Baust-tonne
8	24.07.2008	98	62	64%		Spiere
9	24.07.2008	98	62	63%		Fahrw-tonne
10	24.07.2008	98	71	73%		Fahrw-tonne
11	24.07.2008	98	98	100%		Fahrw-tonne
12	24.07.2008	98	98	100%		Fahrw-tonne
<b>Summe</b>		<b>1134</b>	<b>944</b>	<b>MW: 83%</b>	<b>1</b>	

Am 26. Juni konnte die Leuchtspiere von Position T3 von Bord eines holländischen Fischkutters übernommen werden. Gleichzeitig war der POD an T3 und die Leuchtspiere von T4 nicht mehr auffindbar. Die fehlende Leuchtspiere wurde später vom WSA Cuxhaven im Wasser treibend geborgen und uns wieder ausgehändigt. Der POD konnte trotz mehrerer Schleppversuche nicht wieder gefunden werden. Hier kann daher sicher von einem Verlust durch Fischerei ausgegangen werden. Durch die Betonung der Baustelle ab dem 1.8.2008 und der nachfolgenden Bauaktivität im Bereich des Planungsgebietes kann von einem

deutlich geringeren Fischereidruck innerhalb des Planungsgebietes ausgegangen werden, was sich in unseren Verlustzahlen widerspiegelt.

Eine Auftrennung der Positionen nach Art ihrer Verankerung (Nähe zu Spiere oder Fahrwassertonne oder ohne zusätzliche Oberflächenmarkierung) zeigt, dass kein Unterschied hinsichtlich der aufgezeichneten Datenmenge vorliegt (Tab. 8, K.-W-Test:  $H=0$ ,  $dF = 2$ ,  $p > 0,1$ ). Die POD-Verluste lagen bei den nur mit Leuchtspiere markierten PODs mit vier Geräten am höchsten. Hier hat, wie oben erwähnt, Fischerei-Druck sicherlich einen maßgeblichen Anteil. Es bleibt ungewiss, ob die Verluste an diesen Positionen minimiert werden können.

Tab. 8: Auswertbare Daten und POD-Verluste aufgetrennt nach Art der zusätzlichen Oberflächenmarkierung.

Art der zus. Markierung	Anzahl Tage seit dem 1. Ausbringen	Anzahl Tage mit auswertbaren Daten	Auswertbare Daten	POD-Verluste
ohne	323	89	28%	1
Spiere	1080	749	69%	4
Fahrw-tonne	916	677	74%	1
Spiere und Baust-tonne	396	301	76%	1

### 3.2. T-POD Daten

In der Bauphase zwischen 24. Juli und 30. Oktober 2008 konnte an 945 POD-Tagen von insgesamt 965 Tagen mindestens ein Schweinswal registriert werden. Das heißt, dass 2 % der Tage ohne Schweinswalaufzeichnung waren. 12 dieser 20 Tage ohne eine einzige Aufzeichnung lagen im Zeitraum zwischen 19. und 27. September und fallen damit in den Zeitraum der schallintensiven Rammarbeiten. Tab. 9 gibt zunächst einen Überblick über die wichtigsten Auswerte-Parameter von T-POD-Daten für jede einzelne Station innerhalb des betrachteten Zeitraums. Hinsichtlich der insgesamt aufgezeichneten PPH und PP10M im Verhältnis zur Gesamtaufzeichnungszeit unterscheiden sich die jeweiligen Stationen teilweise beträchtlich.

Gleich den Ergebnissen der Basisaufnahme erfolgten an der Station 11 (vormals T11) mit 70 % PPH pro Tag (entspricht mindestens einer Registrierung in 17 Stunden eines 24-Stunden-Tages) und 30 % PP10M pro Tag (entsprechend mindestens einer Registrierung in 43 von insgesamt 144 10-Minutenblöcken eines Tages) die mit Abstand meisten Registrierungen pro Aufnahmezeit. Ähnlich hohe Kontaktraten waren an der Station 12 zu verzeichnen. Beide Stationen liegen im FFH Gebiet Borkum Riffgrund (Abb. 1) und unterschieden sich deutlich von allen anderen Stationen, an denen weniger Schweinswale registriert wurden. Die in den jeweiligen Teilgebieten ausgebrachten PODs zeichneten jeweils sehr ähnliche Werte auf. So wurde im Eingriffsgebiet (Gebiet 1) an rund der Hälfte aller Stunden eines Tages mindestens ein Schweinswal registriert (52 % PPH/day). Im Referenzgebiet nah (Gebiet 2) lag die mittlere Aufzeichnungsrate für PPH/day etwas geringer bei 45 %, wobei hier der Wert von Station 5a nicht eingeflossen ist. An dieser Position konnte nur in einem Drittel der insgesamt möglichen Zeit Daten erhoben werden,

was vermutlich auch erklärt, weshalb das Ergebnis dieser Station mit nur 27 % PPH/day deutlich von den anderen abweicht.

Auch für die beiden weiteren Parameter Wartezeit und Ereignislänge zeigt sich eine hohe Übereinstimmung in den Datensätzen der Geräte in den jeweiligen Teilgebieten (Tab. 9).

Tab. 9: Überblick über Aufzeichnungszeit, PPH; PP10M, mittlere Wartezeit und Ereignisdauer pro POD-Position im Rahmen der ersten Bauphase von „alpha ventus“.

Pos.-Nr.	Aufzeichnungszeit [hour]	Anteil PPH	Anteil PP10M	mittlere Wartezeit [min]	95%-Konfidenz	mittlere Ereignis-Dauer [min]	95%-Konfidenz	Gebiet
1	1704.0	50.7%	18.1%	85.4	8.7	8.4	0.8	1
2a	2177.5	50.1%	18.4%	84.4	8.8	8.5	0.7	1
3a	2179.0	53.0%	19.7%	80.4	8.1	9.3	0.7	1
4a	2177.0	54.3%	20.2%	79.1	6.2	9.3	0.9	1
5a	670.5	27.4%	6.8%	186.0	33.0	4.2	1.1	2
6a	2178.0	40.8%	13.6%	109.7	14.0	7.5	0.7	2
7a	2177.0	45.1%	16.2%	97.3	10.1	8.8	1.1	2
8	1494.5	47.6%	16.8%	92.9	10.0	7.7	0.8	2
9	1489.5	38.5%	11.6%	125.5	12.3	6.3	0.9	3
10	1713.0	46.9%	14.4%	98.5	9.5	6.4	0.5	3
11	2354.8	70.1%	30.3%	55.4	3.1	11.4	0.8	4
12	2352.0	63.1%	25.9%	66.6	4.3	11.0	1.1	4
<b>Mittel</b>	<b>1888.9</b>	<b>49.0%</b>	<b>17.7%</b>	<b>84.8</b>	<b>2.4</b>	<b>9.0</b>	<b>0.3</b>	

Da innerhalb der vier Teilgebiete genügend Daten erhoben wurden und die Gebiete einen nahezu geschlossenen Datensatz von Ende März bis Ende Juli vorweisen, haben wir in Tab. 10 einen Überblick über die wichtigsten Auswerte-Parameter der T-PODs für den Gesamtzeitraum, an dem die Geräte im Wasser waren, wiedergegeben. Es zeigt sich, dass die Gebiete 1, 2 und 3 sehr ähnliche Durchschnittswerte für alle Parameter erzielten. Nur das Gebiet 4 (Borkumriff) unterscheidet sich deutlich von den anderen Gebieten. Hier wurden im Mittel über die gesamte Basisuntersuchung 1,5fach so viele PPH und doppelt so viele PP10M aufgezeichnet. Auch die weiteren Parameter Wartezeit und Ereignisdauer zeigen, dass in diesem Gebiet wesentlich häufiger und länger Schweinswale aufgezeichnet wurden. Die mittlere Wartezeit zwischen zwei Schweinswalereignissen lag bei knapp einer Stunde im Gebiet Borkumriff, während in den anderen drei Gebieten im Mittel mehr als zwei Stunden vergingen, bevor wieder Schweinswale aufgezeichnet wurden.

Tab. 10: Aufzeichnungszeit, PPH, PP10M, mittlere Wartezeit und Ereignisdauer für jedes Teilgebiet nach Untersuchung für „alpha ventus“ zwischen 15.3. und 30.10.2008.

Gebiet	Aufzeichnungszeit [hour]	Anteil PPH	Anteil PP10M	mittlere Wartezeit [min]	95%-Konfidenz	mittlere Ereignis-Dauer [min]	95%-Konfidenz
1	15537.5	44.7%	16%	122.5	15.8	7.1	0.7
2	14944.3	40.0%	14%	127.1	15.8	7.2	0.8
3	6381.3	39.5%	12%	129.9	13.9	5.8	0.7
4	9787.9	67.9%	31%	57.6	3.5	12.2	1.0

### 3.3. Saisonalität

In Abb. 10 ist für jeden Tag die mittlere Anzahl PP10M/day für die jeweiligen vier Teilgebiete Eingriffsgebiet (1), Referenzgebiet nah (2), Referenzgebiet Nord (3) und Borkumriffgrund (4) dargestellt. Es zeigt sich ein stetiger Wechsel von Tagen mit hoher Schweinswalaktivität mit

Tagen, an denen nur wenige Schweinswale im Erfassungsbereich der PODs waren. In den drei Gebieten 1, 2 und 3 ist ein deutliches Aktivitätsminimum im Sommer zu erkennen.

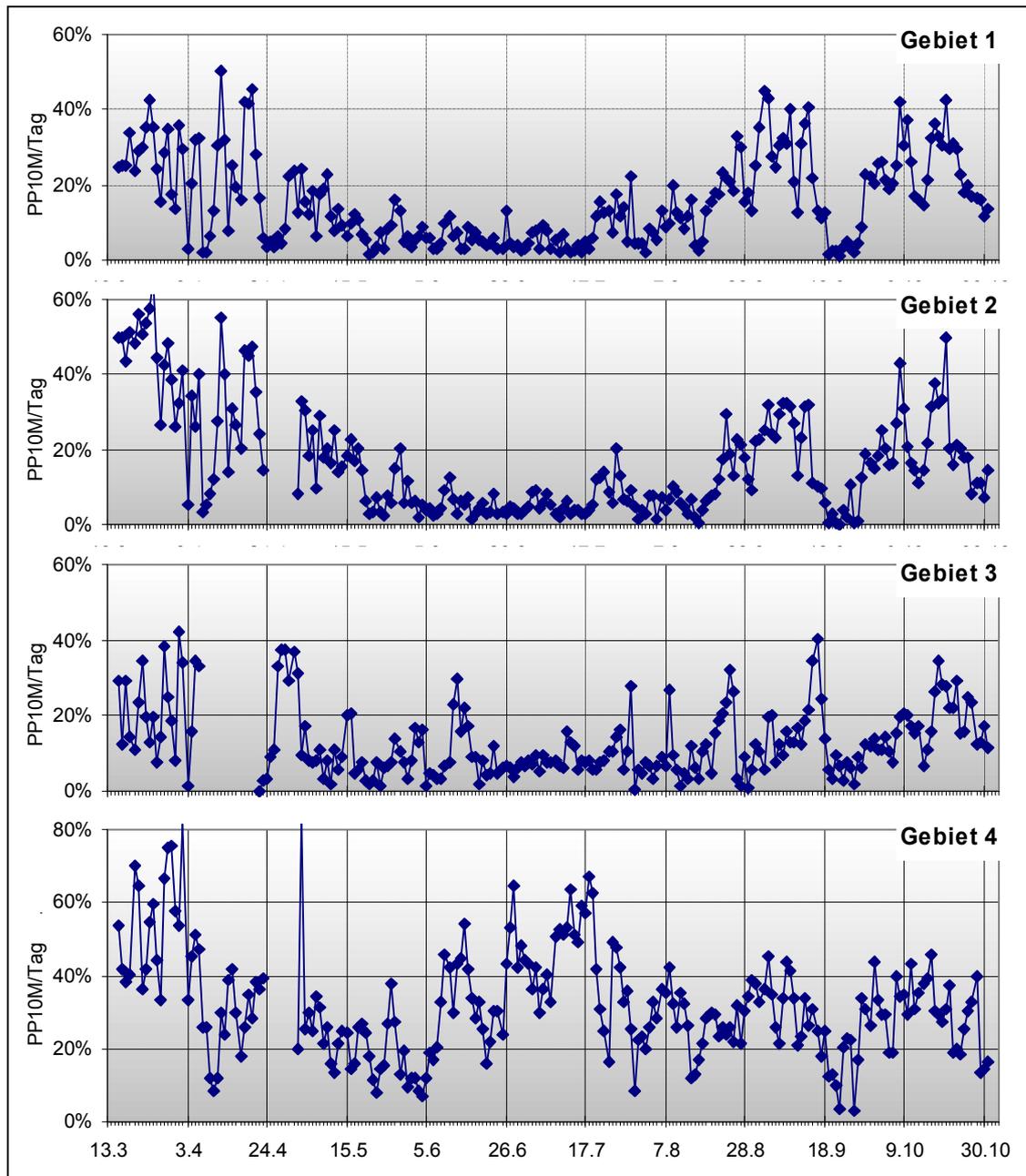


Abb. 10: Mittlere Anzahl PP10M/Tag für die vier Teilgebiete zwischen 15.3. und 30.10.2008.

Abb. 11 zeigt, dass in allen vier untersuchten Teilgebieten Maximalwerte im März aufgezeichnet wurden. Während jedoch in den Gebieten 1 bis 3 ein gleiches saisonales Muster mit Maximalwerten zu Beginn (Mitte März) und kurz vor Ende der Untersuchung (Oktober) und minimalen Werten im Sommer (Juni/Juli) erkennbar wird, kann dieses Muster in Gebiet 4 (Borkum-Riff) nicht erkannt werden. Dort wurde auch im Juli eine hohe Aufzeichnungsrates festgestellt. Generell lag in diesem Gebiet eine deutlich höhere Schweinswaldichte als in den anderen drei Gebieten vor.

Rechnet man ein Generalized Additiv Model (GAM) mit Monat als unabhängige Variable (predictor variable), so zeigt sich, dass Saisonalität (hier ausgedrückt im Faktor Monat) einen hoch signifikanten Effekt auf die Verteilung der PP10M/day ausübt (GAM:  $df=3.98$ ,  $F=186.4$ ,  $p<0.001$ ). Rechnet man das Model nur mit den Daten aus den drei Teilgebieten 1, 2 und 3, so kann das Model 35 % der Varianz erklären.

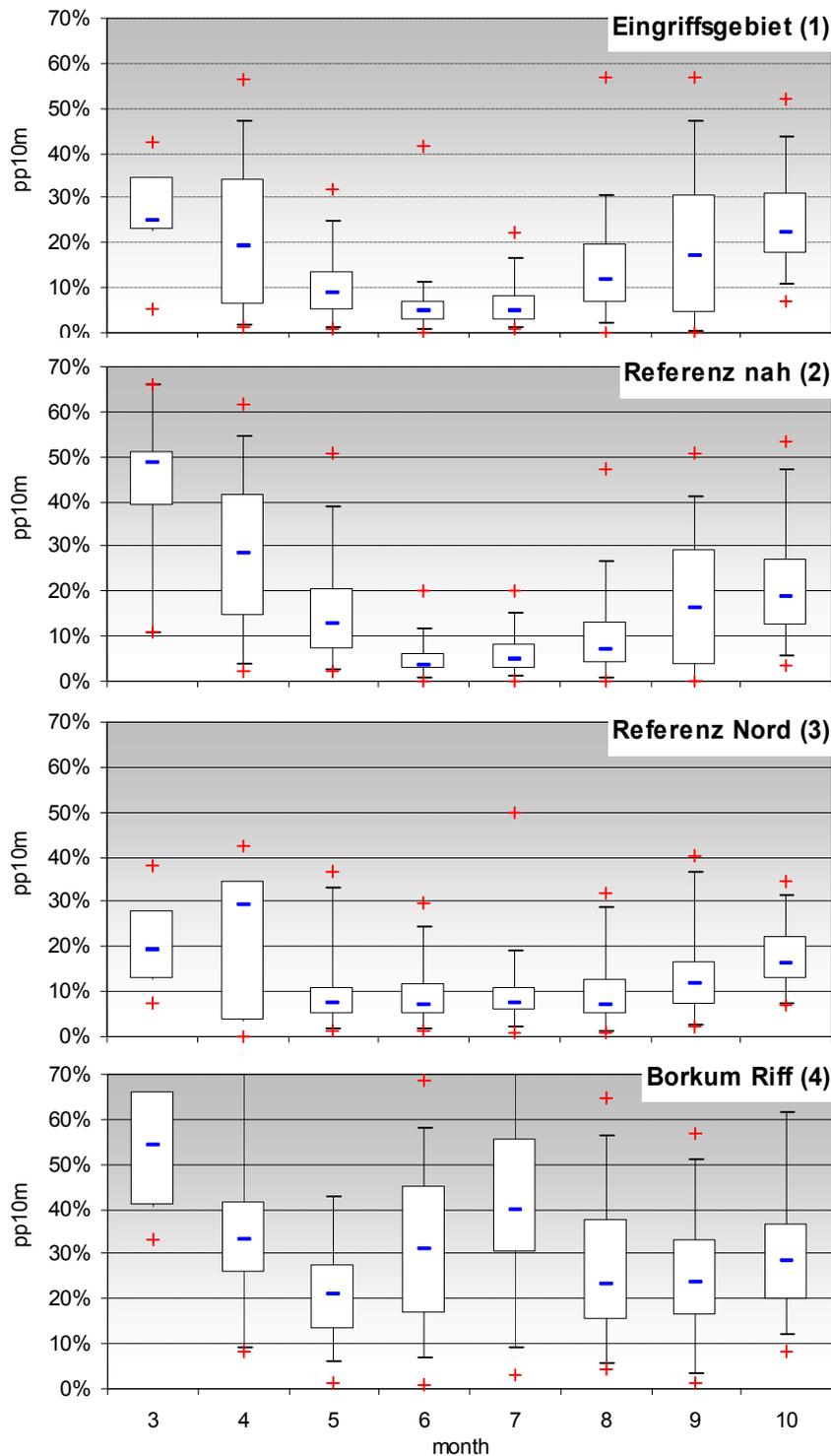


Abb. 11: Saisonaler Verlauf der PP10M/day dargestellt in Median, Minimum, Maximum, 5, 25, 75 und 95 Perzentile pro Monat für die jeweiligen Teilgebiete.

### 3.4. Auswirkungen der Rammarbeiten

#### 3.4.1 Schweinswalpositive 10 Minuten

Zur Auswertung der Rammarbeiten sind in Abb. 12 die mittleren PP10M/day für drei verschiedene Abstandsklassen für die drei Untersuchungszeiträume „baseline“ (1. August bis 17. September); „piling“ (Tage mit Rammaktivitäten, s a. Tab. 5) und „recovery“ als Tage nach dem letzten Rammereignis (26. September bis 30. Oktober 2008) aufgetragen.

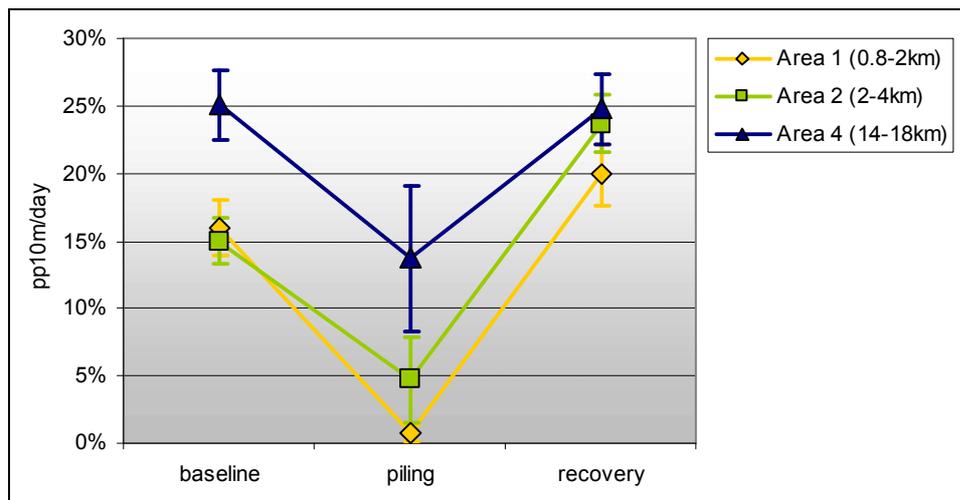


Abb. 12: Mittlere PP10M/Tag für die jeweiligen Abstandsklassen vom Rammort der Trafo-Station während der drei verschiedenen Zeiträume vor, während und nach den Rammarbeiten. Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall an.

Gerätedefekte sorgten leider dafür, dass im Gebiet 3 (7 km Abstand) und im Gebiet 5 (22 km Abstand) keine Daten nach dem 25.9., bzw. 26.9. erhoben werden konnten. Da beide Entfernungsklassen auch jeweils nur durch eine Station besetzt waren, können für diese Stationen keine Aussagen über die Zeit nach Ende der Baustellenaktivitäten gemacht werden. Sie wurden in Abb. 12 daher nicht dargestellt. Über ein GLM mit den Variablen Monat, Gebiet (nach den o. e. fünf Entfernungsklassen) und „Periode (Baseline, piling oder recovery), sowie der Interaktion von Entfernung und Periode konnte ein signifikanter Einfluss aller Faktoren wie auch der Interaktion gezeigt werden (Tab. 11).

Tab. 11: Ergebnis eines GLMM mit PP10M/day als unabhängige Variable und 3 Faktoren und einer Interaktion als erklärende Variable.

Unabhängige Variable	Chisq	Df	p
Periode	128.39	2	< 0.001
Gebiet	26.55	1	< 0.001
Monat	132.55	2	< 0.001
Interaktion Periode*Gebiet	11.69	2	< 0.05

Der signifikante Effekt der Interaktion von Periode mit Gebiet zeigt an, dass der Unterschied zwischen den drei Perioden signifikant, aber an den fünf Gebietsklassen unterschiedlich ist,

was in Abb. 12 deutlich wird: Je näher zur Schallquelle, desto weniger Aktivität wurde während der Rammaktivitäten gemessen.

Grundsätzlich zeigen die Daten für alle drei Gebietsklassen ein deutliches Minimum während der Rammtage an. Über ein GLMM mit Monat als Faktor konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der „baseline“ und der „piling“-Periode für alle drei Gebiete nachgewiesen werden (Tab. 12). Zwischen „piling“- und „recovery“-Periode besteht in den beiden nahen Entfernungsklassen ebenfalls ein signifikanter Unterschied, der in der 4. Klasse nicht mehr signifikant ist. Grundsätzlich ist ein klarer Effekt der Rammarbeiten auf die gemessene Schweinswalaktivität mit Hilfe des zeitlich nur auf Tagesbasis auflösenden Parameters PP10M/Tag nachzuweisen.

Tab. 12: Ergebnis des Vergleichs der mittleren PP10M/day für verschiedenen Perioden mit Hilfe eines GLMM mit Monat und Periode als fixed Faktoren. Angegeben sind die p-Werte für die einzelnen Parameter.

Model	Gebietsklasse	Monat	Periode
baseline : piling	1	< 0.001	< 0.001
recovery : piling	1	< 0.001	< 0.001
baseline : recovery	1	< 0.001	< 0.001
baseline : piling	2	< 0.001	< 0.001
recovery : piling	2	< 0.001	< 0.05
baseline : recovery	2	< 0.001	< 0.001
baseline : piling	4	< 0.05	< 0.001
recovery : piling	4	< 0.05	0.356
baseline : recovery	4	< 0.05	< 0.05

### 3.4.2 Schweinswalpositive Minuten pro Stunde

Um zu testen, ob und wie lange ein Effekt durch Rammarbeiten auf die An- oder Abwesenheit der Schweinswale wirkt, wurden auch die PPM/hour errechnet.

In Abb. 13 ist in Form eines Generalized Additive Model der Einfluss des zeitlichen Abstands zu den Rammarbeiten auf die Anzahl PPM/hour dargestellt. Da hier der Wert jeder einzelnen Stunde in das Modell eingeflossen ist, kann der zeitliche Effekt der Rammung auf die Schweinswalaktivität detaillierter verdeutlicht werden. Grundsätzlich ist in allen drei Entfernungsklassen eine Zunahme PPM/hour mit zeitlichem Abstand zum Ende des Rammereignisses zu erkennen.

Bevor ein Plateau, bzw. ein Maximum an PPM/hour erreicht wurde, vergingen in den beiden ersten Abstandsklassen bis über 3 Tage. In Abstandsklasse 4 (14-18 km) wurde ein Maximum nach ca. 50 Stunden erreicht.

Distanz zur Baustelle und Tageszeit haben bei allen Abstandsklassen einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis, treten in ihrer Bedeutung jedoch deutlich hinter dem Faktor „hour after piling“ zurück. Mit zunehmender Entfernung zur Baustelle nimmt die Aussagekraft des Modells ab, was darauf hinweist, dass die Reaktion der Tiere in der Nähe zum Rammort wesentlich stärker ist als in zunehmender Entfernung.

Bei dieser Auswertung ist jedoch zu bedenken, dass sich den Angaben mehrere Stunden nach der Rammung nur Daten von einem einzigen Rammereignis zugrunde liegen. Die

Aussagekraft dieses Ergebnisses bezüglich der Dauer eines Effekts ist demnach sehr begrenzt, da es stark von zufälligen Erscheinungen beeinflusst sein kann.

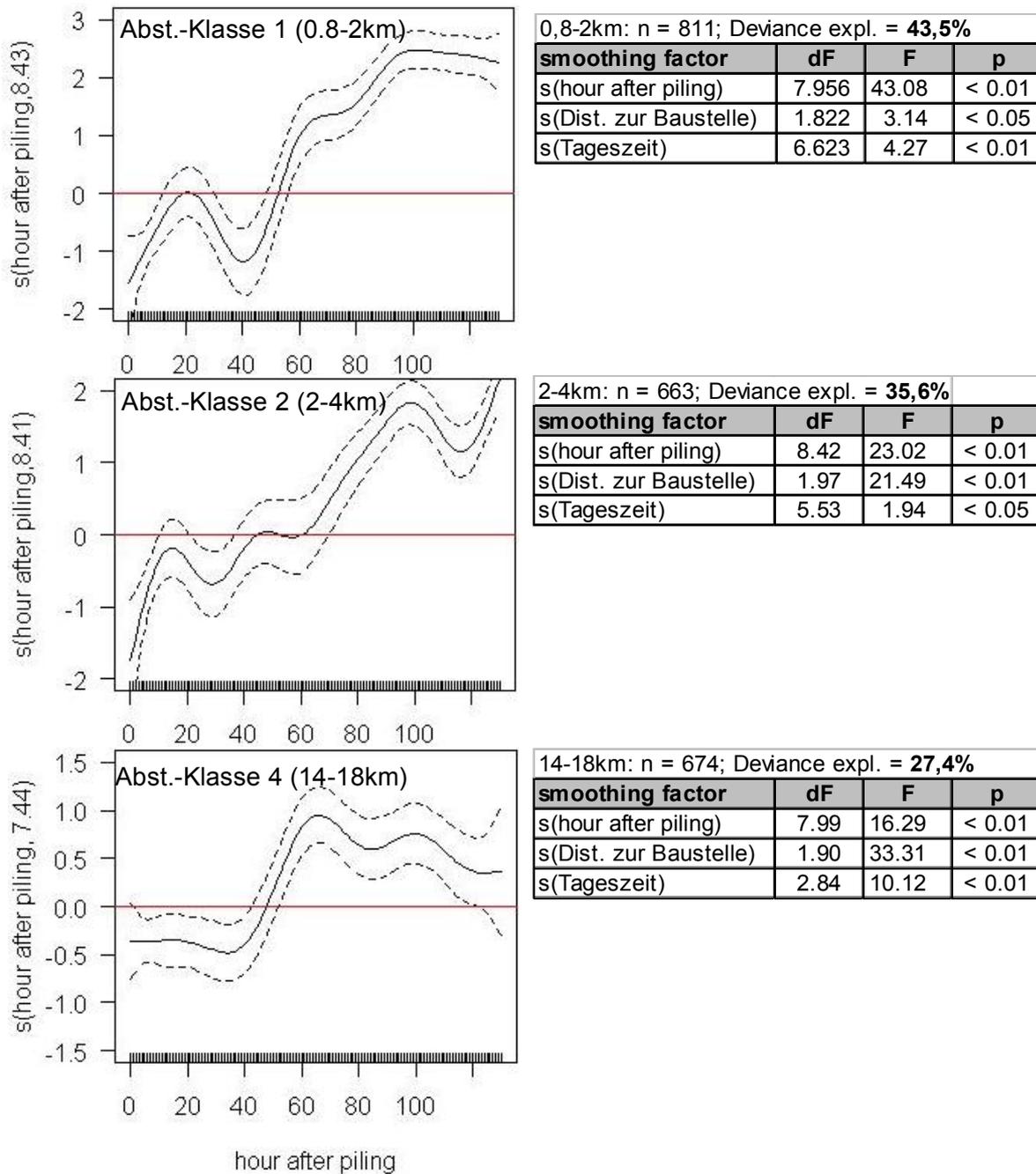


Abb. 13: Einfluss der jeweiligen Stunden nach Ende der Rammarbeiten („hour after piling“) auf die PPM/hour dargestellt anhand eines GAM. Gezeigt ist die Abweichung vom Mittelwert samt Konfidenzintervall (gestrichelte Linie). Einfluss von Distanz zur Baustelle und Tageszeit ist graphisch nicht dargestellt, sondern in den nebenstehenden Tabellen gelistet. Zusätzlich ist angegeben, wie viel Prozent der Abweichung durch das Modell dieser drei Faktoren erklärt ist.

Für die Abstandsklasse 3 (7 km) liegen zu wenige Daten vor, da nur ein Gerät in dieser Entfernung ausgebracht war und dieses ab dem 25.9. keine Daten mehr geliefert hat.

Die weitest entfernte Abstandsklasse 5 mit 23 km war ebenfalls nur durch ein Gerät besetzt, das nach dem 26.9. keine Daten mehr geliefert hat.

Zusammengefasst kann man festhalten, dass die Rammarbeiten einen signifikant negativen Effekt auf den Parameter PPM/hour ausüben, der sich mit wachsender Entfernung zum Rammort abschwächt, jedoch noch immer in einer Entfernung von bis zu 22,6 km für mindestens 24 Stunden nachweisbar ist.

### 3.4.3 Wartezeit

Vergleicht man die mittlere erste Wartezeit nach Ende der jeweiligen fünf Rammereignisse in allen Abstandsklassen mit der mittleren Wartezeit der Datenbasis, so zeigt sich bis in die hier untersuchte maximale Entfernung von 22,6 km eine signifikant längere Zeit bis wieder Schweinswale von den Geräten aufgezeichnet wurden (Abb. 14, Tab. 13). In der ersten Abstandsklasse bis 2 km ist die mittlere erste Wartezeit mit 25,4 Stunden sogar über 42fache gegenüber der ca. eine halbe Stunde dauernden medianen Wartezeit während der Basiszeit verlängert. In der Abstandsklasse 2-4 km ist die erste mediane Wartezeit um das 25fache gegenüber der Basiszeit erhöht, und dauert 16,5 Stunden. In der Abstandsklasse 3 (7 km) erhöht sie sich allerdings wieder um das 40fache auf 18,5 Stunden. In der Abstandsklasse 4 (16-18 km) hingegen ist sie mit 5,6 Stunden nur noch um das 12fache erhöht. In der weitest entfernten Abstandsklasse 5 (22 km Abstand) ist die erste Wartezeit nur noch 8,5fach länger als während der Basiszeit und dauert 9,3 Stunden.

In 0,8-2 km Abstand unterschieden sich die ersten drei Wartezeiten signifikant von den Wartezeiten während der Datenbasis. Summiert man diese Wartezeiten auf, ergibt sich somit insgesamt eine Zeit von 43,9 Stunden, bis die Wartezeiten wieder eine unter normalen Umständen zu erwartende Länge aufweisen. In allen anderen Abstandsklassen ist nur die erste Wartezeit signifikant länger als Wartezeiten während der Datenbasis. Da allerdings nur fünf voneinander trennbare Rammereignisse stattfanden, ist die Aussage durch die geringe Stichprobengröße eingeschränkt.

In allen Abstandsklassen ist die erste Wartezeit deutlich stärker beeinflusst als die darauf folgenden. So ist die zweite Wartezeit in der ersten Abstandsklasse mit 10,8 Stunden bereits nur noch weniger als halb so lange wie die erste Wartezeit und in der zweiten Abstandsklasse mit 2,5 Stunden sogar nur noch etwa ein siebtel. Dies verdeutlicht zusätzlich, dass der Effekt mit größerem Abstand zur Schallquelle deutlich abnimmt.

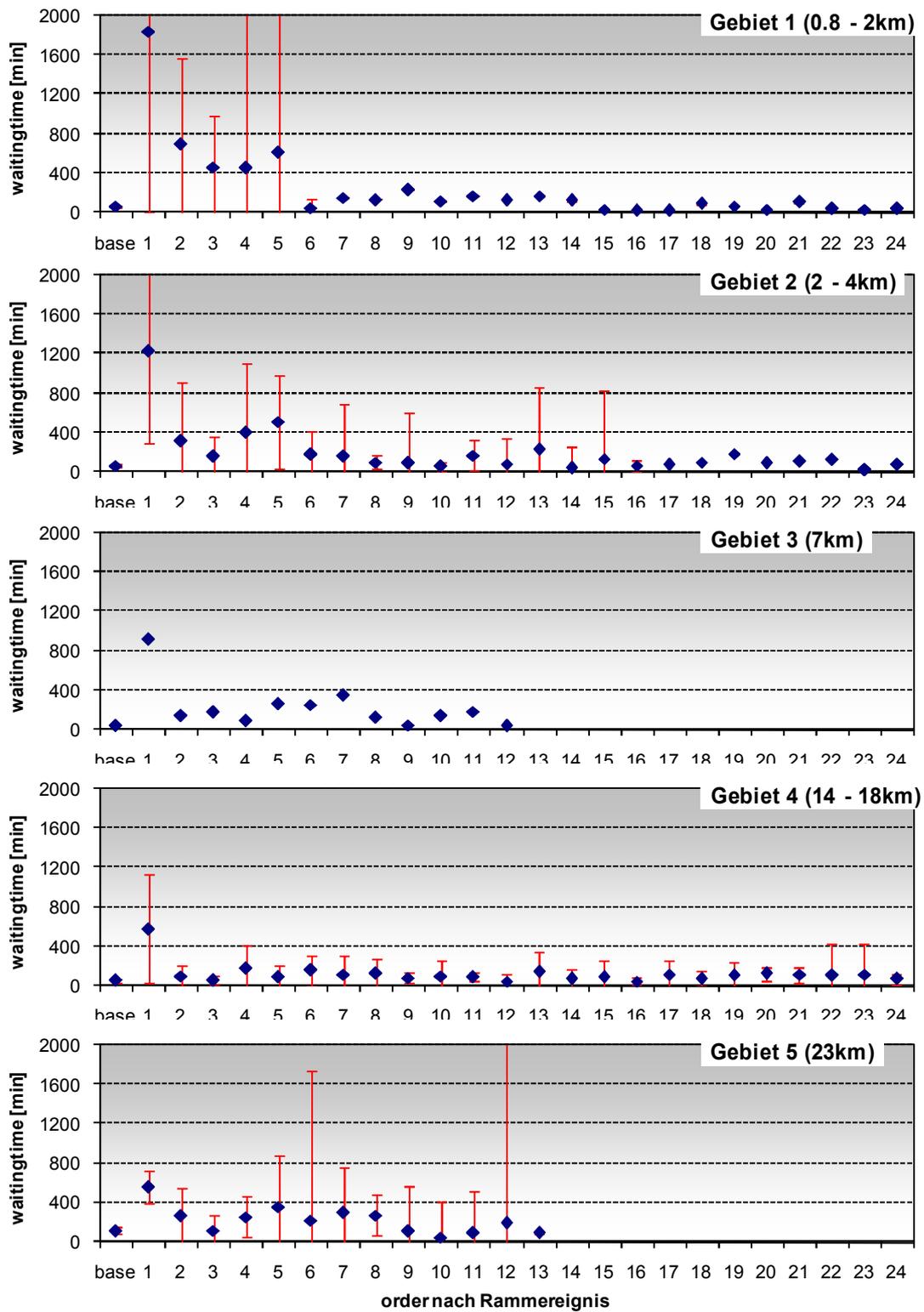


Abb. 14: Mittlere Dauer der Wartezeit während der Basiszeit und der jeweiligen Wartezeiten nummeriert nach dem zeitlichen Auftreten nach Ende der jeweiligen Rammaktivität. Aufgetrennt nach vier Abstandsklassen.

Tab. 13: Ergebnisse des Vergleichs der Wartezeiten nach Rammung mit der Datenbasis

Abst.-Klasse	Order nach Ramm Ereign.	Median waiting time [min]	Mean waiting time [min]	Min	Max	N	Z	p	p after Bonferroni	Direction of effect	Sum of sig. waiting time [min]
1 (0.8-2 km)	base	36	65	10	891	372					
	1	1526	1840	816	3380	4	3.4	≤0.01	<b>≤0.01</b>	+	2634
	2	646	698	87	1415	4	3.1	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
	3	462	465	63	861	4	3.0	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
	4		456	150	762	2	2.2	≤0.05	0.19		
	5		605	297	914	2	2.4	≤0.05	0.12		
	6		46	37	55	2	0.4	0.68	4.76		
	≥7	103	97	23	235	18	3.1	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
2 (2-4 km)	base	40	66	10	1063	240					
	1	992	1225	839	2079	4	3.4	≤0.01	<b>≤0.01</b>	+	992
	2	151	312	72	872	4	2.4	≤0.05	0.11		
	3	160	165	25	316	4	2	≤0.05	0.33		
	4	269	405	60	1025	4	2.6	≤0.05	0.08		
	5	555	515	114	838	4	3.2	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
	6	160	176	14	369	4	1.5	≤0.05	0.88		
	≥7	114	111	10	632	48	4.2	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
3 (7km)	base	28	44	10	237	149					
	1	1107	923	187	1293	5	3.8	≤0.01	<b>≤0.01</b>	+	1107
	2	109	148	38	336	4	2.1	≤0.05	0.25		
	3	97	175	10	496	4	1.3	0.19	1.35		
	4	46	95	11	278	4	0.6	0.55	3.84		
	5	177	266	71	639	4	3.1	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
	6	300	254	89	374	3	2.7	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
	≥7	168	173	14	402	8	2.9	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
4 (16-18 km)	base	27	53	9	962	276					
	1	333	580	205	1247	5	3.7	≤0.01	<b>≤0.01</b>	+	333
	2	62	101	27	189	5	2	≤0.05	0.32		
	3	52	54	18	111	5	1.1	0.29	2.03		
	4	106	173	51	521	5	2.8	≤0.01	<b>≤0.05</b>	+	
	5	95	98	36	165	4	1.9	0.06	0.39		
	6	163	158	41	265	4	2.6	≤0.05	0.08		
	≥7	73	94	14	300	24	6.3	≤0.01	<b>≤0.01</b>	+	
5 (22 km)	base	66	115	12	726	276					
	1	563	557	429	674	4	3.2	≤0.01	<b>≤0.05</b>		563
	2	236	269	92	511	4	2.2	≤0.05	0.18		
	3	114	115	19	215	4	0.2	0.81	0.18		
	4	237	255	182	347	3	2.2	≤0.05	5.68		
	5	317	358	171	585	3	2.4	≤0.05	0.18		
	6		224	72	375	2	1.2	0.23	0.12		
	≥7	139	165	11	386	13	1.5	0.13	1.61		

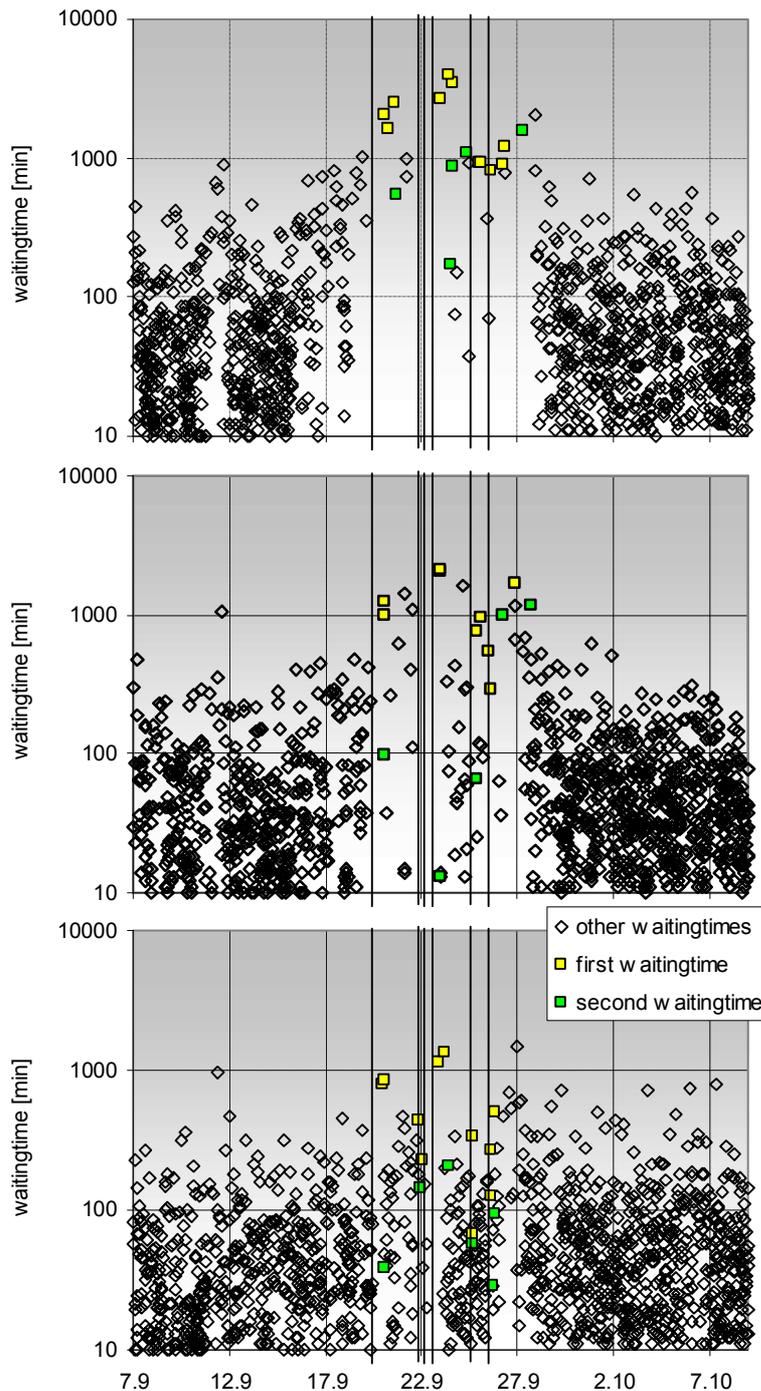


Abb. 15: Dauer der Wartezeit zwischen zwei Schweinswalereignissen in den Gebietsklassen 1 (0,8-2 km; oben), 2 (2-4 km; Mitte) und 4 (14-18 km; unten) zwischen dem 7. September und dem 9. Oktober 2008. Endpunkte von Rammarbeiten sind durch schwarze Vertikallinien gekennzeichnet. Y-Achse logarithmiert!

Abb. 15 zeigt aufgetrennt nach drei Abstandsklassen alle aufgezeichneten Wartezeiten. Farblich hervorgehoben sind die jeweils ersten und zweiten Wartezeiten nach Ende der jeweiligen Rammarbeiten. Das Ende von Rammarbeiten ist durch eine vertikale schwarze Linie angezeigt. Deutlich wird, dass im Nahbereich der Baustelle (Abstandsklasse 1) nur selten Schweinswale aufgezeichnet wurden und diese dem Gebiet während der Bauarbeiten lange fortblieben. Dieser Effekt schwächt sich deutlich mit Abstand zur Baustelle ab. Bereits

in der 2. Abstandsklasse (2-4 km) ist eine deutlich höhere Aktivität der Tiere im Zeitraum der Rammarbeiten erkennbar. In der Entfernungsklasse 4 (14-18 km) ist immer noch ein Effekt erkennbar, und die ersten Wartezeiten nach Ende der Rammarbeiten sind signifikant höher, es werden jedoch kontinuierlich auch Tiere während der Bauarbeiten aufgezeichnet.

Nicht nur die Rammarbeiten selbst, auch die vorbereitenden Arbeiten, wie z. B. der Einsatz der Vergrämer, das Einrütteln der Pfähle aber möglicherweise auch der erhöhte Schiffsverkehr führten im Nahbereich der Baustelle zu einem Verlassen des Gebietes durch Schweinswale. In der ersten Abstandsklasse weisen die Wartezeiten bereits vor dem ersten Rammereignis eine längere Dauer gegenüber den vorausgehenden Wartezeiten auf, und es existieren wesentlich weniger kurze Wartezeiten. Während die auch in der zweiten Abstandsklasse noch ersichtlich ist, lässt sich ein solcher Effekt in der vierten Abstandsklasse nicht mehr erkennen.

### 3.4.4 Schweinswalereignis

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Vergrämungsmaßnahmen wurden alle Schweinswalaufzeichnungen, die während der Vergrämungsmaßnahmen und während der Rammarbeiten aufgezeichnet wurden, bestimmt und in Tab. 14 dargestellt. Während der insgesamt fast 10stündigen Rammzeit wurden insgesamt nur zweimal Schweinswale aufgezeichnet. Die nächste Entfernung zur Schallquelle betrug dabei 15,1 km. Während der insgesamt genauso langen Vergrämungszeit (ohne paralleles Rammen) wurden 14-mal Schweinswalleute aufgezeichnet. Die mittlere Dauer eines solchen Schweinswalereignisses während der Vergrämungsmaßnahmen dauerte 2 Minuten.

Tab. 14: Alle Schweinswalereignisse, die während der Vergrämungsmaßnahmen oder der Rammarbeiten durch die PODs aufgezeichnet wurden.

POD-Pos.	SW-Ereignis (Start)	Dauer SW-Ereignis [min]	Distanz [m]	Gebietsklasse	Art der Schallquelle	Dauer des Schalls [min]
7	24.9.08 10:44	1	1830	1	Vergrämung	14
8	24.9.08 10:52	1	6430	3	Vergrämung	22
10	19.9.08 9:58	1	14260	4	Vergrämung	8
10	19.9.08 10:29	3	14260	4	Vergrämung	41
10	25.9.08 10:15	8	14260	4	Vergrämung	22
11	24.9.08 13:55	3	15135	4	Vergrämung	207
11	24.9.08 11:12	1	15135	4	Vergrämung	42
11	24.9.08 12:20	56	15135	4	Rammen	60
11	24.9.08 13:43	1	15135	4	Vergrämung	192
12	19.9.08 10:28	3	17740	4	Vergrämung	41
12	21.9.08 18:33	1	17740	4	Vergrämung	63
12	22.9.08 5:26	3	17740	4	Vergrämung	6
12	22.9.08 5:49	1	17740	4	Vergrämung	29
12	24.9.08 10:50	1	17740	4	Vergrämung	20
9	22.9.08 5:26	1	22600	5	Vergrämung	6
9	22.9.08 8:18	5	22600	5	Rammen	5

## 4. DISKUSSION

### 4.1. Diskussion der Ausbringmethode

Das Prinzip des hier eingesetzten Verankerungssystems verfolgt das Ziel, sicher zu sein und möglichst einfach bedient werden zu können. Um Datenlücken durch mögliche Geräteverluste aber auch durch unvermeidbare Aufzeichnungsprobleme der PODs (z. B. durch Spannungsverlust, voller Speicher, verheddern im Seil, etc.) zu vermeiden, wurden die jeweiligen POD-Stationen regelmäßig während der SAS-Ausfahrten für „alpha ventus“ angefahren. Dadurch konnten wir mit geringem Schiffs- und Personalaufwand größere Datenlücken vermeiden.

Insgesamt traten im Untersuchungszeitraum seit März 2008 7 Geräteverluste auf. Zur Diskussionen der POD-Verluste im Rahmen dieses und anderer Projekte fand am 27. Juni 2008 ein Fachgespräch im BSH zur Verankerung der PODs statt. Ergebnis des Treffens war, dass bei allen Ankersystemen der gelbe Fender als Oberflächenmarkierung gegen eine 3 m Leuchtspiere ausgewechselt werden soll, um eine bessere Sichtbarkeit für die Schifffahrt zu gewährleisten. Da die Bojen erst im September 2008 geliefert wurden, hat es an den Verankerungssystemen im Verlauf dieses Projekts keine Änderung gegeben.

Die einzigen nachweisbaren Ursachen der Verluste betrafen Fischerei. Wie Abb. 16 zeigt, liegt das Planungsgebiet „alpha ventus“ am westlichen Rand eines sehr intensiv mit Grundschleppnetzen befischten Gebietes, was mit zu dem stärksten befischten Gebieten innerhalb der deutschen AWZ zählt (ICES 2008). In der Regel handelt es sich bei den Hochseetrawlern in diesem Gebiet um Schiffe größer als 15 Meter. Ein Verlust der T-PODs durch diese intensive Fischerei, ist unserer Meinung nach auch nicht durch wesentlich schwerere und kostenintensivere Verankerungen zu verhindern, da es sich gezeigt hat, dass auch regelmäßig die großen mit Drahtseilen und an 1000 kg schweren Ankerblöcken befestigten Leuchttonnen verloren gingen. Alle besetzten Positionen waren zuvor dem WSA Cuxhaven gemeldet und in der „Bekanntmachung für Seefahrer“ veröffentlicht worden.

Die fischereiliche Nutzung im Gebiet von „alpha ventus“ schien v. a, in den Frühjahrsmonaten sehr hoch gewesen zu sein, da die Sichtungen von Fischereifahrzeugen im weiteren Jahresverlauf abnahmen. Eventuell ließe eine gezielte Information der Fischer weitere Geräteverluste minimieren.

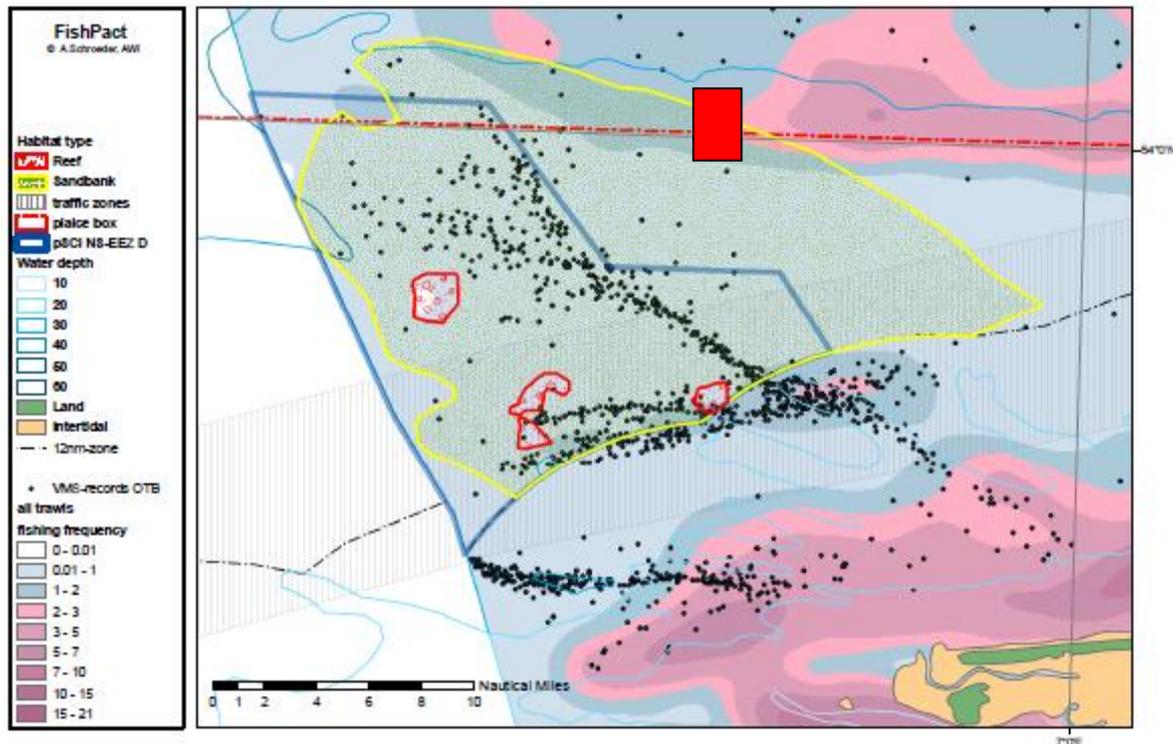


Abb. 16: Intensität von Grundschieppnetzfisherei im Seegebiet um das Natura2000-Gebiet Borkum Riffgrund. Höchste Intensitäten werden durch rosa Farben angezeigt. Das Planungsgebiet „alpha ventus“ ist als rotes Rechteck eingezeichnet. Zusätzlich sind VMS-Aufzeichnungen der „Otter-Trawler“ angegeben. Von: Schroeder et al. 2008.

## 4.2. Diskussion der Ergebnisse

### 4.2.1 Zeitliches und räumliches Verteilungsmuster

Die Ergebnisse der T-POD-Daten zeigen, dass das Seegebiet um den geplanten Windpark „alpha ventus“ in den Monaten März bis Oktober zu einem kontinuierlich von Schweinswalen besuchten Gebiet gehört. Nahezu täglich wurden Schweinswale an allen Stationen aufgezeichnet. Die dabei erzielten mittleren Werte für die als relatives Maß für Schweinswaldichte stehenden Parameter PPH und PP10M erzielten mit 49 % PPH und 18 % PP10M sehr ähnliche Werte wie in der ersten Untersuchungsphase von Mitte März bis Ende Juli (44 % PPH und 17 % PP10M) und stimmen mit Ergebnissen aus Gebieten mit bekannten hohen (absoluten) Dichten überein.

So wurden westlich von Sylt mit 50 % PPH und 20 % PP10M gemittelt über 6 Monate sehr ähnliche Werte erreicht (Brandt et al. 2008). Parallel dazu durchgeführte Zählflüge bestätigten hohe (absolute) Schweinswaldichten in diesem Bereich mit bis zu 3,5 Ind./km<sup>2</sup> (Brandt et al. 2008). In Horns Rev, einem Seegebiet nördlich von Sylt, welches ebenfalls durch mittlere bis hohe Dichten gekennzeichnet ist (Tougaard et al. 2006a), wurden ebenfalls mittlere Werte von 56 % PPH und 23 % PP10M ermittelt (mit den gleichen V4-T-PODs, Diederichs et al. 2008a). In der Ostsee um Nysted, einem Seegebiet mit eher mittleren Dichten wurden Werte von 30 % PPH und 7 % PP10M festgestellt (Diederichs et al. 2008a). Dies zeigt, dass es sich in „alpha ventus“ um ein Seegebiet mit mittleren bis hohen Dichten

handelt. Ein Vergleich mit den im gleichen Projekt durchgeführten Erfassungen von Schweinswalen mit dem Flugzeug bestätigt dieses Ergebnis (Diederichs et al. 2008b).

Wie bereits in der Basisuntersuchung gezeigt, war auch während der ersten Bauphase die relative Dichte in den vier voneinander getrennten Teilgebieten deutlich unterschiedlich. Während die drei Teilgebiete 1, 2, und 3 (Vorhabensgebiet, Referenz nah und Referenz Nord) mit 42 % PPH, bzw. 14 % PP10M im Mittel einander sehr ähnliche mittlere relative Dichtewerte zeigten, wurden im Gebiet Borkum Riff (Gebiet 4) im Südwesten des Untersuchungsgebietes mittlere Werte von 68 % PPH und 31 % PP10M erreicht, was auf eine bis zu doppelt so hohe Schweinswalddichte schließen lässt.

Weiterhin ist ein bemerkenswerter Unterschied hinsichtlich des saisonalen Verlaufs der (relativen) Schweinswalddichte im Vergleich zwischen den Teilgebieten festzustellen. In den drei Teilgebieten 1, 2 und 3 zeigen die POD-Daten einen signifikanten saisonalen Verlauf der relativen Dichte mit Maximalwerten zu Beginn der Untersuchung Mitte März und zum Ende der Untersuchung im Oktober. Ein deutliches Minimum wird in allen drei Gebieten im Juni und Juli (im Gebiet 3 sogar von Mai bis August) erreicht. Dieses Muster ist im Gebiet 4 („Borkum-Riff“) nicht so deutlich zu erkennen. Nicht nur, dass die relative Dichte kontinuierlich höher ist, es zeigt sich zudem auch ein ausgeprägtes Maximum im Juli, auch wenn nicht ganz die hohen Werte vom März erreicht werden. Dieses Muster deutet auf ein deutlich anderes saisonales Auftreten von Schweinswalen im Seegebiet von Borkum-Riffgrund hin als in den Gebieten östlich davon. Eine räumliche Grenze, ab wann die Dichten in Richtung Osten abnehmen, kann anhand der POD Daten aufgrund der geringen räumlichen Auflösung der PODs nicht gezogen werden. Die Flugzeugzählungen weisen jedoch darauf hin, dass das Planungsgebiet direkt an das Gebiet hoher Dichte im Bereich des Borkum Riffgrundes anschließt.

Der von den PODs in den Gebieten 1 bis 3 gezeigte saisonale Verlauf wird auch von Gilles et al. (2006, 2007) anhand von Flugzeugerfassungen, welche hohe Dichten im (zeitigen) Frühjahr und geringe Dichten im Sommer erbrachten, bestätigt. Auch der Abgleich mit den Ergebnissen der ersten Jahre der Basisaufnahme (Juli 2000 bis August 2003; damaliger Projektname "Borkum West" der Firma Prokon Nord Energiesysteme) bestätigt diese Entwicklung (Gruber et al. 2003). Eine Studie von Camphuysen (2004) zeigt anhand von systematischen Schweinswalbeobachtungen an der niederländischen Küste einen deutlichen saisonalen Verlauf der Schweinswalbeobachtungen mit einem Maximum zwischen November und März und einem Minimum zwischen April und Oktober. Eine solche Abnahme in der Dichte der Tiere von März bis April, wie für die niederländischen Gewässer beschrieben, lassen auch die POD-Daten im Windparkgebiet erkennen, jedoch steigen die Werte bereits im August/September wieder deutlich an und erreichen im Oktober nahezu wieder Werte wie im März. Für eine Abschätzung des saisonalen Auftretens von Schweinswalen im Seegebiet von „alpha ventus“ wäre ein geschlossener Datensatz eines Jahres sehr wertvoll, da momentan nur vermutet werden kann, dass der Bestand, den Beobachtungen aus den Niederlanden folgend (Camphuysen et al. 2004), im Winter sein Maximum in diesem Gebiet erreicht. Da unsere Geräte Ende Oktober geborgen wurden, wird leider keine Aussage darüber möglich sein.

Die Untersuchung der mittleren Ereignislänge zeigt, dass die Schweinswale sich mehrere Minuten im Erfassungsradius der PODs aufhalten. Das weist daraufhin, dass die Tiere das Gebiet als Nahrungs- bzw. Aufenthaltsgebiet nutzen (Tougaard et al. 2006a,b). Mittlere Werte von mehr als 12 Minuten im Gebiet Borkum Riff zeugen davon, dass sich die Tiere dort sehr lange im Erfassungsbereich der PODs aufhalten. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass eine sehr hohe Dichte von Tieren auch dazu führen kann, dass scheinbar lange Aufenthaltsdauern von verschiedenen Tieren im Erfassungsbereich verursacht werden können. Im Fall, dass das Gebiet Borkum Riff ein von den Tieren präferiertes Nahrungshabitat darstellt, könnte diese Bevorzugung einen saisonalen Effekt überdecken, da im Gebiet befindliche Schweinswale diesen Bereich immer nutzen. Es kann nach derzeitiger Datenlage ausgeschlossen werden, dass es sich bei dem Untersuchungsgebiet nur um ein Durchzugsgebiet handelt.

#### 4.2.2 Auswirkungen der Rammarbeiten

Die Analyse der Schweinswalaufzeichnungen im Zusammenhang mit den Rammarbeiten zur Installation des Umspannwerks bei „alpha ventus“ zeigt einen sehr deutlichen Effekt der Rammarbeiten, obwohl nur vier Pfähle gerammt wurden und die Gesamttrammzeit nur knapp zehn Stunden betrug. Der Parameter PP10M/day zeigt eine signifikante Abnahme der gemessenen Schweinswalaktivität bis in eine Entfernung von 18 km.

Da dieser Faktor nur eine grobe Abschätzung auf der Basis von Tageswerten macht und dadurch nicht einzelnen Rammereignissen zugeordnet werden kann, so dass kaum Aussagen über die Dauer des Effektes möglich sind, wurde in einem nächsten Schritt der Parameter PPM/hour untersucht. Dieser Parameter kann zeitlich direkt mit den einzelnen Rammereignissen verknüpft werden.

Auch mit diesem Parameter konnte ein hoch signifikant negativer Effekt der Rammarbeiten auf die Anzahl aufgezeichneter Schweinswale nachgewiesen werden. Der Effekt zeigt einen deutlichen Gradienten im Vergleich der unterschiedlichen Abstandsklassen zum Eingriffsort. Um auszuschließen, dass der beobachtete Effekt durch andere Faktoren, wie z. B. 24-Stunden-Rhythmen oder Position des jeweiligen PODs (codiert als „Distanz zur Baustelle“) verursacht oder überlagert wird und nicht durch das Rammereignis selbst, wurde ein GAM berechnet, welches diese Faktoren integriert. Es zeigt sich deutlich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der zeitlichen Dauer nach Ende des Rammereignisses und der Anzahl aufgezeichneter PPM/hour. Die Werte deuten an, dass ein Effekt der Rammarbeiten auch in größeren Entfernungen über einen Zeitraum von über 2 Tagen nachweisbar ist. Dass der Einfluss der Rammarbeiten einem Gradienten mit Entfernung von der Schallquelle folgt, lässt sich gut an der abnehmenden Aussagekraft der jeweiligen Modelle mit zunehmender Distanz erkennen. Einschränkend für die Aussagekraft der Ergebnisse gilt jedoch noch, dass die Stichprobengröße gering ist. So gibt es nur drei Rammereignisse, die eine Pause von mehr als 18 Stunden nach sich ziehen und nur zwei Rammereignisse mit einer Ruhephase von mehr als 44 Stunden. Ab der 52. Stunde nach Ende einer Rammung liegen nur noch Daten der letzten Rammung vor.

Eine weitere und eher konservative Möglichkeit, einen Effekt des Rammereignisses auf Schweinswalaktivität nachzuweisen ist die Analyse des Parameters „Wartezeit“ zwischen zwei Schweinswal-Ereignissen. Auch diese Analyse zeigte einen klaren und signifikant positiven Effekt des Rammens auf die Schweinswalaktivität, da die Länge der Wartezeit nach dem Rammereignis signifikant anstieg. In der Entfernungsklasse 1 (bis 2 km zum Umspannwerk) erhöhte sich die erste Wartezeit direkt nach dem Ende der Rammarbeiten um das 42fache auf 25 Stunden. Während der Basisaufnahme betrug dieser Wert nur etwa eine halbe Stunde. Dieser Effekt schwächte sich in den darauf folgenden Wartezeiten sehr deutlich ab. Wir entschieden, die erste Wartezeit, die sich nicht mehr signifikant von der Datenbasis unterscheiden lässt, als Ende des Effektes anzunehmen. Auch hier zeigt sich deutlich ein Gradient mit zunehmender Entfernung zur Schallquelle. Zwischen 16 und 18 km dauert der Effekt mit 5,6 Stunden ca. nur ein Viertel so lange wie in der ersten Distanzklasse bis 2 km, wo er ca. 44 Stunden betrug. Der deutliche Unterschied in der Länge des Effektes, der durch die Analyse der Wartezeiten gezeigt wird im Vergleich zu dem Parameter PPM/hour liegt sehr wahrscheinlich in der geringen Stichprobengröße (nur fünf voneinander trennbare Rammereignisse). Hierbei ergibt sich das Problem, dass bei späteren Wartezeiten immer weniger Stichproben vorliegen, was die Nachweiskraft eines statistischen Tests stark reduziert. Bei vergleichbaren Studien in Horns Rev (Brandt et al. 2009, Carstensen et al. 2006) wurden bis zu 92 Piles in den Seeboden gerammt. Ob die Dauer bis die Schweinswalaktivität wieder Werte der Basisaufnahme erreicht, eher in dem Bereich der durch die Analyse der Wartezeiten ermittelten Werte oder der durch die Analyse der PPM/hour ermittelten wesentlich höheren Werte liegt, ist aufgrund der geringen Datenlage gegenwärtig nicht zu klären, da Werte bei der Analyse der Wartezeiten unterschätzt als auch bei der Analyse der PPM/hour überschätzt worden sein können.

Über die Darstellung der Wartezeiten über die Zeit vor, während und nach den Rammarbeiten kann deutlich gemacht werden, dass im Nahbereich der Baustelle bereits vor der ersten Rammung die Wartezeiten angestiegen sind und damit die Schweinswalaktivität abgenommen hat. Dies wurde sehr wahrscheinlich durch ein schon vorher stattgefundenes Einrütteln der Pfähle, erhöhten Schiffsverkehr sowie den Test des Sealscarer s hervorgerufen.

Die im Rahmen dieser Untersuchung festgestellten Effekte der Rammarbeiten weisen tendenziell auf stärkere negative Auswirkungen auf die Präsenz der Tiere hin, als sie während der beiden im Horns Rev-Gebiet durchgeführten Studien beobachtet wurden (Brandt et al. 2009, Carstensen et al. 2006, Tougaard et al. 2006a). Beim Bau des Windparks Horns Rev 1 konnte im Nahbereich der Baustelle eine Verdreifachung der ersten Wartezeiten nach Ende der Rammarbeiten auf 8 Stunden festgestellt werden (Tougaard et al. 2006a). In Horns Rev 2, einem Seegebiet in dem vergleichbar hohe relative Schweinswaldichten festgestellt wurden, wurde ein 16fach höherer Wert von 16,6 Stunden (Median) nachgewiesen (Brandt et al. 2009). Mit einem Median von 32 Stunden und einem 30fach höheren Wert liegt diese Untersuchung darüber. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass dieser Untersuchung eine deutlich geringere Stichprobengröße zugrunde liegt. Die maximale erste Wartezeit liegt mit 66,2 Stunden in dieser Studie noch

unter der mit 74,2 Stunden bei Horns Rev 2 festgestellten maximalen ersten Wartezeit. Allerdings liegt die minimale erste Wartezeit in dieser Studie mit 13,6 Stunden deutlich über der minimalen ersten Wartezeit von nur 2,1 Stunden in Horns Rev 2. Die Untersuchung mehrerer Rammereignisse ist notwendig, um die Wartezeiten zufrieden stellend einordnen zu können, da die Ergebnisse von nur vier Rammereignissen für Zufallsschwankungen sehr anfällig sind. Der in einer Distanz von 14 bis 18 km nachweisbare negative Effekt der Rammarbeiten unterscheidet sich in dieser Studie deutlich von Ergebnissen bei Horns Rev. Während Tougaard et al. (2006a) bis in eine Entfernung von 15 km einen Effekt nachweisen konnten, der sich in seiner Stärke (gemessen an der ersten Wartezeit) nicht von dem im Nahbereich der Baustelle unterschied, konnten Brandt et al. (2009) einen deutlichen Unterschied in der Länge der ersten Wartezeit zwischen den Geräten bis 6 km Entfernung zur Schallquelle und den weiter entfernten Geräten feststellen. Dieser deutlich erkennbare Gradient wurde jedoch wahrscheinlich von dem dazwischen liegenden Riff verursacht oder zumindest verstärkt, da im flachen Wasser ein größerer Teil der Schallenergie absorbiert wird (Brandt et al. 2009).

Die Daten von Horns Rev 2 zeigten einen deutlich über die Zeit der Rammung hinausgehenden Vertreibungseffekt (16 – 23 h) bei Schallpegeln oberhalb von 160 dB<sub>SEL</sub>. Die untere Grenze dieses Effekts ließ sich nicht genau absichern, u.a. da durch die Lage des Riffs eine Dämpfung der Schallausbreitung erfolgte. Die Werte können aufgrund der heterogenen Struktur des Seegebietes Horns Rev nicht auf größere Entfernungen extrapoliert werden, da die Schallausbreitung bei wechselnden Wassertiefen um das Riff nicht zufriedenstellend mit herkömmlichen Modellen beschrieben werden kann. Die Daten lassen insgesamt darauf schließen, dass eine über die Rammdauer hinausgehende Störwirkung bei Schallpegeln von mehr als 150 dB<sub>SEL</sub> einsetzt. Eine Reaktion von Schweinswalen wurde aber auch in größeren Entfernungen bis über 20 km festgestellt bei Schallpegeln, die vermutlich zwischen 145 und 150 dB<sub>SEL</sub> lagen. Die Reaktionszeit war hier jedoch auf die Dauer der Rammung beschränkt, so dass nur von einer kurzzeitigen Störung auszugehen war.

In dieser Studie liegen keine Riffstrukturen oder sonstige schalldämpfenden Strukturen zwischen der Schallquelle und den jeweiligen PODs. Zudem liegen die Geräte und auch die Schallquelle mit einer Wassertiefe zwischen 25 und 35 m wesentlich tiefer als in den Untersuchungen bei Horns Rev.

Über die Stärke der zu erwartenden Schallemissionen beim Bau des Windparks „alpha ventus“ wurde vom Institut für Technische und Angewandte Physik (ITAP) eine Prognose berechnet (Betke & Schultz von Glahn 2008). Danach wird ein Quellpegel von 234 dB re 1 µPa @ 1 m, bzw. ein Mittelungspegel (SEL) von 211 dB re 1 µPa @ 1 m erwartet (Abb.17). In einer Review von Southall et al. (2007) über die Auswirkungen von Unterwasserschall auf marine Säugetiere werden zwei Schädigungskriterien eingeführt. Eine reversible Schädigung liegt bei einem TTS (Temporary Threshold Shift) vor, das eine vorübergehende Verschiebung der Hörempfindlichkeit beschreibt. Davon getrennt wird der PTS Wert (Permanent Threshold Shift), der eine permanente Verschiebung der Hörempfindlichkeit und damit eine physische Schädigung der Hörorgane angibt. Die Autoren geben einen Grenzwert (SEL) für Kleinwale mit bester Hörempfindlichkeit im hochfrequenten Bereich von 183 dB re 1 µPa für TTS und 198 dB re 1 µPa für PTS an. Beide Werte werden nach Berechnungen

von Betke & Schultz von Glahn (2008) nur im Nahbereich (< 100 m) um die Schallquelle erreicht.

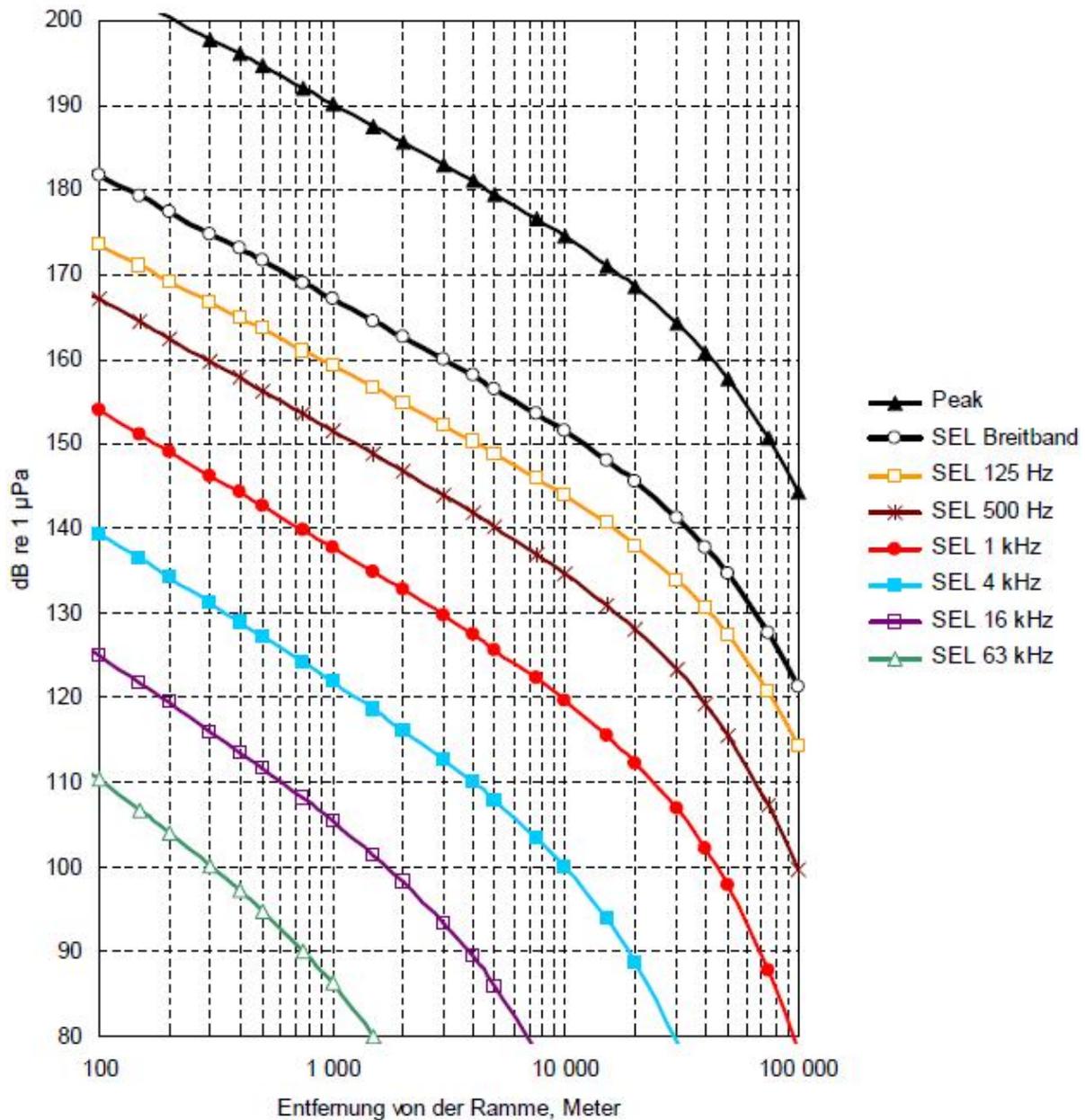


Abb. 17: Prognostizierte Spitzenpegel („Peak“) und Einzelereignispegel SEL (breitbandig und für ausgewählte 1/3-Oktav-Bänder) als Funktion der Entfernung. Aus: Betke & Schultz von Glahn (2008).

Das Umweltbundesamt (UBA) hat als Vorsorgewert einen Einzelereignispegel von 160 dB re 1 µPa empfohlen, der in 750 m zur Schallquelle nicht überschritten werden soll, um eine mögliche Verletzung oder gar Tötung der Tiere auszuschließen und Störungen zu minimieren.

Die Schallprognose zu „alpha ventus“ kommt zu dem Ergebnis, dass dieser Wert erst in einer Entfernung von ca. 3 km erreicht wird (2 bis 4,5 km, Betke & Schultz von Glahn 2008). Den Literaturangaben folgend kann davon ausgegangen werden, dass der Rammschall für Schweinswale über große Entfernungen wahrnehmbar ist. Die deutlich negative Reaktion der Tiere in den beiden ersten Entfernungsklassen bis 4 km Entfernung zur Schallquelle bestätigt dies und lässt zudem den Schluss zu, dass es sich um eine Störung der Tiere handelt, da sie das Gebiet für längere Zeit verlassen. Nach der Schallprognose wird ein Schallpegel (SEL) von 145 dB in etwa 20 km unterschritten. In dieser Entfernung wurden noch Reaktionen von Schweinswalen gemessen, was in guter Übereinstimmung mit den Feststellungen von Horns Rev 2 ist. Eine genauere Abgrenzung des Reaktionsbereichs in Bezug zu definierten Schallpegeln erlauben jedoch beide Untersuchungen nicht, da keine begleitenden Schallmessungen in diesen Entfernungen erfolgten. Dies wird eine wichtige Aufgabe für künftige Begleituntersuchungen bei „alpha ventus“.

In Abb. 18 ist die aufgrund der Schallprognose für „alpha ventus“ vorhergesagte Schallausbreitung für den breitbandigen Einzelereignispegel (SEL) in zwei verschiedenen Entfernungen (5 und 20 km) zur Schallquelle aufgetragen und in Verhältnis gesetzt worden mit den bisher veröffentlichten Audiogrammen von Schweinswalen. Es zeigt sich, dass in einer Entfernung von 5 km die Lautstärke bis zu 50 dB über dem Hörvermögen der Tiere liegt und somit als sehr laut von den Tieren wahrgenommen werden kann. Auch in einer Entfernung von 20 km kann der Schalldruckpegel noch bis zu 20 dB über dem Hörvermögen liegen (legt man die Verhaltens-Audiogramme nach Kastelein et al. (2002) und Andersen (1970) zugrunde).

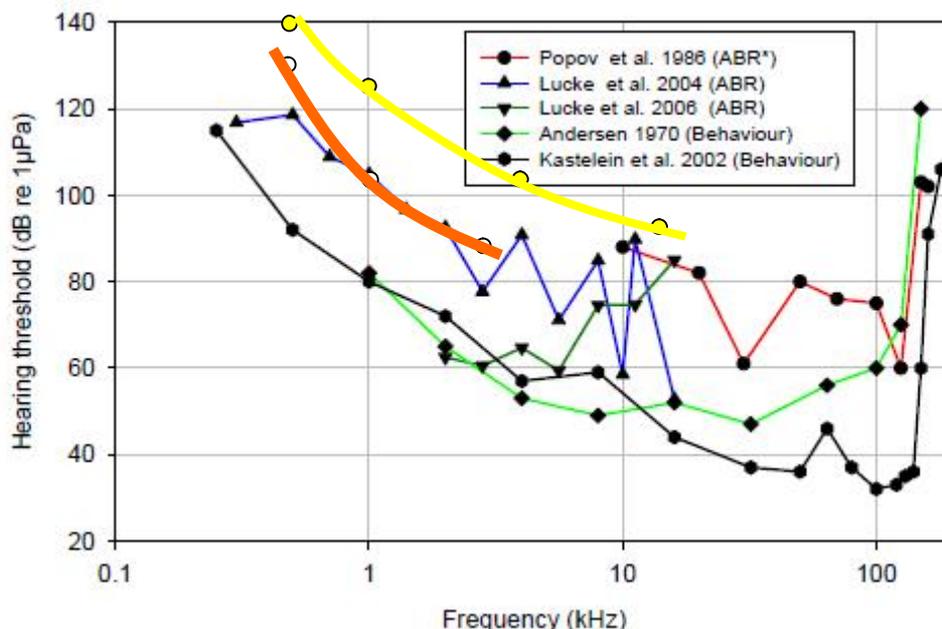


Abb. 18: Audiogramme von Schweinswalen (ABR = Ableitungen von Hirnströmen, Behaviour = Audiogramm über Verhaltensreaktionen, \* = über implantierte Elektroden). Aus Thomsen et al. 2006. Zusätzlich ist der prognostizierte breitbandige Schallpegel (SEL) für Rammarbeiten bei „alpha ventus“ in einer Entfernung von 5 km (gelb) und 20 km (rot) angegeben.

Da es sich bei den Ergebnissen der T-PODs um Aufzeichnungen der Echoortungslaute von Schweinswalen handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die geringeren Aufzeichnungen im Zusammenhang mit den Rammereignissen auch durch Änderungen im Verhalten der Tiere verursacht sein kann und die Schweinswale nicht das Gebiet verlassen sondern keine Echoortung einsetzen. Wir halten dies jedoch für sehr unwahrscheinlich. Es wurde gezeigt, dass die Parameter PP10M und PPM deutlich mit absoluten Dichten korrelieren, (Diederichs et al. 2004, Tougaard et al. 2006c, Verfuß et al. 2007, Siebert & Rye 2008). Da Echoortung im Bereich der Nordsee mit eingeschränkten Sichtbedingungen wichtige Voraussetzung sowohl zur Orientierung als auch zur Nahrungssuche ist, halten wir es für sehr unwahrscheinlich, dass die Tiere über den langen Zeitraum von bis zu 32 Stunden (1. Wartezeit im Nahbereich der Baustelle) die Echoortung nicht einsetzen. Untersuchungen von Akamatsu et al. (2007) konnten mit Hilfe von an den Tieren angebrachten A-Tags zeigen, dass Schweinswale ihr Biosonar nahezu kontinuierlich einsetzen.

Neben der geringeren Schallabsorption im Seegebiet um „alpha ventus“ im Vergleich zu Horns Rev kann die stärkere Reaktion der Tiere auf die Rammarbeiten auch auf unterschiedliche Funktionen der Gebiete zurückgeführt werden. Skov & Thomsen (2009) konnten für das Gebiet um das Riff „Horns Rev“ ein „Upwelling-System“ nachweisen, dass tidengesteuert sehr gut mit den Schweinswalendichten korreliert. Das Seegebiet scheint hier eine wichtige Funktion als Nahrungsgebiet zu haben, so dass die Tiere stärker wieder in das zuvor geräumte Gebiet zurückdrängen. Zudem konnten großflächige Flugzeugerfassungen zeigen, dass das Seegebiet Horns Rev Teil eines sehr großen zusammenhängenden Seegebiets westlich der Jütländischen Halbinsel ist, in dem die Dichten v. a. in den Sommermonaten sehr hoch sind (Gilles et al. 2006, 2007, Grünkorn et al. 2004, Tougaard et al. 2006b). In einem solchen Gebiet mag ein ständiger und hoher Austausch von Tieren stattfinden, so dass eine „Wiederbesiedlung“, vor allem mit Tieren, die dem Schallereignis nicht ausgesetzt waren, wesentlich schneller voranschreitet als in einem Gebiet, in dem ein geringer Austausch von Tieren besteht. Gilles et al. (2006, 2007) und aktuell auch Laszny et al. (2009) im Rahmen dieser Studie konnten für das Seegebiet um „alpha ventus“ zeigen, dass es sich v. a. im Bereich des Borkum Riffgrundes um einen lokal begrenzten Bereich mit wesentlich höheren Dichten handelt im Vergleich zur umgebenden Nordsee.

Die Betrachtung der Schweinswalereignisse während der Vergrämungs- und Rammphasen zeigt, dass die Vergrämungsmaßnahmen eine wirkungsvolle Vertreibung der Tiere aus dem Nahbereich der Baustelle bewirken. Es konnte kein Tier während der Rammarbeiten näher als 15 km zur Schallquelle registriert werden, obwohl während der Vergrämungsmaßnahmen auch noch < 2 km ein Schweinswal registriert wurde. Die Datenmenge mit nur insgesamt sechs voneinander trennbaren Rammereignissen ist zu gering, um darüber belastbare statistische Aussagen treffen zu können. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass sich wahrscheinlich kein Schweinswal im Gefährdungsbereich um die Schallquelle aufhielt.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Stiftung Offshore-Windenergie beauftragte BioConsult SH im Rahmen der Errichtung des Windparks „alpha ventus“ mit T-POD Untersuchungen zum Schutzgut Schweinswale. Die Untersuchungen beinhalten die Datenerhebung mittels T-PODs an 12 verschiedenen Stationen gemäß den Vorgaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie. In diesem Bericht werden die Reaktionen von Schweinswalen auf die Rammarbeiten zur Gründung der Umspannplattform im September 2009 beschrieben.

Zwischen dem 15. März und dem 30. Oktober 2008 wurden an diesen 12 T-POD Stationen insgesamt 1.809 POD-Tage aufgezeichnet, was einer Aufzeichnungsrate von 76 % relativ zur maximal möglichen Zeit darstellt. In einem Zeitraum von 7,6 Monaten wurden sieben Geräte verloren, was auch die Hauptursache für Datenverluste war. Einzige nachzuweisende Ursache für den Verlust einer Leuchttonne und des daneben liegenden T-PODs war ein Fischereifahrzeug, von dem die Leuchttonne zurückgeholt werden konnte. Zusammen mit Erkenntnissen über die Intensität der Grundscheppnetzfisherei in diesem Seegebiet kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Verluste durch Fischerei verursacht ist. Zur Verbesserung der Verankerungsmethode ist geplant, bei erneuter Ausbringung von T-PODs den gelben Fender gegen eine kleine Leuchtspiere mit Radarreflektor als Oberflächenmarkierung auszutauschen.

Die Schweinswalaktivität im Seegebiet von „alpha ventus“ zeigte einen ausgeprägten saisonalen Verlauf mit Maximalwerten im zeitigen Frühjahr (März) und im Herbst (Oktober). Ein Minimum wird in den Sommermonaten Juni und Juli erreicht. Trotz der geringen (relativen) Dichten im Sommer wurde an nahezu allen Tagen mindestens ein Schweinswal registriert. Ausgenommen von diesem Muster waren die beiden Geräte im Bereich des Natura 2000-Gebietes Borkum Riffgrund. Dort lag die Schweinswalaktivität im Mittel zwei- bis dreifach höher und wies einen wesentlich weniger ausgeprägten saisonalen Verlauf auf.

Die Rammarbeiten für das Umspannwerk im September 2008 zeigten einen klaren Effekt auf die Anwesenheit der Schweinswale: Im Nahbereich der Baustelle verließen die Tiere das Gebiet komplett für durchschnittlich 25,4 Stunden und es dauerte etwa 44 Stunden bis die durchschnittlichen Wartezeiten (die Zeit zwischen zwei Schweinswalkontakten) sich nicht mehr signifikant von denen in der Basisuntersuchung unterschieden. Legt man die Schweinswalaktivität gemessen als PPM/hour zugrunde, wird im Nahbereich eine Annäherung an die Ausgangswerte sogar erst nach über 2 Tagen erreicht. Die geringe Datenlage erlaubt jedoch noch keine genaue Eingrenzung der Reaktionszeiten. Die Ergebnisse deuten an, dass der Effekt länger andauerte als bei einer Untersuchung in Horns Rev 2, wo anhand der Wartezeiten ein etwa 23 Stunden andauernder Effekt festgestellt wurde (Brandt et al. 2009), und deutlich länger als bei einer Untersuchung bei Horns Rev 1 (Tougaard et al. 2006a), wo ein nur etwa 4 Stunden anhaltender Effekt gezeigt werden konnte. Anders als bei Horns Rev 1 konnte in dieser Studie außerdem ein deutlicher räumlicher Gradient festgestellt werden: Der Effekt nahm mit zunehmender Distanz vom Ort

der Rammung deutlich ab, war jedoch auch in der maximalen untersuchten Entfernung von 23 km für etwa 5,6 Stunden nach dem Rammereignis noch feststellbar.

Da während der Dauer der eigentlichen Rammarbeiten der nächste Schweinswal zur Baustelle in 15 km Entfernung festgestellt wurde und keine Schweinswale im Nahbereich der Baustelle registriert wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Vergrämuungsmaßnahmen von Schweinswalen durch den Pinger und den Sealscarer erfolgreich gewesen sind und somit Schädigungen von Tieren durch die Baumaßnahmen verhindert werden konnten.

## REFERENZEN

- Akamatsu, T., J.T. 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 Research II* 54: 290-297.
- Au, W.W.L., R.A. Kastelein, T. Rippe & Schooneman, N.M. 1999: Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). *J. Acoust. Soc. Am.* 106: 3699–3705.
- Betke & Schultz von Glahn 2008: Prognose des Unterwassergeräusches beim Bau und beim Betrieb des Offshore-Windparks Borkum-West („alpha ventus“) und Messung des Hintergrundgeräusches im Planungsgebiet. ITAP, Oldenburg.
- Blew, J., Diederichs, A., Grünkorn, T., Hoffman, M. and G. Nehls 2006. Investigations off he bird collision risk and the responses of harbour porpoises in the offshore wind farms, Horns Ref, North Sea and Nysted, Baltic Sea, in Denmark. Status report 2005. Supported by the German Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (FKZ 0329963 and FKZ 0329963A). BioConsult SH, Husum
- Börjesson, P., Berggren, P. & Ganning. B. 2003. Diet of harbor porpoises in the Kattegat and Skagerrak Seas: Accounting for individual variation and sample size. *Marine Mammal Science*, 19: 38-58.
- Brandt, M. & Diederichs, A & G. Nehls (2008): Fachgutachten Meeressäuger. BioConsult SH. Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie für das Sandentnahmegebiet "Westerland III" westlich von Sylt.
- Brandt, M. J., A. Diederichs & G. Nehls (2009): Harbour porpoise responses to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. Report to DONG Energy, BioConsult SH, Husum.
- BSH 2007. Standard – Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windanlagen auf die Meeresumwelt (StUK 3) BSH-Nr. 7003. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Hamburg and Rostock, Germany. p. 1-58.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R. ., Burnham, K.P., Laake, J. L., Borchers, D. L. & Thomas, L. 2001. Introduction to distance sampling – Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press
- Carstensen J, Henriksen OD & Tielmann J 2006: Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: acoustic monitoring of echo-location activity using porpoise detectors (TPODs). *Marine Ecology Press Series*, 321: 295-308.
- Camphuysen, C. J. 2004. The return of the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) in Dutch coastel waters. *Lutra*, 47, 113-122.
- Diederichs, A., Grünkorn, T. & Nehls, G. 2002. Diederichs, A., T. Grünkorn & G. Nehls. 2002. Erprobung von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswalen im Sommer und Herbst 2002 im Seegebiet westlich von Sylt. Gutachten im Auftrag der Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co.KG.
- Diederichs, A., Grünkorn, T. & Nehls, G. 2004. Einsatz von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswalen im Seegebiet westlich von Sylt. pp. 39. Husum: BioConsult SH.

- Diederichs, A., M. Brandt & G. Nehls 2008: Basisuntersuchung im Frühjahr 2008 am Offshore-Testfeld „alpha ventus“. Untersuchungen zu Schweinswalen mit T-PODs. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie.
- 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. [www.offshorewind.co.uk](http://www.offshorewind.co.uk).
- Gilles, A., Herr, H., Lehnert, K., Scheidat, M., Kaschner, K., Sundermeyer, J., Westerberg, U. & Siebert, U. 2007. MINOS Teilvorhaben 2 - "Erfassung der Dichte und Verteilungsmuster von Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) in der deutschen Nord- und Ostsee". Forschungs- und Technologiezentrum Westküste, Außenstelle der CAU Kiel.
- Gilles, A., Herr, H., Risch, D., Scheidat, M. & Siebert, U. 2006. Erfassung von Meeressäugetieren und Seevögeln in der deutschen AWZ von Nord- und Ostsee (EMSON) - Teilvorhaben: Erfassung von Meeressäugetieren. pp. 101. Büsum: FTZ.
- Goodson, A. D. & Datta. S. 1995: Investigating the sonar signals of the harbour porpoise *Phocoena phocoena*. *J. Acoust. Soc. India* 23: 205-211.
- Gruber, S., T. Grünkorn, C. Ketzenberg, A. Diederichs, B. Stahl & G. Nehls. 2003. Offshore-Windpark „Borkum-West Avifaunistische Untersuchungen Endbericht zum Untersuchungszeitraum 2002-2003. Gutachten im Auftrag von Prokon Nord Energiesysteme.
- Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. (2001). *The Elements of Statistical Learning*. Springer New York.
- Kammaing, C. & Wiersma, H. 1981: Investigations of cetacean sonar II: Acoustical similarities and differences in odontocete sonar signals. *Aquatic Mammals* 8: 41-62.
- Koschinski, S. & B. M. Culik. 2001. Reaktionen von Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) und Seehunden (*Phoca vitulina*) auf Betriebsgeräusche einer simulierten 2 MW Offshore- Windenergieanlage. Unveröffentlichtes Gutachten.
- Koschinski, S., Culik, B.M., Henriksen, O.D., Tregenza, N., Ellis, G., Jansen, C. & Kathe, G. 2003: Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seals to the noise of a simulated 2 MW windpower generator. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 265: 263-273.
- Laczny, M., V. Brock, W. Piper, G. Nehls, A. Diederichs, T. Grünkorn (2008): Fachgutachten Meeressäuger. Untersuchungsgebiet: „alpha ventus“. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie. Betrachtungszeitraum: Februar bis Juni 2008.
- Laczny, M., W. Piper, M. Gauger, G. Nehls, A. Diederichs, T. Grünkorn (2009): Fachgutachten Meeressäuger. Untersuchungsgebiet: „alpha ventus“. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie. Betrachtungszeitraum: Juli bis Oktober 2008.

- Nehls, G., K. Betke, S. Eckelmann & M. Ros (2007): Assessment and costs of potential engineering solutions for the mitigation of the impacts of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms. Husum.
- Nehls, G., Betke, Koschinski, S. & Lüdemann, K. (2008): Sources of underwater noise and their implications on marine wildlife - with special emphasis on the North Sea and the Baltic Sea. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Santos, M. B. & Pierce, G. J. 2003. The diet of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the northeast Atlantic. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 41, 355-390.
- Santos, M. B., Pierce, G. J. & Learmonth, J. A. 2004. Variability in the diet of harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) in Scottish waters. 1992–2003. *Mar. Mammal Sc.*, 20, Seite 1-27.
- Siebert, U. & J. Rye 2008. Excursus 2: Correlation between aerial surveys and acoustic monitoring. In: Wollny-Goerke, K. & K. Eskildsen 2008 (Eds.): *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Teubner Verlag Wiesbaden.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., Tyack, P.L. 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. pp. 219. Odense: University of southern Denmark.
- Teilmann, J. O. Damsgaard Henriksen & J. Carstensen. 2001. Status report of the pilot project: Porpoise detectors (PODs) as a tool to study potential effects of offshore windfarm on harbour porpoise at Rødsand. Report for SEAS. 39 pp.
- Teilmann, J., Sveegaard, S., Dietz, R., Petersen, I.K., Berggren, P. and G. Desportes (2008). High density areas for harbour porpoises in Danish waters, NERI Technical Report No. 657, 2008. National Environmental Research Institute. University of Aarhus. Denmark. Available online: <http://www2.dmu.dk/Pub/FR657.pdf>
- 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.
- Thomsen, F., Van Elk, N., Brock, V. and W. Piper (2005). On the performance of automated porpoise-click-detectors in experiments with captive harbour porpoises (*Phocoena phocoena* (L)). *J. Acoust. Soc. Am.* 118 (1). p. 37-40.
- Tougaard, J., Carstensen, J., Wisz, M. S., Jespersen, M., Teilmann, J., Bech, N. I. & Skov, H. 2006a. Harbour Porpoises on Horns Reef-Effects of the Horns Reef Wind Farm. pp. 110. Roskilde, DK: National Environmental Research Institute DHI Water and Environment, Hørsholm.
- Tougaard, J., J. Carstensen, N. Ilsted Bech, and J. Teilmann. (2006b). Final report on the effect of Nysted Offshore Wind Farm on harbour porpoises. Technical report to Energi E2 A/S. Ministry of the Environment. Roskilde, Denmark. 65 pp.
- Tougaard, J., Rosager Poulsen, L., Amundin, M., Larsen, F., Rye, J., and Teilmann, J. (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.
- Verfuß, U.K., Dähne, M., Meding, A., Honnef, C.G., Jabbusch, M., Adler, S., Mundry, R., Hansen Rye, J., Charwat, H. And H. Benke (2007c) Teilprojekt 3 Untersuchungen zur Raumnutzung durch Schweinswale in der Nord- und Ostsee mit Hilfe akustischer Methoden (PODs) (FKZ 0329946C). In: Final Report of the Minos-plus projekt Weiterführende Arbeiten an Seevögeln und Meeressäugern zur Bewertung von Offshore-Windkraftanlagen (MINOSplus). Stralsund, Germany. p. 1-87.
- Wood, S.N. (2006). Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC, London.
- Wood, S.N. (2004) Stable and efficient multiple smoothing parameter estimation for generalized additive models. *Journal of the American Statistical Association*. 99:673-686.