

# **Basisuntersuchung im Frühjahr 2008 am Offshore-Testfeld „alpha ventus“**

Untersuchungen zu Schweinswalen mit T-PODs

Ansgar Diederichs  
Dr. Miriam J. Brandt  
Dr. Georg Nehls

Husum, Juli 2008

im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie

---

# Inhalt

1. Einleitung .....	2
2. Methoden .....	3
2.1. Untersuchungsgebiet .....	3
2.2. T-POD-Daten .....	4
2.2.1 Allgemeiner Ansatz .....	4
2.2.2 Technische Beschreibung eines PODs .....	5
2.3. Ausbringung der T-PODs .....	7
2.4. Datenanalyse durch TPOD.exe .....	8
2.5. Kalibrierung .....	9
2.6. Auswertungsparameter .....	10
3. Ergebnisse .....	12
3.1. Aufzeichnungsdauer der ausgebrachten T-PODs .....	12
3.2. T-POD Daten .....	13
3.3. Saisonalität .....	14
3.4. Unterschiede zwischen den Teilgebieten .....	18
3.5. 24-Stunden Rhythmus .....	18
4. Diskussion .....	19
5. Zusammenfassung .....	23
6. Referenzen .....	24

# 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. Die Bauarbeiten für den Bau von sechs Anlagen sollen im August 2008 beginnen. Ziel dieses Vorhabens ist neben der technischen Erprobung neuer Windenergieanlagen auch die Untersuchung ökologischer Auswirkungen der Offshore-Windenergienutzung.

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 nach Anhang II spezielle Schutzgebiete für diese Art auszuweisen. Absatz 12 besagt weiterhin, dass das absichtliche Töten der in Artikel IV geführten Arten untersagt ist. Durch die Errichtung und durch den Betrieb des Windparks entsteht eine Geräusentwicklung, die sich negativ auf die im Gebiet lebenden Schweinswale auswirken könnte. Während der Bauphase könnte es durch die sehr lauten Rammarbeiten zu irreversiblen Schädigungen der Hörorgane von Schweinswalen kommen. Während des Betriebes kann die Geräusentwicklung durch die 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 und auf solider Basis zu bewerten, ist eine umfassende Datenerhebung vor Beginn der 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. 2008). 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 zum geplanten Windpark alpha ventus hat die Stiftung Offshore-Windenergie BioConsult SH mit Untersuchungen zu Schweinswalen mit T-PODs beauftragt. Die Untersuchung dient der Basisaufnahme von T-POD Daten im Frühjahr 2008 am Offshore-Testfeld „alpha ventus“.

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 Windkraftanlagen getroffen werden können. Weitere Untersuchungen zum Vorkommen von Schweinswalen mit Hilfe von Linientransekterfassung wurden in einem separaten Bericht dargestellt, und die Daten der T-PODs werden mit den Ergebnissen dieser

Transekterfassungen verglichen. Hier stellen wir die Ergebnisse aus der Basisaufnahme mit Unterwasserhydrophonen von Mitte März bis Ende Juli 2008 dar.

## 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. In 2008 werden zunächst sechs Windkraftanlagen im südlichen Teil dieser Fläche gebaut. In diesem (Bau)gebiet wurden vier T-PODs ausgebracht (T2, T3, T4 und T5). Weitere acht T-PODs waren in unterschiedlichen Abständen zu diesem Planungsgebiet verteilt, so dass sich insgesamt zwölf T-PODs im Untersuchungsgebiet befanden (Abb. 1). Die Positionen T8, T9, T10 und T11 wurden nach Absprache mit dem BSH von den ursprünglich geplanten Positionen um maximal 5 km verschoben, so dass sie jetzt in direkter Nähe (ca. 150 m) zu bestehenden Fahrwassertonnen ausgebracht sind. Diese Vorgehensweise schützt die Geräte vor möglichen Verlusten durch Fischereifahrzeuge.

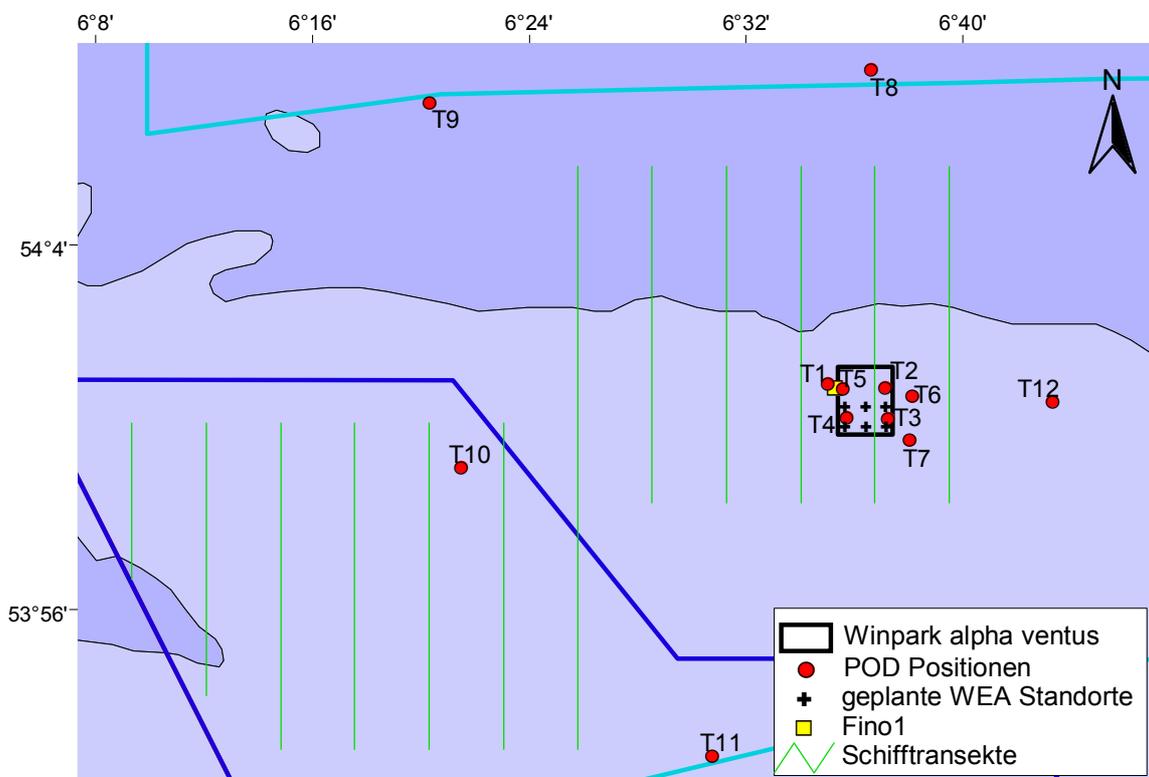


Abb. 1: Untersuchungsgebiet, Lage des Windparkplanungsgebietes, der Schiffstransekte und Positionen der ausgebrachten T-PODs.

Die T-PODs können in vier verschiedene Entfernungs- bzw. Gebietsklassen eingeteilt werden: Die vier Positionen T2, T3, T4 und T5 im Windparkgebiet, bzw. mit einem maximalen Abstand von etwa 750 m zum nächsten Fundament werden im Folgenden mit „Eingriffsgebiet“, bzw. Gebiet 1 bezeichnet. Die Positionen T1, T6, T7 liegen etwa 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. T8 und T9 an der südlichen Grenze des nördlichen Verkehrstrennungsgebietes werden als „Referenz Nord“, bzw. Gebiet 3 zusammengefasst und die beiden Positionen T10 und T11 innerhalb des FFH-Gebietes „Borkum Riffgrund“ werden „Borkum Riff“, bzw. Gebiet 4 genannt. Die genauen Positionen und die verschiedenen Entfernungen der einzelnen Positionen zur nächsten geplanten Windenergieanlage ist in Tab. 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Position (WGS84) der jeweiligen POD-Positionen und ihr Abstand zur nächstgelegenen Windenergieanlage.

Station	LAT	LONG	WEA Nr.	Distanz [m]
T1	54° 0.854	6°34.985	7	1160
T2	54° 0.849	6°37.169	9	767
T3	54° 0.200	6°37.234	12	316
T4	54° 0.200	6°35.679	10	336
T5	54° 0.866	6°35.534	7	755
T6	54° 0.658	6°38.141	9	1153
T7	53°59.704	6°38.012	12	1076
T8	54° 7.730	6°37.380	8	13652
T9	54° 7.480	6°20.900	7	20766
T10	53°59.280	6°21.406	10	15583
T11	53°52.800	6°30.720	11	14471
T12	54° 0.590	6°43.200	9	6700

## 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° 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 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 Schweinswalldichte 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 erstmalig einen Zusammenhang zwischen absoluter Dichte und T-POD-Daten. Für eine Validierung dieser Ergebnisse liegen derzeit noch zu wenig Daten vor. Auch Diederichs et al. (2002) und Siebert et al. (2007) konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen 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. 2) 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. 2).

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. 3):

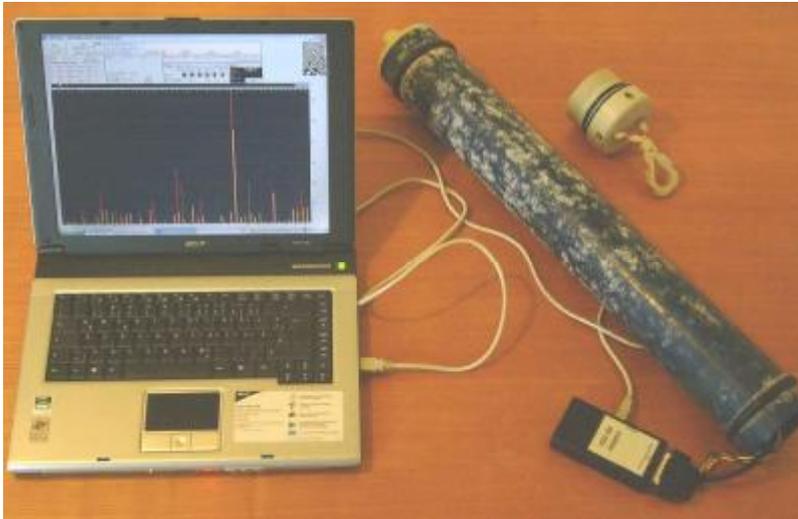


Abb. 2: T-POD der Version 4 mit angeschlossenem Notebook.

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. 3: 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 Schweinswalkklicks 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 (Blew et al. 2005, 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 markiert, welcher das System an der Wasseroberfläche markiert (Abb. 4). 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 Seilschleufe eingehakt.

Um einen Verlust durch die Fischerei möglichst auszuschließen, versenkten wir dieses POD-Ankersystem in direkter Nähe zu bestehenden Warntonnen im Umfeld des Planungsgebietes (zumeist Fahrwassertonnen). In Fällen, wo solche Warntonnen nicht vorhanden waren, brachten wir zusätzlich ca. 3 m über die Wasseroberfläche ragende gelbe Leuchtspieren

aus. Das POD-Ankersystem wurde in einer Entfernung von ca. 100 m zu den Tonnen ausgebracht. Jede POD-Position verfügt daher über zwei Oberflächenmarkierungen (Abb. 5).

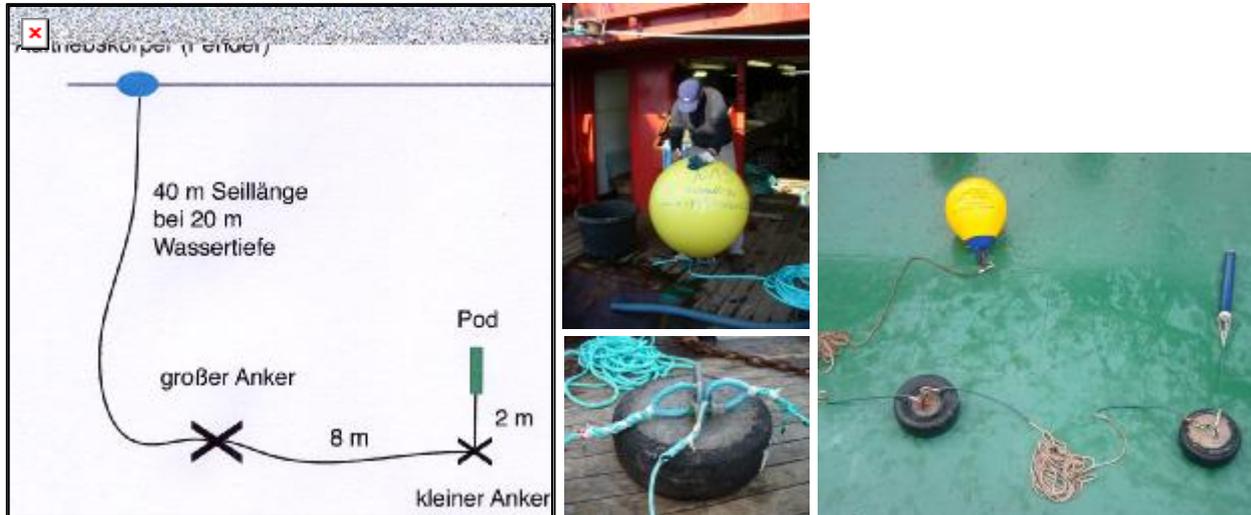


Abb. 4: Schematische Zeichnung des POD-Verankerungssystems und Fotos vom Fender, von den Betonankern und vom gesamten System.



Abb. 5: Schematische Zeichnung der Leuchtspiere mit POD-Verankerungssystem und Fotos des Bojenankers und der Spiere auf See.

## 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 dem selben 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 schließen wir aus, 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 Fehler, der durch den Algorithmus übersehenen echten Schweinswalklickserien, 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, Blew et al. 2008) 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 Schweinswaldichte 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. Auch dieser Parameter dient als Maß für relative Schweinswaldichte mit einer zeitlich höheren Auflösung. Dieser Parameter wurde zur statistischen Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den jeweiligen Teilgebieten herangezogen. Dazu wendeten wir Generalised Linear Mixed-Effects Models (LMER) an, in dem wir den Faktor „Monat“ (als Maß für Saisonalität) als Zufallsfaktor setzten, um seinen Einfluss auf die Verteilung auszuschließen. Der Faktor „Gebiet“ wurde in einem ersten Modell als fixed effect festgesetzt und in einem zweiten Modell durch den Faktor 1 ersetzt. Beide Modelle verglichen wir mit Hilfe einer ANOVA. Bei einem p-Wert  $< 0,01$  gehen wir von einem signifikanten Unterschied zwischen den jeweils getesteten Positionen aus. Bei dem Vergleich mehrerer Positionen wurde der p-Wert korrigiert nach Bonferroni. Alle statistischen Analysen wurden mit der Software R, Version 2.51 durchgeführt.

„*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.

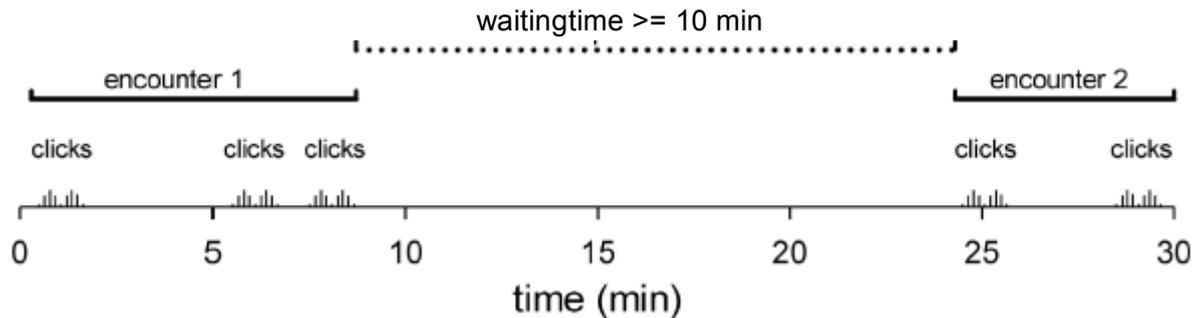


Abb. 6: Schweinswalereignis (encounter) und Wartezeit (waitingtime) als Parameter für Schweinswalaktivität.

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. Die vier Parameter PPH/Tag, PP10M/Tag, Ereignisdauer und Wartezeit sind positiv miteinander korreliert. Wir stellen anhand der vier Teilgebiete mit allen Parametern die saisonale Entwicklung graphisch dar.

24-Stunden-Rhythmus:

Ein Tagesrhythmus wurde mit Hilfe des Parameters „Schweinswalpositive Minute pro Stunde“ (PPM/hour) berechnet. Da in diesem Fall Daten jeweils eines Gerätes miteinander verglichen werden, kann hier auf den hochauflösendsten Parameter PPM zurückgegriffen werden, ohne dass eine Gefahr der Verzerrung durch unterschiedlich sensitive Geräte besteht. Ein 24-Stunden Zyklus berechneten wir im Weiteren 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 (x1 bis xn) (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 2.51, Development Core Team, 2007) und dem Packet mgcv (Wood, 2004). Es wurden nur Daten von Tagen mit 24stündiger Aufzeichnungszeit mit 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 „Stunde eines Tages“ (entsprechen 0-23Uhr) samt 95%igen Vertrauensbereich (CI) vom Mittelwert des PPM/hour über den gesamten 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.

Entsprechend wurde ein 24-Stunden-Rhythmus für die vier Teilgebiete getrennt dargestellt.

### 3. ERGEBNISSE

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

Zwischen dem 16. März und dem 24. Juli 2008 konnten insgesamt 998 Tage mit POD-Daten an den 12 verschiedenen Stationen aufgezeichnet werden (entspricht 65 % der insgesamt möglichen Zeit, Abb. 7, Tab. 2). Es konnten an allen Stationen während der Basisuntersuchung Daten erhoben werden. Allerdings führten T-POD-Verluste wie auch Geräte-Defekte zu teilweise größeren Erfassungslücken. An den fünf Stationen T2, T6, T9, T11 und T12 konnten mit 90 % oder mehr der gesamten Zeitperiode nahezu kontinuierliche Datensätze erzielt werden. An vier Positionen (T3, T4, T7 und T8) lag die Erfassungsrate unter der Hälfte der maximal möglichen Aufzeichnungszeit. Es fällt auf, dass insbesondere im Planungsgebiet des Windparks alpha ventus die Verlustrate mit vier PODs (von sieben insgesamt) sehr hoch war. 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.

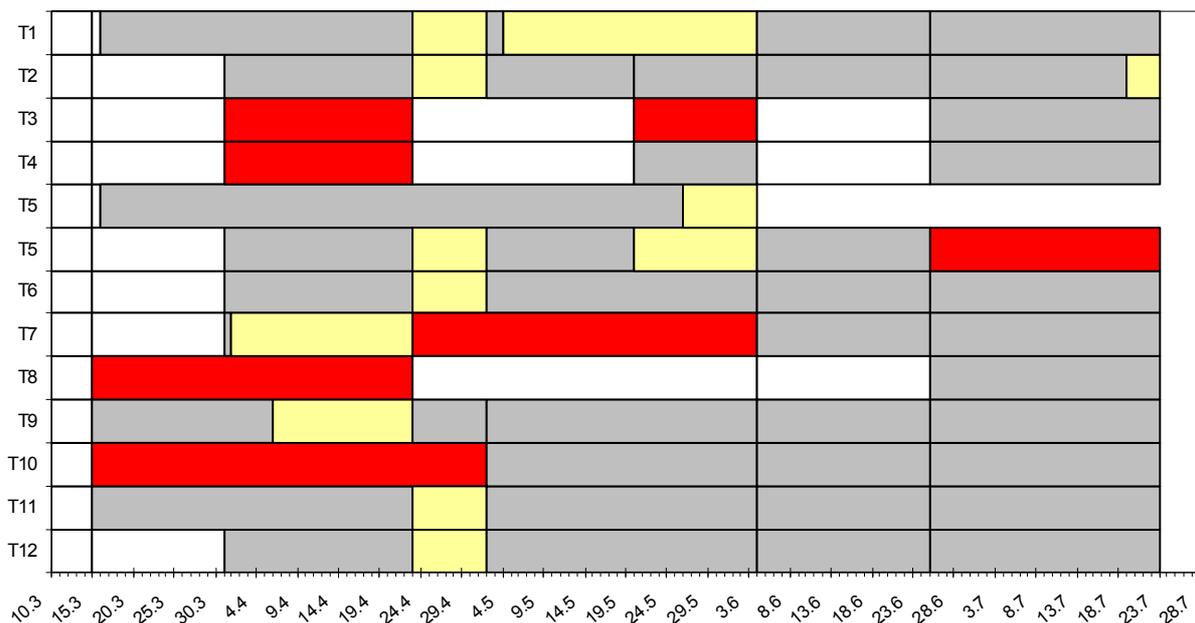


Abb. 7: Datenaufzeichnung ausgebrachter T-PODs zwischen dem 10.03. und dem 24.07.2008. Graue Balken: Auswertbare T-POD-Daten, gelbe Balken: Station besetzt, aber keine auswertbaren Daten, weiße Balken: Station unbesetzt, rote Balken: T-POD Verlust. Station T5 für 43 Tage doppelt besetzt.

Tab. 2: 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
T1	16.03.2008	129	89	69%	
T2	31.03.2008	114	101	89%	
T3	31.03.2008	114	28	25%	2
T4	31.03.2008	114	43	38%	1
T5	16.03.2008	194*)	133	69%	1
T6	31.03.2008	114	105	92%	
T7	31.03.2008	114	50	44%	1
T8	15.03.2008	130	28	22%	1
T9	15.03.2008	130	113	87%	
T10	15.03.2008	130	82	63%	1
T11	15.03.2008	130	121	93%	
T12	31.03.2008	114	105	92%	
<b>Summe</b>		<b>1527</b>	<b>998</b>	<b>MW: 65%</b>	<b>7</b>

\*) Station T5 war über 43 Tage mit zwei PODs besetzt.

### 3.2. T-POD Daten

Von insgesamt 998 Tagen konnten bis auf vier Tage, an denen keine Registrierung stattfand, von allen T-PODs täglich mindestens ein Schweinswal registriert werden. Tab. 3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Auswerte-Parameter von T-POD-Daten für jede einzelne Station. Hinsichtlich der insgesamt aufgezeichneten PPH und PP10M im Verhältnis zur Gesamtaufzeichnungszeit unterscheiden sich die jeweiligen Stationen teilweise beträchtlich. Mit 72 % PPH pro Tag (entspricht mindestens einer Registrierung in 17,5 Stunden eines 24-Stunden-Tages) und 36 % PP10M (entsprechend mindestens einer Registrierung in 52 von insgesamt 144 10-Minutenblöcken eines Tages) erfolgten an der Station T11 mit Abstand die meisten Registrierungen pro Aufnahmezeit. Die Station liegt im FFH Gebiet Borkum Riffgrund (Abb. 1) An der Station T3 wurden mit 23 % PPH pro Tag dreifach weniger Daten aufgezeichnet. Diese Station liegt im Planungsgebiet des Windparks alpha ventus (Abb. 1). Der Anteil an PP10M pro Tag liegt hier mit 5 % sogar um das siebenfache unter dem Wert von T11. Auch für die beiden weiteren Parameter Wartezeit und Ereignislänge sind T11 und T3 die beiden gegensätzlichsten Positionen. So wurde die längste mittlere Wartezeit an Position T3 mit knapp vier Stunden festgestellt, was trotz des geringsten Wertes im Vergleich der verschiedenen Positionen auf einen häufigen und sehr regelmäßigen Besuch durch Schweinswale hindeutet. Mit im Durchschnitt 3,4 Minuten bleibt die Aufenthaltsdauer der Wale im Erfassungsbereich des PODs an Position T3 am kürzesten und mit 15 Minuten an Position T11 am längsten. Jedoch ist zu beachten, dass an T3 nur an 26 Tagen im Juli Daten aufgezeichnet wurde, während von T11 ein nahezu kompletter Datensatz vorliegt. Da jedoch an vielen Stationen ein deutlicher saisonaler Trend in der relativen Schweinswaldichte feststellbar ist, und nicht alle Stationen gleich viel Daten geliefert haben, ist ein Vergleich auf dieser Basis nur eingeschränkt möglich.

Tab. 3: Überblick über Aufzeichnungszeit, PPH; PP10M, mittlere Wartezeit und Ereignisdauer pro POD-Position im Rahmen der Basisuntersuchung für alpha ventus.

Position	Aufzeichnungszeit [hour]	Anteil PPH	Anteil PP10M	mittlere Wartezeit [min]	95%-Konfidenz	mittlere Ereignisdauer [min]	95%-Konfidenz
T1	2155.8	46%	19%	92.0	9.4	10.5	1.0
T2	2449.3	36%	11%	127.7	12.0	6.8	0.6
T3	634.0	23%	5%	233.9	48.7	3.4	0.7
T4	1017.5	28%	7%	189.3	26.1	4.5	0.7
T5	3199.2	42%	15%	99.4	8.0	6.8	0.5
T6	2531.5	38%	13%	118.7	10.7	7.2	0.7
T7	1205.5	25%	6%	203.4	28.4	4.0	0.7
T8	665.2	31%	8%	168.3	23.1	4.4	0.8
T9	2513.7	37%	11%	127.4	10.8	6.3	0.6
T10	2210.0	65%	30%	56.5	3.7	11.6	1.0
T11	2871.2	72%	36%	52.0	2.8	15.0	1.2
T12	2531.5	38%	13%	117.1	11.1	7.6	0.8
<b>Mittel</b>	<b>1998.7</b>	<b>44%</b>	<b>17%</b>	<b>98.9</b>	<b>2.9</b>	<b>9.3</b>	<b>0.3</b>

Da innerhalb der vier Teilgebiete genügend Daten erhoben wurden und einen nahezu geschlossenen Datensatz von Ende März bis Ende Juli vorweisen, haben wir in Tab. 4 einen Überblick über die wichtigsten Auswerte-Parameter der T-PODs 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 wurde im Mittel über die gesamte Basisuntersuchung doppelt so viele PPM und dreifach 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. 4: Aufzeichnungszeit, PPH, PP10M, mittlere Wartezeit und Ereignisdauer für jedes Teilgebiet im Rahmen der Basisuntersuchung für alpha ventus.

Gebiet	Aufzeichnungszeit [hour]	Anteil PPH	Anteil PP10M	mittlere Wartezeit [min]	95%-Konfidenz	mittlere Ereignisdauer [min]	95%-Konfidenz
1	7300.0	36%	12%	123.5	6.8	6.4	0.4
2	8424.3	38%	13%	117.1	6.0	8.1	0.4
3	3178.8	36%	11%	134.4	9.8	6.0	0.5
4	5081.2	69%	33%	53.9	2.3	13.5	0.8

### 3.3. Saisonalität

In Abb. 8 ist für jeden Tag an jeder Station die Anzahl der PPH dargestellt. Es zeigt sich ein stetiger Wechsel von Tagen mit vielen Stunden, an denen Schweinswale registriert wurden mit Tagen, an denen nur wenige Schweinswale im Erfassungsbereich der PODs waren. An drei von 12 Stationen wurden ein bis mehrere Tage registriert an denen in allen 24 Stunden des Tages Schweinswale aufgezeichnet wurden (T2, T1, T11). An weiteren vier Stationen wurden Werte von über 20 Stunden am Tag mit Schweinswallauten festgestellt (T5, T6, T12, T10). In Abb. 9 sind die Ergebnisse für PPH/Tag für die vier Einzelgebiete anhand von Mittelwerten dargestellt. Zusätzlich ist der Regressionskoeffizient einer linearen Regression eingezeichnet.

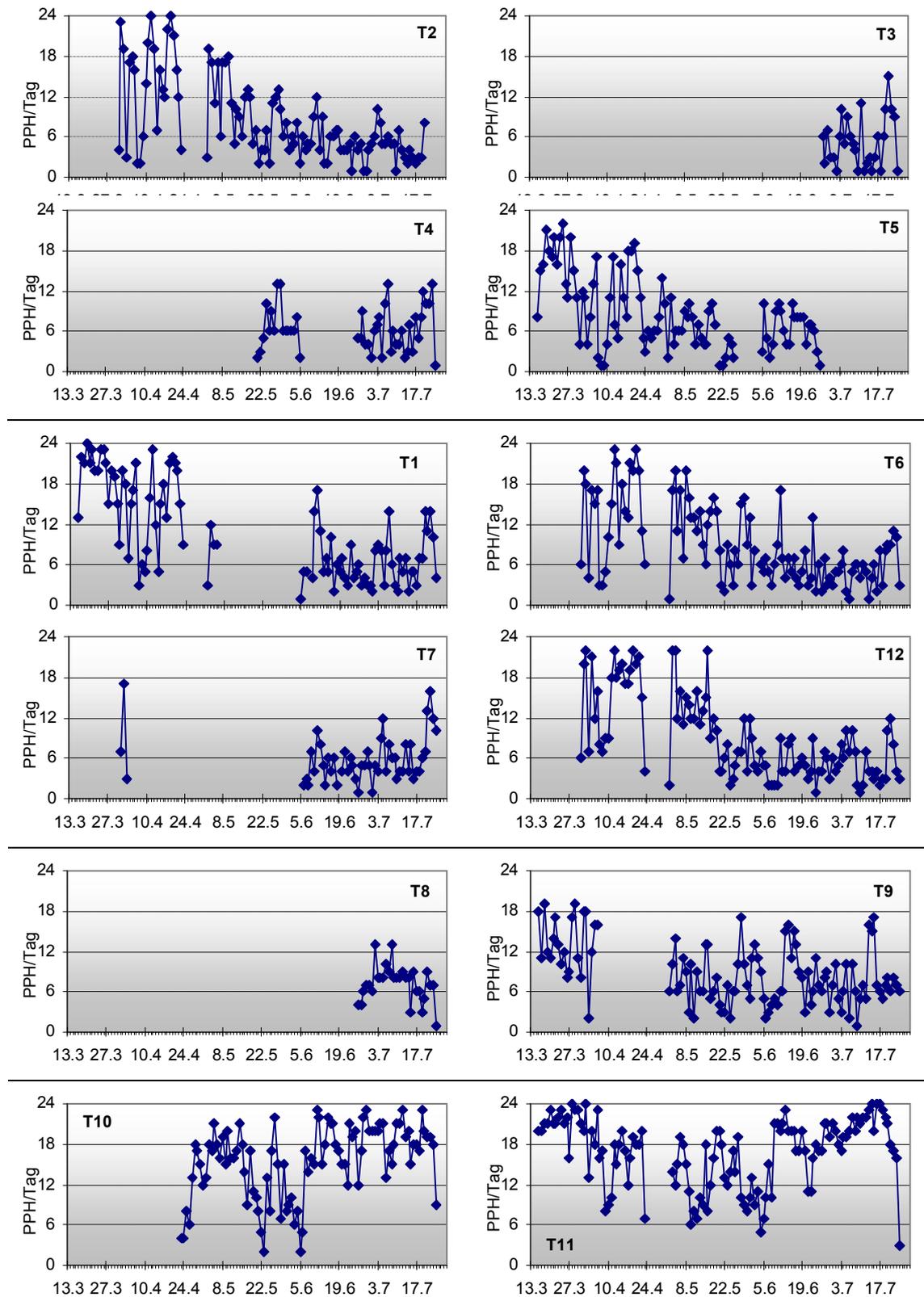


Abb. 8: Schweinswalpositive Stunden pro Tag an allen 12 Stationen. Gebiete, die im Folgenden zusammengefasst werden, sind durch schwarze Linien getrennt.

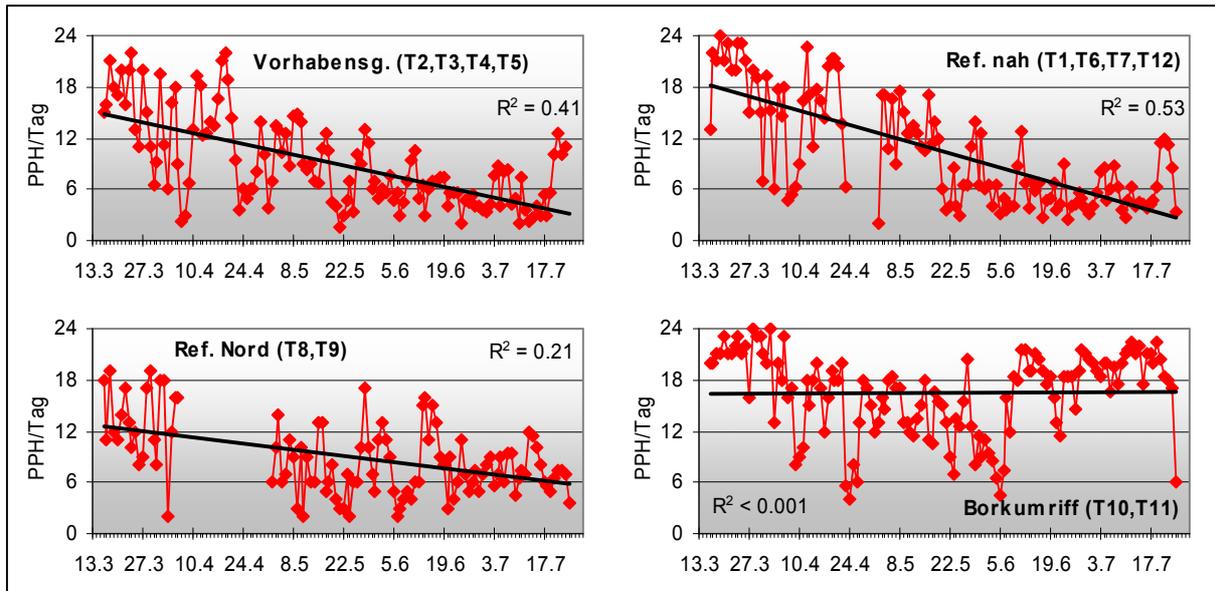


Abb. 9: Schweinswalpositive Stunden pro Tag in den vier Teilgebieten (Mittelwerte pro Tag der Einzelstationen).

Es zeigt sich eine deutlicher saisonaler Verlauf mit Maximalwerten zu Beginn der Untersuchung Mitte März und minimalen Werten Ende Juni. Dieser Trend ist am deutlichsten ausgeprägt im Eingriffsgebiet des Windparks und im Referenzgebiet nah (Gebiet 2). Beide Gebiete zeigen zudem in den letzten Aufzeichnungstagen ab Mitte Juli wieder leicht angestiegene Werte. Im Gebiet 3 (Referenz Nord) ist der saisonale Trend weiter signifikant deutlich. Im Gebiet „Borkumriff“ dagegen ist kein Trend erkennbar. Die Anzahl PPH/Tag bleibt kontinuierlich hoch und es gibt bloß wenige Tage mit weniger als sechs PPH/Tag. Eine zeitlich höhere Auflösung mit Hilfe des Parameters PP10M/Tag zeigt, dass dieser Trend auch dann erhalten bleibt (Abb. 10).

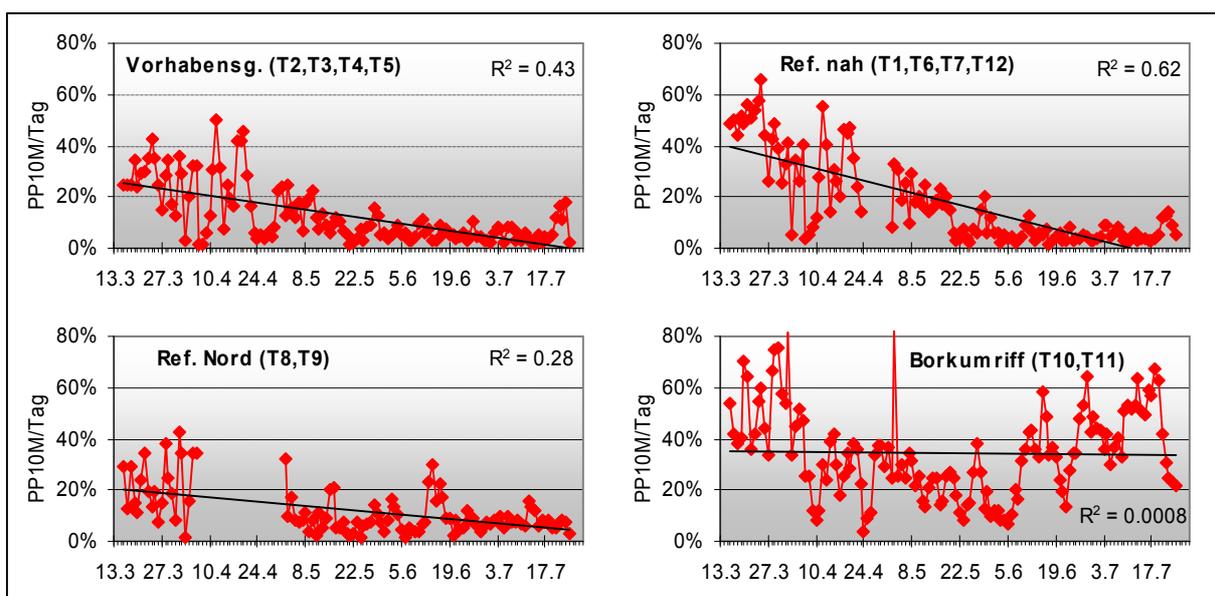


Abb. 10: Schweinswalpositive 10-Minuten pro Tag in den vier Teilgebieten (Mittelwerte pro Tag der Einzelstationen).

Auch für diesen Parameter zeigt sich ein stark wechselnder Bestand an Schweinswalen im Detektionsradius der Geräte mit Tagen, an denen viele Aufzeichnungen gemacht wurden, die gefolgt werden von Tagen mit nur wenigen Aufzeichnungen. Dies ist um so ausgeprägter, je höher die relative Dichte im jeweiligen Zeitraum ist.

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/Tag ausübt (GAM:  $df=3.3$ ,  $F=59.5$ ,  $p<0.001$ ). Rechnet man das Model nur mit den Daten aus den drei Teilgebieten 1, 2 und 3, so kann das Model 50 % der Varianz erklären.

Die Ereignisdauer kann als Maß für die relative Nutzung eines Gebietes herangezogen werden. Bleiben die Tiere lange im Erfassungsradius der PODs spricht dies für ein Gebiet, in dem die Tiere sich länger aufhalten und möglicherweise auf Nahrungssuche sind (Tougaard et al. 2006a,b). Das kann auch in Gebieten der Fall sein mit nur wenigen Schweinswalkontakten insgesamt. Bei dem Vergleich der vier Teilgebiete hinsichtlich der mittleren Ereignislänge pro 10-Tagesabschnitten zeigt sich, dass der saisonale Trend sich auch hier in den Gebieten 1, 2 und 3 widerspiegelt, wenn auch stark abgeschwächt (Abb. 11). Im Gebiet 4 (Borkumriff) bleiben die Tiere im Mittel wesentlich länger und es ist ein saisonaler Trend mit zwei Maxima, einem zu Beginn der Untersuchung und einem am Ende im Juli zu erkennen. Maximalwerte von mehr als 20 Minuten Aufenthalt werden hier erreicht, wohingegen in den anderen Gebieten nur Mitte März Werte von 16 Minuten (Gebiet 2), bzw. 10 Minuten (Gebiet 1 und 3) beobachtet werden.

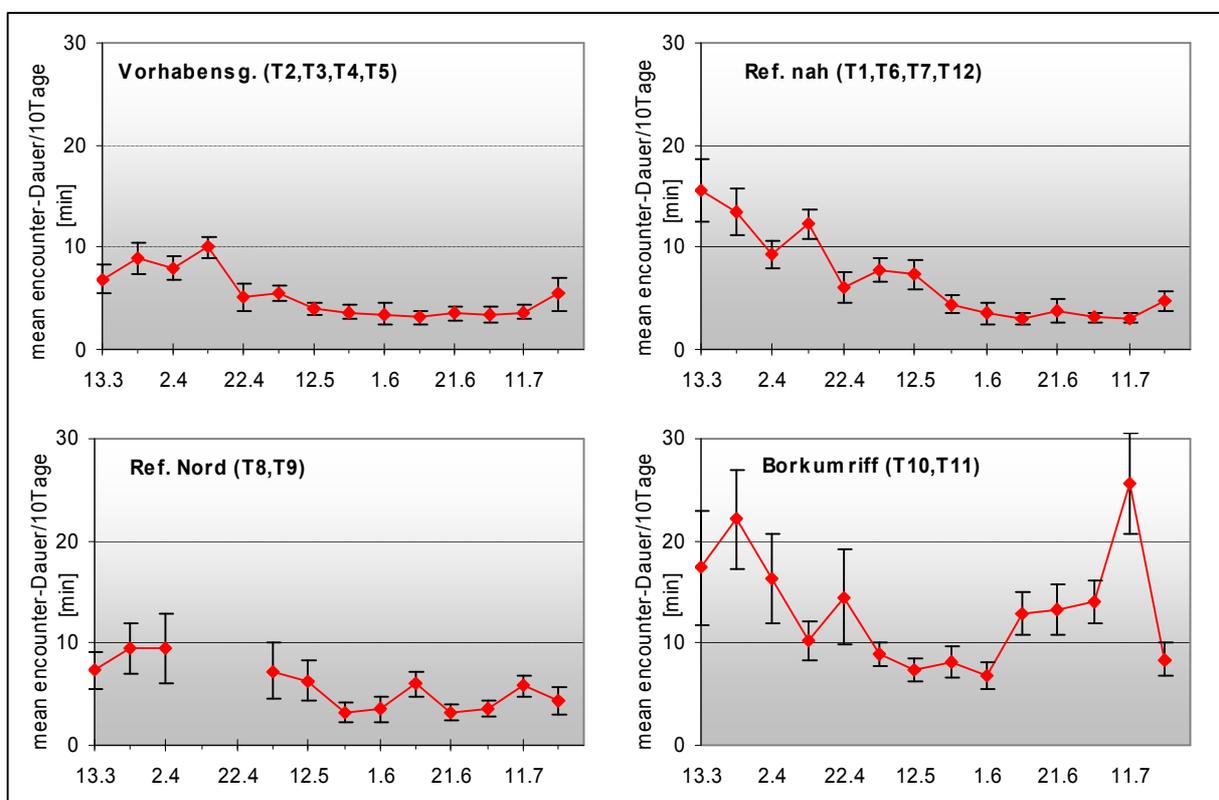


Abb. 11: Mittlere Schweinswalereignisdauer pro 10 Tage in den vier Teilgebieten während der Basisuntersuchung für alpha ventus.

### 3.4. Unterschiede zwischen den Teilgebieten

Mit Hilfe des Parameters „Schweinswalpositive 10-Minuten“ pro Tag (PP10M/Tag) als Maß für relative Schweinswalldichte an den jeweiligen POD-Stationen prüften wir, ob Unterschiede zwischen den jeweiligen Teilgebieten existieren. Da bereits der signifikante Einfluss von Saisonalität über ein Generalised Additiv Model (GAM) nachgewiesen werden konnte, muss dieser Faktor bei einem Vergleich der verschiedenen Gebiete berücksichtigt und in das Linear Mixed-Effect Model integriert werden. Die statistische Prüfung mit einem LMER zeigt, dass sich das Gebiet 4 (Borkumriff) von allen drei anderen Gebieten hoch signifikant unterscheidet. Dagegen kann kein Unterschied zwischen den drei weiteren Teilgebieten festgestellt werden (Tab. 5)

Tab. 5: Statistische Kenngrößen nach Berechnung einer ANOVA, die auf Unterschiede zwischen zwei LMER testet (s. Methoden).

	Gebiet1	Gebiet2	Gebiet3	Gebiet4		
Gebiet1						
Gebiet2					Chi2 = 0.83 Df = 1 p = 0.36	
Gebiet3					Chi2 = 0.02 Df = 1 p = 0.88	Chi2 = 0.13 Df = 1 p = 0.72
Gebiet4					Chi2 = 21.32 Df = 1 p < 0.001***	Chi2 = 18.52 Df = 1 p < 0.001***

### 3.5. 24-Stunden Rhythmus

Die Analyse der Daten hinsichtlich eines 24-Stunden-Rhythmus zeigt, dass ein deutlicher Rhythmus vorhanden ist, dieser sich jedoch nicht zwischen den verschiedenen Gebieten deutlich unterscheidet (Abb. 12). In allen Gebieten ist ein signifikant vom Mittelwert abweichendes Aktivitätsmaximum während der Tageslichtphase zwischen 4:00 und 14:00 Uhr zu beobachten. Nur in Gebiet 3 (Referenz Nord) ist dieser Rhythmus nicht so stark ausgeprägt und es zeigt sich hier ein zusätzliches Aktivitätsminimum in den frühen Morgenstunden um 4:00 Uhr. Dafür ist die an allen anderen Stationen zu beobachtende signifikant niedrige Aktivität während der Abendstunden von 17:00 Uhr bis Mitternacht an Station 3 nicht zu sehen. Es ist jedoch zu beachten, dass in Gebiet 3 mit knapp 3.200 Stunden die geringste Datenmenge gesammelt wurde.

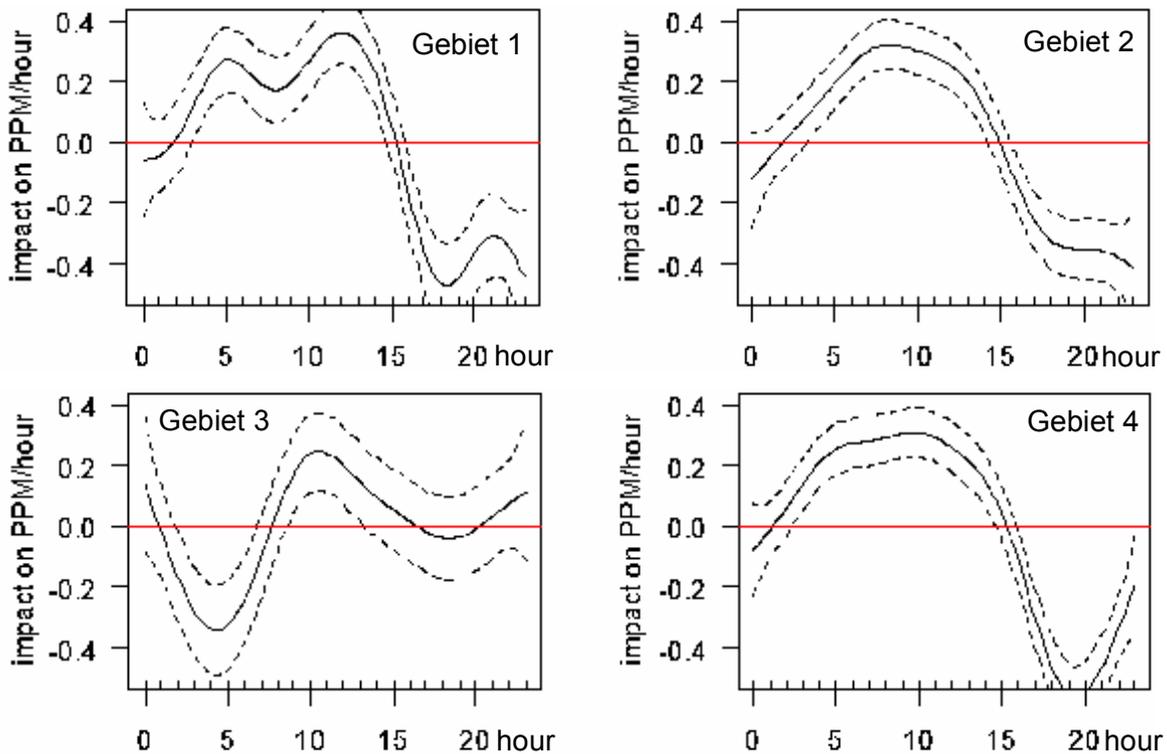


Abb. 12: Einfluss der 24 Stunden eines Tages auf die relative Schweinswalddichte in den vier Teilgebieten anhand eines GAM. Gezeigt ist die Abweichung vom Mittelwert im Verlauf der 24 Stunden eines Tages (schwarze Linie) samt Konfidenzintervall (gestrichelte Linie) in Anzahl Schweinswalpositiver Minuten pro Stunde für den gesamten Untersuchungszeitraum.

## 4. DISKUSSION

Die Ergebnisse der T-POD-Daten zeigen, dass das Seegebiet um den geplanten Windpark alpha ventus in den Monaten März bis Juli 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 Schweinswalddichte stehenden Parameter PPH und PP10M mit 44 % Schweinswalpositiver Stunden und 17 % Schweinswalpositiver 10-Minuten 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) Schweinswalddichten 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 und ebenfalls durch mittlere bis hohe Dichten gekennzeichnet (Tougaard et al. 2006a), wurden ebenfalls mittlere Werte von 56 % PPH und 23 % PP10M ermittelt (mit den gleichen V4-T-PODs, Blew et al. 2008). In der Ostsee um Nysted, einem Seegebiet mit eher mittleren Dichten wurden Werte von 30 % PPH und 7 % PP10M festgestellt (Blew et al. 2008). Das zeigt, dass es sich in alpha ventus um ein Seegebiet mit mittleren bis hohen Dichten im Frühjahr handelt. Ein Vergleich mit den im gleichen Projekt durchgeführten Erfassungen von Schweinswalen mit

dem Flugzeug bestätigt dieses Ergebnis: Auch hier wurden mittlere Dichten von mehr als 2 Ind./km<sup>2</sup> bei 4 von 12 Flügen und mehr als 1 Ind./km<sup>2</sup> bei 10 von 12 Flügen errechnet (Laczny et al. 2008). Die relative Dichte in den vier voneinander getrennten Teilgebieten zeigt einen sehr deutlichen und hoch signifikanten Unterschied zwischen den drei Gebieten 1,2, und 3 (Vorhabensgebiet, Referenz nah mit Position T12 6,5km östlich des Planungsgebietes und Referenz Nord) mit 37 % PPH, bzw. 12 % PP10M im Mittel und dem Gebiet Borkum Riff (Gebiet 4) im Südwesten des Untersuchungsgebietes, wo mittlere Werte von 69 % PPH und 39 % PP10M erreicht wurden. Dieses Bild wird auch von den Flugzeugzählungen bestätigt, wobei durch die Transektabstände von 3 km und die Rasterkartendarstellung keine räumlich kleinskalige Auflösung erreicht werden kann. Trotzdem zeigt sich ein klarer Gradient mit abnehmender Dichte von West nach Ost (Abb. 13). Das Planungsgebiet des Windparks alpha ventus liegt hierbei am östlichen Rand des Bereichs mit hohen Dichten. Die POD-Daten können zeigen, dass im Planungsgebiet deutlich weniger Schweinswale vorkommen als in dem weiter westlich liegenden Gebiet „Borkum Riff“.

Weiterhin ist ein bemerkenswerter Unterschied hinsichtlich des saisonalen Verlaufs der (relativen) Schweinswalddichte im Vergleich zu den Flugzeugzählungen festzustellen. Mit Ausnahme des Gebietes „Borkum Riff“ zeigen die POD-Daten einen signifikanten saisonalen Verlauf der relativen Dichte mit Maximalwerten zu Beginn der Untersuchung Mitte März und minimalen Werten am Ende der Untersuchung im Juli 2008. Dieses Muster konnte von Flugzeugzählungen nicht bestätigt werden, die konstant hohe Dichten im Frühjahr 2008 ermittelten.

Der von den PODs gezeigte saisonale Verlauf wird auch von Gilles et al. (2006, 2007) anhand von Flugzeugerfassungen bestätigt mit hohen Dichten im (zeitigen) Frühjahr und geringen Dichten im Sommer. 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 Schweinswalerfassungen 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 zu April wie für die niederländischen Gewässer beschrieben, lassen auch die POD-Daten im Windparkgebiet erkennen.

Die Bedeutung des Eingriffsgebietes für Schweinswale, gerade im Hinblick auf die geplanten Rammarbeiten im August 2008, ist anhand der hier festgestellten deutlichen Abnahme der relativen Dichten im Vergleich zu Mitte März geringer einzustufen als die Ergebnisse der Flugzeugzählungen dies vermuten ließen. Es ist jedoch festzustellen, dass das Gebiet trotz deutlicher Abnahme durch mittlere Dichten geprägt ist und täglich mehrmals Schweinswale von den Geräten im Eingriffsgebiet aufgezeichnet werden.

Eine räumlich Grenze, ab wann die Dichten in Richtung Westen zunehmen kann aufgrund der geringen räumlichen Auflösung der PODs nicht anhand der POD Daten gezogen werden. Die Flugzeugzählungen weisen jedoch darauf hin, dass das Planungsgebiet direkt an das Gebiet hoher Dichte im Bereich des Borkum Riffgrundes anschließt.

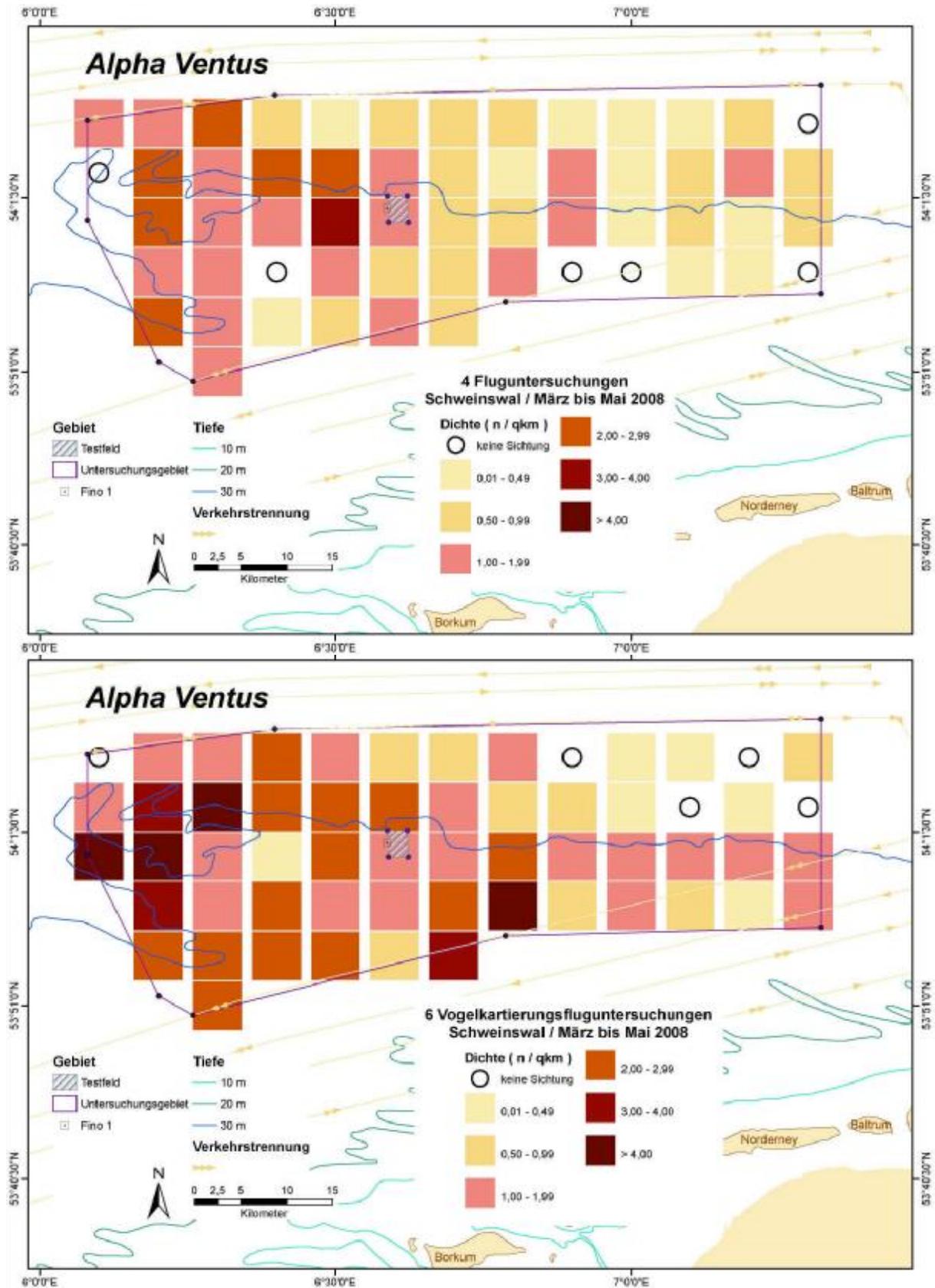


Abb. 13: Rasterdichtekarte der Schweinswale nach Meeressäugerflügen (oben, n = 253) und nach Vogelkartierungsflügen (unten, n = 324) im Frühjahr 2008. Aus: Laczny et al. 2008.

Allerdings ist diese Abnahme in der (relativen) Dichte nicht im gesamten Gebiet zu erkennen. Gerade in dem Gebiet mit der zwei bis dreifach höheren Dichte als im Planungsgebiet (gemessen an PPH und PP10M pro Gesamtaufzeichnungsdauer) ist kein saisonaler Trend zu beobachten. Die Werte bleiben konstant hoch und entsprechen damit sehr gut den Ergebnissen der Flugzeugzählungen zu dieser Untersuchung. Ein Grund dafür, dass kein saisonaler Trend bei den Flugzeugzählungen erkannt werden kann, mag damit zusammenhängen, dass das Gebiet westlich des Planungsgebietes durch hohe Dichten geprägt ist, und den saisonalen Effekt in den weiter östlich liegenden Gebieten mit geringeren Dichten überdeckt. Um darauf eine Antwort zu finden, sind weitere Daten notwendig.

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 20 Minuten im Gebiet Borkum Riff zeugen davon, dass sich die Tiere sehr lange 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. Es kann jedoch nach derzeitiger Datenlage ausgeschlossen werden, dass es sich bei dem Untersuchungsgebiet nur um ein Durchzugsgebiet handelt. Der bei den Flugzeugzählungen beobachtete Anteil Jungtiere von 8,2 % bestätigt diese Daten.

Die mit dem BSH abgestimmte Verlagerungen der POD-Stationen T8, T9 und T11 in die Nähe von Fahrwassertonnen des Verkehrstrennungsgebietes zeigt keinen negativen Effekt durch die Nähe zu den Schifffahrtlinien. An allen drei Stationen konnten nicht weniger Wale als an anderen Positionen festgestellt werden, so dass eine Meidung dieser Bereiche verursacht durch den Schiffsverkehr in den Verkehrstrennungsgebieten mit Hilfe dieser Daten nicht nachgewiesen werden kann. Im Gegenteil, an der Station T11 wurden mit Abstand die meisten Registrierungen und die längsten Aufenthaltsdauern festgestellt. Auch Teilmann et al. (2008) konnte in der Dänischen Beltsee zeigen, dass im Bereich des Fehmarn Belts als auch im Großen Belt Konzentrationsgebiete von Schweinswalen liegen, obwohl diese Gebiete durch einen sehr hohen Schiffsverkehr gekennzeichnet sind.

Die Untersuchung der tageszeitliche Periodik gemessen an PPM/Stunde im Verlauf eines 24-Stunden-Tages zeigt übereinstimmende Ergebnisse für alle Standorte. Das deutliche tageszeitlich bestimmte Aktivitätsmuster mit wenig Aktivität während der Abend-Nachtstunden und hoher Aktivität während des Tages konnte auch in der Nordsee westlich von Sylt im Bereich des Sylter Außenriffs mit T-POD-Daten nachgewiesen werden (Diederichs et al. 2004, Brandt et al. 2008). Hierbei scheint es sich um ein konstantes Muster für diesen Seebereich zu handeln. Diskutiert wird dieses Muster mit unterschiedlichen Aufenthaltszeiten der Schweinswale in verschiedenen Schichten der Wassersäule. Demnach halten sich tagsüber mehr Schweinswale in den grundnahen Bereichen auf und gehen dort möglicherweise auf Nahrungssuche, so dass der gerichtete Schallkegel der Wale häufiger auf die zwei Meter über dem Grund befestigten Hydrophone trifft. Nachts dagegen halten sich die Tiere mehr nahe der Oberfläche auf und die Klicks treffen nur selten auf die Hydrophone. Teilmann et al. (2004) konnte anhand von Schweinswalen, die mit Tauchloggern

ausgerüstet waren feststellen, dass die Tiere eine ausgeprägte tageszeitliche Rhythmik in ihren Tauchaktivitäten haben. Dieses Verhalten wird mit der tageszeitlichen Periodik im Auftreten von möglichen Beutefischen in Zusammenhang gebracht (z. B. Hering oder Sandaal, die tagsüber vergraben am Grund leben und nachts in die Wassersäule aufsteigen, Börjesson et al. 2003, Santos & Pierce 2003, Santos et al. 2004).

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Stiftung Offshore-Windenergie hat BioConsult SH mit T-POD Untersuchungen zum Schutzgut Schweinswale im Rahmen der Basisaufnahme Frühjahr 2008 am Offshore-Testfeld „alpha ventus“ beauftragt. Die Untersuchungen beinhalten die Datenerhebung mittels T-PODs an 12 verschiedenen Stationen gemäß den Vorgaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie.

Dazu wurden zwischen 15. März und 24. Juli 2008 an den 12 T-POD Stationen insgesamt 998 POD-Tage aufgezeichnet, was einer Aufzeichnungsrate gemessen an der maximal möglichen Zeit von 65 % bedeutet.

Es konnten nahezu an jedem Tag an allen Stationen Schweinswale aufgezeichnet werden. Sowohl der Parameter „Schweinwalpositive Stunde pro Tag“ (PPH) als auch der zeitlich höher auflösende Parameter „Schweinwalpositive 10-Minuten pro Tag“ (PP10M) zeigen, dass es sich bei dem Untersuchungsgebiet um ein Gebiet mit mittleren bis hohen relativen Dichten handelt. Es konnte gezeigt werden, dass ein signifikanter Unterschied zwischen dem Eingriffsgebiet mit seiner näheren Umgebung (nach Norden und Osten) und dem FFH-Gebiet Borkum Riffgrund besteht. Bei Borkum Riffgrund wurden doppelt so viele PPH und dreifach mehr PP10M aufgezeichnet. Weiterhin zeigt sich im Eingriffsgebiet und seiner näheren Umgebung, sowie nördlich des Planungsgebietes ein ausgeprägtes saisonales Muster mit Maximalwerten zu Beginn der Untersuchung Mitte März und Minimalwerten zum Ende der Untersuchung im Juli. Diese Phänologie stimmt mit Beobachtungen vor der niederländischen Küste überein. Im Gebiet Borkumriffgrund lässt sich jedoch kein saisonales Muster erkennen. Die relativen Dichten bleiben konstant hoch und übertreffen zum Teil sogar Werte, die mit den gleichen Geräten im Seegebiet „Sylter Außenriff“ gemessen wurden, einem für hohe Schweinswaldichten während des Frühjahrs bekanntes Seegebiet.

Die mittlere Aufenthaltsdauer der Schweinswale im Nahbereich der PODs von mehreren Minuten lassen auf eine intensive Nutzung des Untersuchungsgebietes schließen. Auch hier ist die längste Aufenthaltsdauer im Borkumriff gemessen worden.

Der deutlich ausgeprägte 24Stunden-Aktivitätsrhythmus mit hoher Aktivität während der Tageslichtphase und geringer Aktivität während der Abend- und Nachtstunden stimmt mit Daten vom Sylter Außenriff überein und wird mit einem tageslichtabhängigen Tauchverhalten in Verbindung gebracht, was durch unterschiedliche Aufenthaltswahrscheinlichkeiten von potentiellen Beutefischen in verschiedenen Wassertiefen zusammenhängen könnte.

Insgesamt kann die Datenlage als sehr guter Basisdatensatz für weitere Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Bau und Betrieb von Windenergieanlagen im Seegebiet von alpha ventus bewertet werden.

## 6. 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.
- Blew, J., Diederichs, A., Grünkorn, T., Hoffman, M. and G. Nehls (2006). Investigations of the 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
- Blew, J., A. Diederichs, M. Hoffmann & G. Nehls (2008) Investigations of the bird collision risk and the responses of harbour porpoises in the offshore wind farms, Horns Ref, North Sea and Nysted, Baltic Sea, in Denmark. End report 2008. 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.
- 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
- Camphuysen, C. J. 2004. The return of the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) in Dutch coastal 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., G. Nehls, M. Dähne, S. Adler, S. Koschinski & U. Verfuß (2008): 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., 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.
- 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.
- 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., 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. Teilman. (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.