



for a living planet®

Zeit ist Leben

*Schweinswale gewinnen kostbare Reaktionszeit
durch reflektive Netze*



Herausgeber: WWF Deutschland, Frankfurt am Main

Stand: Juli 2004, 1. Auflage

Autoren: Prof. Dr. Boris M. Culik, Dipl.-Biol. Sven Koschinski

Redaktion: Dirk Riebensahm, WWF Fachbereich Meere & Küsten, Bremen

Produktion: Dirk Riebensahm

Layout und Satz: Astrid Ernst, WWF Fachbereich Meere & Küsten, Bremen

Druck: Meiners Druck OHG, Bremen

Gedruckt auf 100% Recycling-Papier

© 2004 WWF Deutschland, Frankfurt am Main

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

Alle Fotos © Boris M. CULIK

Inhalt

Einleitung	4
1 Zusammenfassung	5
2 Summary	7
3 Wissenschaftliche Hintergrundinformationen	9
3.1 Beifang von Kleinwalen in der Fischerei	9
3.1.1 Darstellung der allgemeinen Probleme von Kleinwalbeifängen in der Fischerei.....	9
3.2 Bisherige Lösungsversuche	12
4 Verhaltensbeobachtungen an Netzen.....	21
4.1 Einleitung.....	21
4.2 Methoden	21
4.3 Ergebnisse.....	29
4.3.1 Vergleich des Bariumsulfatnetzes mit dem Standardnetz.....	29
4.3.2 Auswirkungen der eingesetzten Netztypen auf den Fischereiertrag.....	33
4.3.3 Wirkung eines 2,5 kHz Sinustons.....	33
4.4 Diskussion.....	34
4.4.1 Vergleich des Bariumsulfatnetzes mit dem Standardnetz.....	34
4.4.2 Beschallung mit 2,5 kHz Sinustönen.....	38
5 Ausblick	40
5.1 Welchen Einfluss können die Ergebnisse dieser Studie auf die Fischerei- bzw. Kleinwalbeifangsituation haben?	40
5.2 Welche weiteren Untersuchungen müssen noch erfolgen?.....	40
5.3 Abschätzung des Zeitraumes von der Entwicklung bis zur Produktreife der reflektiven Netze.....	40
5.4 Kosten für den Fischer	40
5.5 Praktikabilität von reflektiven Netzen in der Handhabung	41
5.6 Gibt es die Bereitschaft der Fischer die Netze freiwillig einzusetzen?	41
6 Literatur	42
Förderer des Forschungsprojektes.....	47

Einleitung

300.000 Meeressäuger, vor allem Kleinwale, werden jährlich in Fischereinetzen. Diese erschreckend hohe Zahl müssen die verantwortlichen Politiker der Europäischen Union zum Anlass nehmen, endlich geeignete Gesetze zur Reduktion des Beifangs von Walen zu erlassen.

In den letzten Jahren sind von Regierungen und EU-Institutionen viele offizielle Dokumente geschrieben und Gesetze zum Schutz der Wale erlassen worden; aber nur wenige entscheidende Fortschritte wurden bisher erzielt.

Die wichtigsten Instrumente zum Schutz von Kleinwalen bzw. Schweinswalen sind die Gemeinsame Fischereipolitik (GFP) der Europäischen Union, ASCOBANS (Abkommen zum Schutz von Kleinwalen in Nord- und Ostsee) und die Internationale Nordseeschutzkonferenz.

Die Bedrohung von Kleinwalen, speziell in Nord- und Ostsee, durch menschliche Einflüsse wurde auf der 5. Internationalen Nordseeschutzkonferenz 2002 durch die anwesenden Umweltminister adressiert. Sie beschlossen unter anderem, dass der Schweinswalbeifang in der Nordsee auf ein Viertel reduziert werden muss; auch sollten die Fischereimethoden so modifiziert werden, dass fast keine Meeressäuger mehr in Fischernetzen ertrinken können.

Diese Resultate waren ein deutliches Signal an die EU-Fischereiminister, auf deren Agenda 2002 die Reform der EU-Fischereipolitik stand. Die Ergebnisse der reformierten Gemeinsamen Fischereipolitik Anfang 2003 blieben jedoch weit hinter den Erwartungen und Möglichkeiten zurück.

Basierend auf der neuen Fischereipolitik wurden Vorschläge zum besseren Schutz von Kleinwalen von der EU-Kommission Ende Juli 2003 veröffentlicht. Der Verordnungsentwurf sah zum ersten Mal unter anderem den verpflichtenden Einsatz akustischer Signalgeber, so genannte Pinger, in der Stellnetzfisherei in EU-Gewässern wie Nord- und Ostsee vor. Aus Sicht von Forschungseinrichtungen und Umweltverbänden weisen Pinger eine Reihe von Nachteilen auf. Aus diesem Grund ist es ein Versäumnis, dass in dem Verordnungsentwurf die Weiterentwicklung und Förderung von Alternativen zu Pingern leider nicht verankert wurden.

Im August 2003 brachte das vierte Vertragsstaaten-treffen zum Schutz der Kleinwale in Nord- und Ostsee (ASCOBANS) erstmals einen sofortigen Schutzplan für Schweinswale in der Ostsee auf den Weg. Des Weiteren soll ein Erholungsplan für die Schweinswalbestände in der Nordsee bis zum Jahr 2005 aufgestellt werden. Zur Beifangreduktion wurde der Einsatz von Pingern in Gebieten mit besonders hohen Beifangraten vorgeschlagen, bis bessere Methoden zur Beifangminimierung entwickelt sind.

Die von ASCOBANS beschlossenen Pläne konnten nur wirksam werden, wenn der Ende Juli 2003 von der EU-Kommission vorgeschlagene Entwurf zur Verringerung des Beifangs von Kleinwalen im Laufe weiterer Verhandlungen bis zur Verabschiedung durch die EU-Fischereiminister nicht verwässert werden würde.

Im März 2004 verabschiedete der EU-Ministerrat die Verordnung zur Verringerung des Beifangs von Kleinwalen. Neben enttäuschenden Entscheidungen, z.B. Treibnetze in der Ostsee erst ab 2008 komplett zu verbieten wurden akustischen Signalgeber in der Kiemen-netzfischerei ab Mitte 2005 in Nord- und Ostsee gesetzlich vorgeschrieben. Die Mitgliedsländer sind angehalten, alternative Methoden zu Pingern zu eruieren bzw. zu entwickeln. Der Einsatz von Beobachtern an Bord der Fischereifahrzeuge zur Auswertung der Effektivität von Pingern sowie der Einsatz von Pingern selbst ist in der Verordnung gegenüber früheren Entwürfen stark reduziert.

Die vorliegende WWF Studie stellt Ergebnisse eines Projektes zur Reduzierung des Schweinswalbeifangs mit Hilfe reflektiver Netze vor und benennt konkret die weiteren Forschungsprojekte, die für eine erfolgreiche Etablierung dieser Netze auf dem Markt notwendig sind.

In den letzten Jahren wurde unnötig viel Zeit verschwendet und der WWF möchte mit dieser Studie dazu beitragen, eine aussichtsreiche Alternative zu Pingern aufzuzeigen. Es muss endlich über andere Techniken zur erfolgreichen Reduktion des Schweinswalbeifanges nachgedacht und geforscht werden, damit der langfristige Erhalt natürlich großer Schweinswalbestände in den Meeren gesichert werden kann.

Dirk Riebenschahm, WWF Deutschland

1 Zusammenfassung

Weltweit werden nach Schätzungen der Internationalen Walfangkommission (IWC) jährlich etwa 300.000 Meeressäuger vor allem Kleinwale in Fischereinetzen (WWF 2003). Allein für dänische Gewässer bezifferten sich die Beifangraten im Jahr 2001 auf rund 3.900 Tiere.

Kiemennetze, die als Stell- oder Treibnetze ausgebracht werden, stellen heute bei Kleinwalen die größte Gefährdung dar (Perrin et al. 1994; Culik 2004). So werden zum Beispiel Schweinswale (*Phocoena phocoena*) überwiegend in Grundstellnetzen (Vinther 1999, SGFEN 2002b). Die Erklärung für diesen Beifang liegt vermutlich in der schlechten Wahrnehmbarkeit von Nylonnetzen in den zumeist recht trüben Küstengewässern, nachts oder in großen Wassertiefen (vgl. Jefferson et al. 1992). Die Tiere ersticken, weil sie, einmal in den Netzen verheddert, zum Luft holen nicht mehr auftauchen können.

Für alle Kleinwale spielt die akustische Erkundung der Umwelt mit Hilfe von Klicklauten eine wichtige Rolle (Au 1993). Ihr Biosonar ist damit eine wichtige Anpassung an ihren Lebensraum und ergänzt, bzw. ersetzt über die Augen aufgenommene visuelle Eindrücke. Während Große Tümmler auf diese Weise Kiemennetze theoretisch schon aus 25 - 55 m Entfernung wahrnehmen können (Au 1994, Kastelein et al. 2000), ist das Biosonar der Schweinswale hierzu nur bedingt in der Lage. Sie können Netze unter optimalen Bedingungen nur aus 3 – 6 m Entfernung erkennen, eine Distanz, die zu kurz ist, um das Netz rechtzeitig zu vermeiden (Kastelein et al. 2000). Der Grund hierfür ist, dass die Echoortungslaute von Schweinswalen eine höhere Spitzenfrequenz, schmalere Bandbreite und vor allem geringere Schallintensität haben als die von Großen Tümmlern (Au 1994).

Seit dem Inkrafttreten von ASCOBANS (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic and North Seas) im Jahre 1994 werden für Nord- und Ostsee beifangmindernde Maßnahmen gefordert (z. B. ASCOBANS 2002, SGFEN 2002a, b).

Diskutiert werden folgende Möglichkeiten zur Verringerung des Beifangs:

- a) Reduktion der Fangflotten und des Fischereiaufwandes,
- b) Ersatz durch andere Fischereimethoden wie z. B. Langleinen oder Fischfallen,
- c) Schonzeiten und Schutzgebiete,
- d) Modifikation an Fischereinetzen,
- e) Einsatz von akustischen Signalgebern (sogenannten Pingern), die Geräusche aussenden und so die Kleinwale von den Netzen verscheuchen sollen,
- f) Erhöhung der akustischen Reflektivität (und damit Wahrnehmbarkeit) von Fischereinetzen.

Pinger senden Schall aus, der für Kleinwale abschreckend sein soll. Zunächst vermutete man, der Schall könnte die Tiere vor einer Gefahr warnen und zu erhöhter Aufmerksamkeit führen. Heute weiß man, dass zumindest bei Schweinswalen eine Schreckwirkung von diesen Geräten ausgeht (z. B. Culik et al. 2001, IWC 2000). In einem Freilandexperiment konnten Culik et al. (2001) zeigen, dass Schweinswale einen Pinger mit Ultraschall-Sweeps (PICE / AquaMark 100) großräumig umschwimmen. Die dichteste Annäherung der Tiere an den eingeschalteten Pinger betrug im Median 530 m (nur eine Gruppe schwamm bis auf 130 m heran). Im dazugehörigen Kontrollversuch (ohne Schall) waren die Abstände im Median 150 m und das absolute Minimum 4 m. In einem anderen Freilandversuch konnte die mittlere Distanz der Schweinswale zur Schallquelle mit einem Dukane NetMark 1000 Pinger um 208 m erhöht werden (Cox et al. 2001).

Pinger haben allerdings eine Reihe von Nachteilen:

- a) sie benötigen eine Energiequelle (Batterien oder Akkus) und müssen von den Fischern regelmäßig gewartet werden,
- b) sie sind vergleichsweise teuer,
- c) sie sind schlag- und stoßempfindlich und somit für Arbeiten an Bord des Schiffes unpraktisch,
- d) es besteht ein Gewöhnungspotential bei den Zielarten, **aber vor allem:**
- e) sie können Kleinwale aus ihrem angestammten Lebensraum vertreiben (IWC 2003) und

- f) sie tragen bei einem flächenhaften Einsatz zur akustischen Umweltverschmutzung bei, wobei nicht auszuschließen ist, dass unerwünschte Nebeneffekte (wie z. B. Stress oder Vergrämung) auf andere Tierarten auftreten.

Eine andere Möglichkeit zur Beifangvermeidung stellt die Erhöhung der Reflektivität von Netzen für das Biosonar der Tiere dar. Vorteile dieser Methode sind:

- 1) Eine Gewöhnung ist nicht möglich,
- 2) es tritt keine Verlärmung der Meeresumwelt auf,
- 3) es wird keine Energiequelle benötigt,
- 4) der Wartungsaufwand ist minimal und
- 5) Anschaffungs- bzw. Gesamtkosten sind für die Fischer auf lange Sicht geringer.

Zur Verstärkung des Netzechos wird Bariumsulfat (Schwerspat BaSO_4) oder Eisenoxid als feines Pulver bei der Herstellung der Nylon-Netzfasern beigemischt. Bariumsulfatnetze werden seit einigen Jahren an der Ostküste Kanadas in Fischereixperimenten getestet. Erste Feldversuche von Trippel et al. (2003) in den Jahren 1998 und 2000 führten zu einer deutlichen Beifangreduktion gegenüber Standardnetzen (12 Beifänge in 467 Standardnetzen, 0 Beifänge in 231 Bariumsulfatnetzen). Die Erträge an Zielfischarten verringerten sich nicht.

Untersuchungen der Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik (Dr. L. Ginzkey, unveröffentl. Ergebnisse) zeigen beim Echo eines Bariumsulfatnetzes im Vergleich zu einem Standardnetz bei einer Beschallung aus 0,8 m Entfernung sehr deutliche Unterschiede. Das Netz wurde bei leicht gestreckter Masche (Maschenweite 165 mm, Garndurchmesser 0,62 mm) naturgetreu aufgespannt und direkt von vorne, also aus einem Winkel von 90° zum Netz beschallt. Das um 6 – 7 dB stärkere Echo des Bariumsulfatnetzes (bei 120 kHz, Schallimpulsdauer 0,2 ms) könnte Schweinswalen wichtige Hinweise liefern, um die gefährliche Barriere zu umschwimmen. Nach Angaben des Netzherstellers Atlantic Gillnet Supply (Gloucester, Maine, USA) weisen die Bariumsulfatnetze eine gegenüber Standardnetzen sogar um 13 dB erhöhte Reflexionsstärke auf.

Eine Aussage über die Wirkungsweisen der Netze war bislang jedoch nicht möglich. Dies zeigt auch die Spekulation über die unterschiedlichen Gründe für die gemessene Beifangverringerung in der Literatur. Sowohl die erhöhte Netzsteifigkeit als auch die verbesserten akustischen Eigenschaften der Netze werden genannt. Darüber hinaus ist denkbar, dass in manchen Fällen auch Unterschiede in der Sichtbarkeit der Netzfasern eine Rolle spielen. Sollten akustische Eigenschaften für die Beifangreduktion verantwortlich sein, ist es nötig zu wissen, wie viele Tiere überhaupt ihr Biosonar am Netz einsetzen. Deshalb war es erforderlich, unter möglichst realen Bedingungen, d. h. an freilebenden Tieren in ihrer natürlichen Umgebung und mit echten Netzen Verhaltensuntersuchungen durchzuführen.

Entsprechende Versuche führten wir im Sommer 2003 im Clayoquot Sound, Vancouver Island, Kanada durch, um die akustischen Eigenschaften des Bariumsulfatnetzes an Schweinswalen zu testen. Zum Vergleich setzten wir ein Standardnetz ein (beide Netze 40×9 m, Maschenweite 165 mm, Garndurchmesser 0,62 mm). Die Versuchstage mit jeweils dem einen oder anderen Netz wurden zufällig gewählt und die Versuche tagsüber durchgeführt. Das Netz wurde jeweils mit einer Bojenkette dicht unter die Wasseroberfläche gehängt und an beiden Enden verankert.

Das kanadische Untersuchungsgebiet zeichnet sich durch eine hohe Tierdichte, geringe Umgebungsgeräusche, seltene Störungen und exzellente Beobachtungsmöglichkeiten von erhöhten Standorten an Land aus. Diese Vorteile nutzen wir bereits seit 1995 in unseren Freilandversuchen. Visuelle Beobachtungen von Land aus konzentrierten sich auf die Auftauchpunkte der Schweinswale, deren Entfernung zum Netz mit Hilfe eines Theodoliten eingemessen wurden. Unter Wasser wurde das akustische Verhalten der Tiere mit Hilfe eines Klickdetektors (POD) registriert, der die Echoortungslaute der Schweinswale mit Hilfe von Filtern identifiziert und Zeitpunkt und Dauer der Klicks aufzeichnet. Im Median betrug die Gruppengröße der beobachteten Schweinswalgruppen 1 (Spanne 1 – 6 Tiere; 160 beobachtete Gruppen).

Die Ergebnisse der optisch mit dem Theodoliten ermittelten Minimaldistanzen der Schweinswalgruppen zu den Netzen und zum Klickdetektor im jeweiligen Netzmittelpunkt gaben keine Hinweise auf ein unterschiedliches Verhalten. Auch die Verweildauer im Umkreis von 50 m zum Netzmittelpunkt zeigte keinen signifikanten Unterschied.

Als wichtigstes Ergebnis stellten wir jedoch eine unterschiedliche Intervalldauer zwischen den Echoortungslauten an beiden Netztypen fest. Der Zeitraum zwischen zwei Echoortungslauten ist ein Hinweis auf die Entfernung des ortenden Tiers zum Zielobjekt (Au, 1993). Während beim Standardnetz ($n = 939$ Klickintervalle) die Intervalldauer im Median 45,2 ms betrug, war der entsprechende Wert beim Bariumsulfatnetz 51 ms ($n = 673$ Klickintervalle; $p < 0.001$ KS-test). Dies legt nahe, dass Schweinswale die akustischen Unterschiede des Netzmaterials wahrnehmen konnten. Aus diesen Werten lässt sich berechnen, dass die Wahrnehmbarkeitsdistanz des Bariumsulfatnetzes gegenüber dem Standardnetz um mindestens 4,4 m erhöht war. Bei Betrachtung der Spitzenwerte in den Klickintervallen könnte die Wahrnehmbarkeit des Bariumsulfatnetzes sogar um 15 m höher liegen als beim Standardnetz. Für schwimmende oder jagende Schweinswalen auf Kollisionskurs mit einem Netz erhöht sich so die Wahrscheinlichkeit, die Barriere rechtzeitig zu erkennen. Unter den Versuchsbedingungen konnten wir nur bei verhältnismäßig wenigen Tieren eine Echoortungsaktivität in Netznähe feststellen, und zwar bei 30,6 % der Walgruppen am Standardnetz ($n = 48$) und bei 19,7 % am Bariumsulfatnetz ($n = 88$). Mit anderen Worten: die meiste Zeit schwimmen Schweinswale „blind“, d.h. ohne ihre Umgebung mit Ultraschall abzutasten. Vermutlich liefern visuelle Eindrücke ihnen bei Tage genügend Information über ihre Umwelt. Da die Klickanzahl bei Einsatz des Standardnetzes signifikant höher war, weist dies auf eine schlechtere Sichtbarkeit im Vergleich zum Bariumsulfatnetz hin.

Um zu testen, ob sich die Echoortungshäufigkeit der Wale durch Stimulation mit einem Geräusch verbessern lässt, setzen wir in einem zweiten Versuch einen Unterwasser-Lautsprecher ein. Bei Beschallung einer Bojenkette (ohne Netz) mit einem 2,5 kHz Sinuston wurde

eine 4x höhere Echoortungshäufigkeit ermittelt und auch die Anzahl von Klicks pro Interaktion war höher als im Kontrollversuch. Die Tiere verwendeten ihr Biosonar also häufiger. Auch die Intervalle zwischen den Klicklauten waren bei Beschallung länger, ein Hinweis auf eine entsprechend größere Ortungsentfernung.

Ein wesentliches Ergebnis unserer Felduntersuchungen in Kanada ist, dass akustische Unterschiede zwischen den untersuchten Netzen bestehen, diese aber nur dann das Verhalten der Schweinswale beeinflussen können, wenn die Tiere auch Echoortung betreiben. Daher lassen sich allein durch die Verbesserung der akustischen Wahrnehmbarkeit des Bariumsulfatnetzes nicht in jedem Fall die Beifänge verringern. Weiterhin konnte in der Studie gezeigt werden, dass mit Hilfe von stimulierenden Geräuschen die Echoortungshäufigkeit von Schweinswalgruppen in der Nähe der Schallquelle erheblich gesteigert werden kann. Um eine Verringerung von Beifängen mit Hilfe reflektiver Netze zu erzielen, erscheint es uns sehr wichtig, diese beiden Befunde zu kombinieren und eine entsprechende Studie auf den Weg zu bringen.

2 Summary

By-catch of small cetaceans has recently been estimated at 300,000 animals per year world wide (IWC 2003). By-catch of harbour porpoises occurs in coastal gillnet fisheries throughout their range (Culik 2004). The animals sonar system is not capable of detecting the nets in time to avoid them. Pingers producing aversive sounds are probably not a solution to the by-catch problem in all of the fisheries: Harbour porpoises might habituate to the sound, or the sound may be so loud that animals are excluded from their habitat. Also, pingers might malfunction, producing "black holes" in the nets. Spaces which are not ensonified may be taken for openings and result in even more by-catch.

Passive acoustic methods such as enhanced acoustic reflectivity of nets may be a way to reduce by-catch without the disadvantages of pingers. Field tests using dense nets in the fishery suggest that by-catch can be reduced by these means. However, it is not clear if the

acoustic reflectivity or the stiffness of the material is responsible for reduced by-catch numbers.

In a field experiment we investigated the behavioural reactions of harbour porpoises to two types of gillnets. One net was a standard nylon gillnet, the other one consisted of nylon mixed with barium sulfate, an acoustically dense material. Net panels (40 x 9 m, mesh size 165 mm, twine diameter 0.62 mm) were placed at the surface perpendicular to the main swimming direction of free-ranging harbour porpoises in Fortune Channel, Clayoquot Sound, Vancouver Island, Canada. Surfacing positions were tracked with a theodolite and acoustic activity of porpoises was logged with a click detector (T-POD) in the middle of the nets. All harbour porpoise activity in the vicinity of 50 m to the center of the net was analysed. Group size of the observed animals was 1 – 6 porpoises with a median of 1 (n= 160 groups).

Visual observations yield that the closest observed approach distance to the nets did not differ significantly between net types ($p > 0.05$; KS test). Median closest approach of harbour porpoises was 18 m to the standard net (n = 48) and 17.5 m to the barium sulfate net (n = 88). Also time spent in a 50 m radius to the middle of the net did not differ significantly ($p > 0.05$; KS test). A reason for this could be the high variability of the data.

Differences in some acoustic parameters were significant. The distribution of click interval duration which is an indirect measure for the maximum detection distance of porpoises shows significantly more clicks with a duration of 60 to 85 ms when the barium sulfate net was used compared to the standard net (barium sulfate: n = 673 intervals; standard: n = 939; $p < 0.001$ KS-test). The median for both net types was 51 ms and 45.2 ms, respectively. This suggests that barium sulfate nets can be detected earlier than standard nets. Click-interval duration is correlated with detection distance (Au 1993). We calculated that in our experiments, the de-

tection distance of barium sulfate nets was increased by at least 4.4 m with respect to the standard net (when considering the median values), and perhaps by as much as 15 m (when considering click interval distribution maxima). This would provide harbour porpoises with a wide safety margin around acoustically enhanced nets and increase their likelihood to detect the barrier during swimming or foraging.

In a 50 m radius around the standard net we recorded echolocation clicks during 30.6 % of all interactions. In the vicinity of the barium sulfate net echolocation clicks were identified in only 19.3 % of interactions. This difference is significant ($\text{Chi}^2=5.44$; $p < 0.02$). Also, the number of clicks per interaction was lower during the use of the barium sulfate net (median = 33) compared to the standard net (median = 55; $p = 0.02$; KS test). This may be explained by the better visibility of the barium sulfate net during our daytime experiments.

Since it does only make sense to enhance the reflectivity of nets when animals are echolocating, we conducted a second experiment to compare harbour porpoise behaviour at a floatline equipped with a sound generating unit producing 2.5 kHz tones. Such tones had previously been found to entice the echolocation-activity of harbour porpoises. The control consisted of a float line only. Results suggest that "enticing" sound could increase the percentage of echolocating animals by a factor of four compared to controls. While clicks were only recorded for 16.7 % of the observed groups (4 of 24) during control periods, 71.4% (15 of 22) of groups used the sonar when the sound was active ($\text{Chi}^2 = 211.5$; $p < 0.001$).

From the promising results of acoustically enhanced nets and enticing sounds we suggest that both methods should be combined to alert free-ranging harbour porpoises to nets which are acoustically better detectable.

3 Wissenschaftliche Hintergrundinformationen

3.1 Beifang von Kleinwalen in der Fischerei

3.1.1 Darstellung der allgemeinen Probleme von Kleinwalbeifängen in der Fischerei

a) Beifang international, Kleinwale allgemein

Weltweit werden nach Schätzungen der Internationalen Walfangkommission (IWC) jährlich etwa 300.000 Meeressäuger, vor allem Kleinwale, in Fischernetzen (WWF 2003). Die Beifangproblematik ist sehr vielschichtig. Je nach Fangtechnik und Meeresgebiet sind unterschiedliche Kleinwalarten betroffen. Auch die Gründe für den Beifang sind je nach Walart oder verwendetem Fanggeschirr unterschiedlich. Beifänge treten in den verschiedenen Formen der Fischerei auf (vgl. IWC 2003, Culik 2004):

- in Stellnetzen, die am Meeresboden verankert sind,
- in Oberflächentreibnetzen,
- in fest installierten Fischfallen,
- in Schleppnetzen,
- in Ringwaden-Netzen,
- und zum Teil sogar an Langleinen.

Große Aufmerksamkeit erregte in den 1980-er Jahren die Ringwadenfischerei vor allem auf Gelbflossentunfisch (*Thunnus albacares*), bei der Netze um Schulen aus Schlankdelfinen (*Stenella attenuata*), Spinnerdelfinen (*Stenella longirostris*) und Gemeinen Delfinen (*Delphinus delphis*) ausgebracht werden, mit denen die Tunfischschwärme assoziiert sind (Jefferson et al. 1992). Weitere betroffene Arten waren Rundkopfdelfine (*Grampus griseus*) (vgl. IWC 2003) und Blau-Weiße Delfine (*Stenella coeruleoalba*) (Jefferson et al. 1992). Gemeinsam mit den Tunfischen wurden auch die Delfine gefangen, die zu Tausenden in den Ringwaden starben. Seit Inkrafttreten eines Gesetzes zum Schutz der Meeressäuger, dem US Marine Mammal Protection Act, müssen Delphine bei dieser Art der Fischerei wieder freigelassen werden. Doch das gelingt nicht immer (Jefferson et al. 1992): Obwohl die Mortalität seit 1986 um 97% reduziert wurde, ist z.B. nach wie vor keine Erholung der Bestände von Schlankdelfinen zu verzeichnen (Gerrodette, 2002). Ein Grund hier-

für ist der große Stress, dem die in den Ringwaden eingeschlossenen Delphine bis zu ihrer Freilassung ausgesetzt sind. Stress und das Trennen von Mutter und Kalb werden für den verringerten Fortpflanzungserfolg verantwortlich gemacht (Archer et al. 2001). Das Problem der Beifänge in dieser Art der Fischerei ist aber grundverschieden von den Beifängen in Kiemennetzen. Bei der Ringwadenfischerei nehmen die Delfine das Netz visuell und akustisch wahr, sehen aber keinen Ausweg aus dem sich immer weiter verengenden Netzring (Jefferson et al. 1992).

Kiemennetze, die als Stell- oder Treibnetze ausgebracht werden, stellen heute bei Kleinwalen die größte Gefährdung dar (Perrin et al. 1994). So werden zum Beispiel Schweinswale (*Phocoena phocoena*) überwiegend in Grundstellnetzen (Vinther 1999, SGFEN 2002b). Für die frühen 1990er Jahre fasst Read (1999) die jährlichen Beifangzahlen wie folgt zusammen: Bay of Fundy (100-424), Gulf of Maine (1.200-2.900), Gulf of St. Lawrence, Neufundland und West Grönland (134-1.531), Island und Nordsee (4.629) und Keltische See (2.049). Die Erklärung für die hohen Beifangzahlen liegt vermutlich in der schlechten Wahrnehmbarkeit von Nylonnetzen in den zumeist recht trüben Küstengewässern, nachts oder in großen Wassertiefen (vgl. Jefferson et al. 1992). Die Tiere ersticken, weil sie einmal in den Netzen verheddert, zum Luft holen nicht mehr auftauchen können.

Für alle Kleinwale spielt die akustische Erkundung der Umwelt mit Hilfe von Klicklauten eine wichtige Rolle (Au 1993). Ihr Biosonar ist damit eine wichtige Anpassung an ihren Lebensraum und ergänzt, bzw. ersetzt über die Augen aufgenommene Eindrücke. Während Große Tümmler auf diese Weise Kiemennetze theoretisch schon aus 25 - 55 m Entfernung wahrnehmen können (Au 1994, Kastelein et al. 2000), ist das Biosonar der Schweinswale hierzu nur bedingt in der Lage. Sie können Netze unter optimalen Bedingungen nur aus 3 - 6 m Entfernung erkennen, eine Distanz, die zu kurz ist, das Netz rechtzeitig zu vermeiden (Kastelein et al. 2000). Der Grund hierfür ist, dass die Echoortungslaute von Schweinswalen eine höhere Spitzenfrequenz, schmalere Bandbreite und vor allem geringere Schallin-

tensität haben als die von Großen Tümmlern (Au 1994).

Von einigen Delfinarten wird zudem berichtet, dass sie Fisch aus Stellnetzen "stehlen", so zum Beispiel Große Tümmler (*Tursiops truncatus*) im Mittelmeer (Northridge 2003). Es ist denkbar, dass es dabei - trotz Wahrnehmung der Netze durch die Tiere - zu Unfällen kommt. Gemeine Delfine, Große Tümmler, Weißstreifendelfine (*Lagenorhynchus obliquidens*), Grindwale (*Globicephala malaena*), Dall-Hafenschweinswale (*Phocoenoides dalli*) und andere Arten kommen in pelagischen (durch das Freiwasser gezogene Netze) oder Grund-Schleppnetzen (über den Meeresboden gezogene Netze) zu Tode (vgl. IWC 2003). Möglicherweise schwimmen sie in die Öffnung von Schleppnetzen, um einen Teil des Fanges zu ergattern (Tregenza & Collet, 1998).

Beifang von Schweinswalen tritt zu einem geringen Teil auch in verschiedenen Fischfallen auf (z. B. Lowry & Teilmann 1994, Read 1994). Dabei spielt vermutlich das Jagdverhalten die entscheidende Rolle: Bei der Verfolgung von Beutefischen gelangen die Meeressäuger in die Reusen (Read 1994). Insbesondere in den Leitnetzen, die Fische zum Reusenkörper lenken, können Schweinswale tödlich verunglücken. Dies wird von Dorschfallen an der Ostküste Kanadas berichtet (Read 1994). Auch beim Leeren von Heringsreusen mit einem

Wadennetz werden tödliche Interaktionen verzeichnet (Read 1994). Abhängig vom Reusentyp kann ein Großteil der Tiere jedoch lebend geborgen werden. Von dänischen 'Bundgarn' Netzen werden nur wenige tödliche Beifänge berichtet (Lowry & Teilmann 1994).

In dieser Studie soll vorrangig auf die Beifänge von Schweinswalen in Grundstellnetzen eingegangen werden. Diese Netze sind verantwortlich für den größten Anteil aller Beifänge von Schweinswalen (Berggren 1994, Lowry & Teilmann 1994). Es werden Möglichkeiten beschrieben und diskutiert, die Tiere entweder auf die Präsenz von Netzen aufmerksam zu machen, damit diese rechtzeitig vermieden werden können, oder die Tiere durch entsprechende Abschreckungsmaßnahmen von Netzen fernzuhalten. Der Schwerpunkt dieser Studie liegt dabei auf den sogenannten *passiven* Methoden, bei denen versucht wird, das Netzmaterial für das Echoortungssystem der Tiere besser erkennbar zu gestalten.

b) Beifangsituation in Nord- und Ostsee

Die Internationale Walfangkommission hat in Ihrem letzten Bericht (IWC 2003) gezählte und geschätzte Beifangzahlen unter anderem für die Nordsee- und Ostseeanrainerstaaten veröffentlicht. Ein Auszug daraus gibt einen Überblick über die offiziellen Beifangzahlen in diesen beiden Randmeeren (Tab. 1).

Tabelle 1: Auf der Tagung der Internationalen Walfangkommission 2002 berichtete Beifänge von Schweinswalen in einigen Ländern an Nord- und Ostsee (IWC 2003).

	1998 berichtet	1998 geschätzt	1999 berichtet	1999 geschätzt	2000 berichtet	2000 geschätzt	2001 berichtet	2001 geschätzt
Deutschland	5	k. A.	3	k. A.	5	5	8	8
Dänemark	k. A.	5206	k. A.	4227	k. A.	4149	k. A.	3887
Schweden	14	k. A.	2	k. A.	3	k. A.	k. A.	k. A.
Großbritannien	33	k. A.	19	k. A.	34	k. A.	k. A.	k. A.

Die von 1998 bis 2001 abnehmenden Beifangschätzungen sind auf einen geringeren Fischereiaufwand zurückzuführen.
k. A. = keine Angaben

Die absoluten für die deutsche Stellnetzfisherei gemeldeten Beifangzahlen erscheinen im internationalen Vergleich, insbesondere gegenüber der dänischen Nordseefischerei, niedrig (z. B. Benke 1994, Kock & Benke 1996, SGFEN 2002a, IWC 2003, Kaschner

2003). Detaillierte Informationen für die **Nordsee** gibt es lediglich von den zur Zeit dort ansässigen sieben Stellnetzkuttern, die im Haupterwerb fischen (Kock & Flores 2003). Januar und September 2003 wurden von diesen Kuttern zwischen 14 bis 28 Schweinswale in

Grundstellnetzen für Kabeljau (*Gadus morhua*) und mindestens zwei Tiere in den nur bis ca. 80 cm hohen Seezugennetzen gefangen. Die Nebenerwerbsfischerei trägt ebenfalls, allerdings zu einem unbekanntem Maß, zum Beifang von Schweinswalen bei. Sollte es aufgrund unterschiedlicher gesetzlicher Regelungen (z. B. in Bezug auf die Verwendung von Schweinswal-Vergrämungsgeräten, „Pingern“) zum Ausflaggen dänischer Kutter nach Deutschland kommen, dürfte sich das Beifangproblem von der dänischen zur deutschen Nordseefischerei verlagern (Kock¹, pers. Mitt.).

In der deutschen **Ostseefischerei** ist vor allem die Dorschfischerei (dieselbe Fischart heißt in der Nordsee Kabeljau) mit Grundstellnetzen als Hauptverursacher von Schweinswalbeifang zu vermuten (vgl. Mentjes 2000). Berichte von Beifängen stammen im Wesentlichen aus dem Bereich von der Flensburger Förde bis Fehmarn (vgl. Mentjes 2000, IWC 2003, Pfander², pers. Mitt.).

Auf gleiche Weise trägt die Lachsfischerei mit Treibnetzen an der schwedischen und polnischen Küste (z. B. Skóra et al. 1988, Skóra 1991, Berggren 1994) beträchtlich zum Beifangproblem in der Ostsee bei. Weiterhin könnten die kilometerlangen Lachs-Treibnetze um Bornholm eine erhebliche Gefahr für Schweinswale darstellen, auch wenn es in der Literatur nur wenige konkrete Hinweise für Beifänge in dieser Fischerei gibt (vgl. Koschinski 2002).

An der deutschen Ostseeküste wurden in den Jahren 1998 bis 2001 jährlich 3 bis 8 Beifänge von Fischern gemeldet (siehe Tabelle 1, IWC 2003). Davon wurden im Jahr 2001 5 Tiere in Schleswig-Holstein gemeldet und 3 Tiere in Mecklenburg-Vorpommern. Bei an der Küste angeschwemmten Tieren ist neben der Herkunft oft auch die Todesursache unbekannt. Man muss davon ausgehen, dass ein Teil der Totfunde ebenfalls aus

Beifängen³ stammt (Pfander, pers. Mitt.). Wie in anderen Ostsee-Anrainerstaaten muss auch in Deutschland von einem zusätzlichen Beitrag der Nebenerwerbsfischerei zu diesen Zahlen ausgegangen werden. Leider ist die Nebenerwerbsfischerei zumeist nicht verpflichtet, Fang- und Aufwandsstatistiken zu führen (SGFEN 2002a). Es ist daher nicht gewährleistet, dass alle beigefangenen Tiere von den Fischern auch gemeldet werden. Folglich sind die an die IWC gemeldeten Beifangzahlen als absolutes Minimum anzusehen.

Beifang in **Schleppnetzen** kommt ebenfalls vor, spielt bei Schweinswalen aber vermutlich nur eine untergeordnete Rolle (SGFEN 2002a, Kaschner 2003).

Weiterhin liegen für Deutsche Gewässer nach wie vor keine befriedigenden Bestandsschätzungen für Schweinswale vor. Insbesondere eine eigenständige, genetisch isolierte Ostseepopulation (Tiedemann et al. 1996, Huggenberger et al. 2002, Koschinski 2002), die für den Bereich östlich der Darsser Schwelle vermutet wird, ist schon durch sehr geringe Beifänge gefährdet. Vermutlich besteht diese Population aus weniger als 600 Tieren (Hiby & Lovell 1996, Scheidat et al. 2003). Aufgrund der unsicheren Datenlage kann eine abschließende Bewertung der Beifangsituation in deutschen Küstengebieten derzeit jedoch nicht getroffen werden.

Seit dem Inkrafttreten von ASCOBANS (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic and North Seas) im Jahre 1994 werden in Nord- und Ostsee beifangmindernde Maßnahmen gefordert (z. B. ASCOBANS 2002, SGFEN 2002a, b). Dabei werden folgende Möglichkeiten diskutiert:

- a) Reduktion der Fangflotten und des Fischereiaufwandes,
- b) Ersatz durch andere Fischereimethoden wie z. B. Langleinen oder Fischfallen,

¹ Karl-Hermann Kock, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg.

² Andreas Pfander, Gesellschaft zum Schutz der Meeressäuger e. V., Quickborn.

³ z. B. in 2002: 14 Strandfunde nördlich der Eckernförder Bucht, zum Teil mit Netzabdrücken auf der Haut (Pfander, pers. Kommentar).

- c) Schonzeiten und Schutzgebiete,
- d) Modifikationen an Fischereinetzen,
- e) Einsatz von akustischen Signalgebern (sogenannten Pingern), um Kleinwale von den Netzen zu verschrecken und
- f) Erhöhung der Reflektivität (und Wahrnehmbarkeit) von Fischereinetzen.

Im folgenden Kapitel werden diese Möglichkeiten eingehender beleuchtet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den akustischen Methoden (Pinger, passive Reflektoren und reflektive Netze) zur Beifangverringering.

3.2 Bisherige Lösungsversuche

a) Reduktion der Fangflotten und des Fischereiaufwandes

Die Internationale Walfangkommission vermutet zwischen Beifangzahlen und Fangmengen einen direkten Zusammenhang (IWC 2003). So führten zwei verschiedene Rechenmethoden zur Ermittlung des Beifangs mit Hilfe von Stichproben zu der Annahme, dass in den letzten Jahren der Beifang in der dänischen Nordseefischerei unter anderem durch verringerten Fischereiaufwand und dadurch reduzierte Anlandungen zurückgegangen ist (IWC 2003; vgl. Tabelle 1). Auch in der Bay of Fundy, Kanada (Trippel & Shepherd 2004) und im Golf von Maine, USA (Rossman 2000) führten reduzierte Fangquoten zu einem geringeren Fischereiaufwand und damit geringeren Beifängen. Somit erscheint es legitim, in Rechenmodellen zur Schätzung von Beifangzahlen die Anlandungen als Grundlage zu verwenden (vgl. Vinther 1999).

Die Reduktion des Fischereiaufwandes d. h. die Ausbringung von weniger Netzen in Verbindung mit dem Einzug von Fischereilizenzen ist daher sicher die effektivste Methode, Beifang zu verringern. Allerdings stößt sie auf erheblichen Widerstand bei den Fischern und ist nur schwer zu kontrollieren.

b) Ersatz durch andere Fischereimethoden wie z. B. Langleinen oder Fischfallen

Ein Ausweichen auf gänzlich andere Fangmethoden wie z. B. Langleinen dürfte in vielen Fällen Abhilfe in der Beifangproblematik schaffen. Zwar kommt es auch

in einigen Langleinenfischereien zu tödlichen Interaktionen mit Kleinwalen (vgl. IWC 2003) oder Seevögeln (FAO 1999), aber bei einer entsprechenden Begleitung der Umstellung in der Fangtechnik mit Beobachterteams an Bord der Fischkutter dürften sich Probleme dieser Fischereiform rechtzeitig erkennen und lösen lassen. Fischfallen wie die dänischen Bundgarnnetze sind eine weitere Alternative zu Stellnetzen. Zwar werden z. B. in Dänemark auch Schweinswale in solchen Fallen gefangen, die Zahlen von tödlich verlaufenden Beifängen in derartigen Netzanlagen sind jedoch sehr gering (Lowry & Teilmann 1994).

c) Schonzeiten und Schutzgebiete

Die dritte Strategie betrifft zeitlich befristete und räumlich beschränkte Fischereiverbote. Diese Strategie wird seit 1994 im Golf von Maine, einem Gebiet mit ehemals sehr hohen Beifängen an der Ostküste der USA eingesetzt. Die Beschränkungen im Jahr 1994 waren allerdings nicht effektiv, da die Fischerei an den Rand der zeitlich befristeten Schutzgebiete auswich und sich der Beifang entsprechend durch Erhöhung des Fischereiaufwandes in diese Bereiche verlagerte, auch waren die Schonzeiten zu kurz (Murray et al. 2000).

Im Jahr 1999 hat man die zeitlich und räumlich begrenzten Fischereiverbote aufgrund von Schutzbemühungen für bestimmte Zielfischarten (zum Beispiel Kabeljau und Schellfisch (*Melanogrammus aeglefinus*)) erweitert und zusätzlich in bestimmten Gebieten akustische Vergrämer (Pinger) vorgeschrieben (Rossman 2000). Dieser sogenannte "take reduction plan" führte zu einer 77 %igen Verringerung des Beifanges gegenüber den Vorjahren (1994 - 1998). Eine genaue Analyse der Gründe, die zu diesem erfreulichen Rückgang der Beifänge führten, ergab jedoch, dass hierfür vor allem eine Verringerung des Fischereiaufwandes verantwortlich war (siehe Punkt (a)). Denn obwohl zu gewissen Zeiten in den entsprechenden Managementgebieten eine Fischerei (mit Pingern) erlaubt war, blieben die meisten Fischer im Hafen (Rossman 2000).

d) Modifikationen an Fischereinetzen

Eine weitere Methode betrifft Veränderungen der Fangtechnik in besonders beifangträchtigen Fischereien.

Hembree & Harwood 1987 experimentierten in einer Treibnetzfischerei auf Haie, Tunfische und Makrelen vor Nordaustralien mit Oberflächennetzen im Vergleich zu Netzen die um 4,5 m tiefer gehängt waren. Die tiefer gehängten Kiemennetze sollten Kleinwalen eine Fluchtmöglichkeit über dem Netz bieten. Auch sollte die Kopfleine des Netzes mit ihren Schwimmkörpern unterhalb der Wasseroberfläche besser zu orten sein. Zwar verringerte diese Maßnahme den Beifang um ca. 50 % bei Spinnerdelphinen (*Stenella longirostris*) und Großen Tümmlern, aber auch der Fang der Zielarten war um ca. 25 % geringer. Todd & Nelson (1994) listen weitere Studien zur Veränderung der Fangtechniken auf. Alle beziehen sich auf das Absenken der Kopfleine bei Treibnetzen oder bei Leitnetzen zu Fischfallen.

Für Schweinswale stellen diese Modifikationen jedoch keine Lösung dar, weil die meisten Beifänge wie in Dänemark oder der Bay of Fundy (Kanada) ohnehin in Grundstellnetzen auftreten (z. B. Gaskin, 1984; Lowry & Teilmann, 1994, Vinther 1999), also bei Netzen, über die Kleinwale ohnedies hinweg schwimmen könnten. Das Problem liegt somit im Erkennen der Netze.

e) Einsatz von Pingern

Zwei grundsätzlich verschiedene **akustische Methoden** werden zur Lösung des Beifangproblems vorgeschlagen, aktive und passive (siehe unten) Modifikationen, die darauf zielen, Netze für Kleinwale auffälliger zu machen.

Aktive akustische Methoden sind Vorrichtungen im Netz, die Geräusche aussenden (sogenannte Pinger oder ADDs = *acoustic deterrent devices*; Abb. 1). Dadurch sollen Netze für Kleinwale auffälliger gemacht oder die Tiere durch für sie unangenehme Geräusche abgeschreckt werden. Diese batteriebetriebenen Geräte bestehen aus einer wasserdicht verpackten Elektronik, die über einen meist piezoelektronischen Schwinger verschiedene Frequenzen abstrahlt.

Seit Mitte der 1990er Jahre wurde in der Beifangforschung eindeutig die Entwicklung und Erprobung von Pingern favorisiert. Es findet sich eine Fülle von unterschiedlichen Studien zu diesem Thema (z. B. Hatakeyama et al. 1994, Lien & Hood 1994, Lien et al.

1995, Kraus et al. 1997, Koschinski & Culik 1997, Culik et al. 2001). Zunächst vermutete man, der Schall könnte die Tiere vor einer Gefahr warnen und zu erhöhter Aufmerksamkeit führen. Heute weiß man, dass zumindest bei Schweinswalen eine Schreckwirkung von diesen Pingern ausgeht (z. B. Culik et al. 2001, IWC 2000). Erste erfolgreiche Fischereixperimente mit verschiedenen Pinger-Prototypen (Frequenz ca. 3 - 4 kHz) wurden 1992 bis 1994 in Neufundland/Kanada durchgeführt (Lien & Hood 1994, Lien et al. 1995). Durch den Einsatz der Geräte wurde der Beifang von Schweinswalen meßbar verringert. In nachfolgenden Verhaltensexperimenten an Schweinswalen in Gefangenschaft (Kastelein et al. 1995) stellte man fest, dass ein "unreiner" Schallimpuls mit Obertönen⁴ ein wesentlicher Faktor für die Reaktion der Tiere ist. Dieses Prinzip ist in die Entwicklung späterer Pinger eingeflossen. In Tabelle 2, Seite 14 sind verschiedene Pinger-Modelle mit ihren Besonderheiten aufgeführt.



Abb. 1. Beispiel für verschiedene Pingertypen. Links PICE/Aquamar, Mitte Dukane NetMark 1000, rechts Prototyp eines 3 kHz Pingers nach Lien et al. (1995).

⁴ Obertöne sind sich überlagernde Töne mit einem mehrfachen der Fundamentalfrequenz, d. h. im Falle der Pinger aus Neufundland 3 kHz, 6 kHz, 9 kHz, 12 kHz,....

Tabelle 2: Frequenzen und Schallpegel verschiedener Pinger-Modelle (nach SGFEN 2002b, ergänzt).

Pingermodell	Schallpegel (dB re 1µPa, 1m)	Frequenz (kHz)	Signaltyp	Wiederhol- Frequenz (s)	Besonderheiten
Lien	115	3	Ton	4	erster Prototyp
Dukane NetMark 1000 und 2000	130-150	10	Ton	4	wird nicht mehr produziert erfolgreiche Fischereiexperimente: Schweinswale in Grundstellnetzen und Gemeine Delfine in Treibnetzen
AquaMark 300	145	10	Ton	4	
Airmar Gillnet Pinger	132	10	Ton	4	
Fumunda	132	10	Ton	4	
AquaMark 100/200 (PICE/ACE Aqua- tec)	145	20 - 160 zufällig	Breitband 'sweep'	4 - 30 zufällig	Unterschiedliche ‚sweeps‘ (Töne mit auf- und absteigenden Frequenzen) Wiederholfrequenz zufällig erfolgreiche Fischereiexperimente: Schweinswale in Grundstellnetzen und Große Tümmler (Netzbeschädi- gungen)
SaveWave DolphinSaver (z. B. High Impact Saver)	140 oder 150	5-90 oder 90 - 160	Breitband 'sweep'	4 - 30 zufällig	‚sweeps‘, s. o. zwei Schallgeber mit unterschiedli- chen Frequenzbereichen erfolgreiches Fischereiexperiment: Große Tümmler (Netzbeschädigun- gen)

Die Auswahl der verwendeten Frequenzen ist ein Kompromiss aus möglichst tiefen Frequenzen, die sehr weit ausstrahlen und daher (energiesparend) mit einem geringeren Schalldruck ausgesendet werden können und eher hohen Frequenzen, die für Kleinwale gut wahrnehmbar, für die meisten Zielfischarten jedoch nicht hörbar sind. In den neueren Pingermodellen wurden 10 kHz Töne (DUKANE Pinger) und breitbandige in der Tonhöhe variable Ultraschall-Laute, sogenannte `sweeps` (AquaMark 100; dolphin saver) gewählt. Unterschiedliche, zufällig gewählte sweeps in Verbindung mit zufälliger Wiederholfrequenz (AquaMark 100, dolphin saver) und zwei parallele Schallgeber⁵ mit unterschiedlichen Frequenzen (dolphin saver) sollen eine mögliche Gewöhnung der Kleinwale an den Schall

der Pinger ausschließen. Die Verwendung einer Vielzahl von Frequenzen soll die Chance erhöhen, dass verschiedene Kleinwalarten durch die Pinger von Netzen ferngehalten werden (dolphin saver). Beide Entwicklungen wurden aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet (z. B. Kastelein et al. 1997 a) und sind noch nicht ausreichend untersucht.

Die Dauer des Schallimpulses scheint für die Schreckwirkung keine Rolle zu spielen (IWC 2003). Durch kürzere Impulse kann die Batterielebensdauer der Geräte verlängert werden.

Derzeit befinden sich sogenannte interaktive Pinger in der Entwicklung (Rosager et al. 2003). Dabei wird ein Pinger (AquaMark 100) mit einem elektronischen Klickdetektor kombiniert (Rosager et al. 2003). Ein dem Schweinswalklick ähnliches Geräusch wird vom Pinger ausgesendet. Dieses soll die Aufmerksamkeit

⁵ Schallgeber oder Schwinger sind Bauteile eines Pingers, welche die elektrischen Informationen aus der Elektronik in Schwingungen = Schall umsetzen.

der Tiere auf sich lenken (*enticing sound*), und den Schweinswal zu einer auf den Pinger gerichteten Antwort stimulieren. Dieses Echoortungssignal löst dann erst die abschreckenden Signale aus. Eine derartige Konstruktion ist vermutlich das wirksamste Mittel gegen eine mögliche Gewöhnung, da die Schrecklaute nicht ständig ausgesendet werden und beim sich annähernden Tier immer erst bei Unterschreiten der Klick-Reichweite ausgelöst werden (und daher in voller Intensität wirken). Bislang ist die Wirkung dieser Pinger nur an wenigen Tieren im Freiland untersucht. Die Autoren werten ihre Ergebnisse als vielversprechend. Mit diesen Geräten könnte die „Dauerverlärmung“ der Meere reduziert werden.

Derzeitige Verwendung von Pingern in der Fischerei

Pinger werden derzeit in verschiedenen Fischereien kommerziell eingesetzt. Dies sind die Stellnetzfisherei in Gebieten im Golf von Maine (USA), die in der Vergangenheit sehr hohe Beifangraten zu verzeichnen hatte, und die Treibnetzfisherei vor Kalifornien. Auch für die dänische Stellnetzfisherei an Schiffswracks in der Nordsee, die besonders zwischen August und Oktober zu hohen Beifängen führte, sind sie im entsprechenden Zeitraum seit August 2000 zwingend vorgeschrieben. Dort haben sie zum Rückgang der Beifänge geführt (Larsen et al. 2003b): Während zwischen 1993 und 2000 in 19 Fällen jeweils ein oder mehrere Schweinswalbeifänge in insgesamt 873 ausgebrachten Netzen ohne Pinger beobachtet wurden, konnte in den Jahren 2000 und 2001 in 129 kontrollierten Netzen mit Pingern kein Beifang festgestellt werden. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant.

In einem Freilandexperiment konnten Culik et al. (2001) zeigen, dass Schweinswale einen Pinger mit Ultraschall-Sweeps (PICE / AquaMark 100) großräumig umschwimmen. Die dichteste Annäherung der Tiere an den eingeschalteten Pinger betrug im Median⁶ 530 m (nur eine Gruppe schwamm bis auf 130 m heran). Im dazugehörigen Kontrollversuch (ohne Schall)

⁶ Der Median ist der Wert, der auf einer Skala die Messwerte exakt in eine obere und eine untere Hälfte teilt. Bei biologischen Fragestellungen wird in der Statistik der Median an Stelle des Mittelwerts verwendet, wenn die Daten nicht normalverteilt sind.

waren die Abstände im Median 150 m (Minimum 4 m). Die Differenz beträgt bei diesem Pingertyp (breitbandsweeps) somit 380 m. In einem anderen Freilandversuch konnte die Entfernung von Schweinswalen zu einem Dukane NetMark 1000 Pinger (ton) anfänglich auf 208 m vergrößert werden. Allerdings nahm die Reaktionsdistanz in diesem Versuch nach 4 Tagen um 50 % ab (Cox et al. 2001). Die rasche Gewöhnung der Tiere ist eines der größten Probleme in der Verwendung von Pingern.

Culik et al. (2001) stellten fest, dass zumindest die Fängigkeit von Heringsnetzen in der Heringfischerei vor Rügen durch den Einsatz von Pingern verschiedener Bauart (Lien, PICE, Dukane) nicht beeinträchtigt wurde. In Netzen mit Lien-Pingern nahm die Fängigkeit sogar zu. Dies erweitert die Ergebnisse von Lien et al. (1995) in Bezug auf die nicht feststellbare Reaktion von Dorsch und Pollack auf ihren Pingertyp.

Andere Kleinwalarten und Pinger

An anderen Kleinwalarten sind Pinger bislang weniger untersucht worden. Eine aktuelle Fischereistudie belegt aber eine deutliche Beifangreduktion um 87,3% bei Blau-Weißen Delfinen in der Französischen Tunfisch-Treibnetzfisherei (SGFEN 2002b). Im Gegensatz dazu steht ein Experiment mit einem in Gefangenschaft gehaltenen Blau-Weißen Delfin, der einen Pinger-Typ neugierig untersuchte, anstatt durch ihn vertrieben zu werden (Kastelein⁷, pers. Mitt.). Der Beifang von Gemeinen Delfinen konnte durch Pingereinsatz in der kalifornischen Offshore-Treibnetzfisherei deutlich verringert werden (SGFEN 2002b). In Sizilien und Griechenland konnten durch Pingereinsatz Schäden an Netzen durch Große Tümmler verringert werden (SGFEN 2002b, Northridge⁸, pers. Mitt.). Pinger-Tests an der Öffnung von Schleppnetzen vor England und Mauretanien führten hingegen nicht zum gewünschten Ergebnis (SGFEN 2002a).

⁷ Ron Kastelein, Sea Mammal Research Company (SEAMARCO), Harderwijk, Niederlande.

⁸ Simon Northridge, Sea Mammal Research Unit, St. Andrews, England.

Nachteile von Pingern

Pinger haben eine Reihe von Nachteilen:

- 1) sie benötigen eine Energiequelle (Batterien oder Akkus) und müssen von den Fischern regelmäßig gewartet werden,
- 2) sie sind vergleichsweise teuer,
- 3) sie sind schlag- und stoßempfindlich und somit für Arbeiten an Bord des Schiffes unpraktisch,
- 4) es besteht ein Gewöhnungspotential bei den Zielarten, aber vor allem:
- 5) sie tragen bei einem flächenhaften Einsatz zur akustischen Umweltverschmutzung bei, wobei nicht auszuschließen ist, dass unerwünschte Nebeneffekte (wie z. B. Stress oder Vergrämung) auf andere Tierarten auftreten, und
- 6) sie können Kleinwale aus ihrem angestammten Lebensraum vertreiben.

Zu 1) Die Wartung der Geräte durch die Fischer ist nicht immer gewährleistet. Gerade, wenn den Fischern Pinger per Gesetz verordnet werden, ist die Bereitschaft zur sachgerechten Verwendung sicher nicht bei allen beteiligten Fischern optimal. Nicht funktionierende Pinger innerhalb eines langen Netzes könnten den Tieren vorspiegeln, dass hier eine Lücke im Netz sei. An derartigen 'black holes' wäre die Kollisionsgefahr mit Netzen sogar erhöht. In einem Experiment mit einem simulierten 'black hole' (ohne Netz) wurde eine 300 m breite Lücke mit nicht funktionierenden Pingern (Pinger-Abstand je 100 m) zwar nur von einem Tier bei insgesamt 11 untersuchten Schweinwalgruppen durchbrochen, jedoch ist anzunehmen, dass das Ergebnis vom generellen Abstand zwischen den Pingern abhängig ist (Berggren et al. 2002).

Zu 2) Die Preise für Pinger sind derzeit noch recht hoch: so kostet das Modell SaveWave High Impact Saver mit einer Lebensdauer von 1000 Stunden (Das entspricht 125 Tagen zu je 8 Stunden Ausbringungszeit) bei einer Bestellung von 20 Geräten pro Stück € 66 (SaveWave 2004). Auf eine Netzlänge von 6000 m bezogen (typische Netzlänge in der Stellnetzfisherei; vgl. Lowry & Teilmann 1994) und bei einer Platzierung alle 200 m (EU 2004) betragen die Anschaffungskosten von € 1.980,-. Hinzu kommen regelmäßige Kosten für

Batterien bzw. Austauschgeräte⁹ und den Ersatz ausgefallener, bzw. verlorener Geräte: eine für Fischer auf Dauer erhebliche finanzielle Belastung.

Zu 3) Beim Gebrauch der Pinger in Verbindung mit Winden und Power-Blocks, übliche Arbeitsgeräte, um Netze an Bord eines Schiffes zu holen, können die Plastikgehäuse mancher Pingertypen beschädigt und damit undicht werden (siehe Seafish 2003). Einige Hersteller sind dazu übergegangen, die Elektronik mit samt der Batterie in Kunstharz zu gießen. Das schließt allerdings eine Wiederverwendung aus, da die Batterie nicht gewechselt werden kann.

Zu 4) Ein bislang wenig untersuchtes Phänomen ist die mögliche Gewöhnung der betreffenden Kleinwalarten an die erzeugten Schallimpulse. Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass die anfänglich sehr ausgeprägte Fluchtreaktion von Schweinswalen mit der Zeit abnimmt. In Freilandexperimenten gab es erste Hinweise auf eine Gewöhnung an einen 2,9 kHz (Lien-) Pinger (Koschinski & Culik 1997). Die Gewöhnung von Schweinswalen an einen 10 kHz (DUKANE-) Pinger konnte vor kurzem nachgewiesen werden (Cox et al. 2001, siehe oben). Ob zufällig gewählte Sweeps oder Wiederholffrequenzen die Gewöhnung hinauszögern oder unterbinden ist bislang nicht geklärt. Es ist durchaus vorstellbar, dass bei anderen Kleinwalarten eine noch schnellere Gewöhnung auftritt als bei Schweinswalen. Dies wird insbesondere dann der Fall sein, wenn eine Gewöhnung belohnt wird. So wird von Großen Tümmlern im Mittelmeer berichtet, dass sie Fische aus Netzen "stehlen". Bei einem Einsatz von Pingern in solchen Fällen kann sich eine anfängliche Beifangverringerung ins Gegenteil verkehren, wenn die Tiere nach erfolgter Gewöhnung erst durch die Pinger auf Netze aufmerksam gemacht werden ("dinner bell effekt" *sensu* Reeves et al. 1996).

Zu 5) Pinger tragen bei einem flächenhaften Einsatz erheblich zur Verlärmung der Meeresumwelt bei. Dies hat vermutlich auch Auswirkungen auf andere marine Tiere, die im Frequenzbereich von Pingern ein gutes

⁹ Bei einigen Pingertypen (Tab. 2) ist die Stromversorgung fest eingegossen. Es sind damit Einweggeräte.

Hörvermögen haben. Zum Beispiel weiß man von verschiedenen Heringsfischen (*Clupeidae*), dass sie Ultraschall wahrnehmen können. So konnte in Schallversuchen mit Amerikanischen Maifischen (*Alosa sapidissima*) eine Reaktion der Tiere auf Frequenzen von 25 - 130 kHz (dies liegt im Frequenzbereich einiger Pinger) nachgewiesen werden (Mann et al. 1997).

Eine wirksame Reduktion der Schallemissionen ist nur mit möglichst leisen oder interaktiven Pingern zu erreichen, denn die akustische Umweltverschmutzung, die von interaktiven Geräten ausgeht, ist nur temporär. Der Einfluss der von Pingern ausgehenden akustischen Meeresverschmutzung auf die marine Umwelt ist bisher nicht untersucht, sollte aber vor einem flächendeckenden Einsatz in jedem Fall Bestandteil einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung sein.

Zu 6) Gerade ein flächenhafter Einsatz von Pingern kann in manchen Regionen großflächig zur Vertreibung aus dem angestammten Lebensraum der Kleinwalarten führen. Für ein Gebiet in der Nordsee wurde zwar berechnet, dass bei einer Reichweite der Pinger von 400 m nur 1 % der Wasserfläche beschallt würde (Larsen & Hansen 2001). Allerdings gilt dies nur für einen relativ homogenen¹⁰ Bereich weit vor der Küste. In Bereichen nahe der Küste, in denen der Wasserkörper durch Flachwasserzonen und Inseln von Fischern wie von Kleinwalen nur zu einem Bruchteil genutzt werden kann, dürfte der Anteil beschallten Schweinswallebensraums wesentlich größer sein (Carlström et al. 2002). So liegen an der deutschen Ostseeküste pro 100 km Küstenlinie zu jeder Zeit wohl ca. 1000 km Netze aus, ein Großteil davon in küstennahen Gebieten (Boysen¹¹, pers. Mitt.).

Schlussfolgerung Pinger

Vor dem Hintergrund der genannten Probleme, die mit einem flächenhaften Einsatz von Pingern verbunden sind, empfiehlt das wissenschaftliche Komitee der Internationalen Walfangkommission, Pinger-Programme nur in Gebieten und zu Zeiten mit einem hohen Bei-

fangrisiko durchzuführen, Projekte wissenschaftlich zu begleiten und regelmäßig den Erfolg und die Nebenwirkungen der Maßnahmen zu überprüfen. Generell sollten diese Programme erst einmal nur für maximal 3 Jahre angesetzt werden. Langfristig sollte eine Umstellung auf weniger riskante Fischereitechniken erfolgen und der Fischereiaufwand in Risikogebieten reduziert werden. Eine mögliche Vertreibung aus dem Lebensraum sollte vor dem flächenhaften Einsatz von Pingern bedacht werden (IWC 2003). Dies ist vor allem vor dem Hintergrund wichtig, dass eine Vertreibung von Schweinswalen aus ihrem Lebensraum gemäß FFH Richtlinie der Europäischen Union nicht zulässig ist.

f) Erhöhung der Reflektivität von Fischereinetzen durch passive akustische Methoden

Eine andere Möglichkeit zur Beifangvermeidung stellt die Erhöhung der Reflektivität der Netze dar. Dadurch sollen Kleinwale mit ihrem Echoortungssystem die Netze als Barriere erkennen und umschwimmen. Das setzt natürlich voraus, dass die Tiere ihr Sonar hinreichend oft einsetzen und dabei den eng begrenzten Schallkegel auch auf das Netz richten. Die Vorteile dieser Methode sind:

- 1) Eine Gewöhnung ist nicht möglich,
- 2) es tritt keine Verlärmung der Meeresumwelt auf,
- 3) es wird keine Energiequelle benötigt,
- 4) der Wartungsaufwand ist minimal und
- 5) Anschaffungs- bzw. Gesamtkosten sind für die Fischer möglicherweise geringer.

Die meisten Kiemennetze bestehen derzeit aus Nylon-Monofilamenten. In der Ostsee spielen auch sogenannte Multimonofil-Netze eine bedeutende Rolle. Hier wird das verwendete dünnere Nylonfilament zu dickeren Strängen verflochten. Multimonofil-Material ist reißfester als Monofil und das Netzmaterial besitzt eine geringere Steifigkeit¹² (Mentjes¹³, pers. Mitteilung). Der Dichteunterschied zwischen dem Netz-Material und Seewasser ist sehr gering, so dass es nur ein geringes Sonar-Echo zurückwirft (Pence 1986, Au 1994,

¹² Das Netzmaterial ist dadurch leichter verformbar. Dies wirkt sich unter Umständen günstig auf die Fängigkeit der Netze aus.

¹³ Tönjes Mentjes, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg.

¹⁰ Im Tiefwasser ist der Lebensraum für Schweinswale weniger stark gegliedert als im küstennahen Bereich.

¹¹ Otto Boysen, Fischereiaufsicht Kiel.

Kastelein et al. 2000). Dadurch sind die Netze für die Wale kaum wahrnehmbar. In der Annahme, daß Beifänge durch die Erhöhung der Reflexionsstärke verringert werden können, wurden verschiedene Methoden getestet. Diese betrafen sowohl Veränderungen des Netzmaterials selbst als auch verschiedene in den Netzen angeordnete Reflektoren.

Erste Experimente mit Hohlfasernetzen oder metallischen Objekten als Sonar-Reflektoren wurden von Dawson (1991, 1994), Jefferson & Curry (1994) und Todd & Nelson (1994) beschrieben. Dawson (1994) wies darauf hin, dass die wichtigste Anforderung an derartige Netzmodifikationen eine wirksame Beifangreduktion ist, ohne dass die betroffene Fischerei unwirtschaftlich wird. Somit muss der Anschaffungspreis des verwendeten Materials oder Reflektors niedrig sein, und die Fangraten der verwendeten Netze in Bezug auf die Fischart, die gefangen werden soll, dürfen nicht mehr als um ein wirtschaftlich vertretbares Maß verringert werden. Auch sichere und einfache Handhabung, Gewicht und Platzbedarf von Reflektoren oder veränderten Netzmaterialien spielen eine Rolle, da auf Fischkuttern der Platz begrenzt ist und die Arbeit der Fischer nicht erschwert werden soll.

Netze aus Hohlfasern erwiesen sich in Versuchen als nicht sonderlich vielversprechend. Reflexionsstärkemessungen waren widersprüchlich. So stellten Au & Jones (1991) fest, dass Netze aus Hohlfasern eine um ca. 8 dB höhere Reflexionsstärke haben als Netze aus normalen Monofilamentfasern. Pence (1986) fand im Gegensatz dazu jedoch eine 8 bis 10 dB geringere Reflexionsstärke bei Hohlfasernetzen. Allerdings sind diese Messungen aufgrund der zu erwartenden geringen Reflexionsstärken vor nicht zu vermeidenden Hintergrundgeräuschen, z. B. durch Wellenschlag oder auch in der Meeresumwelt bei den heute allgegenwärtigen Schiffsgeräuschen sehr anspruchsvoll. Inwieweit die jeweils verwendete Messtechnik in der Lage war, Unterschiede festzustellen, kann nicht beurteilt werden.

Dawson (1994) berichtet von japanischen Studien, in denen mit Hohlfasern oder Multifilamenten weniger Dall-Hafenschweinswale gefangen wurden. Allerdings waren die Ergebnisse nicht signifikant.

Hembree & Harwood (1987) testeten Ketten aus verchromten Nickelperlen und Kunststoffschläuche (\varnothing 6 mm) als passive Reflektoren in der Treibnetzfischerei vor der Nordküste Australiens. Sie verzeichneten bei keinem der beiden Reflektoren eine signifikante Verringerung der Beifangrate von Großen Tümmlern, Spinnerdelphinen und Schlankdelphinen. Versuche im Jahre 1985 hatten sogar das unerwartete Ergebnis, dass in den mit Ketten bestückten Netzen mehr Delphine gefangen wurden als in Kontrollnetzen. Die Versuche von Silber *et al.* (1994) mit den gleichen Reflektoren, aber einer anderen Beobachtungsmethode (theodolite tracking, s. u.) bei Schweinswalen brachten hingegen signifikant größere Vermeidungsraten gegenüber der Kontrolle.

Vielversprechend erschienen die Versuche von Mayo & Goodson (1992) und Goodson *et al.* (1994) mit ins Wasser gehängten ellipsoiden luftgefüllten Plastikhohlkörpern. Deutliche Effekte zeigten ihre Experimente vor England, in denen Große Tümmler ausgelegte Barrieren mit Hohlkörpern als Reflektoren schon in einer Entfernung von 50 m wahrnehmen konnten und diese umschwammen. Ein Fischereixperiment in Südafrika mit denselben Reflektoren erbrachte eine deutliche Beifangreduktion bei Großen Tümmlern (SGFEN 2002a). In Delphinarienversuchen zeigte sich, dass dieselben Reflektoren auch von Schweinswalen vermieden wurden (Goodson 1994). Koschinski & Culik (1997) konnten allerdings mit ähnlichen Reflektoren bei ihren Versuchen an freilebenden Schweinswalen keinen Unterschied in der Vermeidungsrate einer Netzattrappe feststellen. Möglicherweise ist der Abstand zwischen den Reflektoren entscheidend dafür, ob die Netze als Barriere erkannt werden. Luftgefüllte Reflektoren stellen jedoch in der Handhabung der Netze aufgrund ihres hohen Auftriebs und Volumens¹⁴ ein Problem dar.

Kastelein *et al.* (1997b) stellten fest, dass Schweinswale in Gefangenschaft nicht durch großmaschige (180 und 360 cm) Netze aus Nylontauen (4 bzw. 5,5 mm

¹⁴ Um den Auftrieb der Hohlkörper zu kompensieren, müssen die Netze mit erheblichen Mengen an Blei beschwert werden. Außerdem benötigen sie einen erheblich größeren Stauraum an Deck. Ferner können sich die Reflektoren in den Netzmaterialien verheddern und die Arbeit an Bord erschweren.

Durchmesser) schwammen. Der Vorschlag, diese Großmaschen in Standardnetze einzuarbeiten, wurde von Mentjes (2000) aufgegriffen, der die fischereiliche Eignung derartiger Netze in der Dorschfischerei untersuchte. Bei der Verwendung von Netzen mit entsprechenden "Scheuchmaschen" aus weißen oder gelben 6 mm Polypropylenleinen zeigte sich jedoch eine 50-prozentige Verringerung im Durchschnittsfang von Dorschen bei den modifizierten Netzen. Da jedoch modifizierte und Standardnetze im Wechsel an langen Fleeten¹⁵ ausgebracht wurden, ist eine Beeinflussung der Fangmenge durch eine Leitwirkung der Scheuchmaschen in die benachbarten Netze denkbar. Das heißt, Fische könnten von Scheuchmaschen in das benachbarte Netz „umgeleitet“ worden sein. Zur Zeit sind weitere Experimente dazu in Planung (Mentjes, pers. Mitt.).

In den meisten bislang durchgeführten Experimenten mit Reflektoren wie Hohlkörpern oder verändertem Netzmaterial verringerte sich der Fang der Fischerei-Zielarten oder es zeigten sich Schwächen des Materials (vgl. Dawson 1991, 1994, Silber et al. 1994, Jefferson & Curry 1994), so z.B. ein Entweichen der Luft aus Hohlfasernetzen in größeren Wassertiefen oder nach längerem Gebrauch.

g) Einsatz von Bariumsulfatnetzen bzw. Eisenoxidnetzen

Eine weitere passive akustische Methode ist die Verstärkung des Netzechos durch Bariumsulfat (Schwerspat BaSO₄) oder Eisenoxid, welches der Nylon-Netzfaser bei der Herstellung beigemischt wird. Bariumsulfatnetze werden seit einigen Jahren an der Ostküste Kanadas in Fischereixperimenten getestet. Erste Feldversuche von Trippel et al. (2003) in den Jahren 1998 und 2000 führten zu einer deutlichen Beifangreduktion bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes gegenüber Standardnetzen (12 Beifänge in 467 Standardnetzen, 0 Beifänge in 231 Bariumsulfatnetzen). Die Erträge an Zielfischarten verringerten sich nicht. In 2001, dem dritten Jahr der Untersuchungen, konnte mit den Bariumsulfatnetzen jedoch keine signifikante Beifangreduktion festgestellt werden (Trippel & Shepherd 2004). Bei vergleichbarem Fischereiaufwand wurden in

den Nylonnetzen 23, in Bariumsulfatnetzen 16 Tiere gefangen. Im Jahr 2001 wurden jedoch ungewöhnlich viele Schweinswale im Untersuchungsgebiet festgestellt. Die Autoren werten dies als möglichen Grund für das Ergebnis: Große Heringsvorkommen könnten zur verstärkten Einwanderung von Schweinswalen geführt haben, deren Schwimm- und Tauchverhalten sich aufgrund hoher Beutefischdichten änderte. Dies könnte zu einer verringerten Aufmerksamkeit gegenüber den Netzen geführt haben. Allerdings schließen die Autoren auch nicht aus, dass Bariumsulfatnetze ein geringeres Potential zur Beifangreduktion besitzen als dies nach ihrer vorhergehenden Studie (Trippel et al. 2003) angenommen wurde.

Eine Dänische Studie mit einem Eisenoxidnetz wurde von den Fischern vorzeitig abgebrochen, da sich die Dorschfänge um 30 % verringerten. Auch in dieser Studie erfolgten (wie in der kanadischen Studie in den ersten beiden Untersuchungsjahren mit den Bariumsulfatnetzen) keine Beifänge in den reflektiven Netzen. Alle acht Schweinswalbeifänge wurden in den Kontrollnetzen registriert (Larsen et al. 2003a). Dieses Ergebnis basiert auf sechs dreitägigen Testfängen eines Kutters. Während der Datenanalyse wurde jedoch festgestellt, dass in einigen Fällen an Schiffswracks, an denen hohe Dorsch-Fangergebnisse und hohe Beifangraten zu erwarten sind, nur Standardnetze ausgebracht worden waren. Diese Netze mussten aus der Datenanalyse ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse sind daher nicht aussagekräftig. Inwieweit die Beifangreduktion der Eisenoxidnetze auf die erhöhte Reflektivität zurückzuführen ist oder wie von Larsen et al. (2003a) vermutet, durch die steifere Netzfaser bedingt ist, wurde bislang nicht geklärt.

Nach Angaben des Netzherstellers Atlantic Gillnet Supply (Gloucester, Maine, USA) weisen Bariumsulfatnetze eine gegenüber Standardnetzen um 13 dB erhöhte Reflexionsstärke auf. Dies ist allerdings schwer zu messen und konnte in zwei Vergleichsuntersuchungen zunächst nicht bestätigt werden (Larsen et al. 2003a, Jansen¹⁶, pers. Mitt.). In einer neueren Untersu-

¹⁵ Fleet: lange Kette von Netzen.

¹⁶ Christoph Jansen, Wehrtechnische Dienststelle 71 der Bundeswehr, Plön.

chung, bei der die Echoortungslaute von Schweinswalen und Großen Tümmlern besser simuliert wurden, konnte Mooney (2003) die erhöhte Reflexionsstärke von Bariumsulfat- und Eisenoxidnetzen unter bestimmten Testbedingungen jedoch dokumentieren. Für die Echoortungslaute von Schweinswalen gilt demnach, dass die reflektiven Netztypen aus Annäherungswinkeln von 80 bis 50 Grad relativ zum aufgespannten

Netz ein stärkeres Echo erzeugen als Standardnetze mit der gleichen Maschenweite und Faserstärke. Bei rechtwinkliger Annäherung konnte kein Unterschied in der Reflexionsstärke festgestellt werden, und bei spitzeren Winkeln als 50 Grad verloren sich die Echos in den Hintergrundgeräuschen der Bucht, in der die Schallmessungen stattfanden.

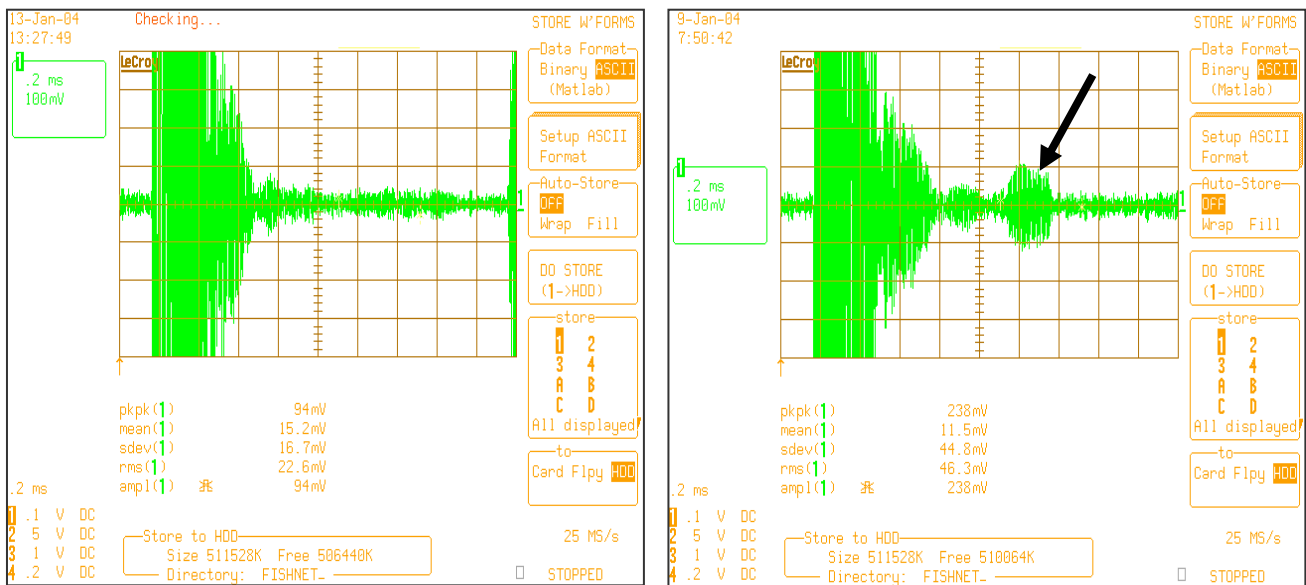


Abb. 2. Echobild bei Beschallung von Standardnetz (links) und Bariumsulfatnetz (rechts) gleicher Maschenweite und Garnstärke im Frequenzbereich von Schweinswalclicks (120 kHz; Dr. L. Ginzkey, unveröff. Ergebnisse). Das rechts gezeigte Bariumsulfatnetz wirkt im Gegensatz zum Standardnetz ein gut erkennbares Echo zurück (siehe Pfeil).

Neueste Untersuchungen der Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik (Dr. L. Ginzkey, unveröff. Ergebnisse) in einem Messtank zeigen ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Echos eines Bariumsulfatnetzes im Vergleich zu einem Standardnetz (Abb. 2). Das Netz (Details siehe 5.2.c) wurde bei leicht gestreckter Masche naturgetreu aufgespannt und direkt von vorne, also aus einem Winkel von 90° zum Netz aus 0,8 m Entfernung beschallt. Abb. 2 zeigt nur die relativen Änderungen zwischen beiden Netzen. Absolute Pegel werden nicht angegeben.

Für die Bestimmung der Rückstreuung wurden die Netze mit einer Pulsdauer von 0,2 ms beschallt und das zurück gestreute Signal aufgezeichnet. Diese kurze Pulsdauer entspricht dem Wert, der bei Schweinswalen gemessen wurde (Verboom und Kastelein 1997).

Abb. 2 zeigt jeweils die mit einem Digitaloszilloskopen aufgezeichneten Zeitreihen des Sendesignals (jeweils linke Bildhälfte) und das Echo des Netzes (rechte Bildhälfte, bzw. Pfeilmarkierung). Beim Bariumsulfatnetz sind deutlich höhere akustische Rückstreuungen zu beobachten. Diese sind im untersuchten Frequenzbereich von 120 - 170 kHz gegenüber den Werten des normalen Netzes um 6 – 7 dB höher. Da Schweinswalclicks die meiste Energie bei einer Frequenz von 120 - 140 kHz abstrahlen (Verboom und Kastelein 1997; Au et al. 1999), könnte das stärkere Echo des Bariumsulfatnetzes ihnen wichtige Hinweise liefern, um die gefährliche Barriere zu umschwimmen. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass auch das stärkere Echo von Bariumsulfatnetzen keine Beachtung findet, wenn Fische im Netz stärker reflektieren, oder wenn Schweinswale bei der Jagd Beuteorganismen verfolgen und dadurch abgelenkt sind.

Für das bariumsulfatgefüllte Netzmaterial konnte Mooney (2003) zusätzlich eine erhöhte Steifigkeit im Vergleich zum standard Nylon-Monofilament messen. Diese Eigenschaft wurde in seiner Untersuchung leider nicht für das Eisenoxidnetz überprüft, um die Vermutung von Larsen et al. (2003a) zu untermauern. Durch den längeren Kontakt mit Wasser (simulierte 24 Stunden Ausbringungszeit) wurden beide Netzmaterialien „weicher“.

Ob die Ginzkey (unveröffentl. Daten) bzw. Mooney (2003) nachgewiesene erhöhte Reflektivität des Netzmaterials gegenüber dem Standardnetz geeignet ist, Schweinswale in ihrem Verhalten zu beeinflussen, sollten die von uns im Sommer 2003 durchgeführten Verhaltensuntersuchungen in Kanada zeigen.

4 Verhaltensbeobachtungen an Netzen

4.1 Einleitung

Bariumsulfatnetze unterscheiden sich von Standardnetzen durch

- a) die Zusammensetzung des Materials (der Nylonfaser wird zur Erhöhung der akustischen Reflektivität Bariumsulfat beigemischt),
- b) die Steifigkeit und
- c) die Farbe bzw. Transparenz des Netzgarns.

Alle drei Faktoren können für die oben dargestellte Beifangverringering verantwortlich sein.

Bislang sind die Gründe für Beifang nicht hinreichend geklärt. Es kann zum Beispiel sein, dass Schweinswale bei der Erkundung des Meeresbodens nach Bodenfischen senkrecht stehend ('bottom grubbing'-Verhalten; vgl. Desportes et al. 2003) mit dem Rücken voran in die Netze schwimmen. In diesem Fall würde eine Erhöhung der Reflektivität der Netze nicht den gewünschten Erfolg zeigen, da die Tiere ihre Ortungslaute nicht auf das Netz richten.

In Fischereiexperimenten in Kanada und Dänemark werden nur die beigefangenen Tiere in den unterschiedlichen Netzen gezählt (Larsen et al. 2003a, Trippel et al. 2003, Trippel & Shepherd 2004). Eine Aussage über

ihre Wirkungsweise war bislang nicht möglich. Dies zeigt auch die Spekulation über die unterschiedlichen Gründe für die gemessene Beifangverringering in der Literatur. Sowohl die Netzsteifigkeit als auch die akustischen Eigenschaften wurden hier genannt. Darüber hinaus ist denkbar, dass in manchen Fällen auch Unterschiede in der Sichtbarkeit eine Rolle spielt. Sollten akustische Eigenschaften für die Beifangreduktion verantwortlich sein, ist es nötig zu wissen, wie häufig die Wale überhaupt ihr Biosonar am Netz einsetzen. Deshalb war es erforderlich, unter möglichst realen Bedingungen, d. h. an frei lebenden Tieren in ihrer natürlichen Umgebung und mit echten Netzen Verhaltensuntersuchungen durchzuführen.

4.2 Methoden

a) Untersuchungsgebiet

Bei Untersuchungen an Schweinswalen werden Freilandversuche an naiven Tieren gegenüber Experimenten an Zootieren bevorzugt. Freilandstudien sind jedoch nur dort sinnvoll, wo hinreichend Tiere vorhanden sind, gute Sichtbedingungen herrschen und die Störungsintensität (z.B. durch die Schifffahrt) sehr gering ist. Daher sind an das Untersuchungsgebiet besondere Anforderungen zu stellen. Diese werden in Fortune Channel, Clayoquot Sound auf Vancouver Island an der kanadischen Westküste erfüllt. Das Gebiet zeichnet sich durch sehr geringe Wellen- und Schiffsbewegungen aus und ist aufgrund der hohen Schweinswaldichte¹⁷ optimal für die Beobachtung ihres Oberflächenverhaltens geeignet (Abb. 3, Seite 22). Hier hinterlassen die Tiere bei Windstille gut sichtbare Auftauchspuren in Form von ringförmigen Wellen auf der spiegelglatten Wasseroberfläche.

¹⁷ An einem Vormittag wurden über 1000 Positionsbestimmungen mit dem Theodoliten erreicht (vgl. Culik et al. 2001), ein Wert, der an Nord- und Ostsee nur in Ausnahmefällen erzielt werden dürfte.



Abb. 3: Untersuchungsgebiet im Clayoquot Sound, Vancouver Island, Kanada. In der Bildmitte ist der Felsen zu sehen, von dem aus die Beobachtungen erfolgten, sowie die dort verankerte Bojenkette.

b) Vermessung der Auftauchpunkte

Da Schweinswale die meiste Zeit unter Wasser verbringen, ist eine genaue Zählung, Erfassung oder Messung der Aufenthaltsdauer der Tiere schwierig. Auch das Verhalten unter Wasser kann nur indirekt beobachtet werden.

In Fortune Channel wurden die Schweinswale von einem Felsen aus in einem Seegebiet von ca. 0,5 x 2 km beobachtet (Abb. 4), ihre Auftauchpunkte mit Hilfe eines Theodoliten¹⁸ (GDM 610, Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale/USA) genau vermessen und zusammen mit der Uhrzeit (Auflösung 1s) abgespeichert. Die Positionen des Netzes bzw. des gleichzeitig registrierenden Klickdetektors (s.u.), die sich je nach Strömung veränderten, wurden ebenfalls regelmäßig vermessen. Die Höhe des Felsens über dem Meeresspiegel variierte je nach Wasserstand zwischen 4,75 m und 7,62 m.

Um mehrere Tiere oder Gruppen gleichzeitig erfassen zu können, wurden zwei Beobachter eingesetzt. Ein Beobachter verfolgte die Tiere mit einem Fernglas (Zeiss Victory 10x40, Hensoldt AG, Wetzlar), während der andere das Gebiet mit dem bloßen Auge überblickte

¹⁸ Ein Theodolit ist ein Gerät aus der Vermessungstechnik, mit dem sich Winkel und Uhrzeiten aufzeichnen lassen. Aus Winkelfunktionen lassen sich die einzelnen Positionen der auftauchenden Tiere errechnen.

und bei Sichtkontakten die Auftauchpunkte durch den Sucher des Theodoliten angepeilt und elektronisch im Gerät abgespeichert.

Bei der Datenauswertung wurden aus den aufgezeichneten Auftauchpunkten der Tiere und der das Netz markierenden Bojenkette die Mindestentfernungen der Tiere zum Netz und zum Klickdetektor berechnet. Nur Schweinswalgruppen, die einen Mindestabstand zum Klickdetektor von 50 m unterschritten, wurden in die weitere Auswertung einbezogen (s. unten). Schweinswale wurden in Gruppen von 1 bis 6 Tieren beobachtet, die häufigste Gruppengröße (Medianwert) war 1 Tier (92 von 160 Gruppen).



Abb. 4: Blick vom Beobachtungsfelsen auf die Bojenkette mit dem Netz. Im Vordergrund steht der für die Vermessung der Auftauchpunkte verwendete Theodolit.

c) Verwendete Netze

Das Standardnetz bestand aus einer herkömmlichen opak weißen Nylonfaser mit einem Filamentdurchmesser von 0,62 mm. Dieser Netztyp wird an der Ostküste der USA und Kanadas zum Fang von Kabeljau eingesetzt. Das Bariumsulfatnetz war aus einer Faser mit derselben Stärke und homogen eingearbeitetem Bariumsulfatanteil (3 Vol.% bzw. 10 Gew.%) geknüpft und wurde grün eingefärbt geliefert (Abb. 5, Seite 23). Beide Netze hatten die Abmessungen 45 x 9 m und eine Maschenweite (gestreckt) von 16,5 cm.

An der Kopfleine des Netzes wurde eine Bojenkette befestigt. Der Abstand zwischen den 8 x 12 cm großen Schwimmern betrug ca. 1,35 m. Die Netze wurden mit einer für diese Netze typischen Bleileine (55g/m) nach unten aufgespannt.

Voraussetzung für die Genehmigung des Versuchs durch die Ethikkommission des kanadischen Dept. of Fisheries and Oceans (DFO) war, das Schweinswale durch die verwendeten Netze nicht gefährdet werden durften. Im Abstand von 2,3 m wurden daher Netz und Bleileine jeweils senkrecht auf einer Länge von 7 m eingeschnitten und anschließend in Abständen von ca. 1 m wieder mit PVC-Isolierband verklebt (Abb. 5). Diese Sollbruchstellen sollten es den Tieren im Falle einer Kollision ermöglichen, zusammen mit einem Netzsegment aufzutauchen, bzw. dienten dazu, eventuell gefangene Tiere einfach und schnell zu befreien.



Abb. 5: Das eingesetzte Bariumsulfatnetz hinter dem Heck des Schlauchboots. Deutlich ist eine der Sollbruchstellen zu erkennen, die ermöglichen sollten, verfangene Tiere schnell zu befreien.

d) Versuchsdurchführung

Wichtig für den Vergleich verschiedener Versuchsanordnungen ist es, dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen¹⁹ und dass sie am gleichen Ort ausgebracht werden. Nur so können mit Hilfe von statistischen Verfahren Unterschiede deutlich gemacht werden. Daher

¹⁹ Eine gegenseitige Beeinflussung der Versuchsanordnungen ist insbesondere dann zu befürchten, wenn zwei Anordnungen in direkter Nachbarschaft ausgebracht werden, und die Tiere z. B. durch einen Netztyp zum anderen geleitet werden oder vom anderen Netztyp abgehalten werden.

wurden die von uns verwendeten beiden Netze an unterschiedlichen Tagen in der Zeit vom 7. bis zum 21. August 2003 ausgebracht (Tab. 3, Seite 24). Ohne Netz, jedoch mit Bojenkette führten wir eine Sitzung (1 Tag, Dauer 2,8 Stunden) durch, mit dem Standardnetz 6 Sitzungen (an 4 Tagen, Gesamtdauer: 14 h) und mit dem Bariumsulfatnetz 9 Sitzungen (an 8 Tagen, Gesamtdauer: 26,5 h). Zusätzlich wurden in 3 Sitzungen Geräusche an der Bojenkette erzeugt (kein Netzeinsatz) um die Reaktion der Wale zu testen (an 3 Tagen, Gesamtdauer: 12,5 h).

e) Sichttiefe

Da die beiden verwendeten Netztypen unterschiedlich gefärbt waren, war es wichtig, ihre Sichtbarkeit unter Wasser zu dokumentieren. Ein Standardverfahren zur Sichttiefenmessung mit Hilfe einer weißen Scheibe, einer sogenannten Secchischeibe, die so tief ins Wasser herabgelassen wird, bis sie durch die Wassertrübung nicht mehr sichtbar ist, wurde von uns abgewandelt. Die Sichtbarkeit der Netze wurde täglich vor Versuchsbeginn und nach Versuchsende mit Hilfe einer schwarz-weißen Scheibe (Durchmesser 25 cm) ermittelt, auf die jeweils vor schwarzem und vor weißem Hintergrund Netzsegmente beider Netztypen aufgeklebt waren. Dadurch sollte der unterschiedlichen Sichtbarkeit gegen dunklen Hintergrund (Meeresgrund) und hellen Hintergrund (Oberfläche) Rechnung getragen werden. Durch Herablassen der Scheibe auf der lichtabgewandten Seite des Bootes wurde ermittelt, ab welcher Wassertiefe die Netze gegen den jeweiligen Hintergrund, bzw. die ganze Scheibe durch die Wassertrübung nicht mehr sichtbar waren. Die erfassten Sichttiefendaten sind in Abb. 6, Seite 25 dargestellt.

Durch die Lage des Untersuchungsgebiets in der gemäßigten Regenwaldzone werden normalerweise viele Nährstoffe in das Wasser eingetragen, so dass das Wasser durch eine starke Algenblüte stark eingetrübt ist. Zu Beginn des Untersuchungszeitraums war dies durch eine vorangegangene Trockenperiode jedoch nicht der

Fall. Erst gegen Ende der Untersuchung verringerte sich die Sichttiefe nach mehreren Regenfällen. Da sich die Sichttiefe im Verlauf des Untersuchungszeitraums

jedoch nicht drastisch veränderte, wurden die Daten nicht nach Sichttiefe getrennt und gemeinsam analysiert.

Tabelle 3: Freilandversuche in Fortune Channel, Kanada

Datum	Einsatz	Uhrzeit			Tiergruppen
		Start	Ende	Dauer	< 50 m (n)
07.08	Bojenkette	08:51	11:38	02:47	24
08.08	2,5 kHz	07:26	11:09	03:43	14
18.08	2,5 kHz	07:44	13:00	05:16	8
19.08	2,5 kHz	07:11	10:47	03:36	0
Summe				12:35	22
11.08	Standard	19:19	20:39	01:20	3
12.08	Standard	06:27	10:44	04:17	18
12.08	Standard	19:47	20:56	01:09	0
13.08	Standard	08:48	11:00	02:12	11
15.08	Standard	07:05	09:53	02:48	16
15.08	Standard	18:02	20:24	02:22	0
Summe				14:08	48
09.08	BaSO4	08:24	09:37	01:13	3
09.08	BaSO4	19:34	20:58	01:24	2
10.08	BaSO4	06:07	09:15	03:08	8
13.08	BaSO4	18:53	20:44	01:51	4
14.08	BaSO4	05:58	10:53	04:55	15
16.08	BaSO4	07:18	10:26	03:08	11
17.08	BaSO4	07:56	11:12	03:16	21
20.08	BaSO4	06:51	11:07	04:16	11
21.08	BaSO4	08:17	11:31	03:14	13
Summe				26:25	88

Dargestellt sind Datum und Uhrzeit der einzelnen Versuchsabschnitte sowie die Anzahl der Schweinswalgruppen, die im Radius von < 50 m um die Netzmitte bzw. den Klickdetektor registriert wurden. Dieser Radius wurde als Kriterium für eine Interaktion mit der Versuchsanordnung definiert (siehe Kapitel Ergebnisse).

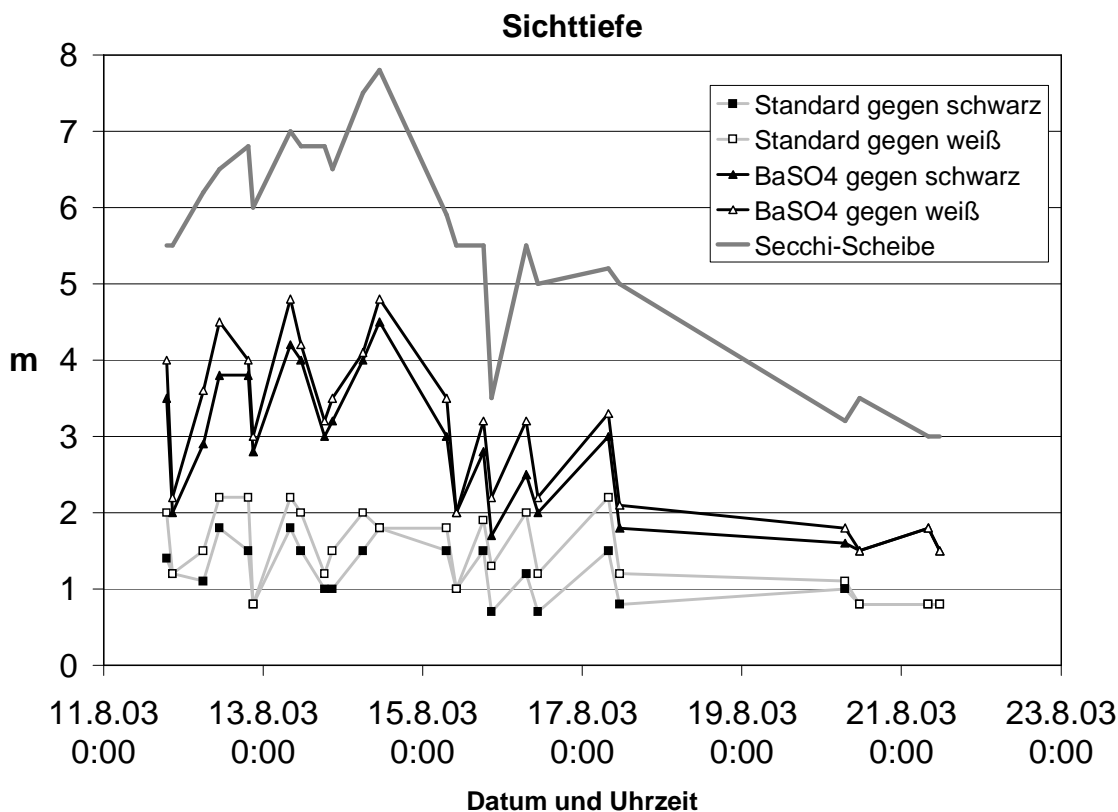


Abb. 6. Sichttiefemessungen an den Versuchstagen, an denen ein Netz eingesetzt wurde.

f) Aufzeichnung und Auswertung von Echoortungslaute der Schweinswale

Um sich unter Wasser zu orientieren, erzeugen Schweinswale Echoortungslaute - sogenannte Klicks - in schneller Abfolge. Eine Klick-Serie, eine Art „Blitzlichtgewitter“ zur akustischen Untersuchung der Umgebung wird als „Klicktrain“ bezeichnet. Unter Wasser können Schweinswale akustisch beobachtet werden, indem man ihre Echoortungslaute mit sogenannten Klickdetektoren²⁰ erfasst (vgl. Tregenza & Northridge, 2000). Zu jedem Klick zeichnet der Detektor (Abb. 7, Seite 26) die Dauer und Wiederholrfrequenz der Schweinswalklicks auf. Die Ortungslaute selbst, ihr Frequenzverlauf und ihre Lautstärke werden nicht gespeichert. Der elektronische Klickdetektor (T-POD v1, Ser nr. 68, Chelonia, Penzanze, England) wurde in der

Mitte des ausgebrachten Netzes in 4,5 m Tiefe an einer Boje befestigt.

Die Einstellungen wurden wie folgt gewählt:

- Filtereinstellungen A = 130 kHz und B = 90 kHz (siehe ²¹)
- Aufzeichnung aller Klicks >30 µs Dauer
- Ratio = 4, AQ = 10, BQ = 18 (siehe ²²)
- Ein Schwellenwert für die Klickintensität (threshold) sowie ein oberes Limit für die innerhalb von 10s aufgezeichneten Klicks wurde nicht gesetzt.

²⁰ Der von uns eingesetzte Klickdetektor (POD = „POrpoise Detector“) besteht aus einem Unterwassermikrofon und einem Mikrocomputer mit verschiedenen Breitbandfiltern in einem wasserdichten Gehäuse. Der Mikrocomputer ist programmiert, um Laute in einem bestimmten Frequenzbereich und mit einer bestimmten Dauer und Abfolge als wahrscheinliche Schweinswalklicks zu identifizieren.

²¹ Der POD ermittelt durch Vergleich der Daten auf diesen 2 Kanälen, ob Geräusche im Frequenzspektrum von Schweinswalklicks liegen. Erst in einem Vergleich der Klickdauer und Klickintervalle (Zeit zwischen jeweils zwei Klicks) mit Vorgaben der Software entscheidet das Programm, ob die aufgezeichneten Laute mit großer Wahrscheinlichkeit Schweinswalklicks oder Störgeräusche sind. Zusätzlich muss in jedem Fall noch eine visuelle Überprüfung aller Daten erfolgen. Weitere Details siehe <http://www.chelonia.demon.co.uk/>.

²² Das Ratio und die Einstellungen AQ und BQ beschreiben die Empfindlichkeit beider Kanäle A und B. Die gewählten Einstellungen wurden für dieses Gerät in der Nordsee optimiert und unverändert in Kanada übernommen.

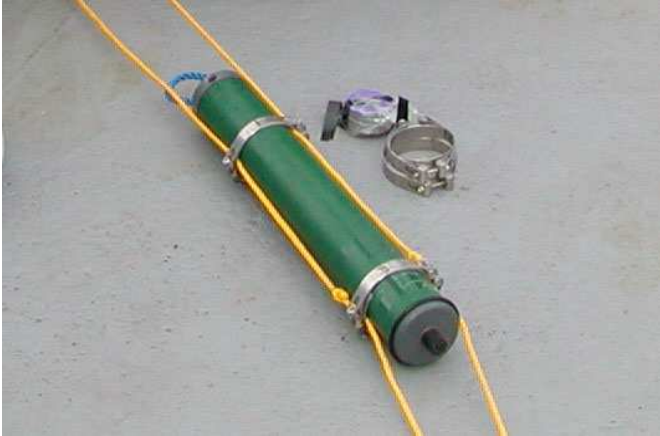


Abb. 7: Klickdetektor (T-POD v1) zur Ermittlung und Speicherung der Echoortungslaute von Schweinswalen.

Im Idealfall bilden sich Klicktrains wie folgt ab:

- 1) Klicktrains beginnen und enden oft mit relativ kurzen Klicks. Dazwischen liegen längere Klicks oder es wird ein Auf- und Abschwelen der Klickdauer beobachtet.
- 2) Klickintervalle (die Zeit zwischen jeweils zwei Klicks) nehmen oft gegen Ende der Klicktrains ab. Das passiert vor allem dann, wenn Schweinswale auf ein zu ortendes Objekt zuschwimmen. In diesem Fall nimmt die Schall-Laufzeit für den Hin- und Rückweg zwischen Schweinswal und dem zu ortenden Objekt ab. Durch Veränderung der „Fokussierung“ kann auch ein Auf und Ab der Klickintervall-Dauer beobachtet werden (gleich bleibende Intervalle deuten auf Schiffsecholote hin).

Mit dem Softwareprogramm *tpod.exe* wurden alle aufgezeichneten Klicktrains individuell auf Plausibilität geprüft²³. Impulse von Schiffssonaren bzw. Echoloten wurden in keinem Fall aufgezeichnet. Dies deckt sich mit der Beobachtung dass im Untersuchungsgebiet nur selten kleine Boote beobachtet wurden. Als Ergebnis wurden alle aufgezeichneten Klicks Schweinswalen zugeordnet. In einigen Fällen kam es dazu, dass Klicklaute doppelt aufgezeichnet wurden, und zwar einmal das direkt empfangene Signal und das von der Wasseroberfläche oder innerhalb des Gerätes reflektierte Signal. In diesen Fällen wurden die entsprechenden "re-

flektierten" Klicktrains gelöscht. Aufgrund eines technischen Defekts wurden am 15. August 2003 ab 8.12 Uhr keine Klicks mehr aufgezeichnet, obwohl die Sichtbeobachtungen noch bis 9.53 Uhr andauerten.

Nur durch diese kombinierte visuelle (Auftauchpunkte an der Oberfläche) und akustische (Echoortungslaute unter Wasser) Erfassung war es uns möglich, das Verhalten der Tiere in Bezug auf das eingesetzte Netz darzustellen und mit dem Verhalten am Standardnetz zu vergleichen.

Bestimmung der Reichweite des Klickdetektors

Die vom Klickdetektor (POD) mit einer Auflösung von 10 μ s aufgezeichneten Uhrzeiten aller Klicktrains wurden auf einen PC übertragen. Jedem Klicktrain wurde innerhalb eines willkürlich gewählten Zeitfensters von 30 bzw. 60 s der Auftauchpunkt der Schweinswalgruppe zugeordnet, die dem Detektor am nächsten war. Eine eindeutige Zuordnung war nur möglich, wenn innerhalb eines Zeitraums von 4 Minuten keine andere Gruppe in geringerer Entfernung zum POD gesichtet wurde²⁴. Nur die Entfernungsdaten von Schweinswalen, die eindeutig Klicks zugeordnet werden konnten, wurden in die Auswertung einbezogen.

Abb. 8, Seite 27 zeigt die Summenhäufigkeitskurve der beobachteten Entfernungen der Schweinswalgruppen zum POD, getrennt für das 30s- und das 60s Zeitfenster. Der Wert, bei dem 95 % aller Klickentfernungen liegen, kann als gesicherte Reichweite gelten. Diese liegt unabhängig von dem gewählten Zeitfenster bei ca. 88 m. Die Einbeziehung von 98 % aller Klicks ergibt eine Detektor-Reichweite des PODs von 92 - 100 m. Dieses Ergebnis deckt sich mit früheren Untersuchungen (Koschinski et al. 2003). Wenn Schweinswale weiter entfernt waren, wurden keine Klicks aufgezeichnet. Doch auch bei vielen Sichtungen von Tieren in der Nähe des Klickdetektors wurden keine Klicks registriert.

Goodson et al. (1995) fanden bei zwei Schweinswalen im Delphinarium eine mittlere Schallintensität des E-

²³ Der Klickdetektor gibt die Klickdaten in vier verschiedenen Kategorien an. Diese spiegeln unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten wider, dass es sich um Schweinswalklicks handelt.

²⁴ Denn diese hätten ebenfalls auf einem längeren Tauchgang die registrierten Klicks aussenden können. Die Intervalldauer von 4 Minuten entspricht in etwa der Tauchdauer der Tiere.

choortungssignals von 149,5 dB (re 1 μ Pa, 1m). Die Werte variierten zwischen 133 und 161 dB. Au (1993) bemerkt ebenfalls, dass Zahnwale, die unter verschiedenen Umweltbedingungen auf Schallintensität und Frequenz untersucht wurden, sich den jeweiligen Hintergrundgeräuschen anpassen. So betrug z.B. die Intensität des Signals im Freiland bei einem Belugawal (*Delphinapterus leucas*) bei geringen Hintergrundgeräuschen nur 202 dB, während das Tier bei lauter Umgebung die Intensität auf über 210 dB erhöhte. Somit ist denkbar, dass Schweinswale, deren Klicks relativ leise waren, vom POD nicht erfasst wurden.

Die Echoortungslaute von Schweinswalen sind zudem sehr stark in Schwimmrichtung gerichtet (Au et al. 1999) und werden in Form eines Kegels mit einem Öffnungswinkel von lediglich 16,5° ausgesendet. Das bedeutet, dass die Tiere mit Hilfe eines Hydrophons, bzw. Klickdetektors nur dann erfasst werden können, wenn sie

- 1) Ortungslaute aussenden,
- 2) dem Detektor zugewandt sind und
- 3) ausreichend laut bzw. nah am Empfänger (POD) sind.

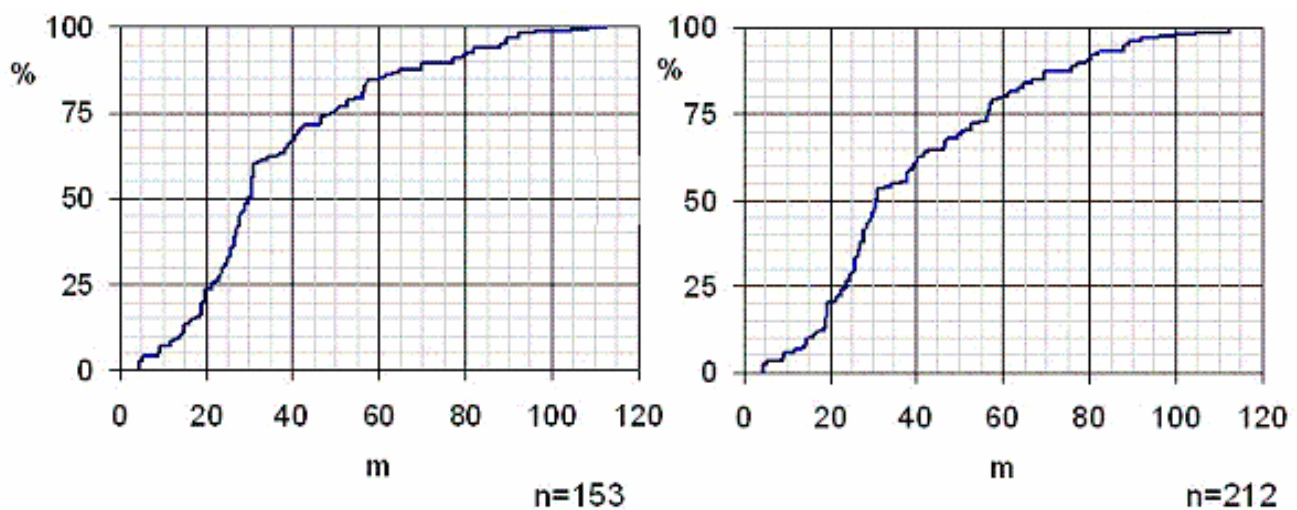


Abb. 8: Summenhäufigkeitskurven für die Distanz der beobachteten Auftauchpunkte zum Klickdetektor. Links: Zeitfenster zwischen visueller und akustischer Beobachtung 30 s. Rechts 60 s. 98% aller Klicks konnten Schweinswalgruppen zugeordnet werden, die sich innerhalb von 100 m zum POD befanden. Dies ist die maximale Reichweite des PODs bei der verwendeten Einstellung.

g) Bestimmung der Klickintervalle und maximalen Ortungsreichweite

Aus der genauen Uhrzeit, zu der jeder Klick aufgezeichnet wurde, wurde das Klickintervall errechnet, d. h. die zeitliche Differenzen zu dem jeweils vorigen Klick innerhalb desselben Klicktrains. Das Klickintervall ist ein indirektes Maß dafür, wie weit ein Schweinswal „vorausschaut“. Und diese Entfernung entscheidet gegebenenfalls darüber, ob ein Schweinswal ein Netz rechtzeitig wahrnimmt oder mit ihm kollidiert.

Nach Aussendung eines Ortungslautes muss der Schall die doppelte Wegstrecke zum Objekt (jeweils hin- und wieder zurück, z. B. Wal→Beute→Wal) bewältigen. Nach einer ebenfalls zu berücksichtigenden Verzögerungszeit im Nervensystem der Schweinswale²⁵ kann dann der nächste Klick ausgesandt werden. Aus dieser Annahme heraus kann die maximale Ortungsreichweite der Tiere bestimmt werden (Au 1993).

²⁵ Nach Au (1993) ist die Verzögerungszeit (engl. „lag time“) definiert als die Zeitdifferenz zwischen zwei Klickintervallen und der reinen zwei-Wege Laufzeit zum Ortungsziel.

Die theoretisch maximale Ortungsreichweite kann daher wie folgt errechnet werden:

$$D_{max} = (I - T_V) v / 2$$

mit

D_{max} = Ortungsentfernung (m)

I = Klickintervall (s)

T_V = Verzögerungszeit (s)

v = Schallgeschwindigkeit im Wasser, ca. 1500 m/s (Richardson et al. 1995).

Von Interesse für das Verhalten der Tiere am Netz sind natürlich nur die Klicktrains, die in dessen Nähe abgegeben wurden und möglicherweise zu seiner Ortung dienten. Um genau diese Klicktrains herauszufiltern, wurde zunächst eine „Interaktion“ mit dem Netz definiert. Diese lag vor, solange eine Schweinswalgruppe im Radius von 50 m um die Netzmitte bzw. den POD auftauchte. Dieser Radius ist sehr konservativ und entspricht etwa der halben gesicherten Reichweite der PODs. Anschließend wurden diesen Interaktionen die aufgezeichneten Klicktrains zugeordnet, um die Klickintervalldauer und Klickanzahl je Gruppe zwischen den Versuchsanordnungen vergleichen zu können.

Die Zuordnung der Klickdaten zu den mit dem Theodolit bestimmten Entfernungen zum Netz wurde nach folgender Methode vorgenommen: Alle Klicktrains während einer Interaktion plus/minus 2 Minuten wurden den entsprechenden Entfernungsdaten zugeordnet. Dieses 4-Minuten-Zeitfenster um eine Interaktion sollte sicherstellen, dass Klicktrains von abgetauchten Tieren zwischen den Auftauchpunkten ebenfalls zugeordnet werden konnten, denn die Tiere untersuchen ihre Umgebung überwiegend im abgetauchten Zustand akustisch und nicht nur während des Luftholens an der Oberfläche.

In wenigen Ausnahmefällen konnten Klicktrains auf diese Weise nicht direkt einer visuell beobachteten Schweinswalgruppe bzw. Interaktion zugeordnet werden. Schwierigkeiten machte die Zuordnung dann, wenn sich die 4-Minuten-Zeiträume um Sichtungen von verschiedenen Gruppen im 50 m-Radius überlagerten. In solchen Fällen wurden Einzelfallprüfungen vorgenommen. Dazu wurden die mit dem Theodolit gemessenen Abstände vom POD und die maximalen Or-

tungsreichweiten, die durch die einzelnen Klickintervalle bestimmt werden, miteinander abgeglichen.

Die aufgezeichnete Dauer eines Klicks ist ein relatives Maß der Distanz oder der Orientierung zum Klickdetektor (Carlström 2003). Aufgrund des stark gebündelten Schallkegels des Schweinswalsonars bilden sich nur „randlich erfasste“ Schallkegel entsprechend kürzer als direkt auf den Detektor gerichtete. Um auszuschließen, dass Schweinswale vor allem den Klickdetektor und nicht das Netz mit ihrem Biosonar untersuchten, wurden die Klickdaten auf eine Korrelation zwischen Klickdauer und Klickintervallen hin überprüft. Durch die Variation in der Entfernung und der Orientierung ist im Normalfall keine Korrelation zwischen dem kürzesten Klickintervall (relatives Maß für die Entfernung) und der längsten Klickdauer eines Klicktrains (relatives Maß für Entfernung und Orientierung zum Detektor) zu erwarten. Nur wenn die Klicks überwiegend gezielt auf den Klickdetektor abgegeben werden, ist mit einer Korrelation zu rechnen, da die Variabilität in der Orientierung zum Detektor entfällt. Durch die statistische Analyse der entsprechenden Daten konnten wir ausschließen, dass Schweinswale vor allem den Klickdetektor und nicht das Netz mit ihrem Biosonar untersuchten ($p > 0,05$). Zwischen den kürzesten Klickintervallen und längsten Klickdauern je Klicktrain wurde bei keinem der untersuchten Netztypen eine Korrelation festgestellt (Standardnetz: $n = 77$; Bariumsulfatnetz: $n = 73$). Dies zeigt, dass die Orientierung zum Klickdetektor zufällig verteilt war²⁶.

h) Erzeugung von Tönen, die die Aufmerksamkeit der Wale erregen sollten (enticing sounds)

In einem weiteren Versuch wurde ermittelt, ob Schweinswale mit bestimmten Tönen auf ein Hindernis aufmerksam gemacht werden können. Ausschlaggebend für dieses Experiment war eine Untersuchung von Kastelein et al. (1995), die ergab, dass Schweinswale

²⁶ Schließlich bestand das von uns verwendete Versuchsnetz noch aus Schwimmleine (mit Auftriebskörpern), Bleileine, Abspannleinen, Ankern und mehreren größeren Bojen als Markern, sodass der relativ kleine Detektor vor diesem Hintergrund nur eine geringe zusätzliche Aufmerksamkeit erzielt haben dürfte. In beiden Versuchen, mit Standard- und BaSO4-Netz, waren die geschilderten Bedingungen konstant.

einen Pingerprototyp mit unreinen 2,5 kHz Tönen²⁷ vermieden, einen anderen mit reinen Sinustönen derselben Frequenz jedoch näher untersuchten.

In unserem Versuch wurden an einer Bojenkette (ohne Netz) Sinustöne mit einer Frequenz von 2,5 kHz erzeugt (67 Töne pro Minute von 0,3 s Dauer). Die Töne wurden vorab mit einer Musikbearbeitungssoftware (Cool Edit Pro) auf eine Audio-CD gebrannt, die im Untersuchungsgebiet abgespielt wurde. Als Schallquelle diente ein Unterwasser-Schallwandler (ITC 4005b), der in 4,5 m Tiefe befestigt und mit einem Auto-CD-Spieler (Blaupunkt "Kiel") in einer seewassergekühlten Tonne (Ø 46 cm, h 56 cm) verbunden war. In derselben Wassertiefe wurde wiederum ein Klickdetektor befestigt (Abb. 9). Der Unterwasserlautsprecher erhielt Auftrieb durch zwei Schaumstoff-Schwimmkörper (Ø 16 cm, l 14 cm). Als Vergleich dienten Verhaltensbeobachtungen an der unbeschallten Bojenkette.

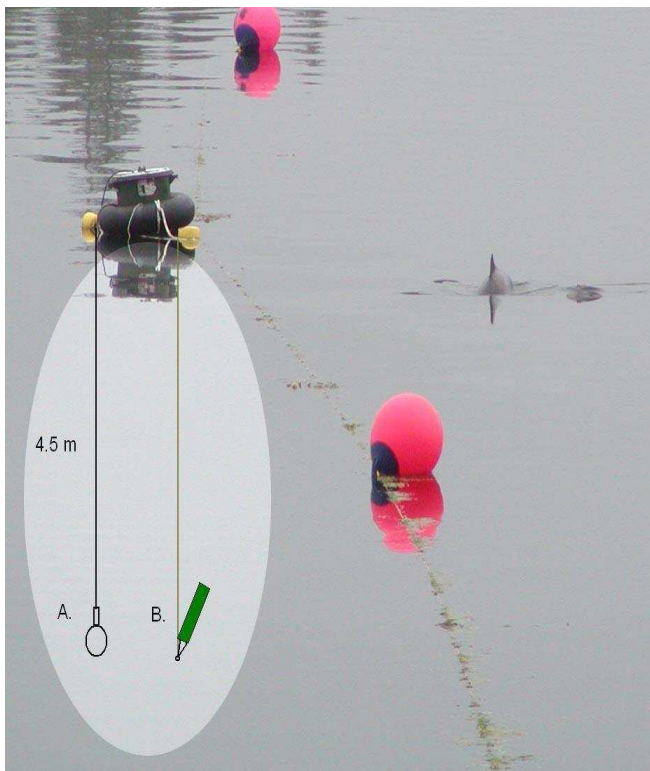


Abb. 9: Versuchsanordnung zur Erzeugung von reinen 2,5 kHz Sinustönen im Clayoquot Sound, Kanada. Der Abstand zwischen Boje und Gerätetonne, bzw. der horizontale Abstand zwischen Klickdetektor und Schallwandler betrug ca. 1m. Bei diesen Versuchen wurde kein Netz eingesetzt.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Vergleich des Bariumsulfatnetzes mit dem Standardnetz

Anhand der vermessenen Auftauchpunkte und der akustischen Aufzeichnungen sollte festgestellt werden, wie sich die Reaktion von Schweinswalen auf das Bariumsulfatnetz gegenüber dem Standardnetz unterscheidet. Insbesondere galt es zu ermitteln, ob das Bariumsulfatnetz aus größerer Entfernung wahrgenommen wird als das Standardnetz.

Während der Versuche wurden 3 Kollisionen von Schweinswalgruppen mit den Netzen festgestellt, zwei mit dem Standardnetz und eine mit dem Bariumsulfatnetz. Bei je einer Kollision pro Netz schwammen die Tiere anschließend unversehrt weiter. Das dritte Tier, ein Jungtier, verhedderte sich im Standardnetz, konnte aber lebend wieder befreit werden. Diese Beobachtungen eignen sich aufgrund ihrer zu geringen Häufigkeit jedoch nicht für einen statistischen Vergleich beider Netztypen.

Anhand der visuellen Verhaltensaufzeichnungen wurde zunächst eine *Interaktion* als der Zeitraum definiert, in dem sich eine Schweinswalgruppe innerhalb eines Radius von 50 m um den Netzmittelpunkt aufhielt. Aufgrund der beschränkten Reichweite des Klickdetektors und der begrenzten Ortungsdistanz von Schweinswalen in Bezug auf Netze (Kastelein et al. 2000) wurden nur diese Interaktionen für die Datenauswertung herangezogen.

Aus den Aufzeichnungen wurden für alle Interaktionen folgende Werte errechnet und verglichen:

- Minimaldistanz zum Netz bzw. zum Netzmittelpunkt (Befestigungspunkt des Klickdetektors)
- Verweildauer im Umkreis von < 50m zum Netzmittelpunkt
- Anzahl der Interaktionen, bei denen Klicks registriert wurden,
- Anzahl der während einer Interaktion erzeugten Klicks,
- Dauer der Klickintervalle (Zeit zwischen Klicks innerhalb von Klickabfolgen).

²⁷ also Schallimpulse mit Obertönen von 5 kHz, 7,5 kHz, 10 kHz, usw.

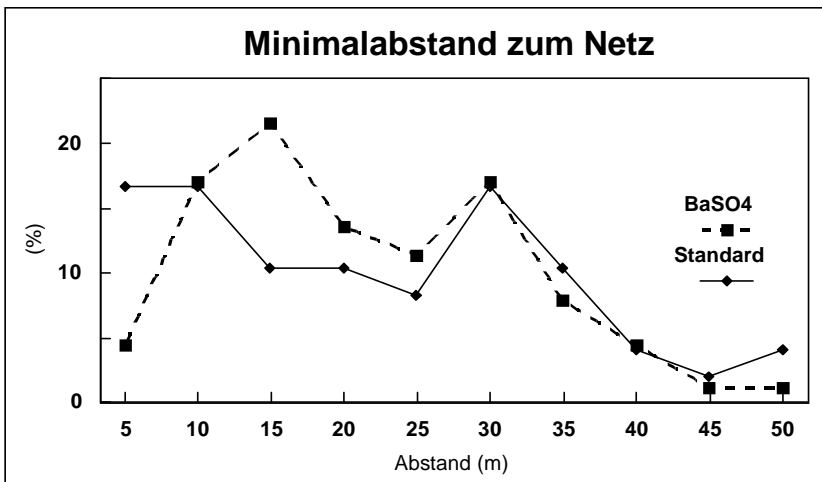


Abb. 10. Verteilung der dichtesten Auftauchentfernungen aller Schweinswalgruppen zum Netz

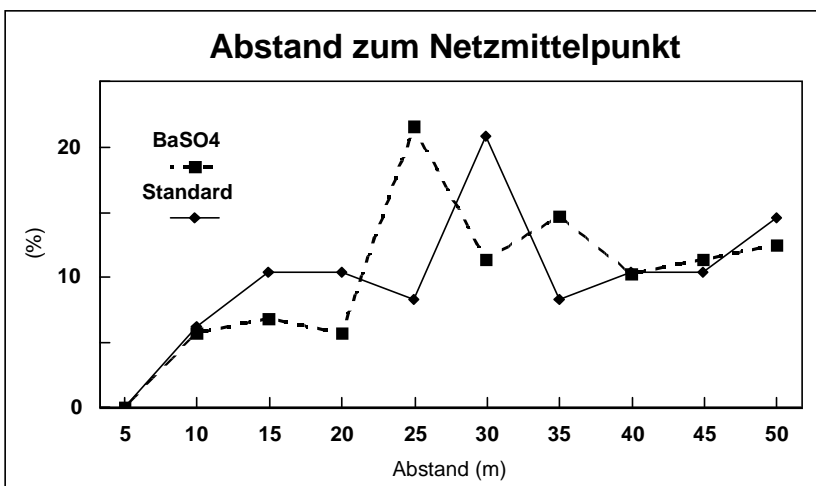


Abb. 11. Verteilung der dichtesten Auftauchpunkte in Bezug zum Netzmittelpunkt.

Zu a) Minimaldistanz der Auftauchpunkte zum Netz bzw. zum Netzmittelpunkt (Klickdetektor)

Um die Frage zu klären, ob das jeweils eingesetzte Netz als Auslöser für ein unterschiedliches Verhalten bei den Schweinswalen gedient haben könnte, wurde hier die minimale Annäherungsdistanz an das Netz ermittelt (Abb. 10). Darüber hinaus könnte das jeweilige Netzmaterial **vor dem Hintergrund des Klickdetektors** das Verhalten beeinflussen haben. Daher wurde zusätzlich die dichteste Annäherung an den Klickdetektor errechnet und zwischen beiden Netzanordnungen verglichen (Abb. 11).

Da sich das Netz in der Gezeitenströmung u-förmig ausbeult, wurde die sich stetig verändernde Netzposition an 4 Punkten des Netzes alle 30 min mit dem Theodoliten eingemessen. Die Distanz eines Auftauchpunk-

tes zum Netz wurde in der Auswertung jeweils ausgedrückt und anschließend grafisch vermessen²⁸. Die Daten sind nicht normalverteilt (Abb. 10 und 11).

Bei Einsatz des Standardnetzes (48 Schweinswalgruppen) wurde als Medianwert eine geringste Entfernung der Auftauchpunkte zum Netz von 18 m festgestellt. Zum Netzmittelpunkt hielten die Tiere einen Mindestabstand von 27,4 m ein. Bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes (88 Gruppen) betrug die dichteste Annäherung zum Netz entsprechend 17,5 m und zum Netzmittelpunkt 29,5 m. Der statistische Vergleich (Kolmogorov-Smirnov Test, KST)²⁹ lässt in beiden Fällen keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Verhalten an den Netzen erkennen ($p > 0,05$).

Zu b) Verweildauer im Umkreis von < 50 m zum Netzmittelpunkt

Da Schweinswale bei der Detektion eines Fremdkörpers aufgrund der vielfach bei Meeressäugern beobachteten „Neugier“ (vgl. Au 1993³⁰) möglicherweise ihre Aufenthaltsdauer in der Nähe des Objekts verlängern könnten, oder

weil es möglicherweise eine längere und genauere Untersuchung erfordert, ein akustisch schlechter wahrnehmbares Netz zu erfassen, wurde in diesem Test untersucht, wie sich Bariumsulfat- und Standardnetz diesbezüglich unterscheiden. Hierzu wurden die Zeiträume zwischen den Auftauchpunkten verwendet. Da nicht in allen Fällen zwei oder mehrere aufeinander folgende Auftauchpunkte das Kriterium < 50 m zum Netzmittelpunkt erfüllten, ist die Datenmenge geringer als in den oben beschriebenen Tests.

²⁸ dabei wurde eine Genauigkeit von 1 m erreicht.

²⁹ Der nicht-parametrische Kolmogorov-Smirnov Test (KST) ermöglicht einen statistischen Vergleich zwischen Medianwerten und Verteilungsmustern zweier Stichproben.

³⁰ Au berichtet, dass neue Objekte von Delphinen in Gefangenschaft mit Echoortungs-Klicks untersucht werden.

Bei Einsatz des Standardnetzes wurde im Median eine Verweildauer von 24 s im Umkreis von 50 m um das Netz beobachtet (37 Schweinswalgruppen). Bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes verringerte sich die Verweildauer auf 20 s (66 Gruppen, Abb. 12). Der statistische Vergleich (KST) lässt jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Versuchsgruppen erkennen ($p > 0,05$).

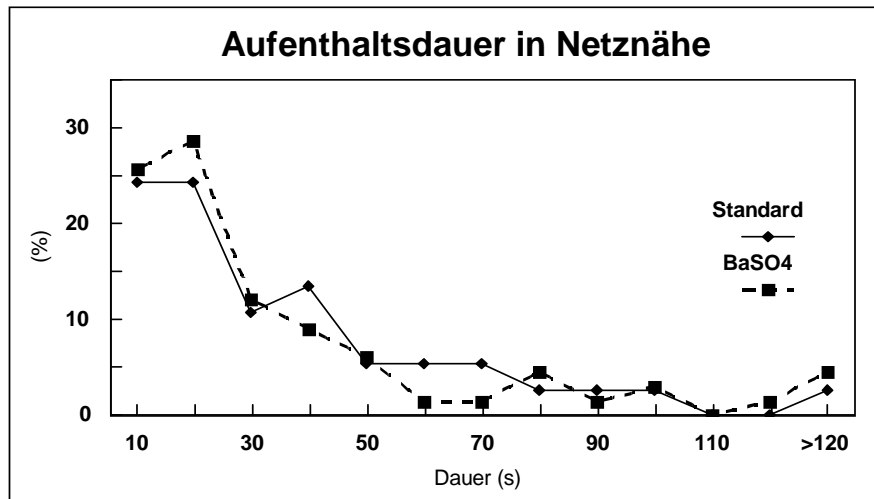


Abb. 12. Verteilung der Verweildauer der Schweinswalgruppen in der Nähe des Netzes (< 50 m). Diese wurde aus dem Zeitraum zwischen den Auftauchpunkten berechnet.

Zu c) Anzahl der Beobachtungszeiträume mit Klicks

Wichtige Hinweise über das Verhalten der Schweinswale **unter Wasser** erhielten wir von denjenigen Tieren, die akustisch aktiv waren, d. h. ihr Biosonar einsetzen. Wie oben bereits beschrieben, unterscheiden sich Standard- und Bariumsulfatnetze nicht nur hinsichtlich ihrer Eigenschaften in Bezug auf Schallreflexion, sondern auch in Bezug auf Transparenz, Farbe und Erkennbarkeit im Wasser gegen dunkle und helle Hintergründe. Darüber hinaus ist es denkbar, dass Schweinswale bei guten Sichtbedingungen generell auf Sonar verzichten und sich stattdessen visuell orientieren.

Daher verglichen wir die Anzahl der Interaktionen im Bereich von < 50 m um das Netz, denen Echoortungslaute zugeordnet werden konnten. Unsere Auswertung ergibt, dass bei Einsatz des Standardnetzes nur in 30,6% (11 von 36) aller Annäherungen von Schweinswalgruppen eine akustische Aktivität festgestellt werden konnte. Dieser Wert sank bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes sogar auf nur 19,3% (17 von 88). Der Unterschied ist signifikant (χ^2 -Test: $\chi^2=5,44$,

$p < 0,02$) und möglicherweise durch die bessere Sichtbarkeit oder / und leichtere Ortbarkeit des Bariumsulfatnetzes erklärbar.

Zu d) Anzahl Klicks während einer Interaktion im Umkreis von < 50 m zum Netzmittelpunkt

Bei Ortung eines Fremdkörpers in Schwimmrichtung ist anzunehmen, dass Schweinswale diesen akustisch

näher untersuchen, um daraus Rückschlüsse auf Position, Größe, Bewegung usw. zu ziehen. Entsprechend ist zu vermuten, dass die Anzahl der Klicks oder andere akustische Parameter als Antwort auf die verschiedenen Stimuli unterschiedlich ausfallen.

Bei Einsatz des Standardnetzes (36 Gruppen) sowie des Bariumsulfatnetzes (88 Gruppen) betrug der Medianwert der Klickanzahl pro Interaktion jeweils 0. Der Medianwert ist die Größe, die die Anzahl der Messwerte exakt in eine

obere Hälfte und eine untere Hälfte teilt. Das bedeutet also dass die weitaus größte Anzahl an Auftauchpunkten keiner Klickaktivität zugeordnet werden konnte. Ein Vergleich der Verteilungen (KST) lässt dennoch einen hoch-signifikanten Unterschied zwischen den beiden Versuchsgruppen erkennen ($p < 0,001$).

Ein Unterschied in der Anzahl aufgezeichneter Klicks ergibt sich auch, wenn **nur Tiere mit akustischer Aktivität** in der Nähe des Klickdetektors miteinander verglichen werden. In diesem Fall betrug die Klickanzahl während einer Interaktion mit dem Standardnetz im Median 55 (bei 10 Gruppen), während sie bei Interaktion mit dem Bariumsulfatnetz im Median auf 33 (bei 13 Gruppen) abnahm. Der Unterschied in den Verteilungen ist signifikant (Kolmogorov-Smirnov Test, $p = 0,021$). Auch diese Daten sind ein Hinweis auf eine bessere Sichtbarkeit und / oder Ortbarkeit des Bariumsulfatnetzes.

Zu e) Dauer der Klickintervalle je Interaktion

Die Lage der visuell beobachteten Auftauchpunkte liefert nur in seltenen Fällen³¹ Hinweise darüber, wie dicht ein Tier sich zwischen den Auftauchvorgängen dem Netz tatsächlich genähert hat. Die Dauer eines Klickintervalls, also die Zeit zwischen zwei Echoortungs-Klicks innerhalb einer Klickserie steht jedoch, außer im „Beutefangmodus“ (s. Diskussion) in enger Beziehung zur Entfernung des vom Tier untersuchten Objekts (Au, 1993; s. Methoden).

Daher wurden die Klickintervalldauern aller Schweinswalgruppen, bei denen akustische Aktivität festgestellt wurde, in einer Verteilung -nach Netztypen getrennt- dargestellt (Abb. 13). Bei Einsatz des Standardnetzes konnten so insgesamt 939 Klickintervalle 11 Schweinswalgruppen zugeordnet werden, bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes 673 Klickintervalle 17 Tiergruppen. Beim Standardnetz lag der Medianwert aller Klickintervalle bei 45,2 ms und beim Bariumsulfatnetz bei 51 ms. Die Verteilungsmaxima lagen beim Standardnetz bei 25 und 40 ms. Beim Bariumsulfatnetz wurden Maxima bei 25, 60 und 70 ms beobachtet. Das absolute Maximum lag bei 35ms.

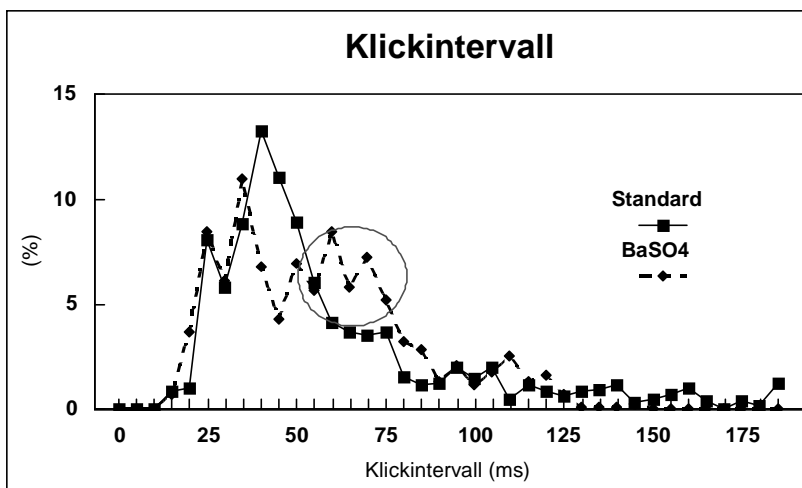


Abb. 13. Verteilung der Klick-Intervalldauer bei Annäherung der Schweinswalgruppen an die verschiedenen Netztypen. Der Kreis markiert einen signifikanten Unterschied in der Verteilung: Bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes ist die Klickintervalldauer häufig länger.

Der statistische Vergleich zeigt, dass sich die Verteilung der Daten zwischen beiden Netztypen signifikant unterscheidet ($p < 0,001$, KST). In Abb. 13 wird deutlich, dass Klickintervalle von 60 bis 85 ms Dauer beim Bariumsulfatnetz erkennbar häufiger eingesetzt wurden, während Intervalle mit einer Dauer von 40 bis 50 ms eher unterrepräsentiert waren. Die längeren Klickintervalle können als Indiz für eine Erhöhung der akustischen Wahrnehmbarkeitsdistanz gewertet werden.

Zusammenfassend lassen sich als wichtigste Ergebnisse für diesen Versuchsteil feststellen: Die unterschiedliche Intervalldauer zwischen den Klicklauten an beiden Netztypen gibt Hinweise auf akustische Unterschiede des Netzmaterials, insbesondere eine Erhöhung der Wahrnehmbarkeitsdistanz am Bariumsulfatnetz. Unter den Versuchsbedingungen konnte nur bei verhältnismäßig wenigen Tieren eine Echoortungsaktivität in Netznähe festgestellt werden, und zwar bei 30,6 % der Walgruppen am Standardnetz und bei 19,7 % am Bariumsulfatnetz. Da auch die Klickanzahl bei Einsatz des Standardnetzes signifikant höher war, kann dies auf eine schlechtere Sichtbarkeit dieses Netzes im Vergleich zum Bariumsulfatnetz hindeuten bzw. auf eine

bessere Sicht- und Ortbarkeit des Bariumsulfatnetzes. Die mit dem Theodoliten anhand der Auftauchpunkte ermittelten Auftauch minimaldistanzen zum Netz und zum Klickdetektor am Netzmittelpunkt geben keinen Hinweis auf ein unterschiedliches Verhalten der Schweinswale an den beiden Netztypen. Auch die „Auf-tauch“-Verweildauer anhand der Auftauchbeobachtungen im Umkreis von 50 m zum Netzmittelpunkt zeigt keinen signifikanten Unterschied.

³¹ In einzelnen Fällen wurden Wellenbewegungen der unter Wasser schwimmenden Tiere registriert und mit dem Theodoliten eingemessen.

4.3.2 Auswirkungen der eingesetzten Netztypen auf den Fischereiertrag

Während des Experiments wurden keine Fische gefangen. Der Fang von Fischen wurde in diesem Experiment allerdings auch nicht angestrebt.

4.3.3 Wirkung eines 2,5 kHz Sinustons

In einem zweiten Experiment wurde untersucht, ob mit Hilfe von 2,5 kHz Sinustönen das Verhalten von Schweinswalen an einer Bojenkette (ohne Netz) beeinflusst werden kann. Ziel dieses Vorversuchs war es, eine Methode zur Warnung von Schweinswalen vor Hindernissen zu entwickeln. Insbesondere sollte die Fragestellung geklärt werden, ob es möglich ist, mit derartigen Tönen die Echoortungsaktivität der Tiere zu steigern, da die Anzahl der Tiere, die in Netznähe Echoortung betrieben, in unseren Beobachtungen sehr gering war. In Anlehnung zur Datenauswertung des Netzexperiments wurden folgende Parameter verglichen:

a) Minimaldistanz der Auftauchpunkte zum Klickdetektor

Bei Beschallung lag der Medianwert der geringsten Auftauchabstände zum Klickdetektor bzw. Schallwandler bei 24,8 m (21 beobachtete Schweinswalgruppen) während bei der Kontrolle (nur Bojenkette) der Median 27,9 m betrug (24 Gruppen). Der Vergleich (KST) lässt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Daten erkennen ($p > 0,05$).

b) „Verweildauer“ anhand der Auftauchbeobachtungen im Umkreis von < 50 m zum Klickdetektor

Bei Beschallung betrug die „Verweildauer“ im Umkreis von 50 m zum POD im Median 32 s (17 Schweinswalgruppen im 50 m Bereich), bei der Kontrolle im Median 17 s (17 Gruppen). Der statistische Vergleich (KST) lässt ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen erkennen ($p > 0,05$).

(c) Anzahl der Beobachtungszeiträume mit Klicks

An der Bojenkette konnten bei Beschallung in 71,4 % aller optisch beobachteter Interaktionen (15 von 21) eindeutig Klicks registriert werden. Bei Kontrollversu-

chen verringerte sich dieser Wert auf 16,7 % aller Interaktionen (4 von 24). Dieser Unterschied ist hoch signifikant (Chi²-Test: Chi²=211,5, $p < 0,001$).

d) Anzahl Klicks während einer Interaktion im Umkreis von 50m zum Netzmittelpunkt

An der Bojenkette betrug der Median der Klickanzahl je Interaktion bei Beschallung 80 (21 Gruppen). Im Vergleich dazu ergibt die Versuchsanordnung nur mit Bojenkette einen Median von 0 (24 Gruppen). Dieser Unterschied ist höchst signifikant (KST, $p < 0,0001$). Ein Unterschied in der Anzahl aufgezeichneter Klicks ergibt sich auch, wenn nur Tiere mit akustischer Aktivität in der Nähe des Klickdetektors miteinander verglichen werden. In diesem Fall betrug die Klickanzahl bei Beschallung im Median 111 (bei 18 Gruppen), während sie bei der Kontrolle im Median nur 36 (bei 4 Gruppen) erreichte. Der Unterschied ist auch hier hoch signifikant (KST, $p < 0,01$).

(e) Dauer der Klickintervalle je Interaktion

Bei Beschallung wurden aus den Aufzeichnungen des Klickdetektors 2637 Klickintervalle ermittelt, der Median dieser Intervalle betrug 47,3 ms. Bei 124 Klickintervallen, die zu den Interaktionen der Kontrolle ermittelt wurden betrug der Median 42,1 ms. Der statistische Vergleich zeigt, dass sich die Verteilung der Daten zwischen den beiden Gruppen höchst signifikant unterscheidet ($p < 0,0001$, KST).

Zusammenfassend lassen sich als wichtigste Ergebnisse feststellen: Unter Einfluss der Beschallung mit einem 2,5 kHz Sinuston wurde eine 4x höhere Echoortungshäufigkeit ermittelt. Auch die Anzahl der Klicks pro Interaktion ist bei Beschallung signifikant größer als in der Kontrolle. Schließlich waren auch die Intervalle zwischen den Klicklauten bei Beschallung länger als im Kontrollversuch, ein Hinweis auf eine entsprechend größere Ortungsentfernung. Die mit dem Theodoliten ermittelten Auftauch-Minimaldistanzen zum Schallwandler und zum Klickdetektor sowie die Verweildauer, gemessen anhand der Auftauchzeiten, im Umkreis von 50 m geben hingegen keinen Hinweis auf ein unterschiedliches Verhalten der Schweinswale.

4.4 Diskussion

4.4.1 Vergleich des Bariumsulfatnetzes mit dem Standardnetz

In Fischereixperimenten mit Bariumsulfatnetzen fanden Trippel et al. (2003) und Larsen et al. (2003a) eine statistisch signifikante Beifangverringering bei Schweinswalen. Allerdings wird in Fachkreisen darüber spekuliert, ob hierfür wirklich die akustischen Eigenschaften des neuen Netzmaterials, die erhöhte Steifigkeit der Netzfaser oder noch andere Faktoren verantwortlich sind.

Akustische Unterschiede wirken vor dem Netzkontakt, die erhöhte Steifigkeit der Netzfaser (vgl. Larsen et al. 2003a, Mooney 2003) kann nur nach einer Kollision Auswirkungen auf die Beifangrate haben und verringert möglicherweise die Gefahr des Verfangens in den Maschen. Ein weiterer möglicher Faktor ist eine bessere Sichtbarkeit des Netzmaterials. In dieser Studie sollte daher vor allem geklärt werden, ob das Verhalten von Schweinswalen in der Nähe der verwendeten Netze Hinweise auf von den Tieren wahrnehmbare Unterschiede in der Netzakustik gibt und ob die Tiere überhaupt in relevantem Maße an Netzen Echoortung betreiben.

a) Visuelle Beobachtungen: Theodolitdaten

In den mit dem Theodoliten ermittelten Parametern 1) dichteste Auftauchentfernung zum Klickdetektor und Netz und 2) Verweildauer, gemessen anhand der Zeiten zwischen den Auftauchpunkten, im Netzbereich wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Standard- und Bariumsulfatnetz ermittelt. So lagen die dichtesten Auftauchpunkte am Standardnetz bei 18 m und am Bariumsulfatnetz bei 17,5 m. Unter Wasser können die Tiere jedoch außerhalb unseres Sichtbereichs auch dichter an das Netz geschwommen sein. Bei der Untersuchung der Verweildauer im Nahbereich des Netzes mussten viele Gruppen aus der Auswertung ausgeschlossen werden, da in vielen Fällen nur ein Auftauchpunkt aufgezeichnet wurde. Dadurch verringerte sich die Anzahl der Messwerte, so dass die Datenmenge für eine statistische Untersuchung bei der vorliegenden Variabilität vermutlich zu gering war.

b) Akustische Beobachtungen: Dauer des Klickintervalls

Unsere Ergebnisse belegen vor allem Unterschiede im akustischen Verhalten der Schweinswale, die nicht mit den anderen genannten Eigenschaften des Netzmaterials in Zusammenhang zu bringen sind. Im experimentellen Vergleich beider Netztypen stellten wir vor allem statistisch signifikante Unterschiede in der Verteilung von Klickintervallen bei den Schweinswalen fest, die im Nahbereich der Netze (< 50 m zur Netzmitte) Echoortung betrieben.

Verfuss et al. (2002) beschreiben für zwei Schweinswale in Gefangenschaft zwei völlig unterschiedliche Arten von Klickintervallen. Der erste Modus dient der Orientierung im Raum und drückt sich durch Intervalle von ca. 80 bis 50 ms Dauer aus. Dieser „Orientierungsmodus“ findet auch bei der Beuteortung zunächst Verwendung. Die Intervalldauer nimmt linear ab, wenn sich das Tier der Beute nähert. Ab ca. 3 m Entfernung zur Beute „schaltet“ das Tier dann auf einen „Beutefangmodus“ um und die Intervalle nehmen sehr schnell auf bis zu ca. 1,5 ms ab. Entsprechende Klickintervalle deutlich unter 10 ms wurden auch von Verboom & Kastelein (1995, 1997) von Tieren in Gefangenschaft und von Carlström (2003) im Freiland beschrieben. Im Beutefangmodus kann nicht wie im Orientierungsmodus von der Zweiwegelaufzeit des Schalls plus der Verzögerungszeit (auch lag time genannt) auf die Entfernung geschlossen werden³². Die Wiederholfrequenz der Klicks ist dafür zu schnell.

Die Verzögerungszeit beträgt bei großen Tümmlern zwischen 19 und 40 ms (Au 1993). Evans and Powell (1967 in Au 1993) fanden jedoch, dass die „lag time“ bei Großen Tümmlern bei Ortungsentfernungen um 0,4 - 1,4 m sogar nur 15,4 ms beträgt. Bei Ortungsentfernungen von 0,4 bis 0,03 m verringert sich die Verzögerungszeit auf 2,5 ms. Dann werden jedoch vermutlich mehrere Echos simultan im Gehirn verarbeitet (Beutefangmodus).

³² Der Zeitraum zwischen zwei Klicks, das sogenannte Klickintervall, ist ein indirektes Maß für die Distanz zwischen Wal und Zielobjekt (vgl. Au 1993; s.o.).

An beiden Netztypen wurden Klickintervalle von 45 bzw. 51 ms Dauer aufgezeichnet (Standard- bzw. Bariumsulfatnetz, Medianwerte, Abb. 13, Seite 32). Diese Klickintervalle geben einen Hinweis darauf, dass die Tiere sich mit ihrem Biosonar im Raum orientierten und möglicherweise das Netz untersuchten. Ihr Sonar war nicht im „Beutefangmodus“. Au (1993) zeigen, dass bei Großen Tümmlern ein Zeitintervall zwischen den Klicks um die 40 ms einer Entfernung zum Zielobjekt von rund 10 m entspricht.

Bei Einsatz des Bariumsulfatnetzes wurden deutlich mehr Echoortungssignale mit einer Klickintervalldauer von 60 bis 85 ms registriert als bei Versuchen mit dem Standardnetz. Gleichzeitig waren Klickintervalle von 40 bis 50 ms gegenüber dem Standardnetz unterrepräsentiert. Diese Verschiebung zu längeren Klickintervallen kann bedeuten, dass die Tiere am Bariumsulfatnetz tendenziell weiter voraus "schauten" als am Standardnetz, sofern sie sich im Orientierungsmodus befinden. Das heißt, dass die Intervalldauer direkt mit der Entfernung zum Objekt korreliert. Theoretische Werte für die Ortungsentfernungen, die diesen Klickintervallen zuzuordnen sind, lassen sich nach der Formel auf Seite 28 berechnen, wenn man die Verzögerungszeit kennt.

Au et al. (1999) maßen an Schweinswalen Klickintervalle, die 20 bis 35 ms länger dauerten als die Zweifelaufzeit zu einem 7 bis 9 m entfernten Objekt. Verfuss et al. (1999 – zitiert in Teilmann et al. 2002) hingegen fanden bei Schweinswalen bei Entfernungen über 8 m Verzögerungszeiten von 50 ms. Teilmann et al. (2002) fanden bei Ortungsdistanzen zwischen 12 und 20 m sogar nahezu konstante mittlere Klickintervalle um 60 ms. In diesem Fall ließ sich gar keine feste Verzögerungszeit angeben. In unserer Studie betragen schon die Medianwerte der Klickintervalle 45 bzw. 51 ms (Standard- bzw. Bariumsulfatnetz), die Verzögerungszeiten müssen folglich erheblich darunter gelegen haben.

Unabhängig von der Verzögerungszeit, die zugrunde gelegt werden muss, wird aus Tabelle 4 ersichtlich, dass das stärkere Echo des Bariumsulfatnetzes die zentrale Ortungsentfernung für Schweinswale um 4,4 m erhöht. Geht man anstelle der Medianwerte von den

herausragenden Peaks beider Verteilungen aus (40 ms bei Standardnetz bzw. 60 ms bei Bariumsulfatnetz, Abb. 13, Seite 32) so würde der Unterschied in der Wahrnehmbarkeitsentfernung sogar 15 m betragen. Bei einer mittleren Schwimmgeschwindigkeit von 1,9 m/s (Schulze 1996) bzw. 1,5 m/s, und einer Schwimmgeschwindigkeiten am Meeresgrund von nur 1,2 m/s (Teilmann 2000) würde die verbesserte Wahrnehmbarkeit des Bariumsulfatnetzes eine Erhöhung der Reaktionszeit von 2,3 bis 12,5 Sekunden bedeuten. Und auch bei Spitzengeschwindigkeiten von 22 km/h (Schulze 1996) blieben einem Schweinswal, der das Bariumsulfatnetz wahrnimmt, 0,7 s bzw. 2,5 s mehr Zeit um zu reagieren, als bei einem Standardnetz.

Tabelle 4: Berechnete theoretische Netz-Ortungsentfernung bei unterschiedlichen Verzögerungszeiten.

Verzögerungszeit (ms)	Ortungsentfernung (m)	
	Standardnetz	Bariumsulfatnetz
20	18,9	23,25
25	15,15	19,5
30	11,4	15,75
35	7,65	12
40	3,9	8,25
45	0,15	4,5

Eingesetzt wurde jeweils der Medianwert der Klickintervalle (45 ms bei Standard- und 51 ms bei Bariumsulfatnetz).

Zum Vergleich: Kastelein et al. (2000) berechneten für Schweinswale eine Wahrnehmbarkeit von Standardnetzmaterial aus 3 bis 6 m Entfernung. Hatakeyama & Soeda (1990) geben die Detektionsentfernung für eine im Netz befestigte Bleileine mit 9 m an. Mooney (2003) berechnete für ein Netz mit etwas geringerer Maschenweite und Filamentdurchmesser (gestreckte Masche 147 mm gegen 165 mm hier, Faserdurchmesser 0,51 mm gegen 0,62 mm) 90-prozentige Detektionsreichweiten zwischen 3,4 und 4,5 m für das Bariumsulfatnetz und 2,8 bis 3,6 m für das Standardnetz (Annäherung 10 - 30 Grad zur Senkrechten), eine Differenz von 0,6 - 1,1 m. Für ein grobmaschiges Netz aus dickerem Material (Masche 305 mm gestreckt, Faserdurchmesser 0,9 mm) berechnete er Detektionsreichweiten von 11,4 m für das Bariumsulfatnetz im Vergleich zu 8.8 m

für das Standardnetz bei senkrechter Annäherung, eine Differenz von 2,6 m. Geht man von einer Verzögerungszeit von 35 ms aus (Au et al. 1999), so stimmen diese Daten recht gut mit unseren Ergebnissen überein.

In welcher Größenordnung die Verzögerungszeit auch immer liegen mag, die von uns festgestellte höhere mediane Klickintervalldauer und vor allem die nach rechts verschobene Verteilung der Intervalldauern am Bariumsulfatnetz geben einen Hinweis auf eine erhöhte Ortungsentfernung der Schweinswale im Vergleich zum Standardnetz. In jedem Fall bestätigt das unterschiedliche akustische Verhalten der Tiere an den verschiedenen Netzen den vom Hersteller Atlantic Gillnet Supply, sowie von Mooney (2003) und Ginzkey (unveröff. Ergebnisse) gemessenen, bzw. berechneten akustischen Unterschied zwischen den eingesetzten Netztypen.

c) Verwendung des Biosonars

Lediglich bei 19,3 % der Annäherungen von Schweinswalen an das Bariumsulfatnetz wurden Echoortungslaute aufgezeichnet, gegenüber 30,6 % am Standardnetz. Interessant ist dies vor allem vor dem Hintergrund, dass Schweinswale nur dann ein Netz akustisch wahrnehmen können, wenn sie ihr Biosonar auch benutzen. Die Mehrzahl der in der Nähe der Netze beobachteten Tiere scheint dies jedoch unter den Versuchsbedingungen nicht zu tun. In diesen Fällen ist die Reflektivität eines Netzes völlig unerheblich. Auch im zweiten Versuch, nur mit der Bojenkette, wurden lediglich in 16,7 % aller Interaktionen Klicklaute aufgezeichnet.

Die im Untersuchungszeitraum ungewöhnlich guten Sichtbedingungen könnten dazu geführt haben, dass Schweinswale zumindest im Abstand weniger Meter zum Netz dieses visuell und nicht mit ihrem Echoortungssinn untersuchten. Wie Abb. 6 zeigt, ist das Bariumsulfatnetz zumindest für das menschliche Auge besser sichtbar als das Standardnetz. Dies könnte einigen Schweinswalgruppen hinreichend visuelle Informationen vermittelt haben, was die Echoortungshäufigkeit weiter verringerte. Allerdings kommt dies nur im Abstand weniger Meter vom Netzmaterial zum tragen. Die maximale Sichttiefe für die Secchi-Scheibe betrug im

Untersuchungszeitraum 7,8 m. Die Sichtweite der Netzmaschen des Standardnetzes war mit 1-2 m deutlich geringer (vgl. Abb. 6, Seite 25).

Auch Graner (2003) stellte an experimentellen Netzen eine sehr geringe Echoortungsaktivität fest. Bei seinen Untersuchungen mit einem an der Wasseroberfläche eines norwegischen Fjords ausgebrachten Seeteufelnetz und einem Lachstreibnetz stellten Schweinswale ihre Echoortung ein, sobald sie in die Nähe des Netzes kamen. Abgesehen von nur wenigen Ausnahmen wurden von Schweinswalen im Umkreis von 50 m zum Netz keine oder nur wenige Klicks aufgezeichnet, während in einem Abstand von über 50 – 100 m vom Netz rege Echoortungsaktivität herrschte. Der Autor gibt keine Erklärung für dieses Phänomen. Möglicherweise untersuchten die Tiere das Netz visuell. (Die Sichtbarkeit der Kopf- und Fußleine des Netzes betrug für einen Taucher 3 bis 6 m). Dieser Zusammenhang wird von Kastelein et al. (1995) für Untersuchungen im Delphinarium bestätigt: „...Bei Licht Ortete Tier 027 45% der Zeit, Tier 030 19% der Zeit. Während Tier 027 mindestens alle 30 s Ortete, war die Echoortung bei Tier 030 sehr viel unregelmäßiger. Das Tier ortete überhaupt nicht, wenn es entlang des Beckenrandes schwamm. Tier 027 ortete niemals, wenn es an der Oberfläche lag...“

Ein weiterer Erklärungsversuch ist, dass der Klickdetektor im Netz nicht alle Klicklaute aufzeichnete. Insbesondere für Laute, die am Rand des Netzes aus geringer Entfernung auf das Netz gerichtet waren, ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass der stark gebündelte Schallkegel (vgl. Au et al. 1999) des Biosonars nicht vom querab liegenden Hydrophon des Klickdetektors erfasst wurde.

Die insgesamt geringe Echoortungshäufigkeit an den untersuchten Netzen mag nicht die Verhältnisse in der Nähe aktiv fischender Netze widerspiegeln. Die für die Schweinswale besonders gefährlichen Grundstellnetze werden zum Teil in großen Wassertiefen gestellt, in denen die Lichtintensität schwach ist. Diese Netze und auch Oberflächentreibnetze, die z. B. in der Lachsfischerei in der Ostsee für Beifänge verantwortlich sind, fischen zudem über Nacht. Es mag sein, dass nachts

und bei schwachen Lichtverhältnissen in großer Tiefe die Echoortungsaktivität der Wale größer ist als tagsüber in unserem Untersuchungsgebiet bei relativ guten Sichtverhältnissen. Diese Vermutung wird von Carlström (2003) bestätigt, die in einer schottischen Bucht beobachtete, dass Schweinswale ihr Biosonar nachts häufiger einsetzen als tagsüber. Insbesondere wurden mehr Klickintervalle des „Beutefangmodus“, also deutlich unter 10 ms Dauer aufgezeichnet. Das deutet auf einen tagesperiodischen Rhythmus von bestimmten Verhaltensweisen hin, d. h. dort fressen die Tiere vorwiegend nachts. Die Klickintervalle im „Orientierungsmodus“ waren nachts auch länger, was darauf hindeutet, dass die Tiere weiter voraus „schauten“. Weiterhin ist es möglich, dass die Echoortungsaktivität der Schweinswale bei Gegenwart von Fischen erhöht ist. Dies wäre dann bei aktiv fischenden Netzen der Fall. Eine Gegenwart von Fischen hätte dann zwei gegenläufige mögliche Folgen: So ist es denkbar, dass, durch eine Erhöhung der Echoortungsaktivität das Bariumsulfatnetz besser geortet würde. Oder aber, dass das Netz vor dem Hintergrund potentieller Beutefische, die ein stärkeres Echo abgeben als das Netzmaterial (Pence 1986, Au & Jones 1991) nicht wahrgenommen wird.

d) Klickanzahl

Weitere Unterschiede wurden in der Anzahl der Echoortungsklicks je Schweinswalgruppe im Nahbereich des Netzes festgestellt. Einerseits unterscheiden sich die prozentualen Verteilungen bei Berücksichtigung aller Tiere. Wahrscheinlich beruht dieser Unterschied unter Anderem jedoch auf dem Unterschied in der Häufigkeit, in der die Tiere ihr Biosonar einsetzen (s. o.).

Andererseits findet sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied, wenn in der Datenauswertung nur die visuell beobachteten Tiere berücksichtigt werden, denen eine akustische Aktivität zugeordnet werden konnte. Der Median der Klickanzahl liegt bei Schweinswalen am Standardnetz (55 Klicks) um 67% höher als am Bariumsulfatnetz (33 Klicks). Gleichzeitig fällt auf, dass im Verteilungsmuster ein größerer Anteil der Gruppen am Standardnetz in der Kategorie bis 70 Klicks erscheint, während am Bariumsulfatnetz die meisten Gruppen nur bis 20 Klicks erzeugten. Die Schweinswale untersuch-

ten das Bariumsulfatnetz also weniger intensiv mit ihrem Biosonar. Dies kann mehrere Ursachen haben:

- 1) die Tiere nehmen das Bariumsulfatnetz akustisch besser wahr als das Standardnetz und brauchen weniger Klicks um die Netze als Hindernis zu erfassen oder
- 2) die Tiere haben das Bariumsulfatnetz aufgrund seiner Unterschiede hinsichtlich Transparenz, Farbe und Erkennbarkeit im Wasser gegen dunkle und helle Hintergründe (s. Abb. 6, Seite 25) schon visuell eher wahrgenommen und brauchen es nicht mehr akustisch zu untersuchen. Für das menschliche Auge betrug der Unterschied in der Sichtbarkeit zwischen beiden Netztypen im Untersuchungsgebiet allerdings nur rund 2 m. Da hierfür in erster Linie die Wassertrübung maßgeblich war, gehen wir davon aus, dass dies auch auf Schweinswale zutrifft.

Laut Schulze (1996) beträgt die Dichte der Stäbchenzellen auf der Netzhaut des Schweinswals 200.000, die der Zapfen 4.900 pro mm². Somit müssen wir davon ausgehen, dass Schweinswale auch bei geringer Beleuchtung noch hervorragend sehen können. Peichl et al. (2001) fanden bei Walen nur einen Typ Zapfenzellen, die im grünen Bereich empfindlichen L-Zapfenzellen. Somit scheint es, als ob sich Farbsehen bei Walen auf diesen Spektralbereich beschränkt. Auch Griebel und Schmid (2002) stellten bei großen Tümmlern nur zwei Empfindlichkeitsmaxima im ultravioletten sowie im blau-grünen Bereich (490 nm) fest, eine Anpassung an die Spektralverhältnisse in der Tiefe: bereits ab 10 m Tiefe sind die Farben rot und orange nicht mehr wahrnehmbar (Jeppesen 1975). Diese Anpassungen ermöglichen es Schweinswalen vermutlich, je nach Wassertrübung, das grün eingefärbte Bariumsulfatnetz gut zu sehen.

Sollte die Sichtbarkeit des Netzes für die geringere Klickanzahl und geringere Verwendung des Biosonars verantwortlich sein, so müsste man dies durch Unterschiede an Tagen mit guten Sichtbedingungen gegenüber anderen Tagen mit schlechten Sichtbedingungen nachweisen können. Statistische Vergleiche mit unserem begrenzten Datenmaterial, bei denen Zeit am Netz, Klickanzahl pro Interaktion, kürzestes Klickintervall und Distanz zum Netz getestet wurden, brachten jedoch

keine signifikanten Unterschiede. Dies liegt in erster Linie an den geringen Datenumfängen der akustischen Parameter, ihrer hohen Variabilität und den geringen Unterschieden zwischen der Sichttiefe an den verschiedenen Versuchstagen.

e) Fängigkeit

Während des Experiments wurden keine Fische gefangen. Dies war auch nicht das Ziel der Versuche. Fische orientieren sich vor allem visuell. Eine wichtige Eigenschaft von Netzen in Seegebieten mit guten Sichtbedingungen ist daher die Tarnfarbe des Netzmaterials (T. Mentjes, pers. Mitt.). In großen Tiefen oder nachts, wenn Fischer ihre Netze stellen, ist dieser Faktor jedoch unbedeutend (vgl. Kastelein et al. 2000).

Da im Untersuchungsgebiet zumindest zu Beginn des Experimentes ungewöhnlich gute Sichtbedingungen herrschten, konnten Fische möglicherweise innerhalb der Sichtentfernung der Netze abdrehen und die Maschen vermeiden, oder durch die Löcher zwischen den Sollbruchstellen entkommen.

f) Steifigkeit des Netzmaterials

In der vorliegenden Studie kam es bei 3 Tieren zu Kollisionen mit dem Netz (Standard 2, Bariumsulfat 1). Bei beiden Netztypen konnte je ein Tier nach der Kollision sofort weiterschwimmen, ohne sich in den Netzmaschen zu verheddern. Larsen et al. (2003a) vermutet, dass die gezeigte Beifangreduktion in zwei Studien (Larsen et al. 2003a, Trippel et al. 2003) in der erhöhten Steifigkeit der Netzfaser begründet ist, Tiere also quasi vom Netz „abprallen“. Unsere Studie belegt, dass nicht automatisch jeder Netzkontakt zum Verheddern führt. Gleichwohl kommen „Abpraller“ bei beiden verwendeten Netztypen vor. Ob dies beim Bariumsulfatnetz häufiger der Fall ist, kann mit unserem geringen Datenumfang nicht geklärt werden. Bei drei betroffenen Tieren erübrigt sich eine statistische Analyse.

Aktuelle Messungen an der Universität Hawaii belegen - bei gleichem Filamentdurchmesser - eindeutig eine erhöhte Steifigkeit von Bariumsulfatnetzen gegenüber Standard-Nylonnetzen (Mooney 2003). Weiter zeigen diese Untersuchungen, dass die Steifigkeit bei allen drei betrachteten Materialien mit dem Filamentdurch-

messer zunimmt. Dennoch kann man nicht generell davon ausgehen, dass jedes Bariumsulfatnetz steifer ist als ein beliebiges Standardnetz. So ist z. B. eine Leine mit einer Zugfestigkeit von 40 lb aus Standard-Nylonmaterial genauso steif wie eine Bariumsulfatleine mit derselben Zugfestigkeit aber einem geringeren Durchmesser.

Einen weiteren Einfluss auf die Steifigkeit hat die Stellzeit der Netze. Nach 24 h Kontakt mit Seewasser nahm die Steifigkeit aller untersuchten Fasern signifikant ab (Mooney 2003). Dass Stellzeiten die Beifangrate negativ beeinflussen, zeigt Vinther (1999) in seinen Beifanguntersuchungen in der dänischen Nordseefischerei. Der Aspekt der „Durchweichung“ des Netzmaterials wird dabei bisher aber nicht als Grund diskutiert. Sollte wie von Larsen et al. (2003a) angenommen, die Steifigkeit der Netzfaser der Grund für Beifang- und mögliche Fangverringerng sein, lassen sich vielleicht Grenzwerte für die Steifigkeit von Netzen finden, die den Fang nur marginal einschränken aber gleichzeitig gute Beifangreduktionsraten erbringen. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die von Larsen et al. (2003a) berichtete Fangreduktion von Eisensulfatnetzen in Bezug auf Kabeljau steht in direktem Widerspruch zu Trippel et al. (2003), der bei dem neuen Netzmaterial keine Fangeinschränkungen feststellte.

4.4.2 Beschallung mit 2,5 kHz Sinustönen

Schweinswale senden während des Schwimmens nicht pausenlos Echoortungssignale aus, wie auch unsere Ergebnisse zeigen. Die Ergebnisse der Verhaltensuntersuchungen von Schweinswalen an Bariumsulfat- und Standardnetzen machen deutlich, dass signifikante Unterschiede im Verhalten nur bei Tieren gefunden wurden, die auch akustisch aktiv waren. Daher kann und muss die Frage gestellt werden, wie man die Tiere dazu bringen kann, an Netzen verstärkt ihr Echoortungssystem einzusetzen.

Sogenannte „Enticing sounds“, also stimulierende Geräusche sind, wie im Versuch mit 2,5 kHz Sinustönen gezeigt, in der Lage, den Anteil der Schweinswalgrup-

pen mit registrierten Ortungslauten im Nahbereich einer Bojenkette zu vervierfachen. Auch steigt durch den Einsatz der Sinustöne die Anzahl der Klicks während einer Interaktion im Umkreis von 50 m zum Netzmittelpunkt deutlich. Die Schweinswale setzen also entweder vermehrt, gerichteter und aus geringerer Entfernung ihr Sonar ein. Darüber hinaus steigt auch die Untersuchungsintensität mit dem Biosonar. Wir werten dieses Verhalten als ein Anzeichen von Neugier. Ausschlaggebend für unseren Versuch war eine Untersuchung von Kastelein et al. (1995), die festgestellt hatten, dass Schweinswale in einem Hälterungsbecken 2,5 kHz Töne mit Obertönen vermieden, reine Sinustöne derselben Frequenz jedoch näher untersuchten. Auch Koschinski et al. (2003) stellten fest, dass Schweinswale eine Schallquelle mit niederfrequenten Geräuschen stärker untersuchten.

Durch die Befestigung entsprechender Schallerzeuger am Netz in ausreichender Entfernung zueinander müsste sichergestellt werden, dass Schweinswale in der Nähe eines Netzes aus jeder Position heraus aufmerksam gemacht werden. Durch die Geräusche stimuliert, sollten die Tiere das Gerät und sein Umfeld akustisch untersuchen und so rechtzeitig die Netzmaschen und die damit verbundene Gefahr erkennen. Um diese Fragen zu klären, ist eine Verhaltenstudie erforderlich, bei der der Schallerzeuger in ein Bariumsulfatnetz gehängt wird und nicht nur, wie hier, in eine Schwimmleine.

Man könnte einwenden, dass durch die Verwendung von "enticing sounds" dieselben Nachteile auftreten, die bei Pingern gesehen werden, d. h. akustische Umweltverschmutzung, Vertreibung, hohe Kosten und Gewöhnung der Tiere an die Geräusche. Allerdings dürfte der Grad der akustischen Umweltverschmutzung durch die geringere Schalleistung deutlich geringer ausfallen. Leisere Geräte verbrauchen auch weniger Strom und sind kostengünstiger zu produzieren. Ferner fällt das Problem der Vertreibung aus dem Habitat weg.

Eine Gewöhnung der Schweinswale an die Sinustöne ist jedoch nicht auszuschließen und wäre zu untersuchen. Außerdem entstünden den Fischern durch die

Geräte zusätzliche Kosten. Dennoch gehen wir davon aus, dass die Tiere durch harmlose Kollisionen mit beschallten, reflektiven Netzen lernen, das Hindernis künftig rechtzeitig zu meiden: durch Warngeräusche darauf aufmerksam gemacht, würden sie die reflektiven Netze mit ihrem Biosonar wahrnehmen. In jedem Fall sind weitere Forschungsprojekte notwendig, um den Effekt dieser „Warnlaute“ weiter zu untersuchen.

Das Fazit unserer Untersuchungen ist also, dass akustische Unterschiede zwischen den untersuchten Netztypen vorliegen, die von den Schweinswalen auch wahrgenommen werden können – sofern sie ihr Biosonar einsetzen. Insbesondere die Erhöhung der Klickintervalldauern am Bariumsulfatnetz weist darauf hin. Mittlerweile konnte auch die erhöhte Reflektivität der Bariumsulfatnetze bestätigt werden (Mooney 3003, Ginzkey, unveröff. Ergebnisse). Unter den experimentellen Bedingungen in Kanada war jedoch der Anteil der Tiere, die ihren Echoortungssinn am Netz auch wirklich einsetzten, vermutlich zu gering, als dass die bessere akustische Wahrnehmbarkeit der Netze zu einer erheblichen Beifangreduktion hätte führen können. Mit „enticing sounds“ lässt sich jedoch die Echoortungsquote erheblich steigern, so dass möglicherweise ein Einsatz akustisch verstärkter Netze in Verbindung mit akustischen Signalgebern – die sich maßgeblich von Pingern unterscheiden – zum gewünschten Ziel führen könnte. Weitere Forschung an entsprechend modifizierten Netzen mit „enticing sounds“ und zum Thema Netzsteifigkeit ist nötig, um die Entwicklung geeigneter Fanggeräte mit verringertem Beifangrisiko weiter voran zu treiben.

5 Ausblick

5.1 Welchen Einfluss können die Ergebnisse dieser Studie auf die Fischerei- bzw. Kleinwalbeifangsituation haben?

Ein wesentliches Ergebnis unserer Freilanduntersuchungen in Kanada ist, dass akustische Unterschiede zwischen den untersuchten Netzen bestehen, die aber nur dann das Verhalten der Schweinswale beeinflussen können, wenn die Tiere auch Echoortung betreiben. Insofern lassen sich allein durch die Verbesserung der akustischen Wahrnehmbarkeit des Bariumsulfatnetzes nicht in jedem Fall Beifänge verringern. Dieser Befund wird auch durch die Fischereixperimente an der kanadischen Ostküste untermauert, die in 1998 und 2000 eine deutliche Beifangreduktion durch Bariumsulfatnetze erzielten (Trippel et al. 2003), in 2001 jedoch bei insgesamt höheren Beifängen im Untersuchungsgebiet auch im Bariumsulfatnetz einen deutlichen Beifang zu verzeichnen hatten (Trippel & Shepherd 2004).

Weiterhin konnte in der vorliegenden Studie gezeigt werden, dass mit Hilfe von stimulierenden Geräuschen („enticing sounds“ - 2,5 kHz Sinustöne) die Echoortungshäufigkeit von Schweinswalgruppen in der Nähe der Schallquelle erheblich gesteigert werden kann. Um eine Verringerung von Beifängen mit Hilfe reflektiver Netze zu erzielen, erscheint es uns sehr wichtig, diese beiden Befunde zu kombinieren und entsprechende Untersuchungen auf den Weg zu bringen.

5.2 Welche weiteren Untersuchungen müssen noch erfolgen?

Eine Untersuchung von Bariumsulfatnetzen in Kombination mit „enticing sounds“ steht im Vordergrund weiterer Bemühungen, die Kenntnisse über die Wirkungsweise der Bariumsulfatnetze zu vertiefen. Sowohl im Verhaltensexperiment als auch in einer größer angelegten Studie in einer Testfischerei sollten entsprechende Aktivitäten geplant und durchgeführt werden.

Weiterhin wird vorgeschlagen, auch bei Feldversuchen mit reflektiven Netzen zusätzlich zur Zählung von Fang und Beifang Klickdetektoren bzw. Ultraschalldetektoren einzusetzen. Dadurch ließen sich weitere Informationen über Unterschiede im akustischen Verhalten von

Schweinswale erhalten, die ggf. auch mit Beifangereignissen in Verbindung gebracht werden könnten.

5.3 Abschätzung des Zeitraumes von der Entwicklung bis zur Produktreife der reflektiven Netze

Nach Einschätzung von T. Mentjes von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei dürften Bariumsulfat- bzw. Eisenoxidnetze sehr schnell zur Produktreife gebracht werden können, da die Technologie zur Herstellung des Filaments vorhanden ist und sich die Herstellung der Netze aus dem neuartigen Filament nicht von der Herstellung bereits verwendeter Netze unterscheidet. Probleme, die durch mögliche Fangeinbußen bei der Handhabung dieser Netze entstehen, müssten noch ausgiebig in der Fischereipraxis untersucht werden. Andere passive Methoden wie Scheuchmaschen oder Sonarreflektoren dürften hingegen noch einen weiten Weg bis zur Produktreife haben, da es noch viele Probleme in der Handhabung und vor allem bei der Herstellung dieser modifizierten Netze gibt, die noch gelöst werden müssten (Mentjes, pers. Mitt.).

Falls sich herausstellt, dass reflektive Netze in Verbindung mit stimulierenden Geräuschen in der Lage sind, dauerhaft den Beifang von Kleinwalen zu reduzieren, muss die Entwicklung geeigneter Geräte zur Erzeugung dieser „enticing sounds“ noch vorangebracht werden. Diese Geräte müssen in Hinblick auf den möglichen Einsatz in der Fischerei kostengünstig, wartungsarm und unproblematisch in der Handhabung an den Netzen sein.

5.4 Kosten für den Fischer

Nach Aussage von E. A. Trippel und Don King (Atlantic Gillnet Supply, Gloucester, Maine, USA) unterscheiden sich die Anschaffungskosten des Bariumsulfatnetzes gegenüber einem Standardnetz lediglich um plus 10%. Eine Massenfertigung könnte diesen Unterschied reduzieren. Für den Fall, dass entsprechende Netze verpflichtend eingesetzt werden, müssen vermutlich entsprechende Beihilfen geschaffen werden, da ein kompletter Austausch aller Netze auf einen Schlag mit erheblichen Investitionen verbunden ist.

5.5 Praktikabilität von reflektiven Netzen in der Handhabung

Eigene Erfahrungen zeigen, dass sich das in unserer Studie verwendete, 45 m lange Bariumsulfatnetz in der Handhabung nicht negativ von dem Standardnetz unterschied. Die etwas größere Steifigkeit des Garns (vgl. Mooney 2003) führte eher zu einer Verbesserung der Handhabung. Ausbringen und Einholen des Netzes waren ähnlich wie bei Verwendung des Standardnetzes. Die Lagerung in einem Netzbeutel führte aufgrund der etwas erhöhten Steifigkeit der Faser seltener zu Verknotungen. Allerdings benötigte das Bariumsulfatnetz auch ein etwas größeres Packvolumen. Inwieweit sich die Handhabung bei maschinell unterstützten Einsätzen in der Fischerei unterscheidet, muss noch abschließend geklärt werden. Die an den Experimenten von Trippel et al. (2003) und Trippel & Shepherd (2004) beteiligten Fischer äußerten jedenfalls keine negativen Erfahrungen (Trippel³³, pers. Mitt.).

5.6 Gibt es die Bereitschaft der Fischer die Netze freiwillig einzusetzen?

Bariumsulfat- und Eisenoxidnetze werden derzeit noch nicht kommerziell angewendet. Daher sind bislang noch nicht viele Fischer mit den neuartigen Netzen in Berührung gekommen. Aus den Untersuchungen von Larsen et al. (2003a) lässt sich schließen, dass die beteiligten Fischer erhebliche Vorbehalte gegenüber den im Experiment verwendeten Eisenoxidnetzen haben. So musste der Versuch vorzeitig abgebrochen werden, weil die Fischer Ertragseinbußen durch die Netze befürchteten. Die an den Versuchen in der Bay of Fundy, Kanada, beteiligten Fischer äußerten keine Vorbehalte (Trippel, pers. Mitt.). Der Schlüssel zum Erfolg dieser Netze bei den Fischern scheint in der Fängigkeit der Netze zu liegen. Während die dänische Studie einen Minderertrag an gefangenem Dorsch von 30 % zum Ergebnis hatte (Larsen et al. 2003a), wurden von Trippel et al. (2003) in Kanada keine Fangbeeinträchtigungen festgestellt.

Insgesamt müssen folgende Faktoren gegeben sein, um bei den Fischern für eine entsprechende Akzeptanz und damit eine freiwillige Verwendung zu sorgen:

- a) gleiche Handhabung der Netze,
- b) gleicher Preis,
- c) keine Fangeinbußen durch das veränderte Material,
- d) gleiche Haltbarkeit,
- e) gleiche Vielfalt, z. B. in Bezug auf Maschenweite und Faserdurchmesser,
- f) gleiche Lieferzeit.

Den Fischern müsste außerdem eine Übergangszeit eingeräumt werden, da in vielen Fällen noch Netze eingesetzt werden, die von dem jeweiligen Vorgänger (z. B. dem Vater) übernommen wurden. Eine Neuanschaffung aller Netze auf einen Schlag dürfte einen Fischer vor wirtschaftliche Probleme stellen, es sein denn es gäbe eine entsprechende staatliche Förderung.

Danksagung:

Wir möchten uns bei denjenigen bedanken, die durch konstruktive Kritik und Diskussionsbeiträge dazu beitrugen dieses Projekt erfolgreich abgeschlossen zu haben. Ein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. Hans-Ulrich Schnitzler,
Universität Tübingen
Herrn Dr. Harald Benke, Meeresmuseum Stralsund
Herrn Dirk Riebensahm, WWF Deutschland
Herrn Alfred Schumm, WWF Deutschland
Frau Heike Vesper, WWF Deutschland

³³ Edward A. Trippel, Department of Fisheries and Oceans, St. Andrews, New Brunswick, Kanada

6 Literatur

- Archer, F., Gerrodette, T., Dizon, A., Abella, K., Southern, S. 2001. Unobserved kill of nursing dolphin calves in a tuna purse-seine fishery. *Mar Mamm Sci* 17: 540-554
- ASCOBANS. 2002. Report of the 9th meeting of the advisory committee to ASCOBANS, Hindås Sweden, 10-12 June 2002. 46 pp.
- Au, W. W. L., Kastelein R. A., Rippe T., Schoonemann N. M. 1999. Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*). *J Acoust Soc Am* 106: 3699-3705
- Au, W.W.L. 1993. Sonar of dolphins. Springer, Heidelberg.
- Au, W. W. L. & L. Jones. 1991. Acoustic reflectivity of nets: implications concerning incidental take of dolphins. *Mar. Mamm. Sci.* 7(3): 258-273
- Au, W. W. L. 1994. Sonar detection of gillnets by dolphins: theoretical predictions. *Rep. Int. Whal. Commn (Special Issue) 15*: 565-571
- Benke, H. 1994. A note on cetacean bycatches in German waters. *Rep. Int. Whal. Comm. (Special Issue 15)*. 217-218
- Berggren, P. 1994. Bycatches of the Harbour Porpoise (*Phocoena phocoena*) in the Swedish Skagerrak, Kattegat and Baltic Seas; 1973-1993. *Rep. Int. Whal. Commn. (Special Issue 15)*: 211-215
- Berggren, P., J. Carlström & N. Tregenza. 2002. Mitigation of small cetacean bycatch; evaluation of acoustic alarms (MISNET). *Rep. Int. Whal. Comm. SC/54/SM2*. 28 pp.
- Carlström, J. 2003. Diel variation in echolocation behaviour of wild harbour porpoises. In: *Bycatch, conservation and echolocation of harbour porpoises*. Ph. D. Thesis, Department of Zoology, Stockholm University. 15 pp.
- Carlström, J., P. Berggren, F. Dinnétz & P. Börjesson. 2002. A field experiment using acoustic alarms (pingers) to reduce harbour porpoise by-catch in bottom-set gillnets. *ICES Journal of Marine Science*. 59: 816-824
- Cox, T. M., A. J. Read, A. Solow & N. Tregenza. 2001. Will harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) habituate to pingers? *J. Cetacean Res. Manage.* 31(8): 81-86
- Culik, B. M., S. Koschinski, N. Tregenza & G. Ellis. 2001. Reactions of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and herring (*Clupea harengus*) to acoustic alarms. *Mar. Ecol. Prog Ser.* 211: 255-260
- Culik, B.M. 2004. Small Cetaceans: Distribution, Behaviour, Migration and Threats. A Review. Internetportal für die Bonner Konvention zum Schutze Wandernder Tierarten (CMS). [Http://www.wcmc.org.uk/cms/reports/small_cetaceans/](http://www.wcmc.org.uk/cms/reports/small_cetaceans/)
- Dawson, S. M. 1991. Modifying gillnets to reduce entanglement of cetaceans. *Mar. Mamm. Sci.* 7(3): 274-282
- Dawson, S. M. 1994. The potential for reducing entanglement of dolphins and porpoises with acoustic modifications to gillnets. *Rep. Int. Whal. Comm. (Special Issue 15)*: 573-578
- Desportes, G., M. Amundin, D. Goodson & J. Tougaard. 2003. Bottom grubbing: the ultimate challenge for an echolocating porpoise? Abstract presented to the 17th annual conference of the European Cetacean Society, March 2002, Gran Canaria.
- EU-Kommission. 2004. Proposal for a Council Regulation laying down measures concerning incidental catches of cetaceans in fisheries and amending Regulation (EC) No. 88/98. Council of the European Union DS 217/04.
- FAO. 1999. Report of the FAO Technical Working Group Meeting on Reduction of Incidental Catch of Seabirds in Longline Fisheries. Tokyo, Japan, 25-27 March 1998. *FAO Fisheries Report No. 585*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 25p. <http://www.fao.org/DOCREP/005/X1141E/X1141E00.HTM>
- Gaskin, D.E. 1984 The Harbour Porpoise *Phocoena phocoena* (L.): Regional Populations, Status, and Information on Direct and Indirect Catches. *Rep.Int. Whal. Commn.* 34 (SC/35/SM24): p. 569-586
- Gerrodette, T. 2002. Tuna-Dolphin issue. In: *Encyclopedia of marine mammals* (Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM, eds.) Academic Press, San Diego, 1269-1273

- Goodson, A.D., Kastelein, R.A., Sturtivant, C.R. 1995. Source levels and echolocation signal characteristics of juvenile harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in a pool. In: (Nachtigall PE, Lien J, Au WWL, Read AJ, Eds) Harbour porpoises – laboratory studies to reduce bycatch. De Spil, Woerden, NL
- Goodson, A. D. 1994. Bottom Set Gill-nets: Problems of Perception for Dolphins and Porpoises. *Proceedings of the Eighth Annual Conference of the European Cetacean Society*, Montpellier, France 1994: p. 54-57
- Goodson, A. D., Mayo, R. H., Klinowska, M. & Bloom, P. R. S. 1994. Field Testing Passive Acoustic Devices Designed to Reduce the Entanglement of Small Cetaceans in Fishing Gear. *Rep.Int.Whal.Commn. (Special Issue 15)*: p. 597-605
- Graner F, Bjorge A, Kock K.H. (2003) Testing cognitive abilities of Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) – net experiments in Indre Sognefjord / Norway. Submitted
- Griebel U, Schmid A (2002) Spectral sensitivity and Color Vision in the Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 35: 129-137
- Hatakeyama, Y., Soeda, H. 1990. Studies on echolocation of porpoises taken in salmon gillnet fisheries. Pp. 269-281 in Thomas, J.A., Kastelein, R.A. (Eds.): *Sensory Abilities of Cetaceans/Laboratory and Field Evidence*. Plenum, New York
- Hatakeyama, Y., Ishii, K. Akamatsu, T., Soeda, H., Shimamura, T. & Kojima, T. 1994. A Review of Studies on Attempts to Reduce the Entanglement of the Dall's Porpoise, *Phocoenoides dalli*, in the Japanese Salmon Gillnet Fishery. *Rep.Int.Whal.Commn. (Special Issue 15)*: p. 549-563
- Hembree, D. & Harwood, M. B. 1987. Pelagic Gillnet Modification Trials in Northern Australian Seas. *Rep.Int.Whal.Commn.* **37** (SC/38/SM15): p. 369-373
- Hiby, L. & P. Lovell 1996. 1995 Baltic/North Sea aerial surveys - final report Conservation research Ltd. Final report (unveröf. ftl.) 11 pp.
- Huggenberger, S., H. Benke & C. C. Kinze 2002. Geographical variation in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) skulls: Support for a separate non-migratory population in the Baltic Proper. *Ophelia* 56(1): 1-12
- IWC 2000. Report of the sub-committee on small cetaceans, Annex I. *J. Cetacean Res. Manage.* 2 (Suppl.): 235-263
- IWC 2003. Report of the sub-committee on small cetaceans, Annex K. *J. Cetacean Res. Manage.* 5 (Suppl.): 362-381
- Jefferson, T. A. & B. E. Curry. 1994. Review and evaluation of potential acoustic methods of reducing or elimination marine mammal-fishery interactions. final report to the U. S. Marine Mammal Commission. 59 pp.
- Jefferson, T. A., B. Würsig & D. Fertl 1992. Cetacean detection and responses to fishing gear. In: Thomas, J. et al. (eds.) *Marine mammal sensory systems*. Plenum Press, New York. 663-684
- Jeppesen, S. 1975. *Sport Diver Manual*. Jeppesen Sanderson, Denver, USA
- Kaschner, K. 2003. Review of small cetacean bycatch in the ASCOBANS area and adjacent waters - current status and suggested future actions. ASCOBANS Document MOP4/Doc 21(S) 122 pp.
- Kastelein, R.A., Nieuwstraten, S.H., Verboom, W.C. 1995a. Echolocation signals of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in light and complete darkness. In: Harbour porpoises - laboratory studies to reduce bycatch (1995). Nachtigall PE, Lien J, Au WWL, Read AJ (Eds.) De Spil Pul. Woerden, NL
- Kastelein, R. A., A. D. Goodson, J. Lien & D. de Haan. 1995. The effects of acoustic alarms on harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) behaviour. In: Nachtigall, P. E., J. Lien, W. W. L. Au & A. Read (eds.) *Harbour porpoises - laboratory studies to reduce bycatch*. De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands. 157-167
- Kastelein, R. A., D. de Haan, A. D. Goodson, C. Staal & N. Vaughan. 1997a. The effects of various sounds on a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*). In: Read, A. J., Wiepkema, P. R. and Nachtigall, P. E. (eds.) *The biology of the harbour porpoise*. De Spil, Woerden, The Netherlands: 367-383

- Kastelein, R. A., D. de Haan, C. Staal & A. D. Goodson. 1997b. The response of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to nets of various mesh sizes, with and without deterring sound. In: Read, A. J., Wiepkema, P. R. and Nachtigall, P. E. (eds.). The biology of the harbour porpoise. De Spil, Woerden, The Netherlands: 385-409
- Kastelein, R. A., W. W. L. Au & D. de Haan. 2000. Detection distances of bottom-set gillnets by harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Marine Environmental Research 49: 359-375
- Kock K.-H. & H. Benke. 1996. On the by-catch of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in German fisheries in the Baltic and North Sea. Arch. Fish. Mar. Res. 44(1/2): 95-114
- Kock, K.-H. & H. Flores. 2003. Fang und Beifang der deutschen Stellnetzfisherei in der Nordsee. Projektbericht an das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg, Germany. 49 pp.
- Koschinski, S., Culik, B.M., Damsgaard Henriksen, O., 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. MEPS 265: 263 - 273
- Koschinski, S. & B. M. Culik. 1997. Detering harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from gillnets: Observed reactions to passive reflectors and pingers. *Rep Int Whal Comm.* 47: 659-668
- Koschinski, S. 2002. Current knowledge on harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the Baltic Sea. *Ophelia* 55(3): 167-197
- Kraus, S. J., A. J. Read, A. Solow, K. Baldwin, T. Spradlin, E. Anderson & J. Williamson 1997. Acoustic alarms reduce porpoise mortality. Nature 388: 525
- Larsen, F. & J. R. Hansen. 2001. On the potential effects of widespread use of pingers in the North Sea. *Int. Whal. Comm. SC/52/SM28.* 12 pp.
- Larsen, F., M. Vinther & C. Krog 2003b. Use of pingers in the Danish North Sea wreck net fishery. *Int. Whal. Comm. SC/54/SM32.* 8 pp.
- Larsen, F., O. Ritzau Eigaard & J. Tougaard. 2003a. Reduction of harbour porpoise by-catch in the North Sea by high-density gillnets. *Int. Whal. Comm. SC/54/SM30* 12 pp.
- Lien, J. & C. Hood. 1994. An investigation of acoustic devices to prevent harbour porpoise by-catch in groundfish gillnets, and recommendations from fishermen in the Bay of Fundy for future by-catch mitigation. report to the Dept. Fisheries and Aquaculture, Government of New Brunswick, Fredericton, N. B., Canada
- Lien, J., C. Hood, D. Pittman, P. Ruel, D. Borggaard, C. Chisholm, L. Wiesner, T. Mahon & D. Mitchell. 1995. Field tests of acoustic devices on groundfish gillnets: assessment of effectiveness in reducing harbour porpoise by-catch. In: Kastelein, R. A., J. Thomas & P. E. Nachtigall (eds.) Sensory systems of aquatic mammals. DeSpil Publishers, Woerden, The Netherlands. p. 349-364
- Lien, J., Stenson, G. B., Carver, S. & Chardine, J. 1994. How Many Did You Catch? The Effect of Methodology on Bycatch Reports Obtained from Fishermen. *Rep.Int. Whal. Commn.* (Special Issue 15): p. 535-540
- Lowry, N. & Teilmann, J. 1994. Bycatch and Bycatch Reduction of the Harbour Porpoise (*Phocoena phocoena*) in Danish Waters. *Rep.Int. Whal. Commn.* (Special Issue 15): p. 203-209
- Mann, D. A., Z. Lu & A. N. Popper. 1997. A clupeid fish can detect ultrasound. Nature 389: 341
- Mayo, R. H. & Goodson, A. D. 1992. Interaction between Wild Dolphins and a Moored Barrier; Initial Results from the 1991 Moray Firth Trial. *Proceedings of the Sixth Annual Conference of the European Cetacean Society*, San Remo 20-22 Feb. 1992: p. 184-189
- Mentjes, T. 2000. Fischereiliche Eignung von Dorsch-Stellnetzen mit Scheuchmaschinen für den Schutz von Kleinwalen. *Inf. Fischwirtsch. Fischereiforsch.* 47(1): 45-47
- Mooney, T. A. 2003. How do acoustically enhanced gillnets reduce bycatch: measures of target strengths and flexural stiffness, and predictions of biosonar detection ranges. M.Sc. Thesis University of Hawai'i at Manoa, Honolulu, Hawai'i. 61 pp.

- Murray, K.T., A.J. Read & A.R. Solow. 2000. The use of time/area closures to reduce bycatches of harbour porpoises: lessons from the Gulf of Maine sink gillnet fishery. *Journal of Cetacean Research & Management* 2: 135-141
- Northridge S (2003) A preliminary assessment of dolphin bycatch in trawl fisheries in the English Channel. Annual Meeting of the European Cetacean Society, Tenerife, Spain
- Peichl L, Behrmann G, Kröger RHH (2001) For whales and seals the ocean is not blue: a visual pigment loss in marine mammals. *European J Neuroscience* 13: 1520 - 1528
- Pence, E. A. 1986. Monofilament Gill Net Acoustic Study. Contract Nr. 40-ABNF-5-1988, National Marine Mammal Laboratory, Seattle WA: 13 pp.
- Perrin W.F., Donovan, G. P., Barlow, J. 1994. Report of the Int. Whaling Commission Special Issue 15 Cetaceans and Gillnets. G. P. Donovan (Ed.) IWC, Cambridge, 629 pp.
- Read, A. J. 1994 Interactions between cetaceans and gillnet and trap fisheries in the Northwest Atlantic. *Rep. Int. Whal. Comm. (Special Issue 15)*: 133-147
- Read, A.J. 1999 Harbour porpoise - *Phocoena phocoena* (Linnaeus, 1758). In: *Handbook of Marine Mammals* (Ridgway SH, Harrison SR Eds.) Vol. 6: The second book of dolphins and porpoises. pp. 323 - 356
- Reeves, R. R., R. J. Hofman, G. K. Silber & D. Wilkinson. 1996. Acoustic deterrence of harmful marine mammal-fishery interactions: Proceedings of a workshop held in Seattle, Washington, 20-22 March 1996. NOAA Technical memorandum NMFS-OPR-10. 70 pp.
- Richardson WJ, Green CR, Malme CI, Thomson DH 1995. *Marine mammals and Noise*, Academic Press, New York. 576 pp.
- Rosager, L., G. Desportes, M. Amundin, J. R. Hansen, I. Eskesen, F. Larsen, L. Buholzer & T. Jepsen. 2003. Interactive pinger tried on wild Danish harbour porpoises: preliminary results. Abstract presented to the 17th annual conference of the European Cetacean Society, March 2002, Gran Canaria.
- Rossmann, M. C. 2000. Effectiveness of time/area closures and acoustic deterrents as harbor porpoise bycatch reduction strategies off the Northeast coast of the United States. *Rep. Int. Whal. Comm. SC/52/SM23*. 9 pp.
- SaveWave 2004. Dolphin Savers price list. http://www.savewave.net/savewave/EN/default.htm?/savewave/EN/ML2_Order.htm
- Scheidat, M., K.-H. Kock & U. Siebert. 2003. Summer distribution of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the German North and Baltic Sea. working paper presented at the 2003 ASCOBANS meeting. 13 pp.
- Schulze G (1996) *Die Schweinswale*. Neue Brehm Bücherei 583, Westarp, Magdeburg
- SEAFISH 2003. Trial of acoustic deterrents (porpoise pingers) for prevention of porpoise (*Phocoena phocoena*) bycatch- Phase 1 development trial. *Seafish Report CR 201*. Hull, UK.
- SGFEN (2002a) Incidental catches of small cetaceans. Commission staff working paper, Commission of the European Communities, Subgroup on Fishery and Environment (SGFEN), Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF), Brussels, 10-14 December 2001, EC document SEC(2002) 376, 83 pp.
- SGFEN (2002b) Incidental catches of small cetaceans. Commission staff working paper, Report of the second meeting of the Commission of the Subgroup on Fishery and Environment (SGFEN) of the Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF), Brussels, 11-14 June 2002, EC document SEC(2002) 1134, 63 pp.
- Silber, G. K., K. A. Waples & P. A. Nelson. 1994. Response of free-ranging harbour porpoises to potential gillnet modifications. *Rep. Int. Whal. Comm. (Special Issue 15)*: 1-6
- Skóra, K. E. 1991. Notes on cetacea observed on the Polish Baltic Sea: 1979-1990. *Aquatic Mammals* 17(2): 67-70
- Skóra, K. E., I. Pawliczka & M. Klinowska. 1988. Observations of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) on the Polish Baltic coast. *Aquatic Mammals* 14(3): 113-119
- Teilmann, J. 2000. The behaviour and sensory abilities of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in relation to bycatch in gillnet fishery. PhD Thesis, Odense, Danmark

- Teilmann, J., L. A. Miller, T. Kirketerp, R. A. Kastelein, P. T. Madsen, B. K. Nielsen & W. W. L. Au. 2002. Characteristics of echolocation signals used by a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in a target detection experiment. *Aquatic Mammals* 28(3): 275-284
- Tiedemann, R., J. Harder, R. C. Gmeiner & E. Haase 1996. Mitochondrial DNA sequence patterns of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from the North and the Baltic Sea. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 61:104-111
- Todd, S. & Nelson, D. 1994. Annex F: A Review of Modifications to the Webbing and Setting Strategies of Passive Fishing Gear to Reduce Incidental Bycatch of Cetaceans. *Rep.Int. Whal. Commn.* (Special Issue 15): p. 67-69
- Tregenza N.J.C., Collet, A. 1998. Common dolphin *Delphinus delphis* bycatch in pelagic trawl and other fisheries in the Northeast Atlantic. *International Whaling Comm* 48:453-462
- Tregenza, N., Northridge, S. 2000. Development of an automatic porpoise detector. *International Whaling Comm* 51/ SM 44
- Trippel, E. A. & T. D. Shepherd. 2004. By-catch of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the Lower Bay of Fundy gillnet fishery, 1998 – 2001. *Can. Tech. Rep. Fish. Aqu. Sci.* (im Druck). 38 pp.
- Trippel, E. A., N. L. Holy, D. L. Palka, T. D. Shepherd, G. D. Melvin & J. M. Terhune. 2003. Nylon barium sulphate gillnet reduces porpoise and seabird mortality *Mar. Mamm. Sci.* **19(1)**: 240-243
- Trippel, E.A., and T.D. Shepherd. 2004. By-catch of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the lower Bay of Fundy gillnet fishery, 1998-2001. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2152: iv + 33 p.
- Verboom, W. C. & R. A. Kastelein. 1995. Acoustic signals by harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). In: Nachtigal, P. E., J. Lien, W. W. L. Au & A. J. Read (eds.) *Harbour porpoises - laboratory studies to reduce bycatch*. De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands. 1-39
- Verboom, W. C. & R. A. Kastelein. 1997. Structure of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) click train signals. In: Read, A. J., Wiepkema, P. R. and Nachtigall, P. E. (eds.). *The biology of the harbour porpoise*. DeSpil Publishers, Woerden, The Netherlands. 343-362
- Verfuss, U. K. , L. A. Miller & H.-U. Schnitzler. 2002. Comparing echolocation behaviour during orientation and foraging of the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*). Presentation on the 16th Annual Conference of the European Cetacean Society, April 7-11, 2002, Liège, Belgium.
- Vinther, M. 1999. Bycatches of harbour porpoises (*Phocoena phocoena* L.) in Danish set-net fisheries. *J. Cetacean Res. Manage*1(2): 123-135
- WWF 2003. Whales, whaling & the International Whaling Commission. WWF Position Statement. May 2003
<http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/wwfiwcposition2003.pdf>

Das Forschungsprojekt wurde finanziell unterstützt von:

**Atlantic Gillnet Supply, Gloucester, Maine,
USA**



**BINGO!
Die Umwelt Lotterie**

**Department of Fisheries & Oceans, Pacific
Biological Station, Nanaimo, B. C., Kanada**

**Department of Fisheries & Oceans,
St. Andrews, New Brunswick, Kanada**

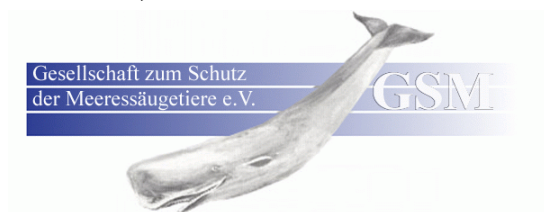


Deutsche Umwelthilfe e. V., Radolfzell



**Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall
und Geophysik, Kiel**

**Gesellschaft zum Schutz der Meeressäug-
tiere e. V., Quickborn**



**Gesellschaft zur Rettung der
Delphine e. V., München**



**Internationales Büro
des BMBF, Bonn**

**Louise, Gisela and Steve Lovekin,
Seattle, Washington, USA**

**PROKON Nord Energiesysteme GmbH,
Leer**

Trimble Canada, Toronto, Kanada



**WWF Deutschland
Frankfurt**



**Wehrtechnische
Dienststelle der
Bundeswehr
WTD 71, Plön**



Der WWF Deutschland ist Teil des World Wide Fund For Nature (WWF), einer der größten unabhängigen Naturschutzorganisationen der Welt. Das globale Netzwerk des WWF ist in über 90 Ländern aktiv. Weltweit unterstützen uns fast fünf Millionen Förderer.

Der WWF will der weltweiten Naturzerstörung Einhalt gebieten und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie leben. Deshalb müssen wir gemeinsam

- die biologische Vielfalt der Erde bewahren,
- erneuerbare Ressourcen naturverträglich nutzen und
- die Umweltverschmutzung verringern und verschwenderischen Konsum eindämmen.

WWF Deutschland

Rebstöcker Straße 55
60326 Frankfurt am Main

Tel.: 069 / 7 91 44 - 0
Fax: 069 / 61 72 21
E-Mail: info@wwf.de

WWF Fachbereich Meere und Küsten

Am Gütpohl 11
28757 Bremen

Tel.: 0421 / 6 58 46 10
Fax: 0421 / 6 58 46 12
E-Mail: bremen@wwf.de

