

# **Einsatz von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswalen im Seegebiet westlich von Sylt**



**2. Zwischenbericht**

**Ansgar Diederichs  
Thomas Grünkorn  
Dr. Georg Nehls**

**Hockensbüll, Januar 2004**

---

**im Auftrag der Offshore-Bürger-Windpark Butendiek GmbH & Co. KG**

1	Einleitung .....	1
2	Methode .....	2
2.1	Allgemeiner Ansatz.....	2
2.2	Technische Beschreibung eines T-PODs .....	3
2.3	Verankerung des T-PODs.....	3
2.4	Einstellung des T-PODs (settings) .....	4
2.5	Datenanalyse durch TPOD.exe .....	6
2.6	Ausbringungsorte der T-PODs.....	8
2.7	Anzahl und Aufzeichnungsdauer einzelner T-PODs .....	9
2.8	Auswertung der Daten .....	11
3.	Ergebnisse .....	11
3.1	Kalibrierung .....	11
3.2	Phänologie aufgezeichneter Schweinswalaktivität .....	15
3.3	Tagesaktivitäten.....	20
3.4	Analyse einzelner Sequenzen (Trains) .....	22
4	Diskussion.....	23
5	Bewertung und Vorschläge für das Begleitmonitoring .....	31
6	Zusammenfassung.....	34
7	Literatur.....	36

# 1 Einleitung

Die Offshore-Bürger-Windpark Butendiek GmbH & Co. KG plant die Errichtung von 80 Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von je 3 Megawatt in der Nordsee ca. 35 km westlich von Sylt. Das Planungsgebiet liegt in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Bundesrepublik Deutschland im Bereich der 20 m -Tiefenlinie.

Im Juni 2002 haben BioConsult SH, Hockensbüll und GFN, Kiel eine Umweltverträglichkeitsstudie für dieses Bauvorhaben vorgelegt. Das darin enthaltene Fachgutachten „Meeressäuger“ basiert auf Linien-Transectuntersuchungen von den Beobachtungsplattformen Schiff und Flugzeug und behandelt insbesondere die großräumige Verbreitung und Phänologie des Schweinswals (*Phocoena phocoena*) westlich von Sylt. Die Untersuchungen zeigten, dass insbesondere Flugzeugzählungen geeignet für die Charakterisierung der Schweinswalvorkommen in dem Seegebiet westlich von Sylt sind. Ein Problem der Zählungen ist jedoch, dass die Sichtungsraten auch bei Flugzeugzählungen so gering ist, dass nur ein kleiner Teil der erhobenen Daten auf das relativ kleine Planungsgebiet (ca. 30 km<sup>2</sup>) entfällt. Auch wenn die Daten damit eine belastbare Bewertung des Planungsgebietes erlauben, wird es schwierig, mit dieser Methodik den Effekt des geplanten Windparks zu bewerten, da je Zählung nur einzelne Sichtungen auf das Planungsgebiet selbst entfallen. Dies würde nicht genügen, um moderate Reaktionen (Ab- oder Zunahmen < 50%) vor dem Hintergrund natürlicher Schwankungen statistisch abzusichern. Da es aufgrund der hohen Ansprüche der Flugzeugzählungen an die Wetterbedingungen kaum möglich ist, den Zählaufwand zu steigern, wird der Einsatz von Klickdetektoren empfohlen. Dies sind Geräte, welche die Orientierungslaute von Schweinswalen registrieren und aufzeichnen. Eine erste Auswertung der von T-PODs im Seegebiet westlich von Sylt erfassten Daten im Oktober 2002 (DIEDERICHS et al. 2002) zeigte, dass diese Geräte eine kontinuierliche Erfassung von Schweinswalen ermöglichen und somit ein großes Datenmaterial von definierten Standorten erhoben werden kann.

Diese ersten Erfahrungen mit den Geräten des derzeit einzigen europäischen Herstellers waren durchaus ermutigend. Insbesondere die von verschiedenen Nutzern festgestellten Unterschiede in der Sensitivität individueller PODs (TEILMANN et al. 2001, 2002, BENKE et al. 2002, 2003) konnten durch eine interne Kalibrierung im Freiland qualitativ wie quantitativ erfasst und beschrieben werden, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Geräte möglich wurde. Dänische Wissenschaftler (SKOV et al. 2002, TOUGAARD et al. 2003, HENRIKSEN et al. 2003) konnten zeigen, dass PODs brauchbare Ergebnisse zur Bewertung des Eingriffs durch den Bau eines Offshore-Windparks liefern können.

Mit dem vorliegenden Bericht werden die im ersten Zwischenbericht dargelegten Datenreihen fortgesetzt und eine Kalibrierung aller zum Einsatz gekommenen TPODs vorgestellt. Die Kalibrierung wird auf die Ergebnisse angewendet, so dass ein Vergleich aller Daten untereinander möglich wird. In einem weiteren Schritt werden die

jahresphänologischen Daten mit den Ergebnissen flugzeug- und schiffsgestützter Zählungen verglichen und diskutiert.

## 2 Methode

### 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 (Echolokation). Ein POD (PORpoise Detector) ist ein Gerät, das diese Verhaltensweise nutzt, und mit Hilfe eines Hydrofons 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 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.

Da die Echolokation als die wichtigste Sinneswahrnehmung bei Schweinswalen angenommen wird, sollten sie meistens Klicklaute aussenden und eine Korrelation der Häufigkeit von Klicks mit der Schweinswalddichte wäre wahrscheinlich. Zur Zeit ist die Beziehung zwischen Echolokationsraten und Dichten der Tiere nicht bekannt und konnte selbst bei idealen Beobachtungsbedingungen nicht ermittelt werden (KOSCHINSKI & CULIK 2001, BENKE et al. 2003). KOSCHINSKI & CULIK (2001) konnten in klaren und von Land aus sehr gut einsehbaren Gewässern in Kanada keinen Zusammenhang zwischen Anzahl von gesichteten Tieren und Anzahl aufgezeichneter Klicklaute herstellen, so dass die Autoren davon ausgehen, mit Hilfe der PODs keine quantitativen Angaben zur Schweinswalddichte machen zu können. BENKE et al. (2003) testeten die erste Generation von PODs an der dänischen Ostseeküste. Dabei konnten mit den von ihnen benutzten Filtereinstellungen nur 11 – 23 % aller Schweinswale/Schweinswalgruppen von den Geräten detektiert werden, die durch einen Kreis mit einem Radius von 200 m um den POD schwammen.

Auch gibt es bisher keine genauen Angaben über die Reichweite von PODs, jedoch gehen die meisten Autoren von einer maximalen Reichweite von ca. 250 m aus (HENRIKSEN et al. 2003, BENKE et al. 2003, KOSCHINSKI & CULIK 2001), wobei dies maßgeblich sowohl vom Verhalten als auch von der Schwimmrichtung der Wale abhängig ist. Ein experimenteller Ansatz zur Überprüfung der exakten Reichweite der eingesetzten PODs im Freiland ist kaum möglich, da viele Faktoren, wie z.B. eine Gleichverteilung der Tiere um das Hydrofon, nicht sicher vorausgesetzt werden können. Bis zu welcher genauen Entfernung Schweinswale aufgezeichnet werden können, spielt jedoch bei dem Versuch, einen quantitativen Zusammenhang mit Schweinswalddichten herstellen zu wollen, eine wesentlich Rolle.

PODs liefern somit zunächst nur Daten über die relative Anwesenheit von Schweinswalen an einem Standort. Eine Umrechnung der aufgezeichneten Klicklaute in eine Anzahl an

Individuen ist damit derzeit nicht möglich. Aber unter der Annahme, dass die Aufzeichnungsrate nicht wesentlich durch unterschiedliche Empfindlichkeiten individueller Geräte beeinflusst wird, lassen sich damit relative Unterschiede zwischen Standorten und zeitliche Veränderungen über einen langen Zeitraum und mit hoher zeitlicher Auflösung erfassen.

Darüber hinaus ermöglicht die Analyse der Daten mit hoher zeitlicher Auflösung das Erkennen von besonderen Klickmustern, die möglicherweise Rückschlüsse auf bestimmte Verhaltensweisen zulassen.

## 2.2 Technische Beschreibung eines PODs

PODs werden von Nick Tregenza ([www.chelonia.demon.co.uk](http://www.chelonia.demon.co.uk)) entwickelt und hergestellt. Ein POD ist ein autonomer Datenlogger, welcher hochfrequente Geräusche aufzeichnet.

Die Geräte wurden im Verlauf der letzten Jahre kontinuierlich weiterentwickelt. Wir setzten drei Geräte der bis 2002 hergestellten PODs (V2-Version) und fünf neuere Geräte der Version V3 ein.

Das Gehäuse besteht aus einem 70 cm langen PVC-Rohr mit einem externen Hydrofon an einem und einem Schraubdeckel am anderen Ende. In dem Rohr befindet sich ein Verstärker, ein elektronischer Filter mit einem 32 MB RAM Datenspeicher, zwei Batterieeinheiten von je sechs 1,5 Volt D-Batterien und einem seriellen Anschluss für die Kommunikation mit einem PC. Die Batterien sollen zwischen 3° C bis 25° C unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen sein, obwohl niedrige Temperaturen einen schnelleren Spannungsabfall bewirken. TEILMANN et al. (2002) konnten nachweisen, dass bis zu einer Batteriespannung von 5,1 Volt die Energiezufuhr keinen Einfluss auf die Empfindlichkeit des Gerätes hatte. Um potenziellem Datenverlust durch zu geringe Batteriespannung vorzubeugen, entschieden wir, die Batterien unterhalb einer Batteriespannung von 6,5 V auszuwechseln.

Die Geräte können bis zu einer Wassertiefe von 120 m eingesetzt werden. Die Alterung der Keramik soll die Empfindlichkeit des Hydrophons um wenige Prozent innerhalb von zehn Jahren senken, was unter Berücksichtigung der erwarteten und insbesondere der tatsächlichen Einsatzdauer eines Gerätes unwesentlich ist.

Laut Hersteller arbeitet das Hydrofon omnidirektional und hat seine höchste Sensitivität im Bereich von typischen Schweinswalklicks (120 kHz).

## 2.3 Verankerung des PODs

Erfahrungen des Herstellers Nick Tregenza zeigten, dass PODs nahe des Meeresbodens mit höherer Wahrscheinlichkeit Schweinswalklicks aufzeichneten, als gleichzeitig an der Oberfläche ausgebrachte Geräte (TEILMANN et al. 2002). Wir haben daher - in Übereinstimmung mit dänischen Untersuchungen im Zusammenhang mit Offshore-Windparks (TEILMANN et al. 2001, 2002, SKOV et al. 2002, TOUGAARD et al. 2003) - die Geräte zwei Meter über dem Meeresboden mit dem Öffnungswinkel des Hydrofons in den freien Wasserkörper nach oben angebracht. Unter Berücksichtigung der Verluste zahlreicher

Geräte anderer Anwender haben wir keine auffälligen Warnbojen oder -tonnen ausgebracht, sondern den Ankerplatz des PODs mit einem ca. 80 cm großen Fender markiert (Abb. 1). Um einen Verlust durch die Fischerei möglichst auszuschließen, versenkten wir das POD-Ankersystem entweder in direkter Nähe zu bestehenden Warntonnen im Umfeld des Planungsgebietes (Seezeichen zur Markierung meteorologischer Messstationen, Untiefentonnen) oder in direkter Nähe zu einer von uns ausgebrachten großen Warntonne.

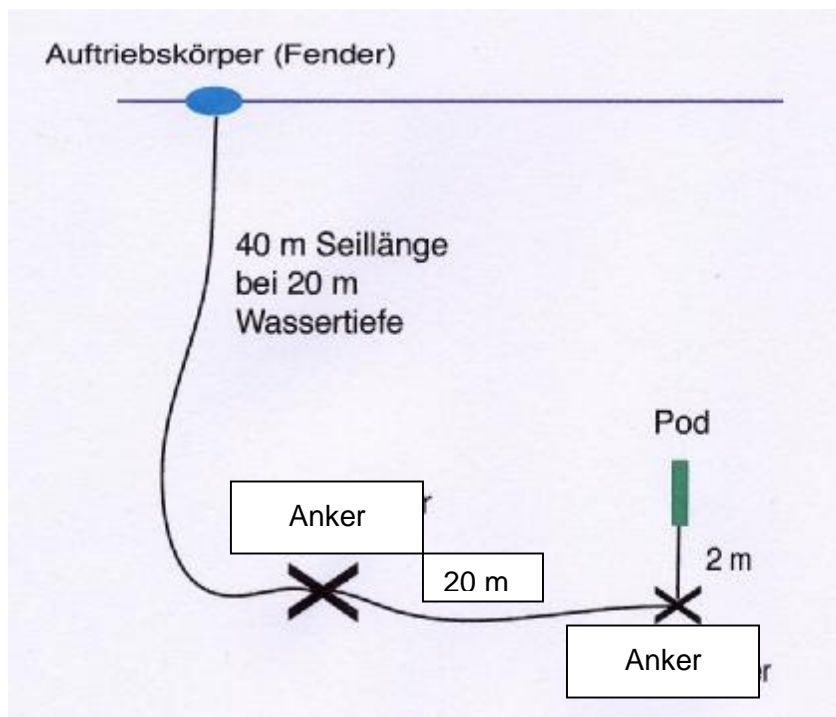


Abb. 1: Verankerungstechnik von T-PODs am Meeresgrund:

Das Verankerungssystem besteht aus einem 12 mm starken Kernmantelseil, die Anker sind ca. 20 kg schwere mit Beton ausgegossene Autoreifen. Der Fender und beide Anker sind mit Draht gesicherten Schäkeln in Seilschlaufen gesichert, die durch Metallkauschen verstärkt sind. Der T-POD ist mit einem Schraubkarabiner in eine Seilschleife eingehakt.

## 2.4 Einstellung des PODs (settings)

Jede Minute durchläuft der POD sechs „Scans“ einer Länge von 9,2 Sekunden. Für jeden Scan können individuelle Einstellungen vorgenommen werden, um eine möglichst hohe Sensitivität der Geräte gegenüber Schweinswalklicks zu erreichen oder z. B. mit einem Scan Geräusche von Bootsmotoren aufzuzeichnen.

Der POD erkennt Echo-Lokationslaute von Schweinswalen durch den Vergleich zweier Filterausgänge A und B. Jeder der beiden vom Benutzer individuell einstellbaren Filter blockiert alle Frequenzen außer jenen, die sich um das Frequenzzentrum des Filters befinden. Durch sechs verschiedene Einstellungsmöglichkeiten kann versucht werden, eine

möglichst hohe Empfindlichkeit gegenüber Schweinswalklicks zu erreichen bei gleichzeitiger Vermeidung der Aufzeichnung von schweinswalähnlichen Störgeräuschen:

1. Frequenzzentrum der beiden Filter:

Das Frequenzzentrum des ersten Filters A sollte im Zentrum der Klickfrequenz von Schweinswalen (130 KHz) liegen, das Zentrum des zweiten Filters B etwas unterhalb dieser Frequenz (90 KHz).

2. Schärfe der Filter:

Die Schärfe der Filter bedeutet die Frequenzbandbreite um das Frequenzzentrum herum. Je größer die Schärfe, desto weniger Frequenzen um das Frequenzzentrum herum werden aufgezeichnet und um so sensibler reagiert der Filter auf Frequenzen im Zentrum. Niedrigere Schärfe im ersten Filter als im zweiten erhöht die Sensitivität gegenüber Schweinswalklicks.

3. Das Verhältnis der Schallenergie von Filter A zu Filter B:

Je geringer das Energieverhältnis zwischen den beiden Filtern, desto empfindlicher zeichnen die PODs auf, desto größer aber auch die Gefahr Störgeräusche aufzuzeichnen.

4. Die untere Schallintensitätsschwelle von Filter A:

Je geringer die Schwelle, desto mehr Geräusche werden aufgezeichnet.

5. Maximale Klickanzahl pro Scan:

In Gebieten mit vielen Störgeräuschen, die im Frequenzspektrum von Schweinswallauten liegen (z.B. von starker Strömung bewegter Sand) kann eine maximale Klickanzahl verhindern, dass die Speicherkapazität des PODs zu schnell erreicht wird.

6. Mindestlänge von Klicks

Schweinswalklicks sind gewöhnlich länger als 50  $\mu$ s. Da wir im Bereich westlich von Sylt starke Sandbewegungen mit einhergehenden Störgeräuschen von hochfrequenten Klicks unter 20  $\mu$ s Länge feststellten, wurden ab April 2003 die Filtereinstellungen dahingehend geändert, dass alle Klicks unterhalb einer Länge von 20  $\mu$ s von der Aufzeichnung ausgeschlossen wurden.

Nach mehreren Testdurchläufen haben wir nach Absprache mit Nick Tregenza und Jonas Teilmann die zur Aufzeichnung von Schweinswalklicks im Bereich des wenig schiffbefahrenen Bereichs westlich von Sylt optimalsten Filtereinstellungen in allen sechs Scans benutzt und somit 55,2 Sekunden pro Minute mit denselben Einstellungen aufgezeichnet (Abb. 2).

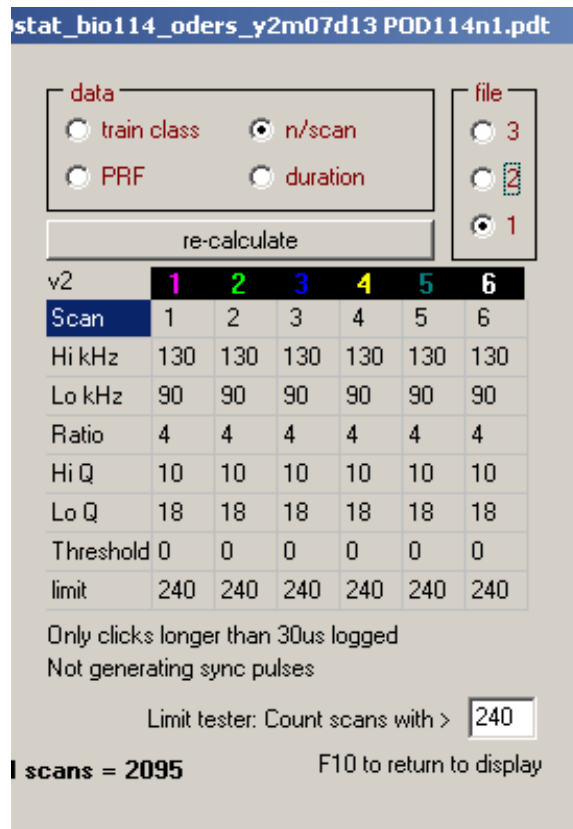


Abb. 2: In dieser Untersuchung verwendete Scan-Einstellungen im Programm T-POD.exe.

## 2.5 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 können mit einer zu den Detektoren gehörenden Software: „TPOD“ (für „Timing Porpoise Detector“) ausgelesen und mit Hilfe eines programminternen Algorithmus auf die Wahrscheinlichkeit von echten Schweinswalklicks hin geprüft werden. Der Algorithmus sucht nach Klickserien mit bestimmten Mustern und klassifiziert sie nach Angaben des Herstellers wie folgt:

*High probability click trains (high prob):* Diese Klickserien sind mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit (90%) Schweinswallaute.

*Low probability click trains (low prob):* 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 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“): Klickserien mit exakt regelmäßigem Klickintervall werden in diesem Frequenzbereich von Bootssonaren ausgesendet. 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 (Abb. 3).

Eine eingehende Untersuchung einer Vielzahl der durch den Algorithmus klassifizierten Klickserien zeigte, dass im Seegebiet westlich von Sylt die einzige regelmäßige Quelle von Störgeräuschen sehr eng im Zusammenhang mit dem Auftreten von Starkwindwetterlagen stand. Die wahrscheinlich durch wandernden Sand oder durch das Brechen von Wellen erzeugten Geräusche weichen jedoch sehr stark von den Mustern „echter“ Schweinswalklickserien ab.

Thomsen et al. 2004 konnten bei POD-Aufzeichnungen von Lauten gefangener Schweinswale im Delfinarium Harderwijk (Niederlande) zeigen, dass auch die vom internen Algorithmus als *doubtful click trains* („?“) bezeichneten Signale von Schweinswalen stammten. Mit diesen Erkenntnissen und nach Absprache mit dem Hersteller entschieden wir, alle Klickserien auszuwerten, die vom TPOD.exe-Algorithmus als „high prob“, „low prob“ und „?“ klassifiziert wurden.

Stichprobenweise wurden alle in die Auswertung eingeflossenen Datenserien auf falsche Schweinswalklicks hin untersucht, indem zwischen ein und fünf Klicktrains pro Tag mit hoher zeitlicher Auflösung (ms) auf das Auftreten typischer Schweinswalklicktrainmuster hin untersucht wurden.

Dabei konnte keine Klickserie als eindeutig falsch erkannt werden.

Als Textdatei ist ein Export der Daten in Tabellenkalkulationsprogramme möglich.

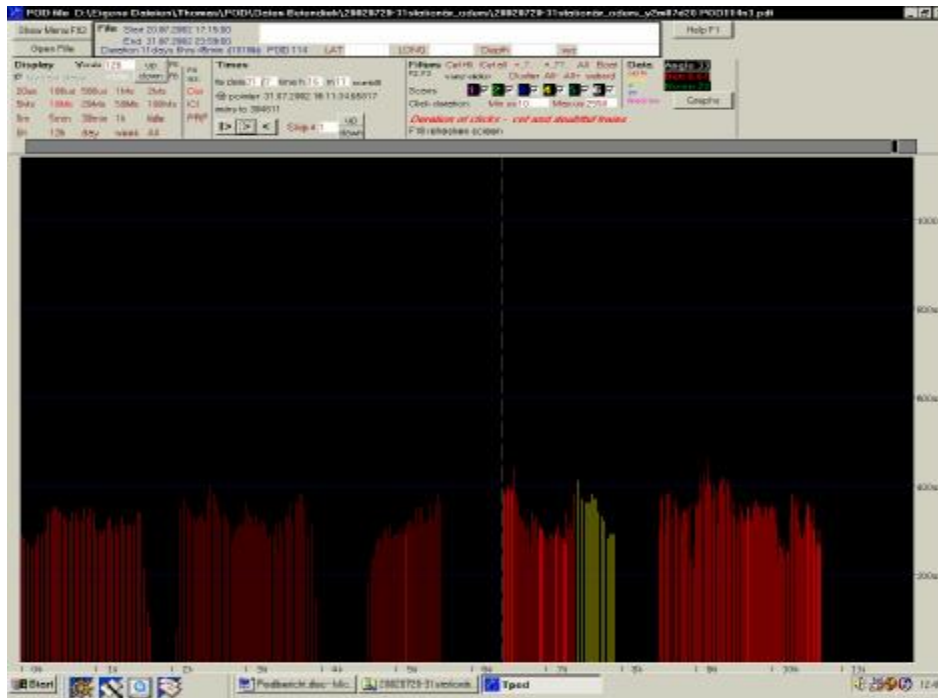


Abb. 3: Beispiele von Klick-Aufzeichnungen mit TPOD.exe: Aufzeichnungen ohne Filter (Wahrscheinlichkeit aufgezeichneter Klicks: rot und gelb = sicher (Cet hi und Cet all), grün = wahrscheinlich (+?), blau: fraglich (+??).

## 2.6 Ausbringungsorte der PODs

Die natürliche Schwankung im Vorkommen von Schweinswalen zwischen verschiedenen Jahren im Planungsgebiet des Windparks kann eine äußere (hier bau- und betriebsbedingte) Störung und Vertreibung der Tiere überlagern. Der Einfluss von Bau und Betrieb der WEA auf die Anwesenheit von Schweinswalen kann daher über den relativen Unterschied zwischen dem Eingriffs- und einem oder mehreren Referenzgebiet(en) vor und nach der Baumaßnahme erkannt werden (BACI-Ansatz s. Kapitel 5). Die Umweltbedingungen der Orte von Referenzmessungen sollten möglichst denen des Eingriffsgebietes entsprechen (z. B. Wassertiefe, Hydrographie, Nahrungsverfügbarkeit, etc.) und damit eine vergleichbare Dichte von Schweinswalen, bzw. von messbarer Schweinwalaktivität aufweisen. Planungs- und Referenzgebiet sollten also beide in einem zusammenhängenden, großräumigen Verbreitungsgebiet der Tiere liegen. Gleichzeitig sollte eine Mindestentfernung der Referenzmesspunkte zum Planungsgebiet vorliegen. TEILMANN et al. (2002) empfehlen einen Abstand von 10 km.

Für die Voruntersuchungen wurde zunächst ein Standort in der Nähe zum Planungsgebiet gewählt, an dem bereits Seezeichen vorhanden waren, die einen Schutz gegen Verluste durch Fischereiaktivität boten (Abb. 4, Station ODAS). An dieser Stelle wurden seit Juli 2002 bis November 2003 (mit Ausnahme der Wintermonate Januar und Februar) kontinuierlich mit zwei PODs Daten aufgezeichnet. Die Position liegt ca. 6,5 km vom Planungsgebiet entfernt. Da diese Position aufgrund der vorhandenen Seezeichen Fischereiverluste ausschließt, nutzten wir diese Stelle auch für die Kalibrierungsversuche.

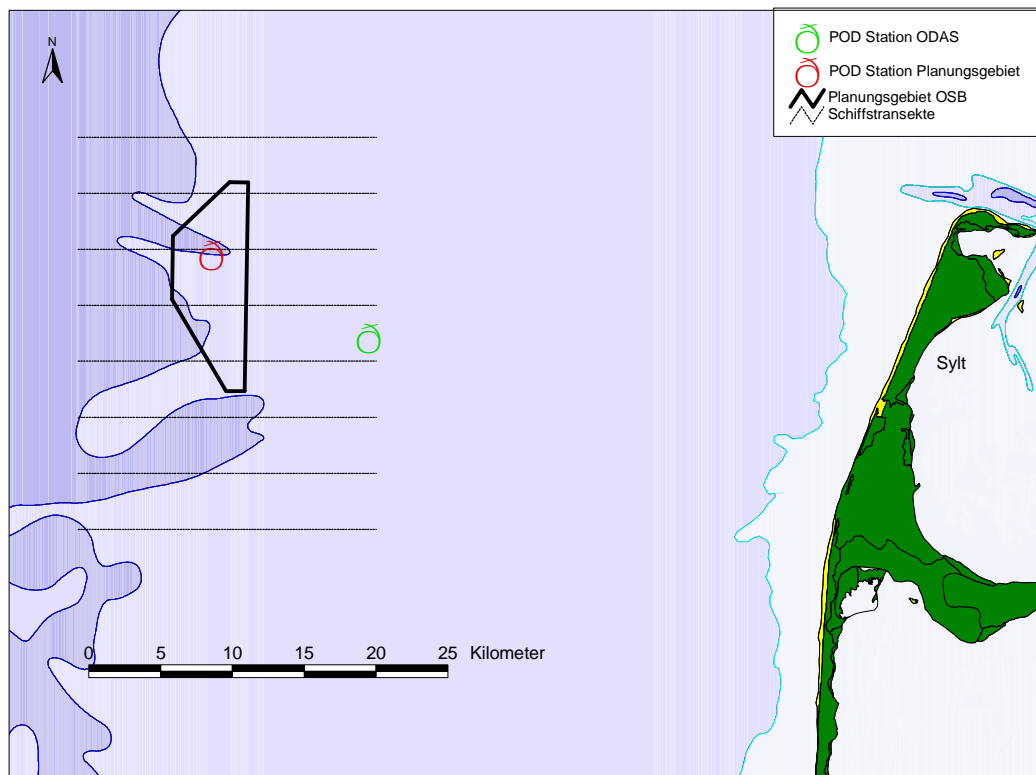


Abb. 4: Lage und Bezeichnung der zwei Stationen ausgebrachter PODs westlich von Sylt.

Ab dem 08. Mai 2003 war eine ca. 5 m große Warntonne mit Blinkfeuer im Zentrum des Planungsgebietes installiert. In direkter Nähe zu dieser Tonne wurden seit diesem Zeitpunkt zwei weitere PODs ausgebracht. Die Entfernung zur Station Odas-Tonne beträgt 9,5 km (Abb. 4, Station Planungsgebiet).

## 2.7 Anzahl und Aufzeichnungsdauer einzelner PODs

Im Jahr 2002 wurde mit insgesamt 5 PODs gearbeitet. Das Projekt startete am 6. Juli 2002 mit zunächst einem POD (Nr. 114). Nach verschiedenen Einstellungstests konnten ab dem 7. Juli 2002 auswertbare Daten erhoben werden. Ab dem 2. August standen uns zwei weitere PODs zur Verfügung (Nr. 133 und 135), ab dem 17. August wurden zusätzlich die PODs 150 und 151 eingesetzt. POD 135 lieferte bis zum 15. Dezember Daten und wurde dann geborgen. Die ausgebrachten PODs lieferten alle auswertbare Daten. Verschiedene Probleme verhinderten bei einigen Geräten eine kontinuierliche Datenaufzeichnung:

POD 151 ging am 25. August verloren und konnte nicht mehr geborgen werden. POD Nr. 133 zeichnete seit dem 13. September keine Daten mehr auf und wurde an den Hersteller zurückgeschickt.

POD Nr. 150 ging am 18. Oktober verloren.

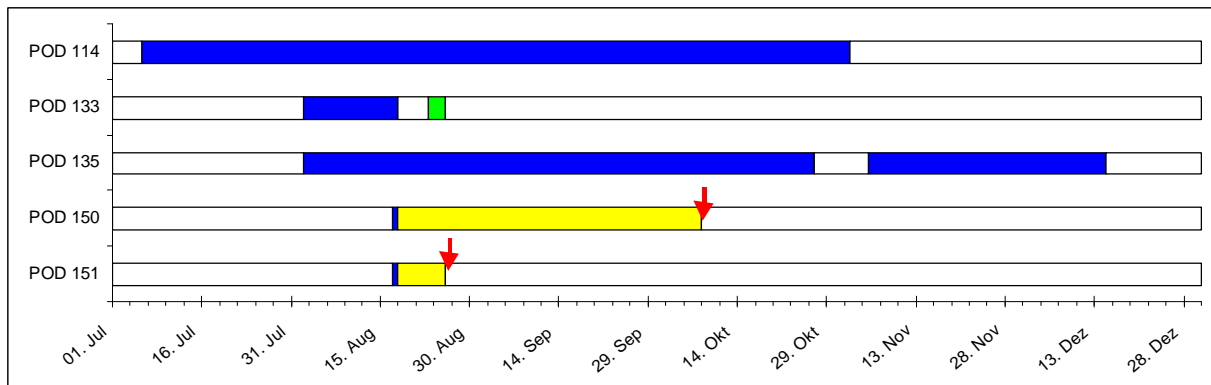


Abb. 5: Datenaufzeichnung ausgebrachter PODs im Jahr 2002. Blau = ODAS-Tonne; grün = Planungsgebiet, gelb = Referenzgebiet 2; Pfeile deuten den Verlust des jeweiligen PODs an.

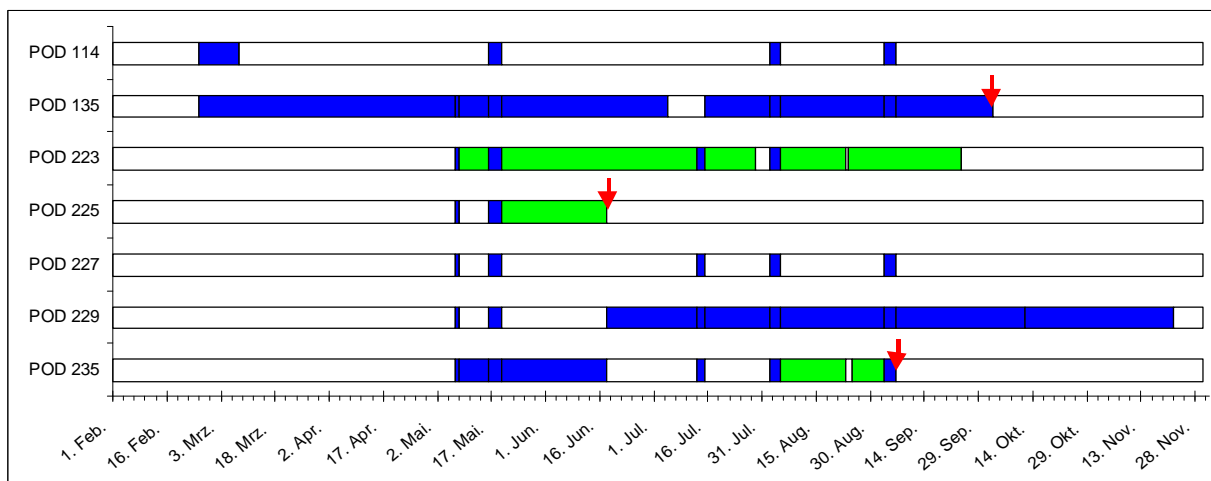


Abb. 6: Datenaufzeichnung ausgebrachter PODs im Jahr 2003. Blau = ODAS-Tonne; grün = Planungsgebiet; Pfeile deuten den Verlust des jeweiligen PODs an.

In 2003 starteten wir am 25. Februar mit zwei PODs. Ab dem 7. Mai konnten weitere fünf Geräte eingesetzt werden. Im Verlauf des Jahres verloren wir insgesamt drei PODs. Das Gerät Nr. 133 lieferte bei drei Einsätzen keine Daten trotz einer Überholung durch den Hersteller. Der POD wurde an den Hersteller zurückgeschickt.

Tab. 1: Anzahl der Stunden mit auswertbaren Daten.

POD-Nr	POD 114	POD 133	POD 135	POD 150	POD 151	POD 223	POD 225
Anzahl Stunden 2002	2.128,8	386,2	1.562,4	1.216,8	192,4	-	-
Anzahl Stunden 2003	472,5	0	4.970,4	-	-	3.227,2	819,8
POD-Nr	POD 227	POD 229	POD 235				
Anzahl Stunden 2003	298,2	2.852,1	1.837,1				

Im Jahr 2002 konnten mit fünf PODs insgesamt in 5.527,6 Stunden (= 230,3 Tage) Daten aufgezeichnet und ausgewertet werden. Im folgenden Jahr 2003 erhöhte sich die Datenmenge auf insgesamt 14.477,3 Stunden (603 Tage), die von sieben PODs aufgezeichnet wurden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anzahl Stunden, in denen die einzelnen Geräte in den Jahren 2002 und 2003 Daten aufgezeichnet haben.

## 2.8 Auswertung der Daten

In Anlehnung an TEILMANN et al. (2002) untersuchten wir in unserem ersten Zwischenbericht insgesamt sechs unterschiedliche Indikatoren, die mit Hilfe der TPOD.exe Software in Minuteneinheiten aufgezeichnet wurden (DIEDERICHS et al. 2002). Von diesen Parametern erwies sich der Indikator „Klickfrequenz“ als der geeignetste zur Darstellung von Schweinswalaktivität. Auf der 17ten Konferenz der European Cetacean Society im März 2003 in Las Palmas, Gran Canaria, Spanien, einigten sich die mit PODs arbeitenden Wissenschaftler darauf, für diesen Parameter einheitlich die Bezeichnung „porpoise-positive-minutes“ einzuführen. Deshalb wird im Folgenden der Begriff „Schweinswalpositive Minuten“ als Synonym für Klickfrequenz benutzt und meint damit den Anteil an Minuten eines bestimmten Zeitraums (Tag oder Stunde) mit Schweinswalklicks im Verhältnis zur Gesamtanzahl Minuten, die das jeweilige Gerät in diesem Zeitraum (Tag oder Stunde) Daten aufgezeichnet hat.

Schweinswalpositive Minuten werden in Prozent dargestellt.

Schweinswalpositive Minuten (SPM) = Anzahl Minuten mit Klickserien (pro definierten Zeitraum, z.B. Tag) / Gesamtanzahl Minuten (pro definierten Zeitraum, z.B. Tag)

Die Ergebnisse des ersten Jahres der parallel ausgebrachten PODs zeigten, dass die Geräte unterschiedlich sensitiv sind aber mit Hilfe des Parameters SPM untereinander geeicht werden können. In insgesamt fast 300 Stunden konnten im Jahr 2003 alle unsere benutzten PODs gegeneinander geeicht werden.

Dazu wurde die mittlere Anzahl SPM pro 12 Stunden (Halbtage) der nebeneinander ausgebrachten PODs berechnet und die Ergebnisse gegen den POD 227 aufgetragen (korreliert). Die Steigung der Regressionsgeraden dient dann als Korrekturfaktor, um die anderen PODs auf das Sensitivitätsniveau von POD 227 zu bringen.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Kalibrierung

Aufgrund der im Jahr 2002 festgestellten Sensitivitätsunterschiede zwischen den verschiedenen PODs führten wir im Jahr 2003 fünf Kalibrierungen mit insgesamt 17.891 Minuten (ca. 300 Stunden) durch (Tab. 2). Dazu brachten wir bis zu sieben PODs an einem

Ankersystem aus. Die PODs wurden in einem Abstand von ca. 2 m zueinander befestigt, so dass die zwei am weitesten voneinander entfernten PODs ca. 12 m weit auseinander lagen. Aufgrund ihres angenommenen Aufnahmeradius von ca. 200 m gehen wir davon aus, dass die PODs während des Kalibrierungsversuchs in etwa gleichen Beschallungen durch Schweinswale (aber auch durch natürliche Hintergrundgeräusche) ausgesetzt sind.

Tab. 2: Kalibrierungszeiten der 7 eingesetzten PODs in 2003 und Gesamtzeit der Kalibrierung pro POD.

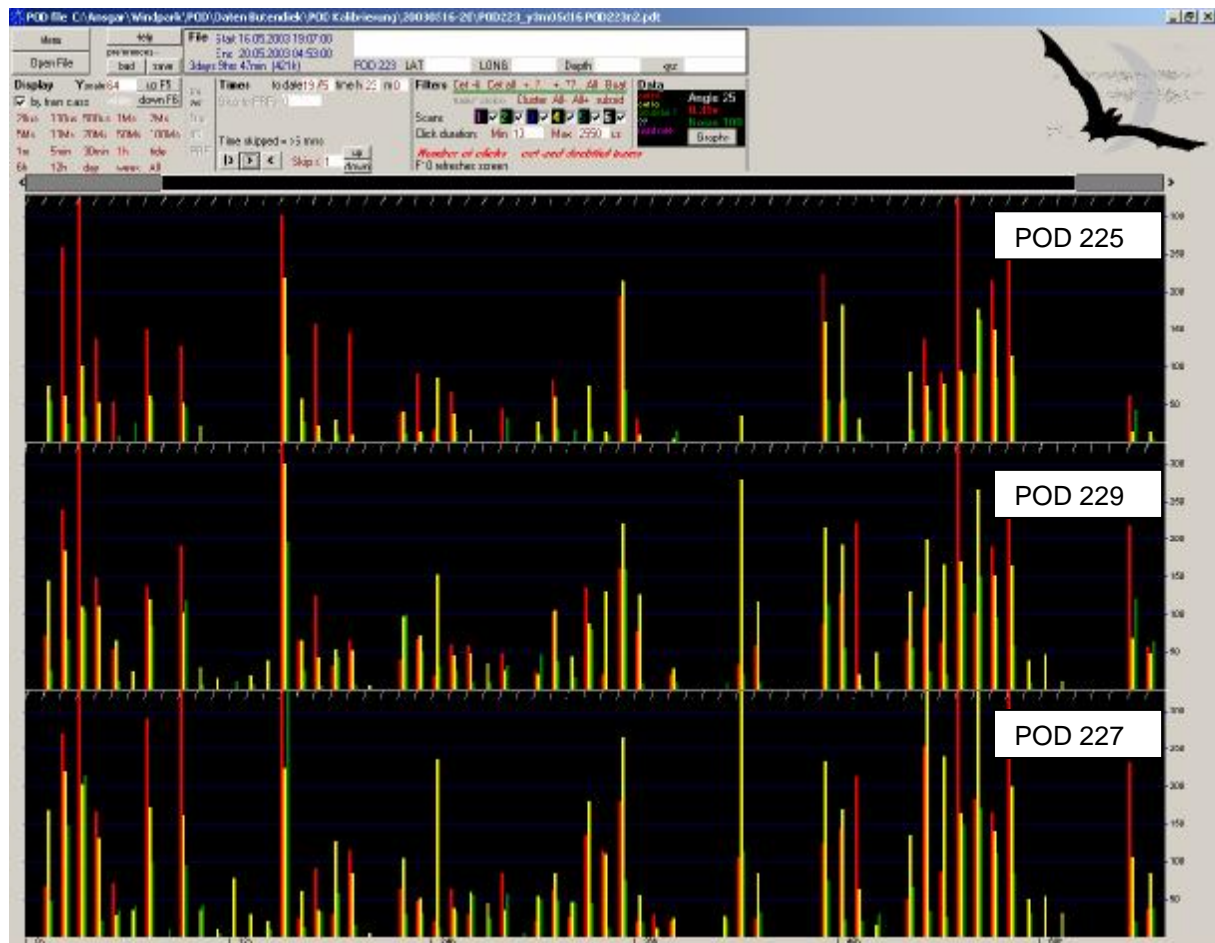
Kalibrierungszeit	POD 114	POD 135	POD 223	POD 225	POD 227	POD 229	POD 235
7./8. Mai		x	x	x	x	x	x
16.-20. Mai	x	x	x	x	x	x	x
13.-15. Juli			x		x	x	x
2.-5. Aug.	x	x	x		x	x	x
3.-6. Sept.	x	x			x	x	x
Minuten gesamt	<b>12.568</b>	<b>14.708</b>	<b>13.716</b>	<b>7.013</b>	<b>17.891</b>	<b>17.891</b>	<b>17.891</b>

Als Ergebnis bestätigte sich ein großer Unterschied hinsichtlich der Sensitivität mit der Schweinswalklicks von den jeweiligen PODs registriert wurden: So zeichnete POD 235 mit durchschnittlich 0,9 Klicks pro Minute, die das Gerät im Kalibrierungsversuch aufzeichnete ( $n = 17.891$  min), 3,2fach weniger Klicks auf als POD 225 mit durchschnittlich 2,9 Klicks pro Minute ( $n = 7.013$  min). Trotz dieser Unterschiede in der Anzahl aufgezeichneter Klicks konnte eine sehr enge zeitliche Korrelation der registrierten Schweinswalklicksequenzen (trains) zwischen den verschiedenen PODs gezeigt werden (Abb. 7).

Die enge zeitliche Korrelation in der Aufzeichnung von Klicktrains zeigt, dass die verschiedenen Geräte grundsätzlich die Aktivität von Schweinswalen in ihrer Umgebung registrieren, jedoch aufgrund unterschiedlicher Sensitivitäten Klicks von weiter entfernten Tieren oder von Walen, die ihren Schallkegel nicht exakt auf das Hydrofon gerichtet haben, unterschiedlich gut aufzeichnen.

Das zeitliche Übereinstimmen von Klickserien zwischen den verschiedenen PODs stimmt mit dem Ergebnis unseres ersten Zwischenberichtes überein. Der Parameter „Schweinswalpositive Minuten“ bestätigt sich als der beste Parameter zur Messung von Schweinswalaktivität. Verschiedene Autoren diskutieren die Klickintensität (Anzahl Klicks pro Minute mit Schweinswalaktivität) als weiteres wichtiges Maß zur Bewertung der Aktivität von Schweinswalen (KOSCHINSKI et al. 2003, HENRIKSEN et al. 2003, TOUGAARD et al. 2003). Die über den gesamten Kalibrierungszeitraum gemittelten Klickintensitäten waren zwischen den verschiedenen PODs sehr ähnlich (Minimum: 34, Maximum: 45 Klicks/min). Da hinsichtlich dieses Parameters eine deutlich schwächere Korrelation zwischen den PODs besteht ( $R^2 =$

0,6) und weder eine ausgeprägte tages- wie jahreszeitliche Phänologie sowie keine Korrelation zwischen SPM und Klickintensität besteht ( $R^2 = 0,001$ ), gehen wir davon aus, dass die Klickintensität kein geeigneter Indikator für Schweinswalabundanz und -aktivität in einem bestimmten Gebiet ist.



**Abb. 7:** Aufzeichnung von drei nebeneinanderliegenden PODs im Mai 2003 (225, 229 und 227). Die Abbildung zeigt die zeitliche Abfolge von Klickabfolgen („click-trains“), die in dieser Auflösung als farbige Balken dargestellt werden. X-Achse: Zeit (12 h Einheiten); Y-Achse Länge der Klicks in  $\mu$ s. Farbige Linien entsprechen Schweinswalclicks (rot = *high prob*; gelb = *low prob*; grün = „?“; siehe Kap.2.5).

In Abbildung 8 wurde die mittlere Anzahl Schweinswalpositiver Minuten pro Halbtage (12 Stunden) von jedem POD gegen POD 227 aufgetragen. Die sehr enge Korrelation wird durch das Bestimmtheitsmaß deutlich, das bis auf POD 235 bei über 0,9 liegt. Mit  $R^2 = 0,76$  fällt POD 235 etwas von den anderen Geräten ab, obschon auch damit eine deutliche Korrelation beschrieben wird.

Die Steigung der Regressionsgeraden wurde in der folgenden Auswertung als Korrekturfaktor benutzt. Der Anteil SPM eines Tages oder einer bestimmten Zeiteinheit (bei der tageszeitlichen Auswertung) eines PODs wurde mit dem entsprechenden Faktor multipliziert und somit auf das Sensitivitätsniveau von POD 227 gehoben (bzw. im Falle von POD 135 gesenkt).

Mit dem Faktor 1,97 (Steigung der Regressionsgeraden) weicht POD 223 am weitesten von POD 227 ab. POD 225 weist dagegen mit einem Faktor 1,1 fast die gleiche Sensitivität auf wie POD 227.

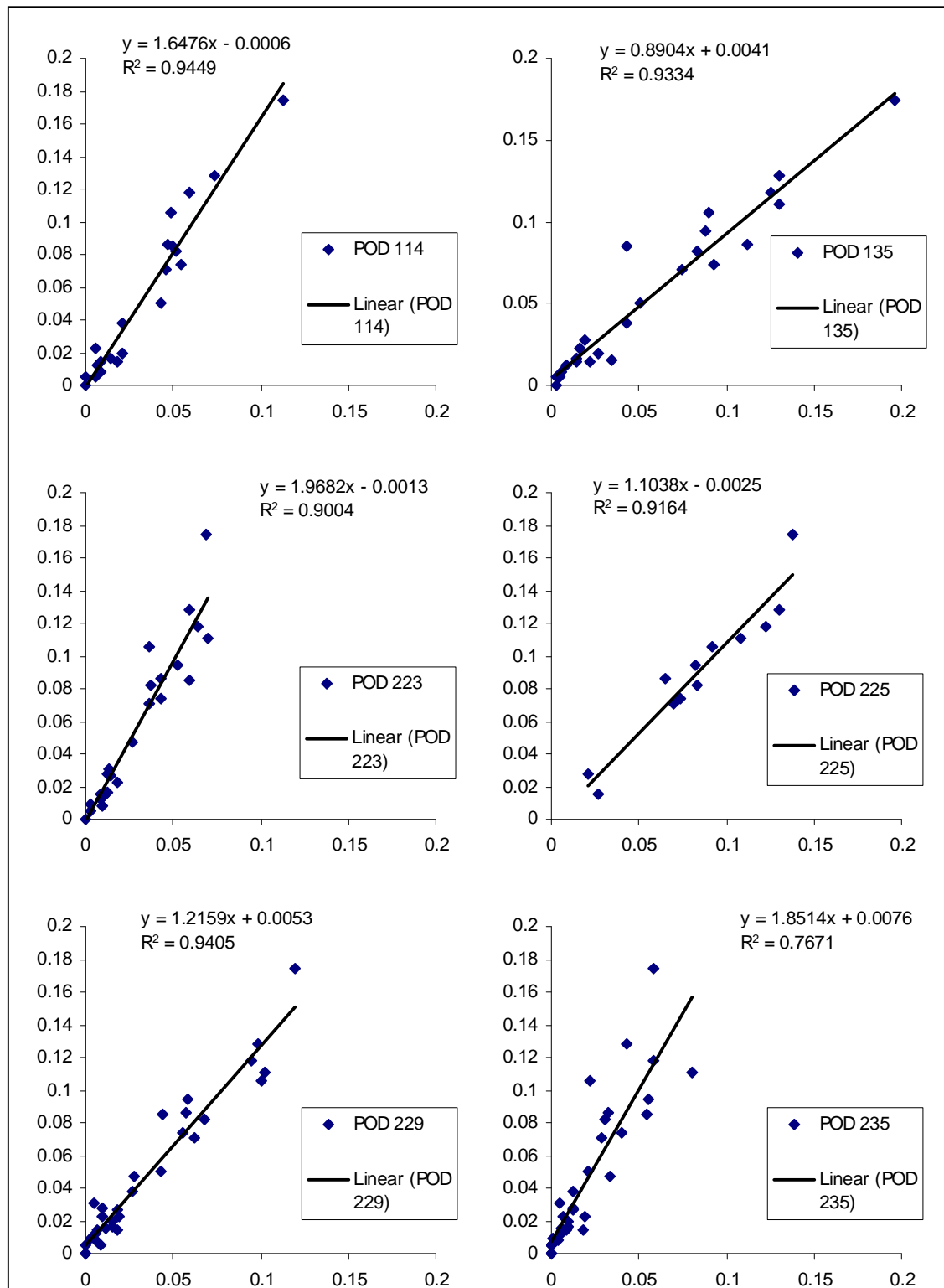


Abb. 8: Korrelation der SPM zwischen POD 227 und den anderen sechs eingesetzten PODs. Jeder Punkt steht für die Anzahl SPM/12 Stunden. Alle PODs sind gegen POD 227 kalibriert.

### 3.2 Phänologie aufgezeichneter Schweinswalaktivität

Aus o.e. Gründen haben wir uns bei der Auswertung nur auf den Parameter SPM eines Tages (24 Stunden) beschränkt und den im Kalibrierungsversuch berechneten PODspezifischen Korrekturfaktor konsequent angewendet.

Da bei diesem Parameter zwischen den verschiedenen PODs, die zusammen an einer Station ausgebracht waren, eine hohe positive Korrelation bestand (> 80 %), haben wir in der Auswertung die Ergebnisse der PODs einer Station auf einen mittleren Aktivitätswert zusammengefasst.

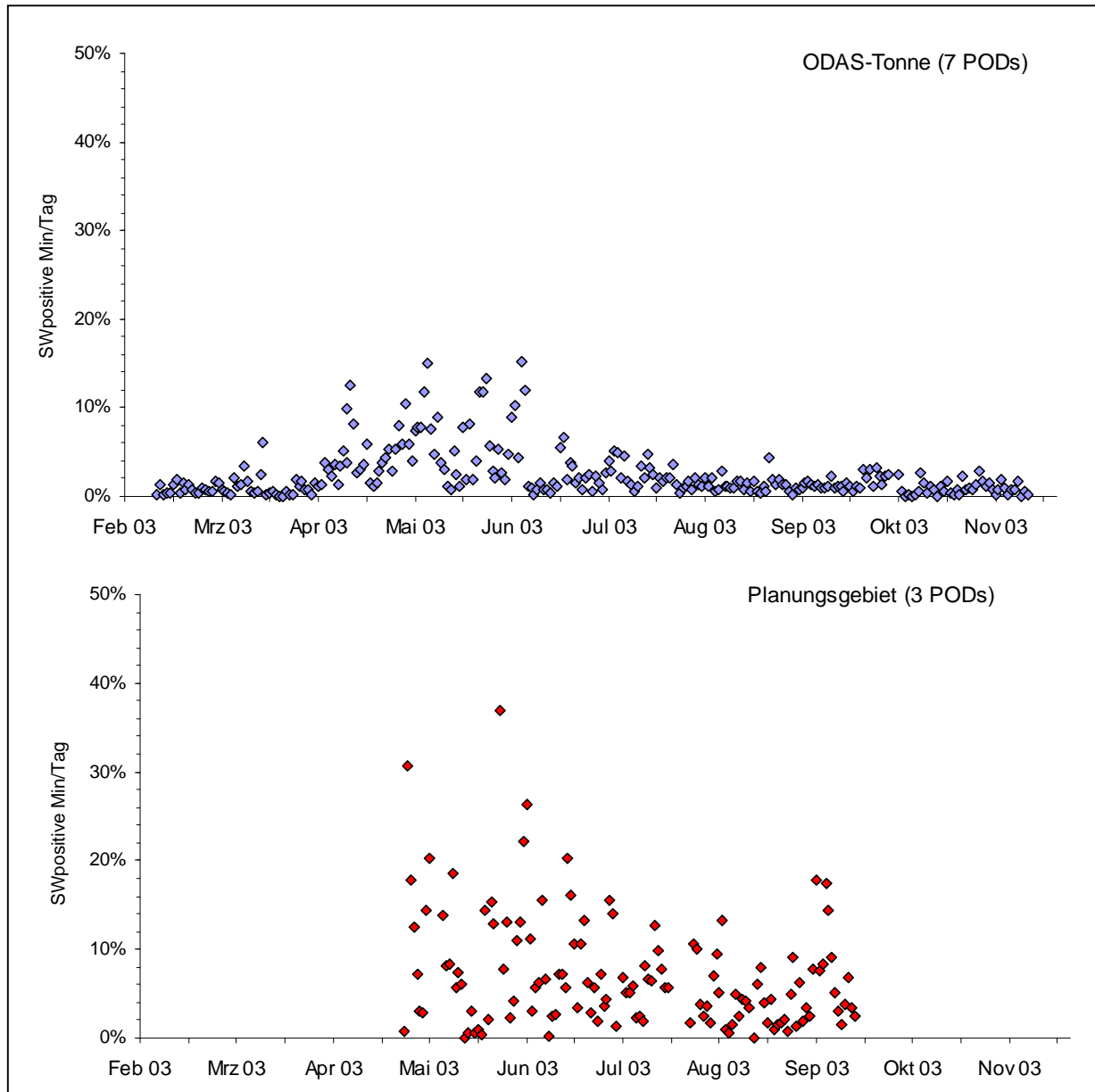


Abb. 9: Mittlere SPM/Tag von 7 PODs im Gebiet Odas-Tonne (oben) und 3 PODs im Gebiet Planungsgebiet (unten). Alle Werte korrigiert. Maximalwert im Planungsgebiet: 56 % am 6.Juni außerhalb der Skala.

Die täglichen SPM aus dem Jahr 2003 sind in Abbildung 9 dargestellt. Im Gebiet Odas-Tonne konnten wir zwischen Februar und November 2003 an insgesamt 269 Tagen Daten erheben. Dabei registrierten die Hydrofone an jedem Tag mit 24stündiger Erfassungszeit sichere Schweinswalklickserien. Die geringste mittlere Schweinswalaktivität am Standort Odas-Tonne war Anfang April als am 4. und 5. April nur jeweils in einer Minute des gesamten Tages Schweinswalklickserien aufgezeichnet wurden (0,07 % SPM/Tag). Maximalwerte wurden dagegen am 19. Juni und am 20. Mai erreicht. An beiden Tagen konnten im Mittel aus zwei PODs in 210 Minuten/Tag Schweinswalklickserien aufgezeichnet werden (15,1 % SPM/Tag). Über den Verlauf des Jahres lässt sich eine deutliche jahreszeitliche Phänologie mit niedrigen Werten im Winter bis Anfang April, Maximalwerten von Mitte April bis Mitte Juni und wieder geringer Schweinswalaktivität ab Anfang August zeigen. Auffallend ist eine starke Streuung der Werte in der Zeit maximaler Schweinswalaktivität im Frühsommer: Zwischen dem 26. April und dem 21. Juni (57 Tage) macht der Parameter SPM/Tag an 27 Tagen (47 %) Sprünge von über 3 % von einem auf den anderen Tag. In der übrigen Zeit (214 Tage) dagegen kommt ein solcher Sprung von über 3 % SPM/Tag nur an 5 Tagen (2 %) vor.

Am Standort Planungsgebiet wurden insgesamt an 128 Tagen zwischen Mai und September Daten erhoben. An diesem Standort konnten wir eine im Mittel 2,5fach höhere Schweinswalaktivität feststellen als am Standort Odas-Tonne. Ein Maximum wurde am 6. Juni erreicht als in über 800 Minuten/Tag Schweinswalklicks aufgezeichnet wurden (56 % SPM/Tag). Nur 10 Tage früher, am 27. Mai war der einzige Tag an dem kein Schweinswal an diesem Standort registriert wurde (0 % SPM/Tag).

Trotz stärkerer Streuung und weniger Aufzeichnungstage lässt sich auch für den Standort Planungsgebiet ein jahreszeitlicher Trend mit Maximalwerten in Mai und Juni und abnehmender Aktivität im Herbst feststellen.

Zur besseren Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Schweinswalaktivität im Verlaufe des Jahres haben wir den täglichen Anteil Schweinswalpositiver Minuten der jeweiligen PODs, die an einer Station ausgebracht waren, zusammengefasst und auf Pentadenwerte gemittelt (Abb. 10, 11).

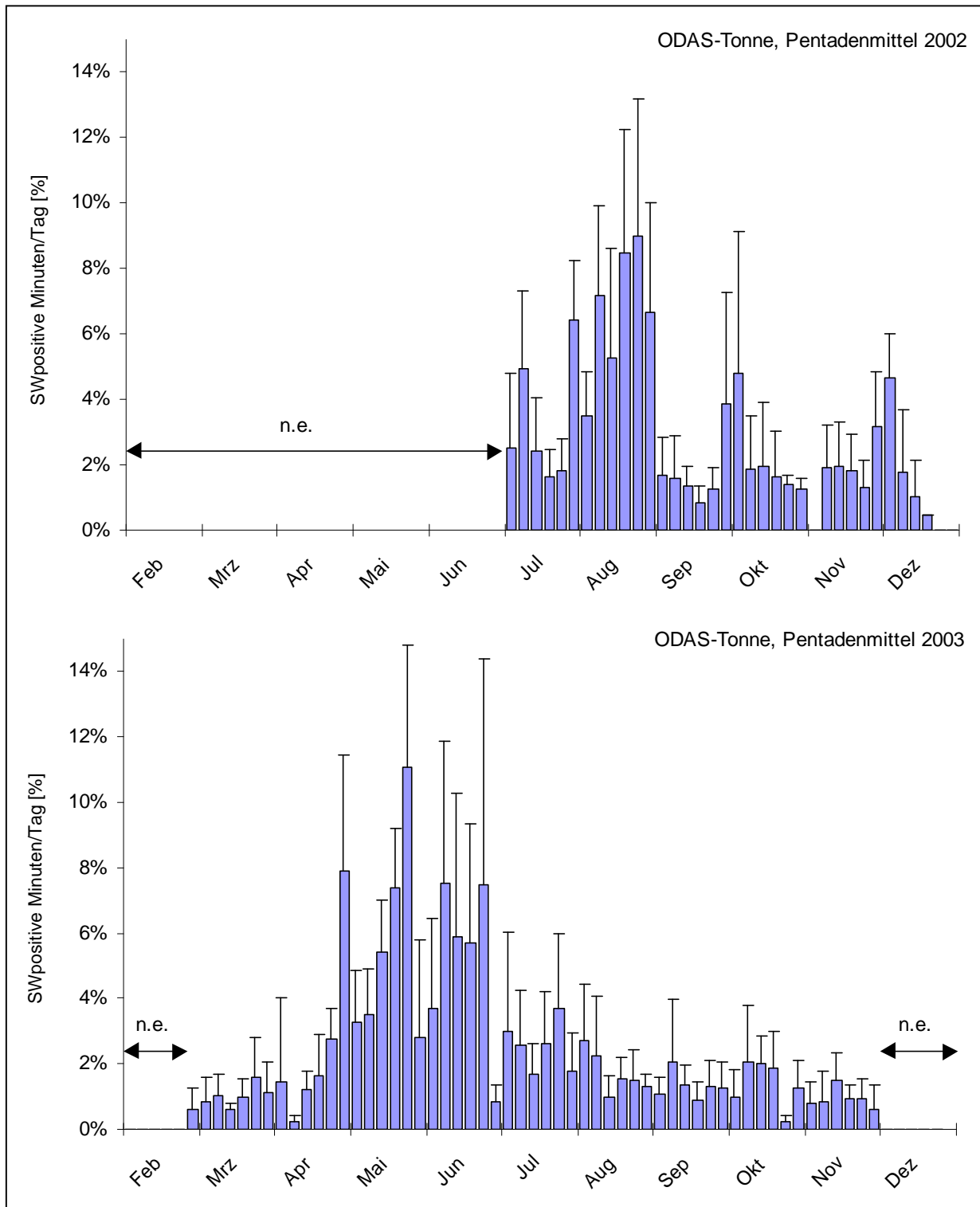


Abb. 10: Pentadenmittelwerte von SPM/Tag am Standort ODAS im Jahr 2002 (6.7.-15.12.) und 2003 (25.2.-23.11.) POD 135: 342 Tage, POD 114: 126 Tage, POD 229: 122 Tage, POD 235: 45 Tage, POD 227: 18 Tage, POD 223: 14 Tage, POD 225: 7 Tage). Tagesmittelwerte korrigiert. n.e. = nicht erfasst.

Am Standort Odas-Tonne lassen sich zwei Trends erkennen. Innerhalb des Jahres 2003 ist eine deutliche Phänologie in der Schweinswalaktivität zu erkennen mit einem Maximum im Mai und Juni und geringen Werten in Herbst und Winter (Februar bis März und September

bis Dezember). Aus dem Jahr 2002 liegen keine Daten aus den Monaten Mai und Juni vor. Die Daten aus den Monaten Juli bis Dezember unterscheiden sich vom nachfolgenden Jahr, insofern, dass eine im Mittel doppelt höhere Aktivität mit stärkeren Schwankungen festgestellt wurde als im gleichen Zeitraum in 2003. Zwar nimmt die Aktivität insgesamt vom Sommer zum Winter hin ab, so sind dennoch drei deutliche Aktivitätsgipfel im August, Anfang Oktober und Anfang Dezember zu erkennen.

Die Phänologie auf Pentadenbasis am Standort Planungsgebiet zeigt einen deutlichen Trend von Maximalwerten im Juni zu geringer Aktivität im Herbst (Abb.11). Jedoch schwanken die Werte auch auf Pentadenbasis wesentlich stärker als im Gebiet Odas-Tonne. Ende September wurden im Planungsgebiet noch Pentadenmittelwerte von über 10 % SPM/Tag erreicht und damit Werte, die im Gebiet Odas-Tonne nur innerhalb einer Pentade Ende Mai erreicht wurden.

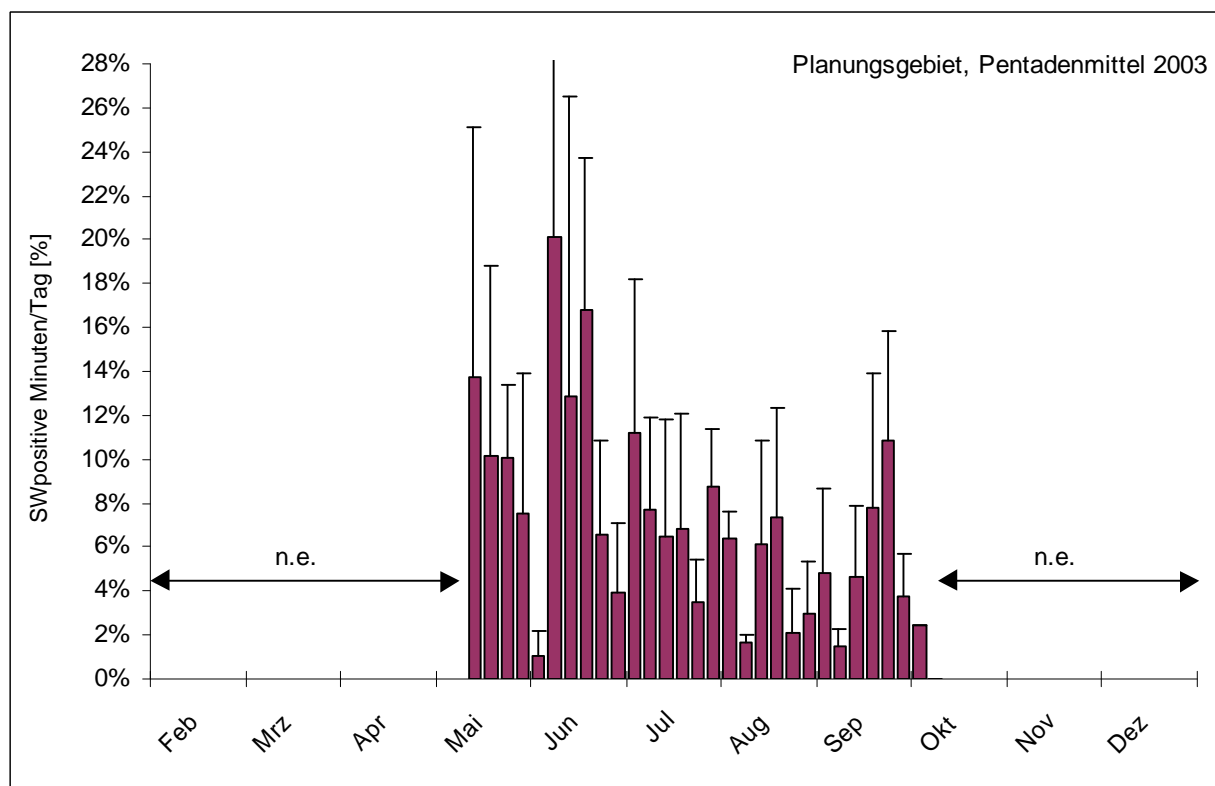


Abb. 11: Pentadenmittelwerte Schweinswalpositiver Minuten/Tag am Standort Planungsgebiet (POD 223: 130 Tage, POD 225: 30 Tage, POD 235: 29 Tage). Tagesmittelwerte korrigiert. n.e. = nicht erfasst.

Die Schweinswalaktivität auf Basis von SPM/Tag ist zwar zwischen den Standorten positiv miteinander korreliert (Abb. 12), jedoch ist die diese Korrelation nur schwach ausgeprägt ( $R^2 = 0,19$ ). Tage mit hohem Anteil SPM an einer Station korrespondieren nicht mit Tagen hoher SPM an der anderen Station.

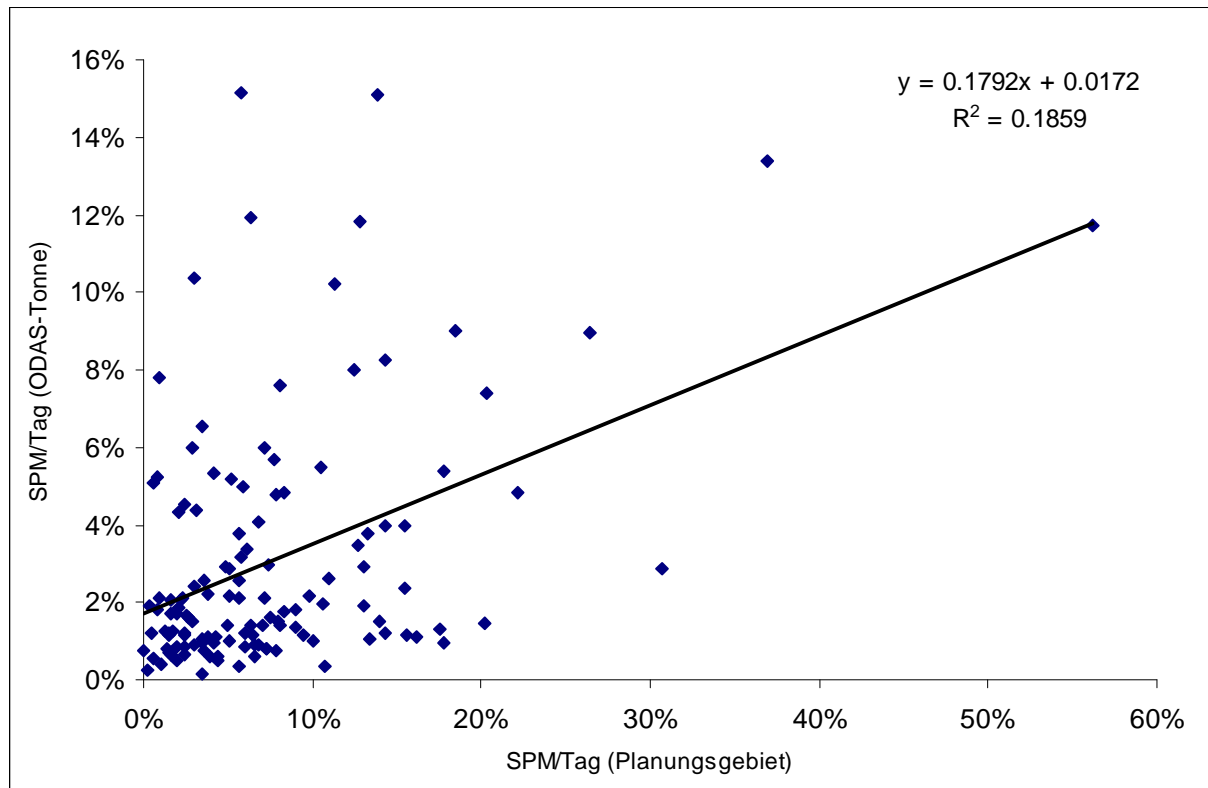


Abb. 12: Mittlere SPM/Tag von beiden Standorten zwischen Mai und Oktober 2003 gegeneinander aufgetragen.

Unsere Flugzeugzählungen zur Erfassung der Schweinswalbestände westlich von Sylt wurden in Monatsabständen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Schweinswale nicht gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt sind, sondern sowohl in Schulen von mehreren Individuen auftreten als auch über mehrere Quadratkilometer große Flächen in höherer Konzentration vorkommen können. In der Aufzeichnung von Klicklauten durch die PODs bedingt das geklumpfte Verteilungsmuster der Wale möglicherweise eine große Streuung in der Aufzeichnung von SPM/Tag: Während der POD den einen Tag im Zentrum eines Konzentrationsbereichs von Schweinswalen liegt, sind die Tiere am nächsten Tag weitergewandert und das Hydrofon zeichnet keine Klicks mehr auf.

Eine Berechnung auf Basis von Monatsmittelwerten trägt diesem Umstand Rechnung und erscheint uns als geeignet für einen Vergleich der POD-Daten mit den von Flugzeugen und Schiffen durchgeführten Zählungen (Abb. 13).

Sowohl an beiden Standorten im Jahr 2003 als auch am Standort Odas-Tonne 2002 bleibt das deutliche saisonale Muster erhalten mit einem Maximum im Frühsommer und geringen Werten in Winter und Herbst.

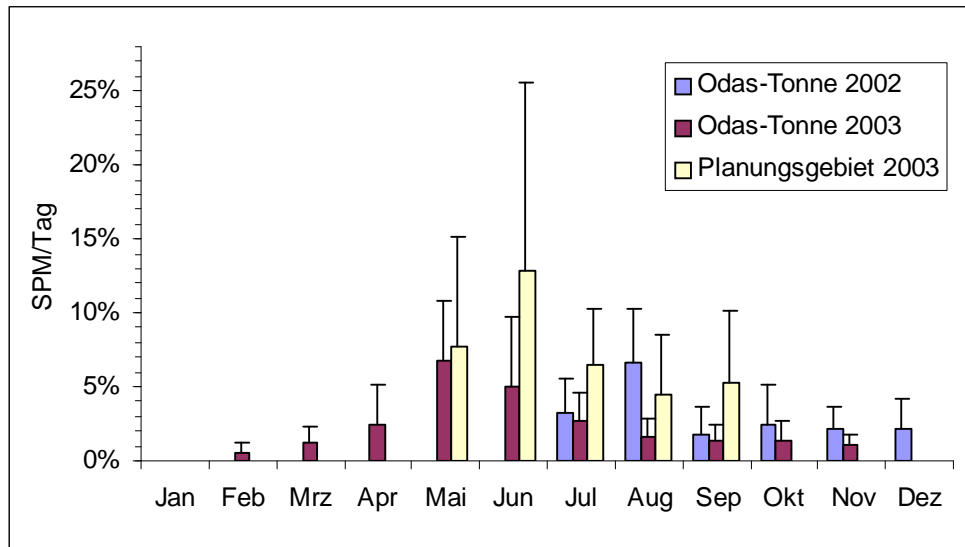


Abb. 13: Mittlere SPM/Tag auf Monatsbasis.

### 3.3 Tagesaktivitäten

Um zu überprüfen, ob in der aufgezeichneten Klickaktivität der Schweinswale ein Tagesrhythmus erkennbar ist, werteten wir Daten beider Standorte auf Basis von 24 Stunden aus. Dazu wurden alle aufgenommenen SPM je eines Gerätes aus den Monaten Juni (maximale Schweinswalaktivität) und September (minimale Schweinswalaktivität) für jede Stunde eines Tages summiert. Abbildung 13 und 14 zeigen für jede Tagesstunde den Anteil SPM pro Gesamtaufzeichnungszeit (Werte korrigiert).

Es zeigte sich an beiden Standorten ein ausgeprägter Tagesverlauf mit hoher Aktivität zwischen 4:00 Uhr morgens und 18:00 Uhr Nachmittags und geringer Aktivität in der Nacht.

Auffällig ist dabei ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Gebieten: Zwar verläuft der Trend beider Kurven einander ähnlich und es besteht zumindest im September eine positive Korrelation ( $R^2 = 0,34$ ), so liegen die Stundenwerte im Planungsgebiet im Juni durchschnittlich 2,5fach und im September sogar mehr als 4fach so hoch als im Gebiet Odas-Tonne.

Im September ist im Gebiet Odas-Tonne nur noch eine schwach ausgeprägte Tagesrhythmik mit höheren Werten zwischen 4:00 Uhr und 12:00 Uhr zu erkennen. Es muss jedoch beachtet werden, dass im September an diesem Standort insgesamt nur noch eine geringe Aktivität gemessen werden konnte (1,4 % SPM/Tag im Gebiet Odas-Tonne zu 5,3 % SPM/Tag im Planungsgebiet, Abb. 9).

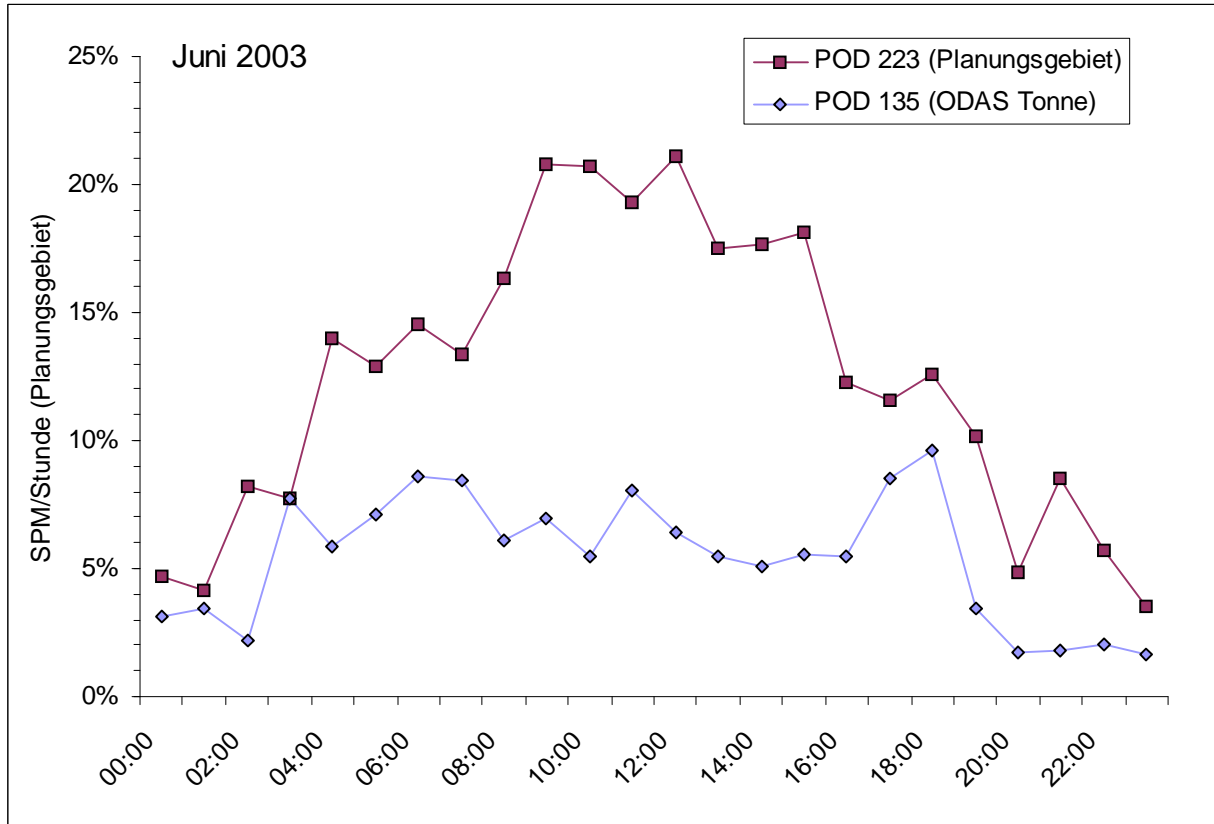


Abb. 14: SPM/ Stunde aus allen Daten von POD 223 und 135 aus Juni.

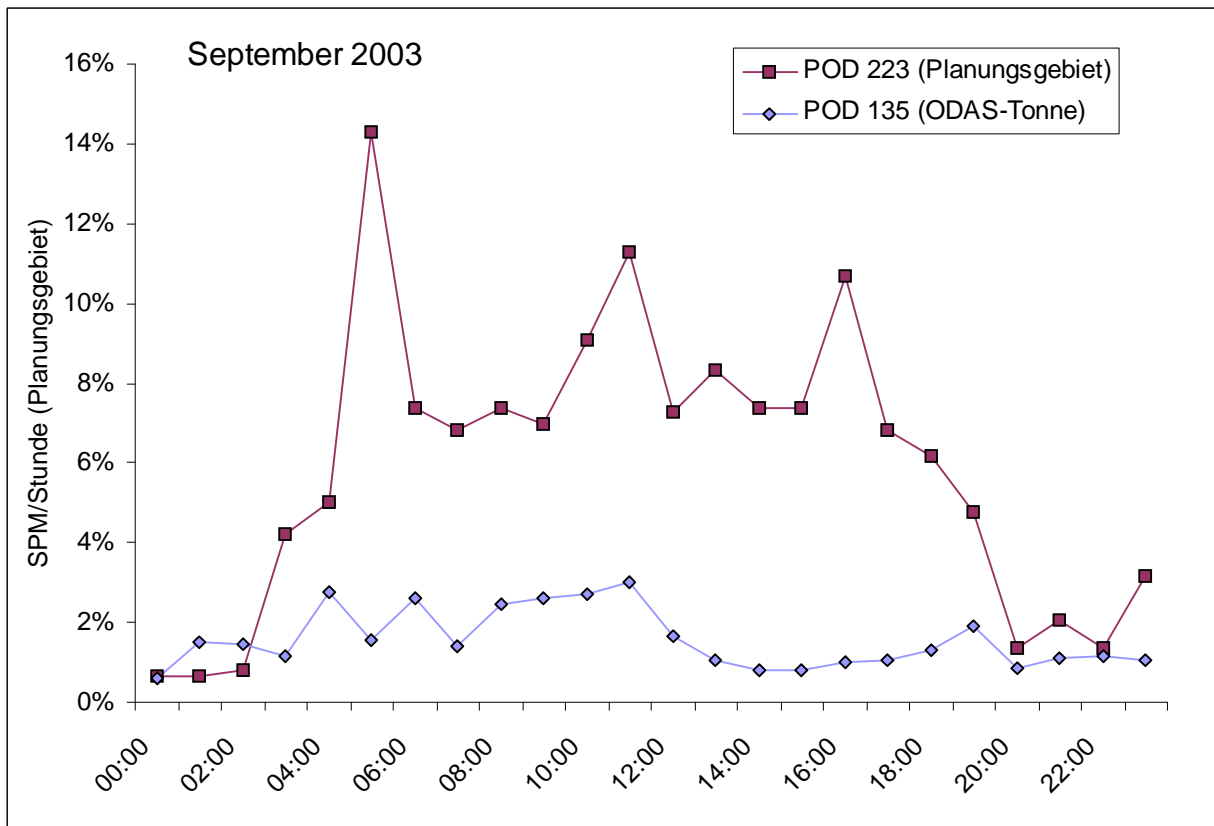


Abb. 15: SPM/ Stunde aus allen Daten von POD 223 und 135 aus September.

### 3.4 Analyse einzelner Sequenzen (Trains)

Anfang Juni wurde an beiden Stationen die höchste Schweinswalaktivität registriert. POD 223 erreichte am 6. Juni mit 475 schweinswalpositiven Minuten (33 % SPM/Tag) ein Maximum. Einen Tag später am 7. Juni zeichnete POD 135 im Gebiet Odas-Tonne 237 Minuten mit Schweinswalaktivität auf (16 % SPM/Tag). Aufgrund dieser hohen Anzahl von Schweinswalkontakten wurden die Klicks in dem Zeitraum Anfang Juni (1. bis 12. Juni bei POD 223, Station Planungsgebiet und bei POD 135, Station Odas-Tonne) einer Feinanalyse unterworfen, indem jeder Klick einer Klicksequenz, der durch das TPOD.exe-Programm als schweinswalwahrscheinlich identifiziert wurde, auf Uhrzeit (Genauigkeit auf Mikrosekundenbasis), Klicklänge, Frequenz, Anzahl Klicks pro Sequenz und Klickdauer hin ausgewertet wurde (Tab. 3).

Die statistische Auswertung von 78.883 einzelnen Klicks in 4.679 Klicksequenzen (trains) an POD 223 ergab im Mittel 16,9 Klicks pro train. Die durchschnittliche Sequenzlänge dauerte 0,48 Sekunden und reichte von 0,036 bis maximal 9 Sekunden.

2.458 einzelne Trains mit insgesamt 37.972 Klicks, die von POD 135 im selben Zeitraum zwischen 1. und 12. Juni aufgezeichnet wurden, hatten mit durchschnittlich 15,5 Klicks/train eine sehr ähnliche Anzahl Klicks wie POD 223 und mit einer mittleren Trainlänge von 0,58 Sekunden eine vergleichbare Dauer (min.: 0,037 s; max.: 4,7 s). Die mittlere Frequenz, mit der die Klicks innerhalb einer Sequenz ausgestoßen wurden (= „Pulse Repetition Frequency“) lag um 11 Hz auseinander. Der Anteil hochfrequenter Klickserien (> 100 Hz) an der Gesamtzahl aufgezeichneter Klicksequenzen ist bei beiden Geräten mit 3 % (POD 223), bzw. 2,5 % (POD 135) fast gleich und insgesamt sehr gering.

Geringe Unterschiede ergaben sich in der mittleren Dauer eines einzelnen Klicks. Die Klicks im Planungsgebiet Odas-Tonne dauerten im Mittel 25  $\mu$ s länger als bei POD 135 im Gebiet Odas-Tonne.

Tab. 3: Feinanalyse von Einzelklicks. (PRF = Pulse Repetition Frequencies)

	POD 223 (Planungsgebiet, 1.-18. Juni)	POD 135 (Odas-Tonne, 1.-12. Juni)
Klicks pro Sequenz	16,9 $\pm$ 15,0	15,5 $\pm$ 13,5
Sequenzlänge	0,48 s $\pm$ 0,49 s	0,58 s $\pm$ 0,51 s
Klickdauer	125,3 $\mu$ s $\pm$ 146,9 $\mu$ s	100,8 $\mu$ s $\pm$ 114,9 $\mu$ s
PRF	48,0 Hz $\pm$ 29,9 Hz	36,8 Hz $\pm$ 33,1 Hz
Lautabstand innerhalb einer Sequenz	37 ms $\pm$ 41 ms	45 ms $\pm$ 38 ms
Anzahl hochfrequenter Sequenzen (> 100 Hz, < 10 ms Lautabstand)	139 (Max: 557 Hz) entspricht 3 % aller Sequenzen	62 (Max: 589 Hz) entspricht 2,5 % aller Sequenzen

Insgesamt zeigt die Feinanalyse der aufgezeichneten Klicks ein sehr ähnliches Lautmuster an beiden Standorten.

## 4 Diskussion

In der vorliegenden Studie sind Ergebnisse von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswallauten im zweiten Jahr ihres Einsatzes dargestellt.

Die im ersten Jahr gesammelten Erfahrungen bezüglich unterschiedlicher Sensitivität der eingesetzten Geräte konnten 2003 in Form einer Kalibrierung umgesetzt werden. Dazu wurden alle verfügbaren Geräte wenige Meter voneinander entfernt für insgesamt 12,5 Tage ausgebracht.

Im Ergebnis zeigten sich teilweise hohe Sensitivitätsunterschiede zwischen den einzelnen Geräten, jedoch konnten wir eine hohe Korrelation zwischen den auf Halbtage gemittelten Werten von SPM der einzelnen PODs gegenüber den entsprechenden Werten des als Eichgerät eingesetzten POD 227 nachweisen. Obwohl nicht alle Geräte die maximale Kalibrierungszeit von 12,5 Tagen erreichten, betrug der  $R^2$  Wert durchschnittlich 0,9.

Diese hohe Korrelation erlaubt es, die Ergebnisse auf Basis von SPM zu korrigieren und alle eingesetzten Geräte auf das Sensitivitätsniveau des Eichgerätes zu heben (bzw. im Fall von POD 135 zu senken). Der größte Sensitivitätsunterschied gegenüber POD 227 lag bei POD 223 mit einer 2fach geringeren Erfassung SPM/Halbtage.

Mit dieser Kalibrierung ist es möglich, die Daten unterschiedlicher Geräte aus verschiedenen Gebieten direkt miteinander zu vergleichen.

Angewendet wurde die Kalibrierung auf die PODs, die an den zwei 9,5 km weit auseinanderliegenden Standorten Odas-Tonne und Planungsgebiet ausgebracht waren (Abb. 4).

An beiden Stationen waren im Jahr 2003 über einen Zeitraum von neun Monaten (Station Odas-Tonne), bzw. 4,5 Monaten (Station Planungsgebiet) mindestens einer, die meiste Zeit aber gleichzeitig zwei PODs ca. zwei Meter über dem Meeresgrund befestigt und zeichneten Daten auf.

Trotz des geringen Erfassungsradius der PODs konnte eine sehr hohe Anzahl an Schweinswalregistrierungen erreicht werden. Die den Daten zugrunde liegende Kontaktrate entspricht einer Minute bis über 900 Minuten eines Tages mit Schweinswalklicksequenzen. Die Daten zeigen, dass im Seegebiet westlich von Sylt über das gesamte Jahr hinweg Schweinswale vorkommen, da zwischen Februar und Dezember täglich Schweinswallaute aufgezeichnet werden konnten.

Beide Messstationen zeigen ausgeprägte saisonale Muster, die sich im Grundmuster sowohl in zwei aufeinanderfolgenden Jahren an der Station Odas-Tonne als auch in einem Jahr zwischen den beiden Stationen Odas-Tonne und Planungsgebiet ähneln.

Es ist zwar eine große Streuung der Einzeltageswerte insbesondere in den Zeiten höchster Schweinswalaktivität Ende Mai zu erkennen, jedoch liegen die Tage hoher Aktivität hintereinander und werden abgewechselt von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen geringer Aktivität. Dieses Muster von Perioden mit mindestens zwei Tagen relativ niedriger und Perioden mit hoher Schweinswalaktivität ist an beiden Standorten erkennbar.

Fasst man die täglichen Aktivitätswerte in Pentadenmittelwerte zusammen, so zeigt sich, dass sich in beiden Gebieten eine deutliche Saisonalität mit Maximalwerten zwischen Mai und Juni darstellen lässt.

Um dieses saisonale Muster zu interpretieren und Aussagen über Anwesenheitsmuster, Abundanzen und Aktivitäten der Schweinswale zu machen, muss zunächst die Frage geklärt werden, ob diese Aufzeichnungen von Schweinswallauten dichteabhängig oder durch unterschiedliches Verhalten der Tiere im Gebiet begründet sind oder ob beide Faktoren eine Rolle spielen.

Da gerade im Küstenbereich der Nordsee eine rein visuelle Orientierung der Schweinswale durch die natürliche Wassertrübung kaum möglich ist, kann angenommen werden, dass die Tiere die Echolokation als wichtiges Orientierungs- und Ortungssystem beständig einsetzen. Die Registrierung von Klicklauten sollte demnach eng mit der Anwesenheit von Schweinswalen korreliert sein. Die hohe Streuung der auf Tagesbasis ermittelten Aktivitätswerte passt in diese Hypothese unter der Voraussetzung, dass die Tiere nicht gleichmäßig verteilt sondern geklumpt auftreten. Die Ergebnisse der Kartierungen von Flugzeug oder Schiff bestätigen eine geklumpfte Verteilung. So konnten z.B. am 28. Mai 2002 insgesamt 234 Schweinswale bei optimalen Erfassungsbedingungen vom Schiff aus gezählt werden. Trotz vergleichbarer Erfassungsbedingungen wurde ein solcher Wert später im gleichen Jahr wie auch 2003 nicht wieder erreicht. Die Verteilung dieser hohen Anzahl Schweinswale war nicht gleichmäßig, sondern auf wenige Bereiche des insgesamt 384 km<sup>2</sup> großen Untersuchungsgebietes konzentriert (Abb. 16). Nach Anwendung einer einfachen Kernschätzung mit 50 % und 95 % Konfidenzintervall zeigt sich, dass auf der insgesamt 128 km langen Transektstrecke 50 % der Sichtungen auf einen Streckenabschnitt von nur ca. 15 km entfielen.

Ähnliche Verteilungsmuster mit lokalen Konzentrationsbereichen lassen sich auch nach Ergebnissen der Flugzeugzählungen darstellen. Dabei wird deutlich, dass solche Konzentrationsbereiche mitunter sehr große Meeresflächen von mehreren 100 km<sup>2</sup> einnehmen können.

Zählungen in kurzen Zeitabständen konnten zeigen, dass Konzentrationsbereiche von Schweinswalen nicht von Dauer sind, sondern sich sehr schnell verschieben können.

Auch TOUGAARD et al. (2004) stellen anhand von Schiffssurveys im Seegebiet von Horns Rev, fest, dass Schweinswale ein sehr geklumpertes Auftreten zeigen was sich in einer hohen Variation der Zählraten ausdrückt. Dieses Gebiet liegt nur ca. 50 km nördlich unseres Untersuchungsgebietes.

TEILMANN et al. (2004) untersuchten das Wander- und Tauchverhalten von Schweinswalen im Skagerrak und Kattegat mit Hilfe von Fahrtenschreibern (Time-at-depth (TAD)-Recordern) und der Satellitentelemetrie. Insgesamt 52 Schweinswale wurden zwischen 6 und 349 Tagen verfolgt. Es zeigte sich ein hohes Maß individueller Variation, indem einzelne Tiere über

Wochen in begrenzten Gebieten blieben, während andere über einen langen Zeitraum bis zu 110 km an einem Tag zurücklegten. Tiere, die in Skagen (Skagerrak) besendert wurden, zeigten teilweise unterschiedliche Aufenthaltsorte für Winter und Sommer. Grundsätzlich war der Aufenthaltsbereich („Homerange“) der Tiere im Winter größer als im Sommer. Die durchschnittliche Fläche, in der 50 %, bzw. 95 % der Registrierungen eines Tiers ( $n = 20$ ) aufgezeichnet wurden, betrug 9.780 km<sup>2</sup>, bzw. 58.821 km<sup>2</sup>.

Deutlich unterschiedliches Wanderverhalten einzelner Tiere zeigten auch READ & WESTGATE (1997) für den nordwestlichen Atlantik. Exemplarisch untersuchten LUCKE et al. (2000) das Verhalten eines Schweinswals während der Nachtstunden (19:00 bis 8:00 Uhr) am Meeresboden, wenn das Tier nahezu ausschließlich mit Hilfe der Echolokation die Umwelt wahrnimmt. Die durchschnittliche Schwimgeschwindigkeit betrug in diesem Zeitraum etwa 4,5 km/h und erreicht damit die maximale Tagesdurchschnittsgeschwindigkeit, die auch von TEILMANN et al. (2004) mit 4,6 km/h angegeben wird. KOSCHINSKI & CULIK (2001) berichten von einer Wandergeschwindigkeit von 8 km/h.

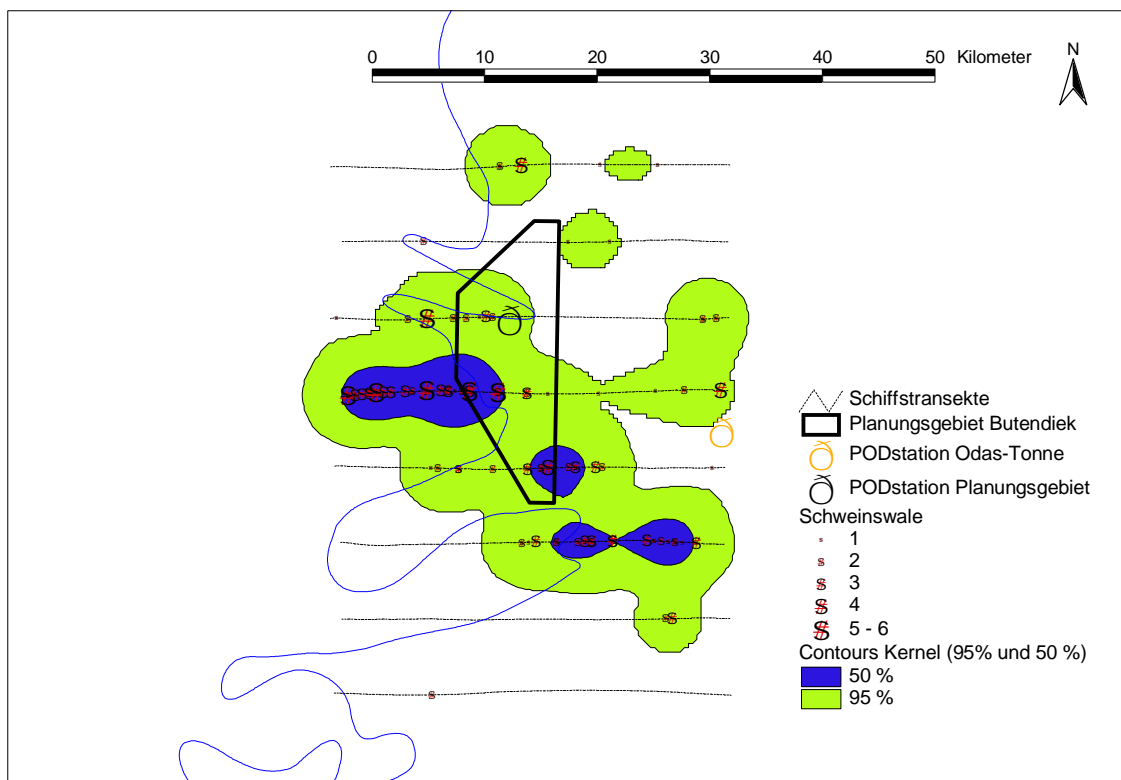


Abb. 16: Verteilung von 234 Schweinswalen (rote Punkte) und Dichteabschätzung nach Kernschätzung mit 50 % und 95 % Konfidenzintervall.

Zusammenfassend können die vorgestellten Literaturdaten im Zusammenhang mit unseren Ergebnissen die teilweise stark schwankenden täglichen Klickaktivitätsmuster an einem Standort erklären. Das geklumpfte Vorkommen der Schweinswale zusammen mit ihrer hohen Mobilität führt zu einer schnell wechselnden Anzahl an Schweinswalen innerhalb des Erfassungsradius eines PODs. Auch die sehr unterschiedlichen Anteile SPM an einem Tag an nur 10 km voneinander entfernt liegenden Geräten lassen sich damit erklären.

Fasst man die täglichen Klickaktivitätswerte in Pentaden zusammen, so zeigt sich in beiden Gebieten eine deutliche Saisonalität mit Maximalwerten zwischen Mai und Juni. Der Bestandsverlauf des Schweinwals nach Flugzeugzählungen aus einem 2.500 km<sup>2</sup> großen Seegebiet westlich von Sylt zeigen einen ähnlich ausgeprägten Jahresgang. Geringe Werte von 0,5 und weniger Tieren/km<sup>2</sup> berechneten wir für die Wintermonate (keine ausreichenden Sichtungshäufigkeiten für Dichteberechnungen) und deutlich höhere Werte im Frühjahr und Sommer. Dabei trat die höchste Dichte in 2001 und 2002 im Mai mit 3,7 bzw. 4,6 Tieren/km<sup>2</sup> und in 2003 im Juni mit 5,4 Schweinswalen/km<sup>2</sup> auf. Wir vermuten eine ausgeprägte alljährliche Einwanderung von Schweinswalen in ein großflächiges Seegebiet westlich Jütlands und damit auch in das Untersuchungsgebiet. Diese Parallelität der Jahresphänologie mit den Ergebnissen der flugzeuggestützten Schweinswalbefassung aus dem gleichen Seegebiet stützen die Annahme, dass das mit Hilfe von PODs ermittelte Aktivitätsmuster auf Basis SPM die Anwesenheit von Schweinswalen widerspiegeln. Befinden sich viele Schweinswale im Erfassungsbereich eines PODs, so werden auch viele Minuten mit Klickaktivität aufgezeichnet.

Mit diesem Ergebnis ist es möglich, sowohl auf Basis einer täglichen Auswertung Aussagen über kurzzeitige Anwesenheitsmuster von Walen an einem bestimmten Punkt zu treffen als auch auf Basis von Pentaden oder Monaten langfristige Trends in der Verteilung der Tiere zu erkennen.

Ein sehr ähnliches saisonales Muster konnten auch TOUGAARD et al. (2004) für den Parameter SPM am Standort Horns Rev feststellen mit Maximalwerten im Juli und einem Minimum im Februar und November.

Die Anzahl aufgezeichneter Klicks pro Minute mit Schweinswalaktivität (Klickintensität) scheint dagegen unabhängig von der Anzahl Schweinswale im Gebiet zu sein, da dieser Parameter über die gesamte Erfassungszeit konstant zwischen 30 und 40 Klicks/min (durchschnittlich 35 Klicks/min) blieb und keine Korrelation mit dem Parameter SPM zu erkennen war. Auch im Seegebiet Horns Rev variiert die Klickintensität zwischen 35 und 60 Klicks/min (TOUGAARD et al. 2004). Zwar liegt die durchschnittliche Klickintensität mit 47 Klicks/min etwas höher, so können aber auch diese Autoren keine Korrelation zum Parameter SPM herstellen und keine saisonale Periodik in diesem Parameter erkennen.

Neben einer ausgeprägten jahreszeitlichen Saisonalität konnten wir in beiden untersuchten Gebieten eine übereinstimmende tageszeitliche Periodik in der Aktivität von Schweinswalen feststellen. Dieser übereinstimmende Rhythmus mit hoher Aktivität am Tage und geringer in der Nacht konnte bereits 2002 beobachtet werden (DIEDERICHS et al. 2002) und blieb über die gesamte Erfassungszeit zwischen Februar und November erhalten. Die Periodik war um so ausgeprägter je höher die Gesamtzahl SPM pro Tag oder Pentade war. Im September war im Gebiet Oda-Tonne der mittlere Anteil SPM/Tag auf nur noch 1,4 % abgesunken. Die tageszeitliche Verteilung von SPM entsprach zu diesem Zeitpunkt zwar noch grob dem Muster mit geringer Aktivität in der Nacht aber die Zeit höchster Aktivität nahm bereits ab 12:00 Uhr von 6 % SPM auf unter 2 % SPM ab.

TEILMANN et al. (2002) ermittelten bei in Gefangenschaft lebenden Schweinswalen ein gegenläufiges Aktivitätsmuster mit maximaler Aktivität zwischen 16:00 Uhr und 2:00 Uhr. Diese Hauptaktivitätszeit stand nicht in Zusammenhang mit der Fütterungszeit zwischen

10:00 und 16:00 Uhr. Freilanddaten derselben Autoren aus dem Seegebiet bei Horns Rev zeigten dagegen ein ähnliches Ergebnis wie bei Sylt mit geringen Wartezeiten zwischen zwei Schweinswalregistrierungen (= hohe Schweinswalaktivität) während des Tages zwischen 6:00 und 20:00 Uhr und langen Wartezeiten (= geringe Aktivität) während der Nachtstunden. BENKE et al. (2003) zeigten an einem Standort in der Ostsee (Staberhuk) eine geringe Schweinswalaktivität während des Tages und hohe Anzahlen von Klickereignissen während der Nachtstunden. Ähnliche Beobachtungen machte CARLSTRÖM (2003), die mit 40 m tief am Meeresgrund befestigten Klickdetektoren Klicklaute freilebender Schweinswale in der Ostsee aufzeichnete und einen Tagesrhythmus mit erhöhter Schweinswalaktivität während der Nacht feststellte. Sie erklärt diesen Rhythmus mit höherer Anwesenheit von Schweinswalen in tieferen Regionen in der Nacht und mit erhöhter Klickaktivität bei geringerer Sichtweite. Im Seegebiet westlich von Sylt können wir verschiedene Ursachen für den beobachteten diurnalen Aktivitätsrhythmus von Schweinswalen diskutieren:

1. Die Anzahl Schweinswale im Seegebiet um die PODs verändert sich im Tagesverlauf.

Nach unseren Ergebnissen halten wir einen Zusammenhang zwischen Anzahl SPM/Tag und Anzahl Tiere im Erfassungsradius eines PODs für sehr wahrscheinlich. Übertragen auf die Ergebnisse von SPM/Stunde würde dies bedeuten, dass die Schweinswale unterschiedliche Aufenthaltsgebiete im Rhythmus von 24 Stunden aufsuchen (horizontale Wanderung).

Die morphologischen sowie hydrologischen Strukturen im Seegebiet um die ausgebrachten PODs sind gleichförmig. Es lassen sich bezüglich dieser abiotischen Faktoren keine konstant unterschiedliche Gebiete voneinander abgrenzen. Zwar vermischen sich in dem Seegebiet westlich der nordfriesischen Inseln Wasserkörper verschiedener Eigenschaften miteinander und führen zu teilweise abgrenzbaren Mischungsfronten (BECKER et al. 1983, KRAUSE et al. 1986), jedoch sind die Grenzen solcher Frontensysteme sehr variabel und stehen unter dem Einfluss von Tidenbewegungen, Wetter und Bodentopografie (BECKER & PRAHM-RODEWALD 1980, DIPPNER 1993). TEILMANN et al. (2004) konnten an 52 besenderten Schweinswalen keine konstanten Wanderungsbewegungen zwischen verschiedenen Gebieten innerhalb von 24 Stunden erkennen.

Es gibt daher keine Anhaltspunkte, die dafür sprechen, dass Schweinswale verschiedene räumlich voneinander getrennte Aufenthaltsgebiete zwischen Tag und Nacht haben. Wir halten daher die Annahme, dass die Tiere bestimmte Gebiet während der Nachtstunden kurzzeitig verlassen, um wenige Stunden später wieder einzuwandern als unwahrscheinlich.

2. Die diurnalen Unterschiede werden durch unterschiedliche Aktivitätsrhythmen hervorgerufen: In Phasen geringer Klickaufzeichnung (nachts) ruhen die Tiere und benutzen damit auch weniger ihr Ortungssystem, die Anzahl der im Gebiet anwesenden Schweinswale verändert sich nicht zwischen Tag und Nacht.

Nächtliche Nahrungssuche sowie Klickaktivität wurde bei diesen Tieren von verschiedenen Autoren beschrieben (AKAMATSU et al. 1994, LUCKE et al. 2000, CARLSTRÖM 2003).

Auch Beobachtungen von TEILMANN et al. (2002) an in Gefangenschaft lebenden Schweinswalen in Kerteminde zeigten keine nächtlichen Ruhepausen in der Klickaktivität. Im Ostseebereich konnte sogar ein gegenläufiger Aktivitätsrhythmus festgestellt werden (BENKE et al. 2003, CARLSTRÖM 2003).

Da ein solcher Aktivitätsrhythmus mit nächtlichen Ruhephasen ohne Klickaktivität bisher noch nicht beschrieben wurde, und die nächtliche Aktivität von Beutetieren (Fischen) keine Pause in der Klickintensität vermuten lässt, halten wir nächtliche Ruhephasen der Schweinswale als Erklärung für geringe Klickaufzeichnung der PODs für unwahrscheinlich.

3. Das von uns festgestellte Echolokationsmuster von Schweinswalen könnte eine Vertikalbewegung von Schweinswalen in der Wassersäule vermuten lassen. Über eine vertikale Bewegung der Schweinswale in der Wassersäule trifft möglicherweise unterschiedlich viel Schall auf die Hydrofone. Demnach hielten 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 Hydrofone trifft. Nachts dagegen halten sich die Tiere mehr nahe der Oberfläche auf und die Klicks treffen nur selten auf die Hydrofone.

Zur Überprüfung dieser dritten Hypothese versuchten wir folgende Fragen zu klären:

Was fressen Schweinswale und welche Beutfische kommen im Seegebiet westlich von Sylt vor? Lassen die ausgesendeten Klicksequenzen Rückschlüsse auf das Verhalten der Tiere zu (Nahrungssuche, schwimmen, etc.)?

Schweinswale ernähren sich von benthischen und pelagischen Fischarten, wobei verschiedene Autoren unterschiedliche Präferenzen für eine Reihe von Nahrungsfischen in den jeweils untersuchten Seegebieten und Jahren beschreiben (z.B. LINDROTH 1962, KÄLLQUIST 1974, LICK 1991, AAREFJORD et al. 1995, BMBF 1997). Einer Untersuchung des BMBF (1997) zufolge werden in der Nordsee mindestens 14 Arten gefressen, davon vorwiegend Seesunge (*Solea vulgaris*, 34 %), Sandaal (*Hyperoplus lanceolatus*, 19 %), Wittling (*Merlangius merlangius*, 15 %), Kabeljau (*Gadus morrhua*, 12 %) und Kliesche (*Limanda limanda*). Schweinswale scheinen zwar bestimmte Beutetaxa zu bevorzugen, können aber opportunistisch bei einer Verknappung einer bestimmten Art von Beutfischen auf andere Fischarten ausweichen (KOSCHINSKI 2002).

Im gesamten Bereich der südlichen Nordsee können als dominante Fischarten die Kliesche, gefolgt von Wittling, Grauem Knurrhahn (*Eutrigla gurnardus*), Stöcker (*Trachurus trachurus*), Scholle (*Pleuronectes platessa*) Kabeljau, Schellfisch (*Melanogrammus aeglefinus*), Hering (*Clupea clupea*), Makrele (*Scomber scombrus*) und Hundshai (*Galeorhinus galeus*) erwartet werden (DAAN et al. 1990). Nach ASMUS et al. (2002) ist das Seegebiet westlich von Sylt durch sandige Böden gekennzeichnet, die relativ arm an organischer Substanz sind. Die Fischfauna dieses Gebietes ist daher sehr eng an den Lebensraum Sand angepasst, was sich auch in der Dominanz der verschiedenen Plattfischarten widerspiegelt. Daneben sind aber auch im Sand grabende Formen, wie der Sandaal, oder freiwasserbewohnende Arten, die sich nur vorübergehend in diesem Gebiet aufhalten, typisch für diesen Raum.

Das diurnale Klickaktivitätsmuster der Schweinswale korreliert mit einem diurnalen Verhaltenszyklus einiger potenzieller Beutfische:

So ist zum Beispiel vom Hering bekannt, dass die Fische eine tageszeitenabhängige Vertikalwanderung in der Wassersäule vornehmen (BLAXTER & PARRISH 1965). Auch

Sandaale weisen eine ähnliche tagesperiodische Aktivität auf, in dem sie sich nachts im freien Wasser bzw. in der Nähe der Oberfläche bewegen, während sie tagsüber eingegraben im Boden leben (EHRICH mündl. Mitt.). Von der Seezunge ist ebenfalls beschrieben, dass sie sich zu bestimmten Jahreszeiten nachts an der Oberfläche aufhält (DE VEEN 1967).

Unterschiedliche Jagdstrategien aufgrund unterschiedlicher Aufenthaltsorte ihrer Beutefische sind daher wahrscheinliche Ursache für das auffällige tageszeitenabhängige Klickaktivitätsmuster der Schweinswale.

Ein weiterer Hinweis auf verschiedene Aufenthaltsorte in der Wassersäule im Verlaufe eines Tages geben die mit Hilfe von Time-at-depth (TAD)-Recordern aufgezeichneten Daten besendeter Schweinswale von TEILMANN et al. (2004, Abb. 17). Die bei Skagen am nördlichen Ende der Halbinsel Fünen markierten Tiere zeigten über 24 Stunden gemittelt einen deutlichen tageszeitlichen Rhythmus: Im Sommer zeigten die Tiere am frühen Morgen zwischen 4:00 und 7:00 Uhr und am Nachmittag zwischen 13:00 und 19:00 Uhr einen deutlichen Anstieg der Zeit, in der sie sich untergetaucht unter 1 m Wassertiefe aufhielten. Zwischen 20:00 und 3:00 Uhr dagegen tauchten die Tiere deutlich weniger. Im Winter bleibt dieser Rhythmus erhalten, jedoch ist die Tauchzeit im Durchschnitt mit ca. 82 % der Gesamtzeit höher als im Sommer mit ca. 71 %.

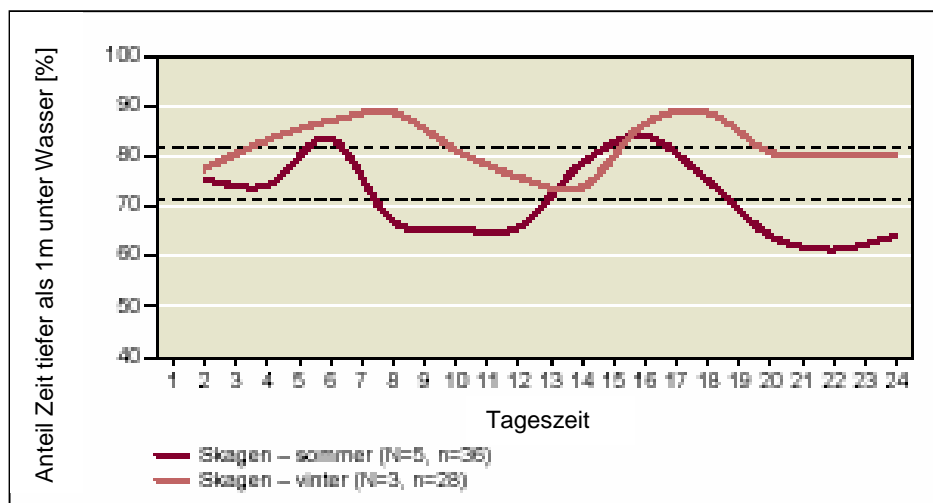


Abb. 17: Prozentualer Anteil der Zeit, die in Skagen markierte Schweinswale tiefer als 1 m untergetaucht verbracht haben auf 24 Stunden gemittelt. Darstellung getrennt nach Sommermonaten (April – September; N = 5 Tiere, n = 36 Tage) und Wintermonaten (Oktober – März; N = 3 Tiere, n = 28 Tage). Aus TEILMANN et al. (2004).

Dieser Rhythmus stimmt mit unseren POD-Daten gut überein. In den Zeiten, in denen die Tiere sich häufiger tiefer als 1 m unter Wasser aufhielten sind die gleichen Zeiten, in denen die PODs (besonders im Sommer) ein Maximum an aufgezeichneten SPM/Stunde hatten. Während der Nachtstunden als die Tiere nach TEILMANN et al. (2004) weniger Zeit im tiefen Wasser verbrachten, zeichneten auch unsere PODs nur wenige Klicktrains auf.

Art und Anzahl einzelner Schweinswalklickssequenzen stehen in Zusammenhang mit speziellen Verhaltensweisen wie Nahrungssuche oder Orientierung (AU et al. 1999, AKAMATSU et al. 1994, VERBOOM & KASTELEIN 1997, BENKE et al. 2002).

BENKE et al. (2002) zeigten bei Experimentversuchen an gefangenen Schweinswalen im Fjord & Belt Centre in Kerteminde (Dänemark), dass sich die von den Walen ausgestoßenen Klicksequenzen bei Fischfang und einfachem Schwimmen deutlich voneinander unterscheiden. Fischfangsequenzen sind kurze Sequenzen mit minimalen Lautabständen von ca. 2 ms, wohingegen Schwimmsequenzen längere Sequenzen mit Lautabständen von 40 bis 60 ms darstellen.

Unsere exemplarische Feinanalyse von Klicks aus dem Zeitraum höchster Klickaktivität Anfang Juni deuten nicht darauf hin, dass die PODs hochfrequente Klicksequenzen zur Detektion von Beute aufzeichneten (Tab. 3). Die mittlere Sequenzdauer von ca. einer halben Sekunde mit einem durchschnittlichen Lautabstand von 40 ms weist nach BENKE et al. (2002) auf normales Orientierungsverhalten während des Schwimmens hin.

Der Anteil hochfrequenter und damit für Fressverhalten typischer Klicksequenzen von unter 10 ms lag bei der Position Planungsgebiet bei 3 % und an der Position Odas-Tonne bei 2,5 %.

Da die Tiere ihren Schall in einem Öffnungswinkel von nur 16° sehr gerichtet aussenden und bei der Nahrungssuche ihr Ortungssystem wahrscheinlich zielgerichtet auf ihre Beuteobjekte richten, ist die Wahrscheinlichkeit, Fischfangsequenzen mit den PODs aufzuzeichnen sehr gering. Insbesondere wenn die Tiere nicht in der freien Wassersäule sondern am Meeresgrund nach Nahrung suchen, treffen kaum hochfrequente Klickserien auf das 2 m über dem Grund angebrachte Hydrofon.

Orientieren sich die dagegen die Tiere im Raum, so benutzen sie ihr Echoortungssystem um die Umgebung „abzuscannen“. Dazu bewegen die Wale ihren Kopf hin und her, so dass auf einen fixierten Punkt wie das Hydrofon die Lautamplitude der Schweinswalklicks graduell lauter und wieder leiser wird (BENKE et al 2003). Da die von den PODs aufgezeichnete Lautdauer ein Maß für die Lautamplitude ist, zeigt ein wellenförmiges Klickmuster Orientierungs- oder Schwimmsequenzen. Abbildung 18 zeigt eine typische Klicksequenz, wie sie hauptsächlich von den von uns eingesetzten PODs aufgezeichnet wurde. Es zeigt sich deutlich eine zyklische Zu- und Abnahme der Lautdauer und damit das als „Schwimmsequenz“ bezeichnete Klickmuster.

Ein solches Orientierungsverhalten wird wahrscheinlich beständig von den Tieren benutzt. Halten sie sich überwiegend am Grund auf um dort nach Nahrung zu suchen, treffen entsprechend auch mehr solcher Sequenzen auf das nahe zum Grund befestigte Hydrofon.

Die Ergebnisse der POD-Daten zeigen, dass einerseits ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Dichte anwesender Schweinswale im Untersuchungsgebiet und dem Anteil der von den PODs aufgezeichneten SPM pro Tag besteht. So lassen sich mit Hilfe dieses Parameters tägliche Anwesenheitsmuster sowie jahreszeitliche Bestandsänderungen erkennen und darstellen. Andererseits zeigt eine Analyse von SPM gemittelt auf eine Stunde innerhalb eines 24 Stundenzyklus, dass bei einer solchen Auswertung die Anzahl aufgezeichneter Klicks nicht mehr mit der Dichte von Schweinswalen im Untersuchungsgebiet zusammenhängt, sondern wahrscheinlich vom Aufenthaltsort der Tiere in der Wassersäule.

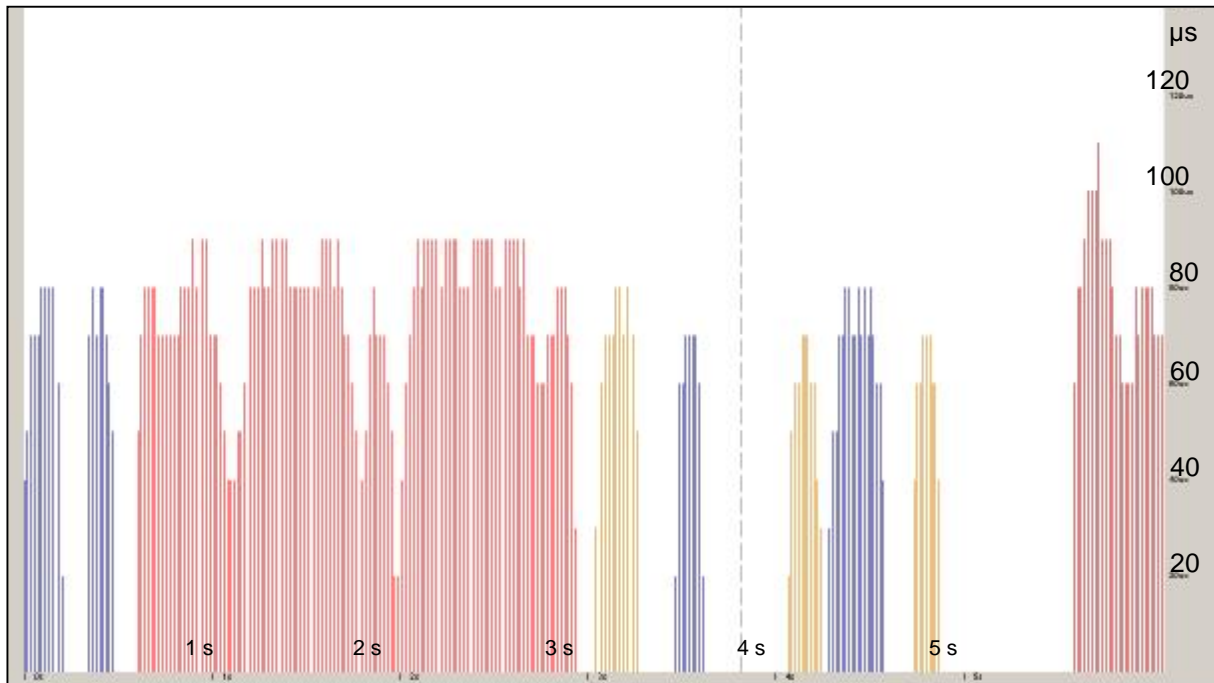


Abb. 18: Mehrere Klicksequenzen von Schweinswallauten, aufgenommen von POD 223 am 02. Juni 2003 im Planungsgebiet.

Jagen und bewegen sich die Schweinswale an der Wasseroberfläche, treffen nur wenige Klicks des gerichteten Schallkegels auf die am Grund ausgebrachten Hydrofone (nachts). Gehen dagegen die Wale am Meeresgrund auf Jagd, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Orientierungslaute der Tiere auch auf die sich dort befindlichen Geräte treffen wesentlich höher (tags).

Ein solcher Zusammenhang widerspricht zunächst der Annahme, die Anzahl SPM korreliere mit der Dichte der Tiere im Erfassungsbereich der PODs. Auch die nachts an der Wasseroberfläche schwimmenden Schweinswale befinden sich im Erfassungsbereich der PODs, jedoch erreicht der gerichtete Schallkegel das Hydrofon nicht. Erfassen wir mit den PODs also nicht eher die Anzahl der Tiere am Boden als die tatsächliche Anzahl Tiere im Gebiet?

Da die POD-Daten über die Dauer der von uns untersuchten Monate Februar bis Dezember ein konstantes diurnales Klickmuster aufzeichneten, bleibt auch der Zusammenhang zwischen SPM/Tag und Anzahl Tiere im Erfassungsradius der PODs konstant. Somit bleibt auch der Zusammenhang zwischen Dichte der Wale im Untersuchungsgebiet und Anzahl SPM/Tag erhalten.

## 5 Bewertung und Vorschläge für das Begleitmonitoring

Ziel des Einsatzes der Klickdetektoren ist es festzustellen, ob Bau und Betrieb eines Offshore-Windparks zu Änderungen in Dichte und Verhalten von Schweinswalen im betroffenen Seegebiet führen. Die Schwierigkeit besteht darin, möglicherweise moderate

Einflüsse vor dem Hintergrund natürlicher Schwankungen in Bestand, Verbreitung und Aktivität zu ermitteln und statistisch abzusichern. Der vorliegende zweite Zwischenbericht gibt eine Beschreibung über die Art und den Umfang der Daten, die sich mit den PODs im Bereich des Planungsgebietes des Bürgerwindparks Butendiek erheben lassen.

In diesem zweiten Bericht können wir zeigen, dass die mit Hilfe der PODs gesammelten Daten auf Tages-/Pentaden oder Monate gemittelt in einen Zusammenhang mit der Dichte und Verteilung von Schweinswalen im Untersuchungsgebiet gestellt werden können. Eine höhere Zeitauflösung in der Analyse der Daten (Stunden) kann dagegen unterschiedliche Verhaltensweisen und/oder Aufenthaltsorte in der Wassersäule erkennen lassen. Die Betrachtung einzelner Klicksequenzen lässt Rückschlüsse auf das spezifische Verhalten der Tiere zu.

Grundsätzlich kann gezeigt werden, dass diese Methode sehr viele Daten kontinuierlich liefert und dadurch sehr gut geeignet ist, um mögliche Effekte von Bau und Betrieb des beantragten Windparks statistisch absichern zu können.

Der Einfluss von Bau und Betrieb der WEA auf die Anwesenheit von Schweinswalen kann über zwei Untersuchungsansätze ermittelt werden:

1. den relativen Unterschied zwischen dem Eingriff und einem oder mehreren Referenzgebieten vor und nach der Baumaßnahme (BACI-Ansatz , **B**efore, **A**fter, **C**ontrol, **I**mpact, s. TEILMANN et al. 2002, HENRIKSEN et al. 2003, TOUGAARD et al. 2004) oder
2. über den direkten Unterschied nebeneinander liegender Stationen in Abhängigkeit zur Entfernung zum Windpark.

1 TEILMANN et al. (2002) empfehlen den BACI-Ansatz und kommen auf der Grundlage von Vergleichsmessungen zweier Gebiete mit je zwei PODs bei Horns Rev zu dem Schluss, dass sich eine Bestandsveränderung ab 20% mit den so gewonnenen Daten statistisch absichern ließe. Während HENRIKSEN et al. (2003) am Beispiel des Windparks Nysted (Rödsand) bereits nach wenigen Monaten eine statistisch nachweisbare Änderung in den aufgezeichneten Daten im Vergleich von Referenz- zu Planungsgebiet durch Einsatz von PODs feststellten, kommen Tougaard et al. 2004 zu dem Ergebnis, dass die hohe Streuung in der Verteilung der Schweinswale im Seegebiet Horns Rev keinen statistisch nachweisbaren Effekt mit Hilfe des BACI-Designs erkennen lässt.

Die dänischen Studien empfehlen eine Entfernung von etwa 10 km zwischen Eingriffs- und Referenzgebieten. Die Stationen sind dann in ihrer Frequentierung durch Schweinswale statistisch als unabhängig voneinander einzustufen. Voraussetzung für den BACI-Ansatz ist, dass sich Referenzgebiet und Eingriffsgebiet nur durch die mit Bau und Betrieb des Windparks verbundenen Eingriffe unterscheiden und dass alle natürlichen Veränderungen in beiden Gebieten gleich wirken und die Häufigkeit wie auch das saisonale Auftreten von Schweinswalen in beiden Gebieten gleich ist.

Mit unserer Studie können wir nachweisen, dass bei einer Entfernung von nur 10 km bereits große Unterschiede hinsichtlich der Anzahl SPM/Tag entstehen können, obwohl sich die hydrografischen Parameter innerhalb dieser Entfernung kaum unterscheiden. Die POD-Daten zeigen, dass eine Gleichverteilung von Schweinswalen über ein scheinbar gleichförmiges Meeresgebiet eine nur sehr schwer zu erfüllende Bedingung ist.

Es lässt sich zudem bisher nicht beurteilen, ob Veränderungen der hydrologischen Bedingungen oder des Nahrungsangebots auf Eingriffs- und Referenzgebiet unterschiedlich wirken und ob tatsächliche Unterschiede auch über die Zeit beständig sind.

Unklar ist auch, welchen Einfluss mögliche Verhaltensänderungen der Schweinswale, etwa ein Wechsel in der Nahrungswahl von benthische auf pelagische Fischarten, auf die Bestandserfassung mit den PODs hätten. Obwohl die Walbestände zwar einem saisonalen Grundmuster mit hohen Beständen im Mai/Juni und niedrigen Beständen im Winter folgen, können jedoch zwischen nahe beieinander liegenden Gebieten und zwischen verschiedenen Jahren erhebliche Schwankungen auf Tages- oder Pentadenbasis vorkommen. Daher ist es für den BACI-Ansatz eine wichtige Voraussetzung, eine mehrjährige Datenreihe im Vorfeld des Eingriffs zu erheben. Für eine solche Datenreihe ist es erforderlich, dass für die Voruntersuchungen und das eigentliche Effektmonitoring ein vergleichbarer Gerätestandard zur Verfügung steht. Dies hängt wesentlich von den Möglichkeiten zur Eichung der Geräte ab, denn die individuellen Unterschiede der Geräte sind erheblich und ein Austausch von Geräten im Laufe der Studie ist unvermeidlich.

2. Ein anderer Ansatz, um einen möglichen Einfluss des Windparks auf die Dichte und Aktivität von Schweinswalen zu ermitteln, besteht durch den Vergleich der Klickaktivitäten von Geräten, die im Windpark und in zunehmender Entfernung davon, in beispielsweise 500 bis 1.000 m Abstand zu diesem ausgebracht werden. Mit einer Kette von fünf PODs ließe sich so eine Meidung oder Bevorzugung des direkten Bereichs um den Windpark erkennen. Untersuchungen zur Wirkung des durch WEA verursachten Lärms auf Schweinswale (HENRIKSEN 2001, HENRIKSEN et al. 2003, KOSCHINSKI et al. 2003), bzw. Messungen der von den WEA ausgehenden Lärmemissionen (ØDEGAARD & DANNESKIOLD-SAMSØE 2000), lassen eher kleinräumige Reaktionen erwarten. Die Methode einer POD-Kette wäre vor diesem Hintergrund, dass eher kleinräumige Reaktion zu erwarten sind, sehr geeignet. Sie wäre unzureichend, wenn der Einfluss des Windparks über den Untersuchungsbereich hinausgeht.

Wir halten diese Methode gerade im Bereich des geplanten Windparks Butendiek für geeignet, da hier eine ausreichende Häufigkeit von Schweinswalen vorhanden ist, so dass schon in kurzen Zeiträumen von wenigen Wochen aussagekräftige Daten erhoben werden können. Dadurch, dass die Stationen für derartige Messungen gewechselt werden können, ist es möglich, auch unterschiedliche Bereiche eines Windparks abzudecken. Auf der Grundlage der vorliegenden Erfahrungen lassen sich beide Ansätze als grundsätzlich durchführbar einstufen, auch wenn die für den BACI-Ansatz benötigten Kalibrationsmöglichkeiten derzeit noch ungeklärt sind. Angesichts der bestehenden Unsicherheiten und fehlenden Grundlagen wird jedoch empfohlen, bei dem Effektmonitoring für Offshore-Windparks den Einsatz von PODs nur als einen von mehreren Ansätzen zu verstehen. Im Sinne größtmöglicher Effektivität empfehlen wir weiterhin, den Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Zeiträume mit den höchsten Schweinswalvorkommen zu legen. Im Bereich Butendiek wären dies die Sommermonate. Die saisonalen Schwankungen sprechen jedoch dafür, auch die Zeiten vor und nach dem Maximum in Frühjahr und Herbst mit zu berücksichtigen. Ein ganzjähriges Monitoring ist wissenschaftlich zweifellos von Interesse. Für die Bewertung der mit einem Windpark verbundenen Eingriffe ist es jedoch

nicht notwendig in Zeiten zu arbeiten, in denen aufgrund der geringen Präsenz von Schweinswalen nur wenige Daten erhoben werden können.

## 6 Zusammenfassung

In der Zeit vom 7. Juli bis 15. Dezember 2002 und zwischen 25. Februar und 23. November 2003 zeichneten 12 verschiedene PODs in insgesamt 20.000 Stunden Schweinswalklicks im Seegebiet westlich der Insel Sylt auf.

Die Kalibrierung der an zwei ca. 10 km weit auseinanderliegenden Standorten ausgebrachten PODs zeigte in beiden Jahren eine hohe Korrelation der aufgezeichneten Daten bezüglich des Parameters Schweinswalpositive Minuten. Diese hohe Korrelation ermöglichte es, das Sensitivitätsniveau aller PODs auf das Niveau eines Eichgerätes zu bringen und damit die Daten aller Geräte miteinander zu vergleichen.

Beide Messstationen zeigen ausgeprägte saisonale Muster, die sich im Grundmuster sowohl in zwei aufeinanderfolgenden Jahren an der Station Odas-Tonne als auch in einem Jahr zwischen den beiden Stationen Odas-Tonne und Planungsgebiet ähneln.

Fasst man die täglichen Aktivitätswerte in Pentadenmittelwerte zusammen, so zeigt sich, dass sich in beiden Gebieten eine deutliche Saisonalität mit Maximalwerten zwischen Mai und Juni darstellen lässt.

Die Daten aus dem Planungsgebiet des Windparks zeigen eine im Durchschnitt 2-fach höhere Anzahl SPM pro Tag als die Daten vom 10 km entfernten Standort Odas-Tonne.

Die an beiden Standorten festgestellte Phänologie weist eine hohe Parallelität zu den Ergebnissen der Flugzeugzählungen auf und lässt vermuten, dass die SPM/Tag die Anwesenheit von Schweinswalen im Seegebiet widerspiegeln. Die hohe Streuung der Werte von einem auf den anderen Tag lässt sich durch die hohe Variabilität in der Verteilung der Tiere erklären, die nicht gleichmäßig verteilt sondern in Teilbereichen konzentriert („geklumpt“) vorkommen. Mit einer durchschnittlichen Wandergeschwindigkeit von 4 bis 5 km/h ist es den Tieren möglich, innerhalb eines Tages große Distanzen zurückzulegen. Das führt zu ständig wechselnden Bestandsdichten und somit auch zu einer wechselnden Anzahl Klicks von einem auf den anderen Tag.

Neben der deutlichen jahreszeitlichen Saisonalität, die mit den von Flugzeugzählungen berechneten Dichtewerten von Schweinswalen im Seegebiet westlich von Sylt korreliert, zeigen die Daten einen ausgeprägten Tagesverlauf mit einer hohen Anzahl SPM während des Tages zwischen 4:00 und 18:00 Uhr und nur wenigen SPM in der Nacht.

Sowohl die Verhaltensweisen potenzieller Beutefische, die einen diurnalen Wanderzyklus in der Wassersäule zeigen, als auch Ergebnisse der bei Skagen besenderten Schweinswale von TEILMANN ET AL. (2004), die während des Tages deutlich mehr tauchten als während der Nacht, deuten darauf hin, dass Schweinswale sich tags überwiegend in Grundnähe aufhalten und nachts näher an der Wasseroberfläche. Da die PODs in Grundnähe fixiert sind, zeichnen sie tags entsprechend mehr Klicks des sehr gerichteten Schallkegels der Wale auf, als nachts.

Da dieses diurnale Muster über den gesamten Erfassungszeitraum konstant bleibt, bleibt auch der Zusammenhang zwischen Häufigkeit von Schweinswalen im Gebiet und Anzahl SPM/Tag erhalten.

Eine Analyse der einzelnen aufgezeichneten Klicktrains aus dem Zeitraum höchster Klickaktivität Anfang Juni deutet nicht darauf hin, dass die PODs hochfrequente Klicksequenzen zur Detektion von Beute aufzeichneten, sondern fast ausschließlich typische Orientierungslaute, die während des Schwimmens ausgestoßen werden. Wir nehmen an, dass der gerichtete Schallkegel am Boden jagender Schweinswale die 2 m über dem Grund in der Wassersäule hängenden Hydrofone nicht trifft.

## 7 Literatur

- Aarefjord, H. A. Bjorge, C. C. Kinze & I. Lindstedt. 1995. Diet of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* in Scandinavian waters. Rep Int. Whal. Comm. (special issue) 16: 211-222.
- Akamatsu, T., Y. Hatakeyama, T. Kojima & H. Soeda. 1994. Echolocation rates of two harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). Marine mammal science, 10 (4): 401-411.
- Asmus, H., H. Schomann & W. Armonies. 2002. Fachgutachten Fische im Rahmen der UVS und FFH-VP für den Offshore-Bürgerwindpark „Butendiek“ westlich von Sylt. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co.KG.
- Au, W. W. L., R. A. Kastelein, T. Rippe, and N. M. Schooneman. 1999. Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*). The Journal of the Acoustical Society of America 106:3699-3705.
- Becker, G.A. & Prahm-Rodewald, G. 1980: Fronten im Meer. Salzgehaltsfronten in der Deutschen Bucht. Seewart 41: 12-21.
- Becker, G.A., Fiüza, A.F.G. & James, I.D. 1983: Water mass analysis in the German Bight during Marsen, phase I. J. Geophys. Res. 88: 9865-9870.
- Benke, H., U. Verfuß, S. Kotzian, A. Kilian, C. Honnef, I. Baresel & R. Kinzelbach. 2002. Untersuchungen zur Nutzung ausgewählter Gebiete der Deutschen und Polnischen Ostsee durch Schweinswale mit Hilfe akustischer Methoden. FKZ-Nr.: 901 86 020. Bundesministerium für Umwelt. F+E-Vorhaben. 1. Zwischenbericht.
- Benke, H., U. Verfuß, S. Kotzian, A. Kilian, C. Honnef, I. Baresel & R. Kinzelbach. 2003. Untersuchungen zur Nutzung ausgewählter Gebiete der Deutschen und Polnischen Ostsee durch Schweinswale mit Hilfe akustischer Methoden. FKZ-Nr.: 901 86 020. Bundesministerium für Umwelt. F+E-Vorhaben. 2. Zwischenbericht.
- Blaxter, J. H. S. & B. B. Parrish. 1965. The importance of light in shoaling, avoidance of nets and vertical migration by herring. J. Cons. Int. Explor. Mer. 30, pp 40-57.
- BMBF 1997. Untersuchungen an Kleinwalen als Grundlage eines Monitorings. FKZ-Nr.: 03F 0139A. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Abschlussbericht. 298 pp.
- Carlström, J. 2003. Bycatch, conservation and echolocation of harbour porpoises. PhD thesis at the Department of Zoology, Stockholm University. Opponent: Dr Jay Barlow, Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, USA

Daan N., Bromley P.J., Hislop, J.R.G., Nielsen, N.A. 1990. Ecology of North Sea fish. Neth J. Sea Res. 26 (2-4):343-386.

Diederichs, A., T. Grünkorn & G. Nehls. 2002. Erprobung von Klickdetektoren zur Erfassung von Schweinswalen im Sommer und Herbst 2002 im Seegebiet westlich von Sylt. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek GmbH & Co.KG.

Grünkorn, T., A. Diederichs, S. Gruber & G. Nehls. 2002. Fachgutachten Meeressäuger. Umweltverträglichkeitsstudie für den Offshore-Bürger-Windpark-Butendiek. Bio0Consult SH, Hockensbüll.

Henriksen, O. D. 2001. Støj fra havbaserede vindmøller– effekter på marsvin og sæler. (Noise from offshore wind turbines– effects on porpoises and seals). University of Southern Denmark. Roskilde.

Henriksen, O. D., J. Teilmann & J. Carstensen. 2003. Effects of the Nysted Offshore Wind Farm construction on harbour porpoises. – the 2002 annual status report for the acoustic T-POD monitoring programme. Technical report to SEAS Wind Energy Center. 42 pp.

Källquist, L. 1974: Tumlarens näringsval undersökt med hjälp af otoliter. Zool. Rev. 36: 104-110 [in Swedish].

Koschinski, S. 2002. Current knowledge on harbour porpoises *Phocoena phocoena* in the Baltic Sea. Ophelia 55: 167-197.

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., B. M. Culik, O. D. Henriksen, N. Tregenza, G. Ellis, C. Jansen & G. Kathe. 2003. Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seals to the noise of a simulated 2 MW windpower generator. Mar Ecol Prog Ser, Vol. 265: 263-273.

Krause, G., Budeus, G., Gerdes, D. Schaumann, K. & Hesse, K. 1986: Frontal systems in the German Bight and their physical and biological effects. In: Nihoul, J.C.J. (ed.): Marine interfaces ecohydrodynamics. Elsevier, Amsterdam: 119-140.

Lick, R. R. 1991. Untersuchungen zu Lebenszyklus (Krebse-Fische-Marine Säuger) und Gefrierresistenz anisakider Nematoden in Nord- und Ostsee. Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 218: 195 pp.

Lindroth, A. 1962. Baltic salmon fluctuations 2: Porpoise and salmon. – Rep. Inst. Freshwater Res., Drottningholm 44: 105-112.

Lucke, K., R. P. Wilson, J. Teilmann, S. Zankl, D. Adelung & U. Siebert. 2000. Advances in the elucidation of cetacean behaviour: A case study on harbour porpoise (*Phocoena phocoena*). In: J. Teilmann. 2000. The behaviour and sensory abilities of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in relation to bycatch in Danish gillnet fishery. Ph. D. thesis, University of southern Denmark, Odense.

Ødegaard & Danneskiold-Samsøe (ØDS) 2000. Offshore Wind-Turbines – VVM. Underwater Noise Measurements, Analysis, and Predictions. Gutachten im Auftrag von SEAS Distribution A.m.b.A., Dänemark. 29 pp.

Parijs, S. M. v., J. Smith & P. J. Cokeron. 2002. Using calls to estimate the abundance of inshore dolphins: a case study with Pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*. J. Appl. Ecol. 39: 853–864.

Read, A. & A. J. Westgate. 1997. Monitoring the movements of harbour porpoise (*phocoena phocoena*) with satellite telemetry. Marine Biology 130: 315-322.

Scheidat, M., A. Gilles, K. Lehnert & U. Siebert. 2003. Erfassung von Meeressäugetieren in der deutschen AWZ der Nordsee. FKZ-Nr. 802 85 250. Bundesamt für Naturschutz. F+E Vorhaben. Endbericht.

Skov, H. , J. Carstensen, J. Teilmann, O. D. Henriksen. 2002. Investigations of harbour porpoises at the planned site for wind turbines at Horns Reef. Status report: 1/1 2001 –1/4 2002. Technical report for Tech-wise A/S. Ornis Consult. 45 pp.

Teilmann, J. 2000. The behaviour and sensory abilities of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in relation to bycatch in Danish gillnet fishery. Ph. D. thesis, University of southern Denmark, Odense.

Teilmann, J., O. D. 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., O. D. Henriksen, J. Carstensen & H. Skov. 2002. Monitoring effects of offshore windfarms on harbour porpoises using PODs (porpoise detectors). Technical report to SEAS Wind Energy Center and Tech-wise A/S. 41 pp.

Tougaard, J., J. Carstensen, O. D. Henriksen, H. Skov & J. Teilmann. 2003. Short-term effects of the construction of wind turbines on harbour porpoises at Horns Reef. Technical report to TechWise A/S. HME/362-02662, Hedeselskabet, Roskilde.

Teilmann, J, Dietz, R., Larsen, F. Desportes, G. Geertsen, B. M., Andersen, L. W., Aastrup, P., Hansen, J. R. & Buholzer, L. 2004: Satellitsporing af marsvin i danske og tilstodende farvande. Danmarks Miljoundersogelser. 86pp. Faglig rapport fra DMU nr. 484.

Tougaard, J., J. Carstensen, O. D. Henriksen, J. Teilmann, & J. R. Hansen 2004. Harbour Porpoises on Horns Reef – Effects of the Horns Reef Wind Farm. Annual Status Report 2003 to Elsam Engineering A/S. 67 pp.

Verboom, W. C. & R. A. Kastelein. 1997. Structure of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) click train signals. In: A. J. Read, P. R. Wiepkema & P. E. Nachtigall (editors). The biology of the harbour porpoise. De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands, pp. 343-363.

de Veen 1967. On the Phenomenon of Soles (*Solea solea* L.) swimming at the surface . J. Cons. perm. int. Explor. Mer 31(2) 207-236.