

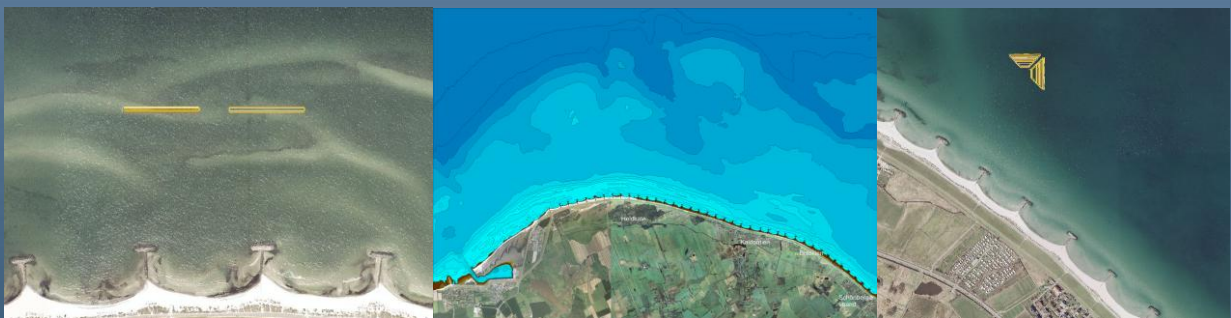
# REPORT

## ZUKUNFTSMANAGEMENT STRAND

Ko-Nutzung von Küstenschutz, Tauchpfaden und Habitatverbesserung durch Baumaßnahmen im Vorstrandbereich

Dr. Kai Ahrendt

RADOST-Berichtsreihe  
Bericht Nr: 6  
ISSN: 2192-3140



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Kooperationspartner

	<p>Büro für Umwelt und Küste, Kiel <b>BfUK</b></p>	 <p>Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin <b>IGB</b></p>
	<p>Geographisches Institut der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel <b>CAU</b></p>	 <p>Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde <b>IOW</b></p>
	<p>Coastal Research &amp; Management, Kiel <b>CRM</b></p>	 <p>Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin <b>IÖW</b></p>
	<p>Ecologic Institut, Berlin (Koordination) <b>Ecologic</b></p>	 <p>Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Husum <b>LKN</b></p>
	<p>EUCC – Die Küsten Union Deutschland, Warnemünde <b>EUCC-D</b></p>	 <p>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein <b>LLUR</b></p>
	<p>GICON – Großmann Ingenieur Consult GmbH – Niederlassung Rostock <b>GICON</b></p>	 <p>Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg <b>StALU MM</b></p>
	<p>H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH, Rostock <b>HSW</b></p>	 <p>Universität Rostock, Fachgebiet Küstenwasserbau <b>URCE</b></p>
	<p>Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung <b>HZG</b></p>	 <p>Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsanstalt für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig <b>vTI</b></p>
	<p>Institut für Angewandte Ökosystemforschung, Neu Broderstorf <b>IfAÖ</b></p>	

# REPORT

## ZUKUNFTSMANAGEMENT STRAND

Ko-Nutzung von Küstenschutz, Tauchpfaden und  
Habitatverbesserung durch Baumaßnahmen im  
Vorstrandbereich

Dr. Kai Ahrendt  
Büro für Umwelt und Küste

RADOST-Berichtsreihe  
Bericht Nr. 6

ISSN: 2192-3140

Kiel, Januar 2012



---

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH  
Pfalzburger Str. 43/44  
10717 Berlin  
[www.ecologic.eu](http://www.ecologic.eu)

### **Inhalt erstellt durch:**

Dr. Kai Ahrendt  
Büro für Umwelt und Küste  
Steinstraße 25  
24118 Kiel  
[ahrendt@iczm.de](mailto:ahrendt@iczm.de)

### **Web**

<http://www.klimzug-radost.de>

### **Bildrechte**

Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH  
© Kai Ahrendt

**ISSN** 2192-3140

Das Projekt "Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste" (RADOST) wird im Rahmen der Maßnahme „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ (KLIMZUG) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert

---

Im Rahmen von:

MODELLPROJEKTE FÜR EINE VITALE  
UND ZUKUNFTSSTARKE KÜSTENZONE



Teilprojekt : KlimaBündnis Kieler Bucht: ZuM Strand

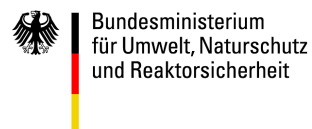


Ausgelobt durch:

Innenministerium  
des Landes  
Schleswig-Holstein



Gefördert durch:



Eingebunden in: Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (RADOST)



# Inhalt:

## Zusammenfassung

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Das Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>2</b>
2.1 Abiotik.....	3
2.1.1 Wasserkörper .....	3
2.1.2 Wind und Welle.....	4
2.1.3 Geologie .....	5
2.1.4 Sediment .....	6
2.2 Bewuchsstrukturen .....	6
2.2.1 Beschreibung der vorkommenden Pflanzenarten.....	7
2.3 Benthos .....	8
<b>3 Maßnahmen für das Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>8</b>
3.1 Riffe als Küstenschutz .....	8
3.2 Riffe als Habitatverbesserung.....	11
3.3 Riffe als touristische Attraktion.....	13
3.3.1 Angeln .....	13
3.3.2 Surfen.....	14
3.3.3 Tauchen.....	14
3.3.4 Nutzen des Strandes .....	19
3.4 Baumaterial .....	19
3.4.1 Geotextil .....	19
3.4.2 Reef Balls .....	19
3.4.3 Kombination aus Geotextil und Reef Balls .....	20
<b>4 Design und Lage der Wellenbrecher im Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>21</b>
4.1 Kriterien für das Design .....	21
4.2 Position der Wellenbrecher.....	22

---

<b>5 Fünf Alternativen von Wellenbrechern für das Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>28</b>
5.1 Alternative aus Geotextil .....	28
5.2 Alternativen aus Reef Balls .....	29
5.3 Alternativen aus Reef Balls und Geotextilien .....	30
<b>6 Numerische Modelle.....</b>	<b>31</b>
6.1 Datenvoraussetzungen und Herkunft für die numerische Modellierung.....	31
<b>7 Effizienz der Wellenbrecher in Bezug auf die Abschwächung der Wellen .....</b>	<b>35</b>
7.1 Ergebnisse des Transmissions-Koeffizienten.....	35
7.2 Ergebnisse des Sedimenttransportes .....	36
<b>8 Diskussion/Empfehlung.....</b>	<b>45</b>
<b>9 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>46</b>

---



---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Funktionen von künstlichen Riffen .....	10
Tabelle 2: Übersicht der Tauchreviere in der Kieler Bucht .....	18
Tabelle 3: Typen von Küstenformationen für das Verhältnis $L_s / X$ .....	22
Tabelle 4: Beschreibung Alternative 1 .....	29
Tabelle 5: Beschreibung Alternativen 2-4 .....	30
Tabelle 6: Beschreibung Alternative 5 .....	31

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet .....	2
Abbildung 2: Veränderungen des Salzgehaltes der westlichen Ostsee im Jahresverlauf (Klimatisches Monatsmittel 1900-1996) .....	3
Abbildung 3: Verteilung [%] von 57.000 Windmessdaten (1937-1967) am Feuerschiff Kiel differenziert nach Windrichtung und –stärke .....	4
Abbildung 4: Sedimentverteilung auf dem Meeresboden der Kieler Bucht .....	6
Abbildung 5: Schema zur Bildung von Salient und Tombolo .....	9
Abbildung 6: Künstliche Surf-Riffe in Kovalam, Kerala, Indien (links) und Gold Coast, Australien (rechts) .....	10
Abbildung 7: Anzahl der Taxa im Riff- und Referenzgebiet 2006 .....	13
Abbildung 8: Bedarf an sanitären Anlagen .....	15
Abbildung 9: Interesse von Tauchern und nicht tauchenden Begleitpersonen an zusätzlichen Erholungsmöglichkeiten .....	16
Abbildung 10: Übersicht der bereits vorhandenen Tauchreviere und Tauchbasen/-shops ...	17
Abbildung 11: Geotextile Container und Tubes .....	19
Abbildung 12: Reef Balls .....	20
Abbildung 13: Position der untersuchten Profile im Untersuchungsgebiet .....	23
Abbildung 14: Bathymetrie in Profil 1 .....	24
Abbildung 15: Bathymetrie in Profil 2 .....	24
Abbildung 16: Bathymetrie in Profil 3 .....	25
Abbildung 17: Bathymetrie in Profil 4 .....	26
Abbildung 18: Bathymetrie in Profil 5 .....	26

---

Abbildung 19: Bathymetrie in Profil 6 .....	27
Abbildung 20: Positionen der Alternativen der künstlichen Riffe im Untersuchungsgebiet ...	28
Abbildung 21: Bathymetrie des Untersuchungsgebietes und Position der Wellenbrecher ...	33
Abbildung 22: Pegelstände am Leuchtturm Kiel während des Sturms Daisy .....	33
Abbildung 23: Windgeschwindigkeit und Windrichtung am Leuchtturm Kiel .....	34
Abbildung 24: Wellenhöhe und Wellenperiode am Leuchtturm Kiel .....	34
Abbildung 25: Ergebnisse der Wellensimulation mit MIKE 21 Boussinesq für die Alternativen 1-4 .....	35
Abbildung 26: Profil 1 .....	37
Abbildung 27: Profil 2 .....	38
Abbildung 28: Übersicht Alternative 2 .....	38
Abbildung 29: Profil 2 mit Alternative 2 .....	39
Abbildung 30: Übersicht Alternative 3 .....	39
Abbildung 31: Profil 2 mit Alternative 3 .....	40
Abbildung 32: Profil 3 .....	40
Abbildung 33: Profil 4 .....	41
Abbildung 34: Strömungsvektoren Alternative 5 .....	42
Abbildung 35: Profil 4 mit Alternative 5 .....	42
Abbildung 36: Profil 5 .....	43
Abbildung 37: Profil 6 .....	43
Abbildung 38: Übersicht Alternative 1 .....	44
Abbildung 39: Übersicht der Profile 1 und 4 .....	44
Abbildung 40: Alternative 1 und 4 .....	45

---

## Zusammenfassung

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, Ko-Nutzungskonzepte für Küstenschutz, Tauchreviere und Habitatverbesserung zu entwickeln. Anhand von morphodynamischen Betrachtungen des küstennahen Vorstrandbereiches der Probstei wurden fünf Alternativen für Einbauten in diesen Bereich bestimmt. Hierbei handelt es sich um Alternativen aus Geotextilien, Reef Balls und Kombinationen aus beiden. Vier Alternativen dienen in erster Linie dem Küstenschutz und eine der Habitatverbesserung. Anhand von numerischen Modellen wurden der Sedimenttransport und die sich aus dem Einbau ergebenden Veränderungen ermittelt. Es zeigt sich, dass nicht in allen Bereichen die gleiche Wirkung vorhanden ist und Ko-Nutzungen nur bedingt möglich sind. Die günstigste Position für einen derartigen Einbau liegt vor der Küste von Kalifornien/Schleswig-Holstein.

---



## 1 Einleitung

Der Klimawandel stellt die Küstengemeinden in der Kieler Bucht (aber auch entlang der gesamten deutschen Ostseeküste) vor eine Reihe von Herausforderungen, eröffnet aber auch Potenziale.

Einerseits werden wegen des erwarteten Temperaturanstiegs und einer längeren Badesaison die Strände durch Tourismus und Naherholung intensiver genutzt und beansprucht. Gleichzeitig werden häufigere Stürme zu stärkerer Stranderosion und damit einem Verlust von Strandflächen und Sandvolumen führen. Hinzu kommt ein stärkerer Anwurf von Treibsel, mit den entsprechenden Folgen wie Geruchsbelästigung für Strandnutzer und Kosten für die Sammlung und Entsorgung der angeschwemmten Materialien.

Die Gemeinden im KlimaBündnis Kieler Bucht ([www.klimabuendnis-kieler-bucht.de](http://www.klimabuendnis-kieler-bucht.de)) sind sich einig, dass auf diese Herausforderungen reagiert werden muss.

Ziel dieses Teilprojektes ist es, Alternativen für den Küsten- und Strandschutz zu erarbeiten. Sie sollen an den Klimawandel angepasst sein und zugleich die Region für Touristen noch attraktiver machen. So können die Potenziale der Küsten und Strände bestmöglich ausgenutzt werden. Die Region kann sich dann als klimafreundliche Region touristisch vermarkten.

Einerseits können Sandvorspülungen z. B. Strände stabilisieren und sie so weiterhin für touristische Aktivitäten nutzbar machen. Andererseits sind zusätzliche Maßnahmen wie unter Wasser liegende Wellenbrecher in der Lage, den Küstenschutz zu unterstützen. Dies ist nicht nur ein hilfreiche Mittel um Strände zu stabilisieren, sondern auch marine Habitate zu formen, Fischgründe zu etablieren oder sogar Surf-Wellen und Tauchreviere zu erschaffen, die sich positiv auf den Tourismus auswirken können. Bei der Co-Nutzung solcher Riffe stellt sich die Frage, welche künstlichen Riffotypen (Surf-Riffe, küstenparallele Wellenbrecher oder Wellenbrecher aus Reef Balls) sich am besten für die untersuchten Gebiete eignen und außerdem folgende Bedingungen erfüllen:

1. Küstenschutz
  - Sedimentation auf der Lee-Seite des Riffes/Strandstabilisierung
  - Dämpfung der Wellenenergie
  - Dabei keine optische Beeinträchtigung der Strände
  - Keine Einschränkung bisheriger touristischer Nutzung
2. Habitatverbesserung
  - Bildet neues Habitat für Flora und Fauna
  - Erhöhung der Biodiversität
3. Freizeitnutzung
  - für Angeln, Tauchen, evtl. Surfen
  - Indirekte Vorteile: bessere Strandnutzung durch breitere Strände

Da in Zukunft der Klimawandel nicht nur direkte Auswirkungen auf die Stranddynamik haben wird, sondern auch den Tourismus an der deutschen Ostsee beeinflusst, kann mit der Errichtung künstlicher Riffe eine Möglichkeit geschaffen werden, beide Aspekte zu bedienen. Nicht nur als Küstenschutzmaßnahme, sondern auch als ein neues touristisches Angebot, welches auch außerhalb der klassischen Badesaison Touristen in die Region holt. Somit lässt das Projekt die Bereiche Küstenschutz, Tourismus und Strandmanagement weiter zusammenrücken und schafft durch die gezielte Kommunikation zwischen Gemeinden, Unternehmern und Verbänden eine Umsetzungsmaßnahme für die Zukunft, einen praxisorientierten Beitrag zum IKZM und ein nachhaltiges Konzept zur Entwicklung der Küstenzone in Schleswig-Holstein.

## 2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich an der Probsteiküste in Schleswig-Holstein, ca. 20km nordöstlich von Kiel (s. Abb. 1). Zur Probsteiküste gehören Stein, Wendtorf, Heidkate, Kalifornien, Brasilien, Schönberger und Stakendorfer Strand. Heidkate und Brasilien wurden auf Grund ihrer starken touristischen Nutzung als Hauptuntersuchungsgebiete der Region ausgewählt. Die Strände sind durch ein Sedimentdefizit gekennzeichnet. Der erwartete Meeresspiegelanstieg, verursacht durch den Klimawandel, wird diesen Trend noch verstärken. Um hier nutzbare Strände zu erhalten sind in zunehmendem Maße Küstenschutzmaßnahmen notwendig. Künstliche Riffe, die zusätzlich Hartsubstratflächen für eine entsprechende Besiedlung von marinen Arten darstellen, können nicht nur eine Küstenschutzfunktion erfüllen, sondern auch einen wichtigen Beitrag für den Tourismussektor leisten. Wirtschaftliche Vorteile werden für die Region als Ergebnis eines breiten Strandes und besseren Surf-, Angel- und Tauchbedingungen erwartet.



Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet (Quelle: Eigene Darstellung nach Google Earth)

Bereits 1962 wurde begonnen, ein Deichsystem zu erbauen. Nach dem Bau des Deiches wurde am Strand von Brasilien verstärkt Erosion festgestellt, was weitere Maßnahmen zur Festigung des Strandes erforderte. Um die Strände zu sichern und zu verbreitern wurden zusätzlich 48 Buhnen zwischen Heidkate und Stakendorfer Strand errichtet und 1987, 1989 und 1990 Strandaufspülungen (Heidkate, Kalifornien/Brasilien) durchgeführt.

## 2.1. Abiotik

### 2.1.1 Wasserkörper

Die westliche Ostsee ist die Übergangszone zwischen Nord- und Ostsee. Hier strömt das salzige Wasser der Nordsee (35‰) durch das Kattegat in die deutlich salzärmere Ostsee. Die Darßer Schwelle verhindert dabei einen ungehemmten Wasseraustausch weiter nach Osten. Nur unter bestimmten Bedingungen und Wetterlagen ist ein Salzwassereinbruch in den zentralen Teil der Ostsee möglich. Dieser ist vor allem für die Durchlüftung der tieferen Becken wichtig. Auf Grund der Dichte strömt das Salzwasser bodennah ein, während das Brackwasser aus der Ostsee im Oberflächenwasser zurück in die Nordsee strömt.

Der Salzgehalt der Ostsee nimmt von Westen nach Osten ab. Im Winter, wenn die Frequenz der Stürme aus Westen höher ist, dringt das salzhaltige Wasser weiter in die Ostsee vor. In der Kieler Bucht schwanken die Salzwerte über das Jahr von 16-18 psu im Winter und bis zu 12 psu im Sommer (s. Abbildung 2).

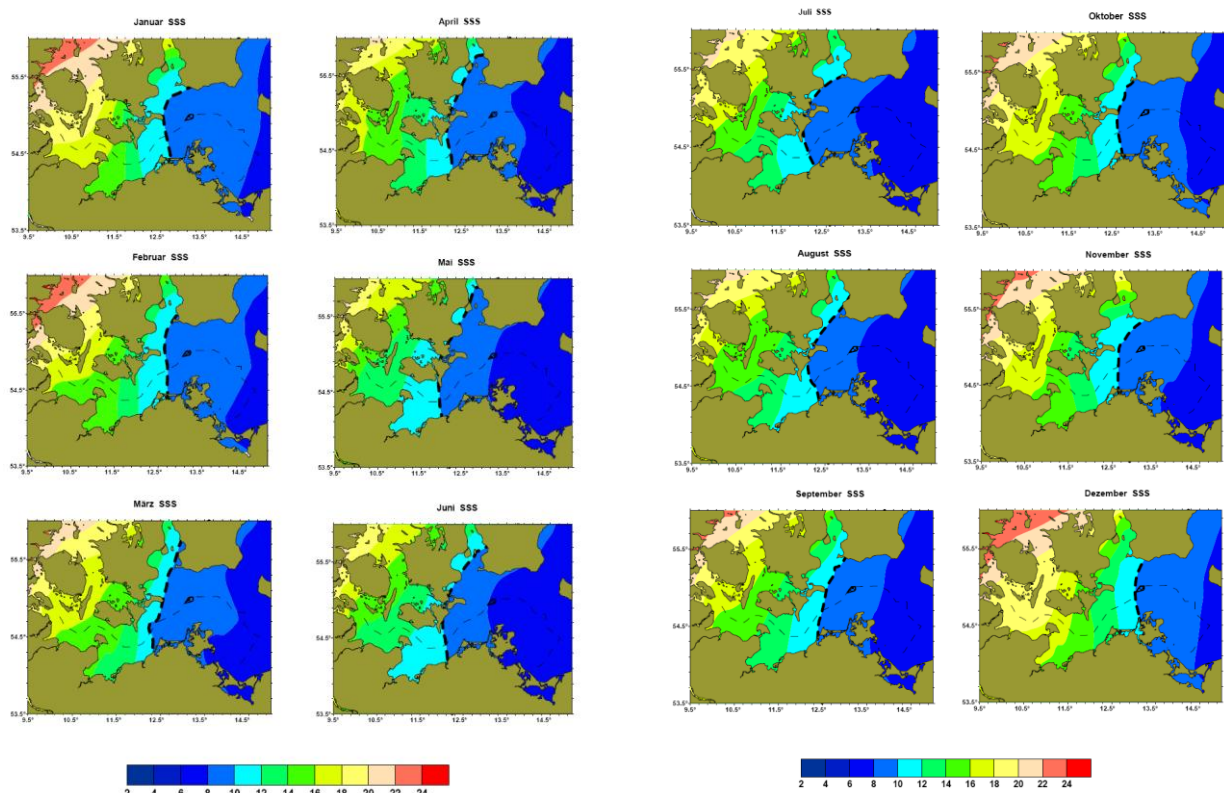


Abbildung 23: Klimatologische Monatsmittel des Oberflächenalzgehalts (1900-1996) nach JANSSEN et al. (1999) für die Monate Januar bis Juni

Abbildung 24: Klimatologische Monatsmittel des Oberflächenalzgehalts (1900-1996) nach Janssen et al. (1999) für die Monate Juli bis Dezember

**Abbildung 2: Veränderungen des Salzgehaltes der westlichen Ostsee im Jahresverlauf (Klimatisches Monatsmittel 1900-1996)** (Quelle: BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE, 2009)



## 2.1.2 Wind und Welle

Da die Ostsee kaum Tide besitzt, werden Wasserstandschwankungen und Hochwasser primär durch Wind verursacht ebenso wie Wellenhöhe und -richtung. Dabei ist die Höhe der Wellen abhängig von Windgeschwindigkeit, Winddauer und Fetch.

Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten in der Regel im Dezember auf und fallen dann kontinuierlich zum Sommer hin ab, um dann zum Jahresende wieder anzusteigen. Im Jahresmittel liegt die Windgeschwindigkeit im Arkonabecken bei 16,2 kn. Dieser Trend der Windgeschwindigkeiten ist auf die Wellenhöhe des Seegangs übertragbar. Im Winter sind die Wellen dort im Mittel fast doppelt so hoch (1,4 m) wie im Mai. Ab Juni nimmt die Wellenhöhe wieder zu (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2009). Das Untersuchungsgebiet ist für Wellen aus Ost-Nordost exponiert. Der Fetch reicht von 8 km (West-Nordwest) bis 55 km (Ost-Nordost).

Abbildung 3 gibt Auskunft über die Windverhältnisse über einen Zeitraum von 30 Jahren, gemessen am Feuerschiff Kiel. Sie zeigt die dominierende Windrichtung und die Verteilung dieser bei unterschiedlichen Windstärken. So lassen sich auch Rückschlüsse auf das Untersuchungsgebiet ziehen. So sind vor allem West- (West-Südwest) und Ostwinde dominierend.

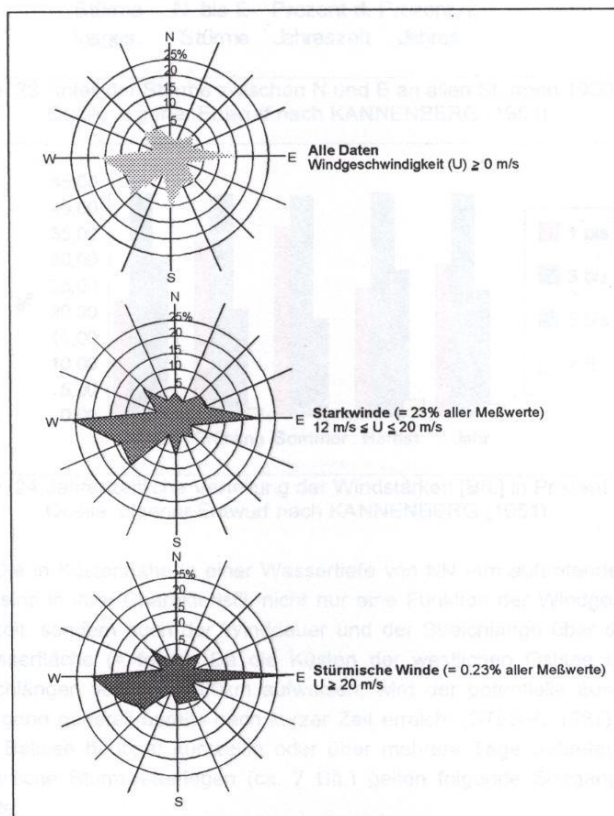


Abb. 22: Verteilung [%] von 57000 Windmeßdaten (1937-1967) am Feuerschiff Kiel differenziert nach Windrichtung und -stärke  
Quelle: leicht verändert nach DETTE & STEPHAN (1979)

**Abbildung 3: Verteilung [%] von 57.000 Windmessdaten (1937-1967) am Feuerschiff Kiel differenziert nach Windrichtung und -stärke** (Quelle: leicht verändert nach Dette & Stephan 1979)



### 2.1.3 Geologie

Die Morphologie und Geologie im Ostseeraum ist stark an den postglazialen Meeresspiegelanstieg gebunden. Mit dem Abschmelzen der Eismassen nach der Weichseleiszeit gab es 8.500 B.P. den ersten marinen Einfluss in der südlichen Ostsee. So konnte bei einer Tiefe von –25 m N.N. ein Transgressionskontakt nachgewiesen werden, also ein Übergang von eiszeitlicher Sedimentation zu marinen Ablagerungen. Diese Rinnen dienten als Entwässerungssysteme für das abschmelzende Gletscherwasser (Schwarzer 1989).

Die Kieler Förde zeigt für ein Gletscherzungenbecken mit subglazialen Schmelzwasserrinnen typisches Relief aus Mulden, Rinnen und Querriegeln. Die weichseleiszeitliche Hauptrinne ist bis 80 m unter N.N. steil eingeschnitten. Sie weist eine Füllung aus Beckenschluffen, Schmelzwassersanden, fluviatile Sanden (bis 15 m Mächtigkeit) der Weichsel-Spätglazialzeit, limnische Sedimenten und Torfe des älteren Holozäns und marinen Ostseeschlick auf.

Es lässt sich eine Dreigliederung der weichseleiszeitlichen Schichtenfolge feststellen, die aus unterem Geschiebemergel, Schmelzwassersande und darauf auflagernd aus oberem Geschiebemergel besteht.

Die Probsteiküste stellt aus geologischer Sicht eine Übergangszone von der schleswig-holsteinischen Fördenküste zu der ostholsteinisch-westmecklenburgischen Großbuchtenküste dar. Sie ist gegliedert in fünf geologisch-morphologische Einheiten:

1. Eine wenig reliefierte Grundmoränenplatte des Mecklenburger Stadiums mit guten Kliffaufschlüssen bei Stein
2. Krokauer Endmoräne
3. Salzwiesen mit Barsbeker See und Barsbeker Moor
4. Strandwall-Landschaft der Kolberger Heide mit dem Bottsand
5. Sandriffe im Vorstrandbereich

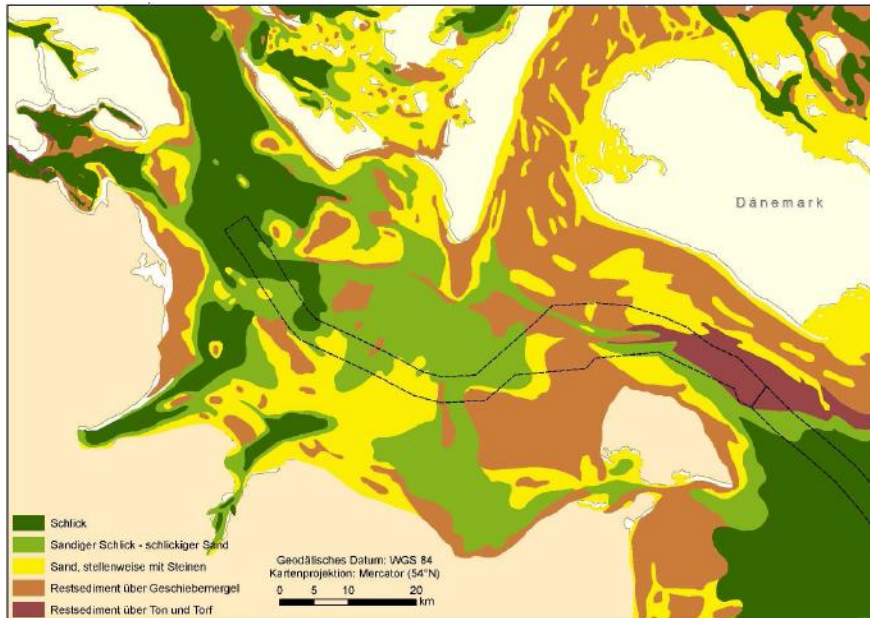
Dabei wird der Untergrund dieser Einheiten von einer nach Norden flach abfallenden, weichseleiszeitlichen Grundmoränenplatte mit Erosionsrinnen (9-25 m tief, als Leitbahnen beim holozänen Meeresspiegelanstieg) gebildet.

Der Vorstrandbereich der Probstei ist durch ein stark ausgeprägtes Sandriffsystem geprägt, welches eine Haupttransportrichtung von Osten nach Westen aufweist. So entstanden mehrere, ursprünglich voneinander getrennte Riffsysteme mit eigenen Liefergebieten. Der Vorstrandbereich von Brasilien/Kalifornien stellt eine Besonderheit dar, da von dieser Stelle ab das Riffsystem von einer nach Westen wandernden Erosionsfront aufgelöst wird (Geyer, Leinfelder 1995).

Im Osten stehen die Strandwälle fast senkrecht zur Küste, wogegen im Verlauf nach Westen diese immer länger werden und in kleinerem Winkel zur Küstenlinie stehen. Westlich von Heidkate gibt es einen Bruch im Strandwallsystem, da diese hier nur eine Höhe von 1,6 m aufweisen (im Gegensatz zu einer Höhe von 2,20 m), kürzere Strukturen bilden und im stumpfen Winkel zur Küste stehen. Als Grund hierfür wird eine Regressionsphase um 1.200 n. Chr. genannt (Schwarzer 1989).

## 2.1.4 Sediment

Die Sedimentstruktur in der Kieler Bucht besteht aus sandigem Schlick und Schlick (s. Abbildung 4). Im Bereich vor der Probstei allerdings, wo sich auch das Untersuchungsgebiet befindet, kommen auf Grund der geringen Wassertiefe kaum noch Schlicke vor. Hier wird das Sediment durch holozäne Sande und Bändertone bestimmt. Teilweise kann Geschiebemergel auftreten (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2009).



**Abbildung 4: Sedimentverteilung auf dem Meeresboden der Kieler Bucht** (Quelle: Hermansen und Jensen, 2000)

Das durchschnittliche Gefälle im küstennahen Bereich in Probstei beträgt 1:200, wobei das Gefälle vor Brasilien ein wenig steiler ist. Die Hauptrichtung des Sedimenttransport ist hier von Ost nach West (verursacht durch Wellen und Strömungen, keine Tide), was bereits an mehreren Stellen zur Hakenbildung führt (z. B. Bottsand ein 1,3 km langer Strandhaken vor Laboe, der 1880 anfang sich zu entwickeln (Geyer, Leinfelder 1995)).

Vor Heidkate befindet sich ein starkes Sandriff-System mit bis zu 10 Sandbänken, die bis 700 m seewärts reichen. Vor Brasilien befinden sich dagegen keine lagestabilen Sandbänke. Daraus lässt sich folgern, dass hier intensivere, dynamische Prozesse (und somit eine Drift des Sedimentes nach Westen) vorherrschen.

Insgesamt lässt sich eine saisonale Verschiebung des Sedimenttransportes feststellen. Im Winter ist dieser deutlich stärker als im Sommer. Auch gibt es Unterschiede im Sedimenttransport in Bezug auf die Sandbänke selbst.

## 2.2 Bewuchsstrukturen

Auf Grund der Struktur des Meeresbodens der Kieler Bucht findet man hier, auch in größeren Tiefen, vor allem Seegraswiesen, aber auch Pflanzen, die auf grobsandigem Böden, Geröll oder Algen haften. Dazu gehören in der Kieler Förde: *Desmarestia aculeata* (Stacheltang, in ca. 6 m Wassertiefe), *Furcellaria* (Gabeltang-„Wiesen“ mit Haftscheibe auf Steinen bis 10 m Wassertiefe), *Polysiphonia* (Röhrentang, bis 20 m Wassertiefe auf Steinen,

Schalen und Algen), *Ceramium* (Horntang, auf Felsen und Algen im unteren Eu- und oberen Sublitoral), *Phycodrys* (Eichtang, bis 30 m Wassertiefe), *Delesseria* (Seeampfer, auf Hartsubstrat in lichtärmeren Zonen bis 30 m Wassertiefe) und *Phyllophora* (Dünnes Rotblatt, bis 25 m Wassertiefe auf größeren Geröllblöcken) (Schwenke 1969).

## 2.2.1 Beschreibung der vorkommenden Pflanzenarten

Eine genaue Kartierung des Untersuchungsgebietes liegt nur für *Fucus*- und *Zostera*arten vor (Fürhaupter et al. 2008). Daher wird sich hier auf die genaue Beschreibung dieser Arten im Untersuchungsgebiet beschränkt.

Vor Heidkate sind vor allem Seegrasflächen (*Zostera marina*) in 1,0-1,5 m Tiefe und Seegras-/Algen-Mischflächen (*Z. marina*/fädige Algen) in 2,25-3,25 m Tiefe anzutreffen. An den Bühnen treten hauptsächlich Algen-Mischflächen an der exponierten Seite mit *Fucus*-Mischflächen (*F. vesiculosus*, *F. evanescens*) auf. Die Innenseiten der Bühnen sind weitestgehend unbewachsen.

Vor Brasilien und Kalifornien findet man ähnliche Gegebenheiten. Der Bühnenbewuchs ist identisch zu dem in Heidkate. Zusätzlich trifft man auf Sandflächen ohne Bewuchs bis 2,75 m Tiefe. Ab dieser Tiefe treten häufig *Z. marina* und fädige Algen auf.

*Zostera marina*: Gemeines Seegras

Das Gemeine Seegras ist nicht an exponierten Standorten zu finden. Bevorzugt wächst es auf Sandgründen und Mischsedimenten und bildet dort dichte Bestände aus. Die obere Verbreitungsgrenze liegt bei ca. 2 m Wassertiefe, wobei bei extrem geschützten Standorten die obere Verbreitungsgrenze auch bei 1m liegen kann. Die untere Verbreitungsgrenze ist vor allem durch das Lichtangebot begrenzt und liegt bei ca. 10 m Wassertiefe. Das Gemeine Seegras ist in Regionen bis zu einer Salinität von 3‰ zu finden. Die wurzelähnlichen Strukturen, mit der sich die Pflanze im Meeresboden verankert, stabilisieren das Sediment und reduzieren so Sedimenttransport, fördern die Sedimentation. In Seegrasfeldern lässt sich eine geringe Pflanzendiversität feststellen, da die Oberfläche der Pflanze eine Anhaftung durch andere Pflanzen nicht zulässt. Dagegen finden sich viele Wirbellose und Kleinfische in den Seegrasfeldern, die den dichten Bewuchs als geschützten Lebensraum nutzen.

*Fucus vesiculosus*: Blasentang

Der Blasentang stellt die häufigste *Fucus*-Art dar. Er haftet sich mit Haftscheiben an Hartsubstrat, sowohl an künstliche (Bühnen, Molen...) als auch natürliche Geröllfelder. Dabei kommt er bis zu einer Tiefe von 3,25 m vor, abhängig vom Vorkommen des Haftsubstrates. *F. vesiculosus* war im Untersuchungsgebiet nur bis 1,75 m Wassertiefe zu finden, da unter dieser Grenze sich kein Haftsubstrat mehr finden lässt. Die dickwandigen Thalli bieten ein sekundäres Siedlungssubstrat für kleinwüchsige Algen und schaffen so Lebensraum für Wirbellose und kleine Fische, die dies vor allem als Nahrungsgrund und für die Fortpflanzung nutzen.

*Fucus evanescens*: Klauentang

Der Klauentang wurde erstmals 1990 in Schleswig-Holstein nachgewiesen, gehört somit nicht zum angestammten Pflanzenspektrum in der Ostsee. *F. evanescens* haftet fast ausschließlich auf künstlichem Substrat, wie Molen, Wellenbrecher und Steinaufschüttungen. Dabei wird eine exponierte Lage bevorzugt. Selten werden auch Miesmuschelschalen und in der Kieler Bucht natürliches Geröll als Haftungssubstrat verwendet. Die untere und obere

Wachstumsgrenzen liegen zwischen denen von *F. vesiculosus* und *F. serratus* (diese Art besitzt eine theoretische untere Verbreitungsgrenze von 15 m Tiefe, wurde aber nur im in der westlichen Ostsee bis 3,25 m nachgewiesen). Die untere Verbreitungsgrenze ist dazu stark lichtbedingt. Daher konnte der Klautentang nicht unter 1,25 m Wassertiefe nachgewiesen werden (Fürhaupter et al. 2008).

### 2.3 Benthos

Unter Benthos versteht man im Allgemeinen „die an Substratoberflächen gebundenen oder in Weichsubstraten lebenden Lebensgemeinschaften am Boden von Gewässern“ (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2009). Dabei werden das Vorkommen und die Verbreitung von Arten hauptsächlich durch den Salzgehalt im Wasser bestimmt (daher nimmt die Artenvielfalt in der Ostsee mit dem Salzgehalt zum Osten hin immer weiter ab), aber auch die Wassertiefe und hydrologischen Bedingungen spielen eine Rolle. Zur Makrofauna zählen Ringelwürmer, Muscheln, Schnecken, Stachelhäuter und Krebstiere. Diese stellen die Hauptnahrungsquelle für am Boden lebende Fische dar. Ein vielfältiges Makrozoobenthos ist somit die Grundlage für eine große marine Biodiversität in einem Gebiet und ein wichtiger Indikator für veränderte Umweltverhältnisse.

Die Artenvielfalt der wirbellosen Tiere setzt sich in der Ostsee auf Grund der hydrologischen Gegebenheiten aus marinen Einwanderern, Brackwasserarten und Eiszeitrelikten zusammen. In der Kieler Bucht dominieren vor allem marine Arten, Endofauna- und Phytalgemeinschaften. 1980 wurden in der Kieler Bucht 150 Makrozoobenthosarten registriert. Die größte Artenvielfalt kommt demnach in einer Wassertiefe von 10 m bis 20 m vor. An Hartböden geheftete Großalgen (Rot- und Braunalgen) bieten dabei ein vielfältiges Habitat.

So sind in Flachwassern der Kieler Förde *Macoma balthica* (Plattmuschel)-Gemeinschaften die dominierende Fauna-Gemeinschaft, wogegen in Tiefseegemeinschaften *Abra alba* (Weiße Pfeffermuschel) und *Arctica islandica* (Islandmuschel) dominieren. Die häufigste Artengemeinschaft stellen jedoch *Mytilus edulis* (Miesmuschel) und *B. improvisus* (Seepocken) mit ihrer typische Begleitfauna dar. Dazu gehören vor allem Flohkrebse (*Gammarus spp.*, *Microdeutopus gryllotalpa*), Meerassel ( *Jaera albifrons*, *Saduria entomon*) und sessile Koloniebildner (Moostierchen und Nesseltiere). Des Weiteren sind *Astarte orealis* (Nördliche Astarte), *Diastylis rathkei* (Cumaceenkrebs), *Cordula gibba* (Körbchenmuschel), *Asterias rubens* (Gemeiner Seestern) und *Lages koreni* (Köcherwurm) häufig (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2009, Sordyl et al. 2010).

## 3 Maßnahmen für das Untersuchungsgebiet

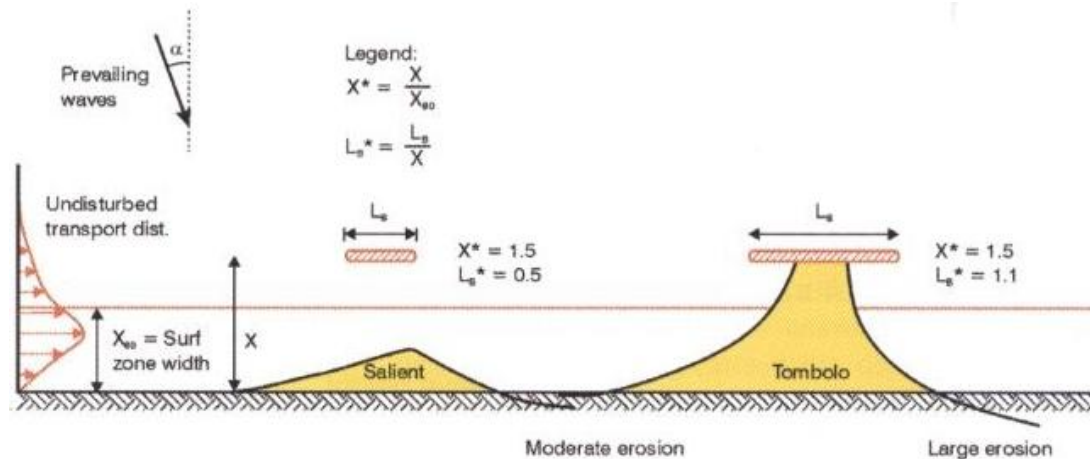
Strände sind aus sozioökonomischer Sicht, aber auch für die an der Küste lebende Bevölkerung, von großer Bedeutung. Wo kein natürlicher Küstenschutz vorhanden ist, sind oftmals künstliche Anlagen notwendig, um die Küste vor starker Erosion und Überschwemmungen zu schützen.

### 3.1 Riffe als Küstenschutz

Eine Möglichkeit des Küstenschutzes sind Wellenbrecher, die sich vor der Küste befinden. Im Gegensatz zu Deichen schützen sie nicht das Land unmittelbar hinter dem Deich,

sondern den Strand selber. Dadurch stellen künstliche Riffe ebenso eine Küstenschutzmaßnahmen für das Hinterland dar. Künstliche Riffe sind nach Seaman und Jensen (2000) wie folgt definiert: „One or more objects of natural or human origin deployed purposefully on the seafloor to influence physical, biological or socioeconomic processes related to living marine resources.“

Diese Art des Küstenschutzes weist positive Effekte auf. Zum einen schützen sie den Strand vor Erosionen, da die Wellenenergie stark abgeschwächt wird. Es bilden sich Strandverbreiterungen (Ablagerungen, Salient, Tolombo-Effekt, s. Abbildung 5) in der Lee-Seite des Riffes. So werden die Sedimentablagerungen unterstützt, und negative Auswirkungen auf die Nachbarbereiche werden minimiert.



**Abbildung 5: Schema zur Bildung von Salient und Tombolo** (Quelle: Mangor 2004)

Zum anderen können die künstlichen Riffe touristische und wirtschaftliche Vorteile hervorrufen (z.B. für den Tauch-, Angel- oder Surftourismus) und die marine Biodiversität in dem Gebiet steigern (s. Tabelle 1). Ein weiterer Vorteil ist, dass dies alles erreicht werden kann, ohne das Landschaftsbild des Strandes nachhaltig negativ zu beeinflussen. Doch neben oben genannter Funktion gibt es noch weitere Aufgaben, die ein künstliches Riff übernehmen kann. Dazu gehört Strömungen zu verhindern, mehr Sicherheit für Schwimmer zu schaffen und die Wasserqualität durch zusätzlichen Bewuchs zu steigern.

Die ursprüngliche Funktion von künstlichen Riffen lag darin, als „fish attracting device“ zu fungieren. Sie wurden ausschließlich errichtet, um ein neues Habitat für Fische zu schaffen oder ein Vorhandenes durch die Errichtung eines neuen Nahrungsfeldes zu verbessern.

Die genauen Reaktionen der Küstenlinie auf künstlich angelegte Riffe sind noch nicht vollständig erforscht. Die Erosion auf der Lee-Seite des Wellenbrechers kann auch stark zunehmen, ganze Landzungen wieder verschwinden. Um dies zu vermeiden sind ausführliche wissenschaftliche Untersuchungen und Monitoring-Programme der Gebiete nötig.

Als neueste Beispiele für den Bau eines künstlichen Riffes ist das Surf-Riff in Indien (2010) zu nennen (s. Abbildung 6). Aber auch in Australien, Neuseeland, England und Kalifornien wurde der Bau von künstlichen Riffen bereits getestet.



**Tabelle 1: Funktionen von künstlichen Riffen**

Funktion		Beschreibung
1.	Küstenschutz	Riffe reduzieren strandnahe Wellenenergie und leiten sie um. So wird die Erosionsrate an der Küstenlinie verringert.
2.	Strandstabilisierung	Riffe können Landzungen auf ihrer Lee-Seite bilden (Tombolo, Salient).
3.	Bildung von marinen Habitaten	Riffe liefern ein festes Substrat, welches einen neuen Lebensraum für marine Lebewesen schafft. Dadurch wird Biodiversität gesteigert und das Ökosystem verbessert.
4.	Steigern des Freizeitwertes	Riffe schaffen Freizeitmöglichkeiten für Surfer, Angler, Taucher und andere Wasseraktivitäten. Dabei stören sie unter Wasser nicht das Erscheinungsbild des Strandes.



**Abbildung 6: Künstliche Surf-Riffe in Kovalam, Kerala, Indien (links) und Gold Coast, Australien (rechts) (QUELLE: <http://www.asrltd.com/projects>)**

## 3.2 Riffe als Habitatverbesserung

Die Habitatstruktur der Ostsee wurde durch die historische Steinfischerei<sup>1</sup> von 1800 bis 1974 massiv verändert. Durch diesen Wirtschaftszweig wurden so nach Untersuchungen 3,5 Mio. t Steine aus bis zu 20 m Wassertiefe in der schleswig-holsteinischen Ostsee (1,5 Mio. t alleine zwischen 1930 und 1970 in der Kieler Bucht (Karez, Schories 2005)) „abgebaut“ und so eine Fläche von etwa 5,6 km<sup>2</sup> für die Besiedlung von hartsubstratbewohnenden Pflanzen und Tieren zerstört. Dadurch ging ein ökologisch wichtiger Siedlungsraum für benthische Organismen, vor allem *Fucus*-Gattungen und Miesmuscheln und deren assoziierten Lebensgemeinschaften, nachhaltig verloren. Dies wird besonders bei der Betrachtung des *Fucus spp.* Bestandes in der Kieler Bucht deutlich. Zwischen 1950 und 1988 ging dieser um 90% von 45.000 t Frischgewicht auf 2.400 t zurück. Erst 1974, nachdem die Steinfischerei sich auf Grund von fehlenden Steinvorkommen als nicht mehr rentabel erwies, wurde sie eingestellt und 1976 verboten (Bock et al. 1993).

Intakte marine Habitate können jedoch durch verstärktes Fischeaufkommen den Wert der Umgebung steigern. Künstliche Riffe können die ursprünglichen Steinfelder in der Masse zwar nicht ersetzen, sorgen aber für eine lokal erhöhte Biodiversität. Gründe dafür sind die Bereitstellung von festem Material zur Anhaftung von sessilen Organismen. Dies erhöht das Nahrungsaufkommen für andere Lebewesen, verbessert Laichplätze, „Kinderstube“ und Aufzuchtgebiet für Fische und fördert dadurch eine Konzentration von verschiedenen Fischarten.

Ein gutes Beispiel für die Entwicklung eines künstlichen Riffs zu einem artenreichen Habitat liefert das Riff Nienhagen, welches 2003 bei Rostock errichtet wurde.

### Beispiel: Künstliches Riff Nienhagen

Mit Hilfe von Untersuchungen an einem künstlichen Riff in Nienhagen lässt sich die Bewuchsentwicklung im Laufe der Zeit auf künstlichen Oberflächen aufzeigen. So hat sich dort nach bereits drei Jahren eine sehr differenzierte Bewuchsgemeinschaft mit insgesamt 71 Evertebraten-Arten herausgebildet. Nach ein paar Wochen ließen sich bereits Rotalgen und Seesterne nachweisen und nach zwei Monaten kamen u.a. Miesmuscheln, Seepocken und Polypenstadien der Ohrenqualle hinzu. Garnelen und Krebse nutzen vor allem die Löcher in den künstlichen Steinen als Unterschlupf und das vorhandene Vorkommen an Muscheln als Nahrungsquelle (Sandrock, Scharf 2007).

Im Riffgebiet ist bereits im Anfangsstadium der Untersuchung eine deutliche Artenzunahmen festzustellen und auch deutliche Unterschiede zum Referenzgebiet sind nachweisbar (Riffgebiet 2002: 21 Taxa, 2006: 28 Taxa, dagegen im Referenzbereich 2006: 8 Taxa, s. Abbildung 7). Während im Referenzgebiet im September und November 2006 insgesamt nur 68 Tiere nachgewiesen werden konnten, waren es im Riffgebiet bis zu 4.024 Individuen pro Probe. Besonders in den *Mytilus*-Aggregationen auf dem Steinfeld Alt und den Riffkegel war die Anzahl hoch (Schulz 2006).

---

<sup>1</sup> Unter der Steinfischerei versteht man die kommerzielle Entnahme großer Steine und Findlinge aus der Ostsee für die Errichtung von Gebäuden, Hafenanlagen und Molen u. ä. (Karez, Schories 2005).

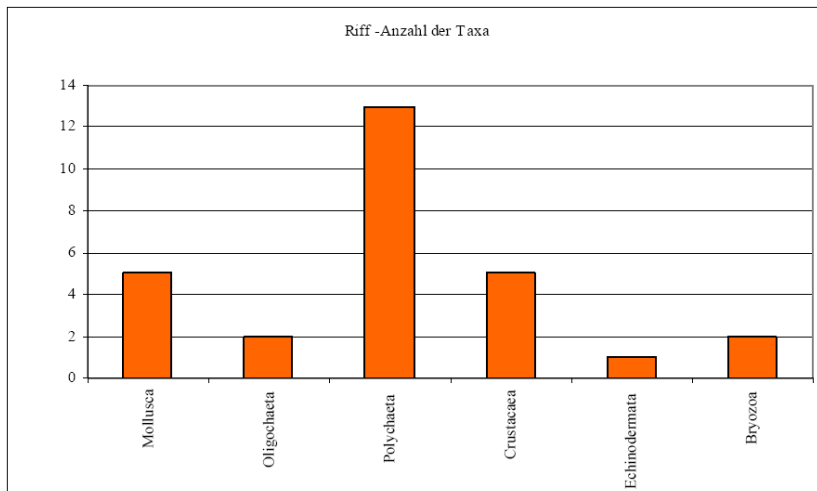
Auch auf natürlichen Steinen erhöhte sich die Artenanzahl von Evertebraten und Makroalgen im Riffgebiet gegenüber Steinen aus dem Referenzgebiet deutlich. Zudem zeigte die Benthoszusammensetzung im Riff- und Referenzgebiet Unterschiede auf, die allerdings hauptsächlich auf die unterschiedliche Substratzusammensetzung (im Riffgebiet mehr Hartbodenbewohner durch Erosion des Sandbodens) zurück zu führen ist (Sandrock, Scharf 2007).

Es lassen sich eine deutliche Artenzunahmen in den Benthosproben im Riffgebiet und ein Anstieg des organischen Gehaltes der Sedimentproben nachweisen. Über den Beprobungszeitraum blieben dagegen die Werte des organischen Gehaltes in den Referenzproben gleich (Schulz 2006). Der Algenbewuchs auf dem künstlichen Riff erreichte zwar nach drei Jahre noch nicht die Intensität der natürlichen Strukturen, dies lässt sich aber auf den kurzen Zeitraum der Besiedlung und nicht auf das Material zurückführen. Hinsichtlich der Funktion des Riffs als Nahrungsquelle für Fischbestände ist davon auszugehen, dass Fische das künstliche Riff in Nienhagen als Futterstandort nutzen (Sandrock, Scharf 2007).

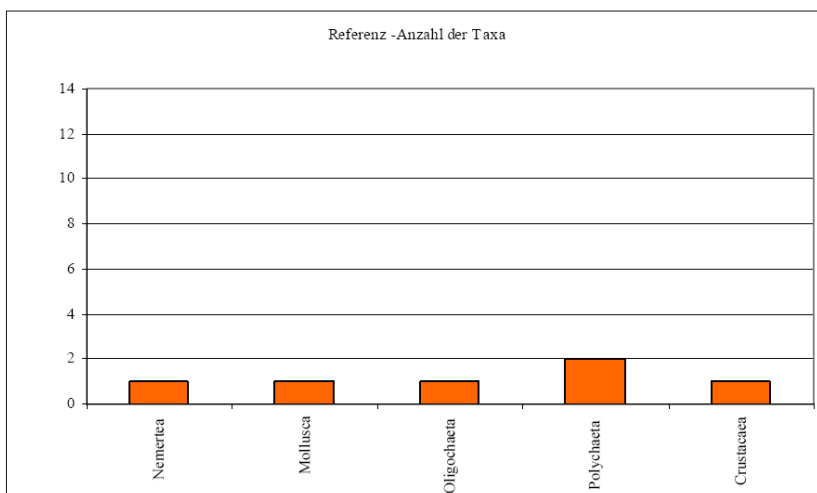
Es konnten 15 Fisch-, zwei Tauchvogelarten und acht Arten von Wirbellosen anhand von Videoaufnahmen im Riff von Nienhagen identifiziert werden (die Anzahl der Fischarten war nach Auswertung von Proben aus Fanggeräten noch deutlich höher). Vordergründig lassen sich Klippenbarsche, Dorsche und Schwammgrundeln nennen. Gerade Jungdorsche traten in großen Schwärmen mit bis zu 1.000 Fischen, Grundeln sogar bis zu 2.000 Tieren auf (starker Kontrast zum Referenzgebiet). Aber auch größere Dorsche profitieren von den im Riff vorkommenden Wirbellosen als Nahrungsquelle (Schulz 2006).

Die Entwicklungen der Artenzusammensetzung in Nienhagen lassen sich auf Grund verschiedener äußerer Bedingungen (z.B. Salzgehalt) nicht vollständig auf das Untersuchungsgebiet Probstei übertragen, liefern aber sehr gute Anhaltspunkte für eine mögliche Entwicklung eines künstlichen Riffs. Durch die zusätzlichen Strukturen am Meeresgrund ist eine Beruhigungszone zur offenen Ostsee geboten und begünstigt so Ablagerungen von Sediment und organischem Material. Dies führt mit der Zeit zu einer Veränderung von Flora und Fauna. Dadurch wird langfristig sowohl die Artenanzahl, als auch eine Erhöhung der Biomasse begünstigt (Schulz 2006).





Riffgebiet



Referenzgebiet

**Abbildung 7: Anzahl der Taxa im Riff- und Referenzgebiet 2006** (Quelle: Schulz 2006)

### 3.3 Riffe als touristische Attraktion

Auf Grund der großen Vielfalt an Konstruktionsmöglichkeiten, können künstliche Riffe errichtet werden, um (in Kombination mit dem marinen Lebensraum) den Erholungswert einer Region zu steigern. Dazu gehören Vorteile für Angler, Surfer, Taucher, Strandnutzer und Schwimmer.

#### 3.3.1 Angeln

Durch die Errichtung eines künstlichen Riffs, wird (wie in Kap. 3.2 Riffe als Habitatverbesserung) die Biodiversität in einem Gebiet in bedeutendem Maße gesteigert. Das Nahrungsangebot für marine Lebewesen wird deutlich verstärkt. Zusätzlich schafft die Anordnung der Strukturen Schutzräume und Höhlen, die vor allem für Jungtiere von großer Bedeutung sind. Daraus resultieren gute Bedingungen für Fische, sich in diesem Gebiet verstärkt aufzuhalten und sich fortzupflanzen (Schulz 2006).

Das daraus resultierende erhöhte Fischvorkommen und die örtliche Konzentration von Arten sind für Angler von großer Bedeutung und steigern die Attraktivität des Untersuchungsgebietes für den Angeltourismus.

### 3.3.2 Surfen

Ein vor der Küste liegender Wellenbrecher könnte die Surfbedingungen in der Region stark verbessern, da durch die Erhöhung auf dem Meeresgrund die Wellen frühzeitig gebrochen werden und sich so die surfbare Welle verlängert. Unter anderem in Australien und Indien wurden bereits Erfahrungen mit künstlichen Surf-Riffen gemacht.

### 3.3.3 Tauchen

In Deutschland gibt es 300.000 bis 600.000 aktive Sporttaucher, die insgesamt 35-40 Millionen Tauchgänge pro Jahr absolvieren. Dazu kommen 1,6 Millionen Urlaubstaucher (Hiller 2006). Wird auf diesem Themenfeld eine neue Attraktion geschaffen, kann die ganze Region davon profitieren.

Um das Interesse und die Wünsche der tauchenden Bevölkerung in Erfahrung zu bringen, wurden 2004 und 2006 Umfragen zum Thema künstliche Riffe und Tauchen in der Ostsee durchgeführt. Dabei wurden Taucher vom künstlichen Riff in Nienhagen befragt. Zusätzlich wurde ein weiterer Fragebogen von MariLim über das Internet in Taucherforen verbreitet.

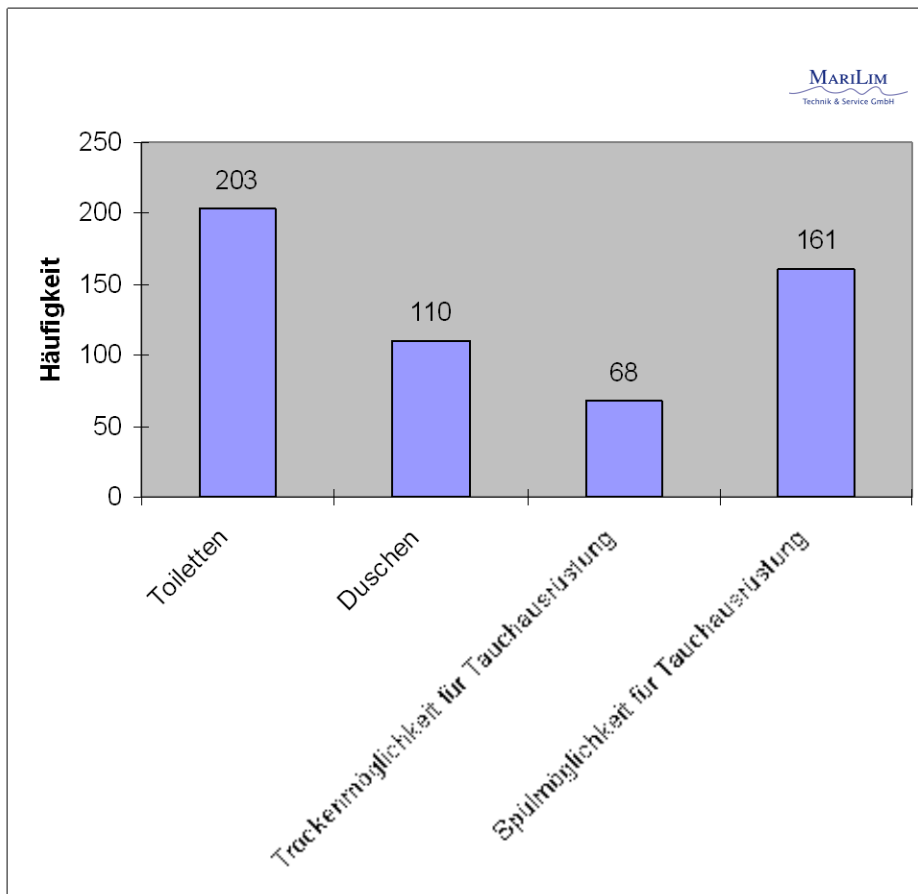
Die Ostsee ist eine der beliebtesten Tauchdestination der Taucher in Deutschland (25% geben die Ostsee/Boddengewässer als bevorzugtes Tauchrevier an, 20% tropische Regionen, 20% Mittelmeer (Hiller 2006). Trotz limitierender Faktoren wie ein geringes Artenspektrum, geringe Wassertemperatur und viele unattraktive Sandgründe ist der Bedarf an Tauchgebieten in der Ostsee groß. So ist es nicht verwunderlich, dass weitere tauchsportliche Angebote gewünscht werden (Frage 11) (MariLim 2006).

Durch die Errichtung eines künstlichen Riffes kann die Attraktivität der Region für Taucher in bedeutendem Maße gesteigert werden, da durch den Bau eine interessante Unterwasserwelt entsteht (s. Kap. 3.2 Riffe als Habitatverbesserung). In der Tauchsportszene besteht zusätzlich ein sehr großes Interesse an künstlichen Riffen, die auch eine touristische Nutzung beinhalten (100% stimmen weiteren Versuchen mit künstlichen Riffen zu, 91,4% hätten gern touristische Nutzung dabei), was vermuten lässt, dass das Angebot einer neuen Einrichtung wahr genommen wird. Gerade die Hoffnung auf mehr marine Organismen (30%), größere Fische (22%) und ein breiteres Artenspektrum (32%) regen Taucher an, künstliche Riffe in Anspruch zu nehmen (Hiller 2006).

Nach Erfahrungen mit dem künstlichen Riff in Nienhagen als Tauchgebiet lässt sich auch für das Untersuchungsgebiet an der Probsteiküste ein großes Interesse vorhersagen. Demnach waren fast alle Taucher von dem Riff in Nienhagen begeistert und würden dort noch einmal tauchen (96,6%) und es weiterempfehlen (90,6%). Jährlich tauchen dort ca. 280 Touristen (Mohr, Scheibe 2007). Nach Meinung der befragten Taucher findet die überwiegende Mehrheit (70%) künstliche Riffe im Allgemeinen gut und wünscht sich weitere, auch in der Ostsee (Hiller 2006).

Dennoch ist zu beachten, dass bei einer erfolgreichen Einrichtung eines Tauchreviers bestimmte infrastrukturelle Voraussetzungen gegeben sein müssen. So wünscht ein Großteil der Taucher einen asphaltierten Platz (möglichst überdacht) zum Umziehen, sanitäre

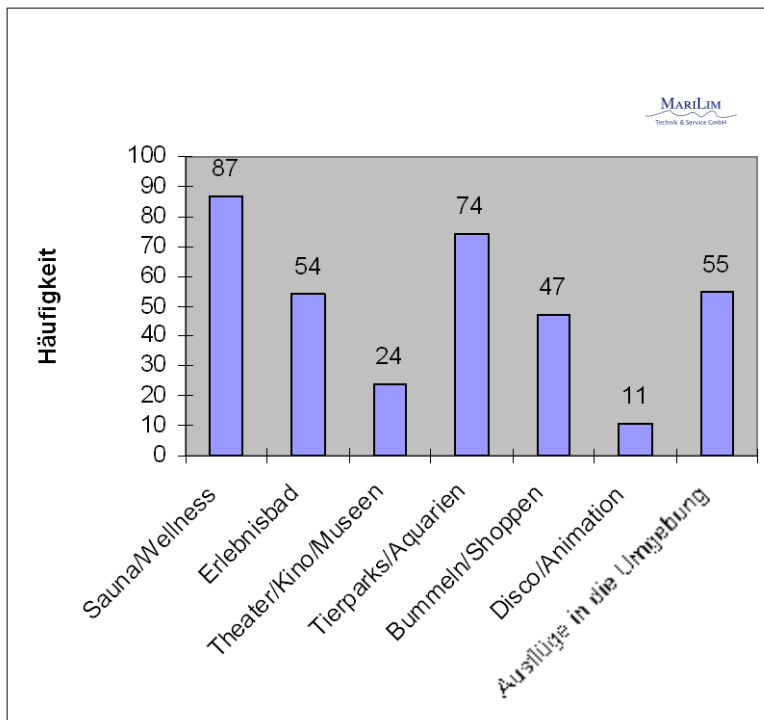
Anlagen (Duschen, Toiletten) und Spülmöglichkeiten für die Taucherausrüstung (s. Frage 20, Abbildung 8).



**Abbildung 8: Bedarf an sanitären Anlagen** (Quelle: MariLim 2006)

Zusätzlich wäre eine Füllstation für Flaschen wünschenswert, da nur so mehrere Tauchgänge pro Tag ermöglicht werden (75% gaben an, 2-3 Tauchgänge pro Tag/Riff durchzuführen). Ein Tauchgeschäft oder ein Reparaturservice vor Ort werden dagegen nicht als nötig empfunden. Da der Großteil der Befragten in kleinen Gruppen Tauchtouren unternimmt, sollten auch dem entsprechen genügend Parkmöglichkeiten für PKW und Wohnmobile zur Verfügung stehen (78% reisen mit PKW oder Wohnmobil (15%) für mehrere Tage an) (MariLim 2006).

Um auch für die Tagestouristen ein attraktives Angebot zu schaffen, wird ein Grillplatz, aber auch ein Kiosk oder Imbiss als sinnvoll angesehen. So kann sich zwischen den Tauchgängen verpflegt werden. Zusätzlich bietet es eine Aufenthaltsmöglichkeit für nicht tauchende Begleitpersonen. Da laut Umfrage 63% der Befragten mit nicht tauchenden Partnern oder Kindern anreisen würden, ist es nötig, für diese Zielgruppe alternative Möglichkeiten bzw. eventuell eine Kinderbetreuung (1/3 der Befragten zeigte Bedarf) bereitzustellen. Dabei stehen vor allem Erholungsmöglichkeiten (s. Abbildung 9) und Sport wie Schwimmen, Radfahren, Wandern, Wellness und Ausflüge in die Umgebung (s. Frage 34) im Vordergrund.



**Abbildung 9: Interesse von Tauchern und nicht tauchenden Begleitpersonen an zusätzlichen Erholungsmöglichkeiten** (Quelle: MariLim 2006)

Da aber auch durchaus ein starkes Interesse an Küsten- und Landschaftsökologischen Themen besteht, wäre die Einrichtung eines Infozentrums über die Ostsee denkbar (s. Frage 16). Dies wäre auch für die Taucher selber sinnvoll, da ein großes Interesse am Tauchgebiet Ostsee (meeresbiologische Kurse zur Ozeanographie o.ä.) besteht (s. Frage 27) (MariLim 2006). Dafür spricht auch die Motivation der Taucher, die hauptsächlich am Interesse für eine faszinierende Natur und das Wasser (27%) und Passion begründet ist (Hiller 2006).

Durch die speziellen Eigenschaften der Ostsee als Tauchrevier, sind es vor allem „Ostseeliebhaber“, die als Zielgruppe für ein künstliches Riff gelten. Taucher in der Ostsee ließen sich mit Hilfe der Umfragen sehr gut einer gewissen Bevölkerungsgruppe zuordnen. So liegt die Altersstruktur der hauptsächlich männlichen Taucher (mind. 70%) zwischen 30 und 50 Jahren. Es herrscht in der Regel ein hoher Bildungsgrad vor und die Tauchtouristen sind in den meisten Fällen nicht unvermögend. Taucher, die in der Ostsee tauchen, sind größtenteils taucherfahren (nur 5% der befragten Taucher waren Tauchanfänger bis zum Grundtauchschein). Die meisten Personen kommen direkt auch Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, oder reisen aus Berlin/Brandenburg und anderen Bundesländern an (Hamburg, NRW, andere Regionen (Hiller 2006)). Es ist deutlich auszumachen, dass der Großteil der Taucher unorganisierte Tauchgänge mit Freunden geführtem Tauchen vorziehen. Dies wird nur von ca. 1/3 der Befragten bevorzugt (MariLim 2006). Über 60% der Befragten wäre bereit, fürs Tauchen an einem künstlichen Riffen 5-10 € pro Tauchgang mehr zu bezahlen (nur 1/5 wäre dagegen nicht bereit dazu).

Getaucht werden kann in der Ostsee sowohl vom Ufer, vom Schlauchboot oder gecharterten Booten aus. Dies ist die häufigste Form, da oft ein weiter Anfahrtsweg zum Tauchrevier nötig ist, sie ist aber auch mit weiteren Kosten verbunden (20-45 € pro Tauchgang, mit Schlauchboot dagegen 10-12 €). Von Tauchveranstaltern werden hauptsächlich Gebiete mit Mergelböden und Seegrasswiesen angesteuert, wobei Wrackstandorte ebenfalls in der

Ostsee von großem Interesse sind. Die bevorzugte Tauchtiefe liegt zwischen 6 m und 25 m, wobei 10 m bis 15 m die häufigste Tauchtiefe darstellt. Die Haupttauchzeit liegt zwischen Mai und Oktober, mit einem Schwerpunkt in Juli und August. Dies ist vor allem mit den guten klimatischen Bedingungen und den Sommerferien zu erklären. Allerdings gaben 90% der Befragten an, sie würden zu allen Jahreszeiten tauchen. So ließe sich auch außer der Saison an der Ostsee ein neuer Ganzjahrestourismus durch eine weitere Tauchmöglichkeit installieren (Hiller 2006).

In der Kieler Bucht gibt es bereits eine Menge etablierter Tauchgebiete und –basen (s. Abbildung 10) und vor allem in Kiel viele Tauchvereine und –gruppen. Hauptsächlich um Kiel und Eckernförde sind Taucher sehr aktiv.



**Abbildung 10: Übersicht der bereits vorhandenen Tauchreviere und Tauchbasen/-shops** (Quelle: Eigene Darstellung nach google maps)

Zu Tauchgebieten, angrenzend an das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit, zählen vor allem Falkenstein, Holtenau, Korügen, Strande, Bülk, Mönkeberg und Kitzeberg ([www.ostseediver.de.vu](http://www.ostseediver.de.vu)). Aber auch Heikendorf, Hohenheim und Behrendorf sind beliebte Ziele. Eine Übersicht der Tauchreviere inklusive Möglichkeiten für zusätzliche Maßnahmen für den Küstenschutz oder Habitataufbau liefert Tabelle 2. Dabei sind die Gebiete sehr vielfältig. Sowohl was die Tauchtiefe (4-17 m) als auch die „Ausstattung“ mit Flora und Fauna betrifft. So findet man neben Sandbänken, Seegraswiesen und Felsgründen auch anthropogen erschaffene Habitate wie Molen, Wracks und Badeanstalten an denen sich vielfältige Pflanzen anheften und Tiere anlocken. Von Seesternen und Miesmuscheln über Seehasen, Krabben und großen Fischen kann man eine reiche Tierwelt bestaunen ([www.taucher.net](http://www.taucher.net)).

Die meisten dieser Tauchplätze werden privat betaut und weisen keine Tauchshops oder -anbieter in der Nähe auf. Dennoch sind in der näheren Umgebung Tauchbasen vorhanden, die teilweise Tauchtouren organisieren oder Boote für Tauchgänge verleihen ([www.taucher.net](http://www.taucher.net)). Diese Anbieter (vor allem in Kiel, Eckernförde, Hohenheim, Mönkeberg und Behrendorf) wären interessante Ansprechpartner, wenn es um die Etablierung des neuen Tauchgebietes von der Probsteiküste geht. Werden einige Tauchanbieter der Region in das Projekt involviert, ließe sich ein gemeinsames Marketing-Konzept erstellen, welches sowohl für das Tauchrevier Ostsee, als auch für die Tauchbetreiber selbst von Vorteil wäre.

Tabelle 2: Übersicht der Tauchreviere in der Kieler Bucht

Tauchrevier	Besonderheiten	Möglichkeiten für zusätzliche Maßnahmen	
		Küstenschutz	Habitataufbau
Falkenstein	Abwechslungsreicher Untergrund (Seegraswiese, Muschelbänke), Tiefe ca. 10 m	nein	ja
Holtenau	Seebadeanstalt mit Brückenresten und Spundwand. Durch Hartsubstrat viele Fische. Tiefe bis 10 m	nein	nein
Strande	Tiefe 3 bis 12 m, Seegraswiese, Schilkseer Hafemole und Spundwand bietet Platz für viele Pflanzen und Fische, „Höhlintauchen“ im verrohrten Überlauf des Fuhllensees, dort vor allem Aale	ja	ja
Mönkeberg	Tiefe ca. 10 m, Anleger, Abbruchkante, Spundwand. In flacheren Gebieten Seegraswiesen. Viele Fische und Krebse. Es gibt einen Kompasskurs von „Dieters Tauchshop“ (mittlerweile verschlammt), einige schön bewachsene Reefballs, „Baltic Bedouin Divers“ vor Ort	nein	ja
Korügen/ Möltenort	Trümmer eines ehemaligen Anlegers sind sehr schön bewachsen, abwechslungsreiches Bild	ja	ja
Surendorf	Wrack einer Betonschute (allerdings weit vom Ufer entfernt, s. Hohenhein), bis 8 m Tiefe, viele Fische und Bewachsungen	ja	ja
Bülk	Tiefe 4 m, sehr gute Sicht, viele Pflanzen	nein	ja
Kitzeberg	Wrack einer Betonschute auf 4-5 m, Brückenpfeiler sehr schön bewachsen und mit Muscheln überwuchert, einige große, bewachsenen Schrottteile	nein	ja
Heikendorf	Seegraswiese und verwaiste Aalreusen und andere Fundstücke, leicht schlammiger Sandgrund, Tiefe bis 6 m	nein	ja
Hohenhein	Tauchschule/-basis Schwedeneck vor Ort mit „Shuttle“ zur Betonschute in bis zu 9 m Tiefe	nein	ja
Behrendorf	Tiefe um die 5 m, aber es besteht die Möglichkeit ein Boot zu chartern, dann sind tiefen von 9-17 m möglich. Seegraswiesen, Sandbänke, Felsformationen. Drei Wracks befinden sich vor der Küste. Tauchshop/-basis vor Ort	ja	ja
Eckernförder Mole	Tiefe 9 m, durch Hartsubstrat (Betonringe) große Vielfalt von Flora und Fauna	nein	ja
Hagener Au	Unverschlammter Seegrund, Seegraswiesen, ausgedehnte Sandbank, bis 6 m Tiefe, fischreich	nein	ja
Hasselfelde	Betonteile eines gesprengten Bunkers auf 3-7 m Tiefe. Schön bewachsen mit vielen Fischen, oft schlechte Sicht	nein	nein



### 3.3.4 Nutzen des Strandes

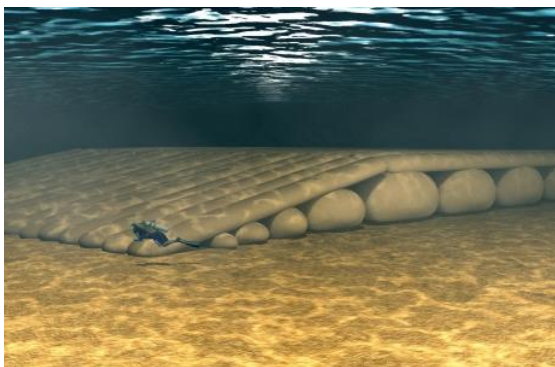
Durch die Errichtung eines Wellenbrechers vor der Küste wird der Strand vor Erosion geschützt und der Strand durch erhöhte Sedimentation verbreitert. So wird der Gefahr reduziert, die Strände könnten sich verkleinern. Das dadurch entstehende, erhöhte Platzangebot bietet neue Möglichkeiten für Strandbesucher und die Aufstellung von Strandkörben. Der Strandtourismus der Region wird gefördert.

## 3.4 Baumaterial

### 3.4.1 Geotextil

Geotextil stellt ein beliebtes Baumaterial dar, weil es durch die flexible Oberfläche einen kontrastarmen Kontakt zur Umwelt eingeht. Es besteht meist aus Polypropylen oder Polyester in verschiedenen Ausführungen. Geotextil ist ein sehr durchlässiges Material und hat daher verschiedene Fähigkeit Strukturen zu teilen, zu filtern, zu verstärken, zu schützen und zu entwässern. Es findet vor allem Anwendung im Bau von Wellenbrecher, Buhnen, Dämme und Dünenbefestigung. Einzelne Elemente gibt es in verschiedene Ausführungen: Geotube (Durchmesser 1-10 m, Länge 20-30 m), Geocontainer (Länge 25 m, kann auch befüllt zum Anwendungsort gebracht werden) und Geobag, welches die kleinste Einheit darstellt und auch oftmals Verwendung an Land findet.

Durch seine weiche Oberflächenstruktur ist es besonders sicher für die Verwendung von Wellenbrecher, da Wassersportler mit ihnen in Kontakt kommen können. Dazu zählen Schwimmer, Taucher, aber auch Surfer. Dies stellt einen großen Vorteil bei der Anwendung unter Wasser und in küstennahen Gebieten dar. Neben dem Sicherheitsaspekt ist die flexible Gestaltung ein weiterer Vorteil des Materials, die einen auf die Anwendung und die äußeren Gegebenheiten individuell angepassten Einsatz zulässt. Des Weiteren bietet die Oberfläche ein hervorragendes Substrat für die Ansiedlung mariner Organismen und steigert so auf die Dauer die marine Biodiversität des Einsatzgebietes.



**Abbildung 11: Geotextile Container und Tubes** (Quelle: [http://specialtyfabricsreview.com/articles/1209\\_sw3\\_reef.html](http://specialtyfabricsreview.com/articles/1209_sw3_reef.html))

### 3.4.2 Reef Balls

Reef Balls stellen eine relativ neue Möglichkeit für den Bau von unter Wasser liegenden Wellenbrechern dar. Die Module bestehen aus wasserdurchlässigen, hohlen und halbrunden Zementblöcken, die natürlichen Korallenköpfen nachempfunden sind. Ursprünglich waren sie dafür gedacht, zur Steigerung der marinen Biodiversität eingesetzt zu werden, erfüllen heute

aber weit mehr Aufgaben. Dazu gehören die Küstenstabilisation, der Hafenschutz, die Austernzucht und die Verpflanzung von Mangroven. Durch verschiedene und individuell anpassbare Größen und Formen sind sie flexibel einsetzbar.

Reef Balls können nicht nur Habitat für marine Tiere und Pflanzen bieten, sondern auch zum Küstenschutz beitragen. Wellenbrecher, die aus Reef Balls errichtet wurden, können effektiv Wellen abschwächen, da viel Energie abgebaut wird, bevor die Welle den Strand erreicht. Die Löcher in den Einheiten bilden zusätzlich naturnahe Bedingungen für marine Organismen.



**Abbildung 12: Reef Balls** (Quelle: <http://www.reefball.org/>, [www.artificialreefs.org/Articles/DieZeit.htm](http://www.artificialreefs.org/Articles/DieZeit.htm))

Zu den Vorteilen von Reef Balls gegenüber herkömmlichen Wellenbrecher-Materialien zählen:

- Die einfache und günstige Herstellung, da diese direkt vor Ort durchgeführt werden kann („patented mold system“).
- Ein einfacher und wirtschaftlich vorteilhafter Aufbau der Strukturen am Meeresgrund, welcher mit „lift-bags“ durchgeführt werden kann. Die einzelnen Elemente können bis zur vorgesehenen Position über das Wasser gezogen werden. Es ist kein Kran o.ä. notwendig.
- Die individuelle Herstellung der Elemente, je nach Anforderungen an das Habitat und die Gegebenheiten des Meeresbodens.
- Die Verankerung der Elemente auf dem Meeresboden, um die Stabilität zu erhöhen.
- Die Möglichkeit Reef Balls für die Übertragung oder Verpflanzung von Korallen, oder für Aquakulturen zu verwenden.

### 3.4.3 Kombination aus Geotextil und Reef Balls

Um die Effekte von Geotextil und Reef Balls zu ergänzen, ist es möglich diese beiden Strukturen zu kombinieren. So kann sowohl ein effektiver Wellenbrecher aus einer festen Struktur wie Geotextil errichtet werden, als auch mit Hilfe der Reef Balls ein marines Habitat und dadurch der Tauchtourismus vorangetrieben werden. Errichtet man ein größeres Feld aus Reihen von Reef Balls auf der Seeseite des eigentlichen Wellenbrechers wird der Wellenbrechen flächig verbreitert und die Oberfläche für die Besiedlung von marinen Organismen deutlich vergrößert. Dies hat zur Folge, dass für den Tauchtourismus ein



flächenmäßig großes und interessantes Riff entsteht. Außerdem wird so nicht in die hydrologischen Prozesse auf der Leeseite des Wellenbrechers eingegriffen, welche die Auswirkungen der Struktur auf die Küstendynamik verändern könnte.

Dieses Vorgehen ist noch nicht in der Praxis erprobt und absolutes Neuland auf dem Gebiet der Errichtung von künstlichen Riffen. Da aber beide Materialien und Funktionen sich gut ergänzen, ist von positiven Auswirkungen des kombinierten Wellenbrechers auszugehen.

## **4 Design und Lage der Wellenbrecher im Untersuchungsgebiet**

### **4.1 Kriterien für das Design**

Das Design der Wellenbrecher hängt stark von den Gegebenheiten vor Ort und ihrer primären Aufgabe ab. Auch die Reaktion der Küstenlinie nach dem Bau des Wellenbrechers ist von mehreren Faktoren abhängig. U.a. von der Länge und Höhe des Wellenbrechers, dem Abstand und seinem Winkel zur Küstenlinie. Eine Höhe des Wellenbrechers von 60-80% der Wassertiefe wird als notwendig angesehen, um die Effektivität des Wellenbrechers zu sichern.

Wenn der Wellenbrecher die Küstenlinie stabilisieren soll, ist vor allem das Verhältnis von der Länge des Baus zur Entfernung zur Küstenlinie von Bedeutung. Davon ist abhängig, ob und welche Sandstrukturen (Salient und/oder Tombolo) sich bilden.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über verschiedene Möglichkeiten dieses Verhältnisses. Die dunkel unterlegte Formel erschien für das Untersuchungsgebiet die besten Voraussetzungen zu erfüllen.

Um die Aufgabe des Küstenschutzes zu erfüllen, ist es wünschenswert, dass sich Sandablagerungen am Strand hinter dem Wellenbrecher bilden. Daher ist eine genaue Studie der vor Ort vorhandenen Gegebenheiten und der Literatur notwendig.

Damit sich keine Tombolos formen, aber der Strand ausreichend geschützt wird, sollte sich der Kamm des Wellenbrechers 0,5 m oder weniger unter Niedrigwasser befinden und der Wellenbrecher selber 8-10 m breit sein. Bei Hochwasser oder Sturmwellen kann die Effektivität eingeschränkt sein, weil der Wellenbrecher dann zu weit im Wasser liegt.

Um aber die Sicherheit für Taucher und Schwimmer zu erhöhen, wurden im Untersuchungsgebiet Werte von 1,2 m bzw. 2,0 m für den Abstand zwischen Wasseroberfläche (Still Water Level) und Wellenbrecher übernommen, sowie bei einer reinen Küstenschutzmaßnahme eine Kammhöhe von -0,5 m angesetzt. Da die Werte von denen in der Literatur stark abweichen, muss auch die Breite der Wellenbrecher demnach angepasst werden, um die gleiche Leistungsfähigkeit und ein stabiles Habitat zu erreichen.

**Tabelle 3: Typen von Küstenformationen für das Verhältnis  $L_s / X$  (Quelle: Kliucininkaite 2011)**

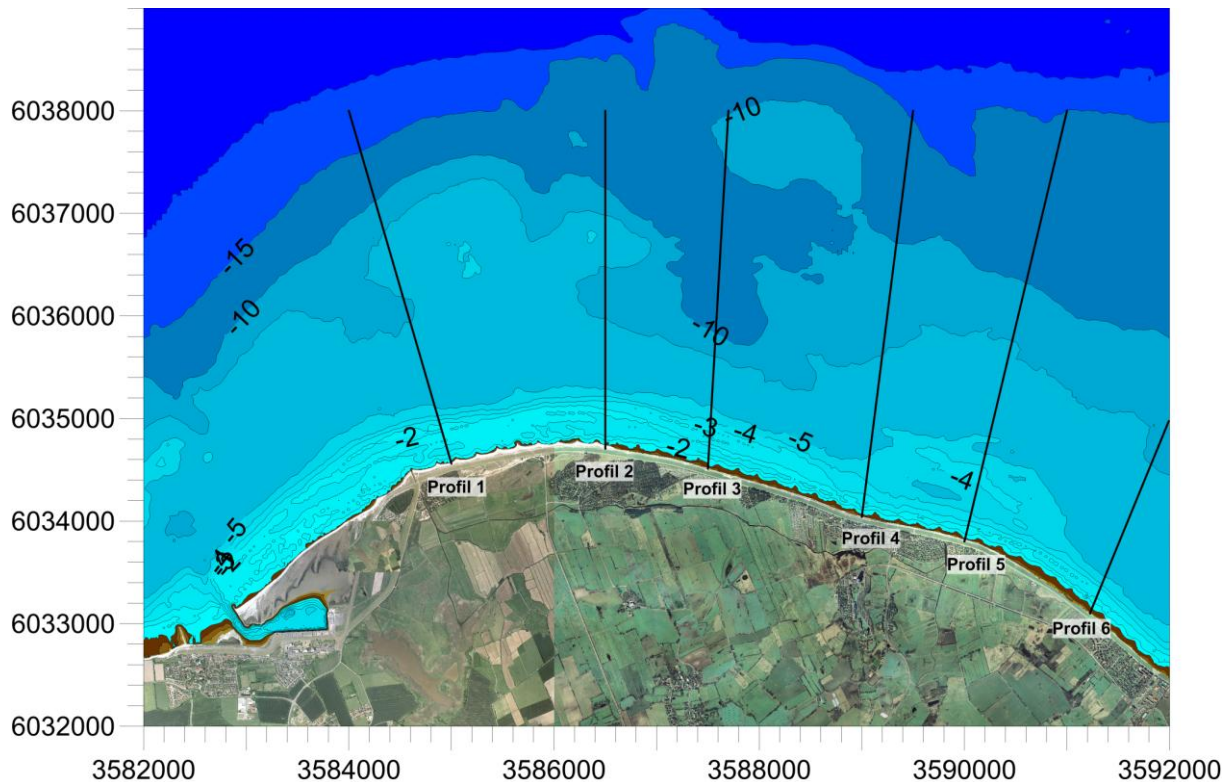
Art der Formation	Verhältnis	Bemerkung	Quelle
Tombolo	$L_s / X > 0,6$	Offshore-Riff	(Black and Andrews, 2001)
	$L_s / X = 1,5 \text{ to } 2,0$	Einzelner Wellenbrecher	(Dally and Pope, 1986)
	$L_s / X = 1,5$	Mehrere Wellenbrecher ( $L_s < G < B$ )	(Dally and Pope, 1986)
	$L_s / X \geq 1,0$	Einzelner Wellenbrecher	(Suh and Dalrymple, 1987)
	$G \cdot X / L_s^2 = 0,5$	Mehrere Wellenbrecher	(Suh and Dalrymple, 1987)
	$L_s / X \geq (1,0 \text{ to } 1,5) / (1 - K_t)$	Unter Wasser liegende Wellenbrecher	(Pilarczyk, 2003)
Landzunge	$L_s / X < 2,0$	Offshore-Riff	(Black and Andrews, 2001)
	$L_s / X = 0,67 \text{ to } 1,5$		(Dally and Pope, 1986)
	$L_s / X = 0,5 - 1,0$		(Shore Protection Manual, 1984)
	$L_s / X < 1,0 / (1 - K_t)$	Unter Wasser liegende Wellenbrecher	(Pilarczyk, 2003)
	$G \cdot X / L_s^2 = 0,5 \cdot 1 - K_t$	Mehrere unter Wasser liegende Wellenbrecher	(Pilarczyk, 2003)
Bedingungen ohne Ablagerungen	$L_s / X < 1,0$	Offshore-Riff	(Black and Andrews, 2001)
	$L_s / X < 0,5$		(Nir, 1982)

( $L_s$  = Länge des Wellenbrechers;  $X$  = Entfernung des Wellenbrechers zur Küstenlinie;  $G$  = Abstand zwischen den Wellenbrechern,  $K_t$  = Transmission Koeffizient)

## 4.2 Position der Wellenbrecher

Die genauen Stellen zur Errichtung der Wellenbrecher wurden nach lokalen geomorphologischen Gegebenheiten und bereits existierenden Sandbänken ausgesucht. Die Wellenbrecher werden so positioniert, dass sie einen größtmöglichen Effekt für den Küstenschutz und die Bildung von Habitaten hervorrufen. Sich unter Wasser befindende Strukturen wurden über Wasser liegenden Wellenbrechern vorgezogen, da sie auf eine größere Akzeptanz in der Bevölkerung und bei Touristen stoßen.

Im Folgenden wird die Bathymetrie des Untersuchungsgebietes genauer beschrieben und daraus die Position der Wellenbrecher abgeleitet. Zu diesem Zweck werden fünf Profile betrachtet, deren Positionen in der folgenden Abbildung (Abbildung 13) zu sehen sind. Die Auswahl dieser Profile soll die Bathymetrie des Untersuchungsgebietes widerspiegeln und so repräsentativ für die Region gelten. Sie veranschaulichen die unterschiedlichen Eigenschaften des Meeresgrundes und zeigen so auf, welche Gebiete sich grundsätzlich für die Errichtung eines künstlichen Riffes eignen.



**Abbildung 13: Position der untersuchten Profile im Untersuchungsgebiet** (Quelle: Eigene Darstellung, Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH)

Profil 1 (Abbildung 14) zeigt zwischen ca. 125 m und 375 m Entfernung zur Küstenlinie bereits natürliche Strukturen auf (die Erhöhungen, die über die Wasseroberfläche hinaus ragen stellen Bühnen dar), die Funktionen eines Riffes erfüllen, danach nimmt die Wassertiefe schnell zu. Demnach ist keine ebene Fläche vorhanden, um Wellenbrecher sinnvoll zu errichten. Außerdem sollte hier nicht in das bereits vorhandene Profil und so in den Sedimenttransport und die Morphodynamik eingegriffen werden.

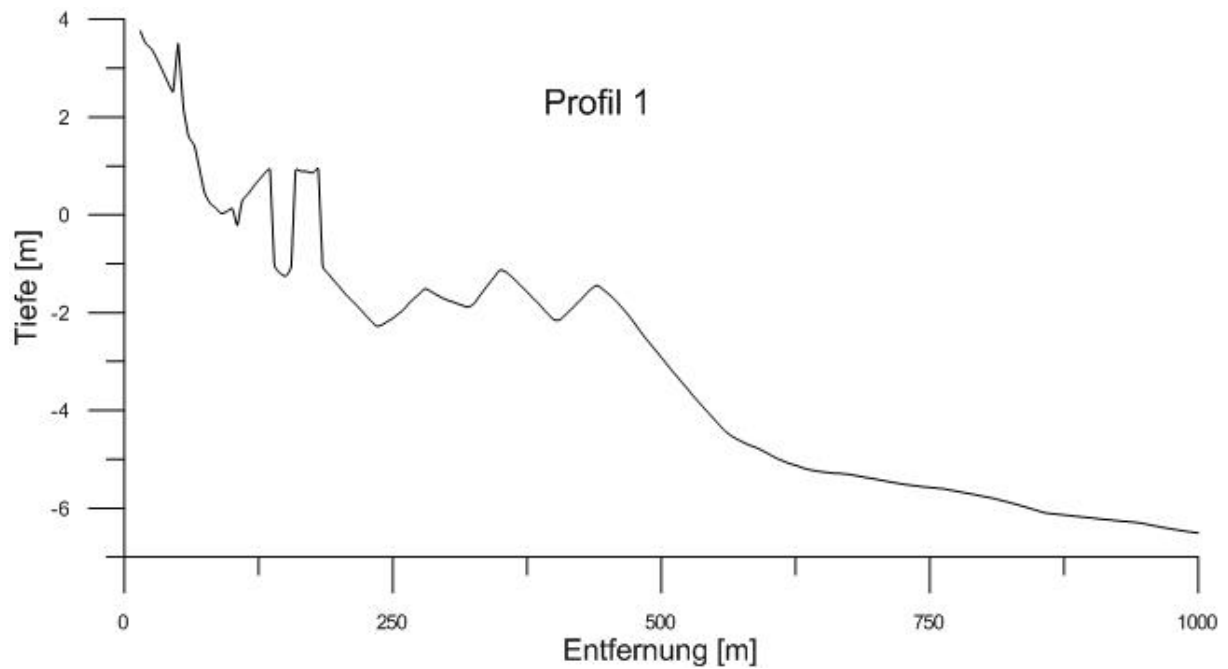


Abbildung 14: Bathymetrie Profil 1 (Quelle: Eigene Darstellung)

Anders ist die Situation in Profil 2 (Abbildung 15). Ab einer Tiefe von 2 m befindet sich ein ca. 300 m breiter Vorstrand, der keinerlei natürliche Riffe oder Strukturen aufweist. Dies bietet die Möglichkeit sowohl nah an der Küste (ca. 125 m vor der Küstenlinie) aber auch weiter vorgelagert künstliche Riffe zu errichten und so Strukturen zu schaffen, die Einfluss auf die Bathymetrie nehmen (Alternative 2 und 3).

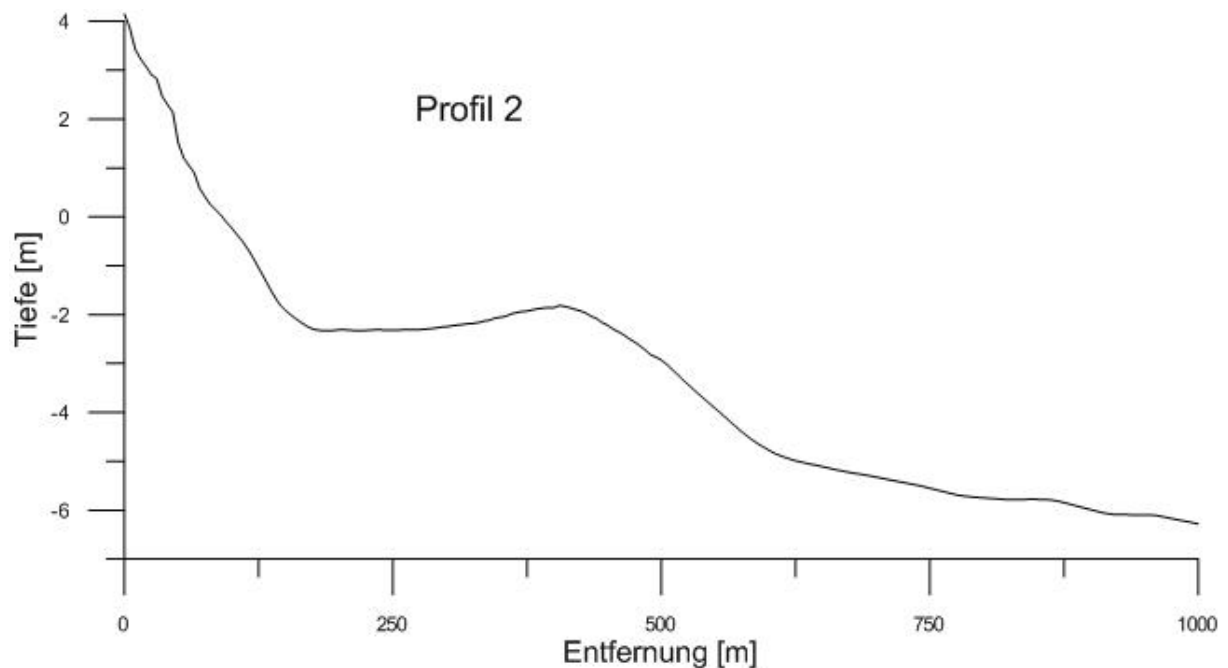
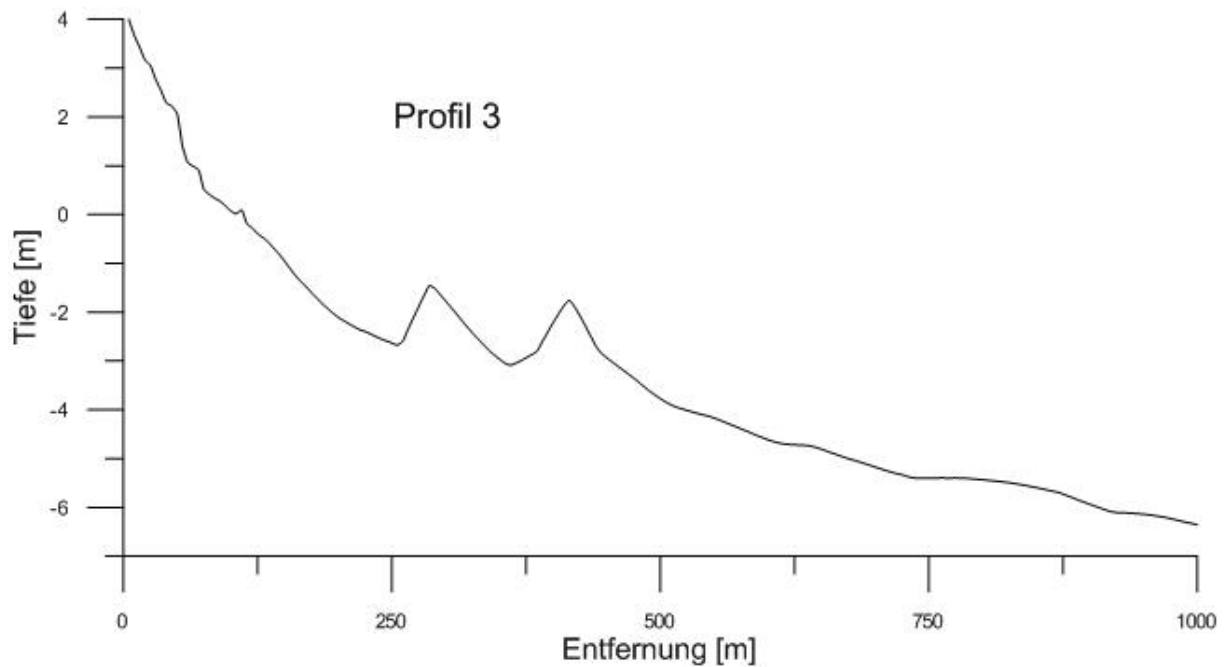


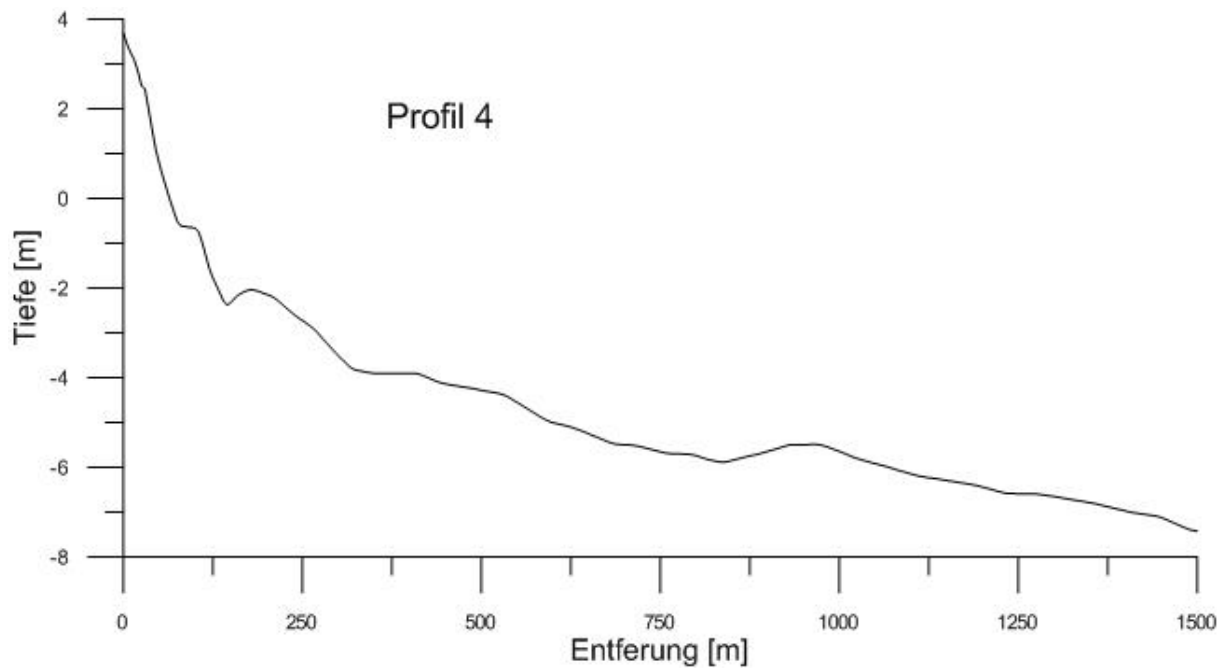
Abbildung 15: Bathymetrie Profil 2 (Quelle: Eigene Darstellung)

Das dritte Profil (Abbildung 16) eignet sich aus ähnlichen Gründen wie bei Profil 1 nicht für die Errichtung von künstlichen Riffen. Auch hier sind bereits natürliche Strukturen vorhanden, die ein Eingreifen überflüssig, bzw. unkalkulierbar machen.



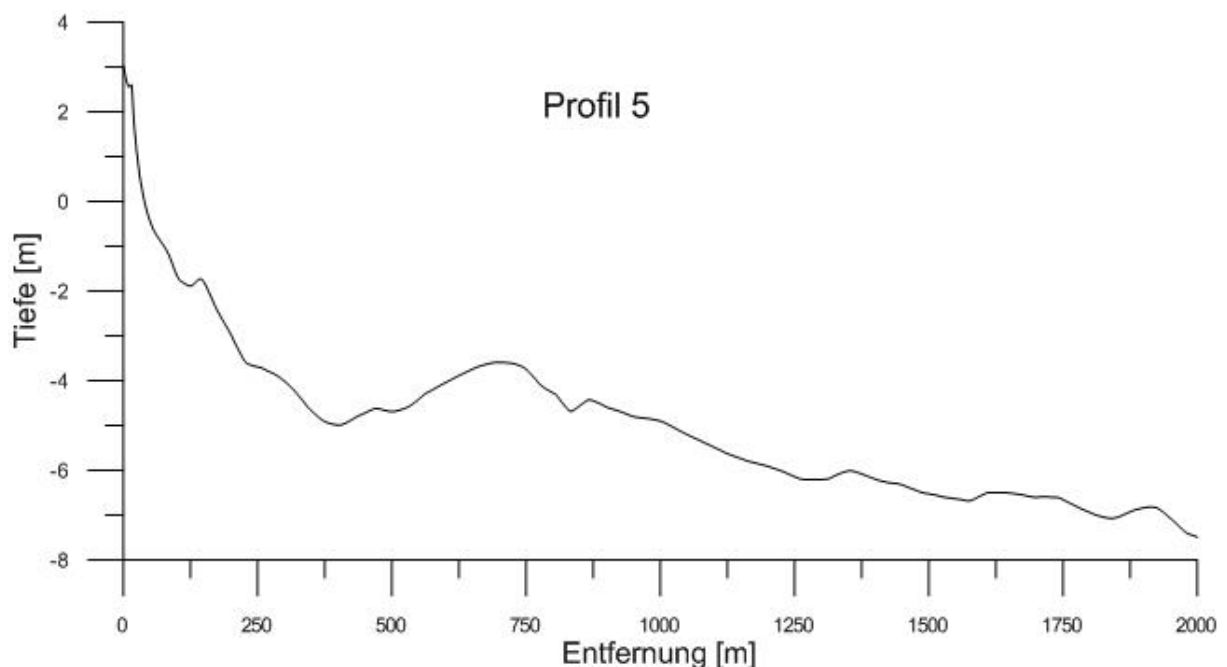
**Abbildung 16: Bathymetrie Profil 3** (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Profil 4 (Abbildung 17) dagegen hat einen anderen Verlauf. In 2 m Tiefe befindet sich der Ansatz einer Riffstruktur. Seewärts fällt der Meeresboden dann kontinuierlich, ohne nennenswerte Erhöhungen, ab. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben in das vorhandene Profil ein künstliches Profil zu errichten, welches sich an die natürlichen Gegebenheiten anpasst. So könnte an dieser Stelle ein effektiver Wellenbrecher auch in weiter Entfernung zum Strand gebaut werden, der die natürliche Riffbildung unterstützt (Alternative 5).



**Abbildung 17: Bathymetrie Profil 4** (Quelle: Eigene Darstellung)

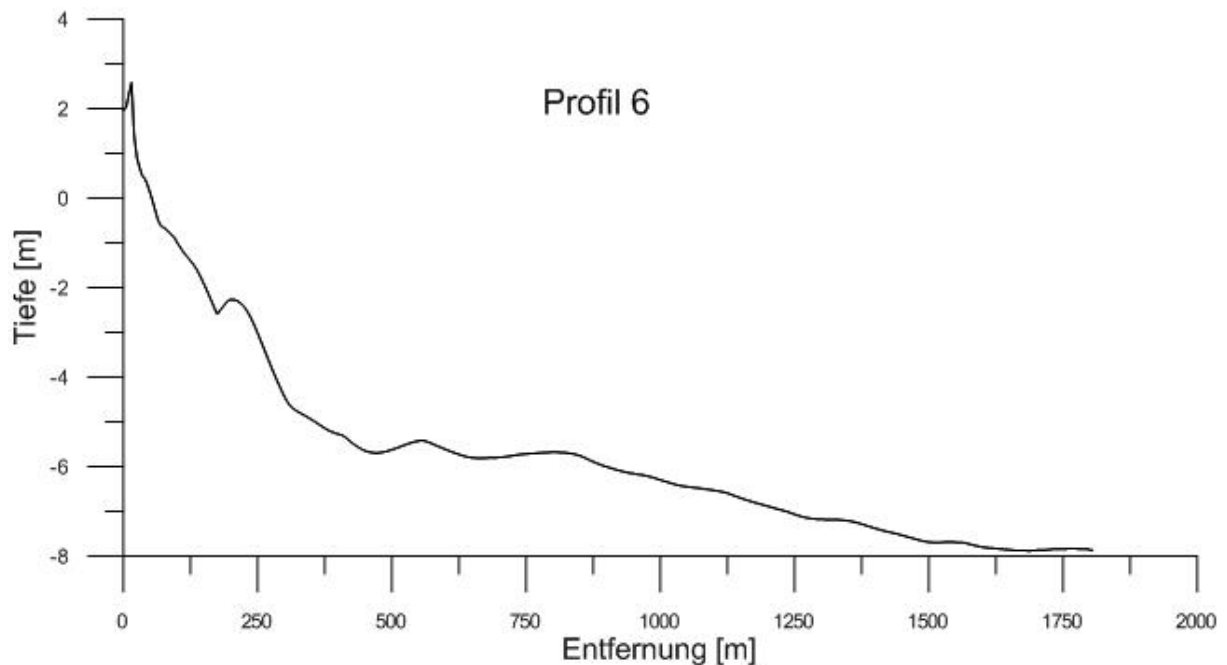
Profil 5 (Abbildung 18), eignet sich auf Grund von einem stark welligen Profil nicht für die Errichtung eines künstlichen Riffes. Hier sind entlang des Profils sowohl auf 2 m als auch ab 4 m Wassertiefe mehrere natürliche Riffe vorhanden, die einen Wellenbrecher unnötig machen.



**Abbildung 18: Bathymetrie Profil 5** (Quelle: Eigene Darstellung)

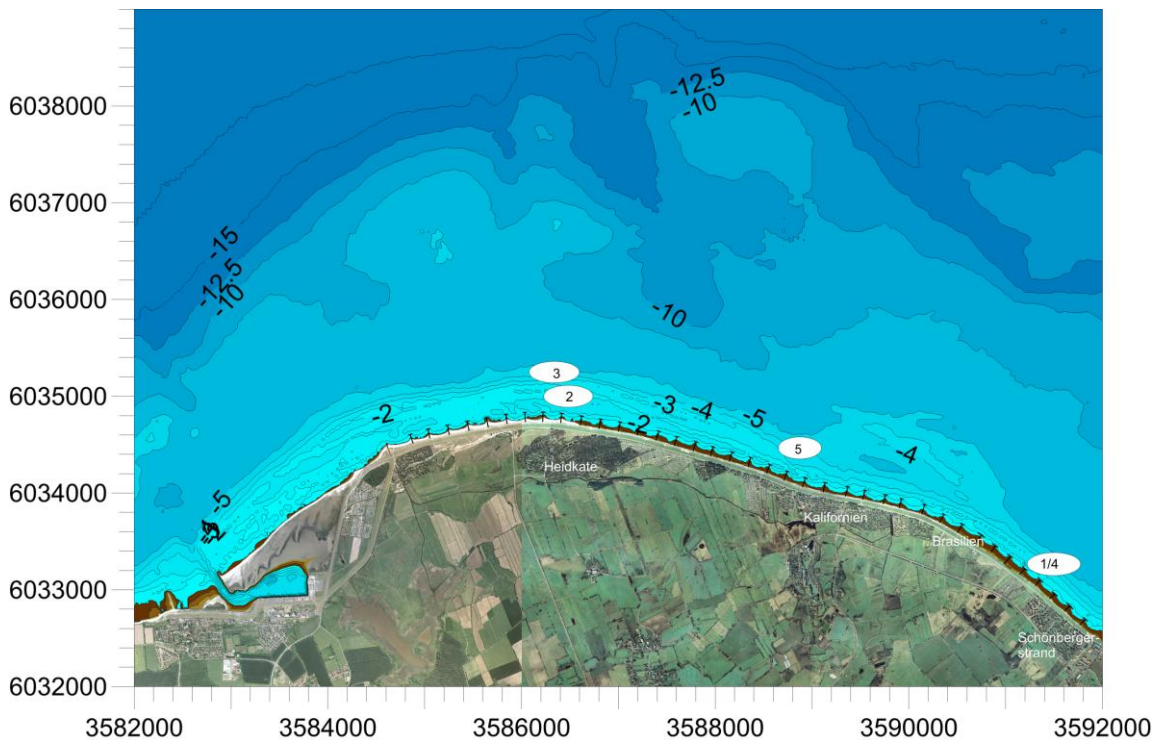
Das östlichste Profil, Profil 6 (Abbildung 19) lässt sich auch mit einem künstlichen Riff morphologisch verändern. In einer Tiefe von 2 m befindet sich (ca. 150 m) von der

Küstenlinie entfernt ein kleines natürliches Riff, an das sich seewärts eine künstliche Struktur anschließen lässt. An dieser Stelle fällt das Profil stark ab, um dann langsam auszulaufen. Durch ein künstliches Riff an dieser Stelle würde die bereits vorhandene Struktur verstärkt und würde eine größere Auswirkung auf Strömung und Sedimenttransport aufweisen (Alternative 1 und 4).



**Abbildung 19: Bathymetrie Profil 6** (Quelle: Eigene Darstellung)

Berücksichtigt man diese geologischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet, lassen sich daraus folgende Positionen für die verschiedenen Alternativen der Wellenbrecher ableiten. Für die Alternativen 1 und 4 wurde die Position auf dem sechsten Profil festgelegt. Alternative 2 und 3 befinden sich auf Profil 2 und die fünfte Alternative auf Profil 4 (Abbildung 20).



**Abbildung 20: Positionen der Alternativen der künstlichen Riffe im Untersuchungsgebiet**  
(Quelle: Eigene Darstellung, Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH)

## 5 Fünf Alternativen von Wellenbrechern für das Untersuchungsgebiet

Es wurden fünf verschiedene Varianten entwickelt, die für einen Anwendung im Untersuchungsgebiet in Frage kommen. Sie unterscheiden sich nicht nur in ihrer Position (s. Kap. 4.2 Position der Wellenbrecher) sondern auch im verwendeten Material (Alternative 1: Geotextile, Alternative 2-4: Reef Balls, Alternative 5 als Kombination), Form (Alternative 1 besteht aus einem Wellenbrecher, während Alternativen 2-5 eine Lücke zwischen zwei Elementen aufweisen) und Entfernung zur Küstenlinie. Alle fünf Alternativen liegen küstenparallel. Nur Alternative 5 weist auf Grund des vorhandenen Bodenprofils eine leicht schräge Position zur Küste auf.

Als Designparameter für einen küstenparallelen Wellenbrecher dienen Kammbreite, Gefälle, Struktur, Wassertiefe, Länge, Breite und Entfernung des Wellenbrechers zur Küstenlinie. Für unter Wasser liegende, küstenparallele Wellenbrecher gelten die gleichen Annahmen, wie für unter Wasser liegende Riffe.

Um das Verhalten von Sediment und Strömung für die Alternativen zu berechnen, wurden die numerischen Modelle MIKE 21 und LITPACK (Bestimmung von Sedimenttransport) angewandt.

### 5.1 Alternative aus Geotextil

Alternative 1: Vor Brasilien war auf Grund von morphologischen und geologischen Bedingungen nur ein küstenparalleler Wellenbrecher möglich. Diese Position konnte wegen eines starken Gefälles des Bodens, bereits vorhandenen Sandbänken und einer hohen Erosionsrate bestimmt werden. Der Anfang des neuen Wellenbrechers wurde genau am



Ende der Lee-Seite einer bereits existierenden Sandbank geplant. Daraus können sich eine positive Reaktion der Küstenlinie und die Bildung von einer Verbreiterung des Strandes in der Lee-Seite des Wellenbrechers ergeben. Daher wurde der Wellenbrecher etwa 170 m von der Uferlinie entfernt geplant (s. Tabelle 4).

Der Wellenbrecher in Alternative 1 ist eine durchgehende Anlage, errichtet aus Containern aus Geotextil. Sie ist 100 m lang, 12 m breit (am Fuß der Anlage) und weist eine Kammbreite von 4 m auf. Der Kamm der Anlage befindet sich 1,6 m unter dem Meeresspiegel. Diese Werte ergeben sich aus einer Kombination von Sicherheitsbestimmungen und der größten Effektivität in Bezug auf die Abschwächung der Wellen. Die genaue Steigung der Seiten der Anlage muss mit weiteren numerischen und physikalischen Simulationen bestimmt werden.

**Tabelle 4: Beschreibung Alternative 1**

Alternative	Alternative1
<b>Lage</b>	Brasilien
<b>Zweck</b>	Küstenschutz, Verbesserung der Tauchmöglichkeiten, Schaffung von marinem Lebensraum
<b>Entfernung zur Küstenlinie, X (m)</b>	170
<b>Baumaterial</b>	Geotextile Schläuche und Container, gefüllt mit Sand
<b>Länge des Wellenbrechers, L (m)</b>	100
<b>Höhe des Wellenbrechers, H (m)</b>	2,5
<b>Breite des Wellenbrechers, W (m)</b>	12
<b>Kammhöhe, F (m)</b>	-1,6
<b>Kammbreite, B (m)</b>	Ca. 4

## 5.2 Alternativen aus Reef Balls

Drei verschiedene Alternativen für die Verwendung von Reef Balls wurden entwickelt. Davon zwei für Heidkate und eine für Brasilien (s. Tabelle 5). Um die Effizienz von Wellenbrechern zu erhöhen, bestehen sie aus zwei nebeneinander liegenden Elementen. Für beide Untersuchungsstandorte wurden mehrere Varianten getestet (s. Abbildung 21).

Alternative 2: Der Wellenbrecher wurde für die Flachwasserzone vor Heidkate entworfen, 170 m von der Küste entfernt. Die Entfernung wurde anhand der in Kapitel 4.1 Kriterien für das Design beschriebenen Argumente hinsichtlich Geologie, Sicherheit und Effizienz bestimmt. Der Kamm des Wellenbrechers liegt 1,2 m unter Still Water Level. Das Verhältnis von Länge des Wellenbrechers zur Entfernung zur Küstenlinie liegt bei 0,71 ( $L_s/X = 122 \text{ m}/170 \text{ m}$ ). Dies fällt in die Klasse 0,5-1,0 und deutet darauf hin, dass sich auf der Lee-Seite des Wellenbrechers ein Salient formen wird.

Alternative 3: Diese Alternative sieht einen Wellenbrecher in Heidkate mehr als 490 m von der Küste entfernt vor. Da dort der Meeresgrund stark abfällt (4,0 m und mehr unter NN), besteht die Frage, ob es technisch machbar ist, dort einen Wellenbrecher zu errichten, der sowohl die Küste schützt, als auch neues Habitat bildet. Auf Grund von technischen und wirtschaftlichen Gründen wurde entschieden, sich bei dieser Alternative nur auf den Aspekt der Habitatverbesserung zu konzentrieren. Hierfür wurden die größtmöglichen Goliath Reef Balls ausgewählt um eine günstige Höhe des Wellenbrechers zu erreichen (mehr als 2 m unter NN). Durch die große Entfernung zur Küste, kann die Bildung einer Landzunge unter

den gegebenen Voraussetzungen (s. Kap. 4.1 Kriterien für das Design) nicht erreicht werden.

**Tabelle 5: Beschreibung Alternativen 2-4**

Alternative	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
<b>Lage</b>	Heidkate	Heidkate	Brasilien
<b>Zweck</b>	Küstenschutz und Schaffung von marinem Lebensraum	Schaffung von marinem Lebensraum	Küstenschutz und Schaffung von marinem Lebensraum
<b>Entfernung zur Küstenlinie, X (m)</b>	170	490	170
<b>Reef ball Typ</b>	Pallet Ball	Goliath und Goliath Booster Ring	Goliath und Goliath Booster Ring
<b>Länge des Wellenbrechers, L (m)</b>	2 x 122 (mit 60 m Freiraum dazwischen)	2 x 80 (mit 40 m Freiraum dazwischen)	2 x 100 (mit 50 m Freiraum dazwischen)
<b>Höhe des Wellenbrechers, H (m)</b>	0,88	2,52	2,52
<b>Breite des Wellenbrechers, W (m)</b>	~ 20	20	20
<b>Kammhöhe, F (m)</b>	- 1,2	- 2,0	- 2,0

Alternative 4: Brasilien hat einen stärker abfallenden Meeresboden. Daher kann hier ein Wellenbrecher mit beiden Funktionen (Küstenschutz und Habitatverbesserung) errichtet werden. Der Wellenbrecher wird mit 170 m Entfernung zur Küste und einer Kuppentiefe von über 2,1 m geplant. Das Verhältnis von Länge des Wellenbrechers (100 m) und der Entfernung zur Küste beträgt 0,58. Wie bei Alternative 8 wird hier von einer Landzungenbildung ausgegangen.

### 5.3 Alternative aus Reef Balls und Geotextil

Alternative 5: Diese Alternative sieht eine Kombination von Geotextile und Reef Balls vor Kalifornien vor (s. Tabelle 6). Sie liegt mit einer Entfernung von 300 m zur Küstenlinie und besteht aus zwei nebeneinander liegenden Geotextile Containern mit einer Länge von je 150 m und einem dahinter liegenden Reef Ball-Feld von 1000 m Länge. Die Reef Balls sind in Reihen angeordnet. Im Bereich des Rifffußes sind diese auf wenige Meter in 5 m Abstand angeordnet. Der Abstand untereinander nimmt mit seewärtiger Entfernung zu und beträgt bis zu 50 m.

Die Funktion der Anlage ist neben dem Küstenschutz die Errichtung von einem neuen marinen Lebensraum, der als Tauchrevier genutzt werden kann. Dafür bietet sich als Erweiterung evtl. auch zusätzlich ein natürlicher Geschiebemergel-Rücken östlich des Wellenbrechers an.

Das Verhältnis von Länge des Wellenbrechers zur Entfernung zur Küste beträgt 0,5 und lässt somit die Bildung neuer Landmassen im Lee-Schatten annehmen. Die Kammhöhe beträgt -0,5 m NN.

Tabelle 6: Beschreibung Alternative 5

<b>Alternative</b>	Alternative 5
<b>Lage</b>	Kalifornien
<b>Zweck</b>	Küstenschutz, Verbesserung der Tauchmöglichkeiten, Schaffung von marinem Lebensraum
<b>Entfernung zur Küstenlinie, X (m)</b>	300
<b>Baumaterial</b>	Geotextile Container, gefüllt mit Sand, Reef Balls
<b>Länge des Wellenbrechers, L (m)</b>	2 x 150 (mit Freiraum zwischen den Elementen)
<b>Höhe des Wellenbrechers, H (m)</b>	3,5
<b>Breite des Wellenbrechers, W (m)</b>	50
<b>Kammhöhe, F (m)</b>	-0,5
<b>Kammbreite, B (m)</b>	5

## 6 Numerische Modelle

Numerische Modelle können bei der Beurteilung von grundsätzlichen Trends aber auch von hochauflösenden Einzelaspekten von Auswirkungen von Baumaßnahmen im seewärtigen Küstenbereich unterstützend eingesetzt werden. Die Grundvoraussetzung ist, dass eine Verifizierung durch Naturdaten möglich ist. Dies war im Untersuchungsgebiet jedoch nicht der Fall, so dass die Ergebnisse nur auf Plausibilität hin bewertet werden konnten. Für diese Machbarkeitsstudie ist dies aber ausreichend.

Das Ziel ist, anhand von derartigen numerischen Modellen, unter Wasser liegende, riffartige Wellenbrecher in Bezug auf ihre Funktion des Küstenschutzes und der Habitatverbesserung zu vergleichen und so die geeignete Variante für das Untersuchungsgebiet zu ermitteln. Der wichtigste Punkt ist die Beurteilung von Sedimentationsvorgängen vor und nach der Errichtung der Küstenschutzmaßnahme. Als Modelle wurden MIKE Software-Modelle, entwickelt von DHI Water and Environment, angewandt:

- MIKE 21 Flow Hydrodynamic Model (HD) um hydrodynamische Prozesse zu modellieren,
- MIKE 21 Boussinesq Wave Model (BW) sowie MIKE 21 Elliptic Mild-Slope Wave Model (EMS) um die Effizienz der Riff-Struktur in Bezug auf Wellenabschwächung zu modellieren,
- LITPACK LITDRIFT sowie MIKE 21 ST Modelle um den küstenparallelen Sedimenttransport zu ermitteln.

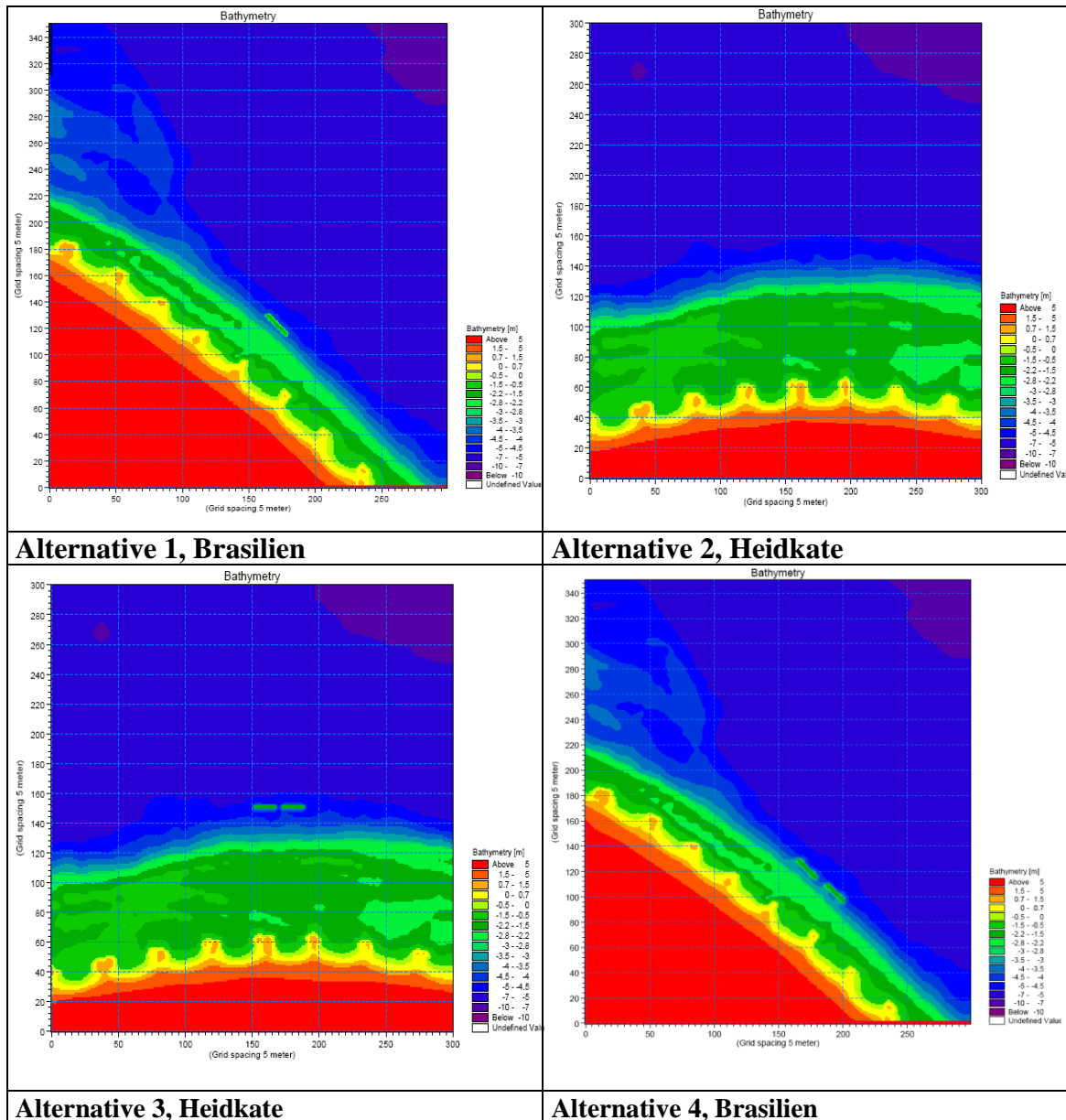
### 6.1 Datenvoraussetzungen und Herkunft für die numerische Modellierung

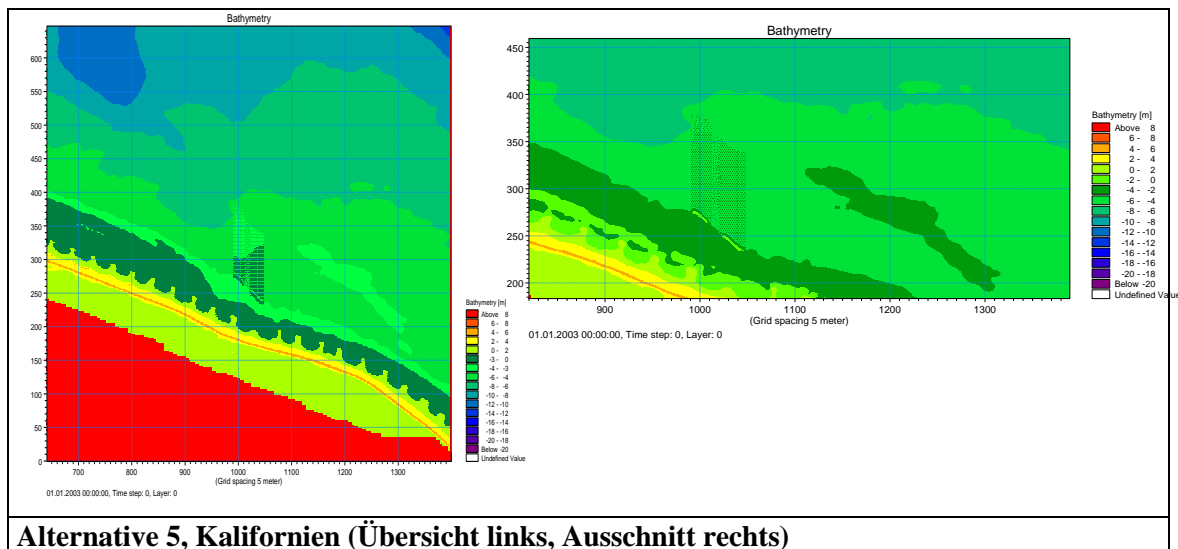
Eine genaue Vermessung des Meeresgrundes ist die Voraussetzung für die Erstellung eines numerischen Modells. Die Input-Daten müssen das Format XYZ besitzen, wobei sich XY auf die geographischen Koordinaten und Z auf die Höhe bezieht. Die Daten für die Berechnungen wurden vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie bezogen (Seegrund). Für die landseitige Begrenzung wurden Daten aus dem ALK (1X1m) benutzt. Die Daten des BSH und des ALK wurden mit dem Programm Surfer 10 nach dem Kriging-Verfahren in ein 5X5m Raster überführt. Das Untersuchungsgebiet an den Standorten Brasilien und Heidkate (1-4) wurde so klein gehalten, dass die Zeit der Simulation verringert werden konnte, aber dennoch alle relevanten Faktoren beinhaltet. Demnach wurde eine

## Zukunftsmanagement Strand

1.500 m x 1.500 m Fläche für das Gebiet bei Heidkate und eine 1.500 m x 1.750 m Fläche für Brasilien ausgewählt. Für Alternative 5 (Kalifornien) wurde eine Fläche von 7.000 m x 3.250 m betrachtet. Ein Raster von 5 m x 5 m wurde über die 2D-Skizzen der künstlichen Riff-Wellenbrecher gelegt.

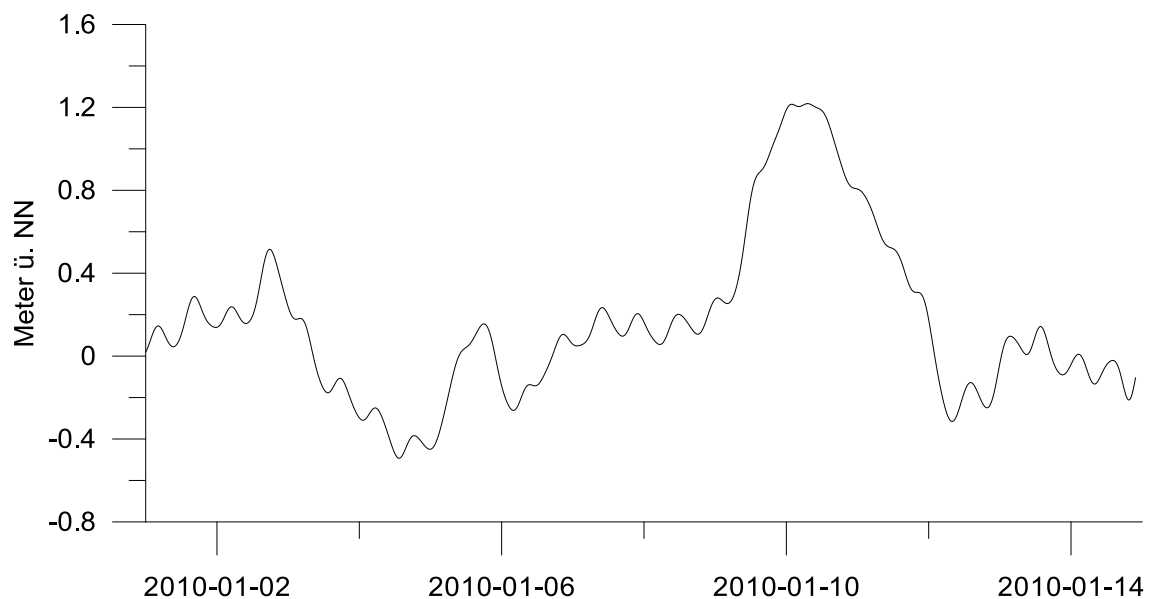
Die Bathymetrie inklusive der modellierten Wellenbrecher der verschiedenen Alternativen ist in Abbildung 21 dargestellt.





**Abbildung 21: Bathymetrie des Untersuchungsgebietes und Position der Wellenbrecher** (Quelle: Kliucininkaite 2011, Eigene Darstellung)

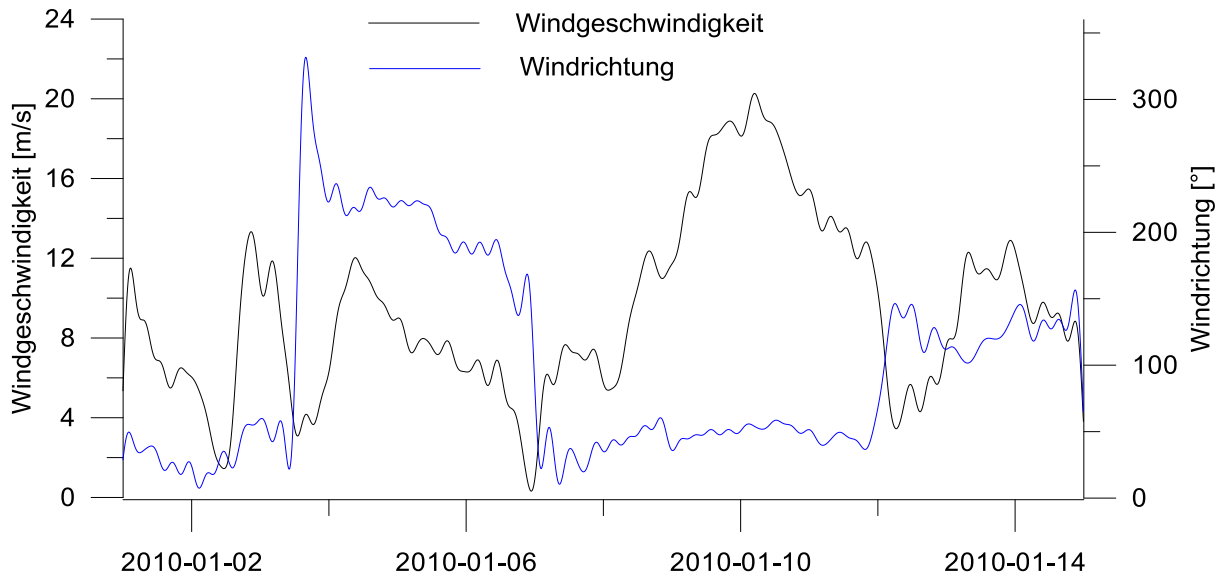
Die Daten zu den Wellenstrukturen im Untersuchungsgebiet wurden von der Universität Rostock bezogen und stammen aus dem Zeitraum vom 1.1.2010 bis 8.6.2010. Diese stammen von einer weiter östlich liegenden Position und wurden auf die Messstation am Leuchtturm Kiel projiziert. Die daraus ermittelten Werte der Wellen (u.a. Höhe, Richtung, Periode und Dauer) konnten auf die Probstei angewandt werden. Aus diesen Daten wurde die Hauptrichtung der Wellen mit Nordost und Nordwest als treibende Kraft für den Sedimenttransport ermittelt. Allerdings muss beachtet werden, dass der Sedimenttransport eine Summe aus allen Wellenzuständen ist und nicht nur durch eine Richtung bestimmt wird. Zusätzlich wurden Daten von Sturm Daisy (09.01.-10.01.2010), als klassisches Beispiel für ein mittleres Sturmereignis, benutzt, um die hydrodynamischen Prozesse für das Untersuchungsgebiet zu modellieren. Diese bezogen sich auf den Zeitraum vom 1.1.2010 bis 14.1.2010. Der höchste Wasserpegel in dieser Zeitreihe betrug 1,2 m (s. Abbildung 22).



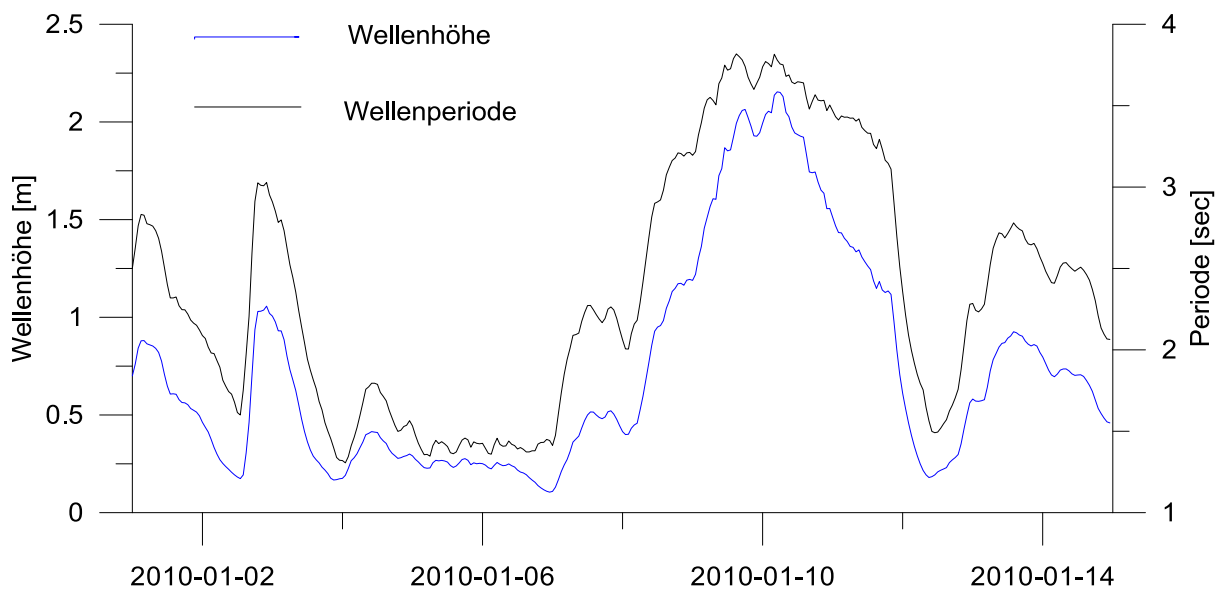
**Abbildung 22: Pegelstände am Leuchtturm Kiel während des Sturms Daisy** (Quelle: Eigene Darstellung)

Für die Windrichtung und -geschwindigkeit in dem Untersuchungsgebiet wurden Winddaten aus dem gleichen Zeitraum wie die Daten zur Wellenmodellierung verwendet. Die Daten für die Erstellung der numerischen Modelle stammen vom Leibniz Institute of Marine Sciences und der Christian-Albrechts Universität Kiel.

Einen Überblick über die Verläufe von Wind und Welle während des Sturmtiefs Daisy am Leuchtturm Kiel liefern die folgende Abbildungen (Abbildung 23 und Abbildung 24).



**Abbildung 23: Windgeschwindigkeit und Windrichtung am Leuchtturm Kiel (Quelle: Eigene Darstellung)**



**Abbildung 24: Wellenhöhe und Wellenperiode am Leuchtturm Kiel (Quelle: Eigene Darstellung)**



Um die Sedimentverhältnisse der Untersuchungsgebiete in die Modellierung einfließen zu lassen, wurden auf Grundlage von Literaturrecherche Sedimenttypen definiert und als Input-Daten eingefügt. Dazu gehören (1) Lehm, Ton, Schlick, (2) feiner Sand, (3) mittlerer Sand und (4) grober Sand, Kies und Geröll. Für das Untersuchungsgebiet sind vor allem feine und mittlere Sande relevant.

## 7 Effizienz der Wellenbrecher in Bezug auf die Abschwächung der Wellen

### 7.1 Ergebnisse des Transmissions-Koeffizienten

Die Effizienz der Wellenbrecher in Bezug auf die Abschwächung der Wellen wird mit dem Transmissions-Koeffizienten  $K_t = H_t/H_i$  bestimmt ( $K_t$  = Wave transmission coefficient,  $H_t$  = Höhe der Welle auf der Landseite des Wellenbrechers,  $H_i$  = Höhe der Welle auf der Seeseite des Wellenbrechers). Wenn der Transmissions-Koeffizient gleich 1 ist, deutet dies darauf hin, dass die Welle nicht abgeschwächt wurde. Demnach bedeutet ein Koeffizient von 0, dass die Welle vollständig gestoppt wurde. Dabei muss beachtet werden, dass diese Daten sich nur auf numerische Modelle und nicht auf erhobene Werte beziehen.

Abbildung 25 zeigt die Ergebnisse der Wellensimulation für die untersuchten Alternativen 1 bis 4.

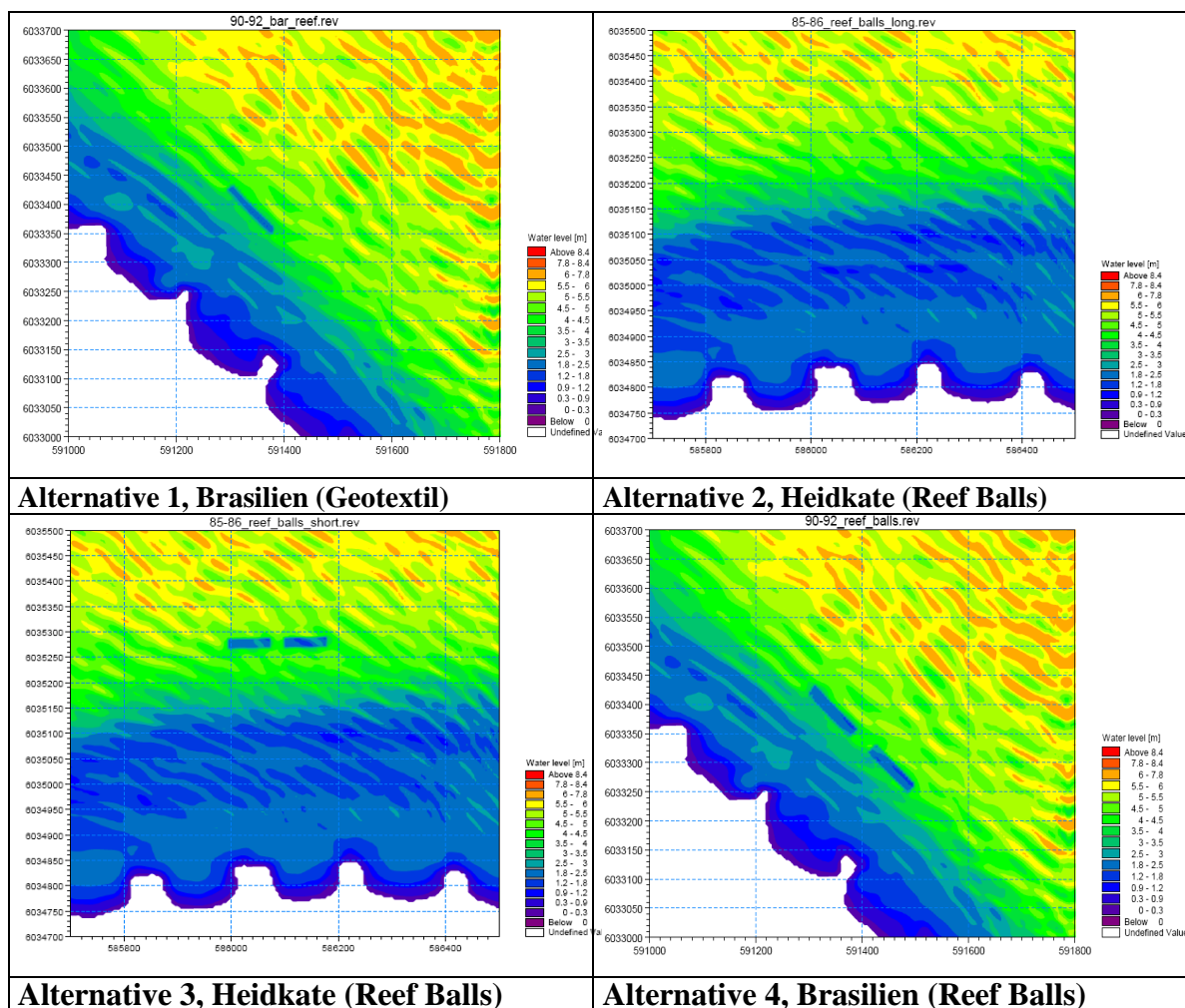


Abbildung 25: Ergebnisse der Wellensimulation mit MIKE 21 Boussinesq für die Alternativen 1-4 (QUELLE: KLIUCININKAITE 2011)



Zwischen den Alternativen 1-4 waren kaum Unterschiede in Bezug auf den Transmissionskoeffizient festzustellen. Dennoch zeigten Alternative 3 und 4 (beide aus Reef Balls) mit einem Koeffizient von 0,68 bis 0,83 die besten Ergebnisse. Gefolgt von Alternative 1 mit einem Wert von 0,86. Alternative 2 (0,78 bis 0,96) ist die am wenigsten effiziente der vier Vorgestellten. Es ist interessant festzustellen, dass Alternative 3 hier die besten Ergebnisse zeigt, obwohl sie nur für den Zweck der Habitatverbesserung vorgesehen war. Alternative 5, die als Küstenschutzmaßnahme konzipiert ist, weist Transmissionskoeffizienten zwischen 0,24 und 0,58 auf.

## 7.2 Ergebnisse des Sedimenttransportes

Der Sedimenttransport wurde mit dem Model LITPACK ermittelt. LITPACK (LITDRIFT) ist ein numerisches 2D-Modell, welches die Wellenenergie an jedem Punkt des Profils berechnet. Anhand von Sedimenttransportformeln wird der Sedimenttransport ermittelt. Als treibende hydrodynamische Kräfte werden folgende Parameter berücksichtigt:

- Häufigkeit des Ereignisses
- Wellenhöhe
- Wellenanlaufrichtung
- Wellenperiode
- Wasserstand
- Spectral Verteilung
- Spreading Faktor
- Strömungsgeschwindigkeit
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Wind friction Faktor

Als sedimentologisch/bathymetrische Parameter werden berücksichtigt:

- Tiefenprofil
- Rauigkeit
- Mittlere Korngröße
- Sinkgeschwindigkeit des Sediments
- Geometrisches Spreading
- Sowie untergeordnete Parameter wie Rippelkonstanten etc.

Die Distanz zwischen den Punkten auf dem Profil beträgt 5m.

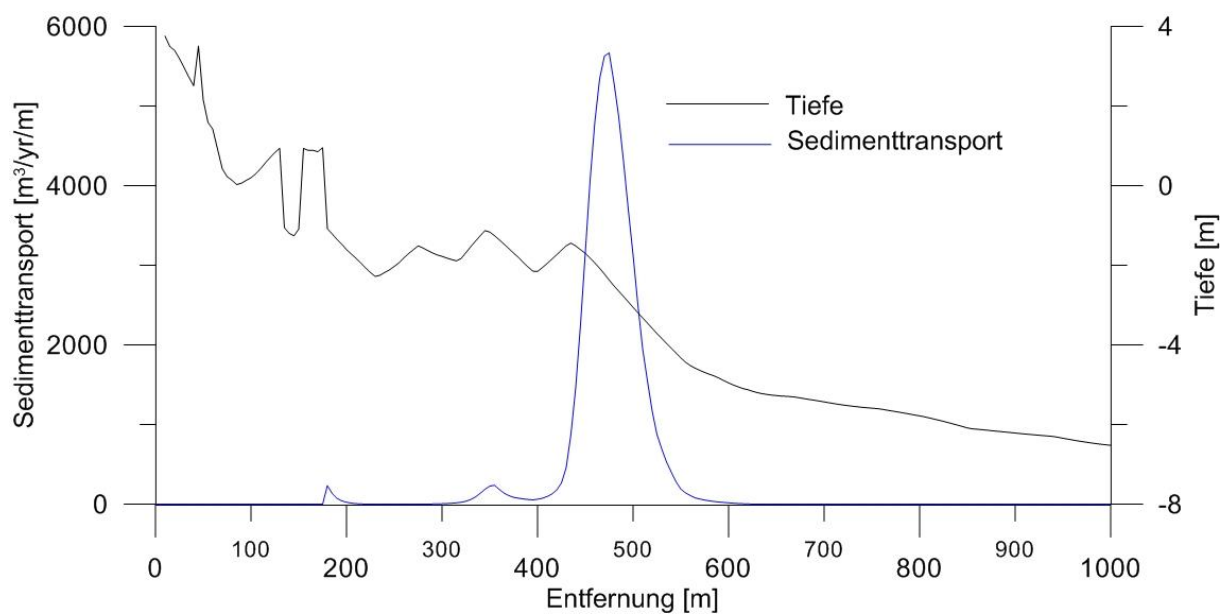
Die Ergebnisse werden in Form von kumulativen Netto- und Brutto-Sedimenttransportraten in  $\text{m}^3/\text{Jahr}$  dargestellt. Die Effizienz der Wellenbrecher wurde abhängig vom kumulativen Sedimenttransport pro Jahr bestimmt. Da viele dieser Eingangsdaten nicht aus Naturmessungen vorlagen, wurde auf Literaturdaten oder Standardwerte zurückgegriffen. Im

Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wurden die Rahmenbedingungen für alle Berechnungen konstant gehalten, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Um die Daten der numerischen Modelle zu überprüfen, sind Erhebungen von Feldforschungen ebenso notwendig wie Pilotprojekte oder physikalische Modelle.

*Profil 1:*

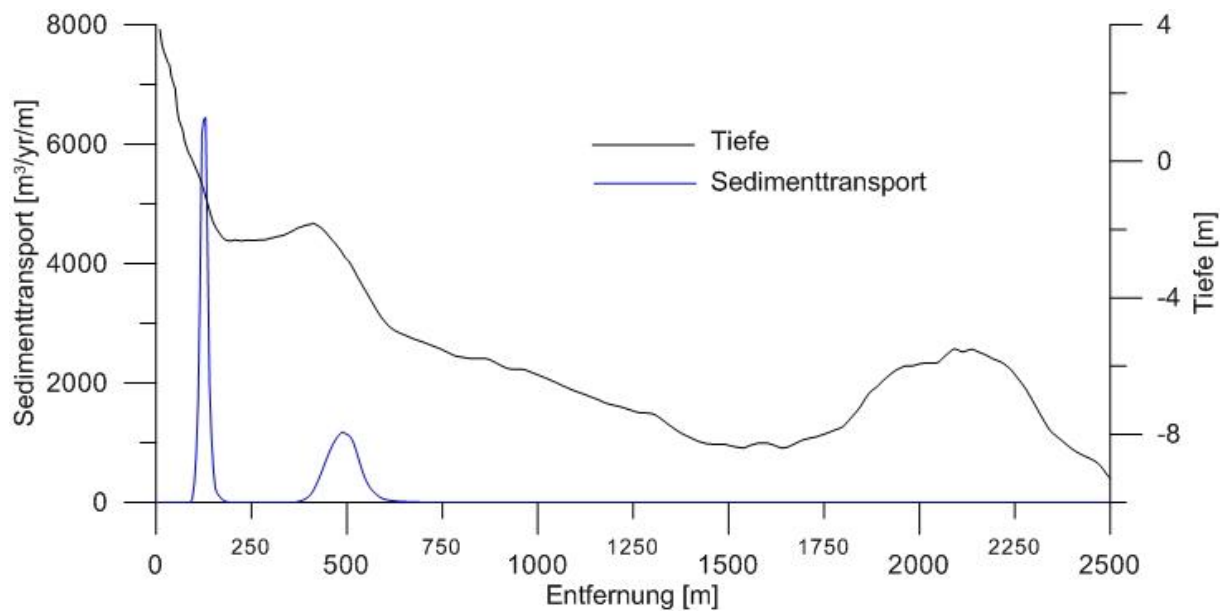
Auf Profil 1 (Abbildung 26) findet der größte Sedimenttransport bereits 400-450m vor der Küstenlinie statt und erreicht Spitzenwerte von  $5500\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ . Dies ist der Bereich wo die Wellen auf die seeseitige Neigung des äußersten Riffes treffen. Das mittlere Riff fängt dann die übriggebliebene Wellenenergie ab. Erst am Kopf der T-Buhne kommt es zu weiteren Sedimenttransporten.



**Abbildung 26: Profil 1** (Quelle: Eigene Darstellung)

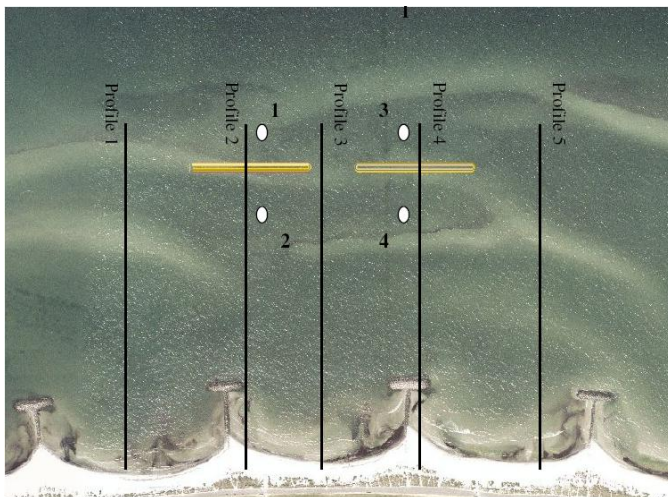
*Profil 2 (Alternative 2 und 3):*

Das Profil 2 (Abbildung 27) weist weit seewärts (2000m) eine Kuppe auf, die aber zu tief liegt, um hier bereits Wellenenergie in Sedimenttransport umzusetzen. Die Wellenenergie wird anfänglich am seeseitigen Hang des in Sedimenttransport ( $1000\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ ) umgesetzt. Der Hauptsedimenttransport (ca.  $7000\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ ) findet direkt im nahen Vorstrandbereich statt.

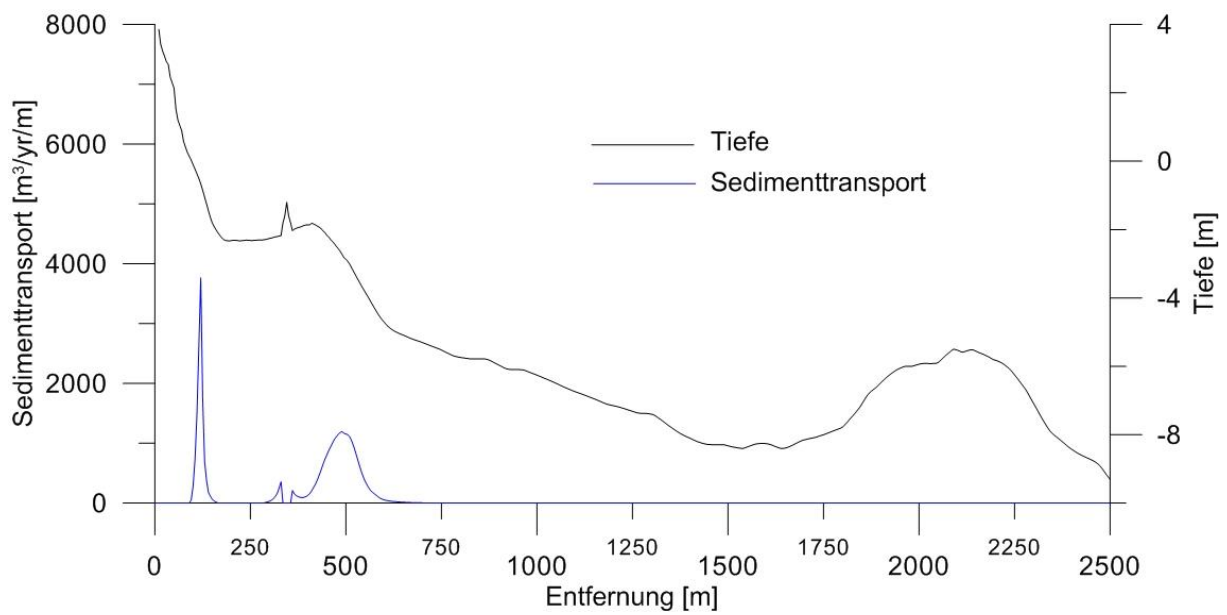


**Abbildung 27: Profil 2** (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Alternative 2 (Abbildung 28 und 29) stellt einen doppelten Wellenbrecher mit einer Rippstromöffnung da. Auch hier wird die Wellenenergie am seeseitigen Hang stark reduziert. Der Wellenbrecher selbst reduziert die einlaufende Wellenenergie nur leicht. Die Hauptumsetzung der Energie in Sedimenttransport findet nach wie vor im nahen Vorstrandbereich statt. Insgesamt wird der Sedimenttransport um ca. 20% gegenüber dem Originalprofil reduziert.

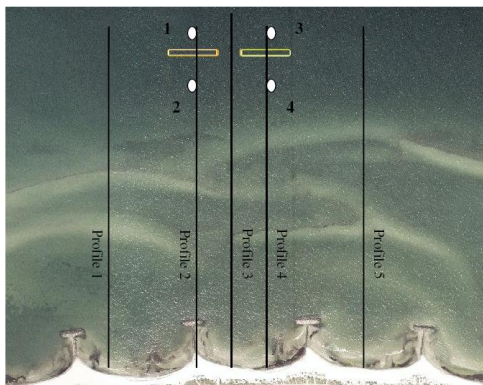


**Abbildung 28: Übersicht Alternative 2** (Quelle: Kliucininkaite 2011, Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH)



**Abbildung 29: Profil 2 mit Alternative 2** (Quelle: Eigene Darstellung)

Alternative 3 (Abbildung 30 und 31) besteht aus einem doppelten Wellenbrecher mit Rippstromöffnung seeseitig des Riffs. Der Sedimenttransport findet hier am Fuße und in Lee sowie im nahen Vorstrandbereich statt (ca. 6000m<sup>3</sup>/yr/m). Insgesamt wird der Sedimenttransport durch die Maßnahme nicht reduziert sondern erhöht sich leicht.



**Abbildung 30: Übersicht Alternative 3** (Quelle: Kliucininkaite 2011, Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH)

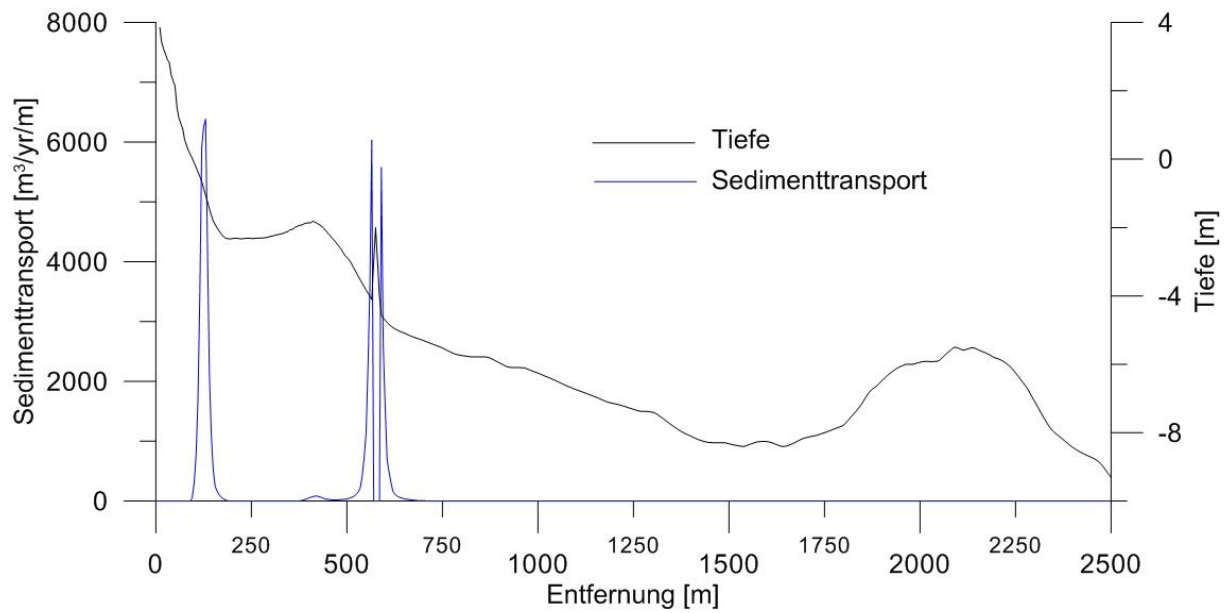
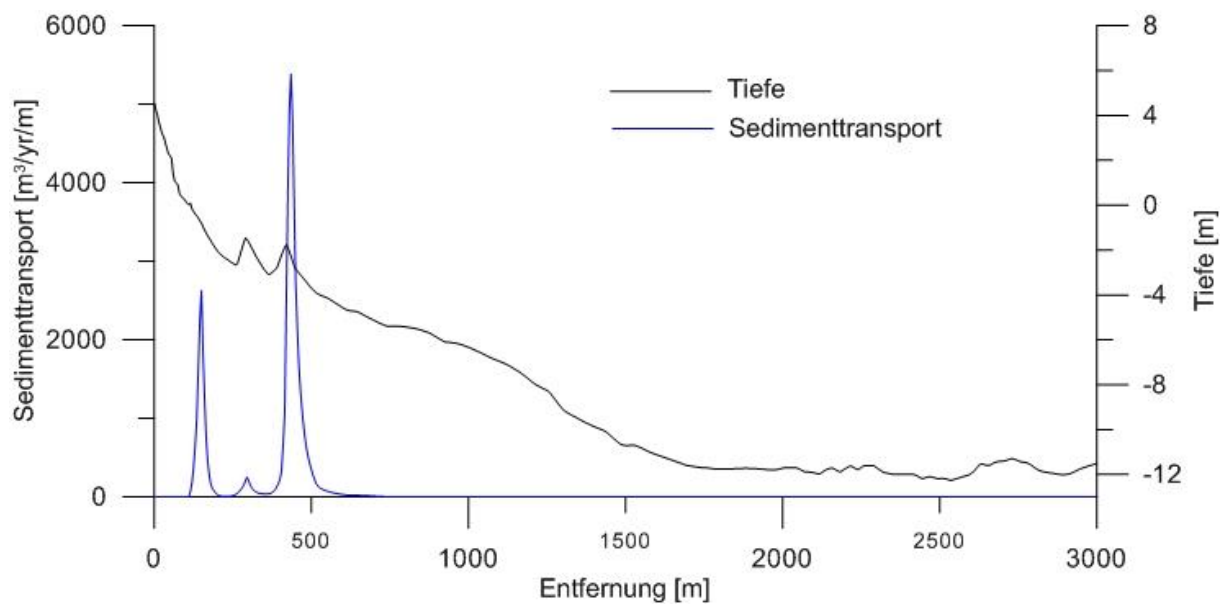


Abbildung 31: Profil 2 mit Alternative 3 (Quelle: Eigene Darstellung)

Profil 3:

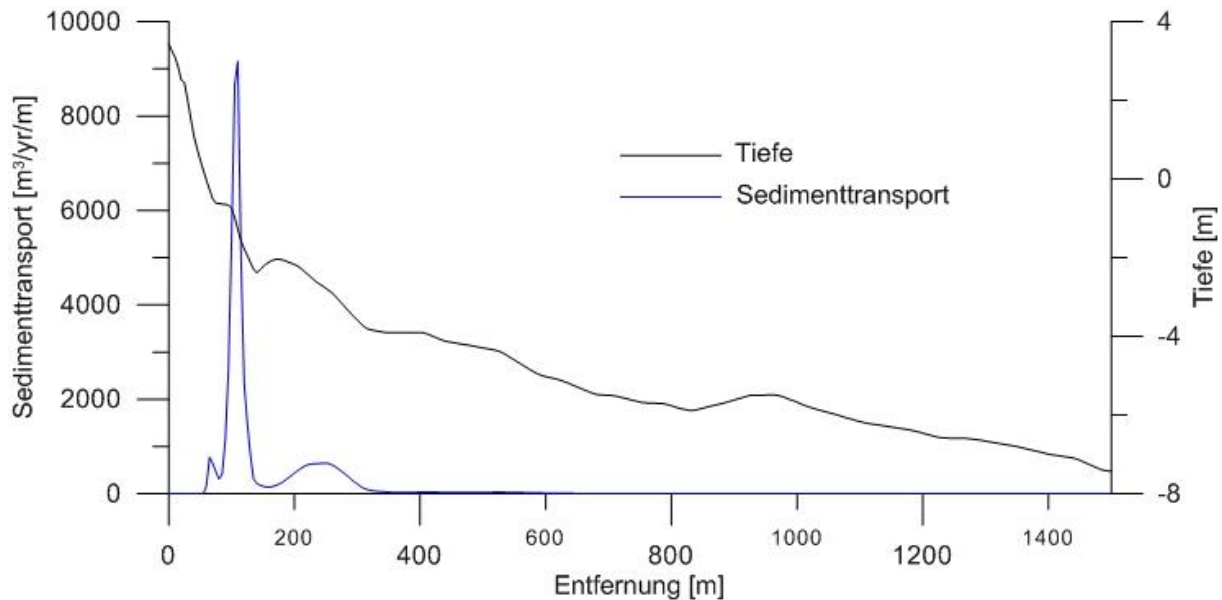
Im Profil 3 (Abbildung 32) findet der überwiegende Sedimenttransport am seeseitigen Riffhang statt (5500m³/yr/m). Das landnähere Riff reduziert die übriggebliebene Wellenenergie nur geringfügig. Diese wird auf dem Unterwasserstrand in Sedimenttransport umgesetzt.



a) Abbildung 32: Profil 3 (Quelle: Eigene Darstellung)

**Profil 4 (Alternative 5):**

Das Profil 4 (Abbildung 33) weist nur ein Riff auf. Dieses Riff reduziert die Wellenenergie nur geringfügig (ca.  $600\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ ). Der überwiegende Sedimenttransport findet auf dem Unterwasserstrandhang statt (ca.  $9000\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ ).



**Abbildung 33: Profil 4** (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Alternative 5 (Abbildung 34 und 35) ist als doppelter Wellenbrecher mit einer Rippstromöffnung ausgebaut. Am FuÙe befinden sich Reef Balls als Kolkschutz. Diese wurden seewärtig verlängert, um hier ein Tauchrevier einzurichten und eine Habitatverbesserung zu erreichen. Auf Abbildung 34 ist exemplarisch das Strömungsregime vom 12.01.2010 dargestellt. Deutlich ist hier die abschirmende Wirkung der Wellenbrecher zu erkennen. Im Rippstrom tritt eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit auf. Am seeseitigen Fuß des Bauwerkes kommt es zu Erosionserscheinungen (hier nicht dargestellt), die durch Reef Balls ausgeglichen/verhindert werden.

Durch diese BaumaÙnahme wird die Wellenenergie nahezu vollständig vom dem Wellenbrecher aufgezehrt. Am Fuß treten Sedimenttransporte (ohne Reef Balls) von bis zu  $9500\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$  auf. Das landseitige Riff wird entlastet und die übriggebliebene Wellenenergie wird am seeseitigen Strandhang aufgezehrt. Insgesamt wird der Sedimenttransport um 60% gegenüber dem Originalprofil reduziert.



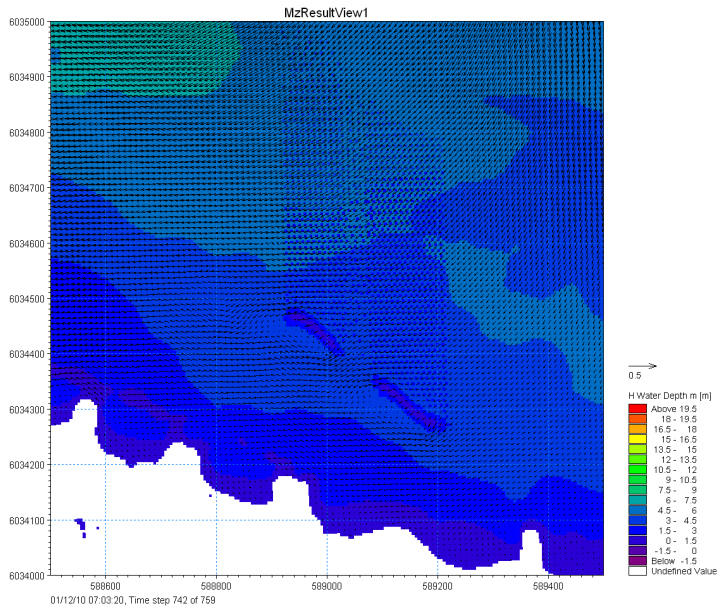


Abbildung 34: Strömungsvektoren Alternative 5 (Quelle: Eigene Darstellung)

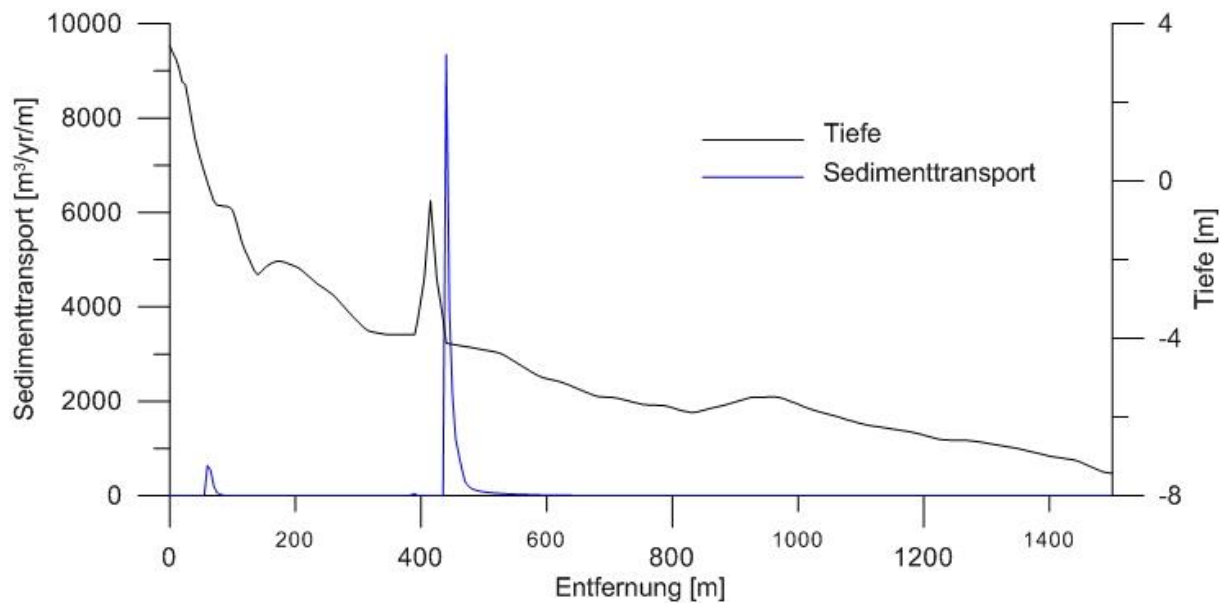


Abbildung 35: Profil 4 mit Alternative 5 (Quelle: Eigene Darstellung)

*Profil 5:*

Profil 5 (Abbildung 36) weist eine relativ breite Sedimenttransportzone mit zwei Sedimenttransportmaxima (2000m<sup>3</sup>/yr/m bzw. 2500m<sup>3</sup>/yr/m) auf. Diese treten jeweils an den Steigungen im Profil auf. Da hier kein Riff oder eine riffartige Struktur vorhanden ist, findet in dem gesamten Bereich bis ca. 4m Wassertiefe Sedimenttransport statt. Gegenüber Profil 1 z. B. beträgt der Sedimenttransport hier nur 70%.



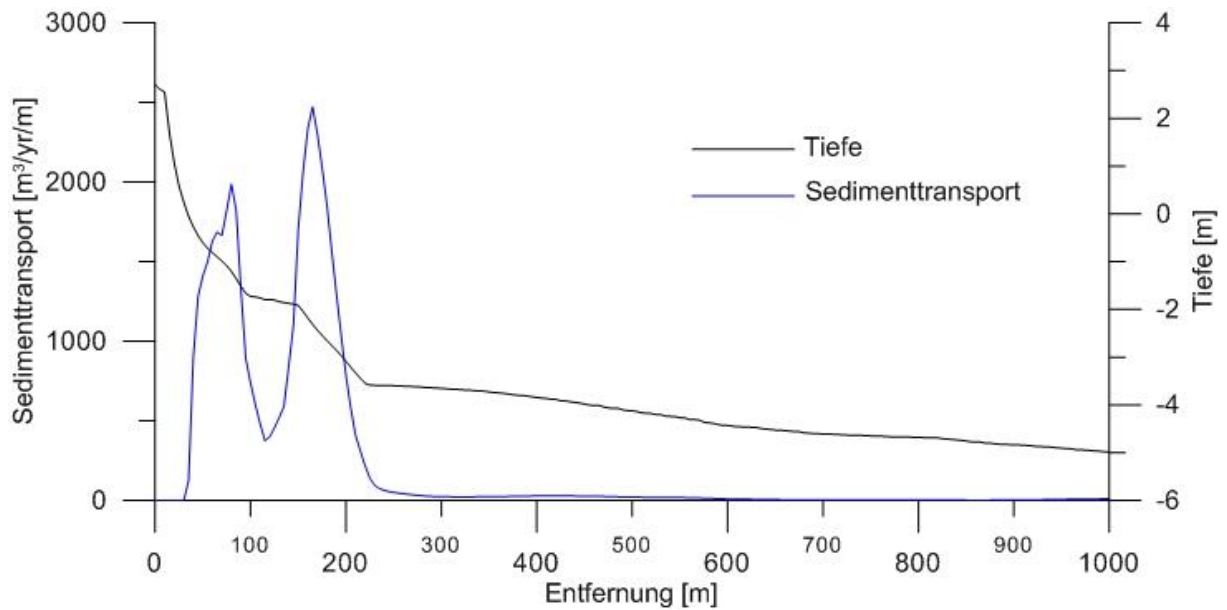


Abbildung 36: Profil 5 (Quelle: Eigene Darstellung)

Profil 6 (Alternative 1 und 4):

Das Profil 6 (Abbildung 37) weist die höchsten Sedimenttransporte am seeseitigen Riffhang auf (ca.  $2500\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ ). Auf dem relativ flachen und breiten Vorstrand finden ebenfalls Sedimenttransporte bis zu  $1700\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$  statt.

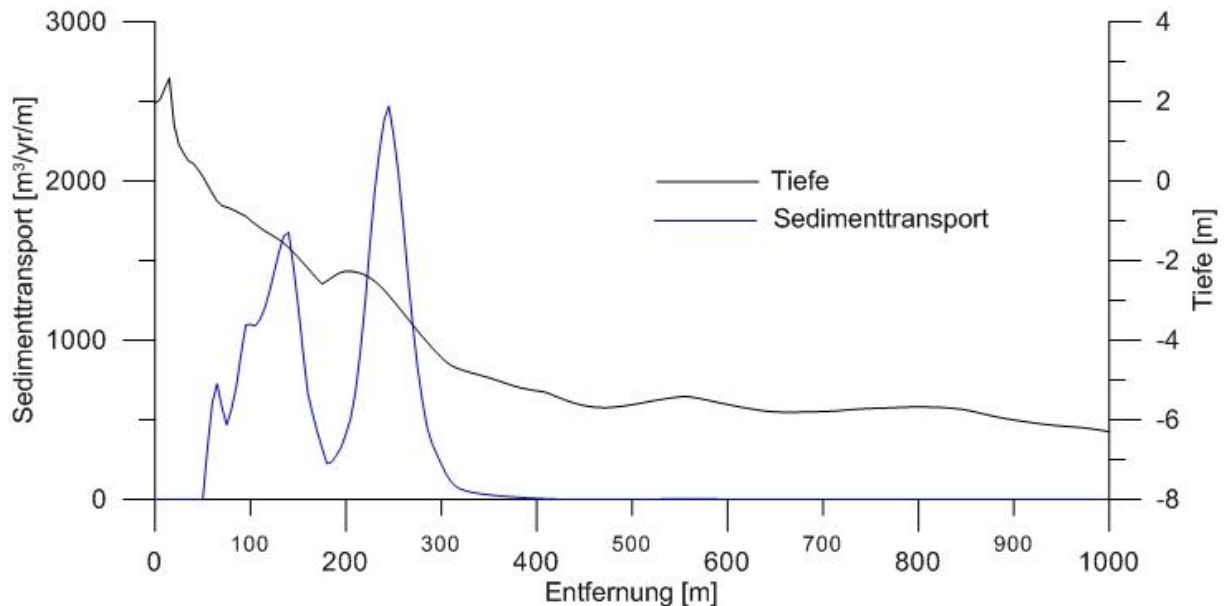


Abbildung 37: Profil 6 (Quelle: Eigene Darstellung)

Alternative 1 und 4 unterschieden sich nur im Baumaterial und in der Breite des Bauwerkes. Alternative 1 (Abbildung 38) stellt einen durchgehenden Wellenbrecher da, Alternative 4 (Abbildung 39) einen Doppelwellenbrecher mit Rippstromöffnung. Das zugrunde liegende Profil ist daher für beide Maßnahmen identisch. Der überwiegende Sedimenttransport findet am Fuß vor dem Wellenbrecher statt und beträgt bis zu  $8500\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$ . Hinter dem Wellenbrecher und noch vor dem Riff sind noch bis zu  $2000\text{m}^3/\text{yr}/\text{m}$  an Sedimenttransport

erkennbar. Die Veränderungen des Sedimenttransports auf dem seeseitigen Strandhang sind nur marginal. Insgesamt wird der Sedimenttransport um 29% gegenüber dem originalen Profil verringert.



**Abbildung 38: Übersicht Alternative 1** (Quelle: Kliucininkaite 2011, Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH)



**Abbildung 39: Übersicht der Profile in Alternative 4** (Quelle: Kliucininkaite 2011, Luftbilder: © GeoBasis-DE/LVermGeo SH)

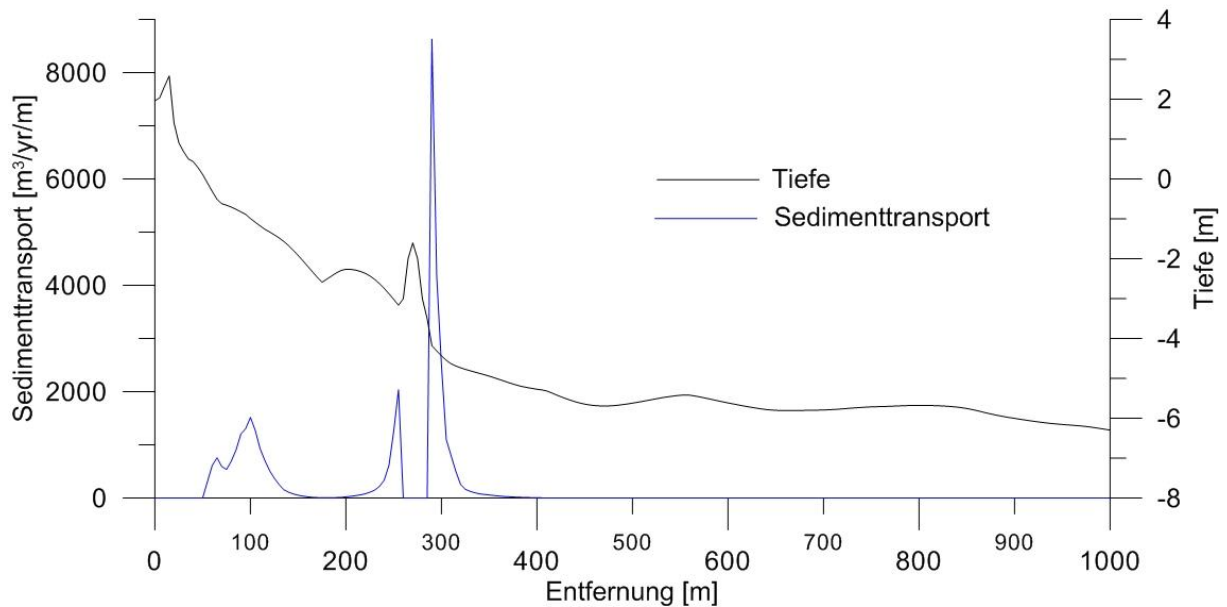


Abbildung 40: Alternative 1 und 4 (Quelle: eigenen Darstellung)

## 8 Diskussion/Empfehlung

Wie die vorliegenden Untersuchungen gezeigt haben, ist eine Bemessung von einer Baumaßnahme, die mehrere Funktionen erfüllen soll, von vielen Parametern abhängig und nicht durch allgemeingültige Regeln bestimmbar. Die Alternativen 1-4 sind küstenschutztechnisch nicht so wirkungsvoll wie die Alternative 5, weisen aber für Taucher gute Bedingungen auf. Diese Alternativen werden von Benthos besiedelt werden und tragen damit zur Habitatverbesserung bei.

Bei allen Baumaßnahmen kommt es zu Erosion am seeseitigen Fuß des Wellenbrechers, besonders bei Alternative 3 und 5. Dies sollte durch Reef Balls oder Steinschüttungen verhindert werden. Der seeseitige Wellenbrecherfuß kann dann als Tauchrevier genutzt werden. Die Kolkenschutzsicherung durch Reef Balls wird hier auch positiv auf die Fischpopulation wirken (Brutstätte und Nahrungsgebiet).

Da die größten Kosten für die Errichtung der Wellenbrecher im Rahmen einer derartigen Maßnahme anfallen, sollte hier auch der größte Nutzen auch in der Wirkung als Küstenschutzmaßnahme liegen.

Es gibt bereits zahlreiche Tauchreviere in der Kieler Bucht, die alle mehr oder minder separiert voneinander und auch von anderen Aktivitäten bewirtschaftet werden. Im Sinne einer nachhaltigen integrierten Entwicklung ist es daher ratsam, die Tauchbasenbetreiber in ein Entwicklungskonzept mit einzubinden. Hierzu müsste eine Bestandsanalyse (SWOT) durchgeführt werden. Schwächen einzelner Tauchreviere müssten daraufhin beleuchtet werden, ob durch sowieso notwendige Küstenschutzmaßnahmen hier Abhilfe geschaffen werden könnte. Die Tauchbasen sollten sich abstimmen, welche besonderen Highlights (Unterwasser aber auch als Zusatzangebot in Tauchreviernähe) sie zu bieten haben. Ein gemeinsames Vermarktungskonzept, ähnlich wie die Skipässe in den Alpen, könnte hier für höhere Resonanz bei den Tauchern führen.

## 9 Literaturverzeichnis

- BOCK, G. M., THIERMANN, F., RUMOHR, H., KAREZ, R. (2003): Ausmaß der Steinfischerei an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste. In: Jahresbericht Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2003, <http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/jahrbe03/Steinfischerei.pdf>
- BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (2009): Umweltbericht zum Raumordnungsplan für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) in der Ostsee, [http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik\\_und\\_Wind/Raumordnung/3-Umweltbericht\\_Ostsee.pdf](http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik_und_Wind/Raumordnung/3-Umweltbericht_Ostsee.pdf)
- DETTE, H., STEPHAN, H.-J. (1979): ÜBER DEN SEEGANG UND SEEGANGSWIRKUNGEN IM KÜSTENVORFELD DER OSTSEE. IN: MITTEILUNGEN DES LEICHTWEIß-INSTITUTS FÜR WASSERBAU TU BRAUNSCHWEIG, BD. 65, 1979, 89-138
- GEYER, O. F., LEINFELDER, R. (HRSG.) (1995): DIE DEUTSCHE OSTSEEKÜSTE. SAMMLUNG GEOLOGISCHER FÜHRER, BD. 88. BERLIN, STUTTGART: BORNTREAGER
- HILLER, J. (2006): PILOTPROJEKT RIFF IN MECKLENBURG-VORPOMMERN, ABSCHLUSSBERICHT TEIL 2: GRUNDSÄTZLICHE AUSSAGEN ZUR POTENTIELLEN NUTZUNG KÜNSTLICHER RIFFE DURCH SPORTTAUCHER IN KÜSTENGEWÄSSERN UND BINNENGEWÄSSERN MECKLENBURG-VORPOMMERN. – LMS LANDWIRTSCHAFTSBERATUNG GMBH, [HTTP://WWW.RIFF-NIENHAGEN.DE/PDF/ANGLER\\_TAUACHERBEFRAGUNG\\_2006/2006\\_ABSCHLUSSBERICHT\\_RIFF\\_TEIL2\\_TAUCHERNUTZUNG.PDF](http://www.riff-nienhagen.de/pdf/angler_tauscherbefragung_2006/2006_abschlussbericht_riff_teil2_tauschernutzung.pdf)
- KAREZ, R., SCHORIES, D. (2005): DIE STEINFISCHEREI UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE WIEDERANSIEDLUNG VON FUCUS VESICULOSUS IN DER TIEFE. IN: ROSTOCK. MEERESBIOLOG. BEITR. 14, 2005, 95-107
- KLIUCININKAITE, L. (2011): MODELLING ARTIFICIAL REEF IN THE COASTLINE OF PROBSTEI. DIFFERENT POSITIONS AND SHAPES OF ARTIFICIAL REEF, SAFETY ANALYSIS OF CONSTRUCTION, ITS IMPACTS ON SEDIMENT TRANSPORT, EFFECTS ON MARINE FAUNA. IMPACT ANALYSIS ON INCREASE OF DIVING RECOURSES. CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT KIEL (UNVERÖFFENTLICHT)
- FÜRHAUPTER, K., GRAGE, A., WILKEN, H., MEYER, TH. (2008): KARTIERUNG MARINER PFLANZENBESTÄNDE IM FLACHWASSER DER OSTSEEKÜSTE – SCHWERPUNKT FUCUS UND ZOSTERA. LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN – GEWÄSSER D22
- MANGOR, K., (2004): SHORELINE MANAGEMENT GUIDELINES. DHI WATER AND ENVIRONMENT, HORSHOLM, DENMARK
- MARILIM (2006): MACHBARKEITSSTUDIE UNTERWASSER-LEHRPFAD. (UNVERÖFFENTLICHT)
- MOHR, T., SCHEIBE, R. (2007): TAUCHEN AM KÜNSTLICHEN RIFF VOR NIENHAGEN – TOURISTISCHE NUTZUNG EINER FISCHEREI-WIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNGSANLAGE. IN: GREIFSWALDER BEITRÄGE ZUR REGIONAL-, FREIZEIT- UND TOURISMUSFORSCHUNG; Bd 17, 2007, 8-20
- SANDROCK, S., SCHARF, E.-M. (2007): MONITORING DER BEWUCHSENTWICKLUNG AM KÜNSTLICHEN RIFF NIENHAGEN. ENDBERICHT 2004-2006 – BIOPLAN GMBH, INSTITUT FÜR ANGEWANDTE BIOLOGIE UND LANDSCHAFTSPLANUNG, [HTTP://WWW.RIFF-NIENHAGEN.DE/PDF/BERICHTE\\_BIS\\_2006/BEWUCHSENTWICKLUNG\\_2004-2006.PDF](http://www.riff-nienhagen.de/pdf/berichte_bis_2006/bewuchsentwicklung_2004-2006.pdf)

SCHULZ, N. (2006): UNTERSUCHUNG DER WIRKUNG VON KÜNSTLICHEN HARTSUBSTRATEN AUF NATÜRLICHE HABITATE AM GROßRIFF NIENHAGEN. VERGLEICHENDE ERGEBNISSE 2003 BIS 2006, [HTTP://WWW.RIFF-NIENHAGEN.DE/PDF/BERICHT\\_BIS\\_2006/BERICHT\\_HABITATE\\_2003-2006.PDF](http://www.riff-nienhagen.de/pdf/berichte_bis_2006/bericht_habitate_2003-2006.pdf)

SCHWARZER, K. (1989): SEDIMENTDYNAMIK IN SANDRIFFSYSTEMEN EINER TIDEFREIEN KÜSTE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON RIPPSTRÖMEN. BERICHTE – REPORTS, GEOL.-PALÄONT. INST. UNIV. KIEL, NR. 33.

SCHWENKE, H. (1969): MEERESBOTANISCHE UNTERSUCHUNGEN IN DER WESTLICHEN OSTSEE ALS BEITRAG ZU EINER MARINEN VEGETATIONSKUNDE. IN: INT. REVUE GES. HYDROBIOL. 54/1, 35-94

SEAMAN, W., JR., JENSEN, A. C. (2000): PURPOSES AND PRACTICES OF ARTIFICIAL REEF EVALUATION. CRC PRESS, NEW YORK

SORDYL, H., GOSSELCK, F., SHAQUIRI, A., FÜRST, R. (2010): EINIGE ASPEKTE ZU MAKROZOOBENTHISCHEN LEBENSÄUMEN UND RAUMORDNERISCHEN SACHVERHALTEN IN MARINEN GEBIETEN DER DEUTSCHEN OSTSEE, [HTTP://DATABASES.EUCC-D.DE/FILES/DOCUMENTS/00000965\\_185-196.PDF](http://databases.eucc-d.de/files/documents/00000965_185-196.pdf)

[www.taucher.net](http://www.taucher.net) (19.8.2011)

[www.ostseediver.de.vu](http://www.ostseediver.de.vu) (19.8.2011)

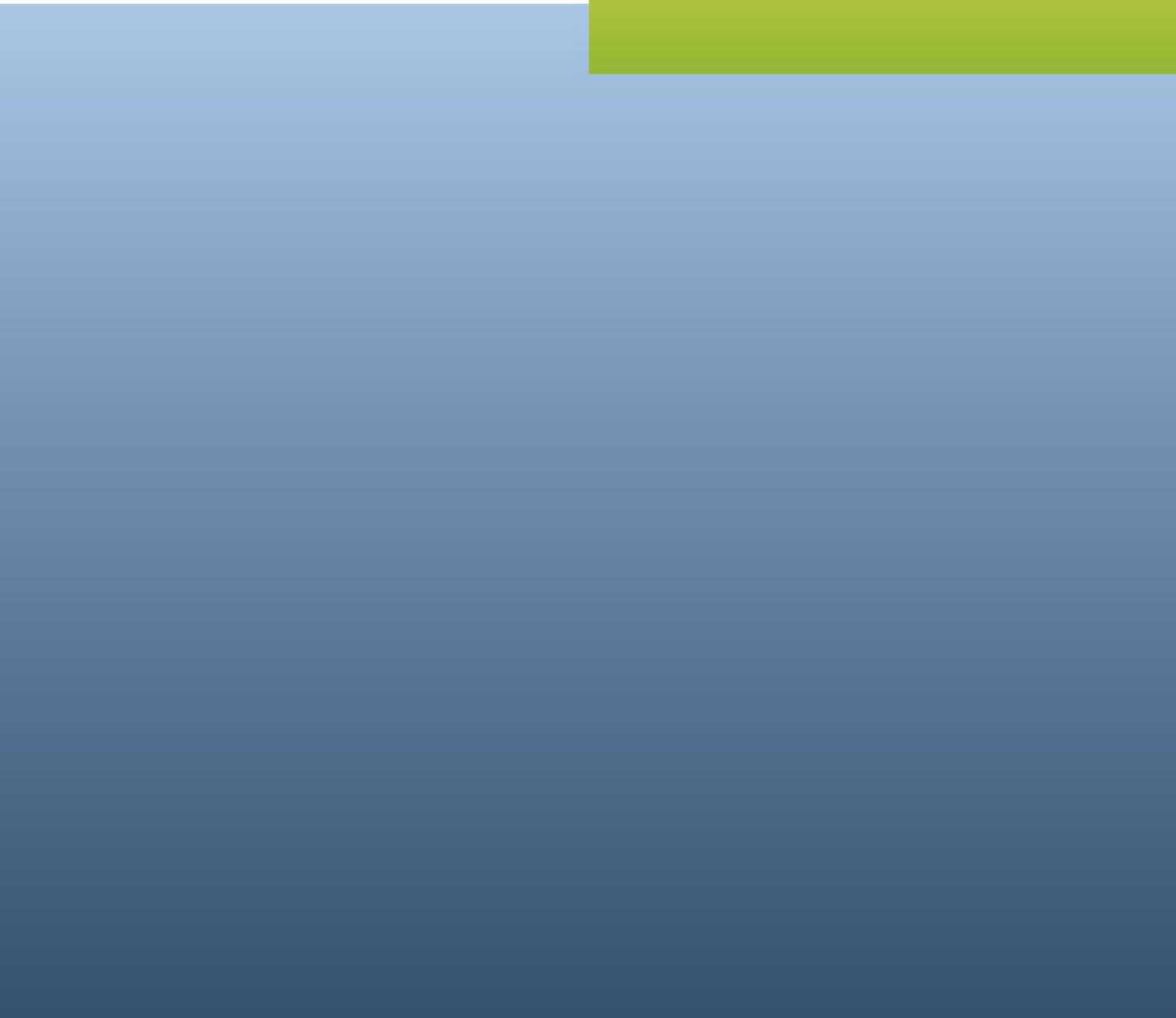
[www.asrltd.com/projects/](http://www.asrltd.com/projects/) (23.8.2011)

[www.reefball.org/](http://www.reefball.org/) (24.8.2011)

[http://specialtyfabricsreview.com/articles/1209\\_sw3\\_reef.html](http://specialtyfabricsreview.com/articles/1209_sw3_reef.html) (24.8.2011)

[www.artificialreefs.org/Articles/DieZeit.htm](http://www.artificialreefs.org/Articles/DieZeit.htm) (25.8.2011)





GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung