

Datum: 22.08.2016

## Schlussbericht des Verbundprojektes SECOS

**Berichtszeitraum 01.04.2013 bis 31.03.2016**

### Projektkoordination

Prof. Dr. Ulrich Bathmann

Dr. Eva-Maria Brodte / Dr. Friederike Kunz

Institut für Ostseeforschung

Seestrasse 15

18119 Rostock

Tel: 0381 5197100

Email: [direktor@io-warnemuende.de](mailto:direktor@io-warnemuende.de)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03F0666A–D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



---

**Zuwendungsempfänger:**

- Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)
- Department Maritime Systeme der Universität Rostock (Uni HRO)
- Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
- Zuse-Institut Berlin (ZIB)

**Förderkennzeichen:****03F0666**

---

**Vorhabenbezeichnung:**

Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren – Bewertung der Funktion mariner benthischer Systeme im Kontext menschlicher Nutzung – Dienstleistungen der Ostsee (SECOS)

The service of sediments in German coastal seas – evaluating function of marine benthic systems in the context of human use – service functions of the Baltic Sea (SECOS)

---

**Laufzeit des Vorhabens:**

01.04.2013 bis 31.03.2016

---

**Berichtszeitraum:**

01.04.2013 bis 31.03.2016

---

## Verbundvorhaben:

**Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren – Bewertung der Funktion mariner benthischer Systeme im Kontext menschlicher Nutzung – Dienstleistungen der Ostsee**

**(SECOS)**

**Teilvorhaben**

**Arbeitspakete (AP) 1, 2, 3 und 4**

**Schlussbericht 01.04.2013 bis 31.03.2016<sup>1</sup>**

An den Projektträger Jülich,  
PT für das Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

<b>Zuwendungsempfänger:</b>  Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)  Teilprojektleiter:  Prof. Dr. Ulrich Bathmann (AP 1,2,3,4), Prof. Dr. Helge Arz (AP 1), Prof. Dr. Heide Schulz-Vogt (AP2), Prof. Dr. Michael Böttcher (AP 2), Prof. Dr. Gregor Rehder (AP 2), Prof. Dr. Gerald Schernewski (AP 3, 4), Dr. Thomas Neumann (AP 3), Dr. Michael Zettler (AP 1), PD Dr. Lars Umlauf (AP 2)  <b>Verbundkoordinator:</b> Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)	<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>03F0666A</b>
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren (SECOS) – Teilprojekte: AP 1 Räumlicher Ansatz – Ostsee-Atlas, AP 2 (ohne Teilprojekt TP 2.2) Funktioneller Ansatz – Ostsee-Atlas, TP 3.1 Anpassungen des Sedimentmoduls und Simulation von Szenarien, TP 4.1 Ökosystem-Qualitätsindikatoren und Grenzwerte
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.04.2013 bis 31.03.2016
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.04.2013 bis 31.03.2016
<b>Bearbeiter:</b>	Dr. Franz Tauber, Dr. Thomas Leipe, Dr. Mayya Gogina, Dr. Michael Zettler, Prof. Dr. Helge Arz, Dennis Bunke, PD Dr. Lars Umlauf, Prof. Dr. Michael Böttcher, Dr. Jana Wölfel, Prof. Dr. Gregor Rehder, Prof. Dr. Heide Schulz-Vogt, Dr. Mercè Berga Quintana, Dr. Thomas Neumann, Dr. Hagen Radtke, Dr. René

<sup>1</sup> Schlussbericht gemäß Anlage 2 zu Nr.3.2 BNBest-BMBF 98

Friedland, Prof. Dr. Gerald Schernewski, Dr. Eva-Maria Brodte, Dr. Friederike Kunz, Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Marko Lipka, Kirstin Schulz

**Zuwendungsempfänger:**



Department Maritime Systeme der Universität Rostock

Teilprojektleiter:  
Prof. Dr. Gerhard Graf / PD Dr. Stefan Forster (AP 2)

**Verbundkoordinator:**

Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

**Förderkennzeichen:**  
**03F0666B**

**Vorhabenbezeichnung:**

Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren (SECOS) – Teilprojekt TP 2.2: Biologische Effekte auf den Partikelaustausch an der Sediment-Wasser Grenzschicht

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.04.2013 bis 31.03.2016

**Berichtszeitraum:** 01.04.2013 bis 31.03.2016

**Bearbeiter:** Prof. Dr. Gerhard Graf, PD Dr. Stefan Forster, Dr. Eva Brodte, Claudia Morys, Dr. Friederike Kunz

**Zuwendungsempfänger:**



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Teilprojektleiter:  
Dr. Jesko Hirschfeld (AP 4)

**Verbundkoordinator:**

Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

**Förderkennzeichen:**  
**03F0666C**


**Vorhabenbezeichnung:**

Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren (SECOS) – Teilprojekt TP 4.2: Monetäre Bewertung mariner Ökosystemleistungen

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.04.2013 bis 31.03.2016

**Berichtszeitraum:** 01.04.2013 bis 31.03.2016

**Bearbeiter:** Dr. Jesko Hirschfeld, Sandra Rajmis, Julian Sagebiel

<p><b>Zuwendungsempfänger:</b></p>  <p>Zuse-Institute Berlin (ZIB)</p> <p>Teilprojektleiter: Dr. Matthias Läuter (AP 3)</p>	<p><b>Förderkennzeichen:</b> 03F0666D</p>
<p><b>Vorhabenbezeichnung:</b> Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren (SECOS) – Teilprojekt TP 3.2: Verbesserung der Vorhersagekapazität der Modelle</p>	
<p><b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2013 bis 31.03.2016</p>	
<p><b>Berichtszeitraum:</b> 01.04.2013 bis 31.03.2016</p>	
<p><b>Bearbeiter:</b> Dr. Matthias Läuter, Florian Wende</p>	



## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
<i>I. Kurzdarstellung .....</i>	<i>10</i>
1.1 Aufgabenstellung .....	10
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	13
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	16
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde .....	25
1.4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für das Vorhaben verwendet wurden .....	29
1.4.2 Verwendete Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste .....	30
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	34
<i>II. Eingehende Darstellung .....</i>	<i>37</i>
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielt es Ergebnis im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele .....	37
Arbeitspaket 1 – Spatial Approach – Baltic Sea Atlas .....	37
Arbeitspaket 2 – Functional Approach – Assessing sediment services .....	58
Arbeitspaket 3 – Simulation of sedimentary ecosystem services and their changes under different external pressure scenarios .....	81
Arbeitspaket 4 – Baltic Sea quality indicators and ecosystem services .....	85
2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	90
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	90
2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	91
2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	94
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach BNBEST-BMBF 98, Nr. 6 ..	95
<i>III. Anhang .....</i>	<i>105</i>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1.1.	Projektkonzeption. Der Baltic Sea Atlas stellt das zentrale Projektprodukt dar. ....	10
Abbildung 1.3.1.	Lage der SECOS-Stationen mit Angabe des Sedimenttyps .....	19
Abbildung 2.1.1.	Regionale Verteilung der wichtigsten Sedimenttypen (Klassen) der deutschen Ostsee .....	40
Abbildung 2.1.2.	A) Kumulative Arten-Areal-Kurven mit Dominierenden Arten im Arkonabecken und der Oderbank; Gemeinschaften, Frühjahr 2015: <i>Pontoporeia femorata</i> , <i>Macoma balthica</i> , <i>Arctica islandica</i> , <i>Peringia ulvae</i> , <i>Mya arenaria</i> und <i>Cerastoderma glaucum</i> B) Die Ergebnisse der BTA (Biomasse-basiert Fuzzy Correspondence Analysis) .....	50
Abbildung 2.1.3.	Artenvielfalt, Abundanz, und Biomasse von Benthosgemeinschaften.....	51
Abbildung 2.1.4.	Modellierte räumliche Verteilung des Bioturbation-Potentials im deutschen Ostsee 53	
Abbildung 2.1.5.	Bewertung des Bioturbation-Potentials für einzelne SECOS Stationen (saisonaler Vergleich) .....	53
Abbildung 2.1.6.	Schwermetallgehalte eines Beispielkernes aus der Mecklenburger Bucht (EMB058/2-2). Deutlich zu erkennen ist der anthropogene Eintrag (roter Bereich) über den natürlichen Hintergrund (grüner Bereich und gestrichelte Linien). .....	57
Abbildung 2.1.7.	Organischer Schadstoffgehalt (PCBs und PAKs) im Vergleich zum Hg-Gehalt und zur <sup>137</sup> Cs-Aktivität eines Beispielkernes aus der Lübecker Bucht (EMB058/1-4). Deutlich zu erkennen ist der anthropogene Eintrag (roter Bereich) über den natürlichen Hintergrund (grüner Bereich und gestrichelte Linien). .....	57
Abbildung 2.1.8.	Modellgeometrie für die idealisierten GOTM/FABM-Simulationen. Die Koordinaten x und z bezeichnen die Richtungen parallel und normal zu einem Hang mit Hangneigung $\alpha$ . Die dünnen schwarzen Linien entsprechen Linien konstanter Dichte (Isopyknen). Der Vektor der Erdbeschleunigung ist mit g bezeichnet. Die grau-schattierte Region in Bodennähe kennzeichnet resuspendiertes Material. Abbildung aus Schulz und Umlauf (2016). .....	59
Abbildung 2.1.9.	Gezeigt sind (A) residuelle Geschwindigkeit in x-Richtung (siehe Abbildung 2.1.8) und Konzentration von suspendiertem Material, (B) residueller Sedimenttransport in x-Richtung und (C) effektive Sediment-Transportgeschwindigkeit. Abbildung aus Schulz und Umlauf (2016). .....	60
Abbildung 2.1.10.	Modellgebiete für das Wellenmodell SWAN für die gesamte Ostsee (große Karte) und für das SECOS-Arbeitsgebiet mit lokaler Gitterverfeinerung (Topographie in Farbe) .....	61
Abbildung 2.1.11	Zeitreihen der modellierten und beobachteten signifikanten Wellenhöhe an der MARNET Beobachtungsstation im Arkonabecken (siehe Abbildung 2.1.10) für Juli 2013. Abbildung aus Ebner (2015) .....	62
Abbildung 2.1.12.	Erosionsgefährdete Gebiete mit stark erhöhten welleninduzierten Geschwindigkeiten am Boden. Abbildung aus Ebner (2015) .....	62
Abbildung 2.1.13.	Teil des SECOS Studiengebietes im Bereich Arkonabecken/Tromper Wiek. In Farbe die Messstationen verschiedener SECOS-Projektfahrten. Kreuze stellen die Positionen verankerter Geräte dar, Linien die Transekten-Messungen mit der Turbulenz-Mikrostruktursonde. ....	64

Abbildung 2.1.14.	Transecte T2 über den südlichen Hang des Arkonabeckens (siehe Abbildung 2.1.13) während der SECOS-Messfahrt MSM50 mit FS Merian (siehe Tabelle 2.1.5). Die Abbildung zeigt die Trübung (oben) und die turbulenten Dissipationsrate als ein Maß für die Turbulenz (in logarithmischer Skala). Weiße Linien stellen Isopyknen dar (Linien konstanter Dichte). Die schwarzen Marker am oberen Rand markieren die Positionen der einzelnen mit der MSS90 Turbulenzsonde gemessenen Profile. 65	
Abbildung 2.1.15.	Resuspensionsschwelle der Sedimente im jahreszeitlichen Vergleich. Strömungsgeschwindigkeit (10 cm über dem Sediment im Kanal), bei der erste Partikel an der Sedimentoberfläche sich bewegen und in die Wassersäule abheben. Manche Stationen zeigen eine Saisonalität. ....	68
Abbildung 2.1.16.	Vergleich der Resuspensionsschwelle an drei Kanälen. Es wurden insgesamt 9 Parallelproben mit n=3 je Kanal vermessen. ....	69
Abbildung 2.1.17.	Ausgewählte Profile gelöster Elemente im Porenwasser (Arkonabecken, Juni 2014). 72	
Abbildung 2.1.18	Mittlere Reservoirgrößen ausgewählter Elemente im Porenwasser der oberen 5 cm Sediment von schlickigen und sandigen SECOS-Stationen. ....	72
Abbildung 2.1.19.	Porenwasserprofile von gelöstem Phosphat in sandigen SECOS-Stationen Stoltera (ST), Darßer Schwelle (DS) und Oderbank (OB) verglichen mit Silt dominiertem Sediment an den Stationen Mecklenburger Bucht (MB), Lübecker Bucht (LB) und Arkonabecken (AB).....	72
Abbildung 2.1.20.	Diffusive Phosphatflüsse an der Sediment-Wasser-Grenze im SECOS-Untersuchungsgebiet. Negative Werte bezeichnen Flüsse aus dem Sediment in die Wassersäule. ....	73
Abbildung 2.1.21.	Gemessene Kohlenstoffisotopensignatur im Porenwasser des silt-dominierten SECOS-Standorts "Arkonabecken" sowie Modellanpassungen mit unterschiedlichen angenommenen Bioturbationsleistungen. ....	74
Abbildung 2.1.22.	Zeitabhängige Konzentrationsänderungen von Sauerstoff (rot) und Phosphat (blau) in inkubierten Kernen von sandigen (OB) sowie silt-dominierten (AB) SECOS-Stationen während Herbst- (links) bzw- Wintersituation(rechts). ....	75
Abbildung 2.1.23.	Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaften an den Stationen Arkonabecken (AB), Lübecker Bucht (LB), Oderbank (OB), Stoltera (ST) und Tromper Wiek (TW) in den Tiefenintervallen 0–0,5 cm, 0,5–1 cm, 1–1,5 cm.....	81
Abbildung 2.1.24.	Schematische Darstellung der im neuen Sedimentmodell auftretenden biogeochemischen Prozesse und Zustandsvariablen (links: Festphase, rechts: Porenwasser) .....	83
Abbildung 2.1.25.	Vorgeschlagener Zielwert für die Sichttiefe (Sommermittel) auf Ebene der Wasserkörper .....	87
Abbildung 2.1.26.	Vorgeschlagener Zielwert für Bodensauerstoff (Jahresminimum) und Bewertung der einzelnen Stationen .....	87





## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.3.1.	Übersicht über die zu erreichenden Meilensteine im Berichtszeitraum 01.04.2013–31.03.2016.....	16
Tabelle 1.3.2.	Übersicht über die zu erreichenden Ergebnisse und Publikationen im Berichtszeitraum 01.04.2013–31.103.2016.....	17
Tabelle 1.3.3.	Schlüsselveranstaltungen im Projekt SECOS.....	18
Tabelle 1.3.4.	Übersicht SECOS-Ausfahrten.....	19
Tabelle 2.1.1.	Detailinformationen zu diesen 6 Klassen.....	40
Tabelle 2.1.2.	Überblick verwendeter Parametereinstellungen zur Interpolation der geochemischen Messgrößen.....	43
Tabelle 2.1.3.	Position und gemessene Parameter der 41 untersuchten Kerne.....	54
Tabelle 2.1.4.	Inventare ausgewählter Elemente und Verbindungen in den Beckenschlicker bis ca. 15 cm Tiefe.....	57
Tabelle 2.1.5.	SECOS-Forschungsfahrten mit Beteiligung von TP2.1.....	63
Tabelle 2.1.6.	Auf der <sup>234</sup> Thorium-Methode basierende Residenzzeiten für Thorium [d] in der Wassersäule und zwei Sedimenttiefen nebst Angaben zur Probennahme und Ort. Diese mittlere Residenzzeit gibt die Anzahl der Tage an, die Partikel, die adsorbiertes Thorium tragen (zum Beispiel Kohlenstoff bzw. organisches Material), in dem jeweiligen Kompartiment verbleiben. ....	70
Tabelle 2.1.7	<i>In situ</i> -Messungen mit Einsatz der benthischen Kammersysteme im Rahmen der Projektlaufzeit, ab Juni 2015 war das benthische Kammerlandersystem „WaBOb“ (*) zusätzlich mit den GEOAMAR-Kammern im Einsatz;.....	77
Tabelle 2.1.8.	<i>Ex situ</i> -Messungen im Rahmen der Projektlaufzeit, einerseits wurden die Kerne unter „natürlich“ sinkenden O <sub>2</sub> -Gehalten inkubiert, bei anderen wurde das Inkubationswasser („O <sub>2</sub> -ausgegast“) am Anfang des Experimentes mit O <sub>2</sub> -armen Wasser ausgetauscht, um einen sofortigen Effekt zu detektieren; .....	78
Tabelle 2.4.1.	Liste der Verwertungsmöglichkeiten mit zeitlichem Horizont (nach Verwertungsplan gemäß Nr. 4.2 BNBest-BMBF98) .....	93

## I. Kurzdarstellung

### 1.1 Aufgabenstellung

Küsten- und Randmeere wie Nord- und Ostsee unterliegen einer zunehmenden, intensiven Nutzung durch den Menschen und dienen als natürliche Umsatz- und Lagerstätten für landseitige Einleitungen. Den Hauptort für die Modifikation und die Ablagerung der eingebrachten Stoffe stellen überwiegend die Sedimente dar. Ihre Schlüsselfunktion als zentrale Reaktoren in der Wechselwirkung zwischen Land und Meer ist bisher nur ungenügend untersucht und quantitativ bewertet worden.

Aufgabe des Projektes SECOS war, die Verteilung und Größenordnung der sedimentären Leistungen für den Bereich der deutschen Ostsee zu kartieren und prognostisch zu modellieren. Die Ergebnisse sollten zur Entwicklung von Werkzeugen als Entscheidungshilfe bei Planungen für die Bewirtschaftung und den Schutz mariner Küstensysteme dienen. Dieses Ziel sollte primär über die Erfassung von Funktionen derjenigen Sedimentflächen, deren Leistungen von besonderer Bedeutung für Umwelt und Gesellschaft sind, und eine daraus abgeleitete Typologie realisiert werden. Für einzelne wichtige Gebiete und Leistungen sowie für den gesamten äußeren Küstenbereich der deutschen Ostsee sollte ein Ansatz zur monetären Bewertung der Ökosystemleistungen erarbeitet werden und in einen Habitatatlas für die Ostsee einfließen.

Zum Erreichen der Projektziele wurden die Arbeiten in vier Arbeitspakete (AP) mit insgesamt 12 Teilprojekten gegliedert. Einen Überblick über die Projektstruktur gibt Abbildung 1.1.1):

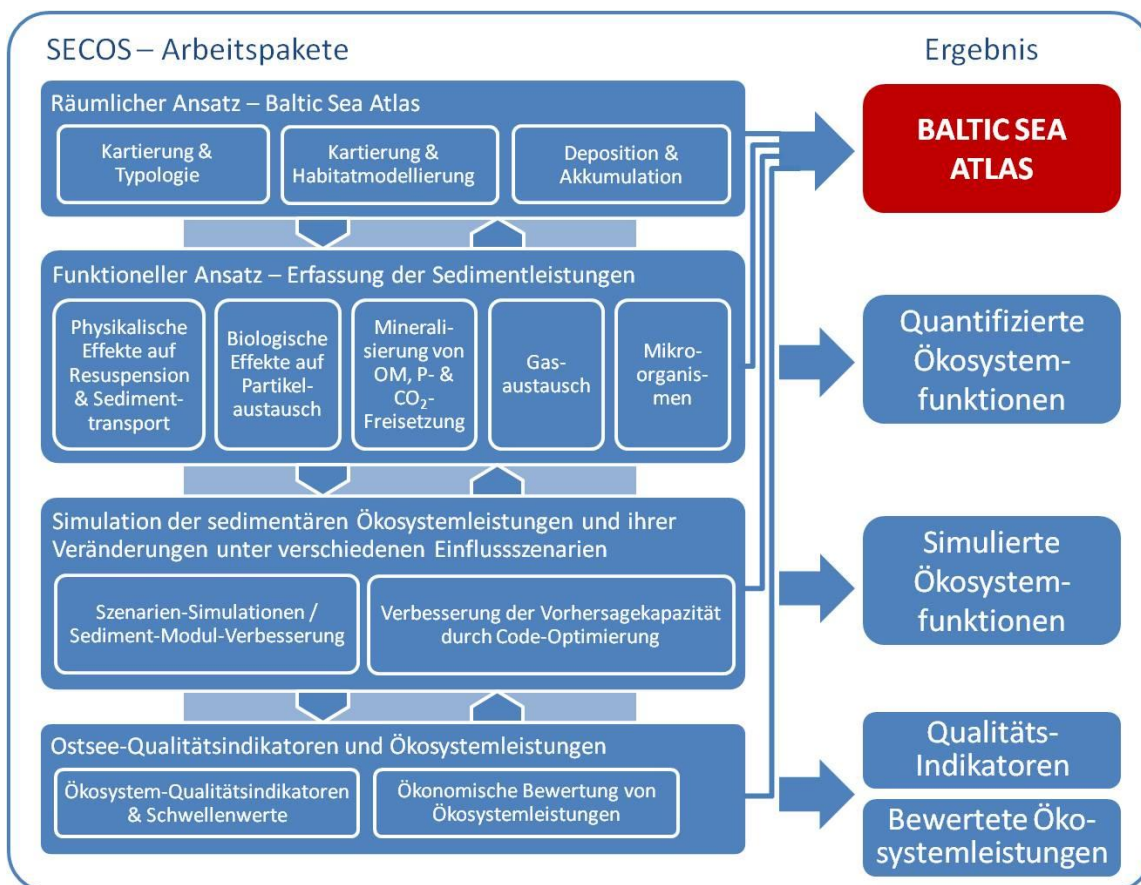


Abbildung 1.1.1. Projektkonzeption. Der Baltic Sea Atlas stellt das zentrale Projektprodukt dar.

Im Einzelnen waren folgende Teilprojekte (TP) geplant:

**TP 1.1 Kartierung und Typologie:** Es stand die Aufgabe, für das Gebiet der deutschen Ostsee ein sedimentgeochemisches Kartenwerk (Atlas) zu erstellen und die dafür notwendigen neu zu erbringenden Analysendaten in einer entsprechenden Datenbank für alle weiteren Teilprojekte von SECOS und darüber hinaus der gesamten KÜNO-Gemeinschaft zur Verfügung zu stellen. Die Sedimentgeochemie der deutschen Ostsee sollte dabei einen eigenen (disziplinären) wissenschaftlichen Beitrag zum Erkenntnisfortschritt erbringen; sie sollte darüber hinaus aber auch als Basis für die interdisziplinären Prozess-Studien an der Sediment/Wasser Kontaktfläche bis hin zur Einbindung in Ökosystem-Modelle dienen.

**TP 1.2 Kartierung und Modellierung der Biodiversität und Habitataignung:** Die Aufgabenstellung des TP 1.2 umfasst die Kartierung der deutschen Ostsee nach einer strukturellen und funktionellen Typologie der Sedimente als benthische Habitate und Meeresbodenbiotoptypen.

**TP 1.3 Deposition und Akkumulation:** Die vorhandenen Sedimentverteilungskarten der deutschen Ostsee spiegeln den generellen kausalen Zusammenhang zwischen dem integrierten Effekt hydrodynamischer Prozesse, der initialen glazigenen Sedimentverteilung und der postglazialen morphologischen Entwicklung wider und lassen sich grob in Erosions- (Geschiebemergel, Restsedimente), Übergangs- („gemischte“ sandige Sedimente) und Depositionsfazies (Schlickablagerungen der z.B. Mecklenburger Bucht und Arkonabecken) gliedern. Die meisten feinkörnigen Sedimente geraten durch windinduzierte Wellen- und Strömungsaktivität in Resuspension und unterliegen einem starken Lateraltransport. Die Bedeutung der oberflächennahen Sedimente für den Materialumsatz und die Transformationsprozesse kann auf saisonaler und annueller Zeitskalen beobachtet werden (TP2). Längere Zeitskalen (Dekaden und Jahrhunderte) müssen für die Zwischen- und endgültige Speicherung im Sediment betrachtet werden. Vor diesem Hintergrund sollten die Altersstruktur der Beckensedimente (z.B. Datierung von Kurzkerne) sowie der Einfluss von Vermischungsprozessen untersucht werden, um eine belastbare Kalkulation von Massen-Akkumulations-Raten und/oder Inventaren von z.B. Nährstoffen und Schadstoffen in den Sedimenten der deutschen Ostsee vornehmen zu können.

**TP 2.1 Physikalische Effekte auf Resuspension und Sedimenttransport:** Die Hauptaufgabe dieses Teilprojekts war die Identifizierung, Charakterisierung und Modellierung der bodennahen Prozesse, die die Resuspension und den Transport von Schwebstoffen und Sediment im SECOS-Studiengebiet bestimmen. Schwerpunktmäßig sollten dabei insbesondere die Effekte von bodennaher Turbulenz, Oberflächenwellen und mittleren Strömungen untersucht werden. Dazu sollte ein kombinierter Ansatz aus in-situ Messungen und verschiedenen Modellierungstechniken verwendet werden.

**TP 2.2 Biologische Effekte auf den Partikelaustausch an der Sediment-Wasser-Grenzfläche:** Dieses Teilprojekt parametrisiert die Flüsse partikulären organischen Materials zwischen der benthischen Trübezone und der bioturbierten Zone, welche hauptsächlich durch Makrofauna gewährleistet wird. Bioturbationstiefen, Bioturbationskoeffizienten, räumliche und saisonale Variabilität der Bioturbation sowie die Abhängigkeit der Bioturbation vom Makrobenthos stehen dabei im Vordergrund. Physikalische Resuspension (kritische Schubspannungsgeschwindigkeit) und die Residenzzeit der Partikel in verschiedenen Kompartimenten der Wassersäule und im Sediment sind weitere zu messende Parameter der sogenannten benthischen Resuspensionsschleife.

**TP 2.3 Mineralisierung organischen Materials, Phosphor- und Kohlendioxid-Freisetzung:** Die detaillierte Darstellung der Ausgangsfragestellung ist dem Antrag des SECOS Verbundprojektes zu entnehmen und wird daher hier nur kurz zusammengefasst.

Die Mineralisierung von organischem Material in marinen Sedimenten und daraus resultierende Elementflüsse an der Sediment-Wasser-Grenzfläche hängen ab von Sedimentologie / Hydrodynamik, Substratverfügbarkeit, Salzgehalt des Bodenwassers und der Struktur mikrobieller Gemeinschaften im Sediment. Die zugrunde liegenden Prozesse werden durch Änderungen der Rahmenbedingungen (z. B. Produktivität, Nährstoffbelastung, anthropogene Aktivitäten und Klimawandel) beeinflusst.

Die primär zu beantwortenden Fragen des TP 2.3 lauten:

- Was kontrolliert die wichtigsten biogeochemischen Prozesse (mit Beteiligung von Kohlenstoff, Nährstoffen und Metallen) in Oberflächensedimenten
- Quantifizierung der Flüsse ausgewählter Elemente ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4$ ) über die Sediment Wasser-Grenzfläche.
- Einfluss von saisoneller Variabilität und Sedimenttyp auf biogeochemische Prozesse in Oberflächensedimenten
- Effekte von Veränderungen im Ökosystem (Bodenwasser Redoxbedingungen (Hypoxie), Sedimentresuspension)

**TP 2.4 Gasaustausch an der Sediment-Wasser-Grenzfläche:** Im Teilprojekt „Gasflüsse in der Sediment-Wasserschicht“ stand die quantitative Erfassung der Freisetzung klimarelevanter Gase (Methan und Lachgas) sowie die damit einhergehende Charakterisierung der Nährstoffflüsse im Mittelpunkt. Bisher wurden diese Schlüsselfunktionen in ihrer Komplexität in Sedimenten der Ostsee nur ungenügend untersucht und quantitativ bewertet, obwohl die Ökosystemfunktion der Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen sowie der Nährstoffmodifikation (Deposition bzw. Freisetzung) durchaus von wissenschaftlichem wie auch sozioökonomischem Interesse ist.

**TP 2.5 Mikroorganismen als Treiber für Diagenese und Stoffumsatz in Schlüssersedimenten:** Charakterisierung der aktiven mikrobiellen Gesellschaft an fünf Stationen (2 Schlick, 2 Sand, 1 Silt). Identifizierung von dominanten Prozessen.

**TP 3.1 Szenario-Simulationen und Sedimentmodul-Verbesserung:** Die Aufgabenstellung dieses Workpackages bestand aus zwei Teilen: Zum einen sollten mit einem bestehenden Ökosystemmodell nach End-User-Bedarf verbesserte Szenarien gerechnet werden, in denen der Fokus auf den sedimentären Dienstleistungen lag. Zum anderen sollte das Sedimentmodul in ERGOM verbessert werden, um durch eine verbesserte Prozessauflösung eine höhere Vorhersagekapazität zu ermöglichen.

**TP 3.2 Verbesserung der Vorhersagekapazität durch Code-Optimierung für MPP Anwendungen:** Die im gekoppelten Ozeanmodell ERGOM/MOM durchgeführten Modellverbesserungen, sowohl durch aufwändige physikalische Parametrisierungen als auch durch verfeinerte räumliche Gitterauflösungen, führten zu einem erhöhten Rechenzeitbedarf, der durch Analyse, Optimierung und Anpassung des Modellcodes auf die Erfordernisse des aktuellen HLRN-Hochleistungsrechners (Norddeutscher Verbund für Hoch- und Höchstleistungsrechnen) gedeckt werden musste.

**TP 4.1 Ökosystem-Qualitätsindikatoren und Schwellen:** Entwicklung konsistenter & harmonisierter Referenz- und Zielwerte zur Definition des guten Umweltzustandes (in Bezug auf Eutrophierung)

entsprechend WRRL & MSRL in den Wasserkörpern der deutschen Ostseegewässern, sowie die Ableitung einer maximalen Frachtobergrenze für die deutschen Ostseezuflüsse, so dass der gute Umweltzustand erreicht werden kann

**TP 4.2 Ökonomische Bewertung mariner Ökosystemleistungen:** Das IÖW sollte Ansätze zur monetären Bewertung von marinen und küstennahen Ökosystemleistungen zusammentragen. Darauf aufbauend sollten Werkzeuge und Methoden entwickelt, bzw. angepasst werden, um die monetäre Einschätzung der Ökosystemleistungen der Sedimente in der Deutschen AWZ der Ostsee zu ermöglichen. Unter Einbeziehung bereits vorhandener Erfahrungen und Analyseergebnisse sollte dazu ein Rahmen für die ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen abgesteckt werden. Schließlich sollte der Bewertungsrahmen beispielhaft für die Bewertung der Deposition/ dauerhaften Festlegung von drei relevanten Schadstoffen angewandt werden.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projektkonsortium bestand aus einer Universität (Rostock), drei außeruniversitären Forschungseinrichtungen (IOW, IÖW, ZIB) sowie dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) als wichtigem Kooperationspartner. Diese Zusammensetzung ermöglichte eine optimale Aufteilung der Projekteinhalte zum Erreichen der Projektziele. Alle Projektpartner besaßen umfangreiche Erfahrung auf dem Gebiet der von ihnen zu bearbeitenden Fragestellungen.

Für die einzelnen Arbeitspakete konnte auf folgende Vorarbeiten aufgebaut werden:

### AP 1 Räumlicher Ansatz – Baltic Sea Atlas:

Eine wesentliche Voraussetzung des Teilprojektes 1.1. und des gesamten SECOS-Projektes war die geologische Kartierung der deutschen Ostsee, die im Zeitraum von Ende der 1990er Jahre bis etwa 2010 vom IOW im Auftrag des BSH durchgeführt wurde. Diese Arbeiten wurden mit der Herausgabe von 9 Kartenblättern im Maßstab 1:100.000 im Jahr 2012 abgeschlossen. Datengrundlage der geologischen Karten waren granulometrische Parameter (Korngröße, Median, Sortierung) sowie eine Ansprache verschiedener Sedimenttypen. Geochemische Daten bzw. Informationen wurden im Rahmen der damaligen Kartierung nicht erhoben. Diese Wissenslücke war der konkrete Ansatz für das TP 1.1. im SECOS-Projekt. Hier sollten die „stofflichen“ Eigenschaften und Funktionen der Sedimente im Ökosystemansatz untersucht werden.

Die Kartierung und Modellierung der Biodiversität und Habitateignung baute auf den internationalen Forschungsstand zur Ökologie und Verbreitung von benthischen Organismen und Lebensgemeinschaften auf. Umweltfaktoren wie Salzgehalt, Sedimenteigenschaften und Nährstoffe beeinflussen maßgeblich die benthische Fauna. Kenntnisse über die Meeresbodenhabitat- und Biotop-Typologisierung, sowie über Vorhersagemodellierung von Artenverteilungen als Instrument für Kartierungen wurden in mehreren Vorläuferprojekten des Projektleiters erarbeitet:

- Benthos-Monitoring Ostsee (1992-fortlaufend)
- Monitoring und Bewertung des Benthos, der Lebensraumtypen/Biotope und der Gebietsfremden Arten (Cluster 4, Benthosmonitoring) (2011-2014)

- Kartierung und Registrierung der marinen Lebensraumtypen (LRT) bzw. Biotope in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) (Cluster 6) (2012-2014)

Das Vorhaben stand unter der Leitung von Dr. Michael L. Zettler und wurde von Dr. Mayya Gogina (volle Stelle, April 2013 bis März 2016) wissenschaftlich bearbeitet.

Die Bearbeitung des Themenkomplexes Sedimenteintrag – Sedimenttransport – Ablagerung (Deposition) ist ein Schlüsselproblem im Verständnis der „Funktionalität“ der Sedimente im Ökosystem des Untersuchungsgebietes. Das Vorhaben dieses Teilprojekts baute daher unmittelbar auf die vom IOW gemeinsam mit dem BSH erarbeiteten bathymetrischen und Sedimentverteilungskarten der deutschen Ostsee auf. Darüber hinaus waren direkte Bezüge zu Vorläuferprojekten (u.a. DYNAS, IS-Sedilab – BMBF und SINCOS – DFG) vorhanden, die am IOW in der Abteilung Marine Geologie erfolgreich bearbeitet wurden.

## **AP 2 Funktioneller Ansatz – Erfassung der Sedimentleistungen:**

Die Arbeiten zur Untersuchung physikalischer Effekte auf Resuspension und Sedimenttransport bauten auf vorhandener Expertise im Bereich der Turbulenz- und Strömungsmodellierung in der Ostsee auf, sowie auf umfangreicher Erfahrung bei der Beobachtung von Strömungs- und Vermischungsprozessen in der Bodengrenzschicht (AG Kleinskalige Prozesse und Vermischung von Teilprojektleiter L. Umlauf). Die in TP 2.1 eingesetzten Strömungsmodelle wurden maßgeblich von IOW-Wissenschaftlern entwickelt. Expertise in der Modellierung von Oberflächenwellen war zum Projektstart nur eingeschränkt vorhanden und musste während der Projektlaufzeit stark ausgeweitet werden. Das Gleiche galt für die Expertise in Bereich von in-situ Techniken zur Beobachtung und Analyse von suspendiertem Material, die ebenfalls erst im Projektverlauf generiert werden konnte. Insgesamt haben die Arbeiten in SECOS zu einer substantiellen Stärkung des Methoden-Portfolios in der Sektion für Physikalische Ozeanographie des IOW geführt. Die Doktorandin Kirstin Schulz wurde zeitversetzt zum Projektbeginn von SECOS erst ab dem 15. Juli 2013 im Projekt angestellt und wird zur Fertigstellung ihrer Promotion voraussichtlich noch bis zum 14. Oktober 2016 Mitarbeiterin des IOW sein. Die über das Projektende hinausgehende Anstellung wird aus Haushaltsmitteln getragen.

Partikelmischung durch Bioturbation wurde von verschiedenen Mitgliedern der Abteilung Meeresbiologie/Uni Rostock wiederholt durchgeführt bzw. in Abschlussarbeiten angeleitet. Auch international sind diese Mitglieder in wissenschaftlichen Vereinigungen vernetzt, die Fragestellungen rund um das Thema Bioturbation bearbeiten. Vor dem Hintergrund des internationalen Kenntnisstandes wurde bewusst eine sehr umfangreiche Beprobung angestrebt. Der Datensatz ist tatsächlich geeignet auch zur internationalen wissenschaftlichen Diskussion beizutragen. Insbesondere die Kombination von Daten zu Durchmischung, Organismen in den Sedimentkernen und die Zusammenarbeit mit IOW hat einen entscheidenden An Schub erfahren. Hier waren neben Frau C. Morys (aus Projektmitteln angestellt) Dr. M. Powilleit, Dr. S. Forster und Prof. G. Graf (nun emeritiert) maßgeblich beteiligt.

Untersuchungen der Resuspension waren mit einem der Abteilung eigenen, transportablen Ringkanal an Bord der Schiffe möglich. Die Abteilung hatte aber keinen geeigneten Kanal, um diese Werte zu verifizieren und insbesondere Effekte der Schiffsbewegung auf diese Messungen zu erkennen. Durch den Bau eines Race-Track-Kanals mit Geld aus SECOS wurde dieser Umstand erfolgreich behoben.

Residenzzeitbestimmungen waren und sind mit <sup>234</sup>Thorium im Wasserkörper schon vorgenommen worden. Diese Vorgehensweise auf die oberen Sedimenthorizonte zu übertragen, war Neuland und konnte nur deshalb durchgeführt werden, weil mit Frau A. Schuster, die nah verwandte Themen



methodischer Natur an einem DFG-Projekt bearbeitete, eine Expertise vorhanden war. Diese Arbeitsrichtung wurde von Herrn Prof. G. Graf vertreten.

Fundament der Untersuchungen zur Mineralisierung organischen Materials, Phosphor- und Kohlendioxid-Freisetzung war die Expertise des Antragstellers im IOW, Prof. Dr. Michael E. Böttcher, insbesondere in der biogeochemischen Forschung zu Proxy-Bildungsmechanismen, Küsten-ökosystemen und den Wechselwirkungsprozessen zwischen aquatischen Lösungen und authigenen Festphasen. Prof. Dr. Michael E. Böttcher leitet seit 2006 die Arbeitsgruppe Geochemie & Isotopen-Biogeochemie am Leibniz IOW, hat die Professur für Marine Geochemie an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald inne und ist assoziiertes Mitglied der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock. Er hat über die Biogeochemie und Isotopengeochemie der benthisch-pelagische Kopplung für Kohlenstoff, Schwefel, und redox-sensitive Metallen an Küstenstandorten der Nord- und Ostsee gearbeitet. Der im Projekt angestellte Mitarbeiter, Herr Marko Lipka hat in der AG Geochemie & Isotopen-Biogeochemie des IOW bereits seine M.Sc. Arbeit zu biogeochemischen Prozessen an der südlichen Ostseeküste erstellt, während der er intensive Erfahrungen mit den Problemen der Biogeochemie und der Stoffflüsse in Küstenmeeren sammeln konnte. Am IOW waren neben dem Teilprojektleiter zeitweise 2 MitarbeiterInnen aus der Grundausrüstung des IOW sowie kontinuierlich der Projektangestellte am Vorhaben beteiligt. Da der Projektmitarbeiter erst zeitversetzt nach Beginn von SECOS eingestellt werden konnte, wird die in Erstellung befindliche Doktorarbeit erst im Herbst 2016 fertiggestellt sein. Die Finanzierung der Personalstelle nach Ablauf des Projektes SECOS bis Anfang September 2016 erfolgt aus den Haushaltsmitteln des Leibniz IOW.

Die Untersuchung der Gasflüsse an der Sediment-Wasser-Grenzfläche bauten auf der Expertise des Biogeochemikers Prof. Dr. Gregor Rehder (IOW), insbesondere in der Bearbeitung verschiedenster Fragestellungen zum marinen Methan- und Kohlenstoffkreislauf vorrangig in pelagischen, aber auch in benthischen Systemen weltweit auf. Seit zehn Jahren ist er am Institut für Ostseeforschung in der Sektion Meereschemie als Forschungsgruppenleiter und stellvertretender Sektionsleiter tätig und hat daher das Ökosystem Ostsee als einen weiteren wissenschaftlichen Schwerpunkt in seiner Forschung etabliert. Dafür werden und wurden in der AG diverse neue Messmethoden entwickelt und angewendet (z.B. Gülzow et al. 2013, Jakobs et al 2013 & 2014, Schneider et al. 2014, Schneider von Deimling et al. 2015; siehe unter Abschnitt 1.4.2 für TP 2.4). Zum Beginn des Projektes konnte somit auf langjährige Forschungserfahrungen und vielfältige fest etablierte Messmethoden zur Methan- und Lachgasbestimmung zurückgegriffen werden.

Bis jetzt wurden die modernen molekularen Methoden zur Beschreibung von mikrobiellen Gemeinschaften noch relativ selten in Sedimenten angewendet, während eine detaillierte Beschreibung der Bakteriengemeinschaften im offenen Wasser in den letzten Jahren durch Mitarbeiter des IOW mit grossem Erfolg durchgeführt wurden. Dies liegt auch an grösseren methodischen Problemen insbesondere in Sanden, die jedoch nach und nach überwunden werden konnten.

### **AP 3 Simulation sedimentärer Ökosystemleistungen und ihrer Veränderungen unter verschiedenen Einflusszenarien:**

Die Arbeiten zur Szenariensimulation und Sediment-Modul-Verbesserung wurden von Dr. René Friedland begonnen und ab dem 01.09.2013 von Dr. Hagen Radtke weitergeführt.

Ausgangspunkt für die Erhöhung der Simulationskapazitäten war das auf dem damaligen Hochleistungsrechner HLRN-II eingesetzte gekoppelte Modellsystem ERGOM/MOM, bestehend aus zwei etablierten Modellkomponenten, dem Ökosystemmodell ERGOM des IOW und dem Ozeanmodell MOM vom Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL). Die während der Projektlaufzeit erfolgte Installation des neuen Rechnersystems HLRN-III am ZIB (zwei Installationsphasen 2013 und 2014) führte zu einer signifikanten Erhöhung der Systemparallelität. Um diese neuen Rechentechniken für eine Steigerung der Codeperformance nutzen zu können, waren Analyse- und Optimierungsarbeiten am Programmcode notwendig.

#### AP 4 Ostsee-Qualitätsindikatoren und Ökosystemleistungen:

Im Rahmen der MSRL wurde der 2007 beschlossene Baltic Sea Action Plan 2013 überarbeitet, dabei wurden nur Zielwerte für die Wasserqualität verwendet und die maximalen erlaubten Frachten angepasst. Den Frachtreduktionen im Rahmen des BSAP hat Deutschland im Rahmen von HELCOM zugestimmt, d.h. sie sind für die Umweltämter bindend. Im Rahmen der WRRL wurden 2009/2010 Referenz- und Zielwerte definiert, die unrealistisch, nicht konsistent und nicht praktikabel waren. Die Projektlaufzeit überschneidet sich dabei mit dem 2. Implementationszyklus der WRRL, bestehend aus Bestandsaufnahme, Überprüfung der Zielwerte, sowie Durchführung von Maßnahmen, falls der gute Zustand noch nicht erreicht ist.

Das IÖW verfügt über langjährige Erfahrungen in verschiedenen Bereichen des Wasserressourcenmanagements im Hinblick auf quantitative und qualitative Aspekte, integriertes Küstenzonenmanagement sowie in der ökologisch-ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen. Diese Kompetenzen konnten im Projektbearbeitungsteam ergänzt werden durch spezifische Kompetenzen im Hinblick auf umfangreiche Erfahrungen in der Verknüpfung des Ökosystemleistungsansatzes mit Methoden der monetären Bewertung.

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung und Durchführung des Vorhabens gliederte sich entsprechend des Antrags in die in Abbildung 1.1.1 dargestellten Arbeitspakete und deren Teilprojekte. Trotz der zum Teil verspäteten Einstellung von Personen innerhalb des Projektes wurden anfängliche Verzögerungen im Projektverlauf aufgeholt. Es gab keine Änderungen in der Zielsetzung des Gesamtprojektes und der Teilprojekte. Die Meilensteinplanung ist aus Tabelle 1.3.1 ersichtlich.

Tabelle 1.3.1. Übersicht über die zu erreichenden Meilensteine im Berichtszeitraum 01.04.2013–31.03.2016

Jahr	Meilensteine	TP
2013	Erstellung der Sedimentkarte, inkl. Definition relevanter Sedimentklassen und Stationsbestimmung für die erste SECOS Ausfahrt	1.1
	Erstellung einer ersten Karte benthischer Habitats zur Übersicht	1.2
	Zusammenführung vorhandener Daten in (SECOS) GIS-Projekt und Stationsauswahl	2.1-2.5
	RNA Extraktion und RT PCR Methodenoptimierung	2.5
	Erste Versuche und Inbetriebnahme Strömungskanal, Extraktion und erste Testmessung zu <sup>234</sup> Thorium	2.2



Jahr	Meilensteine	TP
	HLRN Code für ERGOM / MOM 44 und Referenz-Simulation	3.2
2014	1. + 2. Messkampagne zur Erfassung von Ökosystemleistungen und Probenahmen für TP 21.1–2.5	2.1–2.5
	Kurzkerne aus ausgewählten Arbeitsgebieten	1.3
	Erste Simulation der SECOS-Szenarien	3.1
	Fertigstellung der cDNA-Sequenzdaten von Proben der ersten Ausfahrt	2.5
	Vervollständigte Karte benthischer Habitate	1.2
	Neue Version des Sedimentmoduls	3.1
	Harmonisierte Gewässerqualitätsziele und Karten	4.1
	Ausgewählte Sedimenttypen charakterisiert und Stationen für Studien der Saisonalität ausgewählt	2.1–2.5
	Leistungsanalyse des ERGOM-Codes	3.2
2015	Zusätzliche (Kurz-)Ausfahrten mit Fokus auf Saisonalität von Ökosystemfunktionen an ausgewählten repräsentativen Schlüsselstandorten	2.1–2.4
	Fertigstellung der cDNA-Sequenzdaten von Proben der zweiten Ausfahrt	2.5
	Analyse chemischer Parameter an repräsentativen Probensätzen	1.1
	Radionuklid-Messungen an kurzen Sedimentkernen	1.3
	Zweite Simulation der SECOS-Szenarien	3.1
	Wassertransparenz-Zielwerte (und ggf. Karten)	4.1
	Quantifizierung der Sedimentfunktion in Bezug auf die Zwischen- und Endspeicherung von Stoffen	1.3
	Datenbereitstellung für AP 2	1.3
	Hypoxiekarten für die westliche Ostsee	4.1
	Statistische Analyse, Datenkompilierung, Datenintegration und zusammenfassende Betrachtung der Daten aus AP 1 und TP 2.1 bis 2.4	2.1–2.5
Produktionscode mit Optimierungen	3.2	
2016	Charakterisierung der wichtigsten Sediment- und BBL-Typen und ihrer Funktionalität, einschließlich Charakterisierung des gelösten und partikulären Pools von Nährstoffen, Kontrollen für Phosphor-Mobilität und Nährstoff-Rückflusskapazität, Gasfluss-Kapazität, Einflussparametrisierung der Turbulenz in der BBL auf Deposition und Resuspension	2.1–2.5
	Erarbeitung von Karten der Sedimentfunktion	1.1
	Erstellung der finalen Karte benthischer Habitate	1.2

Im Projektverlauf waren folgende Ergebnisse und Publikationen zu erreichen (Tabelle 1.3.2):

Tabelle 1.3.2. Übersicht über die zu erreichenden Ergebnisse und Publikationen im Berichtszeitraum 01.04.2013–31.103.2016

Jahr	Ergebnisse/Publikationen	TP
2013	Ported ERGOM-Code, runtime output für Referenz-Simulationen	3.2
2014	Simulierte Datensets und Karten-Szenarien	3.1
	Arbeitspapier zur monetären Bewertung mariner Ökosystemleistungen und Synopse vorliegender Studien	4.2
2015	Publikation zur Umsetzung des BSAP	4.1
	Hotspot-Definition, Leistungsanalyse für Referenz-Simulationen	3.2
2016	Publikation der Gesamtergebnisse des Baltic Sea Atlas	1.1

Jahr	Ergebnisse/Publicationen	TP
	Publikation „Quantitative response of benthic species and / or communities to varying gradients and its ecosystem functioning“	1.2
2016	Chronostratigraphie der Depositionsgebiete der deutschen Ostsee, Inventarkarten der deutschen Ostsee, Publikation zum Thema Sedimentationsprozesse und Akkumulationsmuster in der deutschen Ostsee	1.3
	Simulierte Datensets und Karten, Publikation: Simulated sediment services under changing pressures	3.1
	Optimierter ERGOM-Produktionscode mit Sedimentmodul	3.2
	Publikation „Gewässerqualitätsindikatoren“	4.1
	Publikation zur ökonomischen Bewertung der Schadstofffestlegung im Sediment	4.2

Die Schlüsselveranstaltungen für SECOS während der Projektlaufzeit sind in Tabelle 1.3.3 aufgeführt:

Tabelle 1.3.3. Schlüsselveranstaltungen im Projekt SECOS

Datum	Ort	Bezeichnung
29.–30. April 2013	Hamburg	KüNO-Auftaktveranstaltung
27. Mai 2013	IOW	SECOS-Auftaktveranstaltung
18. Juni 2013	IOW	SECOS-Arbeitstreffen
07.–08. Oktober 2013	Warnemünde	1. KüNO-Methodik-Workshop zu Ökosystemleistungen
05. Dezember 2013	Rostock	Workshop Department Maritime Systeme, Universität Rostock
12. Dezember 2013	Warnemünde	SECOS- Arbeitstreffen
16. Mai 2014	Hamburg, TI-SF	KüNO-Workshop „Datenmanagement“
06. Juni 2014	Berlin, IÖW	2. KüNO-Workshop zur Ökosystemleistungsbewertung
18.–19. Juni 2014	Warnemünde, IOW	KüNO-Statusseminar / KüNO-Jahrestagung
29. August 2014	Warnemünde, IOW	SECOS-“Work in Progress“ (WIP)-Seminar
14.–25. September 2014	Lauenburg	KüNO-Sommerschule "Marine benthic habitats - functions of sediments and valuation of their services"
06. November 2014	Warnemünde, IOW	SECOS-Statusseminar
23.–27. März 2015	Kiel, Universität	Internationaler Workshop „Ecosystem Services“
15.–17. April 2015	Hamburg	Nationales Symposium „Küste 2025“
27.–28. Mai 2015	Hamburg	25. Meeresumweltsymposium
05.–07. Oktober 2015	Berlin	EuroMarine- Foresight Symposium „Future Coast – Europe“
15.–17. November 2015	Warnemünde, IOW	KüNO-Jahrestagung
19. Februar 2016	Warnemünde, IOW	SECOS-Statusseminar

Insgesamt erfolgten während der Projektlaufzeit von SECOS sieben wissenschaftliche Ausfahrten zu den im Dezember 2013 festgelegten und im Zwischenbericht für 2013 ausführlich dargestellten SECOS-Stationen (Abbildung 1.3.1) in der Ostsee, darunter eine gemeinsame Ausfahrt (MSM 50) mit dem Schwesternprojekt NOAH in Nord- und Ostsee (s. Tab. 1.3.2). Die gewonnenen Proben und Daten dienen einerseits der Ergänzung des vorhandenen Bestandes und andererseits Prozess-Studien, u.a. zur Saisonalität.

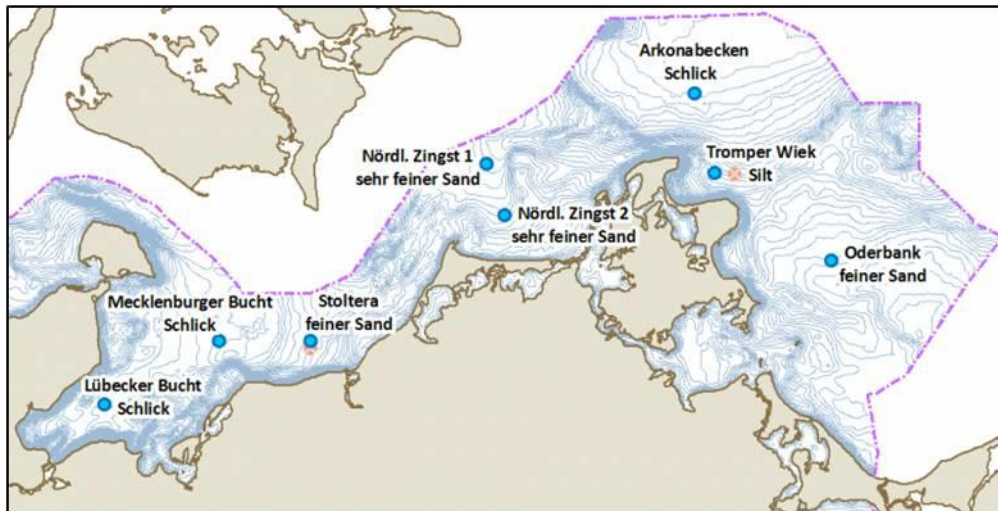


Abbildung 1.3.1. Lage der SECOS-Stationen mit Angabe des Sedimenttyps

Tabelle 1.3.4. Übersicht SECOS-Ausfahrten

Zeitraum	Bezeichnung	Stationen
28.03.-08.04.2014	AL 434	Lübecker Bucht, Mecklenburger Bucht, Stoltera, Nördliches Zingst 2, Arkonabecken, Tromper Wiek, Oderbank
20.-30.06.2014	EMB 076	Lübecker Bucht, Tromper Wiek, Oderbank, Arkonabecken, Stoltera
27.09.-12.10.2014	POS 475	Lübecker Bucht, Mecklenburger Bucht, Stoltera, Arkonabecken, Arkonamast, Oderbank, Oderboje, Danziger Becken, Bornholmbecken, Messmast Darsser Schwelle
12.-22.01.2015	EMB 093	Arkonabecken, Oderbank, Zingst 2, Stoltera
09.-22.04.2015	EMB 100	Stoltera, Mecklenburger Bucht, Oderbank, Arkonabecken, Tromper Wiek
25.08.-06.09.2015	EMB 111	Arkonabecken, Zingst 1, Lübecker Bucht, Mecklenburger Bucht, Oderbank, Stoltera, Tromper Wiek
06.-29.01.2016	MSM 050	Nordsee, Skagerrak, Kattegat, Lübecker Bucht, Mecklenburger Bucht, Stoltera, Arkonabecken, Oderbank, Tromper Wiek

### Innerhalb des räumlichen Ansatzes zur Erstellung des Baltic Sea Atlas wurden bei der Planung und Durchführung folgende Ansätze gewählt:

**TP 1.1:** Da die Sedimentproben aus der BSH-Kartierung Ende der 1990er bis 2010 überwiegend noch im Originalzustand im IOW-Archiv vorhanden waren, konnte auf diesen Fundus zurückgegriffen werden. Für alle diese Proben waren die Korngrößenbestimmungen bereits vorhanden und konnten somit unmittelbar genutzt werden. Aus diesem Probenbestand wurde eine Untermenge so ausgewählt, dass eine hinreichende Abdeckung aller Gebiete und Sedimenttypen gewährleistet wurde. Für diejenigen Gebiete, für die aus dem Lagerbestand nicht genügend Proben zur Verfügung standen, wurde eine ergänzende Neubeprobung im Rahmen der SECOS-Expeditionen geplant. Außerdem wurden alle SECOS-Schlüssel-Stationen, wo die Prozess-Studien durchgeführt wurden, ebenfalls neu beprobt. Der Gesamtumfang an Proben (Stationen) sollte ca. 800 nicht übersteigen, um in einer realistischen Größenordnung für die geplanten Laborarbeiten zu bleiben.



Von allen Originalproben wurde die Feinfraktion (<63 µm) abgetrennt (Trocken- bzw. Nass-Siebung) und nur diese analysiert. Dieses Verfahren ist wesentlich besser, sicherer, als die chemische Analyse der (gesamten) Originalprobe, da man hierbei z.B. für alle sandigen Proben leicht an die Nachweisgrenze der analytischen Verfahren gerät (weitere Erläuterungen hierzu siehe Abschnitt 2.1, TP 1.1).

Die chemische Analytik der Proben beinhaltete folgende Parameter (Elemente): TOC (organischer Kohlenstoff), TIC (anorganischer Kohlenstoff; Karbonat-Gehalt), N, S, biogen-Opal (SiO<sub>2</sub>) P, Ca, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, As, Hg (weitere Details siehe Abschnitt 2.1, TP 1.1).

Die umfangreichen Laborarbeiten im Rahmen des TP 1.1 verliefen insgesamt gut im Zeitplan und sehr erfolgreich, was die Ergebnisse betrifft. Die technischen Voraussetzungen hierfür waren im IOW mit moderner Ausstattung gegeben.

Auf der Grundlage dieser Analysenergebnisse konnten entsprechende Karten erzeugt werden (GIS). Auszüge aus diesem Kartenwerk (Beispiele) mit entsprechenden Erläuterungen finden sich in Abschnitt 2.1 dieses Berichts. Weiterhin ist im Anhang zu diesem Bericht ein Manuskript (in Englisch) enthalten, was zur Veröffentlichung in einer angesehenen Fachzeitschrift eingereicht werden soll. Das Kartenwerk ist darüber hinaus auch im Internet (WEB-GIS) einsehbar. Dies bietet die Möglichkeit der Information bzw. Nutzung für eine breite Öffentlichkeit.

**TP 1.2:** Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt (in Klammern sind die Berichtsjahre genannt, in denen die Arbeiten durchgeführt wurden):

- a. Identifizierung von Schlüsselgebieten für experimentelle Feldarbeiten (2013)
- b. Vorbereitung und Durchführung von schiffsgestützten Ausfahrten, intensive Beprobung von benthischer Makrofauna als „Groundtruthing“ für eine Vorhersagemodell-basierte Habitatkarte und in Begleitung zu Inkubationsexperimenten und Messungen von geochemischen Flüssen zwischen Sediment und Wasserschicht (2013-2016)
- c. Laboranalyse der benthischen Proben (2013-2016)
- d. Erarbeitung einer benthischen Habitat-Karte der deutschen Ostsee (von der Anfangstypologisierung und Validierung von HELCOM HUB Klassifizierung bis hin zur finalen Kartenversion) (2014-2016)
- e. Auswertung von benthischen Makrofauna-Lebensgemeinschaften für die gesamte Ostsee inklusive internationalen Expertenworkshop (2014)
- f. Beitrag zur KüNO Summer School on „Marine benthic habitats“, Lauenburg (2014)
- g. Untersuchung zum Einfluss der Probenahmestrategie auf die Beschreibung der benthischen Ökosystem-Funktionen (abgeschlossene Masterarbeit, 2015)
- h. Beiträge für Baltic Sea Atlas (2014-2016)
- i. Vorbereitung von Publikationen (2014-2016)

**TP 1.3:** 1. Meilenstein: Kurzkerne aus ausgewählten Arbeitsgebieten: Basierend auf den initialen Sedimentverteilungskarten (TP 1.1) und vorhandenen sediment-akustischen Daten der deutschen Ostsee, die im Rahmen des BMBF-Projektes IS-SediLab ausgewertet wurden, erfolgte in einem ersten Schritt die Auswahl von Stationen aus repräsentativen Arbeitsgebieten (definiert in TP 1.1 und TP 1.2), an denen Kurzkerne gewonnen wurden.

2. Meilenstein: Radionuklid-Messungen an den kurzen Sedimentkernen: Ein Schwerpunkt des Teilprojektes war zunächst die Untersuchung der vertikalen Verteilung der Aktivität der Radionuklide



$^{210}\text{Pb}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in den gewonnenen kurzen Sedimentkernen. Das Blei-Isotop stammt aus der Hochatmosphäre und erlaubt für geeignete Kurvenverläufe im Sedimentkern die Berechnung eines Altersmodells für die vergangenen ca. 100 bis 150 Jahre. Das Cäsium-Isotop stammt aus den atmosphärischen Kernwaffentests Anfang der 1960er Jahre und aus dem Reaktorunglück von Tschernobyl 1986. Mit Hilfe dieser „Marker“ können im Idealfall kontinuierliche Sedimentationsverläufe rekonstruiert werden, aber auch die Abschätzung von Mischungstiefen und lateralen Transportprozessen sind mit Hilfe der „Verteilung“ dieser Isotope möglich.

**3. Meilenstein: Quantifizierung der Sedimentfunktion in Bezug auf die Zwischen- und Endspeicherung von Stoffen:** Zusätzlich wurden an den Sedimentkernproben verschiedene sedimentologische und geochemische Parameter wie u.a. Korngrößenverteilung, biogener Opal ( $\text{SiO}_2$ ), organischer Kohlenstoff (TOC), Stickstoff (N), Phosphor (P) und ausgewählte anorganische und organische Schadstoffe gemessen, um den Zusammenhang zur Ablagerung des terrigenen und biogenen Materials sowie zur Geschichte anthropogener Einflüsse herzustellen. Darüber hinaus wurde eine Quantifizierung verschiedener Erosions-, Transport- und Depositionsprozesse begonnen, mit dem Endziel Akkumulationsraten und Inventare zu bestimmen.

### **Die Arbeiten innerhalb des Arbeitspaketes Funktioneller Ansatz – Erfassung der Sedimentleistungen wurden wie folgt geplant und durchgeführt:**

**TP 2.1:** Die Untersuchungen in diesem Teilprojekt unterteilen sich in Modellierungsaufgaben und Feldmessungen. Diese Arbeiten wurden von der Doktorandin Kirstin Schulz (im Projekt angestellt von Mitte Juli 2013 bis Projektende), vom Teilprojektleiter Lars Umlauf und von der Masterstudentin Ronja Ebner durchgeführt. Im Einzelnen gliedern sich die Aktivitäten in folgende Unterbereiche:

1. Modellierung von Resuspension und Transport. Diese Arbeiten wurden von der Doktorandin K. Schulz im Rahmen ihrer Dissertation durchgeführt, die von Teilprojektleiter L. Umlauf betreut wird (voraussichtliche Abgabe der Arbeit: Oktober 2016). Die Arbeiten umfassten von technischer Seite die aufwändige Kopplung eines Sedimentmoduls mit dem Turbulenzmodell GOTM und von wissenschaftlicher Seite die Simulation und theoretische Analyse von residuellem Sedimenttransport durch oszillierende Strömungen in der Nähe von topographischen Hängen (Schulz and Umlauf, 2016).
2. Modellierung des Wellenfeldes. Die Rolle von Oberflächenwellen wurde durch die Physik-Studentin Ronja Ebner (Ebner, 2015) in ihrer von Teilprojektleiter L. Umlauf betreuten Masterarbeit untersucht (Abgabe Oktober 2015). Dazu wurde das Wellenmodell SWAN (Holthuijsen, 2007; swanmodel.sourceforge.net) mit sehr hoher Auflösung im SECOS-Studiengebiet in ein Wellenmodell der gesamten Ostsee integriert und zur Simulation der Variabilität des Wellenfeldes während der Jahre 2014-2015 genutzt. Die Modellergebnisse sind validiert und Berechnungen für andere Zeiträume können bei Bedarf problemlos durchgeführt werden.
3. Feldbeobachtungen von bodennaher Turbulenz und Resuspension. Felddaten wurden auf insgesamt fünf interdisziplinären Schiffsexpeditionen in den Jahren 2014 bis 2016 mit Beteiligung der Doktorandin K. Schulz gesammelt. Schwerpunkte bildeten dabei die Expeditionen AL 434 mit FS Alkor, EMB 100 mit FS Elisabeth Mann Borgese und MSM 050 mit FS Maria S. Merian. Auf diesen Fahrten wurden umfangreiche Datensätze zur bodennahen Turbulenz, Strömung, Wellenaktivität und Resuspension gesammelt.

Während die Hauptergebnisse aus den Punkten 1 und 2 bereits publiziert sind (Schulz and Umlauf, 2016; Ebner, 2015), ist die Analyse der Felddaten das Hauptziel der finalen Phase des Promotionsprojekts von K. Schulz. Eine Publikation, die auch einen Teil der Wellenmodellierung in Punkt 2 einschließen wird, ist in Arbeit und wird mit Abgabe der Dissertation eingereicht sein.

**TP 2.2: Räumliche Variabilität der Bioturbation:** Um die Variabilität der Bioturbation zu untersuchen, wurden im Frühjahr 2014 auf der Expedition AL 434 jeweils 24 Kerne an folgenden Stationen entnommen: Lübecker Bucht, Mecklenburger Bucht, Stoltera, Arkonabecken, Tromper Wiek und Oderbank. An jeder Station wurden 6 Unterstationen, die zwischen 200 und 500 Metern entfernt voneinander liegen, mit jeweils 4 Kernen beprobt. Dieses Design erlaubt die Bestimmung der Variabilität auf verschiedenen räumlichen Skalen innerhalb einer Station (6 Unterstationen sowie 4 Kerne aus einem Multicorer) und auf unterschiedlichen Sedimenttypen entlang der südlichen Ostsee. Die Kerne wurden an Bord wie folgt geschnitten: 0,5 cm Intervall von 0-3 cm und 1 cm Intervall von 3-10 cm. Vertikale Chlorophyll *a* Profile erfolgten mittels photometrischer Messung. Der Abbau von Chlorophyll *a* wurde experimentell bestimmt. Dazu wurden Oberflächensedimente für 5, 10, 15 und 20 Tage bei 5, 10, 15 und 20°C inkubiert. Die Bestimmung von Bioturbationsintensitäten und die Unterscheidung zwischen diffusiver und nicht-diffusiver Sedimentdurchmischung erfolgte mittels des bio-mixing Modells von Soetaert et al. (1996). Bioturbationstiefen wurden anhand der Chlorophyll-Tiefenprofile ermittelt.

**Bioturbation in Abhängigkeit des Makrozoobenthos:** Zur Bestimmung und Tiefenprofilierung des Makrozoobenthos wurde, nach Entnahme von 3 cm<sup>3</sup> Sediment aus jeder Schicht/Kern (AL 434), das übrige Sediment gesiebt (Maschenweite: 500 µm). 24 Kerne wurden in der Lübecker und Mecklenburger Bucht sowie bei Stoltera bezüglich der Organismen inspiziert, 10 Kerne im Arkonabecken und Tromper Wiek sowie 6 Kerne an der Oderbank.

**Saisonale Variabilität der Bioturbation:** Auf den Expeditionen EMB 076, POS 475, EMB 093, EMB 100 und EMB 111 wurden an jeder Station, bezugnehmend auf die Ergebnisse in Morys et al. (submitted in MEPS), jeweils 1 Kern an 6 Unterstationen entnommen.

**Kritische Schubspannungsgeschwindigkeit:** Kritische Schubspannungsgeschwindigkeiten wurden mit Hilfe eines Ringkanals mit doppeltem Boden zum Einsetzen kurzer Kerne und einem akustischen Strömungsmesser, Vectrino (Nortek Instruments) an Bord gemessen. Oberflächensediment von MUC-Kernen wurde in kurze Kerne überführt. Bei langsam steigender Geschwindigkeit wurde die Partikelbewegung beobachtet und die Resuspensionsschwelle bestimmt. Saisonale Schwankungen konnten für alle Jahreszeiten (EMB 076, POS 475, EMB 093 und EMB 100) an Stoltera, Arkonabecken und Oderbank ermittelt werden. Pro Messung wurden 3 Parallelen durchgeführt. Vergleichsmessungen zwischen Ringkanal an Bord und im Labor wurden durchgeführt, um den Einfluss der Schiffsbewegung (Seegang) zu untersuchen. Außerdem wurden Messungen zwischen dem Ringkanal und dem race track verglichen. Vorteil des race track ist dabei eine gleichförmigere Strömung. Für diese Vergleichsmessungen wurden 3 Parallelen für Sand (Oderbank) sowie Schlick (Arkonabecken) auf der EMB 100 verwendet.

**Bestimmung von Residenzzeiten:** Residenzzeiten von Partikeln in verschiedenen Kompartimenten der Wassersäule (Wasseroberfläche, unterhalb der Sprungschicht, bodennah in der benthischen Trübezone) und des Sedimentes (fluffy layer, oberer Zentimeter, 2-5 cm und 5-10 cm) wurden mittels der <sup>234</sup>Thorium-Methode an folgenden Stationen bestimmt: Mecklenburger Bucht, Stoltera, Arkonabecken und Tromper Wiek. Partikuläres Thorium der Wassersäule wurde im Labor mittels Durchflusszentrifuge (11000 rpm) und gelöstes Thorium mittels Braunsteinfällung gewonnen. Im Sediment wurde das

partikuläre Thorium aus den Proben ausgespült. Die Messung der Thoriumaktivität erfolgte mittels eines  $\beta$ -counters.

**TP 2.3:** Der Ablauf des Vorhabens entsprach weitgehend den Planungsvorgaben aus dem Teilprojekt-Antrag und die erhaltenen und noch zu erwartenden Resultate können bereits als hervorragend betrachtet werden. Der Doktorand Marko Lipka nahm an allen sieben der im Rahmen des Projekts durchgeführten Probenahme-Kampagnen teil und war an Bord für die praktische Umsetzung des wissenschaftlichen Arbeitsprogramms des TP 2.3 verantwortlich. Die Ausfahrten deckten verschiedene Jahreszeiten und damit unterschiedliche Produktivitätsstadien des Küstenökosystems im Jahresgang ab. Während der Projektlaufzeit fand zudem ein großer Salzwassereinstrom statt. Der Doktorand war verantwortlich für die geochemische Laboranalytik zur Bestimmung der Porenwasserzusammensetzung von Oberflächensedimenten, der selektiven Zusammensetzung von Oberflächensedimenten sowie für die Durchführung von *ex situ* Kerninkubationen. In Kooperation mit TP2.4 wurden Proben aus der *in situ* Applikation benthischer Kammern in das Mess-Programm mit einbezogen.

Nachfolgende Ziele wurden im Zeitraum des Projektes SECOS erreicht:

- I. Bestimmung der zeitlichen und räumlichen Variabilität der biogeochemischen Zusammensetzung der Porenwässer der südlichen Ostsee und ihre modellierte Interpretation zur Ableitung quantitativer Stoffflüsse über die Sediment-Wasser-Grenzfläche
- II. Experimentelle Untersuchung der Auswirkung von Änderungen der Bodenwasserzusammensetzung und Störung der Oberflächensedimente auf Elementflüsse über die Sediment-Wassergrenze.
- III. Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Interpretation der Porenwassergradienten von  $\text{DI}^{13}\text{C}$  als prozess-kontrolliertes Abbild biogeochemischer Stoffumsätze im Oberflächensediment
- IV. Vergleich der Resultate aus verschiedenen Methoden für die Elementflussbestimmung.
- V. Vergleich der sedimentären Leistungen zu Sedimenteigenschaften im SECOS Gebiet und anderen Ostseearealen

Eine weitergehende Aufarbeitung wird in der Abschlussphase der Doktorarbeit erfolgen. Im Rahmen des TP 2.3 fand ein regelmäßiger und reger akademischer intra-und inter-Projekt Austausch u.a. mit den KollegInnen der Universität Rostock statt. Dieser wurde u.a. durch regelmäßige Treffen sowie durch die gemeinsame Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse bei den jährlichen Statusseminaren gewährleistet.

**TP 2.4:** Der Ablauf des Vorhabens entsprach überwiegend den Planungen aus dem TP-Antrag. Das Projekt wurde in zwei analytische Schwerpunkte zur Messung des Gasaustausches und der Nährstoffflüsse an den SECOS-Stationen (siehe Abschnitt 2.1, TP 2.4) gegliedert: 1. unter *in situ*, natürlichen Bedingungen im Feld, und 2. unter *ex situ*, unter Laborbedingungen mit konstanter Temperatur und Dunkelheit (ähnlich den Feldbedingungen). Dazu nahm die Mitarbeiterin Frau Dr. Wölfel während der dreijährigen Projektlaufzeit an 7 Forschungsausfahrten zu den SECOS-Stationen (siehe Tabelle 1.3.4) teil.

Für das Jahr 2014 warb Prof. Dr. Rehder zweimal 14 Tage Schiffszeit (April AL 434; September POS 475) für die Mitarbeiter des SECOS-Projektes ein. Er übernahm während der ersten Reise mit der FS Alkor die Fahrtleitung, während Frau Dr. Wölfel bei zwei weiteren Fahrten (Juni 2014 EMB 076, Januar 2015 EMB 093) die Leitung übernahm.



Die in situ-Messungen erfolgten mit Hilfe von benthischen Kammern, die an Landersystemen montiert waren. In 2014-2015 wurden dazu bereits zwei vorhandene benthische Kammerlandersysteme von kooperierenden Wissenschaftlern des GEOMAR (siehe 1.4.1) geliehen. Die daraus gewonnenen Erfahrungen im Einsatz wurden während der Projektlaufzeit genutzt, ein eigenes IOW-System zur Beprobung der vor allem sandigen Sedimente im Flachwasserbereich der Ostsee zu entwickeln und zu bauen. Dazu wurden aus dem Haushalt des IOW eigene Investitionsmittel zur Verfügung gestellt. Das IOW-System war im Juni 2015 einsatzbereit und wurde während der letzten beiden SECOS-Ausfahrten (September 2015 EMB111, Januar 2016 MSM 50) erfolgreich eingesetzt.

Um die Technologie der benthischen Kammerlandersysteme weiterhin zu optimieren und die Kooperation zu intensivieren nahm Frau Dr. Wölfel zusätzlich an einer achten Forschungsreise im August 2015 auf der FS Poseidon (POS 487) unter der Fahrtleitung von Dr. Stefan Sommer (GEOMAR Kiel) zu benthischen Fluss-Untersuchungen im Gotlandbecken teil.

Die in situ Quantifizierung wurde durch ex situ-Inkubationen von Sedimentkernen in enger Zusammenarbeit mit TP 2.3 ergänzt (siehe Abschnitte 1.3, 2.1).

**TP 2.5:** Zur Probenahme von Sedimentproben erfolgte eine Teilnahme an zwei Ausfahrten im Juni 2014 und April 2015. dabei wurden 5 Stationen in unterschiedlichen Tiefen beprobt. Die Extraktion der DNA und RNA erfolgte danach im Labor und erwies sich als ziemlich zeitaufwendig. Die Sequenzierung erfolgte von einer Fremdfirma. Bei der bisherigen Auswertung hat sich gezeigt, dass der aktive Teil der Sedimentbakterien sehr viel aufschlussreicher ist, als die Betrachtung der Gesamtgemeinschaft.

**TP 3.1:** Entsprechend der Aufgabenstellung wurden zum einen mit dem bestehenden Modell verbesserte Szenarien gerechnet. Dazu wurden die räumliche Auflösung im Bereich der westlichen Ostsee auf eine Seemeile erhöht, die Flusseinträge besser lokalisiert und verbesserte meteorologische Antriebsdaten bereitgestellt. Die Ergebnisse der Simulationen wurden im Baltic Sea Atlas verfügbar gemacht. Zum anderen wurde anstelle des alten, stark parametrisierten Sedimentmoduls ein neues, die verschiedenen Frühdiageneseprozesse vertikal auflösendes Sedimentmodul entwickelt und an das Ökosystemmodell ERGOM gekoppelt. Es konnte mithilfe der im Verbundprojekt gewonnenen Messdaten erfolgreich kalibriert werden und nachfolgend wurden damit Simulationen durchgeführt und analysiert.

**TP 3.2:** Die Arbeiten zur Erhöhung der Simulationskapazitäten bestanden in der Verbesserung der Codeperformance und lassen sich in drei wesentliche Schritte einteilen. Im ersten Schritt wurden repräsentative Referenzexperimente verschiedener Komplexität definiert, für die die physikalischen Ergebnisse festgehalten wurden. Damit konnte für die später folgenden Modelländerungen neben den veränderten Laufzeiten insbesondere die physikalische Korrektheit des neuen Modellcodes sichergestellt werden. Im zweiten Schritt erfolgte eine detaillierte Leistungsanalyse, die neben der Lokalisierung zeitlich aufwändiger Abschnitte (Hotspots) auch eine Zuordnung des Zeitverbrauchs zu den verschiedenen Hardwareressourcen, wie MPI-Kommunikationsnetzwerk und Festplattenzugriffe bei Ein- und Ausgabe, ermöglichte. Ausgehend von diesen Analysen wurden dann im dritten Schritt gezielt die Hotspots optimiert, was zu signifikanten Laufzeitverbesserungen führte.

**TP 4.1:** Planung und Ablauf entsprachen dem Antrag, beginnend mit der Etablierung einer offiziellen Arbeitsgruppe bestehend aus Ämtern und Praxisakteuren. In Rückkopplung mit dieser Arbeitsgruppe wurden die bestehenden Gewässerqualitätsziele evaluiert, der Handlungsbedarf definiert, alternative Methoden zur Ableitung neuer Qualitätsziele getestet und diskutiert, neue Qualitätsziele für Nährstoffe





und Chlorophyll a modellbasiert berechnet, diese in Kartenformat praxistgerecht aufbereitet und Zielwerte für Nährstoffeinträge abgeleitet. Die Ergebnisse wurden international sowie in einem nationalen Bericht publiziert, von der Arbeitsgruppe offiziell verabschiedet, haben die Gremien in Verwaltung und Politik passiert und sind mittlerweile Bestandteil der nationalen Oberflächengewässerverordnungen.

**TP 4.2:** Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) war im Projekt SECOS verantwortlich für die ökonomische Bewertung der dauerhaften Festlegung ausgewählter Schadstoffe im Sediment der Ostsee. Hierzu wurden im Teilprojekt 4.2 vier Tasks bearbeitet:

Task 1 – Methodische Grundlagen: Um eine methodologische Grundlage für die Arbeiten des TP 4.2 zu schaffen, wurde ein Rahmen für die ökonomische Bewertung des HELCOM Katalogs für marine Ökosystemleistungen entwickelt. Zudem wurden die verschiedenen Bewertungsmethoden und ihre Passgenauigkeit für die Monetisierung von marinen Ökosystemleistungen diskutiert.

Task 2 – Metaanalyse bisheriger Bewertungsstudien von Ökosystemleistungen an der Ostsee: Da bereits eine erhebliche Anzahl von Studien über die ökonomische Bewertung bestimmter mariner Ökosystemleistungen existierten, sollte anhand einer umfangreichen Begutachtung der bestehenden Literatur eine Übersicht und Zusammenfassung aus den Studien u.a. über die jeweilige regionale Reichweite, betrachteten Ökosystemleistungen, angewandten Bewertungsmethoden sowie die betrachteten Geldwerte erstellt werden (Deliverable: Arbeitspapier zum methodologischen Rahmen der monetären Bewertung mariner Ökosystemleistungen, sowie bereits vorhandener Studien und Bewertungsansätze (Monat 12)).

Task 3 – Kooperation mit den anderen SECOS-Teilprojekten und weiteren KüNO-Projekten: In diesem Teil des Projektes sollte die Zusammenarbeit mit den SECOS AP 1, 2 und 3 über die innerhalb des Projektes verfügbaren und generierten Informationen bezüglich der Sedimentierungsprozesse, ebenso wie der Austausch mit anderen Projekten (bspw. STOPP und MOSSCO) erfolgen.

Task 4 – Monetäre Bewertung der regulierenden Ökosystemleistungen: Hier sollte die monetäre Bewertung der regulierenden Ökosystemleistungen "Sedimentierung von Schadstoffen" bezüglich drei zentral relevanter Schadstoffe durchgeführt werden. Die exemplarisch zu bewertenden Schadstoffe wurden gemeinsam mit den SECOS Projektpartnern ausgewählt. Schließlich sollte die monetäre Bewertung dann auf Grundlage des Vermeidungskostenansatzes durchgeführt werden.

## 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

**TP 1.1:** Sedimentgeochemische Kartierungsarbeiten im marinen Milieu sind natürlich nicht neu. So existierten zum Beispiel auch für ausgewählte Gebiete der Ostsee (insbesondere die großen Becken) geochemische Karten für einige Elemente und Parameter. Auch Gebiete der deutschen Ostsee (Arkonabecken, Mecklenburger Bucht) wurden in früheren Jahren geochemisch untersucht und die Ergebnisse publiziert. Die hier zur Diskussion stehenden Elemente sind aus analytisch-technischer Sicht heute überwiegend gut beherrschbar. Was wirklich neu und innovativ ist, an dem hier vorgelegten Ergebnis, ist folgendes: Die konsequente Abtrennung und Analyse der Feinfraktion für alle Proben unterschiedlicher Sedimenttypen für eine große Region mit hoher Abdeckung (Punktdichte) und zahlreichen Elementen (Parametern) lässt Darstellungs- und Interpretationsmöglichkeiten zu, die für ein Küstenmeer bisher so nicht verfügbar waren. Außerdem sind mit der modernen digitalen Bild- und



Datenverarbeitung zahlreiche Möglichkeiten gegeben diese Ergebnisse für die interdisziplinäre Forschung und die Nutzung für eine breite Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Moderne Online-Datenbanken oder Portale im Internet lassen sich z.B. auch für Gebiete der Nord- und Ostsee finden (z.B. Geopotential Nordsee, BSH, Geologische Dienste in Finnland (GTK) und Schweden (GSS) ODIN, Baltic-NEST, usw.), jedoch sucht man geochemische Karten für den marinen Bereich hier (noch) vergeblich.

**TP 1.2:** Das Vorhaben knüpfte vor allem an publizierte Vorarbeiten über die Zusammenhänge der Artenverteilungen mit abiotischen Umweltfaktoren an. Diese sind essentielle Voraussetzungen für das Verständnis von Ökosystemfunktionen und Prozessen im Meer. Die modernen und bereits etablierten Techniken (wie Random Forest) für Vorhersagemodelle von Artenverteilungen basierend auf einigen maßgeblichen Umweltfaktoren wurden verwendet. Für die Habitat-Karte wurden benthosbiologische und sedimentologische Daten, die entweder aus Altdatenbeständen aufgearbeitet oder im Projekt neu erhoben wurden, verwendet. In den Jahren 2014-2016 wurden auf insgesamt sechs Ausfahrten mit verschiedenen Forschungsschiffen (Alkor, Poseidon, Elisabeth Mann Borgese, Maria S. Merian) auf den SECOS Stationen (Stationen in 8 Modellgebieten) umfangreiche Benthos-Probennahmen durchgeführt (zusätzlich wurde auch die Sommersituation auf 4 ausgewählten SECOS Stationen auf einer Extrafahrt beprobt). Die Habitat-Karte präsentiert die Verbreitung von Meeresbodenbiotoptypen auf der Basis des HELCOM Underwater Biotope and habitat classification system (HUB) bis zur dominierenden Artenebene. Die Deskriptoren von Benthosgemeinschaften (Abundanz, Biomasse, Artenvielfalt) sind flächendeckend dargestellt. Das sogenannte „Bioturbation-Potential“, entwickelt von Solan et al. (2004), wird als funktioneller Indikator der Bodenfauna (via Intensität der Bioturbation) verwendet.

**TP 1.3:** Das Vorhaben knüpft vor allem an Arbeiten der oben genannten Vorgängerprojekte TP 1.1 und 1.2 an, In diesen stand der flächige und kartierende Ansatz stärker im Vordergrund. Die am IOW in den letzten Jahren aufgebaute Expertise zur detaillierten Datierung und Analyse von Sedimentkernen (Gammaskopimetrie, verschiedene Kernlogger-Verfahren, ICP-MS, REM-Analytik) stellte eine weitere wichtige Voraussetzung zur erfolgreichen Durchführung dieses Teilprojekts dar.

**TP 2.1:** Die physikalischen Messungen in diesem Teilprojekt basieren auf dem aktuellen Stand der Technik, wobei mit der eingesetzten Mikrostruktur-Turbulenzsonde des IOW ein im Ostseeraum nahezu einmaliges Instrument zu exakten Erfassung der bodennahen Turbulenz zur Verfügung stand. Die meisten anderen Instrumente (hochgenaue akustische Strömungsmesser, Salz- und Temperaturlogger etc.) wurden aus dem existierenden Pool ozeanographischer Geräte des IOW entnommen. Die am IOW bisher nicht eingesetzten Trübungssensoren mit Schutz vor Bio-Fouling, die essentiell für die Bestimmung von Resuspensionsereignissen waren, wurden während des Projektes aus hausinternen Mitteln angeschafft, genauso wie ein zusätzlicher hochauflösender Strömungsmesser. Die eingesetzten Strömungsmodelle (insbesondere das Turbulenzmodell GOTM) wurden und werden unter der Leitung von IOW-Wissenschaftlern entwickelt und repräsentieren den Wissensstand auf den jeweiligen Gebieten (Umlauf et al., 2005). Zur Modellierung des Oberflächenwellenfeldes kam die Software SWAN zum Einsatz ([swanmodel.sourceforge.net](http://swanmodel.sourceforge.net)), die von der TU Delft (Niederlande) entwickelt wird und zum Projektbeginn dem Stand der Wissenschaft entsprach.

Der Wissensstand zu Projektbeginn stimmte in etwa mit der Beschreibung von Christiansen et al (2002) überein, die die Ergebnisse aus dem BASYS-Projekt zusammenfasst. Eines der Schlüsselemente

dieser Studie waren Resuspensionsmessungen in einem durch eine Kammer eingeschlossenen Wasservolumen, in dem künstliche Turbulenz erzeugt wurde. In SECOS wurde nun der Schritt unternommen, den Resuspensionsprozess durch natürliche Umgebungsturbulenz (erzeugt durch Wellen und bodennahe Strömungen) direkt zu untersuchen. Eine Schlüsselrolle spielte dabei die oben erwähnte Mikrostruktur-Turbulenzsonde. Durch Messungen in der gesamten Wassersäule sollte darüber hinaus gezeigt werden, wie die turbulente Bodengrenzschicht in den gesamten Wasserkörper integriert ist und welche Prozesse im Innern der Wassersäule für die Erzeugung von Turbulenz in der Grenzschicht verantwortlich sind.

**TP 2.2:** Studien zur Variabilität der Partikelmischung durch Bioturbationsprozesse existieren kaum. In SECOS wurde vor diesem Hintergrund gezielt auf eine sehr umfangreiche Beprobung gesetzt, auch um diesen wichtigen Faktor für die Betrachtung von Fauna und Sedimenten in der deutschen Ostsee besser einschätzen zu können. Der Datensatz ist tatsächlich einzigartig und versetzt uns in die Lage Vorstellungen durch Fakten abzulösen und auch zur internationalen wissenschaftlichen Diskussion beizutragen. Wissenschaftlich bestand zu Beginn des Projektes und besteht weiterhin die Problematik, dass Bioturbation als Prozess der Partikelbewegung auf der makroskopischen Ebene zwar beschreibbar ist, diese Zahlen aber kaum Eingang in andere Disziplinen oder das Gesamtverständnis der Stoffumsätze finden. Die beschreibende Methodik konnten wir nicht verbessern (es wurde die klassische Tracermethode angewandt), aber die Daten ermöglichen ein Einordnen der Ergebnisse auf makroskopischen Ebene (Sedimentkern) in den größeren räumlichen Zusammenhang (Verteilung von Organismen und Bioturbation über hunderte von Metern), der vorher mangels Daten nicht möglich war.

Resuspension wurde in der Abteilung Meeresbiologie vor SECOS wiederholt gemessen und publiziert (Friedrichs et al. 2009, Zivovogel und Forster 2005). Die Ergebnisse lassen somit eine Einordnung in andere Befunde zu. In TP 2.1 wurde das unter natürlichem Antrieb zu beobachtende Resuspensionsverhalten detailliert untersucht und die Rolle von Wellen hervorgehoben. TP 2.2 liefert zahlenmäßige Anhaltspunkte zur Geschwindigkeit, bei der die Schwelle zur Resuspension überschritten wird, allerdings bei unidirektionaler Strömung (keine Wellen). Die Ergebnisse ergänzen einander.

Residenzzeiten von mit  $^{234}\text{Th}$  behafteten Partikeln wurden im Sediment bisher praktisch nicht bestimmt. Die AG Graf war schon zuvor nicht kontinuierlich an der internationalen Diskussion dieses Themas beteiligt und gibt nach SECOS aus Kapazitätsgründen diese Forschungsrichtung auf.

**TP 2.3:** Die Arbeit basiert auf dem aktuellen Kenntnisstand der Fachliteratur und eigener Vorarbeiten. Die verwendeten Methoden sind dort beschrieben oder in der AG des Antragstellers entwickelt worden. Die im vorliegenden Projekt(-verlauf) erstmalig etablierte Methode zur modellierenden Interpretation von  $\text{DI}^{13}\text{C}$  wird als eines der Resultate des TP 2.3 gerade zu einem Manuskript zusammengefasst (Liu et al, in prep.).

Die Forschung im TP 2.3 trägt direkt zu den Zielen der in der Ausschreibung als Wissenslücken identifizierten Bereiche in der Küstenforschungs-Agenda für die Nord- und Ostsee bei. Hierbei geht es um die Identifizierung der kontrollierenden Faktoren für Leistungen von Oberflächensedimenten in Form der Rückhaltung von reduziertem Kohlenstoff und Schwefel, Phosphor und Metallen sowie die den Rückfluss determinierenden chemischen, biologischen und physikalischen Einflußgrößen.

Der mikrobiell katalysierte Abbau von organischem Material führt zur Ausbildung von Konzentrationsgradienten, die z.B. Elementflüssen im Oberflächensdiment und die Sediment-Wasser-

Grenze führen. Die Größe dieser Flüsse hängt ab von der Verfügbarkeit von Elektronendonatoren und –akzeptoren, der Sedimentologie/Hydrodynamik, Bodenwassersalinität und korrespondierenden Strukturen der mikrobiellen und makrozoobenthischen Gemeinschaften (z.B. Canfield et al., 1993; d'Andrea et al., 2002; Al-Raei et al., 2009; Kowalski et al., 2012). Die zugrundeliegenden Prozesse werden durch externe Rahmenbedingungen beeinflusst, wie der Temperatur, der Nährstoffverfügbarkeit, der Produktivität und stehen daher unter der Beeinflussung durch natürliche dynamische Änderungen sowie anthropogene Aktivität unterschiedlicher Skaligkeit bis hin zum Klimawandel. Die Freisetzung von Nährstoffen, Alkalinität (vor allem gelöstes Hydrogencarbonat), Phosphat, redox-sensitiver Elemente (Schwefelwasserstoff, Metalle) sind empirisch experimentell aus Porenwassergradienten und Kerninkubationen intakter Sedimentkerne ableitbar. Variierende Bodenwasser-Redoxbedingungen und Standorte unterschiedlicher Ablagerungsbedingungen ermöglichen die Untersuchung der komplexen Reaktionen z.B. zwischen Schwefel-, Eisen- und Phosphorverbindungen in der gelösten und festen Phase. Die temporäre und dauerhafte Bildung von Metallsulfiden hat fundamentale Auswirkungen auf die Fixierung/Mobilität ausgewählter Spurenkomponenten (Huerta-Diaz & Morse, 1992). Veränderliche Bioturbationsaktivität und die Anwesenheit spezifischer Mikroorganismen kann die Position der benthische Redoxkline verändern, was sich auf die Abundanz reaktiver gelöster und Festphasen und die Mobilität von Nährstoffen und anderen Elemente auswirken kann. Die Diskriminierung stabiler Isotope und die zeitliche aufgelöste Inkubation von intakten Sedimentkernen wird mit der Erfassung von Porenwassergradienten kombiniert. An schlickigen Standorten werden die Ergebnisse z.B. mit dem Modell REC (Lettmann et al., 2012) interpretiert, in permeableren werden neue Modellansätze entwickelt.

**TP 2.4:** Es wird angenommen, dass im Jahr 2025 etwa 75 % der Weltbevölkerung im Küstenbereich der Meere angesiedelt sein werden (Rullkötter, 2004). Es besteht die Gefahr, dass dort Ressourcen in einer Weise ausgenutzt werden, die die vorhandenen Ökosysteme unwiederbringlich zerstören. Daher sind Kenntnisse über ökologische Prozesse und die daraus abgeleitete ökologische Gesundheit von Küstenzonensystemen für Schutzmaßnahmen von erheblicher Bedeutung.

Die Sedimente als Hauptort für Ablagerungs- und Umsatzprozesse sind in den küstennahen Bereichen besonders hohen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt. Daher ist es umso erstaunlicher, dass bisher die Mehrzahl von biogeochemischen Studien in Wassertiefen von <50 m und auch nur punktuell (z.B. vor Ästuaren) durchgeführt wurden. Eine interdisziplinäre Charakterisierung von Sediment – und abiotischen/biotischen Habitateigenschaften mit entsprechenden Freisetzungs-/Zehrungsprozessen von klimarelevanten Spurengasen sowie die Interpolation auf größere Flächen ist für die deutsche Ostseeküste bisher nicht vorgenommen worden. Weiterhin ist die anteilige Emission von N<sub>2</sub>O als wichtiges Intermediat des Stickstoffkreislaufes bisher wenig verifiziert.

**TP 2.5:** Verglichen mit den wenigen anderen molekularen Untersuchungen zu Bakteriengemeinschaften in marinen Sedimenten, tragen unsere Untersuchungen weiterhin dazu bei, die Zusammensetzung und die Bedeutung dieser Organismengruppe besser zu verstehen. Es bestätigte sich dabei, dass Bakteriengemeinschaften in Sedimenten sich deutlich von Bakterien in der Wassersäule unterscheiden.

**TP 3.1:** Zur Verfügung stand am IOW das Ökosystemmodell MOM-ERGOM mit einer horizontalen Auflösung von 3 Seemeilen und einem stark parametrisierten Sedimentmodell, das dennoch zahlreiche Sedimentprozesse beschrieb. Mit diesem existierenden Model wurden bereits im Projekt RA:dOst



(Förderkennzeichen: 01LR0807B; gefördert vom BMBF) Simulationen zu Klimaszenarien und zu Nährstoffreduktionen im Rahmen des Baltic Sea Action Plan durchgeführt.

**TP 3.2:** Das betrachtete gekoppelte Modellsystem ERGOM/MOM wurde bereits zur Durchführung von Modellsimulationen auf dem HLRN-II eingesetzt. Daher konnte zum Projektstart an einen MPI-parallelierten Code mit paralleler Ein- und Ausgabe angeknüpft werden.

**TP 4.1:** Siehe BLANO (2014)<sup>2</sup>, Kapitel 2 (s. a. Abschnitt 1.4.2 und Abschnitt 2.6 unter „weitere Publikationen / Präsentationen“)

**TP 4.2:** Bisher wurden nur wenige Ökosystemleistungen der deutschen Ostseeküste ökonomisch bewertet. Auch fehlte eine systematische Darstellung des Stands der Forschung zur Bewertung von Ökosystemleistungen an der Ostsee.

Hinzu kommt, dass Sedimentierung von Schadstoffen bisher nicht mit ökonomischen Methoden untersucht wurde. In diese Lücke stieß das Projekt SECOS und bietet nun erstmals einen systemischen Überblick über ökonomische Bewertungsstudien an der Ostsee. Weiterhin wurde in dem Projekt zum ersten Mal der Versuch unternommen, den ökonomischen Wert der Sedimentierung von Quecksilber zu ermitteln.

#### **1.4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für das Vorhaben verwendet wurden**

Im Teilprojekt 2.4 „Gasaustausch an der Sediment-Wassergrenzfläche“ wurde eine intensive Kooperation mit den Experten Dr. Stefan Sommer und Dr. Peter Linke (AG Marine Geosysteme, GEOMAR), die zu ähnlichen Fragestellungen am GEOMAR in Kiel arbeiten, aufgebaut. Somit war es für den Großteil der Projektzeit möglich, zwei bereits vorhandene benthische Kammerlandersysteme zu entleihen und während der Ausfahrten zur *in situ* Messung (siehe 1.3) einzusetzen. Die daraus gewonnenen Erfahrungen im Einsatz wurden genutzt, um mit der Firma K.U.M (Umwelt- und Meerestechnik Kiel) ein eigenes System zu entwickeln und zu bauen. Die Investitionsmittel wurden hierzu aus dem Haushalt des IOW bereitgestellt.

In TP 3.1 „Szenarien-Simulationen und Verbesserung des Sedimentmoduls“ verwendete existierende Software umfasst das Modellsystem „Modular Ocean Model“ (MOM3 und MOM5.2), den Intel Fortran Compiler sowie Software zur Datenauswertung (z.B. NOAA Ferret, R).

Aufgrund der mit dem Übergang vom HLRN-II zum HLRN-III erhöhten Parallelität, insbesondere auf Ebene der Rechenknoten, war die Ausnutzung der Knotenparallelität von besonderem Nutzen für die Arbeiten zur Erhöhung der Simulationskapazitäten (TP 3.2). Neben der Prozessplatzierung auf Rechenkern spielte die verbesserte Vektorisierung und damit die Ausnutzung der SIMD- oder Vektoreinheiten eine wichtige Rolle.

---

<sup>2</sup> Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2014). Harmonisierte Hintergrund- und Orientierungswerte für Nährstoffe und Chlorophyll-a in den deutschen Küstengewässern der Ostsee sowie Zielfrachten und Zielkonzentrationen für die Einträge über die Gewässer. Konzept zur Ableitung von Nährstoffreduktionszielen nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie, der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, der Helsinki-Konvention und des Göteborg-Protokolls. Download: <http://www.meeresschutz.info/index.php/sonstige-berichte.html>

## 1.4.2 Verwendete Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste

- TP 1.1:** Borg H, Jonsson P (1996): Large-scale metal distribution in Baltic Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin* 32, 8-21.
- Conley DJ (1998): An interlaboratory comparison for the measurement of biogenic silica in sediments. *Marine Chemistry* 63, 39-48.
- Christiansen C, Edelvang K, Emeis K-C, Graf G, Jähmlich S, Kozuch J, Laima M, Leipe T, Löffler A, Lund-Hansen L-C, Miltner A, Pazdro K, Pempkowiak J, Shimmield G, Shimmield T, Smith J, Voss M, Witt G (2002): Material transport from the nearshore to the basinal environment in the southern Baltic Sea, I: Processes and mass estimates. *Journal of Marine Systems* 35, 133-150.
- Darr A, Gogina M, Zettler ML (2014): Detecting hot-spots of bivalve biomass in the south-western Baltic Sea. *Journal of Marine Systems* 134, 69-80.
- Deutsch B, Forster S, Wilhelm M, Dippner JW, Voss M (2010): Denitrification in sediments as a major nitrogen sink in the Baltic Sea: an extrapolation using sediment characteristics. *Biogeosciences Discussion* 7, 2487-2521.
- European Commission (2008). Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for Community actions in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Official Journal of the European Communities.
- Emeis K-C, Christiansen C, Edelvang K, Jähmlich S, Kozuch J, Laima M, Leipe T, Lund-Hansen L-C, Löffler A, Miltner A, Pazdro K, Pempkowiak J, Pollehne F, Shimmield T, Voss M, Witt G (2002): Material transport from the nearshore to the basinal environment in the southern Baltic Sea, II: Synthesis of data on origin and properties of material. *Journal of Marine Systems* 35, 151-168.
- Emelyanov E, Christiansen C, Michelsen O (editors) (1995): *Geology of the Bornholm Basin*. Department of Earth Sciences, Aarhus University, 236 pages.
- Emelyanov EM (editor, 2002): *Geology of the Gdansk Basin Baltic Sea*. Russian Academy of Sciences; Shirshov Institute of Oceanology, Atlantic Branch; Yantarny skaz, 494 pages.
- Emelyanov EM (2012): The distribution of organic carbon and composition of the carboniferous mud in the Baltic Sea. *Advances in Environmental Research* Vol. 27, pp. 111-138; Nova Science Publishers.
- HELCOM BALTIC SEA ACTION PLAN adopted on 15 November 2007 in Krakow, Poland by the HELCOM Extraordinary Ministerial Meeting.
- Jilbert T, Slomp CP, Gustafsson BG, Boer W (2011): Beyond the Fe-P-redox connection: preferential regeneration of phosphorus from organic matter as a key control on Baltic Sea nutrient cycles. *Biogeosciences* 8, 1699-1720.
- Kube J (1996): The ecology of macrozoobenthos and sea ducks in the Pomeranian Bay. *Marine Science Reports (Institute of Baltic Sea Research, Warnemünde)* No. 18, 128 pages.
- Kuhrts C, Fennel W, Seifert T (2004): Model studies of transport of sedimentary material in the western Baltic. *Journal of Marine Systems* 52, 167-190.
- Leipe T, Eidam J, Lampe R, Meyer H, Neumann T, Osadczuk A, Janke W, Puff T, Blanz T, Gingele FX, Dannenberger D, Witt G (1998): The Oder-Lagoon, contributions to Holocene development and anthropogenic impact of the Oder Estuary (in German). *Marine Science Reports* No. 28; Institute of Baltic Sea Research, Warnemünde, 81 pages.
- Leipe T, Moros M, Kotilainen A, Vallius H, Kabel K, Endler M, Kowalski N (2013): Mercury in Baltic Sea sediments – natural background and anthropogenic impact. *Chemie der Erde (Geochemistry)* 73, 249-259.
- Müller PJ, Schneider R (1993): An automated leaching method for the determination of opal in sediments and particulate matter. *Deep-Sea Research I*, Vol. 40, No. 3, pp. 425-444.
- Mort HP, Slomp CP, Gustafsson BG, Andersen TJ (2010): Phosphorus recycling and burial in Baltic Sea sediments with contrasting redox conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 1350-1362.
- Puttonen I, Mattila J, Jonsson P, Karlsson OM, Kohonen T, Kotilainen A, Lukkari K, Malmaeus JM, Rydin E (2014): Distribution and estimated release of sediment phosphorus in the northern Baltic Sea archipelagos. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 145, 9-21.
- Ruttenberg KC (1992): Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. *Limnology and Oceanography* 37, 1460-1482.
- Schiele KS, Darr A, Zettler ML, Friedland R, Tauber F, von Weber M, Voss J (2015): Biotope map of the German Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 96, 127-135.

- Szczepanska T, Uscinowicz Sz (1994): Atlas geochemiczny poludniowego Baltiku. Panstw. Inst. Geol. Warszawa.
- Tauber F, Emeis K-C (2005): Sediment mobility in the Pomeranian Bight (Baltic Sea): A case study based on sidescan-sonar images and hydrodynamic modeling. *Geo-Marine Letters* 25, 221-229.
- Tejakusuma IG (2004): Investigations into the hydrography and dynamics of suspended particulate matter and sediments in the Oder Lagoon, southern Baltic Sea. Ph.D. Thesis, University of Greifswald, 149 pages.
- Uscinowicz Sz (editor, 2011): *Geochemistry of Baltic Sea Surface Sediments*. Polish Geological Institute & Ministry of the Environment, Warsaw, 356 pages.
- Vallius H (editor, 2007): *Holocene sedimentary environment and sediment geochemistry of the eastern Gulf of Finland, Baltic Sea*. Geological Survey of Finland, Special Paper 45, 70 pages.
- Voß M, Struck U (1997): Stable nitrogen and carbon isotopes as indicator of eutrophication of the Oder river (Baltic Sea). *Marine Chemistry* 59, 35-49.
- TP 1.2:** HELCOM (2013). HELCOM HUB – technical report on the HELCOM Underwater biotope and habitat classification. *Baltic Sea Environmental Proceedings*, No.
- Solan M, Cardinale BJ, Downing AL, Engelhardt KAM, Ruesink JL, Srivastava DS (2004a). Extinction and ecosystem function in the marine benthos. *Science* 306:1177–1180.
- Gogina MA, Zettler ML (2010). Diversity and distribution of benthic macrofauna in the Baltic Sea. Data inventory and its use for species distribution modelling and prediction. *J. Sea Res.* 64, 313–321.
- Gogina MA, Glockzin M, Zettler ML (2010). Distribution of benthic macrofaunal communities in the western Baltic Seawith regard to near-bottom environmental parameters. 2. Modelling and prediction. *J. Mar. Syst.* 80, 57–70.
- Tauber F (2012). *Meeresbodensedimente in der deutschen Ostsee/Seabed sediments in the German Baltic Sea*. Hamburg, Rostock: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. 9 Map Sheets.
- <[http://www.bsh.de/de/Produkte/Karten/Geologische\\_Karten/index.jsp](http://www.bsh.de/de/Produkte/Karten/Geologische_Karten/index.jsp)>.
- TP 1.3:** Baltic Sea Hydrographic Commission (2013). *Baltic Sea Bathymetry Database*, version 0.9.3. Downloaded from <http://data.bshc.pro/> on 5 Feb. 2014
- Bobertz B, Harff J (2004). Sediment facies and hydrodynamic setting: A study in the south western Baltic Sea. *Ocean Dynamics* 54, 39–48. doi:10.1007/s10236-003-0061-8
- Christiansen C, Edelvang K, Emeis K-C, Graf G, Jähmlich S, Kozuch J, Laima M, Leipe T, Löffler A, Lund-Hansen LC, Miltner A, Pazdro K, Pempkowiak J, Shimmield G, Shimmield T, Smith J, Voss M, Witt G, (2002). Material transport from the nearshore to the basinal environment in the southern Baltic Sea I. Processes and mass estimates. *Journal of Marine Systems* 35, 133–150. doi:10.1016/S0924-7963(02)00126-4
- Emeis K-C, Christiansen C, Edelvang K, Jähmlich S, Kozuch J, Laima M, Leipe T, Löffler A, Lund-Hansen LC, Miltner A, Pazdro K, Pempkowiak J, Pollehne F, Shimmield T, Voss M, Witt G (2002). Material transport from the near shore to the basinal environment in the southern Baltic Sea II: Synthesis of data on origin and properties of material. *Journal of Marine Systems* 35, 151–168. doi:10.1016/S0924-7963(02)00127-6
- Gellermann R, Weiß D, Brüggemann L (1990). Datierung von Ostseesedimenten mit <sup>210</sup>Pb. *Isotopenpraxis Isotopes in Environmental and Health Studies* 26, 375–380. doi:10.1080/10256019008624336
- Gingele FX, Leipe T (2001). Southwestern Baltic Sea—A sink for suspended matter from the North Sea? *Geology* 29, 215. doi:10.1130/0091-7613(2001)029<0215:SBSASF>2.0.CO;2
- Heinrichs H, Brumsack H-J, Löffler NS, König N (1986). Verbessertes Druckaufschlußsystem für biologische und anorganische Materialien. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 149, 350–353. doi:10.1002/jpln.19861490313
- Johannessen SC, Macdonald RW (2012). There is no 1954 in that core! Interpreting sedimentation rates and contaminant trends in marine sediment cores. *Marine Pollution Bulletin* 64, 675–678. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.01.026
- Kersten M, Leipe T, Tauber F (2005). Storm disturbance of sediment contaminants at a hot-spot in the Baltic sea assessed by <sup>234</sup>Th radionuclide tracer profiles. *Environmental Science and Technology* 39, 984–990. doi:10.1021/es049391y
- Kowalski N, (2006). *Umweltgeochemische raum-zeitliche Veränderungen in Sedimenten des Arkonabeckens*. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.
- Lamborg CH, Hammerschmidt CR, Bowman KL, Swarr GJ, Munson KM, Ohnemus DC, Lam PJ, Heimbürger L-E, Rijkenberg MJA, Saito MA (2014). A global ocean inventory of anthropogenic mercury based on water column measurements. *Nature* 512, 65–68. doi:10.1038/nature13563



Leipe T, Moros M, Kotilainen AT, Vallius H, Kabel K, Endler M, Kowalski N (2013). Mercury in Baltic Sea sediments-Natural background and anthropogenic impact. *Chemie der Erde - Geochemistry* 73, 249–259. doi:10.1016/j.chemer.2013.06.005

Leipe T, Tauber F, Vallius H, Virtasalo JJ, Uścińowicz S, Kowalski N, Hille S, Lindgren S, Myllyvirta T (2011). Particulate organic carbon (POC) in surface sediments of the Baltic Sea. *Geo-Marine Letters* 31, 175–188. doi:10.1007/s00367-010-0223-x

Löffler A, Leipe T, Emeis K-C (2000). The “fluffy layer” in the Pomeranian Bight (western Baltic Sea): geochemistry, mineralogy and environmental aspects. *Meyniana* 52, 85–100.

Milkert D, Werner F (1997). Formation and distribution of storm layers in western Baltic Sea muds. *Oceanographic Literature Review* 44, 326.

Nittrouer CA, Lopez GR, Wright LD, Bentley SJ, D’Andrea AF, Friedrichs CT, Craig NI, Sommerfield CK (1998). Oceanographic processes and the preservation of sedimentary structure in Eckernförde Bay, Baltic Sea. *Continental Shelf Research* 18, 1689–1714. doi:10.1016/S0278-4343(98)00054-5

Seifert T, Tauber F, Kayser B (2001). A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea - 2nd edition.

Sieger R, Grobe H (2013). PanPlot 2 - software to visualize profiles and time series. doi:10.1594/PANGAEA.816201

Tauber F (2012). Meeresbodensedimente in der deutschen Ostsee – Seabed sediments in the German Baltic Sea. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg

Virtasalo JJ, Bonsdorff E, Moros M, Kabel K, Kotilainen AT, Ryabchuk D, Kallonen A, Hämäläinen K (2011). Ichnological trends along an open-water transect across a large marginal-marine epicontinental basin, the modern Baltic Sea. *Sedimentary Geology* 241, 40–51. doi:10.1016/j.sedgeo.2011.09.010

Werner F (2002). Bioturbation structures in marine Holocene sediments of Kiel Bay (Western Baltic). *Meyniana* 54, 41–72.

Winn K (2006). Bioturbation structures in marine Holocene sediments of the Great Belt (Western Baltic). *Meyniana* 58, 157–178.

Zettler ML, Borchert R, Bick A (1994). Röhrenbau und Vertikalverteilung von *Marenzelleria viridis* (Polychaeta: Spionidae) in einem inneren Küstengewässer der südlichen Ostsee. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 2, 215–225.

**TP 2.1:** Holthuijsen LH. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge University Press, 2010.

Feistel R, Nausch G, and Wasmund N. State and evolution of the Baltic Sea, 1952-2005: a detailed 50-year survey of meteorology and climate, physics, chemistry, biology, and marine environment. John Wiley & Sons, 2008.

Christiansen C et al. "Material transport from the nearshore to the basinal environment in the southern Baltic Sea: I. Processes and mass estimates." *Journal of Marine Systems* 35.3 (2002): 133-150.

Emeis K et al. "Material transport from the near shore to the basinal environment in the southern Baltic Sea: II: synthesis of data on origin and properties of material." *Journal of Marine Systems* 35.3 (2002): 151-168.

Umlauf L, Bolding K, and H Burchard. GOTM – Scientific Documentation. Version 3.2. No. 63 of Marine Science Reports, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research, Warnemünde, Germany, 2005. (Please check up-to-date version on [www.gotm.net](http://www.gotm.net)).

Schulz K and L Umlauf. Residual transport of suspended material by tidal straining near sloping topography. *J. Phys. Oceanogr.* 46 (2016): 2083–2102.

Ebner R: Modelling of Surface Waves in the western Baltic Sea. Master Thesis, University of Rostock, 2015.

Umlauf L, and H Burchard. Diapycnal transport and mixing efficiency in stratified boundary layers near sloping topography. *J. Phys. Oceanogr.*, 41, 329-345, 2011.

**TP 2.2:** Kersten M, Leipe T, Tauber F (2005). Storm disturbance of sediment contaminants at a hot-spot in the Baltic sea assessed by <sup>234</sup>Th radionuclide tracer profiles. *Environmental Science and Technology* 39, 984–990.

Forster S, Powilleit M, Turnewitsch R, Werk S and Ziervogel K (2009). Thorium-234 derived information on sediment deposition and resuspension frequency in shallow waters of the Southern Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*: 360-370.

Friedrichs M, Leipe T, Peine F and Graf G (2009). Impact of macrozoobenthic structures on near-bed sediment fluxes. *Journal of Marine Systems* 75(3-4): 336-347.

Turnewitsch R and Springer B (2001). Do bottom mixed layer influence <sup>234</sup>Th dynamics in the abyssal near-bottom water column? *Deep-Sea Research I* 48: 1279-1307.



Queirós AM, Birchenough SNR, Bremner J, Godbold JA, Parker RE, Romero-Ramirez A, Reiss H, Solan M, Somerfield PJ, Van Colen C, Van Hoey G and Widdicombe S (2013). A bioturbation classification of European marine infaunal invertebrates. *Ecology and Evolution* 3(11): 3958-3985.

Renz JR and Forster S (2014). Effects of bioirrigation by the three sibling species of *Marenzelleria* spp. on solute fluxes and porewater nutrient profiles. *Mar. Ecol. Prog. Series* 505: 145-159.

Soetaert K, Herman PMJ, Middelburg JJ, Heip, de Stigter HS, van Weering TCE, Epping E and Helder W (1996). Modelling <sup>210</sup>Pb-derived mixing activity in ocean margin sediments: diffusive versus non-local mixing. *Journal of Marine Research* 54(6): 1207-1277.

Ziervogel K and Forster S (2005). Aggregation and sinking behaviour of resuspended fluffy layer material. *Continental Shelf Research* 25(15): 1853-1863.

**TP 2.3:** Al-Raei AM, Bosselmann K, Böttcher ME, Hespeneide B & Tauber F (2009). Seasonal dynamics of microbial sulfate reduction in temperate intertidal surface sediments: Controls by temperature and organic matter. *Ocean Dynamics* 59, 351-370.

Billerbeck M, Werner U, Polerecky L, Walpersdorf E, de Beer D, Hüttl M (2006). Surficial and deep pore water circulation governs spatial and temporal scales of nutrient recycling in intertidal sand flat sediment. *Mar Ecol Prog Ser* 326:61–76. doi:[10.3354/meps326061](https://doi.org/10.3354/meps326061)

Canfield DE, Thamdrup B, Hansen JW (1993). The anaerobic degradation of organic-matter in danish coastal sediments – iron reduction, manganese reduction, and sulfate reduction. *Geochim Cosmochim Acta* 57:3867–3883. doi:[10.1016/0016-7037\(93\)90340-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90340-3)

D'Andrea AF, Aller RC, Lopez GR (2002). Organic matter flux and reactivity on a South Carolina sandflat: the impacts of pore water advection and macrobiological structures. *Limnol Oceanogr* 47:1056–1070

Huerta-Diaz MA, Morse JW (1992). Pyritization of metals in anoxic marine sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 56, 2681-2702.

Kowalski N, Dellwig O, Beck M, Grunwald M, Badewien T, Brumsack HJ, van Beusekom JEE & Böttcher ME (2012). A comparative study of manganese dynamics in pelagic and benthic parts of two tidal systems of the North Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 100, 3-17

Lettmann KA, Riedinger N, Ramlau R, Knab N, Böttcher ME, Khalili A., Wolff J-O & Jørgensen BB (2012). Estimation of biogeochemical rates from concentration profiles: A novel inverse method. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 100, 26-37.

Weitergehende Literatur ist dem Antrag sowie den angefertigten und zu erstellenden Publikationen in Abschnitt 2.6 zu entnehmen.

**TP 2.4:** Gülzow W, Rehder G, Schneider von Deimling J, Seifert T, Tóth Z (2013). One year of continuous measurements constraining methane emissions from the Baltic Sea to the atmosphere using a ship of opportunity. *Biogeosciences* 10, 81-99

Jakobs G, Holtermann P, Berndmeyer C, Rehder G, Blumenberg M, Jost G, Nausch G, Schmale O (2014). Seasonal and spatial methane dynamics in the water column of the central Baltic Sea (Gotland Sea), *Continental Shelf Research*, 91, 12-25

Jakobs G, Rehder G, Jost G, Kießlich K, Labrenz M, Schmale O (2013). Comparative studies of pelagic microbial methane oxidation within the redox zones of the Gotland Deep and Landsort Deep (central Baltic Sea), *Biogeosciences*, 10, 7863-7875

Rullkötter J (2004). Von Schlickwatt, Mischwatt und Sandwatt. forschung - Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft 2, 4-8

Schneider B, Gülzow W, Sadkowiak B, Rehder G (2014). Detecting sinks and sources of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> by ferrybox-based measurements in the Baltic Sea: three case studies. *Journal of Marine Systems* 140: 13-25

Schneider von Deimling J, Linke P, Schmidt M, Rehder G (2015). Ongoing methane discharge at well site 22/4b (North Sea) and discovery of a spiral vortex bubble plume motion. *Marine and Petroleum Geology* 68, Part B: 718-730

Woelfel J, Eggert A, Karsten U (2014a). Marginal impacts of rising temperature on Arctic benthic microalgae production based on in situ measurements and modelled estimates. *Marine Ecology Progress Series* 501: 25-40

Woelfel J, Schoknecht A, Schumann R, Karsten U (2014b). Growth and photosynthesis characteristics of three benthic diatoms from the brackish Southern Baltic Sea in relation to varying environmental conditions, *Phycologia* 53 (6), 639–651

Woelfel J, Schumann R, Kruss A, Peine F, Flohr A, Wiencke C, Karsten U. (2010). Microphytobenthos of Arctic Kongsfjorden (Svalbard, Norway) – Biomass and potential primary production along the shore line. *Polar Biology* 33: 1239-1253

**TP 3.1:** Boudreau, Bernard P (1997). *Diagenetic Models and Their Implementation*. Vol. 505. Springer Berlin.

Reed DC, Slomp CP, Gustafsson BG (2011). Sedimentary Phosphorus Dynamics and the Evolution of Bottom-Water Hypoxia: A Coupled Benthic–pelagic Model of a Coastal System. *Limnol. Oceanogr* 56 (3): 1075–1092.

**TP 4.1:** Die verwendeten Literatur- und Datenquellen sind insbesondere in Kapitel 3 bei BLANO (2014) zusammengefasst:

Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2014). Harmonisierte Hintergrund- und Orientierungswerte für Nährstoffe und Chlorophyll-a in den deutschen Küstengewässern der Ostsee sowie Zielfrachten und Zielkonzentrationen für die Einträge über die Gewässer. Konzept zur Ableitung von Nährstoffreduktionszielen nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie, der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, der Helsinki-Konvention und des Göteborg-Protokolls.

Download: <http://www.meeresschutz.info/index.php/sonstige-berichte.html>

**TP 4.2:** Es wurden die wichtigsten Standardwerke zur Bewertung von Ökosystemleistungen herangezogen:

Bateman IJ, Carson RT, Day B, Hanemann M, Hanley N, Hett T, Jones-Lee M, u. a. (2002). *Economic valuation with stated preference techniques: a manual*. Cheltenham: Edward Elgar. <http://www.cabdirect.org/abstracts/20043091507.html>.

Bateman, IJ, Mace GM, Fezzi C, Atkinson G und Turner K (2011). *Economic Analysis for Ecosystem Service Assessments*. *Environmental and Resource Economics* 48 (2): 177–218. doi:10.1007/s10640-010-9418-x.

Gren I-M, Wulff F und Turner RK (2000). *Managing a Sea: The Ecological Economics of the Baltic*. Earthscan.

Hanley N und Barbier EB (2009). *Pricing Nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.

HELCOM (2007). „HELCOM Baltic Sea Action Plan“. Krakow: HELCOM Ministerial Meeting. [http://helcom.fi/Documents/Baltic sea action plan/BSAP\\_Final.pdf](http://helcom.fi/Documents/Baltic%20sea%20action%20plan/BSAP_Final.pdf).

Nunes PALD, Kumar P und Dedeurwaerdere T (2014). *Handbook on the Economics of Ecosystem Services and Biodiversity*. Northampton, MA: Edward Elgar Pub.

Pearce DW, Hrsg. (2006). *Environmental Valuation in Developed Countries*. Cheltenham.

Darüber hinaus wurde die in Sagebiel et al. (2016) zitierte Literatur ausgewertet.

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

**TP 1.1:** Die Arbeiten in Teilprojekt 1.1 erfolgten in Kooperation mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg.

**TP 1.2:** Das Teilvorhaben wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Uni Rostock durchgeführt.

Im Laufe der Arbeiten wurden eine Kooperation mit anderen Personen und Einrichtungen der Meeresbodenforschung aufgebaut bzw. vertieft. In einem internationalen ICES-Projekt, welches nicht nur das deutsche Hoheitsgebiet sondern die gesamte Ostsee betrachtet, wurden die benthischen Makrofauna-Gemeinschaften analysiert und modelliert. Hierzu wurden Kontakte zu folgenden Personen vertieft:

Henrik Nygård, Finnish Environment Institute SYKE / Marine Research Centre, Finland



Mats Blomqvist, Hafok AB, Sweden

Darius Daunys, Coastal Research and Planning Institute, Klaipeda University, Lithuania

Alf Bernhard Josefson, Department of Bioscience, Aarhus University, Denmark

Jonne Kotta, Estonian Marine Institute, University of Tartu, Estonia

Vadim Yermakov, Latvian Institute of Aquatic Ecology, Latvia

Jan Warzocha, National Marine Fisheries Research Institute, Poland

Alexey Maximov, Zoological Institute of Russian Academy of Science, Russia

ICES Benthic Ecology Working Group

Als weitere Kooperation ist die Zusammenarbeit zwischen SECOS und Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) zu nennen. So beteiligte sich Mayya Gogina an Workshops zu folgenden Themen: „Arbeitstreffen Biologie-Sedimentologie“ (BSH, Hamburg, 19.04.2013), „Modellierung-Workshop“ (BSH, Hamburg, 22.08.2013), „Marine Biotope Mapping for Conservation Purposes“ (BfN, Isle of Vilm, 30.11.-02.12.2015).

**TP 1.3:** Einige Befunde aus den Sedimentkern-Analysen unterstützten die Hauptziele von AP 2, die die funktionellen Aspekte der ökosystemaren Dienstleistungen der definierten Sedimenttypen in ausgewählten Schlüsselgebieten der deutschen Ostsee zum Ziel hatten. Außerdem wurden sie zur Validierung und Kalibrierung des im AP 3 entwickelten ERGOM-Sedimentmodul herangezogen.

Während eines Forschungsaufenthaltes von Dennis Bunke beim Geologischen Dienst von Finnland (GTK) in Espoo im Dezember 2014 wurde unter Anleitung von Dr. Joonas J. Virtasalo die Sedimentfeinstruktur ausgewählter Kurzkerne mittels Röntgenradiographie untersucht, was Aufschluss über biologische und hydrodynamische Vermischungsprozesse gab.

**TP 2.1:** Vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie und den vom IOW betreuten MARNET-Stationen erhielten wir Daten, um die Ergebnisse des Wellenmodells zu vergleichen. Mit dem internationalen Projekt COCOA tauschten wir uns über Resuspensionsmessungen und Strömungsmessungen aus (die finnische Doktorandin Mari Joensuu nahm an der SECOS Expedition EMB93 teil) und arbeiten hausintern mit der AG von Maren Voss (Bestimmung von Flussraten durch die turbulente Bodengrenzschicht) zusammen.

**TP 2.2:** Eine Zusammenarbeit wurde mit M. Solan (University of Southampton, UK) zum Thema Bioturbation und R. Turnewitsch (SAMS, Oban, Scotland) bei der Thorium-Methodik gesucht. Beide wurden zu Besuchen in Rostock eingeladen, die aus Haushaltsmitteln der Universität finanziert wurden.

**TP 2.3:** Es fand eine enge Zusammenarbeit mit den AP 1 und 2 im Rahmen der Organisation der Expeditionen, Probenahmen, Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten statt.

Darüber hinaus wurden in Zusammenarbeit mit dem Geoforschungszentrum Potsdam Sulfatreduktionsraten-Analysen an Sedimentkernen aus SECOS-Standorten durchgeführt. Vorbereitete Sedimentproben bzw. ganze Sedimentkurzkerne wurden für die Durchführung der Radiotracerexperimente ans GFZ transportiert und dort von Marko Lipka unter Anleitung von Dr. Jens Kallmeyer analysiert.

**TP 2.4:** Kooperation mit der AG Marine Geosysteme, GEOMAR und der Firma K.U.M (Umwelt- und Meerestechnik Kiel) zu Entwicklung und Bau eines eigenen benthischen Kammerlander-Systems (siehe Abschnitt 1.4.1)

**TP 2.5:** keine

**TP 3.1:** Im März 2015 erfolgte eine Reise zu einem Modellierertreffen zwecks Erfahrungsaustauschs am Baltic Nest Institute, Stockholm, Schweden.

**TP 3.2:** Das gekoppelte Modellsystem ERGOM/MOM wurde und wird am IOW zur Modellierung der Ostsee verwendet. Das ZIB und das IOW standen insbesondere durch die Auswahl relevanter Modellierungsszenarien und die Rückführung der Änderungen in das produktive Modellsystem während der Projektlaufzeit in engem Kontakt.

**TP 4.1:** Es gab eine enge Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Mecklenburg-Vorpommern (LUNG-MV), dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR-SH) und dem Umweltbundesamt (UBA). Begleitend zu den Arbeiten wurde eine Unterarbeitsgruppe des Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) gegründet.

**TP 4.2:** Über die Zusammenarbeit mit den anderen SECOS-Teilprojekten hinaus wurde ein Austausch mit weiteren KÜNO-Projekten gesucht und im Rahmen verschiedener methodisch orientierter Workshops hergestellt. Durch die Präsentation von Zwischen- und Endergebnissen des IÖW-Teilprojektes auf verschiedenen Workshops und Konferenzen konnte ein intensiver Austausch mit deutschen und internationalen Fachkolleg/innen hergestellt werden.

## **II. Eingehende Darstellung**

### **2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielttes Ergebnis im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

#### **Koordination und Projektmanagement**

Aus der um sechs Monate verspäteten Besetzung der Stelle des Projektkoordinators. (Einstellungsbeginn zum 01.10.2013 statt 01.04.2013) folgte ein anfänglicher Rückstand bei den ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanungen, der erst zu Beginn des zweiten Zwischenberichtszeitraumes (2014) aufgeholt werden konnte. Im weiteren Projektverlauf traten keine Abweichungen auf, auch nicht nach dem Personalwechsel in der Koordinationsstelle zum 1.11.2015. Zu Schlüsselveranstaltungen für SECOS inkl. gemeinsamen Veranstaltungen der KüNO-Projekte sei hier auf Tabelle Tabelle 1.3.3 in Abschnitt 1.3 verwiesen.

#### **Meilenstein:**

Abstimmung zwischen den einzelnen Teilprojekten / Workpackages und anderen KüNO Projekten

Im Berichtszeitraum 01.04.–31.12.2013 fanden ab Mitte April 2013 mehrere Treffen am IOW (16.04.; 22.5; und weitere) zwischen Arbeitsgruppen des IOWs und der Universität Rostock statt. Unter anderem wurden die Kategorisierung von benthischen Gemeinschaften in Hinblick auf deren Ökosystemfunktionen, die Parameter zur Stationswahl, die Koordination von Schiffszeiten und Auswahl von Sedimenttypen thematisiert. Am 12.12.2013 gab es innerhalb von SECOS ein Projekttreffen zur Festlegung der acht SECOS-Stationen und Austausch über die zu messenden Parameter und repräsentative Sedimenttypen. Am 7./8. 10.2013 fand der erste Ökosystemleistungs-Workshop am IOW in Warnemünde. Innerhalb dieses Workshops fanden ein Austausch und Abstimmungen über die Ökosystemleistungen in den KüNO-Projekten statt. Zusätzlich fanden mehrere Treffen mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BSH), Hamburg zu Einschätzung und Erfahrungen mit hydrodynamisch wirksamen Oberflächenstrukturen, benthischer Fauna und Erosion von Sedimenten statt. Innerhalb des Workpackage 4.1. fanden am IOW und am LUNG am 09.07.2013 und am 20.10.2013 Treffen mit den Endnutzern (UBA, LUNG-MV, LLUR-SH) statt.

Im Berichtszeitraum 01.01.–31.12.2014 fanden Treffen am IOW zwischen Arbeitsgruppen des IOWs und der Universität Rostock statt. Unter anderem wurden die Kategorisierung von benthischen Gemeinschaften in Hinblick auf deren Ökosystemfunktionen, die Parameter zur Stationswahl, die Koordination von Schiffszeiten und Sedimentationsleistungen als Grundlage für die Berechnung der Vermeidungskosten thematisiert. Darüber hinaus fanden Themengruppen zum Sedimentmodul der ERGOM Models statt und zur Resuspension. Zur Vorbereitung und Nachbereitung der Ausfahrten fanden regelmäßige Besprechungen mit den FahrtteilnehmerInnen statt. Am 06. Juni.2014 fand der zweite Ökosystemleistungs-Workshop am IÖW in Berlin statt. Innerhalb dieses Workshops fanden ein Austausch und Abstimmungen über die Ökosystemleistungen in den KüNO-Projekten statt. Die Ergebnisse wurden auf der zweiten KüNO Jahrestagung am IOW am 18. Und 19. Juni 2014 präsentiert. Am 29.08.2014 fand ein SECOS „Work in Progress“ (WIP) Seminar statt zur besseren Koordination und Verknüpfung der Ergebnisse unter einander statt. Am 06.11.2014 folgte das erste SECOS Status Seminar.

Im Berichtszeitraum 01.01.2015–31.03.2016 fand am 23.–23. März ein internationaler Workshop zu Ökosystemleistungen statt, auf dem u.a. das IÖW-Teilprojekt seine Ergebnisse vorstellte. Des Weiteren folgten drei Symposien („Küste 2025“ am 15.–17. April 2015 in Berlin, das „25. Meeresumweltsymposium“ am 27.–28. Mai 2015 in Hamburg, EuroMarine-Foresight Symposium „Future Coast – Europe“ am 5.–7. Oktober in Berlin), bei denen SECOS Teilprojektergebnisse in die Diskussion einbrachte. Zur Fahrtvorbereitung der MSM 050-Ausfahrt erfolgten Vorbereitungstreffen mit Fahrtteilnehmern am 20.10.2015 und 19.11.2015 im IOW. Schließlich stellte SECOS die bisherigen Ergebnisse auf der KüNO-Jahrestagung am 15.–17. November 2015 in Warnemünde vor. Am 19. Februar 2016 fand das abschließende SECOS-Statusseminar im IOW statt, welches den aktuellen Stand der Arbeiten in den Teilprojekten noch einmal zusammenfasste. Darüber hinaus wurden die im Projektverlauf erzielten Ergebnisse auf weiteren Veranstaltungen zusammenfassend präsentiert (Symposium of the Science Campus Phosphorus Research, 10. März 2016, Rostock; Scientific Advisory Council Meeting of the Department Maritime Systems, 21. März 2016, Rostock; 34. Annual Conference ‘Geography of Seas and Coasts’ (AMK) 20.–23. April 2016, Warnemünde) bzw. werden noch als Tagungsbeitrag vorgestellt werden (Estuarine Coastal Sciences Association – ECSA 56 Conference, 4.–7. September 2016, Bremen). Auch auf der KüNO-Jahrestagung 2016 (22.–23. Juni, IOW) wurden in der Rückschau die SECOS-Projektergebnisse vorgestellt. Die hierzu gehörigen Angaben sind auch in Abschnitt 2.6 „Erfolgte und geplante Veröffentlichungen“ ersichtlich.

## **Arbeitspaket 1 – Spatial Approach – Baltic Sea Atlas**

### ***Baltic Sea Atlas:***

**Verwendung der Zuwendung:** Personalkosten A. Hiller

#### **Ziele:**

Zur Visualisierung der räumlichen Forschungsergebnisse sollte ein WebGIS – der Baltic Sea Atlas – konzipiert und angelegt werden. Entsprechend des Projektantrages sollten folgende Karten in den Teilprojekten entstehen, welche anschließend in den Baltic Sea Atlas einfließen sollten:

- Sediment- und Habitatkarten aus Arbeitspaket 1
- Karte zu Sedimenttransport aus Arbeitspaket 2
- modellbasierte Karten zu Wasserqualitätszielwerten aus Arbeitspaket 4

#### **Ergebnisse:**

Während der Arbeit wurde ein nutzerfreundliches WebGIS aufgebaut, welches auch weiterhin einfach laufend gehalten und erweitert werden kann. Somit ist eine nachhaltige Nutzung des Baltic Sea Atlas möglich. Die zur Verfügung gestellten räumlichen Forschungsergebnisse wurden in den neu entstanden Baltic Sea Atlas überführt und so der Öffentlichkeit (Entscheidungsträgern sowie Interessenten) zugänglich gemacht. Folgende Karten sind dabei entstanden:

- 25 Karten zum Schwerpunkt Geochemie
- eine Meeresbodensedimentkarte
- eine Karte zu benthischen Biotopen

- eine Karte zum Bioturbationspotential
- sechs Karten zur Wasserqualität (WRRL/MSRL)
- sechs Karten zu SECOS-Messfahrten
- acht Karten mit ergänzenden Karteninformation wie Hintergrundkarten und Bathymetriemodelle

### ***Teilprojekt 1.1 Mapping and Typology***

#### **Verwendung der Zuwendung:**

Die Mittel-Zuwendungen im Teilprojekt 1.1 betrafen überwiegend Personalkosten (studentische bzw. wissenschaftliche Hilfskräfte) zur Realisierung der umfangreichen Laborarbeiten, sowie Reisemittel. Diese Mittel wurden zweckentsprechend ausgegeben.

#### **Ziele:**

Das Teilprojekt 1.1. hatte zum Ziel eine umfassende geochemische Charakterisierung (Kartierung) der Oberflächensedimente der deutschen Ostsee vorzunehmen. Diese Daten sollen das regionale (räumliche) Grundgerüst für die Abschätzung der Funktionen / Leistungen der Sedimente im Ökosystem bilden.

#### **Ergebnisse:**

##### Vorbemerkungen:

Der Meeresboden der deutschen Ostsee wurde im Zeitraum von Ende der 1990er Jahre bis etwa 2010 flächendeckend neu kartiert. Diese Kartierung erfolgte im Auftrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) durch Mitarbeiter der Sektion Marine Geologie des Institutes für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Die entsprechenden Karten (9 Blätter im Maßstab 1:100.000) wurden vom BSH im Jahre 2012 herausgegeben. Der Daten- und Probenbestand aus dieser Kartierung war eine wesentliche Grundlage zur Beantragung des SECOS-Projektes.

Auf der Basis des geologischen Kartenwerkes wurden 6 Sedimentklassen extrahiert, die für das Gebiet der deutschen Ostsee von Bedeutung sind (Abbildung 2.1.1;

Tabelle 2.1.1). Für die prozessorientierten Teilprojekte von SECOS wurden innerhalb dieser Klassen (Gebiete) repräsentative Schlüssel-Positionen festgelegt, an denen umfangreiche Detailuntersuchungen durchgeführt werden.

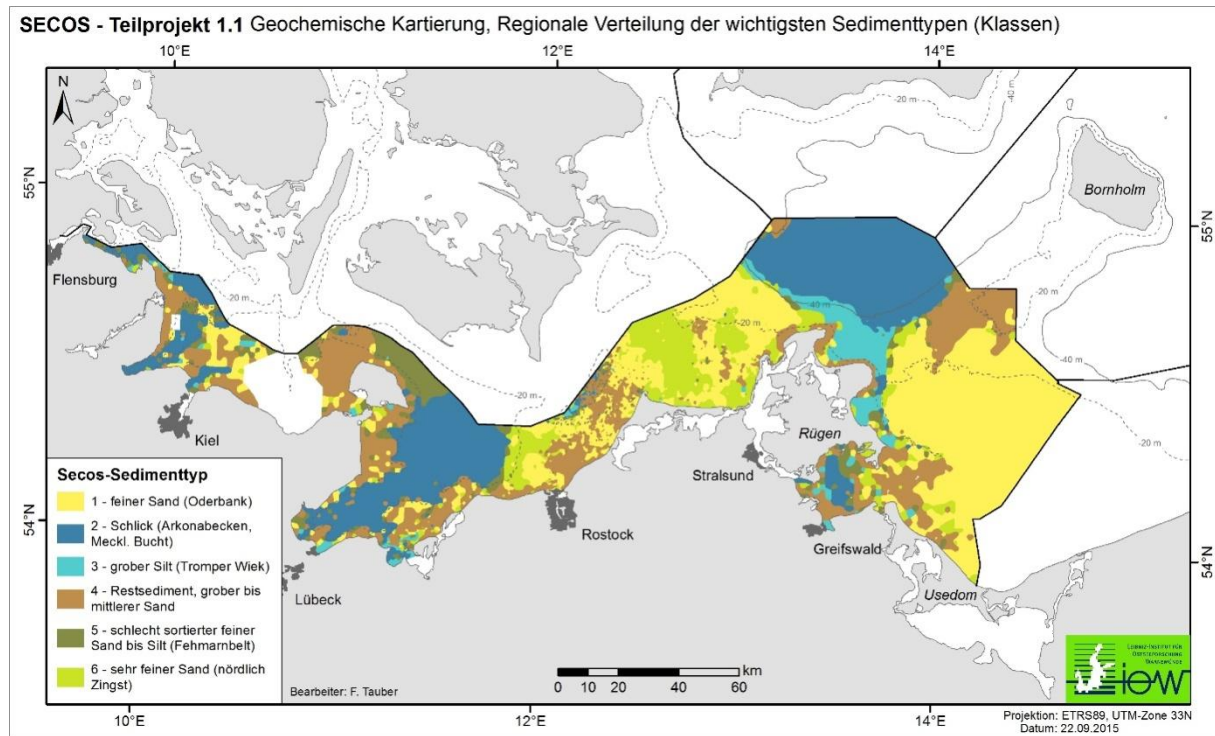


Abbildung 2.1.1. Regionale Verteilung der wichtigsten Sedimenttypen (Klassen) der deutschen Ostsee

Tabelle 2.1.1. Detailinformationen zu diesen 6 Klassen

Nr.	Median (phi)	Sortierung	Sediment	Typuslokation(en)	Fläche (km <sup>2</sup> )	Flächenanteil (%)
1	2.33	0.35	feiner Sand	Oderbank	4541	32
2	6.5	1.9	Schlack	Arkonabecken, Becken der Mecklenburger Bucht	3603	25
3	4.4	1	grober Silt	Tromper Wiek	637	5
4	0.9	0.9	Restsediment bis mittlerer Sand	Adlergrund, westlich Fehmarn	2814	20
5	3.4	2.1	schlecht sortierter feiner Sand bis Silt	Fehmarnbelt	808	6
6	3.1	0.4	sehr feiner Sand	Nördlich Zingst	1330	9
Die restlichen 3% Flächenanteil entfallen auf das Schießgebiet Hohwacher Bucht						

Datengrundlage/Probenbestand:

Aus der Sediment-Datenbank des IOW (Dr. F. Tauber) wurde zunächst eine „Teilmenge“ von Stationen ausgewählt, die folgende Kriterien zu erfüllen hatte: Sie sollte das gesamte Arbeitsgebiet hinreichend abdecken, für jeden Sedimenttyp repräsentativ sein und für die geplanten geochemischen Analysen einen realistischen Gesamtumfang nicht überschreiten. Für diese Anzahl von rund 700 Stationen standen somit Stationsnummern, Koordinaten und Korngrößendaten zur Verfügung. Die entsprechenden Originalproben wurden aus dem Sedimentarchiv des IOW herausgesucht und die für die geochemischen Analysen vorbereitet.

In Ergänzung, hauptsächlich zum Schließen vorhandener regionaler Lücken im Probenbestand des Archives, wurden noch ca. 100 neue Proben bearbeitet, die während der SECOS-Ausfahrten 2014



gewonnen wurden. Für das Seegebiet „Hohwachter Bucht“ westlich von Fehmarn konnten aus Sicherheitsgründen (militärisches Schießgebiet) keine Sedimentproben gewonnen werden.

Ein vorhandener kleiner Datensatz (8 Stationen) aus dem Oderhaff von 2001 wurde für einige Parameter (TOC, N, Hg, P) auch in den Datenbestand von SECOS und in die Kartendarstellungen einbezogen. Das Oderhaff besitzt im Übergangsbereich zwischen Odermündung und Ostsee eine „Pufferfunktion“ für partikulär transportiertes Material und ist somit für das Verständnis des Flusseintrages wichtig.

Zur Beprobung des Meeresbodens wurden in Abhängigkeit vom Sedimenttyp Backengreifer, Kastengreifer oder Multicorer verwendet. Als **Sedimentoberfläche** wurde das Tiefenintervall von **0 cm bis 2 cm** definiert und entsprechend beprobt.

Da große Teile des Untersuchungsgebietes von Sanden (und Mischsedimenten) bedeckt sind, wurde entschieden, vor Beginn der geochemischen Analysen, von allen Originalproben die **Feinfraktion (<63 µm)** abzutrennen und nur diese zu analysieren.

Hintergrund dieses Verfahrens ist die Tatsache, dass die zu untersuchenden (projektrelevanten) Elemente ganz überwiegend in der Feinfraktion gebunden vorliegen und durch geochemisch inerte gröbere Sedimente (zumeist Quarz-Sand) verdünnt werden. Dieser Zusammenhang wird auch als Korngrößeneffekt bezeichnet. Dieses hier verwendete Verfahren ist für die Analytik von gröberen (sandigen) Sedimenten viel präziser (mitunter sogar notwendig), weil bei der Analyse der Gesamtproben oft die Nachweisgrenze des Verfahrens erreicht wird. Da die Korngrößenzusammensetzung der Proben bekannt ist, können die an der Feinfraktion gemessenen Gehalte der Elemente auf die Konzentrationen in der Originalprobe zurückgerechnet werden.

Die Abtrennung und Analyse der Feinfraktion von Sedimentproben sehr unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung hat aber noch einen anderen, gewollten Nebeneffekt: Es können Unterschiede in den Konzentrationen sichtbar gemacht und interpretiert werden, die eben nicht nur durch den „Korngrößeneffekt“ verursacht werden. Für den (theoretischen) Fall eines in sich abgeschlossenen, chemisch homogenen Systems mit einem morphologisch und hydrodynamisch bedingten Gradienten der Korngröße (Sortierungseffekt) von der Küste (Sand) bis ins Becken (toniger Schlick) sollte die chemische Zusammensetzung der Feinfraktion praktisch gleich sein. Dies ist in der Natur aber nicht der Fall, wie die Ergebnisse aus dem SECOS Arbeitsgebiet sehr eindrucksvoll zeigen. Diese Abweichungen von der „Norm“ reflektieren Einflüsse oder Prozesse, die lokale bzw. regionale Ursachen haben. Dies können sein: besondere Quellen, Altlasten oder auch bio-geo-chemisch gesteuerte Anreicherungen.

#### Das Analysenprogramm:

Folgende Parameter wurden analysiert:

Komplettes Korngrößenspektrum	
C-org. (TOC), C-anorg. (TIC), N, S, Hg	(Direktverfahren, Elementaranalytik)
Biogen-Opal (SiO <sub>2</sub> )	(ICP-OES nach basischer Extraktion)
P, Ca, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, As	(ICP-OES in zwei Fraktionen)

Die Korngrößenbestimmung erfolgte mittels Siebung bzw. Laser-Analysengerät. Für die Proben aus der früheren Kartierung lagen diese Daten bereits vor. Bei den Direktverfahren wird die trockene Probe eingewogen und unmittelbar gemessen (TC, TIC, TOC=TC-TIC, TN, TS, Hg). Beim Biogen-Opal wird aus der Probe ein basisches (NaOH) Extrakt hergestellt und anschließend mittels ICP-OES auf Si analysiert. Für die untere Reihe der Elemente (P, usw.) wurden von den Proben zwei Fraktionen gewonnen und getrennt analysiert: 1. Veraschen der Probe und Extraktion mit HCl, dies entspricht für P dem Gesamtgehalt, für die übrigen Elemente weitgehend dem Gesamt-Anteil. 2. HCl-Extraktion von der trockenen Probe (ohne Veraschung). Diese Gehalte entsprechen dem leicht mobilisierbaren Anteil vom Gesamtgehalt. Letzteres ist besonders im Hinblick auf eine mögliche „Verfügbarkeit“ in der Umwelt von Relevanz.

Der im Rahmen dieses Teilprojektes erzeugte finale geochemische Datensatz ist nicht lückenlos. Für eine Reihe von Stationen konnten nicht alle Parameter bestimmt werden. Dies war überwiegend durch nicht ausreichende Probenmengen begründet. Das Gesamtergebnis des Teilprojektes (Kartendarstellungen, Berechnung von Raten, Inventaren usw.) wird durch diese Tatsache aber nur unwesentlich beeinflusst, da alle Sedimenttypen und alle Regionen mit einer genügenden Abdeckung durch Messpunkte vertreten sind.

Der finale Datensatz sind zwei Tabellen (im Excel-Format). Die erste beinhaltet neben den Stations-Nummern, Koordinaten und Feinkornanteil (<63 µm) die Ergebnisse der vom Gesamtsediment abgetrennten und analysierten **Feinfraktion** der Proben. In den Spalten erscheinen zunächst die im Direktverfahren gemessenen Elemente (Hg, TC, TN, TS, TIC, TOC, das berechnete Verhältnis TOC/N), und der Gehalt an biogenem Opal (Silikat). Dann folgen die Elementgehalte die mittels ICP-OES Bestimmung an Aufschlüssen gemessen wurden (As, Ca, Cr, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Zn) jeweils an der veraschten (A) und unbehandelten (U) Probensubstanz der Feinfraktion.

Die zweite Tabelle enthält die aus den Analysendaten berechneten Elementgehalte für das **Gesamtsediment** (Originalprobe). Hier wird die in der Natur vorliegende „Verdünnung“ der Elementgehalte durch eine weitgehend inerte Grobfraktion (Sand) berücksichtigt. Diese Daten und Kartendarstellungen charakterisieren den im Gelände vorliegenden Originalzustand, wenn man so will, die tatsächliche Situation vor Ort.

Weitere Ableitungen (Berechnungen) von Daten sind möglich und im Rahmen des Projektes auch vorgesehen. Zum Beispiel: Flächen, Inventare, Raten, Differenzbeträge, Elementverhältnisse und anderes mehr.

#### Verfahren der Kartenerstellung (GIS):

Mit Hilfe von geostatistischen Verfahren wurden die räumlich heterogen verteilten Datenpunkte in ein gleichförmiges Datenraster („grid“) überführt. Im ersten Schritt wurden standardisierte Rechenroutinen zur Koordinatentransformation der Software ArcGIS 10.2 genutzt, um die Probenpositionen von geographischen Koordinaten mit Bezugssystem WGS84 in das kartesische Koordinatensystem ETRS89 (UTM-Zone 33N) zu überführen. Die metrische Positionsangabe diente als Basis zur Interpolation der Daten in äquidistante Raster mit 250 m Gitterpunktabstand aus denen die Kartendarstellungen erzeugt werden konnten. Zusätzlich ist ETRS89 das amtlich vorgeschriebene Lagebezugssystem und wird von der EU als einheitliches Bezugssystem für Geodaten empfohlen.

Als zweiter Vorgang wurde die Interpolation von Rastern der einzelnen geochemischen Parameter mit Kriging unter Verwendung von Semi-Variogramm-Modellen durchgeführt. Zu Beginn wird auf Grundlage der punktuellen Daten eine räumlich-statistische Datenanalyse (Semi-Variogrammanalyse) durchgeführt, die aus zwei Teilen besteht. Zuerst wird das experimentelle Variogramm berechnet, das die gemittelte Abweichung zweier Datenpunkte in Abhängigkeit von ihrem Abstand zueinander graphisch darstellt. Dabei werden in einem definierbaren Umkreis alle Datensätze miteinander verglichen. Das Verfahren dient zur Beschreibung der räumlichen Varianz einer Messgröße. Anschließend wird eine Modellfunktion an den Graphen angepasst, die später im statistischen Interpolationsverfahren Anwendung findet und die Qualität der Schätzung erhöhen soll. In einer Experimentierphase wurden die Auswirkungen verschiedener Parametereinstellungen wie zum Beispiel die Größe des Suchradius, Richtungsabhängigkeit der Messwerte, Funktionstypen oder unterschiedliche Gitterpunktabstände des zu berechnenden Rasters getestet. Der Suchradius schränkt in der Berechnung einzelner Gitterpunkte die zugrunde liegenden Datenpunkte ein. Große Radien sorgen dabei für Glättung von lokalen Strukturen wie zum Beispiel Becken und Sandriffe während kleine Suchradien diese detaillierter abbilden können. Für die finalen Berechnungen der Raster aller Parameter wurde ein Suchradius von maximal 60.000 m gewählt. Sedimentäre Großstrukturen wie zum Beispiel das Arkona Becken im Nordosten des Arbeitsgebietes sind von dem aufgespannten Suchfeld eingeschlossen. Größere Radien führen zu unerwünschter Glättung, da weit entfernte Werte im Schätzvorgang einbezogen werden die aus geomorphologischer Sicht vermutlich wenig mit lokalen Strukturbesonderheiten in Verbindung stehen.

Richtungsabhängigkeiten der Datensätze wurden mit elliptischen Suchfeldern in West-Ost- und Süd-Nord-Ausrichtung getestet, die mögliche Transportwege und Stoffflüsse im Sediment zu beschreiben. Es konnten jedoch nur in Teilgebieten, wie im Gebiet der Oder Bank, Verbesserungen erzielt werden. Für das gesamte Arbeitsgebiet konnte jedoch keine einheitliche Richtungsabhängigkeit nachgewiesen werden und so wurden die finalen Raster ohne Richtungseinschränkung des Suchfeldes erstellt. Zusätzlich wurden unterschiedliche Gitterpunktabstände von 250 m, 500 m und 1000 m erprobt, um eine sinnvolle Auflösung des Rasters für die durchschnittliche Datendichte von 0,2 Messpunkten pro km<sup>2</sup> zu finden. Für die finalen Berechnungen der Raster wurde ein einheitlicher Gitterpunktabstand von 250 m gewählt. Als Funktionstypen fanden lineare, quadratische, sphärische und Gauß'sche Modelle Anwendung. Tabelle 2.1.2 listet die gewählten Parametereinstellungen für den Krigingprozess zur Erstellung der Raster mit der Software SURFER 12 auf.

Tabelle 2.1.2. Überblick verwendeter Parametereinstellungen zur Interpolation der geochemischen Messgrößen

No.	Parameter	Dataset (samples)	Variogram (Max. lag distance/ Number of lags/ Lag width/ Vertical scale/ Lag direction)	Model (Nugget effect/ Function/ Scale/ Length)	Spacing [m]
K2	Feinfraktion <63 µm	866	40000 m/ 20/ 5000/ 2000/ 360°	200/ quadratic/ 1250/ 40000	250x250
K3	TOC - Gesamtfraktion	866	40000 m/ 20/ 5000/ 3.2/ 360°	0.45/ quadratic/ 2.7/ 40000	250x250
K4	TOC - Feinfraktion	866	40000 m/ 20/ 5000/ 4.5/ 360°	1/ linear/ slope 0.000087	250x250
K5	TIC - Gesamtfraktion	866	40000 m/ 19/ 2500/ 0.2/ 360°	0.029/ linear/ slope 0.0000008	250x250
K6	TIC - Feinfraktion	866	40000 m/ 22/ 5000/ 1/ 360°	0.5 /linear/ slope 0.0000015	250x250

No.	Parameter	Dataset (samples)	Variogram (Max. lag distance/ Number of lags/ Lag width/ Vertical scale/ Lag direction)	Model (Nugget effect/ Function/ Scale/ Length)	Spacing [m]
K7	N - Gesamtfraktion	866	40000 m/ 22/ 2500/ 0.05/ 360°	0.007/ quadratic/ 0.04/ 40000	250x250
K8	N - Feinfraktion	866	60000 m/ 22/ 2500/ 0.1/ 360°	0.012/ quadratic/ 0.08/ 72000	250x250
K9	TOC/N Verhältnis	866	40000 m/ 23/ 2500/ 2.2/ 360°	0.6/ spherical/ 1.45/ 16000	250x250
K10	Opal (biogen) - Gesamtftr.	866	40000 m/ 19/ 1000/ 4.5/ 360°	1.55/ quadratic/ 2.8/ 40000	250x250
K11	Opal (biogen) - Feinfrakt.	866	40000 m/ 20/ 1000/ 9/ 360°	3.5/ spherical/ 4.7/ 35000	250x250
K12	TP - Gesamtfraktion	601	40000 m/ 18/ 2000/ 0.005/ 360°	0.0008/ gaussian/ 0.004/ 20000	250x250
K13	TP - Feinfraktion	601	40000 m/ 19/ 5000/ 0.025/ 360°	0.003/ linear/ slope 0.00000055	250x250
K14	P (mobil) - Gesamtfrakt.	607	40000 m/ 21/ 5000/ 0.002/ 360°	0.0003/ gaussian/ 0.0014/ 22000	250x250
K15	P (mobil) - Feinfrakt.	607	40000 m/ 22/ 2500/ 0.004/ 360°	0.0009/ linear/ slope 0.00000008	250x250
K16	Hg - Gesamtfraktion	866	25000 m/ 22/ 1000/ 9000/ 360°	1800/ linear/ slope 0.28	250x250
K17	Hg - Feinfraktion	866	25000 m/ 20/ 2500/ 11000/ 360°	4000/ linear/ slope 0.265	250x250
K18	As - Gesamtfraktion	572	40000 m/ 25/ 1000/ 75/ 360°	17/ gaussian/ 52/ 19000	250x250
K19	As - Feinfraktion	572	40000 m/ 18/ 5000/ 120/ 360°	32/ linear/ slope 0.00195	250x250
K20	Zn - Gesamtfraktion	601	40000 m/ 22/ 5000/ 10000/ 360°	2200/ spherical/ 6600/ 38000	250x250
K21	Zn - Feinfraktion	601	40000 m/ 22/ 5000/ 10500/ 360°	5200/ linear/ slope 0.122	250x250
K22	Cu - Gesamtfraktion	601	40000 m/ 21/ 5000/ 1310/ 360°	400/ linear/ slope 0.0245	250x250
K23	Cu - Feinfraktion	601	40000 m/ 20/ 3000/ 19000/ 360°	3800/ linear/ slope 0.33	250x250
K24	Pb - Gesamtfraktion	601	40000 m/ 18/ 3000/ 2300/ 360°	400/ spherical/ 1600/ 39000	250x250
K25	Pb - Feinfraktion	601	40000 m/ 20/ 5000/ 2200/ 360°	1150/ linear/ slope 0.02	250x250

Als dritter Schritt wurden die erstellten Raster in ArcGIS weiterverarbeitet und daraus GIS-Datensätze mit Klassifikation der geochemischen Parameter erzeugt. Diese Daten fanden Eingang in den Baltic Sea Atlas und wurden als Kartendarstellung exportiert. Dabei wurden die Raster an der Küstenlinie und AWZ-Grenze als Abgrenzung des Arbeitsgebietes sowie Flächen ohne ausreichende Beprobungsdichte ausgeschnitten. Eine Ausnahme bildet das Gebiet des Arkona Beckens, das aufgrund guter Datengrundlage und seiner geologischen Bedeutung als Struktureinheit grenzübergreifend bis in schwedische und dänische Hoheitsgebiete dargestellt wurde. Anschließend wurde zur Festlegung von Klassengrenzen in der Kartendarstellung eine statistische Verteilung der Z-Werte (interpolierte Messwerte) der Raster erzeugt und die jeweilige Legende für die einzelnen Parameter definiert. Für den Kartenexport wurde ein einheitliches Kartenlayout mit Zusatzinformationen, wie zum Beispiel die Lage von Großstädten entlang der Küste, AWZ-Grenzen oder Bathymetrielinien, erstellt.

#### Ergebnis:

Der hier vorgelegte geochemische Atlas der Oberflächensedimente der deutschen Ostsee umfasst folgende Darstellungen und stellt eine Auswahl wichtiger projektrelevanter Elemente und Parameter dar:

- Verteilung der wichtigsten Sedimenttypen der deutschen Ostsee (Tauber-Karte).

- Porosität der Sedimente im Untersuchungsgebiet, berechnet auf der Grundlage der Korngrößenverteilung (median grain-size) Friedland-Karte.
- Bathymetrie (Tiefenverhältnisse) des Untersuchungsgebietes und Verteilung der Probenstationen, für welche geochemische Daten vorliegen.
- Regionale Verteilung des Anteils der Feinfraktion (<63µm in Gew. % vom Gesamtsediment), welche für die geochemischen Untersuchungen abgetrennt und analysiert wurde.
- Organischer Kohlenstoff (TOC) in der Gesamtfraktion.
- TOC in der Feinfraktion.
- Anorganischer Kohlenstoff (TIC) in der Gesamtfraktion.
- TIC in der Feinfraktion.
- Stickstoff (N) in der Gesamtfraktion.
- N in der Feinfraktion.
- TOC/N Verhältnis (Korngrößenunabhängig).
- Biogen-Opalgehalt in der Gesamtfraktion.
- Biogen-Opalgehalt in der Feinfraktion.
- Gesamt-Phosphor (TP) in der Gesamtfraktion.
- TP in der Feinfraktion.
- Reaktiver (mobiler) P in der Gesamtfraktion.
- Reaktiver (mobiler) P in der Feinfraktion.
- Quecksilber (Hg) in der Gesamtfraktion.
- Hg in der Feinfraktion.
- As in der Gesamtfraktion.
- As in der Feinfraktion
- Zn in der Gesamtfraktion.
- Zn in der Feinfraktion
- Cu in der Gesamtfraktion
- Cu in der Feinfraktion
- Pb in der Gesamtfraktion
- Pb in der Feinfraktion

Die augenscheinlichen Ähnlichkeiten der Verteilungsmuster zahlreicher Elemente und Parameter sind dadurch bedingt, dass diese positiv hoch korreliert sind. Die Ursachen hierfür werden noch eingehender erläutert. Bei den Kartendarstellungen geht es aber auch um die generelle Information der Zahlenwerte, der Gehalte.

Für weitere gemessene Elementgehalte und abgeleitete Parameter können bei Bedarf zusätzliche Karten erzeugt werden. Aus Platzgründen und auch wegen der Tatsache, dass einige Parameter für die Projektpartner (Arbeitsgruppen) und Nutzer von untergeordneter Bedeutung sind, soll an dieser Stelle darauf verzichtet werden.

#### Einführende Diskussion:

Die Verteilung der **Feinfraktion** im Untersuchungsgebiet ist streng abhängig von der Wassertiefe bzw. Morphologie und von der Hydrodynamik. In den sandigen Gebieten, auf groben Restsedimenten und Steinfeldern beträgt der Feinkorn-Anteil nur wenige Masse-% vom Gesamtsediment. In den Schlickgebieten der Becken liegt der Feinkornanteil dagegen bei über 90 %.

Wegen des grundlegenden Zusammenhangs zwischen Feinfraktion und Elementgehalt (Korngrößeneffekt), zeigen die Verteilungsbilder der projektrelevanten Elemente, berechnet auf die **Gesamtfraktion**, sehr ähnliche charakteristische Grundmuster: Die Schlicke der Beckengebiete haben (natürlich) höhere Gehalte, als die Sande und Restsedimente der flachen Küstenbereiche, Bänke und Schwellen.

Regional betrachtet sind für die **Schlickgebiete** das Arkonabecken und die Mecklenburger Bucht von größter Ausdehnung und Bedeutung als Ablagerungsraum. Im Westen der deutschen Ostsee befinden sich noch kleinere Schlick-Vorkommen in der Kieler Bucht, Flensburger Förde und Eckernförder Bucht. Die größten zusammenhängenden **Sandgebiete** sind die Oderbucht (Oderbank) im Osten, die sogenannte Falster-Rügen-Platte (nördlich der Halbinsel Darß-Zingst) und das Sandgebiet zwischen Warnemünde und Gedser. Die restlichen Flächen werden durch die anderen Sedimenttypen (Schluffe, Steinfelder, Restsedimente etc.) abgedeckt (siehe Karte der Sedimenttypen und Tabelle 1).

Bei der Darstellung der regionalen Verteilung von **Elementgehalten in der Feinfraktion** (<63 µm) hebt sich das oben beschriebene Grundmuster teilweise auf. Nun wird sichtbar, dass in einigen Gebieten (z.B. auf der Oderbank) die dort vorhandenen geringen Anteile der Feinfraktion trotzdem sehr hohe Gehalte der betreffenden Elemente aufweisen können.

Die feinkörnigen, vom Festland eingetragenen und in der Wassersäule gebildeten biogenen und mineralischen Partikel und Aggregate und die daran gebundenen Substanzen gelangen erst in den Becken zur (längerfristigen) Ablagerung. Die flachen Sandgebiete sind wegen ihrer hohen Hydrodynamik für diese Feinfraktion nur Übergangsbereich bzw. Transportareal. Sie werden unter ruhigen hydrographischen Verhältnissen zum Boden absinken (Stichwort: fluffy layer), teilweise in das sandige Sediment eingearbeitet (auch durch Bioturbation) und bei Strömung und Wellengang wieder weiter transportiert. Im Resultat dieser ständig ablaufenden Prozesse enden die feinkörnigen und organischen Partikel in den Akkumulationsgebieten (Becken). Die Verweildauer des fluffy layer Materials auf den sandigen Bänken und Platten kann mit Zeitskalen von Tagen bis Wochen (Monaten) abgeschätzt werden. Der Fein-Anteil, der tiefer in das sandige Sediment eingearbeitet wird, könnte dort möglicherweise auch für längere Zeit verbleiben. Starke Stürme (Wellen) werden diesen Feinanteil teilweise wieder auswaschen und fortbewegen, das gröbere Sediment (Sand) sinkt sofort wieder ab. Die fein- bis mittelkörnigen Sande der Oderbank, zum Beispiel, sind sehr alt und liegen dort schon seit einigen Jahrtausenden. Sie haben eine hohe interne Dynamik (z.B. auch sichtbar durch Mega-Rippeln), bewegen sich aber insgesamt kaum fort aus dem Gebiet.

Ob das Arkonabecken oder die Mecklenburger Bucht im geologischen Sinn tatsächlich „Endlager“ für feinkörniges mineralisches und organisches Material darstellen, ist eine andere Frage, die im Teilprojekt 1.2 nachgegangen wird. Zumindest jedoch wird auf Zeitskalen von Jahrzehnten bis Jahrhunderten dieses feine Material dort verbleiben, soviel kann aus den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen schon abgeleitet werden.

Bemerkenswert ist die für zahlreiche Elemente zu beobachtende erhöhte Konzentration in der Feinfraktion auf der Oderbank (Pommernbucht). Die Konzentrationen dort übersteigen in vielen Fällen sogar die Werte der Schlickgebiete der Becken. Wegen der anzunehmenden kurzen Verweilzeit des Feinanteiles auf dieser Sandbank kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei z.B. für TOC um überwiegend junges, frisches organisches Material aus der in-situ Primärproduktion des Gebietes

handelt. Diese Aussage wird auch durch die niedrigen TOC/N-Verhältnisse des organischen Materials gestützt. Für die Verteilung und Konzentration der Nährstoff-Elemente N und P sowie für biogenes Silikat (Opal) gilt hier der gleiche Zusammenhang wie für TOC. Dass die Gewässer der Pommernbucht wegen der Nähe zur Odermündung (Nährstoffeintrag) biologisch hochproduktiv sind, ist seit langem bekannt. Zu dieser Problematik gab es bereits in den 1990er und 2000er Jahren im IOW einige Projekte und entsprechende Publikationen, z.B. „ODER“, „BASYS“, „Pommernbucht“. Neu ist hier, dass durch die flächendeckende Information auch Aussagen über ablaufende Prozesse möglich sind. Kurzfristig (Saisonal) werden diesem System die Nährstoffe nicht entzogen, weil das organische Material (z.B. aus Algenblüten) nicht in größere Tiefen absinken kann, sondern auf der flachen Sandbank verbleibt, dort teilweise verarbeitet wird, und in den Kreislauf relativ rasch zurückgelangt. Diese räumlich und zeitlich kurzen, intensiven Kreisläufe mögen die Ursache für die hohen Konzentrationen in der (wenigen) Feinfraktion auf den Sandbänken der Oderbucht sein.

Sinngemäß gelten die gleichen regionalen Zusammenhänge und Prozesse wie für die Effekte der Eutrophierung (Nährstoffe) auch für Schadstoffe (z.B. Schwermetalle). Die Fracht der über Jahrzehnte hochbelasteten Oder gelangt über das Oderhaff (als Zwischenlager) in die vorgelagerte Ostsee (Pommernbucht). Da die Pufferkapazität des flachen Oderhaffs begrenzt bzw. erschöpft ist (frühere Studien haben ergeben, dass die mittlere Verweilzeit des Materials der oberflächennahen Sedimentschicht bei wenigen Jahrzehnten liegt) werden fortwährend noch historisch belastete Schwebstoffe (re-suspendiertes Sediment) aus dem Haff in die Pommernbucht eingetragen. Genau dieser Prozess kommt in den Verteilungsbildern der Schwermetalle (z.B. Hg) in der Feinfraktion zum Ausdruck. In den entsprechenden Elementverteilungskarten, berechnet auf die Gesamtfraction der Sedimente ist das nicht zu sehen.

Die Transportwege feinkörnigen Materials mit den daran gebundenen Stoffen können somit nachgezeichnet werden. Nach dem Ausstrom aus dem Oder-Ästuar gelangt das Material in die Pommernbucht und von dort aus weiter, entweder nach Nordwesten in Richtung Arkonabecken oder nach Nordosten in Richtung Bornholmbecken. Letzteres liegt außerhalb unseres Untersuchungsgebietes. Der direkte Transportweg von der Pommernbucht nach Nordwesten in Richtung Arkonabecken scheint nach einigen hier vorliegenden Befunden zumindest zeitweise abgeschnitten zu sein. Ursache dafür sind sehr wahrscheinlich starke West-Ost gerichtete Bodenwasser-Strömungen (Kontur-Ströme) vor der Nordküste Rügens, am Südrand des Arkonabeckens. Der Partikeltransport wird dann nach Osten abgelenkt, was die starken Gradienten in einigen Verteilungsbildern von Elementgehalten in der Feinfraktion dieser Region erklären würde.

Diesbezüglich wäre auch der auffällige „gelbe Ring“ niedriger TOC Werte (in der Feinfraktion) am Rande des Arkonabeckens zu verstehen. Hier ist das Sediment ein Grob-Silt (Sedimenttyp 3; Tromper Wiek) mit deutlich niedrigeren TOC-Werten, als im Becken und auf der Oderbank. In diesem Zusammenhang muss ebenfalls auf die TOC/N-Werte verwiesen werden, die in diesem Bereich teilweise auffällig höher sind, als im Becken und auf der Oderbank. Die oben erwähnten Strömungsmuster mit entsprechenden Erosions- und Transportprozessen wären eine mögliche Erklärung, weil damit z.B. auch eine Freilegung und Umlagerung alter organischer Substanz (Stichwort: fossile Torfe) verbunden sein kann. Dieses Gebiet am Südrand des Arkonabeckens ist offensichtlich kein Ablagerungsraum für junges (frisches) organisches Material und daran gebundener Stoffe.

Bezüglich einiger Schwermetalle, insbesondere für Hg, sind neben dem Oderausstrom noch zwei sogenannte Altlasten als „Hot-Spots“ sichtbar. Am Westrand des Arkonabeckens betrifft das eine militärische Altlast aus dem 2. Weltkrieg und in der Mecklenburger Bucht (Lübecker Bucht) eine Industrie-Altlast aus den 1960er Jahren. Über diese Vorkommen wurde bereits publiziert, zum Beispiel: Leipe, et al., (2005): Ecotoxicity assessment of natural attenuation effects at a historical dumping site in the western Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 50, 446-459 und Leipe et al., (2013): Mercury in Baltic Sea sediments – natural background and anthropogenic impact. *Chemie der Erde (Geochemistry)* 73, 249-259.

Der Karbonat-Gehalt (TIC) der Feinfraktion der Sedimente der deutschen Ostsee ist insgesamt relativ gering. Insbesondere die Schlicke der großen Beckengebiete (Arkona-Becken, Mecklenburger Bucht) sind ausgesprochen kalkarm. Diese Tatsache ist deshalb bemerkenswert, da große Teile des Einzugsgebietes kalkreiche Gesteine aufweisen: Geschiebemergel, Kreide (Rügen). Ausnahmen bilden die calcitreichen Sedimente der eutrophen Bodden- und Haffgewässer (hier kann es zeitweise zu einer plankton-bedingten Kalkfällung kommen), sowie einige Gebiete auf denen kalkbildende Benthos-Organismen, z.B. Muschelbänke vorkommen. In dieser Hinsicht ist die Abtrennung und Analyse der Feinfraktion eventuell ein gewisser Nachteil, da auch die Grobfraktion (>63µm) kalkreich sein kann.

Das TOC/N-Verhältnis kann als grober Indikator der Art (Herkunft) und des Alters der organischen Substanz im Sediment verwendet werden. Frisches Phytoplankton der westlichen Ostsee hat typischerweise Werte zwischen 6 und 8. Höhere Werte deuten auf „gealtertes“ organisches Material hin (Abbau) bzw. Einfluss terrigener organischer Substanzen. Gerade im Bereich der Tromper Wiek und des Adlergrundes sind auch fossile Torfe bekannt, die auf Erosionsflächen am Meeresboden anstehen. Größere Bereiche mit Werten zwischen 8 und 9 z.B. im Gebiet des Arkonabeckens unterstützen die bereits diskutierte Tatsache, dass hier organisches Material zur längerfristigen Ablagerung (mit fortschreitendem Abbau) kommt. Zu diesem Themenkreis wird insbesondere auch in den Teilprojekten 1.3. und 2.3. (Sedimentkerne) des SECOS-Projektes gearbeitet.

Zwei weitere biogene bzw. biorelevante „Proxys“ sind der biogene Opal (Silikat) und der Phosphor. Wegen der oben diskutierten generellen Korrelation zwischen Feinfraktion, TOC und weiteren Elementen und Parameter, welche an die Feinfraktion gebunden sind, sehen die Muster der Verteilung auch hierfür sehr ähnlich aus. Die Hauptquelle des Biogenen Opals (Silikat) sind die Kieselalgen, die in der Regel als „Frühjahrsblüte“ bzw. auch in manchen Jahren als „Herbstblüte“ auftreten. Phosphor ist an organische Substanz gebunden, kann aber auch als Ca-Phosphat oder Fe- gebundenes Phosphat vorliegen. Beim Abbau der organischen Substanz und bei sich ändernden Redox-Verhältnissen können große Teile des gebundenen Phosphors wieder bio-verfügbar werden. Auch in den Verteilungsmustern der Feinfraktion dieser Parameter fällt die Pommersche Bucht (Oderbank) als biologisch produktives Gebiet auf. Hier gelten die Gleichen Zusammenhänge wie beim TOC, Nährstoffeinträge vom Festland (Oder-Ästuar) und eine hohe Intensität der Stoffkreisläufe charakterisieren diese Region.

#### Zusammenfassung:

Für die regionale Verteilung projektrelevanter Elemente und biogeochemischer Parameter wird der generelle positive Zusammenhang zwischen Korngröße (Anteil der Feinfraktion am Gesamtsediment) TOC, Nährstoffelemente und Schadstoffe (Schwermetalle) sichtbar. Die flachen Küstengebiete und großen Sandbänke sind wegen ihrer hohen Hydrodynamik nur Übergangs- bzw. Transportareal für feinkörniges und organisches Material. Das Arkonabecken und die Mecklenburger Bucht sind die



bedeutendsten Depositionsgebiete für feinkörnige Schlicke und die daran gebundenen Stoffe. Ungeachtet dessen enthüllte die Abtrennung und Analytik der Feinfraktion vom Gesamtsediment eine Reihe überraschender Befunde: Die Elementkonzentrationen in der Feinfraktion sind nicht gleichmäßig verteilt. Höhere Werte finden sich für die meisten der projektrelevanten Elemente und Parameter (C, N, P, bio-Silikat, Schwermetalle) im Gebiet der sandigen Pommernbucht (Oderbank). Dies zeigt den Einfluss von Nährstoffen (und Schadstoffen) aus dem Oder-Ästuar und charakterisiert dieses Areal als biologisch hoch-produktiv. Die Verteilungsbilder der Elemente in der Feinfraktion lassen teilweise auch Rückschlüsse auf Transportwege zu.

#### Ausblick:

Die jetzt vorliegende Datenbasis wird zunächst die Berechnung von flächen- und raumbezogenen Inventaren und Raten von Elementen im Sediment ermöglichen. Weiterhin können flächendeckende Informationen zu Sedimenteigenschaften auch die Kopplung an hydrodynamische Modelle verbessern. Schließlich sollen die bio-geochemischen Daten auch für die Öko-System und Benthos-Modellierung genutzt werden.

### ***Teilprojekt 1.2 Mapping and modeling biodiversity and habitat suitability***

#### **Verwendung der Zuwendung:**

Wie im Antrag vorgesehen, wurden die bewilligten Finanzmittel für Personal und Reisen verwendet. Finanzierung einer Postdoc Stelle: Dr. Mayya Gogina, 36 Personenmonate E13/3. Die Reisekosten ergeben sich aus den Teilnahmen an Koordinierungstreffen und an internationalen Symposien: Teilnahme an der Baltic Sea Science Conference (BSCC) in 2013, sowie an der „Association for the Science of Limnology and Oceanography“ (ASLO) Konferenz in Granada im Februar 2015.

#### **Ziele:**

Zentrales Ziel war die Kartierung der deutschen Ostsee nach einer strukturellen und funktionellen Typologie der Sedimente und benthischen Habitaten, sowie nach Funktion von benthischer Makrofauna. Entsprechend dem Projektantrag wurde das Vorgehen in die folgenden Teilaufgaben unterteilt:

1. Meilenstein: Anfangskarte der benthischen Habitate – Projektmonat 6
2. Meilenstein: Vervollständigte Karte benthischer Habitate – Projektmonat 18
3. Meilenstein: Finale Karte der benthischen Habitate – Projektmonat 36
4. Deliverable: Publication: Quantitative response of benthic species and/or communities to varying gradients and its ecosystem functioning – Projektmonat 36

#### **Ergebnisse:**

Die Aufgaben des TP 1.2 umfassen die Kartierung der deutschen Ostsee nach einer strukturellen und funktionellen Typologie der Sedimente und benthischen Habitate, sowie nach Funktionen benthischer Makrofauna. Dazu werden benthosbiologische und sedimentologische Daten verwendet, die entweder aus Altdatenbeständen aufgearbeitet oder im Projekt neu erhoben wurden. Die Umsetzung dieser Daten in Biotoptypenkarten erfolgt unter Anwendung Experten-basierter, international anschlussfähiger Klassifikationssysteme (HELCOM HUB). Ferner wurden prädiktivstatistische Verfahren auf vorliegende Benthosdaten angewendet, um so Verbreitungskarten benthischer Arten und Lebensgemeinschaften bei der flächendeckenden Biotopkartierung berücksichtigen zu können.

Im Zeitraum 01.01.2015 bis 31.03.2016 standen die folgenden Arbeiten im Fokus:

Im Projektzeitraum Januar 2015 bis März 2016 wurden auf insgesamt drei Ausfahrten mit verschiedenen Forschungsschiffen (Elisabeth Mann Borgese, Maria S. Merian) auf den SECOS Stationen umfangreiche Benthos-Probennahmen durchgeführt (zusätzlich wurde auch die Sommersituation auf 4 ausgewählten SECOS Stationen beprobt).

Eine finale Habitatkarte der deutschen Ostsee nach der HELCOM HUB Klassifizierung wurde veröffentlicht (Schiele et al. 2015) und im Baltic Sea Atlas (BSA) präsentiert (siehe <http://bio-50.io-warnemuende.de/secos>). Die Karte zeigt die Verbreitung von insgesamt 68 HUB Meeresbodenbiotoptypen definiert bis zur dominierenden Artenebene.

Für das Monitoring wurden Multicorer (0,01 m<sup>2</sup>) und Van Veen Greifer (0,1 m<sup>2</sup>) Proben mit unterschiedlichen Stichprobengrößen verwendet, um den ökologischen Zustand der Bodenfauna zu untersuchen. Als Teil des ökologischen Zustandes werden die Ökosystemfunktionen verstanden, wobei allgemeine Deskriptoren von Benthosgemeinschaften, wie Abundanz, Biomasse, Artenreichtum und unterschiedliche biologische Merkmale verwendet werden. Der Einfluss der Probennahmegeräte mit unterschiedlichen Probengrößen (Fläche, Gewicht, Eindringtiefe) und Wiederholungen (Replikate) auf die Beschreibung der Funktionsweise von Ökosystemen wurde statistisch untersucht, um optimale Stichprobenverfahren zu finden, die ausreichend sind, um eine Repräsentativität für das Makrozoobenthos-Monitoring zu erhalten. In einem Fallstudie (Masterarbeit von N. Steiner) wurden 12 Multicorer und 10 Van Veen Replikate jeweils an zwei SECOS Stationen entnommen (Schlick-Benthosgemeinschaft in Arkonabecken und Sand in Oderbank). Die Ergebnisse der BTA (Biological Traits Analysis) und der kumulative Arten-Areal-Kurven zeigten, dass der Einfluss des Probennahmengerätes von der Benthosgemeinschaft und dem Sedimenttypen abhängt (Abbildung 2.1.2).

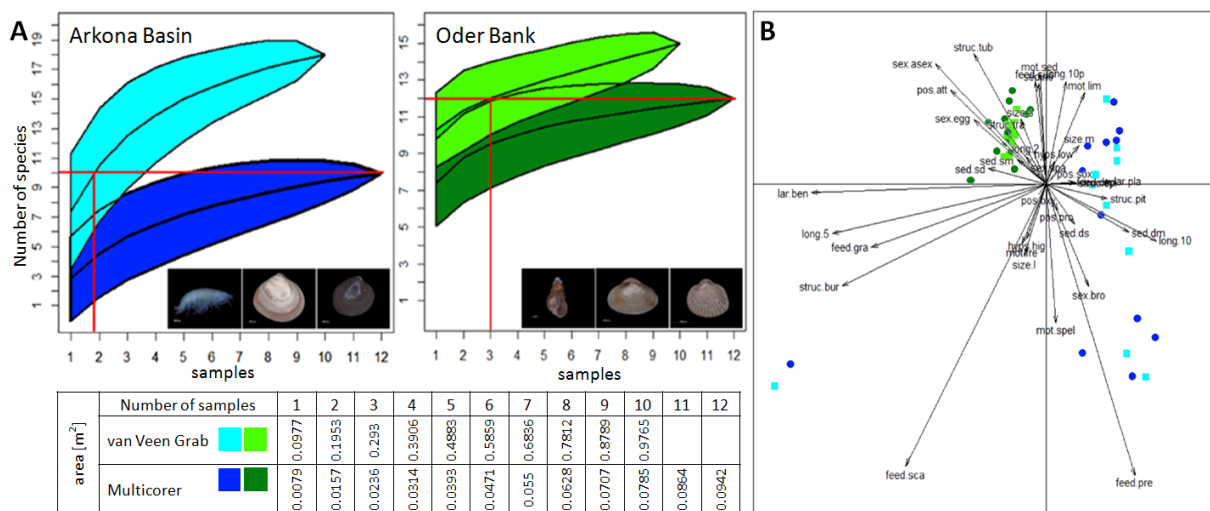


Abbildung 2.1.2. A) Kumulative Arten-Areal-Kurven mit Dominierenden Arten im Arkonabecken und der Oderbank; Gemeinschaften, Frühjahr 2015: *Pontoporeia femorata*, *Macoma balthica*, *Arctica islandica*, *Peringia ulvae*, *Mya arenaria* und *Cerastoderma glaucum* B) Die Ergebnisse der BTA (Biomasse-basiert Fuzzy Correspondence Analysis)

In den heterogenen Gemeinschaften besitzen kleinere Probeneinheitengrößen einen höheren Einfluss auf die Datenqualität als in homogenen Gemeinschaften. Insgesamt stellt die Verwendung des Multicorer-Gerätes mit kleineren Probengrößen höhere Schwankungen bei der letztlich verwendeten Artenvielfalt, Abundanz und Biomasse dar und ist nicht in der Lage den gleichen Anteil an biologischer Vielfalt in Bezug auf Artenreichtum zu erfassen, wie der Van Veen Greifer. Die Vergleichbarkeit von Informationen über Benthosgemeinschaften, erhalten mit verschiedenen Geräten, wurde diskutiert. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse ist es ratsam, als Standard für Weichböden das Van Veen Probennahmeverfahren zu verwenden, um repräsentative Daten zu erhalten. Die Karten für Abundanz, Biomasse und Artenvielfalt von Benthosgemeinschaften (basierend auf dem Standard Van Veen Probennahmeverfahren) sind in Abbildung 2.1.3 und im Baltic Sea Atlas präsentiert.

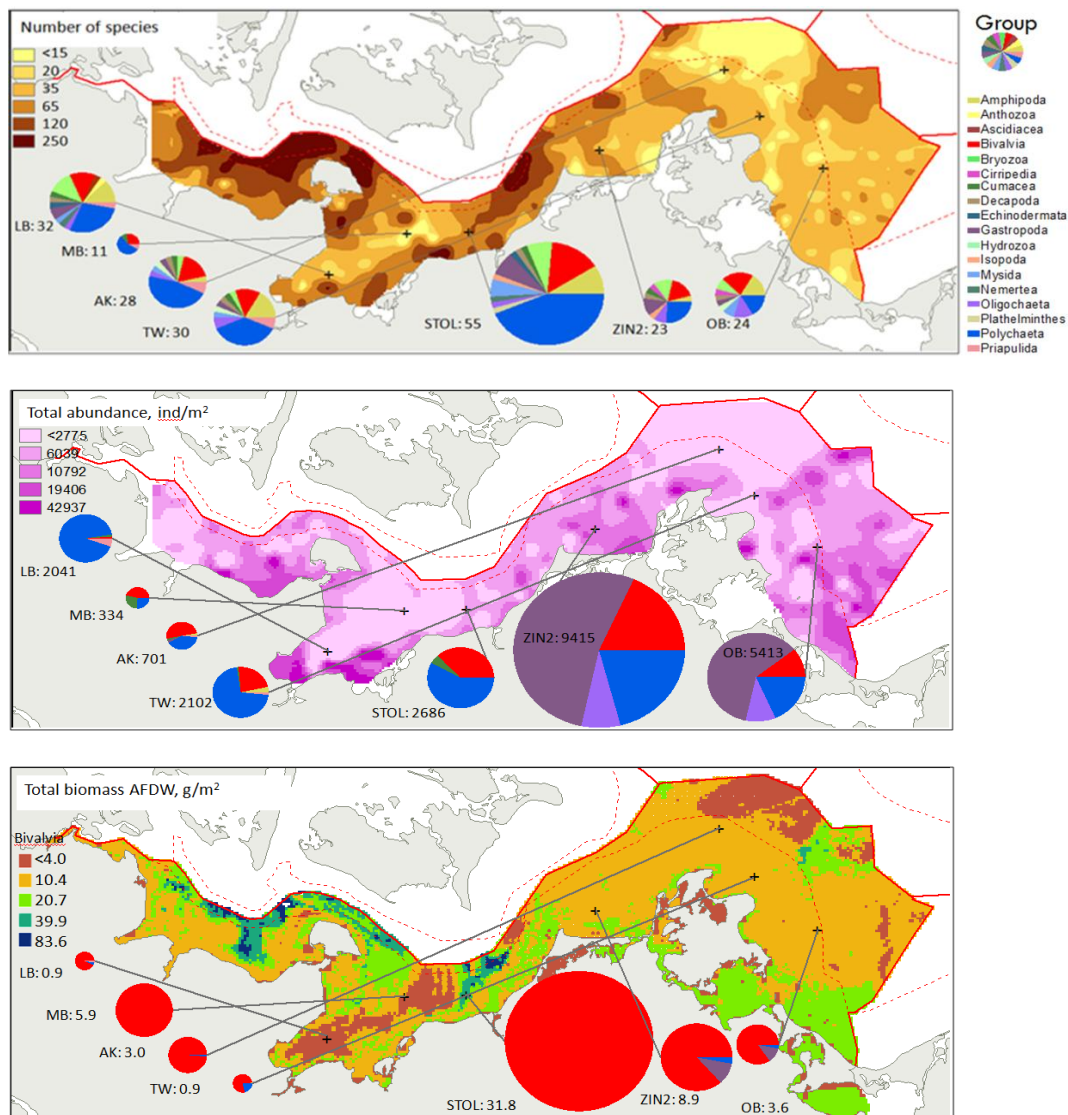


Abbildung 2.1.3. Artenvielfalt, Abundanz, und Biomasse von Benthosgemeinschaften

Im nächsten bereits veröffentlichtem Fallstudium (Gogina et al. 2016) wurden die rezenten benthischen Makrofauna-Gemeinschaften der gesamten Ostsee inventarisiert. Die Analyse basiert auf biologische Daten (Makrozoobenthos von Weichböden) von über 7000 Standorten in der gesamten Ostsee Region (meistens beprobt von 2000 bis 2015). Anhand von Abundanz-Daten von vorkommende Arten werden

10 Gemeinschaften definiert, und basiert auf Biomassen-Daten wurden 17 Gemeinschaften vorgeschlagen, wobei jede Gemeinschaft durch bestimmte Schlüssel-(Indikator-)Arten und bestimmte Kombinationen von Sediment- und Hydrographie-Parametern charakterisiert wird. In der nördlichen Ostsee mit niedrigem Salzgehalt sind schlackige Sedimente durch *Monoporeia affinis* und *Marenzelleria* spp. dominiert. Taxa wie *Macoma balthica*, *Hydrobiidae*, *Pygospio elegans* und *Cerastoderma glaucum* kennzeichnen die Gemeinschaften in sandigen Habitaten vor Westküste von Estland und in der südöstlichen und südlichen Ostsee. Die tiefste Teile des Finnischer Meerbusens und der zentralen Ostsee sind auf Grund von Sauerstoffmangel oft unbewohnt, und werden nur zeitweise (bei Sauerstoffangebot) vor allem durch den Polychaet *Bylgides sarsi* kolonisiert. Die südwestliche Ostsee, mit hoher Salinität, zeigt eine höhere Vielfalt im Vergleich zu den nördlichen Teilen. Die räumliche Verteilung der Gemeinschaften wurde mit Hilfe der Random Forest Methodik von punktuellen Daten auf die gesamte Fläche der Ostsee interpoliert. Als Prädiktoren wurden Substrat, bathymetrische Karten und modellierte hydrographische Daten verwendet. Modellvorhersagen waren in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen (aufgezeigt durch Cohens Kappa von 0,90 und 0,89 für Abundanz- und Biomasse-basierte Modelle). Fehlklassifikationen wurden vor allem bei seltenen Klassen in Regionen mit hoher räumlicher Variabilität gefunden. Die Basiskarte der Verteilung von Benthosgemeinschaften in der gesamten Ostsee mit einer Auflösung von 5x5 km könnte für großräumige Meeresraumplanungen verwendet werden.

Es besteht eine positive Korrelation zwischen Ökosystemfunktionen und der Biodiversität, die ist durch Eigenschaften von individuellen dominierende Arten der Gemeinschaften definiert (Solan et al. 2004). Die Unterschiede zwischen Gemeinschafts-Ökosystemfunktionen werden via Bewertung des Bioturbation-Potentials der benthischen Makrofauna-Gemeinschaften (BPc) untersucht. Im Rahmen einer zur Zeit erstellten Publikation wurden die BPc für über 1000 Stationen in der deutschen Ostsee ausgerechnet, modelliert und flächendeckend dargestellt (Abbildung 2.1.4). Die BPc Metrik wurde in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 2.2 durch den Vergleich mit Bestimmungen der Bioturbation über Chlorophyll als Tracer validiert. Bewertung der interannuellen sowie saisonalen Schwankungen der Metrik werden anhand von HELCOM Ostseemonitoring und SECOS Stationen präsentiert (vgl. Abbildung 2.1.5).

Die einzelnen definierten Aufgaben wurden alle erfüllt:

1. Vorläufige Karte der benthischen Habitate ist vorgestellt in SECOS Zwischenbericht 2013
2. Die Karten von HUB Habitaten und des Bioturbation-Potentials sind als GIS-Layers für Veröffentlichung im "Baltic Sea Atlas" geliefert
3. Publiziert bei Schiele et al. (2015)
4. Gogina et al. (2016)

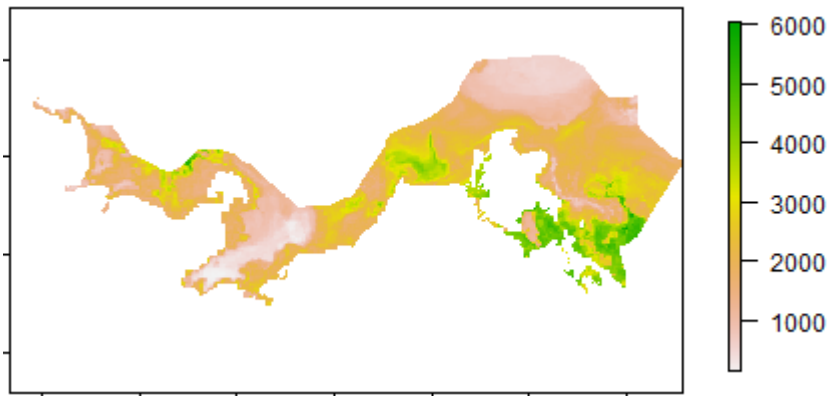


Abbildung 2.1.4. Modellierter räumliche Verteilung des Bioturbation-Potentials im deutschen Ostsee

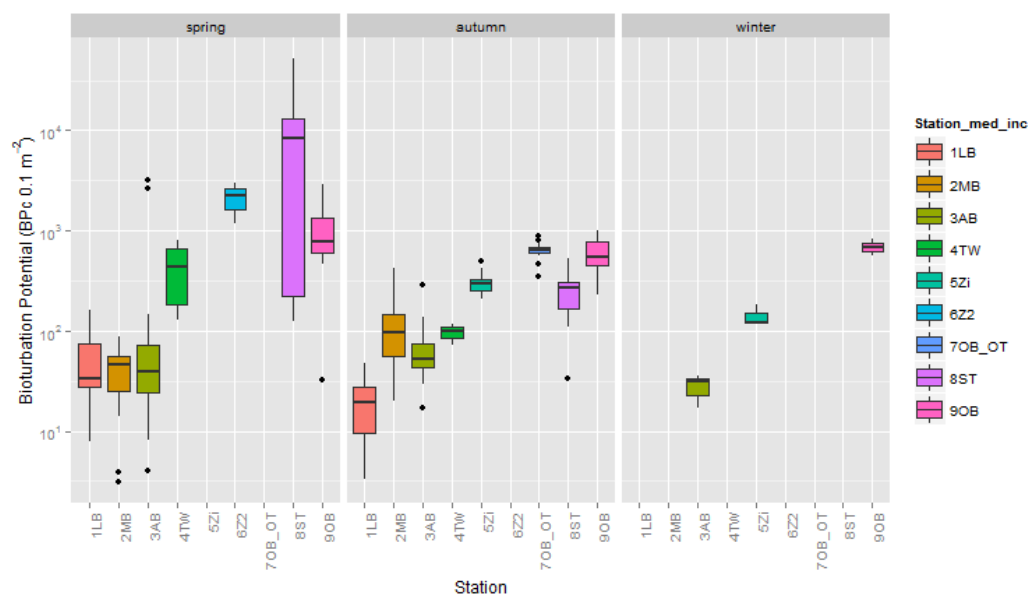


Abbildung 2.1.5. Bewertung des Bioturbation-Potentials für einzelne SECOS Stationen (saisonaler Vergleich)

### Teilprojekt 1.3 Deposition and Accumulation

#### Verwendung der Zuwendung:

Die diesem Teilprojekt zur Verfügung stehenden Mittel wurden wie beantragt zur Finanzierung der Personalkosten des Doktoranden Dennis Bunke sowie für Dienstreisen verwendet.

#### Ziele:

Zunächst sollten Kurzkerne aus ausgewählten Arbeitsgebieten repräsentativer Sedimenttypen mit Hauptaugenmerk auf die Schlicke der Becken gewonnen und anschließend analysiert werden. Dabei sollten die Altersstruktur der Beckensedimente sowie der Einfluss von Vermischungsprozessen untersucht werden, um eine belastbare Kalkulation von Massen-Akkumulations-Raten und/oder Inventaren von z.B. Nährstoffen und Schadstoffen in den Sedimenten der deutschen Ostsee vornehmen zu können.

## Ergebnisse:

### 1. Meilenstein: Kurzkerne aus ausgewählten Arbeitsgebieten:

Während der stattgefundenen SECOS-Expeditionen AL 434, EMB 076, POS 475, EMB 093 und EMB 100 sowie weiterer Ausfahrten (EMB 058 und EMB 097) wurden insgesamt 41 Kurzkerne in der Lübecker bzw. Mecklenburger Bucht, dem Arkonabecken, vor Warnemünde (Stoltera), von der Darßer Schwelle nördlich von Zingst, in der Tromper Wiek und von der Oderbank mittels Multicorer gewonnen. Diese wurden sofort nach der Bergung im Intervall von 1 cm beprobt und an Bord eingefroren. Zurück am IOW wurden die Proben dann gefriergetrocknet und homogenisiert, um sie für die weiteren Laboranalysen vorzubereiten (Übersicht analysierter Parameter/Methoden siehe Tabelle 2.1.3).

### 2. Meilenstein: Radionuklid-Messungen an den kurzen Sedimentkernen:

Die Proben der Expedition EMB 058 aus der Lübecker/Mecklenburger Bucht und dem Arkonabecken wurden mittels eines Reinst-Germanium-Detektors gammaspektroskopisch untersucht, um die vertikale Verteilung der Aktivität der Radionuklide  $^{210}\text{Pb}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in diesen Schlickbecken zu bestimmen. Die Ergebnisse belegen, dass die Sedimente durch biologische, hydrodynamische und/oder anthropogene Einflüsse unterschiedlich stark vermischt werden, wodurch eine genaue Altersbestimmung in den meisten Fällen nicht möglich ist. An einigen der Stationen wurden während der Expedition POS 475 weitere Kurzkerne genommen und deren Sedimentfeinstruktur mittels Röntgenradiographie beim Geologischen Dienst von Finnland (GTK) in Espoo bzw. im Mikrotomographischen Labor der Universität Helsinki untersucht. Auf diese Weise identifizierte Spurenfossilien weisen darauf hin, dass die Sedimentstruktur zum Teil durch grabende Organismen überprägt wurde, die in der Oberflächenschicht des Sediments leben (Bioturbation). Weiterhin finden sich auch Hinweise auf Hydroturbationsereignisse („Events“), die als dünne, etwas grobkörnigere Lagen in den Radiographien auftreten (siehe Zwischenbericht 2014).

### 3. Meilenstein: Quantifizierung der Sedimentfunktion in Bezug auf die Zwischen- und Endspeicherung von Stoffen:

Um den Zusammenhang zur Zwischen- und Langzeitspeicherung (Inventaren) und Massenakkumulationsraten silikatischen und biologischen Materials sowie zur Geschichte anthropogener Einflüsse (anorganische und organische Schadstoffe) herzustellen, wurden folgende Parameter ermittelt: Trockenraumdichte DBD [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], Wassergehalt ( $\text{H}_2\text{O}$ ) [%] und Salzgehalt im Porenwasser [%] von allen Proben; Gehalt an Schwefel (S) und Stickstoff (N) sowie an gesamtem (TC), anorganischem (TIC) und organischem Kohlenstoff (TOC) [%], Quecksilbergehalt (Hg) an der Trockensubstanz (Direktverfahren) [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] und Korngrößenverteilung [%] von allen Proben der Expedition EMB 058 und von mindestens einem Kern pro SECOS-Station; Gehalt an Biogenopal ( $\text{SiO}_2$ ) [%] von allen Proben der Expedition EMB 058; Gehalt an Haupt- und Spurenelementen von Arsen bis Zirkon [%; ppm] mittels Totalaufschluss, an Phosphor (P) sowie an organischen Schadstoffen (PCBs und PAKs) von jeweils einem Kern aus der Lübecker bzw. Mecklenburger Bucht und dem Arkonabecken; Gehalt an Organozinnverbindungen (OZV) von einem Kern vom Rand des Arkonabeckens.

Tabelle 2.1.3. Position und gemessene Parameter der 41 untersuchten Kerne

Kern-ID	Latitude	Longitude	Parameter / Methoden
EMB058/1-4	54°06.07'N	11°09.98'E	DBD, $\text{H}_2\text{O}$ , Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, $^{137}\text{Cs}$ , $\text{SiO}_2$ ,



Kern-ID	Latitude	Longitude	Parameter / Methoden
			PAKs, PCBs
EMB058/2-2	54°12.02'N	11°21.00'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub> , P, Totalaufschluss
EMB058/3-2	54°15.20'N	11°26.62'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub>
EMB058/4-2	54°18.97'N	11°33.07'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub>
EMB058/6-2	54°47.52'N	13°15.13'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub> , PAKs, PCBs, OZV
EMB058/11-2	54°33.78'N	13°44.41'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub>
EMB058/15-2	54°55.27'N	13°44.08'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub> , P, Totalaufschluss
EMB058/16-2	54°52.08'N	13°39.29'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub>
EMB058/17-2	54°56.85'N	13°18.22'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße, <sup>137</sup> Cs, SiO <sub>2</sub> , P
AL434/298-1	54°15.10'N	11°34.10'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
AL434/331-1	54°06.02'N	11°06.53'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
AL434/364-2	54°15.03'N	11°56.34'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
AL434/397-2	54°26.50'N	14°03.21'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
AL434/427-3	54°50.01'N	13°29.99'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
AL434/458-2	54°39.12'N	13°41.82'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB076/1-14	54°08.49'N	11°07.86'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB076/2-21	54°38.44'N	13°34.86'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
EMB076/3-22	54°26.41'N	14°03.49'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB076/4-10	54°50.22'N	13°30.21'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB076/5-25	54°15.07'N	11°57.30'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
POS475/11-5	54°04.75'N	14°09.48'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
POS475/14-8	54°26.50'N	14°03.32'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
POS475/17-7 MUC 1	54°53.05'N	13°51.18'E	Hg, X-ray
POS475/17-7 MUC 2	54°53.05'N	13°51.18'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
POS475/19-2	54°47.48'N	13°15.14'E	Hg, X-ray
POS475/22-1	54°55.27'N	13°44.24'E	Hg, X-ray
POS475/24-7	54°42.17'N	12°41.62'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg, Korngröße
POS475/52-12	54°15.34'N	11°56.24'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
POS475/53-8	54°07.97'N	11°08.58'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
POS475/54-1	54°06.05'N	11°09.96'E	Hg, X-ray

Kern-ID	Latitude	Longitude	Parameter / Methoden
POS475/56-1	54°18.98'N	11°33.15'E	Hg, X-ray
POS475/57-9	54°13.42'N	11°35.18'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
POS475/57-10	54°13.42'N	11°35.21'E	Hg, Korngröße, X-ray
EMB093/48-3	54°53.03'N	13°51.22'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB093/64-1	54°26.48'N	14°02.91'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB093/69-1	54°40.38'N	12°39.68'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB093/77-6	54°15.42'N	11°56.28'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB097/1-4	54°13.53'N	11°39.80'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC, Hg
EMB100/Stol	54°15.38'N	11°56.64'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB100/MB	54°13.38'N	11°35.40'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB100/OB	54°26.40'N	14°03.64'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC
EMB100/AB	54°53.12'N	13°51.11'E	DBD, H <sub>2</sub> O, Salz, CNS, TIC, TOC

**Ergebnisse:** Die Profile von Schwermetallen wie Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Blei (Pb) und Zink (Zn) sowie der organischen Schadstoffe (PCBs und PAKs) zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Quecksilberprofile (siehe Zwischenbericht 2014), was darauf hinweist, dass sich diese Stoffe ähnlich verhalten bzw. ähnlichen Prozessen ausgesetzt sind. Auch bei diesen Elementen erlauben die Profile eine eindeutige Aufteilung in vorindustriellen Hintergrund und anthropogenen Einfluss mit höheren Gehalten (Abbildung 2.1.6, Abbildung 2.1.7). Obwohl diese Schadstoffe überwiegend an die Feinfraktion und organische Substanz gebunden sind, dominieren Veränderungen dieser Parameter nicht die Variationen des Schadstoffgehaltes mit der Sedimenttiefe.

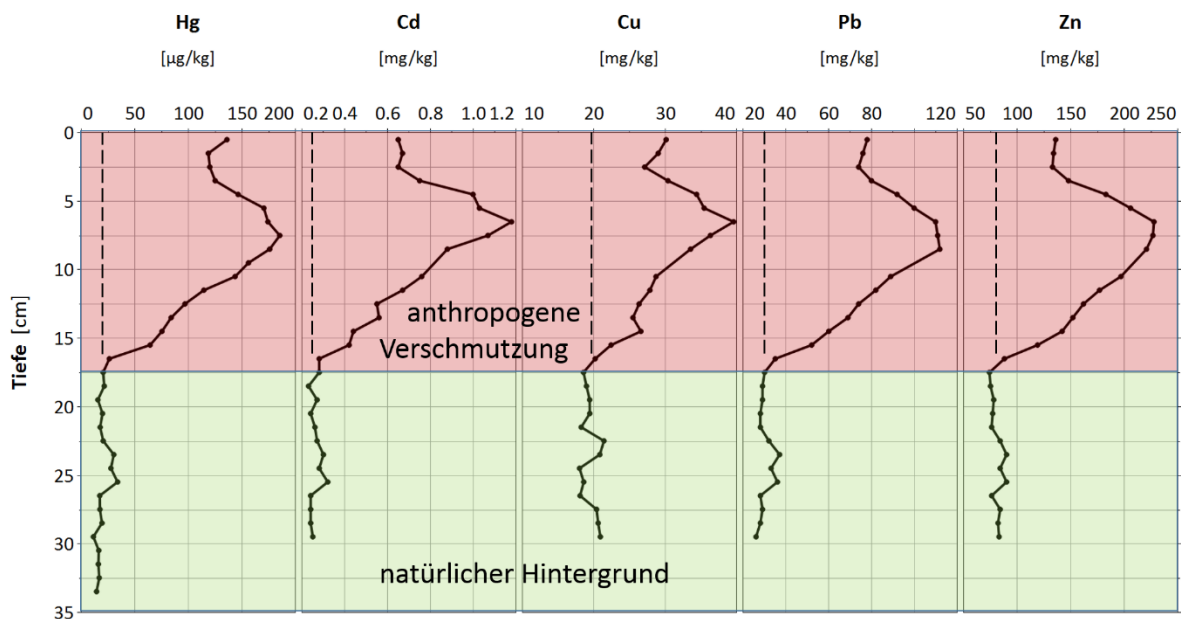




Abbildung 2.1.6. Schwermetallgehalte eines Beispielkernes aus der Mecklenburger Bucht (EMB058/2-2). Deutlich zu erkennen ist der anthropogene Eintrag (roter Bereich) über den natürlichen Hintergrund (grüner Bereich und gestrichelte Linien).

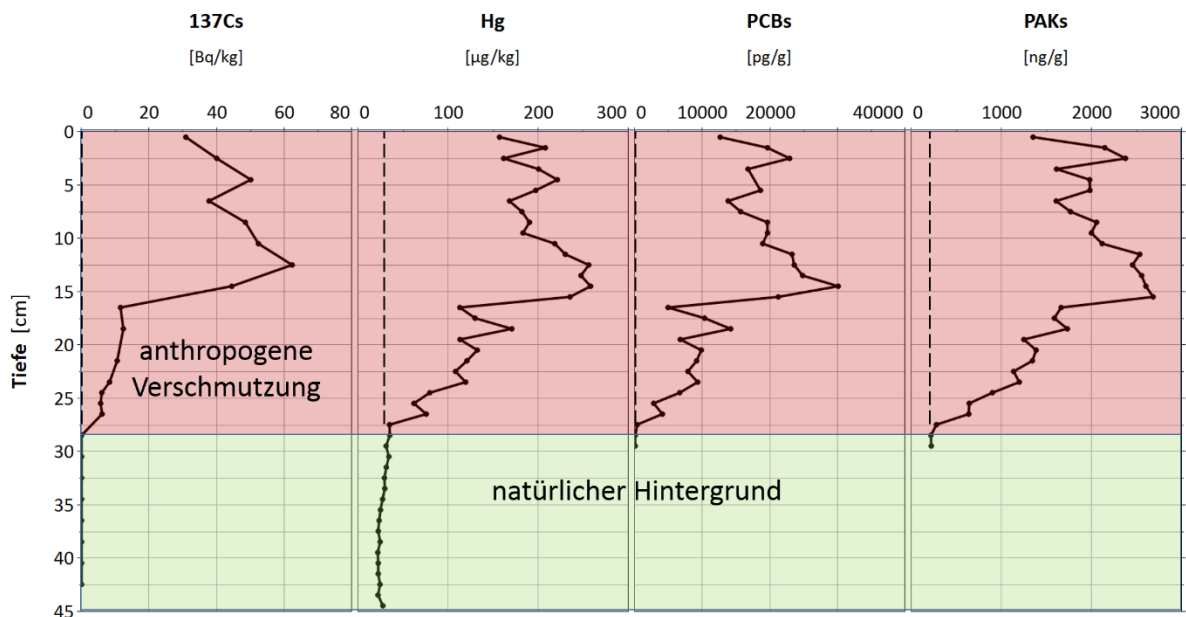


Abbildung 2.1.7. Organischer Schadstoffgehalt (PCBs und PAKs) im Vergleich zum Hg-Gehalt und zur  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität eines Beispielkernes aus der Lübecker Bucht (EMB058/1-4). Deutlich zu erkennen ist der anthropogene Eintrag (roter Bereich) über den natürlichen Hintergrund (grüner Bereich und gestrichelte Linien).

Wenngleich aufgrund eingeschränkter Altersdatierungen keine jährlichen Akkumulationsraten ermittelt werden konnten, so ließen sich zumindest die Inventare der verschiedenen Stoffe berechnen, die im Sediment bis in bestimmte Tiefen eingelagert sind, abhängig von der jeweiligen Kernlänge (Tabelle 2.1.4). Bei den Schadstoffen, deren anthropogen bedingtes erstes bzw. erhöhtes Auftreten historisch bekannt ist, lassen sich somit Aussagen darüber treffen, wie viel davon seit der Einflussnahme des Menschen ins Sediment eingetragen wurde. Beispielsweise befinden sich im Mittel  $10 \text{ mg/m}^2$  anthropogen eingetragenes Hg in der Lübecker/Mecklenburger Bucht und  $17 \text{ mg/m}^2$  im Arkonabecken, die seit Beginn der Industrialisierung Europas dort abgelagert wurden. Dabei nehmen die Werte zu der bekannten Altlast in der Lübecker Bucht und der vermuteten Altlast im westlichen Arkonabecken hin zu (siehe auch Ergebnisse TP 1.1).

Tabelle 2.1.4. Inventare ausgewählter Elemente und Verbindungen in den Beckenschlickten bis ca. 15 cm Tiefe

Element/Verbindung	Lübecker/Mecklenb. Bucht	Arkonabecken
TOC [ $\text{kg/m}^2$ ]	1,89	1,84
N [ $\text{g/m}^2$ ]	227,36	224,40
S [ $\text{kg/m}^2$ ]	0,52	0,36
P [ $\text{g/m}^2$ ]	42,66	64,56
$\text{SiO}_2$ [ $\text{kg/m}^2$ ]	1,71	1,41

Element/Verbindung	Lübecker/Mecklenb. Bucht	Arkonabecken
As [g/m <sup>2</sup> ]	0,94	0,69
anth. Hg [mg/m <sup>2</sup> ]	6,05	7,13
anth. Cd [mg/m <sup>2</sup> ]	24,22	10,47
anth. Cu [g/m <sup>2</sup> ]	0,54	0,35
anth. Pb [g/m <sup>2</sup> ]	2,71	1,69
anth. Zn [g/m <sup>2</sup> ]	4,68	1,99
PAKs [mg/m <sup>2</sup> ]	73,02	66,21
PCBs [µg/m <sup>2</sup> ]	650,38	393,21

## Arbeitspaket 2 – Functional Approach – Assessing sediment services

### *Teilprojekt 2.1 Physical effects on resuspension and sediment transport*

#### **Verwendung der Zuwendung:**

Die in diesem Teilprojekt zur Verfügung stehenden Mittel wurden wie beantragt zur Finanzierung der Personalkosten der Doktorandin Kirstin Schulz sowie für Dienstreisen (Konferenz- und Workshopbesuche) verwendet.

#### **Ziele:**

Die Hauptaufgabe dieses Teilprojekts war die Identifizierung, Charakterisierung und Modellierung der bodennahen Prozesse, die die Resuspension und den Transport von Schwebstoffen und Sediment im SECOS-Studiengebiet bestimmen. Schwerpunktmäßig sollten dabei insbesondere die Effekte von bodennaher Turbulenz, Oberflächenwellen und mittleren Strömungen untersucht werden. Dazu sollte ein kombinierter Ansatz aus in-situ Messungen und verschiedenen Modellierungstechniken verwendet werden.

#### **Ergebnisse:**

Die Arbeiten in Teilprojekt TP 2.1 lassen sich in Modellierungsstudien und Feldarbeiten aufteilen, die im Folgenden nacheinander beschrieben werden.

#### Idealisierte Modellierung von Resuspension und Sedimenttransport:

Die Modellanalysen von Resuspension und Transport in diesem Teilprojekt wurden mit dem Wassersäulen-Turbulenzmodell GOTM (siehe Umlauf et al, 2005)<sup>3</sup> und der biogeochemischen Modellierungstoolbox FABM (Bruggemann und Bolding, 2014)<sup>4</sup> durchgeführt, wobei letztere als Erosions- und Depositionsmodell zur Beschreibung des Suspendierten Partikulären Materials (SPM) genutzt wurde. PI L. Umlauf ist einer der Hauptentwickler von GOTM, das zu den weltweit am stärksten

<sup>3</sup> Umlauf L, Bolding K, Burchard H (2005). GOTM – Scientific Documentation. Version 3.2. Marine Science Reports No. 63, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research, Warnemünde, Germany (Please check up-to-date version on <http://www.gotm.net/>).

<sup>4</sup> Bruggeman J and Bolding K (2014). A general framework for aquatic biogeochemical models. Env. Modell. Software 61: 249–265

genutzten Turbulenzmodellen in der Regionalen Ozeanographie zählt und auch am IOW in zahlreichen Anwendungen eine Rolle spielt.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden beide Modellsysteme von der Doktorandin Kirstin Schulz gekoppelt und die Korrektheit der Implementierung mit aufwendigen Testläufen sichergestellt. Als eines der wichtigsten Ergebnisse dieser Validierungsprozedur stellte sich heraus, dass die in der Literatur beschriebenen Erosions-Randbedingungen numerisch nicht konvergent sind. Bemerkenswerter Weise hängt der Erosionsprozess mit diesen Randbedingungen, die in einer Vielzahl der heute verwendeten Sediment-Transportmodelle implementiert sind, in nahezu beliebiger Weise von der Gitterauflösung ab. Schulz und Umlauf (2016)<sup>5</sup> weisen in ihrer SECOS-Projektpublikation auf diese Problematik hin und schlagen eine alternative Implementierung vor, die auch in allen unten beschriebenen SECOS-Simulationen zum Einsatz kam.

Nach sorgfältiger Modellvalidierung wurde das gekoppelte Modellsystem im nächsten Arbeitsschritt zur Analyse der in SECOS-relevanten Resuspensions- und Transportprozesse verwendet. Diese Arbeiten wurden von der Doktorandin K. Schulz und PI L. Umlauf durchgeführt. In Erweiterung früherer Studien, die sich hauptsächlich mit der Sedimentdynamik über flachen Boden beschäftigt haben, wurde hier der in der Ostsee (aber auch in zahlreichen anderen Situationen) relevantere Fall eines geneigten Bodens untersucht. Die verwendete Modellgeometrie ist in Abbildung 2.1.8 dargestellt. Im Unterschied zur Berechnung mit flachem Boden hat die Dichtestruktur im Inneren des Beckens im Falle eines geneigten Bodens einen starken Einfluss auf die Schichtung und Turbulenz in der Bodengrenzschicht. Da die Resuspension und die Vermischung des suspendierten Materials durch die bodennahe Turbulenz gesteuert werden, ist der Effekt eines geneigten Hanges von entscheidender Bedeutung für den bodennahen SPM-Transport.

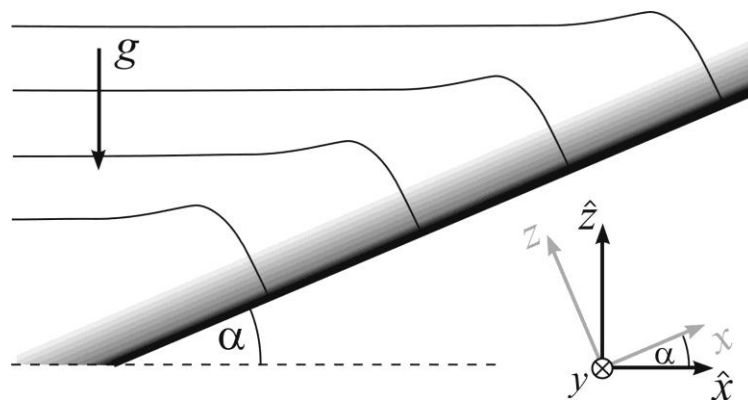


Abbildung 2.1.8. Modellgeometrie für die idealisierten GOTM/FABM-Simulationen. Die Koordinaten  $x$  und  $z$  bezeichnen die Richtungen parallel und normal zu einem Hang mit Hangneigung  $\alpha$ . Die dünnen schwarzen Linien entsprechen Linien konstanter Dichte (Isopyknen). Der Vektor der Erdbeschleunigung ist mit  $g$  bezeichnet. Die grau-schattierte Region in Bodennähe kennzeichnet resuspendiertes Material. Abbildung aus Schulz und Umlauf (2016).

<sup>5</sup> Schulz K, and L Umlauf (2016). Residual transport of suspended material by tidal straining near sloping topography. *J. Phys. Oceanogr.*, 46(7): 2083-2102.

Schulz und Umlauf (2016)<sup>5</sup> untersuchen insbesondere den Effekt oszillierender Bodenströmungen in der Nähe geneigter Hänge. Eines der Hauptergebnisse dieser Studie ist in Abbildung 2.1.9 zusammengefasst: Werden Strömung und Sedimenttransport parallel zum Hang über die Oszillationsperiode gemittelt, ergeben sich im Unterschied zum Fall mit flachem Boden residuelle SPM-Transporte in der Bodengrenzschicht. Besonders interessant ist dabei Abbildung 2.1.9 B, die zeigt, dass für bestimmte Parameterkonstellationen Sediment den Hang hinauf transportiert werden kann. Schulz und Umlauf (2016)<sup>5</sup> untersuchten in einer Serie von Simulationen den gesamten ozeanographisch relevanten Parameterbereich und zeigten, dass der residuelle Sedimenttransport in Abhängigkeit von Hangwinkel, Schichtung und Sedimenteigenschaften sowohl hangaufwärts als auch hangabwärts gerichtet sein kann.

Neben der offensichtlichen Relevanz für das SECOS-Studiengebiet, wo oszillierende Strömungen über den südlichen Hängen des Arkonabeckens durch verschiedene Typen von internen Wellen verursacht werden, wird die Kombination von geneigter Topographie, Schichtung und oszillierenden Bodenströmungen auch in vielen anderen Meeresgebieten angetroffen (ein Beispiel sind Gezeitenströmungen auf den Kontinentalschelfen).

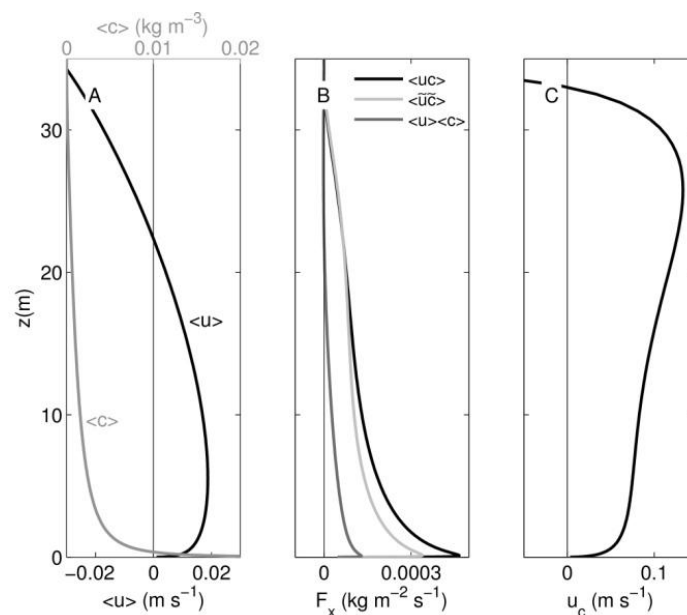


Abbildung 2.1.9. Gezeigt sind (A) residuelle Geschwindigkeit in x-Richtung (siehe Abbildung 2.1.8) und Konzentration von suspendiertem Material, (B) residueller Sedimenttransport in x-Richtung und (C) effektive Sediment-Transportgeschwindigkeit. Abbildung aus Schulz und Umlauf (2016).

### Modellierung von Oberflächenwellen:

Neben der durch die mittlere Strömung in der Bodengrenzschicht induzierten Turbulenz stellen Oberflächenwellen einen wichtigen Prozess zur Resuspension in der westlichen Ostsee dar. Aufgrund der strukturierten Topographie und Uferlinie ist die Modellierung des Wellenfeldes allerdings keine triviale Aufgabe. Zu Analyse des Wellenfeldes wurden daher im Rahmen von TP 2.1 umfangreiche Analysen des Wellenfeldes mithilfe des Wellenmodells SWAN (dritte Generation) durchgeführt, das den Wissenstand bei der Wellenmodellierung repräsentiert (Holthuisen 2010)<sup>6</sup>. Diese Arbeiten wurden von der Physikstudentin Ronja Ebner im Rahmen ihrer von Projektleiter L. Umlauf betreuten Masterarbeit durchgeführt (Ebner, 2015)<sup>7</sup>.

Aufgrund der einerseits langen Ausbreitungswege von Oberflächenwellen und der andererseits komplexen lokalen Topographie im SECOS-Arbeitsgebiet erforderten diese Simulationen einen Modellansatz mit substrukturierten Modellgittern, die eine verfeinerte Auflösung im Arbeitsgebiet aufweisen. Das in Abbildung 2.1.10 dargestellte äußere, ostseeweite Setup mit einer Gitterweite von 3 Seemeilen wurde mit Winddaten des Deutschen Wetterdienstes angetrieben und auf einem Multiprozessor-Hochleistungsrechner des IOW für den SECOS-Projektzeitraum berechnet. Zur detaillierteren Analyse des Wellenfeldes im SECOS-Arbeitsgebiet wurde in dieses ostseeweite Wellenmodell ein weiteres Setup mit stark verfeinertem numerischem Gitter integriert (siehe Abbildung 2.1.10). Dieses gekoppelte Wellenmodell wurde dann sorgfältig mit Wellenparametern aus den zu Verfügung stehenden Beobachtungsplattformen (insbesondere aus den vom IOW betriebenen MARNET-Stationen) validiert. Ein Beispiel aus Ebner (2015)<sup>7</sup> ist in Abbildung 2.1.11 dargestellt, die zeigt, dass das Wellenmodell die signifikante Wellenhöhe als wichtigsten Schlüsselparameter des Wellenfeldes mit exzellenter Genauigkeit reproduziert. Validierungsparameter für zahlreiche weitere Messplattformen in der gesamten Ostsee werden im Detail in Ebner (2015)<sup>7</sup> diskutiert.

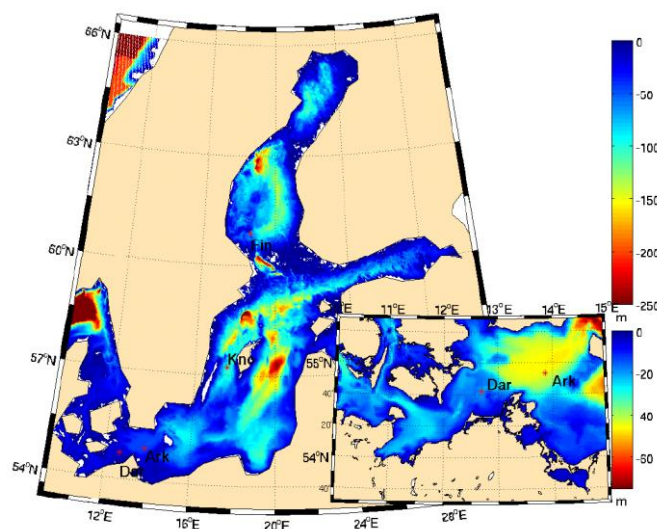


Abbildung 2.1.10. Modellgebiete für das Wellenmodell SWAN für die gesamte Ostsee (große Karte) und für das SECOS-Arbeitsgebiet mit lokaler Gitterverfeinerung (Topographie in Farbe)

<sup>6</sup> Holthuisen LH. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge University Press, 2010.

<sup>7</sup> Ebner R: Modelling of Surface Waves in the western Baltic Sea. Master Thesis, Rostock University, 2015.

Basierend auf den von SWAN simulierten und validierten Wellenparametern und der lokalen Wassertiefe berechnete Ebner (2015)<sup>7</sup> die welleninduzierten Geschwindigkeiten an der Sedimentoberfläche. Diese Geschwindigkeiten bestimmen den Wellenanteil der Bodenschubspannung und stellen damit die wichtigste Kenngröße zur Bestimmung der welleninduzierten Resuspension dar.

Ebner (2015)<sup>7</sup> analysierte die Variabilität dieser Kenngröße für verschiedene Jahre und Jahreszeiten während der SECOS-Projektphase und bestimmte „Hotspots“ der bodennahen Wellenaktivität im SECOS-Studiengebiet. In diesen Gebieten ist damit zu rechnen, dass es allein durch welleninduzierte Bodenströmungen zu einer Erosion von Sedimenten kommt. (Abbildung 2.1.12). Das validierte Wellenmodell aus TP 2.1 steht nun zur Integration in ein dreidimensionales Strömungsmodell der Ostsee zur Verfügung, welches zurzeit im KÜNO-Partnerprojekt MOSSCO entwickelt wird.

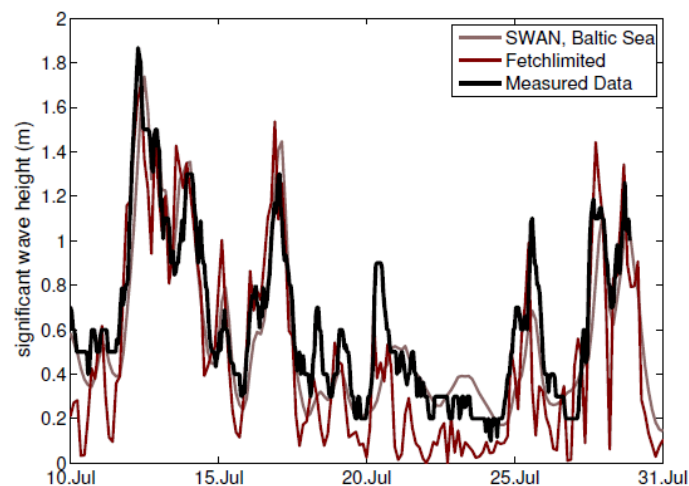


Abbildung 2.1.11 Zeitreihen der modellierten und beobachteten signifikanten Wellenhöhe an der MARNET Beobachtungsstation im Arkonabecken (siehe Abbildung 2.1.10) für Juli 2013. Abbildung aus Ebner (2015)

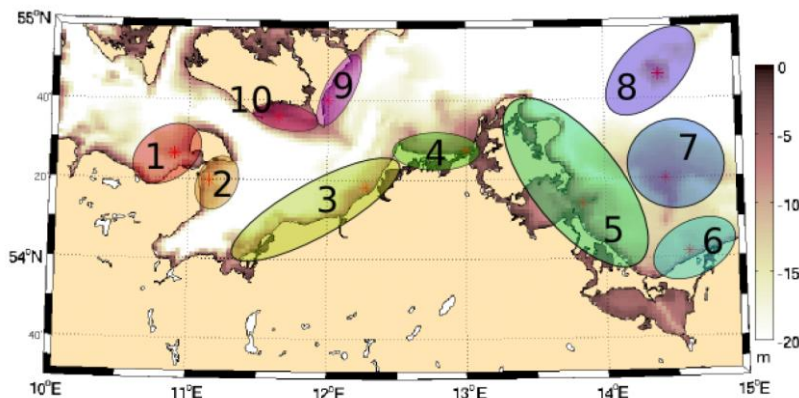


Abbildung 2.1.12. Erosionsgefährdete Gebiete mit stark erhöhten welleninduzierten Geschwindigkeiten am Boden. Abbildung aus Ebner (2015)

### Feldmessungen:

Komplementär und parallel zu den oben beschriebenen Modellierungsaktivitäten wurde in TP 2.1 auch ein umfangreiches Feldprogramm durchgeführt. Daten hierzu wurden auf insgesamt 5 SECOS-Projektfahrten gewonnen, wobei das intensivste physikalische Messprogramm auf den Fahrten AL434 (mit FS Alkor) und MSM50 (mit FS Meria S. Merian) stattfand (siehe Tabelle 2.1.5). Diese Messungen und die umfangreiche Datenanalyse wurden von der Projekt-Doktorandin K. Schulz und von Teilprojektleiter L. Umlauf durchgeführt.

Tabelle 2.1.5. SECOS-Forschungsfahrten mit Beteiligung von TP2.1

Forschungsschiff	Fahrtnummer	Fahrtzeitraum
Alkor	AL434	28.03 – 08.04.2014
Elisabeth Mann Borgese	EMB76	20.06. – 01.07.2014
Elisabeth Mann Borgese	EMB93	13.01. – 22.01.2015
Elisabeth Mann Borgese	EMB100	09.04. – 16.04.2015
Maria S. Merian	MSM50	05.01. – 29.01.2016

Die Aktivitäten in TP 2.1 auf diesen Seereisen bestanden aus einer Kombination von schiffsgebundenen Beobachtungen und Messungen mit am Boden verankerten Messplattformen. Das zentrale Instrument war eine MSS90-L Turbulenzsonde der Firma ISW (Deutschland), mit der vom langsam fahrenden Schiff aus im Jo-Jo-Betrieb permanent Profile durch die komplette Wassersäule gemessen wurden. Die Sonde enthält CTD-Sensoren zur Messung von Temperatur und Salzgehalt, einen Trübungssensor zur Erfassung von Resuspensionsprozessen und als wichtigste Komponente Mikrostruktur-Turbulenzsensoren zur Analyse der Turbulenz in der Bodengrenzschicht. Wasserproben aus CTD-Messungen wurden zur Feststellung von Schwebstoffkonzentrationen und damit zur Kalibration der Trübungsmessungen genutzt. Neben diesen schiffsgebundenen Messungen wurden auf allen in Tabelle 2.1.5 gelisteten SECOS-Projektfahrten Kurzzeitverankerungen zur Beobachtung von Strömungen, Turbulenz, Schichtung und Trübung in der Bodengrenzschicht ausgebracht.

Zwei der SECOS-Messtationen mit physikalischem Focus, die hier als repräsentative Beispiele genauer diskutiert werden, lagen im Arkonabecken und in der Tromper Wiek östlich der Insel Rügen (siehe Abbildung 2.1.13). Dort wurden wie in der Abbildung dargestellt jeweils für die Dauer von einigen Tagen Verankerungen ausgebracht, die die Variabilität von Bodengeschwindigkeiten, Wellenaktivität, Schichtung und Trübung aufgenommen haben. Parallel dazu wurden im Bereich der Stationen schiffsgebundene Messungen mit der Turbulenzsonde durchgeführt. Insgesamt wurden auf den SECOS-Seereisen mehrere Tausend solcher Turbulenzprofile an allen SECOS-Stationen aufgenommen, die einen einmaligen Datensatz zur Charakterisierung von Bodenturbulenz und Resuspensionseffekten in der westlichen Ostsee darstellen.

Als ein Beispiel dieser Daten aus der letzten Projektphase ist in Abbildung 2.1.14 eine Schiffstranekte über den südlichen Hang des Arkonabeckens dargestellt, die auf der SECOS-Projektreise MSM50 mit FS Maria S. Merian im Januar 2016 gemessen wurde (Tranekte T2 in Abb. X6). Deutlich sichtbar ist

die erhöhte Turbulenz in der Bodengrenzschicht, die sich physikalisch in den um mehrere Größenordnungen erhöhten Energiedissipationsraten abbildet (unterer Bildteil). Die turbulenten Bodenbereiche korrelieren ausgezeichnet mit bodennahen Zonen erhöhter Trübung (oberer Bildteil) und weisen damit auf die Erosion und Vermischung resuspendierten Materials in der Grenzschicht hin. Diese und zahlreiche andere Messungen ähnlichen Typs zeigen, dass der Resuspensionsbereich selbst bei starker Bodenturbulenz die Dicke von wenigen Metern nicht überschreitet. Grund dafür ist Limitierung der turbulenten Grenzschicht durch die haline Dichteschichtung (Abbildung 2.1.14), die an allen SECOS-Stationen mit Ausnahme der so gut wie immer durchmischten Station in der Oberbucht beobachtet wurde. Diese Bodengrenzschicht muss daher von numerischen Modellen der westlichen Ostsee aufgelöst werden, um zuverlässige Aussagen über Transportwege resuspendierten Materials zu treffen.

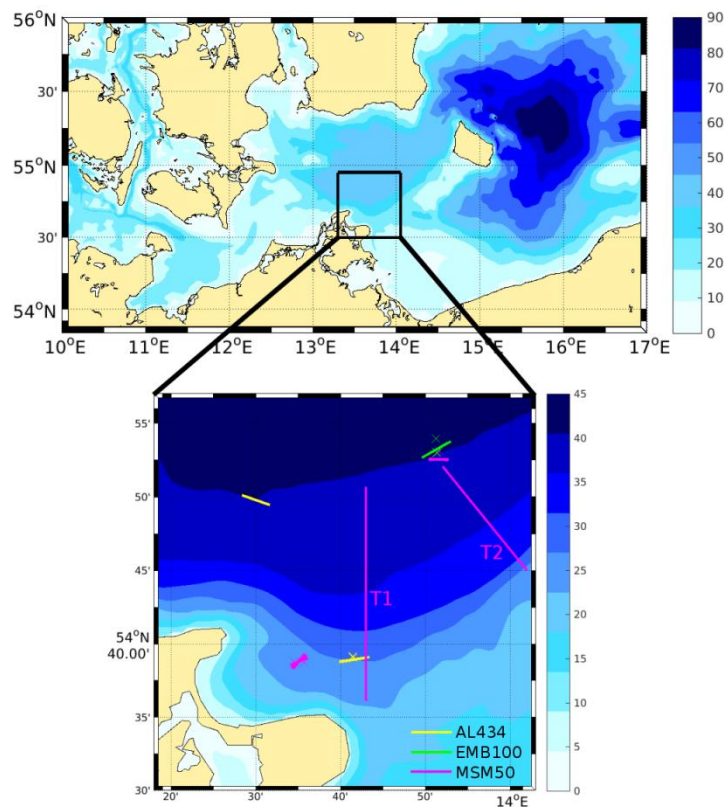


Abbildung 2.1.13. Teil des SECOS Studiengbietes im Bereich Arkonabecken/Tromper Wiek. In Farbe die Messstationen verschiedener SECOS-Projektfahrten. Kreuze stellen die Positionen verankerter Geräte dar, Linien die Transekten-Messungen mit der Turbulenz-Mikrostruktursonde.

Die in Abbildung 2.1.14 gezeigten Daten sind durch die im Vergleich zu den üblichen CTD-Messungen um den Faktor 10 schnellere Profilierungsrate der Turbulenzsonde extrem hoch aufgelöst (die Abbildung setzt sich aus etwa 100 Einzelprofilen zusammen). Auf diese Weise konnte erstmalig ein



detaillierter Einblick in die räumliche und zeitliche Variabilität turbulenter Resuspension in der westlichen Ostsee gewonnen werden. Diese Daten stehen nun zur Validierung von numerischen Strömungsmodellen und zur weiteren Analyse zur Verfügung. Die zweite Projektpublikation der Doktorandin Kirstin Schulz, die zusammen mit ihrer Dissertation im Oktober eingereicht werden soll, wird sich mit dieser Thematik beschäftigen. Diese Arbeit wird auch einen Vergleich der Ergebnisse der Wellenmodellierung (siehe oben) mit den beobachteten bodennahen Strömungen aus den SECOS-Feldmessungen beschäftigen.

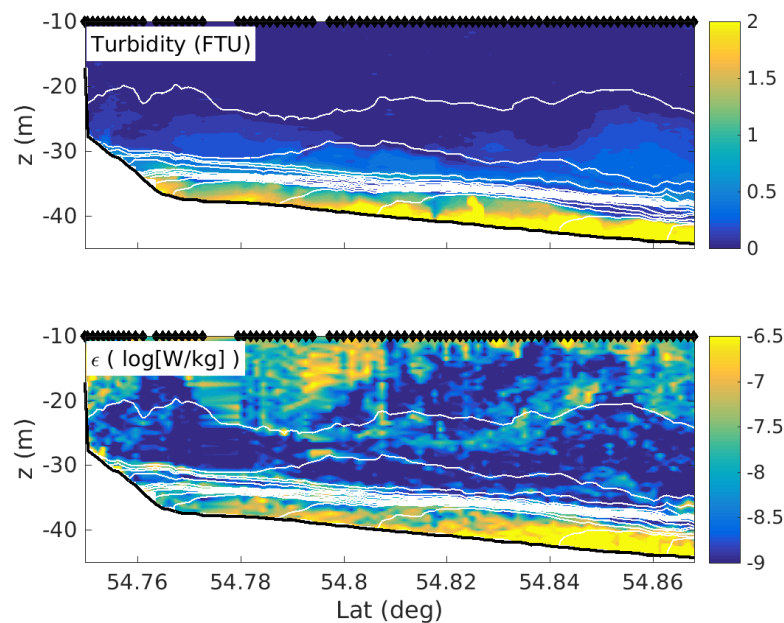


Abbildung 2.1.14. Transekte T2 über den südlichen Hang des Arkonabeckens (siehe Abbildung 2.1.13) während der SECOS-Messfahrt MSM50 mit FS Merian (siehe Tabelle 2.1.5). Die Abbildung zeigt die Trübung (oben) und die turbulenten Dissipationsrate als ein Maß für die Turbulenz (in logarithmischer Skala). Weiße Linien stellen Isopyknen dar (Linien konstanter Dichte). Die schwarzen Marker am oberen Rand markieren die Positionen der einzelnen mit der MSS90 Turbulenzsonde gemessenen Profile.

#### Referenzen:

- Bruggeman, J. and Bolding, K., A general framework for aquatic biogeochemical models. *Env. Modell. Software*, 61, 249–265, 2014.
- Ebner, R.: Modelling of Surface Waves in the western Baltic Sea. Master Thesis, University of Rostock, 2015.
- Holthuijsen, L. H. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press, 2010.
- Schulz, K., and L. Umlauf. Residual transport of suspended material by tidal straining near sloping topography. *J. Phys. Oceanogr.*, in press.
- Umlauf, L., K. Bolding, and H. Burchard. GOTM – Scientific Documentation. Version 3.2. No. 63 of Marine Science Reports, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research, Warnemünde, Germany, 2005. (Please check up-to-date version on <http://www.gotm.net/>).

## **Teilprojekt 2.2 Biological effects on particle exchange at the sediment-water interface**

### **Verwendung der Zuwendung:**

Der größte Posten Personalmittel wurde für die Promovierende Frau C. Morys und in der Koordination für Frau Dr. E. Brodte und später Frau Dr. F. Kunz verwandt. Zeitweise wurden Frau A. Schuster (Unterstützung in der Methodik der Thoriummessungen) und Herr Dr. Powilleit als Experte bei der Bestimmung der Tiere aus den Chl-Tracer-Proben zusätzlich angestellt. Wissenschaftliche Hilfskräfte waren für die teils umfangreiche Handarbeit angestellt. Eine Strömungskanal, Typ Race-Track, wurde als Investition gebaut (Gesamtaufwand ~12032,-€; Inventar-Nr. 114387200). Mehrere Komponenten, u. a. ein Thermostat, Tauchpumpen, Aluminium-Profilstangen als Gerüst, wurden mit dem Kanalkörper aus Acrylglas aufgebaut, um definierter Strömungen zur Messung der Resuspensionsschwellen vornehmen zu können. Ebenso wurden anteilig Kosten für einen Tauchsondensor übernommen, der der Trübungsmessung im Kanal diente. Nach der EMB100 wurden die Vergleichsmessungen im Labor mittels Race-Track und eines portablen Ringkanal sowohl auf dem Schiff als auch im Labor durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit Hilfe eines akustischen Doppler-Strömungsmessers (Nortek Vectrino) aus eigenen Mitteln. Die unterschiedlichen Methoden zeigen keine nennenswerten Differenzen in den Erosionsschwellen. Daher kann geschlossen werden, dass Seegang und das abweichende Strömungsfeld im Ringkanal für die Messung der kritischen Schubspannungsgeschwindigkeiten wenig Einfluss haben.

Beim Verbrauchsmaterial wurde Ethanol in großen Mengen für die Extraktion des Chlorophyll-Tracers benötigt und wiederholt gekauft. Spezielle Filter, notwendig für die  $^{234}\text{Th}$ -Bestimmungen schlugen ebenfalls zu Buche. Aus anderen Mitteln gekaufte Sauerstoff-Mikroelektroden waren bei Messungen im Kanal beschädigt worden und mussten ersetzt werden. Reiskosten wurden neben den Koordinationstätigkeiten im Gesamtprojekt auch für die Teilnahme an Konferenzen Ausland eingesetzt. Hier wurde auch Frau A. Schuster bei einem Vortrag beim Ocean Science Meeting 2016 in New Orleans zur Methodik der Messungen mittels  $^{234}\text{Thorium}$  unterstützt.

### **Ziele:**

Dieses Teilprojekt hat das Ziel, Bioturbationstiefen, Bioturbationskoeffizienten, räumliche und saisonale Variabilität der Bioturbation sowie die Abhängigkeit der Bioturbation vom Makrobenthos zu bestimmen. Des Weiteren verfolgt das Teilprojekt die Bestimmung kritischer Schubspannungsgeschwindigkeiten sowie die Residenzzeit von Partikeln in verschiedenen Kompartimenten der Wassersäule und im Sediment.

### **Ergebnisse:**

#### Räumliche Variabilität der Bioturbation (Manuskript angenommen bei Mar. Ecol. Prog Series):

Die vertikalen Chlorophyllprofile, die eine Unterscheidung zwischen diffusiver und nicht-diffusiver Sedimentdurchmischung erlauben, und die daraus modellierten Bioturbationsintensitäten zeigen eine hohe Variabilität sowohl innerhalb nahe gelegener Beprobungsstandorte (Kerne aus einem Multicorer, Multicorer einige hundert Meter voneinander versetzt) als auch entlang der Südlichen Ostsee. Es sind keine Muster bezüglich steigender Variabilität mit zunehmender räumlicher Skala erkennbar. Die meisten Stationen (mit Ausnahme der homogenen Tromper Wiek: 100% nicht-diffusive Sedimentdurchmischung) sind heterogen bezüglich der Verteilung beider Arten des Partikeltransports. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit eines hohen Stichprobenumfangs bei der Untersuchung eines unerforschten Meeresgebietes. Zudem ist es wichtig, die regionale und

geographische Variabilität der Bioturbation in biogeochemische Modelle aufzunehmen, um genauer Ökosystemleistungen ableiten zu können.

Die Lübecker Bucht ( $D_B = 0,02 \pm 0,03 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ ,  $n = 14$ ) und die Oderbank ( $0,005 \pm 0,003 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ ,  $n = 6$ ) präsentieren die am geringsten diffusiv durchmischten Stationen. Die Sedimente in der Mecklenburger Bucht ( $D_B = 0,4 \pm 0,8 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ ,  $n = 11$ ), Stoltera ( $0,3 \pm 0,3 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ ,  $n = 15$ ) und Arkonabecken ( $0,2 \pm 0,1 \text{ cm}^2\text{d}^{-1}$ ,  $n = 8$ ) werden 40- bis 80-mal intensiver durchmischt. Der Anteil des nicht-diffusiven Partikeltransportes nimmt von West (33-50% der untersuchten Fläche) nach Ost (70-100%) zu. Die Lübecker Bucht ist am geringsten durchmischt ( $J = 0,09 \pm 0,06 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2\text{d}$ ) wohingegen in der Tromper Wiek die Injektionsflüsse mit  $J = 0,3 \pm 0,1 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^2\text{d}$  am höchsten sind. Mecklenburger Bucht, Stoltera, Arkonabecken und Oderbank weisen mittlere Durchmischungsintensitäten auf. Bioturbationstiefen reichen von  $5,2 \pm 1,7 \text{ cm}$  bis  $7,1 \pm 1,6 \text{ cm}$  und liegen damit aufgrund der tiefliebenden *Arctica islandica* in der Mecklenburger Bucht und in Stoltera 2 cm tiefer.

#### Tiefenverteilung des Makrozoobenthos (Manuskript in Review):

Die Tiefenverteilung des Makrozoobenthos korreliert hochsignifikant mit der Tiefenverteilung des Chlorophylls. Sedimente der Stationen im Westen, die durch eine exponentielle Abnahme des Tracers mit der Tiefe und damit durch diffusive Sedimentdurchmischung gekennzeichnet sind, präsentieren dieselben Muster in der Tiefenverteilung des Makrozoobenthos. Stationen im Osten sind gekennzeichnet durch Chlorophyll-Maxima unterhalb der Sedimentoberfläche. Die Maxima der Organismen befinden sich in denselben Tiefenschichten. Diese Tiefenprofile erlauben die Bestimmung der Hauptbioturbatoren aufgrund ihrer Abundanz, Biomasse oder ihres Vorkommens in Tiefen, in welche partikuläres Material injiziert wird. Die diffusive Sedimentdurchmischung wird von Biodiffusoren an allen untersuchten Stationen (Lübecker und Mecklenburger Bucht, Stoltera, Arkonabecken, Tromper Wiek und Oderbank) gewährleistet. *Diastylis rathkei* stellt dabei eine wichtige Schlüsselart in der Südlichen Ostsee dar und gehört zu den hauptverantwortlichen Arten an den westlichen Stationen (sowie im Arkonabecken). Weiterhin spielen die Muscheln *Kurtiella bidentata* eine wichtige Rolle in der Lübecker Bucht und *Abra alba* in Stoltera. Für den nicht-diffusiven Anteil sind unterschiedliche Arten an den jeweiligen Stationen zuständig. Diese gehören in der Lübecker Bucht zu den upward conveyors (*Capitella capitata*) und Biodiffusoren (*Priapulius caudatus*). *P. caudatus* ist aufgrund seiner Abundanz der wichtigste Bioturbator für die nicht-diffusive Sedimentdurchmischung in der Mecklenburger Bucht. Außerdem zählen *A. alba*, *Nephtys hombergii* und *A. islandica* zu den Hauptarten. Richtung Osten gehören die Hauptbioturbatoren zu den downward conveyor und Biodiffusoren. Die Muscheln *Macoma balthica* gewinnt an Bedeutung im nicht-diffusiven Transport, besonders im Arkonabecken. Zudem spielen die Polychaeten, v.a. *N. hombergii* in Stoltera, *Scoloplos armiger* im Arkonabecken und Tromper Wiek und *Hediste diversicolor* in der Oderbank, eine bedeutende Rolle.

Die Daten zur saisonalen Variabilität der Bioturbation befinden sich noch in der Auswertung. Es zeichnet sich ab, dass, abhängig vom jahreszeitlich unterschiedlichen Nahrungsangebot, sich Bioturbationsintensität und -modus ändern können. Es handelt sich also nicht vordergründig um einen Temperatureffekt.

#### Kritische Resuspensionsgeschwindigkeit:

Kritische Resuspensionsgeschwindigkeiten sind an sandigen Sedimenten höher als an schlickigen. Die Oderbank weist höchste Resuspensionsgeschwindigkeiten ( $21,7 \pm 2,1 \text{ cm/s}$ ) auf, gefolgt von Zingst ( $16,5 \pm 2,2 \text{ cm/s}$ ) und Stoltera. Stoltera war im Sommer und Herbst durch eine dicke fluffy layer

genkennzeichnet, wodurch Partikel bei geringeren Geschwindigkeiten in Resuspension gelangten ( $8,4 \pm 1,3$  cm/s) (vergl.: Friedrichs et al. 2009, Ziervogel und Forster 2005). Im Winter und Frühjahr war diese fluffy layer nicht mehr vorhanden und Partikel resuspendierten bei Geschwindigkeiten von  $15,7 \pm 2,1$  cm/s. Die kritischen Resuspensionsgeschwindigkeiten mit  $8,8 \pm 1,8$  cm/s an schlickigen Sedimenten der Lübecker und Mecklenburger Bucht und des Arkonabeckens sowie an der siltigen Station Tromper Wiek unterscheiden sich nicht signifikant.

Saisonale Variabilität wurde an den Stationen Stoltera, Arkonabecken und Oderbank untersucht. Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede zwischen den 4 Jahreszeiten. An sandigen Stationen sind die Resuspensionsgeschwindigkeiten im Winter und Frühjahr aufgrund des Fehlens der Planktonblüten und Sedimentstabilisierung deutlich höher. In den tiefen Becken (Arkonabecken und Mecklenburger Bucht) sind Tendenzen erkennbar, dass Partikel im Frühjahr und Sommer bei geringeren Geschwindigkeiten resuspendieren. Vergleichsmessungen im Ringkanal an Bord und im Labor an Land sowie zwischen Ringkanal und Race-Track-Kanal ergaben keine signifikanten Unterschiede.

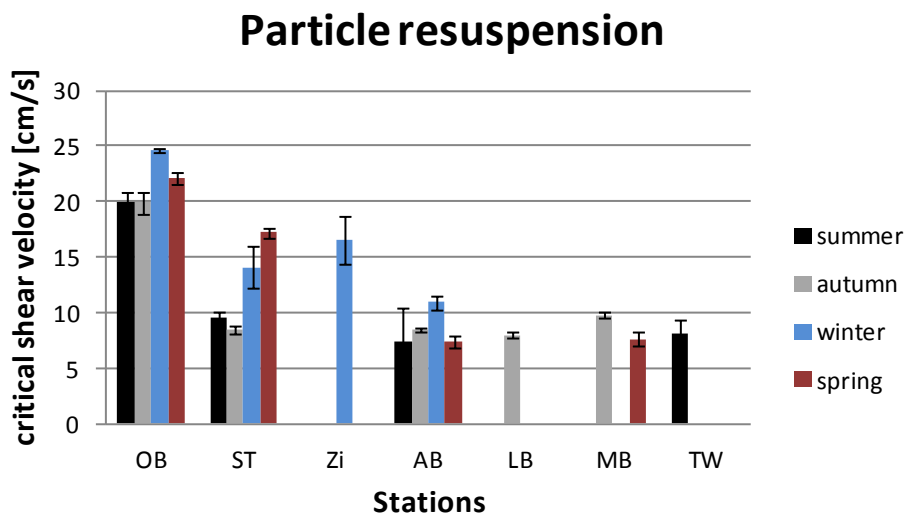


Abbildung 2.1.15. Resuspensionsschwelle der Sedimente im jahreszeitlichen Vergleich. Strömungsgeschwindigkeit (10 cm über dem Sediment im Kanal), bei der erste Partikel an der Sedimentoberfläche sich bewegen und in die Wassersäule abheben. Manche Stationen zeigen eine Saisonalität.

## Resuspension: methods

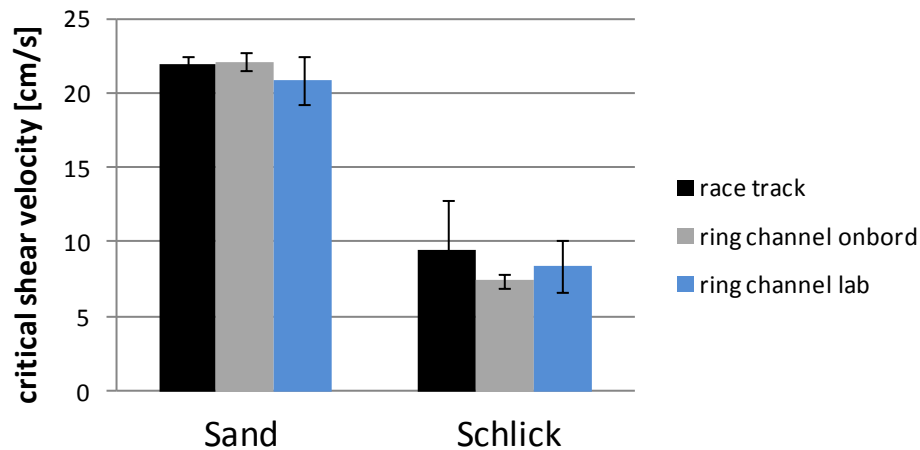


Abbildung 2.1.16. Vergleich der Resuspensionsschwelle an drei Kanälen. Es wurden insgesamt 9 Parallelproben mit  $n=3$  je Kanal vermessen.

### Bestimmung von Residenzzeiten

Die ermittelten Residenzzeiten basieren auf der  $^{234}\text{Thorium}$ -Methode. Sie gelten daher nicht strikt für Kohlenstoff. Allerdings legt die Adsorption an kleinste Partikel nahe, dass sie in erster Näherung (Größenordnungen) auch für kohlenstoffhaltige, kleine Partikel im Wasser und Sediment stehen (Turnewitsch und Springer 2001, Kersten et al. 2005, Forster et al. 2009). Für die Wassersäule ergaben sich Residenzzeiten von 3 - 11 Tagen. Nach dieser Zeit sollten suspendierte Partikel alles Thorium-234 aus der Wassersäule adsorbiert und durch Sedimentation oder laterale Advektion entfernt haben. Eine Abschätzung der Residenzzeiten gelang für Sedimente der Mecklenburger Bucht, Stoltera, Zingst, Arkonabecken und Tromper Wiek, obwohl hier ein Problem mit einem nicht identifizierten zusätzlichen Strahler die Auswertung sehr erschwerte. Diese Zeiten liegen für die Oberflächensedimente bei 7 - 34 Tagen und legen auch hier nahe, dass Thorium (und Partikel?) dieses Sediment binnen erstaunlich kurzer Zeiträume wieder verlassen. Ein konsistentes Muster war nicht erkennbar. Hier wären zur Aufklärung dieses Befundes weitere Untersuchungen und Bilanzierungen nötig.

Tabelle 2.1.6. Auf der <sup>234</sup>Thorium-Methode basierende Residenzzeiten für Thorium [d] in der Wassersäule und zwei Sedimenttiefen nebst Angaben zur Probenahme und Ort. Diese mittlere Residenzzeit gibt die Anzahl der Tage an, die Partikel, die adsorbiertes Thorium tragen (zum Beispiel Kohlenstoff bzw. organisches Material), in dem jeweiligen Kompartiment verbleiben.

cruise	date of sampling	Position	Water depth (m)	Residence time		
				water (days)	Sediment (0-2cm) (days)	Sediment (only Fluff) (days)
P 475	11. Oktober 2014	Mecklenburger Bucht	1	3.90	5.2	16.3
			17	4.15		
			20	3.25		
AI 434	31. März 2014	Stoltera	1	11.24	31.0	32.1
			5	6.43		
			16	5.01		
EMB 094	28. Januar 2015	Zingst	1	3.79	33.7	33.5
			16	3.02		
			20	4.88		
AI 434	8. April 2014	Tromper Wiek	1	6.03	2.4	9.4
			23	7.72		
EMB 093	23. Januar 2015	Akona Becken	1	7.10	29.3	30.6
			35	6.27		
			42	9.69		

### Teilprojekt 2.3 Mineralization of OM, and phosphorus and carbon dioxide release

#### Verwendung der Zuwendung:

Die Zuwendung wurde wie beantragt für Personalausgaben (M. Lipka), Verbrauchsmaterial und Reisekosten verwendet.

#### Ziele:

Angestrebt wurde eine systematische Analyse der biogeochemischen Prozesse in Oberflächensedimenten und eine Quantifizierung der Stoffflüsse an der Sediment-Wasser-Grenzfläche in verschiedenen Schlüsselsedimenttypen (Silt bis Sand) der deutschen Ostsee. Die Untersuchungen und Probenahmen während mehrerer Forschungsausfahrten zielten darauf ab, diese Prozesse, deren räumliche Heterogenität und Saisonalität zu erklären.

(1) Qualitative und quantitative Analyse der frühdiagenetischen Prozesse wurden mittels Analysen sowohl der Festphase als auch der Porenwässer in den oberen 20 cm der Sedimente durchgeführt. Analysen von Porenwasserprofilen und deren Interpretation mit den biogeochemischen Modellen PROFILE und REC wurden durchgeführt, um Netto-Transformations- und Flussraten in Oberflächensedimenten verschiedener Sedimenttypen zu erhalten.

(2) Wir kombinierten verschiedene Methoden zur Bestimmung der Stoffflüsse unter ex-situ und in-situ-Bedingungen:

(a) Die diffusive Freisetzung von Nährstoffen (vor allem Phosphat und gelöstes Kohlendioxid) und redoxsensitiven Elementen (zum Beispiel Schwefelwasserstoff und ausgewählte Metalle) wurde aus der modellierenden Analyse von Porenwasserprofilen bestimmt,

- (b) eine Bestimmung von Gesamtflüssen unter *in situ*- Bedingungen wurde gemeinsam mit Frau Dr. Jana Wölfel (s. Abschnitt 1.3, 2.1, Teilprojekt 2.4) mittels Kammerinkubationsexperimenten (7 bis 36 h) durchgeführt,
- (c) Elementfreisetzung als Funktion der Zeit unter kontrollierten *ex-situ* Bedingungen (konstante Temperatur, Dunkelheit) wurden mittels Kerninkubationsexperimenten (5–10 Tage) an intakten Sedimentkernen (mit und ohne gezielten Manipulationen) erhalten.

### **Ergebnisse:**

Während sieben Schiffsexpeditionen zu verschiedenen Jahreszeiten im Rahmen von SECOS wurden an 41 Stationen aus 7 zuvor ausgewählten Standorten repräsentativer Sedimentbeschaffenheit (sandig bis schlickig, definiert von AP 1, siehe Abschnitt 1.3, Abbildung 1.3.1) Probenahmen und Experimente durchgeführt. An jeder Station wurde die Wassersäule mittels CTD/Rosette profiliert und beprobt, um Temperatur und Salzgehalt sowie Nährstoffkonzentrationen in Bodenwasser zu ermitteln. Mit einem Multicorer wurde an jeder Station ein Set ungestörter, paralleler Sedimentkurzkerns gehoben, die für Probenahmen und Experimente benötigt wurden.

#### zu 1) Analyse frühdiagenetischer Prozesse

Sedimentproben wurden in einer Tiefenauflösung von 1 cm bis zu einer Tiefe von 20 cm für die Laboranalyse von Wassergehalt und Porosität sowie für spätere Analysen der Festphase in Kooperation mit Dennis Bunke (TP 1.3) genommen. Neben den Analysen der Korngrößenverteilung und den Gehalten an den wichtigsten Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelverbindungen im Sediment (Dennis Bunke TP 1.3) wurden Proben für Sedimentextraktionen und -aufschlüsse genommen, um Gehalt und Bindungsform verschiedener Spurenmetalle, Schwefel und Phosphorspezies im Sediment zu ermitteln. Die Analysen und Interpretation der Ergebnisse dauert an und wird in die zusammenfassende Interpretation im Rahmen von "SECOS-II Synthese" eingehen.

Porenwasser wurde mit 5 cm langen Rhizon-Probennehmern aus etwa 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 15 und 20 cm unter sowie knapp oberhalb der Sediment-Wasser-Grenze aus Sediment-Kurzkernen gewonnen. Wasserproben wurden für die spätere Analyse von Sulfid/Sulfat-Konzentration, Haupt- und Spurenelementkonzentrationen und Konzentration sowie Isotopensignatur an gelöstem anorganischem Kohlenstoff abgefüllt. Nährstoffanalysen ( $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ) wurden, soweit möglich, an Bord mit einem SEAL QUATTRO Multianalyser-System ausgeführt. In der Regel fanden wir mit zunehmender Tiefe steigende Konzentrationen von gelöstem Ammonium, Phosphat, gelöstem anorganischem Kohlenstoff und Silizium (siehe Abbildung 2.1.17), wobei die Konzentrationen in silt-dominierten und organikreichen Sedimenten im Vergleich zu den sandigen und organikärmeren Standorten stets um ein Vielfaches höher sind. Entsprechend größer sind die Reservoirs (siehe Abbildung 2.1.18), Konzentrationsgradienten (siehe Abbildung 2.1.19) und daraus resultierende benthischen Flüsse (siehe Abbildung 2.1.20) dieser gelösten Nährstoffe im Porenraum von schlickigen Sedimenten gegenüber sandigen Standorten.

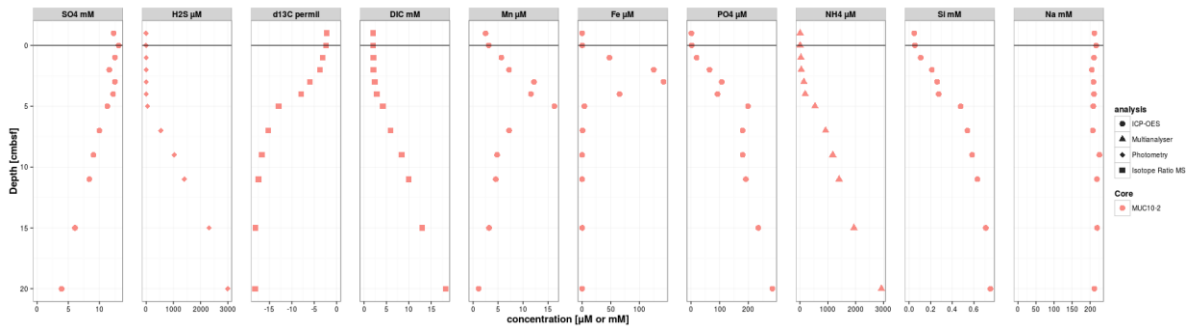


Abbildung 2.1.17. Ausgewählte Profile gelöster Elemente im Porenwasser (Arkonabecken, Juni 2014).

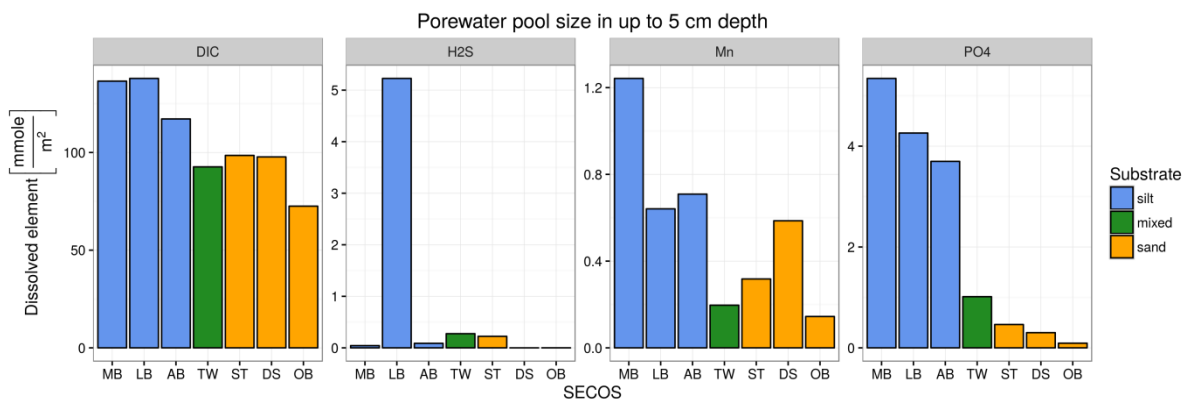


Abbildung 2.1.18 Mittlere Reservoirgrößen ausgewählter Elemente im Porenwasser der oberen 5 cm Sediment von schlackigen und sandigen SECOS-Stationen.

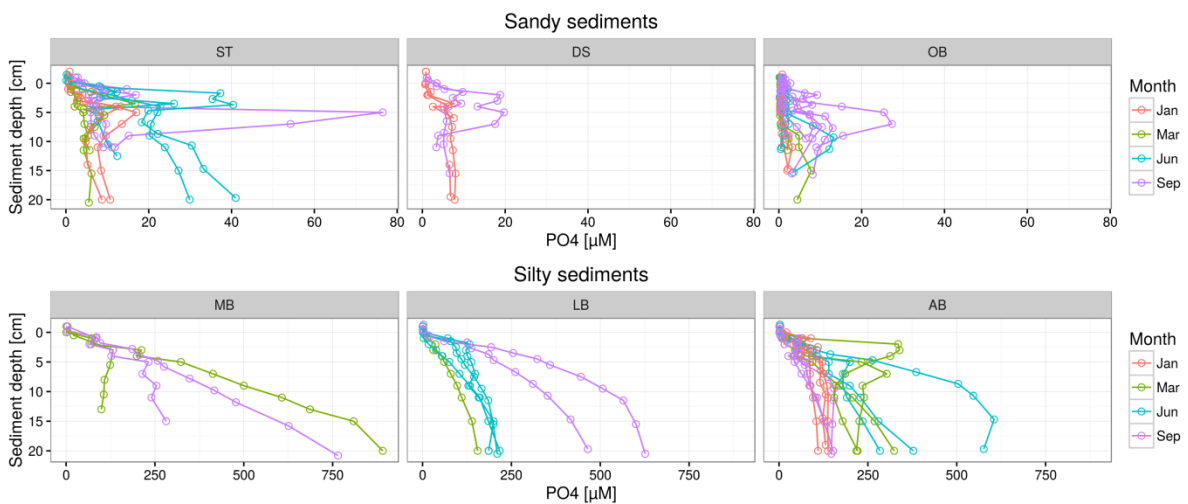


Abbildung 2.1.19. Porenwasserprofile von gelöstem Phosphat in sandigen SECOS-Stationen Stoltera (ST), Darßer Schwelle (DS) und Oderbank (OB) verglichen mit Silt dominiertem Sediment an den Stationen Mecklenburger Bucht (MB), Lübecker Bucht (LB) und Arkonabecken (AB).



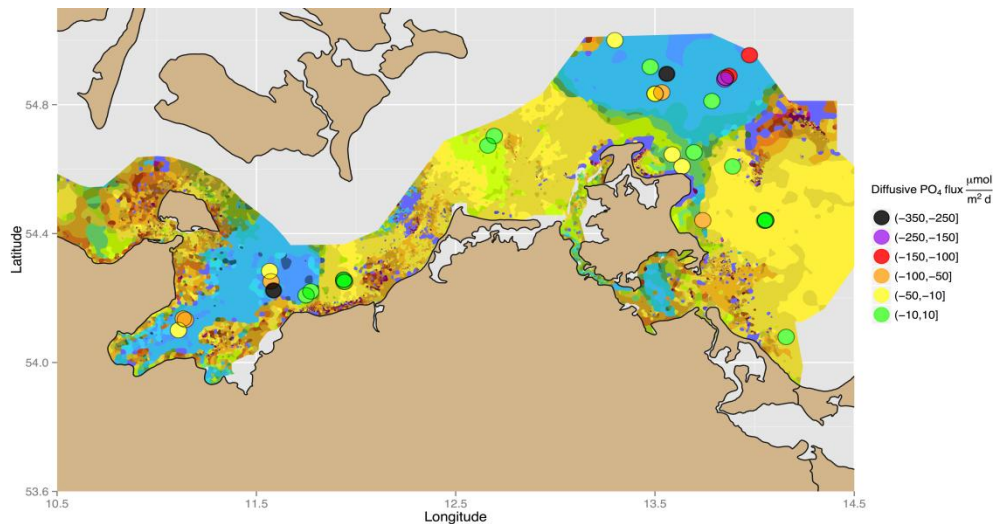


Abbildung 2.1.20. Diffusive Phosphatflüsse an der Sediment-Wasser-Grenze im SECOS-Untersuchungsgebiet. Negative Werte bezeichnen Flüsse aus dem Sediment in die Wassersäule.

Die Tiefenprofile von redoxsensitiven Elementen wie Schwefelwasserstoff, Eisen und Mangan lassen auf die Eindringtiefe von Sauerstoff und damit auf die Lage der oxidischen, suboxidischen und anoxischen Horizonte im Sediment schließen, in denen die wesentlichen Mineralisierungsprozesse von organischem Material und nachgeschalteten biogeochemischen Prozesse stattfinden. Die gewonnenen Konzentrationsprofile im Porenwasser, Porosität des Sediments, Salzgehalt und Temperatur des Bodenwassers wurden modellierend interpretiert (geochemische Modelle REC und PROFILE), um Netto-Prozessraten und diffusive Elementflüsse über die Sediment-Wasser-Grenzfläche zu erhalten. Abbildung 2.1.20 zeigt beispielhaft die modellierten diffusiven Phosphatflüsse im SECOS-Untersuchungsgebiet. Die Ergebnisse der modellierten Flussraten werden in Bezug gesetzt zu den experimentell ermittelten zeitabhängigen Elementfreisetzungsraten aus den in-situ (siehe Abschnitt Lander-Applikation Jana Wölfel) und ex-situ Inkubationen (siehe unten). Weiterhin wurden ausgewählte Serien von Porenwasserprofilen mit einem neu entwickelten Modellansatz in Kooperation mit Dr. Bo Liu, der von einem frühdiagenetischen Nichtgleichgewichtszustand ausgeht, modelliert. Dieser Ansatz, in Verbindung mit dem besonders sensitiven Porenwasser-Parameter  $\delta^{13}\text{C}$ , verspricht, Aussagen über Störungsereignisse im Sediment, wie Resuspension/Resedimentation und Mischungsprozesse treffen zu können (siehe Abbildung 2.1.21).

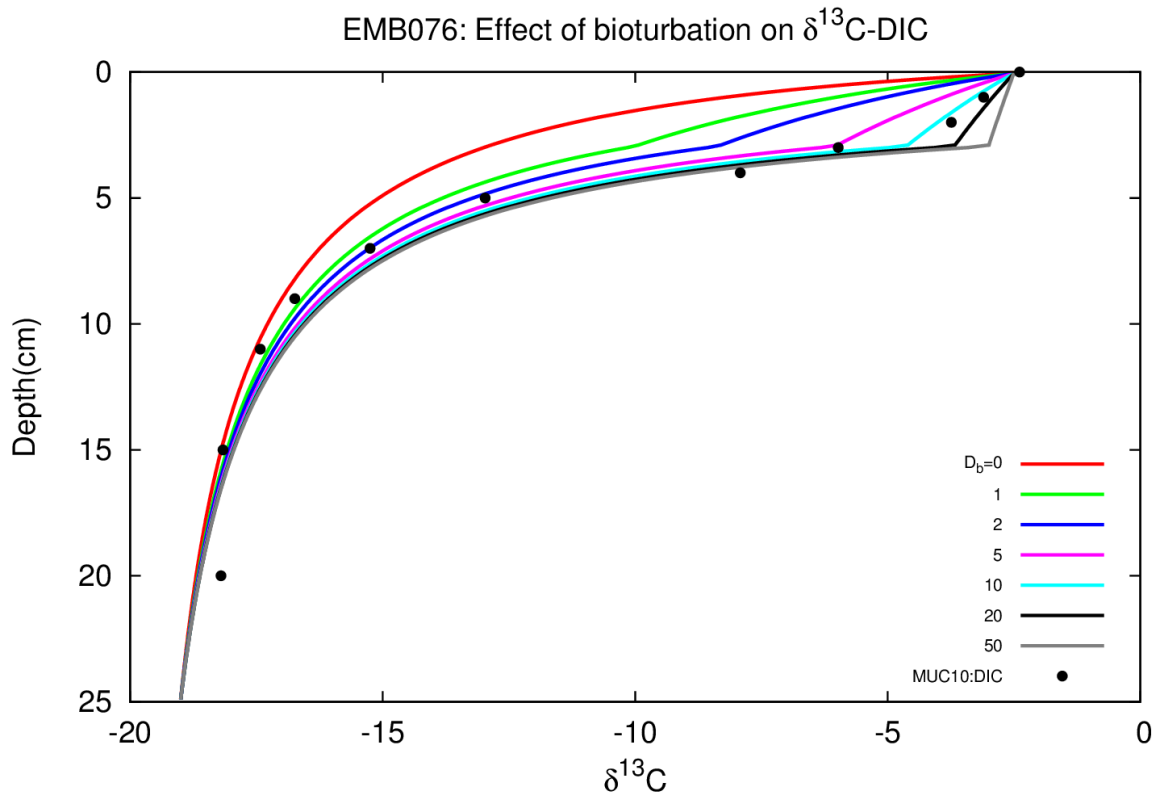


Abbildung 2.1.21. Gemessene Kohlenstoffisotopensignatur im Porenwasser des silt-dominierten SECOS-Standorts "Arkonabecken" sowie Modellanpassungen mit unterschiedlichen angenommenen Bioturbationsleistungen.

Variierende Bioturbationsleistung und die Anwesenheit von spezifischen Mikroorganismen können Verschiebungen der Redoxkline im Sediment bewirken, was signifikante Auswirkungen auf die Verfügbarkeit reaktiver Festphasen (z.B. Eisen) und die Mobilitäten von Nährstoffen und anderer Elementen haben kann (siehe TP 2.2, 2.5). Variierende Redox-Bedingungen zwischen flacheren und tieferen Bereichen akkumulierender Sedimente erlauben die Untersuchung der komplexen Reaktionen zwischen Eisen, Phosphor und Schwefel sowohl in gelöster als auch fester Phase. z.B. hat die Bildung von Metallsulfiden fundamentale Auswirkungen auf die Fixierung/Mobilität von verschiedenen Spuren-Kontaminanten. So können Eisen(oxy)hydroxide eine effektive Barriere gegen den Austritt von gelöstem Phosphat aus dem Sediment in die Wassersäule bilden.

#### zu 2) Bestimmung der Stoffflüsse unter ex-situ und in-situ-Bedingungen

Intakte Sedimentkurzkerne wurden bei konstanter Temperatur (nahe der in-situ Bodenwassertemperatur) für 5 bis 10 Tage inkubiert. Das Bodenwasser wurde während der Inkubation langsam gerührt und alle 12–24 h beprobt. Der experimentelle Aufbau der Kerninkubation wurde im Laufe des Projekts in enger Kooperation mit Dr. Jana Wölfel erweitert, so dass die Sauerstoffkonzentration kontinuierlich mit im Kern angebrachten Optoden verfolgt werden konnte. Bei der Probenahme wurden je etwa 60 ml Bodenwasser gegen Bodenwasser von der gleichen Station ausgetauscht. 50 ml der Probe wurden für Spurengasanalysen luftblasenfrei in Glasflaschen gefüllt und versiegelt (siehe Abschnitt Jana Wölfel), weitere ~10 ml Wasserprobe wurden für die spätere Analyse von Haupt- und

Spurenelementkonzentrationen, Sulfid/Sulfat-Konzentrationen, gelöstem anorganischen Kohlenstoff (13C) und Nährstoffanalyse (siehe oben) in verschiedene Probenröhrchen filtriert. Die kontinuierliche Sauerstoffmessung während der Inkubation erlaubte die Bestimmung von Sauerstoffzehrungsraten in verschiedenen Sedimenttypen zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Die Elementkonzentrationen im überstehenden Wasser als Funktion der Zeit ermöglicht schließlich die Berechnung der Elementfreisetzungsraten unter ex-situ Bedingungen. Teilweise wurde in parallelen Kerne aus dem überstehenden Wasser vor der Inkubation der Sauerstoff mit Ar-Gas ausgetrieben, um einen Regimewechsel zu hypoxischen Bedingungen zu simulieren. Die Analyse der gewonnenen Proben und die Interpretation der Messdaten dauert an, eine Zusammenstellung ausgewählter vorläufiger Ergebnisse zeigt Abb. 6.

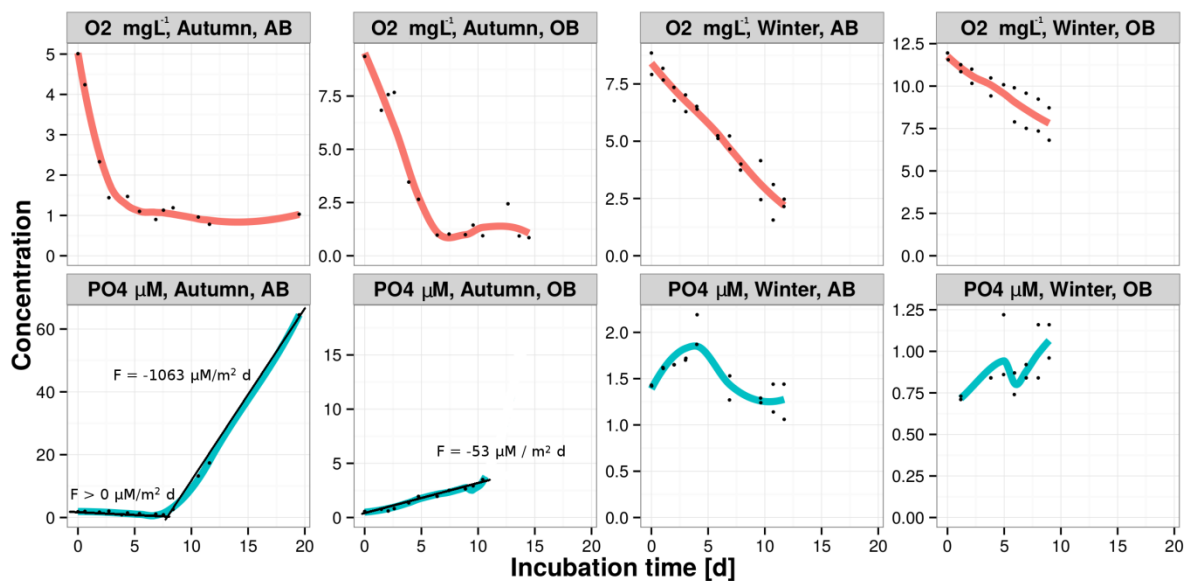


Abbildung 2.1.22. Zeitabhängige Konzentrationsänderungen von Sauerstoff (rot) und Phosphat (blau) in inkubierten Kernen von sandigen (OB) sowie silt-dominierten (AB) SECOS-Stationen während Herbst- (links) bzw. Wintersituation (rechts).

Die benthischen Kammer-Experimente von Dr. Jana Wölfel (siehe Abschnitt 1.3, 2.1 TP 2.4) fanden in enger Zusammenarbeit mit TP 2.3 statt. Die Probenahmestrategie wurde in Hinblick auf die Porenwasser- und Inkubationsexperimente abgestimmt, um eine gemeinsame Interpretation der erhaltenen Ergebnisse gewährleisten zu können. Die Auswertung der diffusiven und Gesamt-Flussraten, auch unter Beachtung der benthischen Besiedlung der inkubierten Kerne (siehe Abschnitt Dr. Mayya Gogina) und im Rahmen von SECOS bestimmter Bioturbationsraten (siehe unten und Claudia Morys) dauert an und soll im Rahmen von "SECOS-II Synthese" zusammenfassend interpretiert werden.

### Teilprojekt 2.4 Gas exchange at the sediment-water interface

#### Verwendung der Zuwendung:

Größter Budgetpunkt waren die Personalkosten in TP 2.4. Die Personalstelle wurde mit Frau Dr. Jana Wölfel am 01. Oktober 2013 besetzt, die für die Organisation und Durchführung aller Untersuchungen verantwortlich war. Die Projektarbeit begann somit etwas verspätet, was auf anfängliche

verwaltungsorganisatorische Probleme innerhalb des Verbundprojektes SECOS sowie die Schwierigkeit der Findung eines/einer geeigneten Kandidaten/in zurückzuführen war. Frau Dr. Wölfel wurde unter zusätzlichem Einsatz von Hausmitteln für 3 Jahre als PostDoc eingestellt, um dem Interesse des Hauses an der Fragestellung sowie dem herausfordernden Arbeitsprogramm in TP 2.4 gerecht zu werden. Frau Dr. Wölfel sollte im Rahmen des Projektes u.a. die Technik der Beprobung von benthischen Kammern für die Messung der Spurengase etablieren. Vor ihrer Einstellung befasste sich Frau Dr. Wölfel mit der Benthosökologie mariner Algen und deren Wechselwirkungen zu abiotischen Faktoren z.B. in der Arktis und südlichen Ostsee (z.B. Woelfel et al. 2010, 2014a & 2014b). Neben Kenntnissen zu benthischen Stoffkreisläufen verfügte sie durch den Bau eigener benthischer Kammern während ihrer Promotion über einen reichen Erfahrungsschatz, den sie in das Projekt erfolgreich mit einbringen konnte.

### Ziele:

Im Rahmen von TP 2.4 wurde an den ausgewählten Schlüsselgebieten (definiert aus den kartierenden Arbeiten in TP 1, siehe Abschnitt 1.3 und 2.1) und in Zusammenarbeit mit TP 2.3, die klimarelevanten Spurengas- und Nährstoffflüsse unter natürlichen Bedingungen 1. „*in situ*“ und 2. unter kontrollierten Laborbedingungen „*ex situ*“ quantifiziert. So wurde neben Methan und Lachgas, die Flüsse von photosynthetisch relevanten Nährstoffen wie SRP (soluble reactive phosphorus – gelöstes reaktives Phosphat) und DIN (dissolved inorganic nitrogen – gelöster anorganischer Stickstoff: die Sammelfraktion von  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) erfasst. Diese Quantifizierung, sowie von Haupt- und Spurenelementen wie  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , Eisen und Mangan, wurde durch TP 2.3 mit weiteren Aspekten zur Porenwasseranalyse ergänzt.

Während die Charakterisierung der Flüsse unter *in situ*-Bedingungen nur kurzfristig (innerhalb von 7 bis maximal 36h) möglich war, wurde durch langfristige Untersuchungen (5-10 Tage) von Sedimentkernen unter *ex situ*-Bedingungen die Fragestellung durch einen weiteren Aspekt ergänzt: Wie erfolgt die Freisetzung/Zehrung bzw. Modifikation der Parameter unter hypoxischen Bedingungen? Ein Zustand, der bereits geringeren Wassertiefen von z.B. 45 m in Beckenformationen der Ostsee durchaus erreicht werden kann.

Diese Kombination sämtlicher Analysen aus dem Porenwasser **im** und der Wassergrenzschicht **über dem Sediment sowie unter oxischen und hypoxischen Bedingungen** ermöglichte eine allumfassende Charakterisierung der diffusiven Flüsse aus sandigen bis schlickigen Sedimenten der südlichen deutschen Ostseeküste.

### Ergebnisse:

#### 1. Unter *in situ*-Bedingungen:

Die Probenahme während der 7 Forschungsfahrten erfolgte mit Hilfe von benthischen Kammern, die an Landersystemen montiert waren. In 2014–2015 wurden während aller Ausfahrten (Tabelle 2.1.7) dazu bereits zwei vorhandene benthische Kammerlandersysteme von kooperierenden Wissenschaftlern Dr. Stefan Sommer und Dr. Peter Linke (AG Marine Geosysteme, GEOMAR Kiel) zur Verfügung gestellt und genutzt. Das IOW-System mit einer benthischen Kammer „Warnemünde Benthic Observation Chamber (WaBOb)“ war im Juni 2015 einsatzbereit, wurde anschließend getestet und während der letzten beiden SECOS-Ausfahrten (September 2015 EMB 111, Januar 2016 MSM 50) erfolgreich eingesetzt (Tabelle 2.1.7).

Dabei wurden an den jeweiligen SECOS-Stationen mit unterschiedlichen Sedimentcharakteristika jeweils die benthischen Kammern deponiert und 8 bis 46 h inkubiert (abhängig von den fahrtorganisatorischen Möglichkeiten). Mit Hilfe von speziellen Spritzenprobennehmern wurden jeweils alle 1 bis 7 h aus den Kammern Unterproben entnommen, um die Konzentrationsveränderungen der verschiedenen Parameter und somit deren Flüsse in der abgeschlossenen Kammer analysieren zu können. Ergänzend wurden an einer Kammer ein PAR-Sensor (photosynthetisch-aktive Strahlung) sowie eine CTD (Leitfähigkeit, Temperatur und Tiefe) zur genaueren Charakterisierung der abiotischen Umgebung befestigt. Innerhalb sowie außerhalb der Kammer wurde jeweils eine Optode zur Erfassung der Sauerstoffkonzentrationen (alle 1-5 min) installiert. Nach jeder Inkubation wurde am gleichen Kammerstandort Sedimentproben zur weiteren Analyse des TP 2.3 (Porenwasseranalyse), TP 1.2 (Biodiversität Makrozoobenthos) sowie TP 1.3 (u.a. Korngröße und organischer Gehalt) genommen.

Die Erfassung der Veränderung der Sauerstoffgehaltes in der Kammer stellt, neben der wichtigen Redox-Charakterisierung der Sedimente und der Wassergrenzschicht, einen wichtigen Parameter zur Gütebeurteilung der Inkubation dar. Der Datenvergleich der Außen- und Innen-Optode gibt einen ersten Hinweis zur Deponierung/Dichtigkeit der Kammer auf dem Meeresboden. Dies stellt bereits die erste Hürde im Einsatz der benthischen Kammern im Feld dar. Zusätzlich bedingt die Komplexität im Aufbau und der Funktionsweise einzelner elektronischer und mechanischer Kammerelemente eine wechselnde Erfolgsquote - so konnte während der Ausfahrten der Beprobungserfolg durch andauernde Optimierungsmaßnahmen gesteigert werden (Tabelle 2.1.7).

Das neue benthische Kammerlandersystem „WaBOb“ bietet im internationalen Vergleich eine Reihe an Neuheiten, die in dieser Kombination ideal für die Beprobung der Ostseesedimente zu verschiedensten Fragestellungen geeignet sein wird. Folgende Eigenschaften sind z.T. einzigartig:

- bisher seltene Inkubation von permeablen (sandigen) sowie schlickigen Sedimenten, dabei manipulierbares Einstechen der Kammer in das Sediment: 5 – 200 mm
- Mitnahme des gesamten Kammer-Sedimentes nach der Inkubation, somit seltene 1:1 Abbildung der Oberfläche mit Organismen und gemessenen Flüssen)
- transparente Kammer & PAR-Sensorik: z.B. Überwachung des kammerinternen Sedimentes, mögliche Messung benthischer Primärproduktion
- Unterproben: 16 x Glasspritzen (50 ml), programmierte Entnahme und mögliche Injektion diverser Substanzen: durch mögliches Injizieren z.B. Inhibition diverser Stoffwechselprozesse, somit bessere Charakterisierung von Zwischenstufen der Stoffkreisläufe
- Manipulation der Rührgeschwindigkeit und -richtung in der Kammer: z.B. Induzierung von Resuspensionsprozessen
- autarkes System: mit Pop-up Boje ohne Oberflächenmarkierung: Verkürzung der Schiffszeit

Tabelle 2.1.7 *In situ*-Messungen mit Einsatz der benthischen Kammersysteme im Rahmen der Projektlaufzeit, ab Juni 2015 war das benthische Kammerlandersystem „WaBOb“ (\*) zusätzlich mit den GEOAMAR-Kammern im Einsatz;  
Stationskürzel: AB= Arkonabecken, ABJ= Arkonabecken-Boje; ST=Stoltera, OB=Oderbucht, LB= Lübecker Bucht, MB, Mecklenburger Bucht, TW= Tromper Wiek, DS=Darsser Schwelle

	Reise	Station	Erfolgsrate %	
			Beprobung	O <sub>2</sub> -sensorik
<b>2014 Geomar-Benthische Kammersysteme</b>				
März/April	AL 434	AB, ST, OB, LB, MB, TW	49	75
Juni	EMB 076	AB, ST, OB, LB, TW	51	73
September/Oktober	POS 475	ABJ, DS, OBJ*, LB, MB	<b>86</b>	80
<b>2015 Geomar- &amp; IOW -Benthische Kammersysteme (*)</b>				
Januar	EMB 093	ABJ, ST, OB	61	68
April	EMB 100	ABJ, ST, OB, MB	62	80
Juni	EMB 105	Testfahrt neues IOW-System	n.d.	n.d.
August/September*	EMB 111*	ABJ, ST, OB, LB, (*MB)	80 (*55)	75 (*100)
<b>2016 IOW -Benthisches Kammersystem</b>				
Januar	MSM 50	ABJ, ST, OB, LB, MB, TW	55	<b>100</b>

**Fazit:** Die Ergebnisse der *in situ* Sauerstoffmessungen aller Ausfahrten zeigen keine eindeutige Korrelation zwischen Sedimenttyp, Zehrung und Saisonalität und untermauern somit die nötige multiparametrische Charakterisierung von Sedimenten. Auch die Nährstoff-Freisetzung während der Inkubationsdauer wiesen, außer in einigen Ausnahmen in schlickigen Sedimenten der Station „Lübecker Bucht“ (v.a. während der letzten Winterfahrt MSM50 auch andere schlickige Sedimente), keine eindeutigen Trends auf. Die Spurengase: CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O wurden demnach nur exemplarisch während der ersten beiden Ausfahrten gemessen und wiesen entsprechend der fehlenden Nährstoffflüsse keine interpretierbaren Verläufe auf. Dazu wurde die gaschromatographische Analytik zur parallelen Methan- und Lachgas-Bestimmung mittels einer Kombination von einem FID (Flammenionisationsdetektor) und einem Elektroneneinfangdetektor (Electron Capture Detector - ECD) für die sehr kleinen verfügbaren Probenvolumen bei der Messung mit benthischen Kammersystemen adaptiert und optimiert.

## 2. Unter *ex situ* Bedingungen:

Die *in situ* Untersuchungen der Gas- und Nährstoffflüsse wurden seit der POS 475 (Herbst 2014) durch zusätzliche Experimente im Labor (*ex situ*) ergänzt, um langfristige Flüsse zu erfassen sowie die Reaktionen auf eine geringere Sauerstoffversorgung im Tiefenwasser, häufig in der Ostsee vorkommend, zu simulieren. Dazu wurden in enger Zusammenarbeit mit TP 2.3 Sedimentkerne unter konstanten Temperaturbedingungen und sinkendem Sauerstoffgehalt inkubiert und täglich beprobt (Tabelle 2.1.8; Abschnitte 1.3, 2.1 TP 2.3).

Tabelle 2.1.8. *Ex situ*-Messungen im Rahmen der Projektlaufzeit, einerseits wurden die Kerne unter „natürlich“ sinkenden O<sub>2</sub>-Gehalten inkubiert, bei anderen wurde das Inkubationswasser („O<sub>2</sub>-ausgegast“) am Anfang des Experimentes mit O<sub>2</sub>-armen Wasser ausgetauscht, um einen sofortigen Effekt zu detektieren;

Stationskürzel: AB= Arkonabecken, ABJ= Arkonabecken-Boje; ST=Stoltera, OB=Oderbucht, LB= Lübecker Bucht, MB, Mecklenburger Bucht, TW= Tromper Wiek, DS=Darsser Schwelle

Fahrt	Saison	Dauer	Stationen	Parallelen [n]	O <sub>2</sub> -ausgegast	Inkubation Temp. [°C]
POS 475	Herbst 2014	26.09.- 12.10.14	ABJ, OB, ST, DS, LB	AB, DS: n=2; LB, OB, ST: n=1	AB & DS P2 + N <sub>2</sub> ca. 2 h	16-19
EMB 093	Winter 2015	12.01.- 22.01.15	ABJ, OB, DS	AB: n=3; OB: n=2; DS: n=1	-	4-6
EMB 100	Frühling 2015	09.04.- 23.04.15	ABJ, OB, ST, MB	AB, MB: n=3; OB, ST: n=2	-	4-6
EMB 111	Sommer 2015	25.08.- 7.09.15	ABJ, OB, ST, MB, LB	alle P3 (+ PW - Kern)	P1&P2 = BW - Wasser + Ar Austausch	10
MSM 50	Winter 2016	25.08.- 7.09.15	ABJ, OB, ST, LB	alle n=4	in je 2 Kernen Wasser ausgetauscht	5

Im Rahmen der *ex situ*-Untersuchungen wurden die gleichen Parameter wie unter den *in situ*-Inkubationen erfasst: O<sub>2</sub>; Nährstoffe: NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>; Haupt-/Spurenelemente (über die ICP), H<sub>2</sub>S, DIC (siehe Abschnitte von TP 2.3 M. Lipka), Makrozoobenthos (siehe Abschnitte TP 1.2 M. Gogina). Aufgrund von messbaren Trends in den Nährstofffreisetzungen vor allem unter hypoxischen Bedingungen war auch die gaschromatographische Bestimmung der Spurengase erfolgreich interpretierbar (POS475-EMB100). Trotzdem stehen noch einige analytische Bestimmungen zu den Spurengasen, DIC und Haupt- und Spurenelementen der letzten beiden Ausfahrten (EMB111, MSM 50) aus und sind für das Jahr 2017 im Rahmen von „SECOS 2 – Synthese“ vorgesehen.

Insgesamt wurden 54 Sedimentkerne inkubiert und alle Daten des TP 2.4 werden derzeit im Zusammenhang mit weiteren Parametern aus der vorhandenen Sedimenttypisierung sowie den Untersuchungen der anderen Teilprojekte in AP 1 (insbesondere 1.2) und AP 2 (insbesondere TP 2.1 und 2.3) interpretiert und ausgewertet.

**Fazit:** Die Methanfreisetzung unterschied sich zwischen schlickigen und sandigen Sedimenten. Während in sandigen Sedimenten unabhängig von den oyxischen/hypoxischen Bedingungen im Überstandswasser über die Zeit nahezu ähnliche Raten an Methan freigesetzt wurde, sind in schlickigen Sedimenten erhöhte Methanabgaberraten nur unter hypoxischen Bedingungen gemessen worden. Das ist überraschend, da eigentlich aufgrund des erhöhten organischen Gehaltes im Schlick von einer komplementären Freisetzung Sand (wenig) vs. Schlick (viel) ausgegangen wurde. Vermutlich bildet die Permeabilität der Sedimente den Hauptfaktor in der Steuerung und Messbarkeit dieser Prozesse. Weitere vorläufige Ergebnisse lassen, wie bei den *in situ* Sauerstoffzehrungsraten, auf eine fehlende Korrelation zwischen Saisonalität und Sedimentcharakteristika schließen, vermutlich bedingt durch die Komplexität der Prozesse: während im Winter viel organisches Material deponiert wird, sind aufgrund der geringen Temperaturen die Stoffwechselprozesse der Organismen verlangsamt. Im Sommer hingegen wird das saisonal bedingt in geringerer Masse abgelagerte organische Material schnell umgesetzt, was evtl. zu Substrat-Limitationen für die Organismen führen könnte. Alle diese derzeit noch etwas sehr wagen Hypothesen sollen in weiteren multifaktoriellen Analysen ausgewertet und im Rahmen von SECOS II durch weitere Experimente belegt werden. Die Messung der

Lachgasfreisetzung wiesen keine eindeutigen Trends auf, weder in Abhängigkeit zur Saison noch zu den einzelnen Sedimentcharakteristika.

### ***Teilprojekt 2.5 Microorganisms as drivers for diagenesis and elemental turnover in key sediments***

#### **Verwendung der Zuwendung:**

Von insgesamt fünf Stationen (Lübecker Bucht, Stoltera, Arkonabecken, Tromper Wiek, Oderbank)) wurde während zwei Ausfahrten (Juni 2014, April 2015) Sedimentproben aus unterschiedlichen Tiefen für die spätere Bearbeitung im Labor genommen und konserviert. Im Labor erfolgte die Extraktion der konservierten RNA und eine Umschreiben der RNA in DNA. Die aufgearbeiteten DNA-Proben wurden zur Sequenzierung der 16S rRNA Gene für die Diversitätsbestimmung an die Firma LGC und zur Sequenzierung des Metatranskriptoms zur Untersuchung der Stoffwechselwege an die Firma Eurofins geschickt. Seit Beginn 2015 stehen die Sequenzen der 16S rRNA Gene zur Verfügung und konnten inzwischen im Detail ausgewertet werden. Die ersten Sequenzen des Metatranskriptoms stehen seit Ende 2015 zur Verfügung. Zur Zeit erfolgen die letzten Sequenzierungen. Eine erste Aufarbeitung und Analyse der Daten hat begonnen und sollte bis Ende 2016 abgeschlossen sein.

#### **Ziele:**

Durch die Sequenzierung der exprimierten Gene sollte erfasst werden, welche Bakterien in den verschiedenen Sedimenten aktiv sind, ob sich die Aktivität mit der Tiefe verändert und welche Stoffwechselwege dominieren.

#### **Ergebnisse:**

Der aktive Teil der bakteriellen Gemeinschaften unterscheidet sich an den unterschiedlichen Stationen erstaunlich wenig (Abbildung 2.1.23). Statistisch signifikante Unterschiede mit der Tiefe konnten nicht festgestellt werden. Überraschender Weise sind die Hauptfaktoren, die einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung der Gemeinschaften haben Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Bodenwasser und nicht Sedimenteigenschaften wie Korngröße oder Gehalt an organischem Material. In dieser Beziehung scheinen die Mikroorganismen im Sediment den Makroorganismen (Makrobenthos) zu ähneln. Alle Sedimente werden, wie zu erwarten war, sehr stark von Delta- und Gammaproteobakterien dominiert. Bei den Deltaproteobakterien handelt es sich hauptsächlich um Sulfatreduzierer während unter den Gammaproteobakterien zahlreiche Sulfidoxidierer gefunden wurden. Für die bisherige Erfassung der Diversität wurden nur die Gene der 16SrRNA ausgewertet, die in der Mikrobiologie bevorzugt für die Systematik verwendet werden. Die jetzt noch folgenden Analysen von Genen, die an bestimmten Stoffwechselfunktionen beteiligt sind, konzentrieren sich verstärkt auf Gene, die am Schwefelkreislauf beteiligt sind. Darüber hinaus werden spezielle Gene im Stickstoffkreislauf (Nitratatmung, Stickstofffixierung) eingehender analysiert.



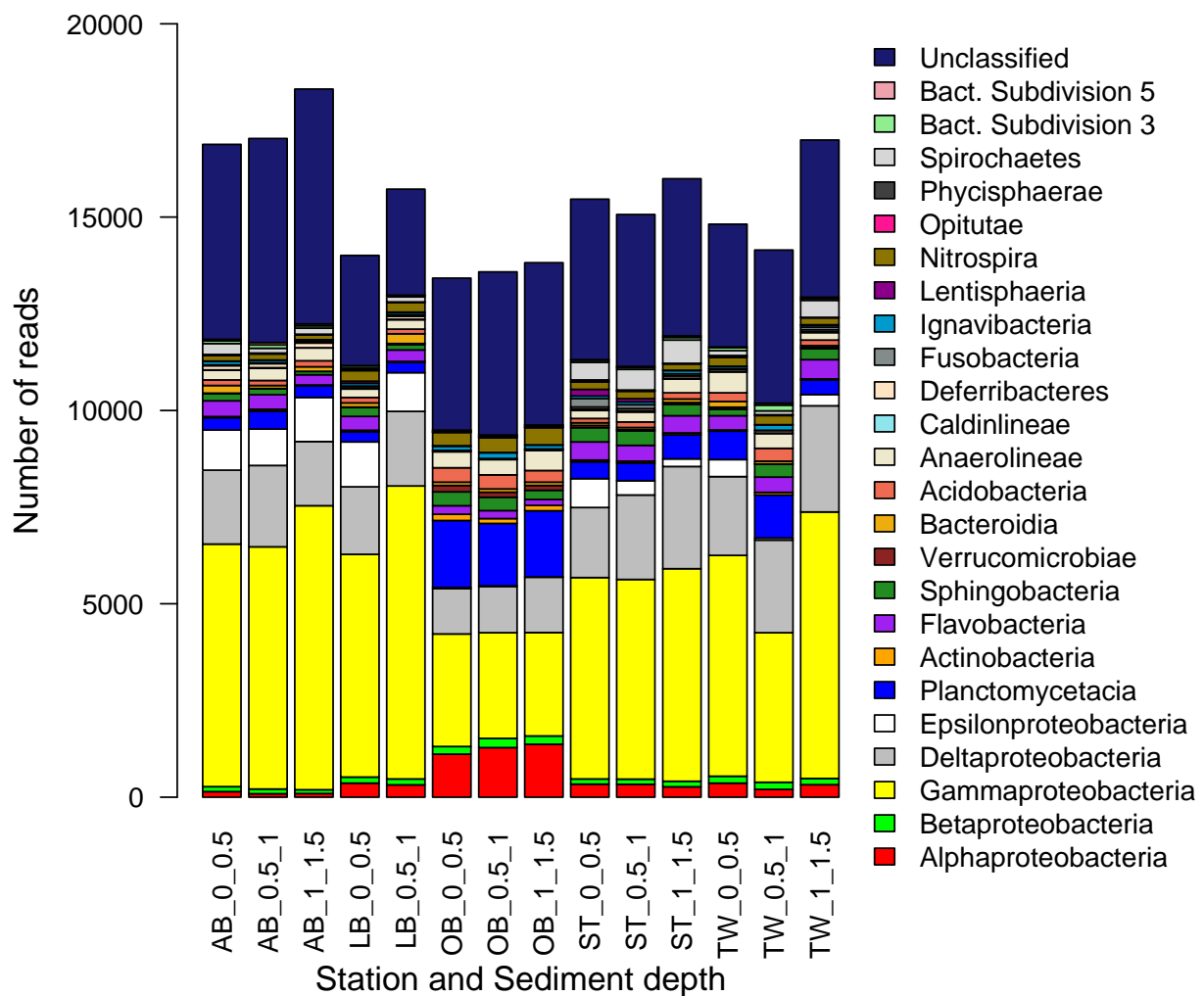


Abbildung 2.1.23. Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaften an den Stationen Arkonabecken (AB), Lübecker Bucht (LB), Oderbank (OB), Stoltera (ST) und Tromper Wiek (TW) in den Tiefenintervallen 0–0,5 cm, 0,5–1 cm, 1–1,5 cm.

### Arbeitspaket 3 – Simulation of sedimentary ecosystem services and their changes under different external pressure scenarios

#### Teilprojekt 3.1 Scenario simulations and sediment module improvement

##### Verwendung der Zuwendung:

Dr. René Friedland und Dr. Hagen Radtke waren als Postdoktoranden im Teilprojekt beschäftigt. Dienstreisen für Dr. Hagen Radtke erfolgten zur Baltic Sea Science Conference nach Riga und zu einem Modelliererworkshop nach Stockholm.

**Ziele:**

- Task 1: Workshop mit nationalen End-Usern, bei denen Szenarien definiert werden unter denen sedimentäre Dienstleistungen modelliert werden sollen; Vorbereitung von Nährstoffeintrags-szenarien.
- Task 2: Erste Szenariosimulationen mit dem ERGOM-Modell. Vorbereitung von Simulationsdaten für andere SECOS-Teilprojekte. Referenzsimulationen für Modellverbesserung.
- Task 3: Verbessertes Sedimentmodul mit erhöhter Prozessauflösung, qualitätskontrolliert durch Ergebnisse aus TP 1 und 2
- Task 4: Aktualisierte Szenariosimulationen mit verbessertem Sedimentmodul, Vorbereitung von Simulationsdaten für andere SECOS-Teilprojekte
- Task 5: Verfügbarmachung des Modells für die Implementation in MOSCCO, Analyse von Szenariosimulationen

**Ergebnisse:**

- Task 1: Im Rahmen von TP 3.1 wurden nach Rücksprache mit den Endnutzern auf einem Workshop und mit TP 4.1 die Simulationen mit dem Ostsee-Ökosystemmodell ERGOM-MOM vorbereitet. Dazu wurden die Nährstoffeinträge (flussgebunden sowie atmosphärische Deposition) überarbeitet, so dass sie räumlich feiner vorliegen, da sich zeigte, dass das Ostseemodell mit der kleineren räumlichen Auflösung sensitiver gegenüber den Einträgen ist.
- Task 2: Die mit den Anwendern abgestimmten Simulationen wurden durchgeführt. Als Szenarien wurden verschiedene Datensätze zum atmosphärischen Forcing getestet, wobei sich zeigte, dass die im Rahmen von IPCC-AR5 zur Verfügung gestellten Wetterdaten deutliche Verbesserungen gegenüber vorherigen Versionen aufweisen, so dass bis auf Weiteres diese als Forcing verwendet werden. Simulationsergebnisse, insbesondere simulierte Chlorophyllkonzentrationen und Detrituskonzentrationen in Bodennähe, wurden sowohl an andere Nutzer weitergegeben als auch im Baltic Sea Atlas veröffentlicht.
- Task 3: Auf Basis von [Reed et al., 2011] wurde ein vertikal aufgelöstes, Porenwasserprozesse auflösendes Sedimentmodul entwickelt. Das existierende Sedimentmodell wurde dabei u. A. um einen geschlossenen Kohlenstoffkreislauf ergänzt, siehe Abbildung 2.1.24. Zunächst in einem horizontal integrierten (1-d), gekoppelten Wassersäule-Sediment-Modell wurden verschiedene Stationen simuliert, die sich in verschiedenen Parametern (z.B. Porosität – Sand bis Schlick) unterschieden. Mithilfe von Porenwasserdaten aus TP 2.3 konnten die freien Modellparameter optimiert und so ein Fit der simulierten Porenwasserkonzentrationen an die Messdaten erzielt werden. Dazu wurde das 1-d-Modell einem Inversen-Modellierungs-Algorithmus unterzogen. Daten aus TP 1.1, 2.2 und 2.4 wurden zur Validation der Ergebnisse genutzt. So bestätigten die Messungen z.B. die im Modell auftretenden relativ hohen Sauerstoffimporte in sandigen Sedimenten der Oderbank, die aufgrund des geringen Gehalts an organischem Kohlenstoff bemerkenswert sind.  
Das so fertiggestellte 1-d-Modell wurde unter Verwendung einer Sedimentkarte, die aus SECOS und EMODNET-Daten kombiniert wurde, erfolgreich in das 3-d-Modell eingekoppelt. Da die auftretenden Differentialgleichungen z.T. ein steifes Problem darstellen, mussten sie mit

geeigneten numerischen Verfahren gelöst werden, die gleichzeitig konservativ die Erhaltung mehrerer chemischer Elemente garantieren. Zu diesem Zweck wurde ein geeignetes numerisches Verfahren entwickelt und im letzten Berichtszeitraum (1.1.2015–31.3.2016) publiziert.

Insgesamt dauerte die Entwicklung des Sedimentmoduls länger als vorgesehen, so dass Task 4 mit einer vorläufigen Variante eines verbesserten Sedimentmodells durchgeführt werden musste.

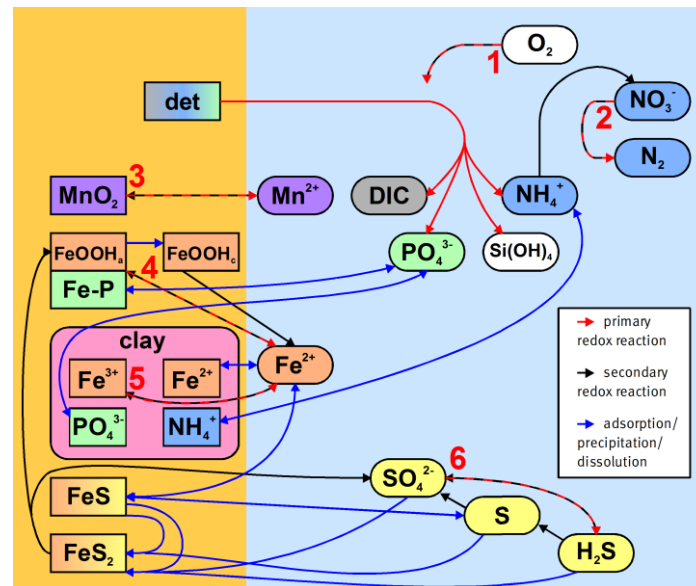


Abbildung 2.1.24. Schematische Darstellung der im neuen Sedimentmodell auftretenden biogeochemischen Prozesse und Zustandsvariablen (links: Festphase, rechts: Porenwasser)

- **Task 4:** Aktualisierte Szenarien wurden mit einem in der Prozessauflösung verbesserten Modellsystem MOM-ERGOM durchgeführt. Es handelt sich hierbei jedoch noch nicht um das vollständige System mit neuem Sedimentmodell, sondern um ein zunächst im Bereich des Kohlenstoffzyklus aktualisiertes Modell, das insbesondere den Einfluss von transparenten Exopolymeren (TEP) explizit auflöst. Die Ergebnisse der Simulationen wurden allen Projektpartnern zugänglich gemacht. Seit dem letzten Berichtszeitraum werden Modellsimulationen mit dem vollen neuen Sedimentmodell durchgeführt und werden momentan noch fertiggestellt (ein horizontal mit 9 Seemeilen aufgelöster Modelllauf als Spin-up ist bereits abgeschlossen, ein räumlich hoch aufgelöster Modelllauf (1 Seemeile im Zielgebiet) läuft bereits, die Ergebnisse stehen somit insbesondere für die Arbeit in SECOS II zur Verfügung). Über die eigenen Simulationen hinaus wurde eine auf den physikalischen Teil des in Task 3 entwickelten Sedimentmodells an TP 1.3 weitergegeben, zur Simulation von Vermischungsereignissen und Sedimentationsgeschichte auf Vertikalverteilungen von chemischen Elementen (z.B. Quecksilber).
- Das Ökosystemmodell ERGOM mit seinen Erweiterungen wie dem neuen Sedimentmodell steht nicht (nur) als fertiger Modellcode zur Verfügung, sondern wird in Form einer formalen Modellbeschreibung in genormten Textfiles gespeichert. Aus diesen wird der Modellcode für ein



Modellsystem dann automatisch generiert. Soll das biogeochemische Modell für ein bestimmtes Modellsystem verfügbar gemacht werden, so ist dafür ein „code template“ notwendig. Ein solches Code Template wurde im Rahmen des Projekts für die Schnittstelle FABM (Framework for Aquatic Biogeochemical Models) fertiggestellt, was eine Einkopplung von ERGOM in das MOSCCO-System gewährleistet.

Die Auswertung der bisher unternommenen Läufe zeigt insbesondere die Bedeutung der Bioresuspension für den Transport organischen Materials von küstennahen Produktionsgebieten in die Depositionsgebiete. Die Auswertung dauert aber noch an und wird bei Fertigstellung der hochaufgelösten Simulationsergebnisse fortgesetzt. Eine Publikation zu den Ergebnissen ist in Arbeit und wird voraussichtlich um August 2016 fertiggestellt.

### ***Teilprojekt 3.2 Improvement of predictive capacity by code optimization for MPP applications***

#### **Verwendung der Zuwendung:**

Für das Teilprojekt 3.2 wurde als wissenschaftlicher Mitarbeiter Herr Florian Wende am ZIB eingestellt. Die Reisemittel wurden für Herrn Wende und den Teilprojektleiter, Herrn Matthias Läuter, für die Teilnahme an den SECOS-Veranstaltungen in Rostock und Hamburg verwendet.

#### **Ziele:**

Das Projektziel bestand in der Bereitstellung eines optimierten Produktionscodes für das ERGOM/MOM4 Ozeanmodell. Dazu wurden in den Arbeitspaketen 3.2.1 bis 3.2.3 die folgenden Meilensteine formuliert.

Meilenstein 1: HLRN-Code für ERGOM und Referenzexperimente

Meilenstein 2: Leistungsanalyse des ERGOM-Codes

Meilenstein 3: Produktionscode mit Optimierungen

#### **Ergebnisse:**

Alle Projektziele des Teilprojekts wurden erreicht. Im Projektverlauf wurde neben dem Ozeancode MOM4 auch die Folgeversion MOM5 bearbeitet.

Zur Erfüllung von Meilenstein 1 wurden der Code auf den HLRN-III-Hochleistungsrechner portiert und Referenzexperimente definiert. Der Test der drei auf dem HLRN-III verfügbaren Compiler von Cray, Intel und GNU ergab, dass nur mit dem Intel-Compiler ein lauffähiger Code erzeugt werden kann. Die Compileroptionen wurden bezüglich des Laufzeitverhaltens optimiert mit Verlinkung gegen die Ein- und Ausgabebibliotheken NETCDF und IOBUF. Im Bereich zwischen 120 und 960 MPI-Ranks flacht die parallele Skalierung zwar schon ab, allerdings wurde der gesamte Bereich für die Definition der Referenzexperimente berücksichtigt.

Für den Meilenstein 2 wurde der Code mit dem Cray Performance Analysis Tool, sowohl im Sampling- als auch Tracing-Modus, analysiert. Im Ergebnis sind als Hauptzeitverbraucher (Hotspots) Nutzerfunktionen und zu einem kleineren Teil MPI-Routinen lokalisiert worden. Überraschenderweise sind die IO-Routinen (Ein- und Ausgabe) von NETCDF vernachlässigbar, insbesondere für langlaufende Modellsimulationen für die das Preprocessing vernachlässigbar wird. Für die Detailanalyse der Nutzerfunktionen wurde der Code für ein knotenlokales Setup mit Intel VTune analysiert. Damit konnten



sowohl Routinen aus dem ERGOM-Modul, wie `generic_ERGOM_update_from_source()`, als auch aus dem Ozeancode MOM4, wie `advect_tracer_sweby_all()`, extrahiert werden.

Für Meilenstein 3 tragen die eigentlichen Optimierungsarbeiten bei. Aufgrund von im HLRN-III nun 24 Kernen pro Rechenknoten (2 Sockets mit je 12 Kernen) spielt die dedizierte Platzierung der einzelnen MPI-Tasks auf die Kerne eine bedeutende Rolle. Durch symmetrisch auf beide Sockets verteilte und fest platzierte MPI-Tasks konnte eine Leistungssteigerung von 10% realisiert werden. Aufgrund der Erkenntnisse von Meilenstein 2 wurden Nutzerfunktionen in ERGOM und MOM4 genauer analysiert. Durch ein verändertes Datenlayout und die Einführung von OpenMP 4.0 SIMD-Pragmas konnte die laufzeitlimitierende Abarbeitung von Fließkommaoperationen durch Vektorisierung signifikant beschleunigt werden. Für den Gesamtcode führte dies zu einem Laufzeitgewinn von weiteren ca. 15%. Alle Codeänderungen wurden anhand der Referenzexperimente validiert und mit dem IOW besprochen. Da der OpenMP-Standard gut durch zahlreiche Compiler unterstützt wird, sind die Codeänderungen auch auf längere Sicht für das IOW profitabel.

## **Arbeitspaket 4 – Baltic Sea quality indicators and ecosystem services**

### ***Teilprojekt 4.1 Ecosystem quality indicators and thresholds***

#### **Verwendung der Zuwendung:**

Wie im Antrag vorgesehen, wurden die bewilligten Finanzmittel für Personal, Reisen, studentische Hilfskräfte und einen Gastwissenschaftler verwendet.

#### **Ziele:**

Zentrales Ziel war die Überarbeitung und Neuformulierung des Ansatzes zur Ableitung von Referenz- und –Zielwerten für die zentralen Wasserqualitäts- bzw. Eutrophierungsparameter Nährstoffe, Chlorophyll, Sichttiefe und Sauerstoff. Diese sollten harmonisiert zwischen den inneren und äußeren (Küsten-)Gewässern der deutschen Ostsee bestimmt werden, die unter die Wasserrahmenrichtlinie bzw. die Meeresstrategierahmenrichtlinie fallen. Der Ansatz sollte somit über die Richtlinien als auch die Parameter hinweg konsistent sein und zusätzlich die Ableitung von maximal-erlaubten Frachten ermöglichen. Entsprechend dem Projektantrag wurde das Vorgehen in die folgenden Teilaufgaben unterteilt:

1. Workshops with major national end-users (UBA, LUNG-MV, LLUR-SH)
2. Milestone: Harmonized water quality indicator thresholds (and maps)
3. Deliverable: Publication on Baltic Sea Action Plan implementation
4. Milestone: Water transparency threshold values (and maps)
5. Milestone: Hypoxia (indicator) maps for the western Baltic
6. Deliverable: Publication: Suggestions towards marine quality indicators

#### **Ergebnisse:**

Es gelang die konsistente und harmonisierte Bestimmung der Wasserqualitätszielwerte über einen Ansatz der Ökosystemmodellierung und aktuelle Messwerte integriert. Die grundlegende Idee ist dabei, dass die heute (gemessene) Wasserqualität mit Hilfe von Modellsimulationen in den Referenzzeitraum projiziert wird. Es zeigte sich, dass die Situation um 1880 gut als Referenzzeit geeignet ist, da eine sehr

gute Wasserqualität vorlag und genügend Informationen für die Rekonstruktion der Nährstofffrachten in die deutsche Ostsee vorlagen. Zur Abstimmung des Vorgehens fanden eine Vielzahl gemeinsamer Workshops und Treffen mit den Endnutzern statt (6 innerhalb der gegründeten UAG, sowie 13 weitere). Die Zielwerte in Bezug auf Chlorophyll a und Nährstoffe wurden während der Projektlaufzeit in das Gesetzgebungsverfahren eingebracht und werden ebenso wie die vorgeschlagene Obergrenze für die deutschen Ostseezuflüsse von 2,6 mg TN/l implementiert werden. Es wurden 2 wissenschaftliche Publikationen erstellt (Schernewski et al., 2015; Friedland & von Weber, 2015), sowie gemeinsam mit den Endnutzern ein umfangreicher Hintergrundbericht (BLANO, 2014). Die einzelnen definierten Aufgaben wurden alle erfüllt:

1. 6 gemeinsame Treffen im Rahmen der BLANO-Unterarbeitsgruppe „Nährstoffreduktionsziele & Eutrophierung Ostsee“
2. Publiziert bei Schernewski et al. (2015) und BLANO (2014)
3. Schernewski et al. (2015)
4. Zielwerte für die Sichttiefe wurden berechnet und in der Fach-AG „Eutrophierung, Nährstoffe und Plankton“ des BLANO am 14.7.2015 vorgestellt, vgl. Abbildung 2.1.25
5. Vorgestellt beim SECOS-Statusseminar am 19.2.2016, vgl. Abbildung 2.1.26
6. BLANO (2014)<sup>8</sup>, sowie Friedland & von Weber (2015)<sup>9</sup>

Zugleich wurden damit die innerhalb des Berichtszeitraumes 1.1.2015-31.3.2016 liegenden Meilensteine 4 und 5 fristgerecht erfüllt, ebenso wie die Publikation Friedland & von Weber (2015)<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2014). Harmonisierte Hintergrund- und Orientierungswerte für Nährstoffe und Chlorophyll-a in den deutschen Küstengewässern der Ostsee sowie Zielfrachten und Zielkonzentrationen für die Einträge über die Gewässer. Konzept zur Ableitung von Nährstoffreduktionszielen nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie, der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, der Helsinki-Konvention und des Göteborg-Protokolls.

<sup>9</sup> **Friedland R** und von Weber M (2015): Wasserqualitäts- und Nährstoffreduktionsziele für die deutsche Ostsee, Wasser und Abfall, 12/2015, 10-1

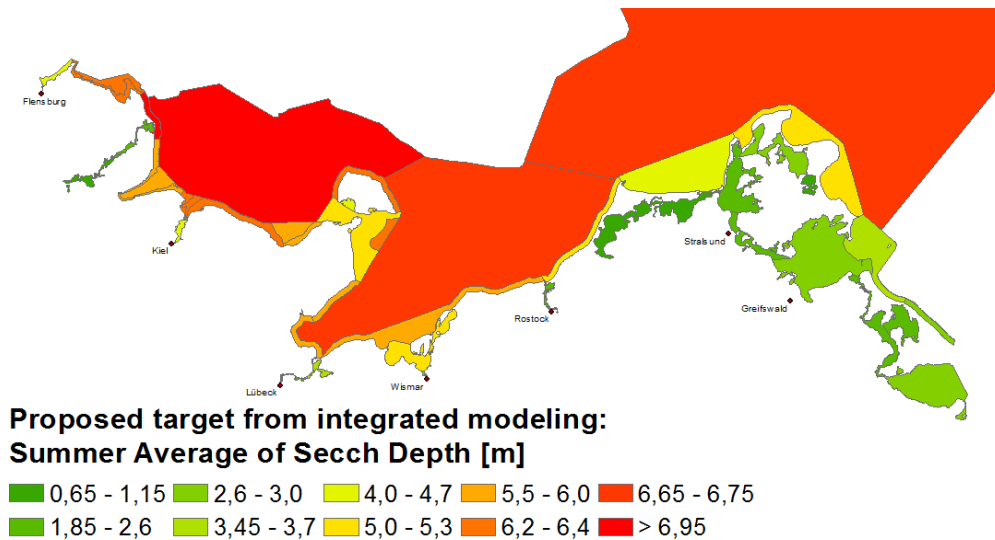


Abbildung 2.1.25. Vorgeschlagener Zielwert für die Sichttiefe (Sommermittel) auf Ebene der Wasserkörper

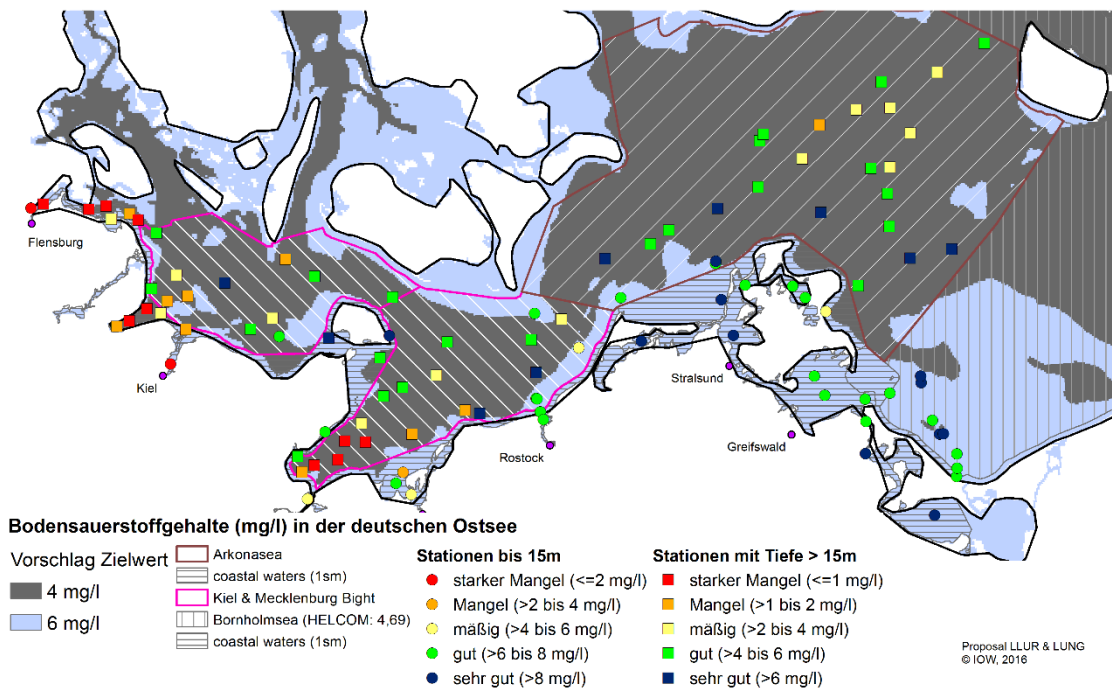


Abbildung 2.1.26. Vorgeschlagener Zielwert für Bodensauerstoff (Jahresminimum) und Bewertung der einzelnen Stationen

### Teilprojekt 4.2 Economic assessment of marine ecosystem services

#### Verwendung der Zuwendung:

- Paper: – Working Paper on framework for monetary valuation of marine ecosystem services and synopsis of existing studies (Monat 12)
- Publication: Economic valuation of sediment burial services (Monat 36)

## **Ziele und Ergebnisse:**

### Task 1: Methodische Grundlagen:

Zur Vorbereitung der durchzuführenden ökonomischen Bewertung wurde im ersten Jahr eine Übersicht zu den methodischen Grundlagen erarbeitet. Dazu wurden einerseits bereits vorliegende Studien gesichtet, andererseits erste Schritte zur Entwicklung des eigenen methodischen Vorgehens zur Bewertung der Sedimentierungsleistung zur dauerhaften Festlegung von Schadstoffgrenzen ermittelt. Die Analyse erfolgte über den Vermeidungskostenansatz. Hierbei wurde ermittelt, zu welchem Kosten die Immission von Schadstoffen in die Ostsee an anderer Stelle alternativ vermieden werden kann. Daraus kann anschließend auf den monetären Wert der Ökosystemleistung „Festlegung von Schadstoffen im Sediment“ geschlossen werden. Die Methodenübersicht zur ökonomischen Bewertung von marinen Ökosystemleistungen wurde im Frühjahr 2014 abgeschlossen und Anfang 2016 in einer weiteren aktualisierten und überarbeiteten Fassung in einer referierten internationalen Fachzeitschrift veröffentlicht.

Die Methodik zur ökonomischen Bewertung von Sedimentierungsleistungen wurde 2014 weiterentwickelt und auf die lokalen Gegebenheiten angepasst. Da bei der systematischen Erfassung der jährlichen Festlegung von Schadstoffen im Sediment relativ viele Unsicherheiten vorliegen, wurde in Absprache mit Projektpartnern aus TP1 entschieden, zum Einstieg in die Koppelung der Zusammenarbeit zwischen der naturwissenschaftlichen Teilprojekte und dem ökonomischen Teilprojekt des IÖW auf historische Mittelwerte aus Sedimentkernen zurückzugreifen. Weiterhin wurden verschiedene Emissionspfade von Schadstoffen identifiziert, Daten zu den Emissionsmengen zusammengetragen und Vermeidungskosten ermittelt. Vorläufige Zusammenstellungen dieser Kosten, sowie erste Projektionen auf den Gesamtwert der Ökosystemleistung „Festlegung von Schadstoffen im Sediment“, wurden in verschiedenen Vorträgen vorgestellt (siehe unten).

### Task 2: Metaanalyse vorliegender Bewertungsstudien zu Ökosystemleistungen im Ostseeraum:

Da seit den 1990er Jahren zahlreiche Bewertungsstudien durchgeführt wurden, wurde als erster Schritt zur Entwicklung einer Bewertungsmethode eine Metaanalyse dieser Studien durchgeführt. Dabei wurden so weit wie möglich alle relevanten Studien gesammelt und tabellarisch erfasst. Die dabei entstandene Tabelle systematisiert die Studien u.a. nach der angewandten Bewertungsmethode, der bewerteten Ökosystemleistung und der untersuchten Region. Insgesamt wurden 112 Studien aufgenommen. Der Großteil der analysierten Studien beschränkt sich auf die Bewertung von Wasserqualität und Eutrophierung und nutzt zur Bewertung die Kontingente Bewertungsmethode und den Vermeidungskostenansatz. Weiterhin wurde der Versuch unternommen, die ermittelten monetären Werte einzelner Studien zu vergleichen. Allerdings hat sich herausgestellt, dass die der Bewertung zugrundeliegenden Annahmen so stark divergieren, dass Vergleiche nur eingeschränkt möglich sind. Es hat sich dabei auch bestätigt, dass eine monetäre Bewertung der Ökosystemleistung „Festlegung von Schadstoffen im Sediment“, wie sie in SECOS vorgesehen ist, bisher noch nicht durchgeführt worden ist und damit im Rahmen des Projektes methodisches und empirisches Neuland betreten wurde.

Die Hauptergebnisse der Analyse sind in der Veröffentlichung:

**Sagebiel J, Schwartz C, Rhozyel M, Rajmis S, Hirschfeld J** (2016): [Economic Valuation of Baltic Marine Ecosystem Services: Blind Spots and Limited Consistency](#). ICES Journal of Marine Sciences 73(4), 991-1003.

sowie im IÖW-Arbeitspapier:



Schwartz C, **Hirschfeld J**, **Sagebiel J** (2014): Zum Stand der Bewertung von Maritimen Ökosystem-leistungen der Ostsee (unveröffentlichtes SECOS-Arbeitspapier, April 2014).

dargestellt.

### Task 3: Kooperation mit den anderen SECOS-Teilprojekten und weiteren KüNO-Projekten:

Neben der Teilnahme an den Projekttreffen fanden auch bilaterale Abstimmungen mit SECOS-Projektpartner bei Besuchen in Warnemünde statt. Bei dem Methodikworkshop der Küstenforschungsprojekte an Nord- und Ostsee (KüNO) zu Ökosystemleistungen am 7. und 8. Oktober 2013 in Warnemünde stellte das IÖW die SECOS-Arbeiten vor und diskutierte mit den anderen Projektkollegen und -kolleginnen die Vorgehensweise zur Abbildung und Bewertung von marinen Ökosystemleistungen.

Die Ergebnisse aus Task 2 wurden auch auf dem KüNO Bewertungstreffen am 6. Juni 2014 im IÖW in Berlin vorgestellt und diskutiert. Dabei ergaben sich interessante Korrespondenzen mit Arbeiten aus dem Projekt BACOSA, die zu einem angeregten Austausch führten. Die Zwischenergebnisse von Task 1 wurden regelmäßig mit Projektpartnern auf Projekttreffen diskutiert. Hinzu kamen bilaterale Gespräche mit TP 1.1 (Thomas Leipe) und TP 4.1 (Gerald Schernewski).

Zur KüNO Summerschool im September 2014 in Lauenburg wurde ein Lehrvortrag zum Thema „Economic assessment of coastal and marine ecosystem services“ beigetragen, der mit den anwesenden 18 internationalen TeilnehmerInnen aus insgesamt sieben Ländern angeregt diskutiert wurde.

Im Zeitraum 01.01.2015 bis 31.03.2016 standen die nachfolgend aufgeführten Arbeiten zu Task 4 im Fokus:

### Task 4 - Monetäre Bewertung der regulierenden Ökosystemleistung Festlegung von Schadstoffen im Sediment:

In Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen aus Arbeitspaket 1 wurde ein Ansatz zur Abschätzung der jährlichen Festlegung von Quecksilber im Sediment entwickelt. In einem nächsten Schritt wurden Kosten zur Vermeidung von Quecksilberemissionen ermittelt, die zur Bewertung der in den letzten Jahrzehnten durchschnittlich im Sediment festgelegten Quecksilbermengen verwendet werden können. Die ökonomische Bewertung der Ökosystemleistung „Festlegung von Schadstoffen im Sediment“ wurde dann in einem nächsten Schritt nach Rücksprache mit dem SECOS-Projektteam und der Projektleitung über Quecksilber hinaus auf die Schadstoffe Stickstoff und Phosphor ausgedehnt und in Zusammenarbeit mit den anderen Arbeitspaketen räumlich differenziert dargestellt. Die ökonomische Bewertung der Ökosystemleistung „Festlegung von Schadstoffen im Sediment“ in Geldwerten macht ihre gesellschaftliche Bedeutung anschaulich und gut vermittelbar. Die Endergebnisse der ökonomischen Bewertung werden in der Schriftenreihe des IÖW und auf der Projektwebsite veröffentlicht.

Darüber hinaus wurden in diesem letzten Berichtszeitraum die Ergebnisse des IÖW-Teilprojektes auf dem internationalen Workshop zur Bewertung mariner Ökosystemleistungen im März 2015 in Kiel, der Jahrestagung Küstenforschung Nord-und Ostsee am 16./17. November 2015 sowie dem SECOS Statusseminar am 18./19. Februar 2016 vorgestellt und diskutiert.

## 2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Projekt SECOS waren die wesentlichen Kosten die Personalkosten. Diese sind in den Arbeitsergebnissen im Teil II, Eingehende Darstellung unter Abschnitt 2.1 bereits dargestellt. Der zahlenmäßige Nachweis wurde separat von den Personalstellen der Projektpartner übermittelt.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

**TP 1.1:** Die durchgeführten Arbeiten im TP 1.1 betrafen überwiegend ein sehr umfangreiches Laborprogramm, welches für die Erreichung der übergeordneten Projektziele unbedingt notwendig war. Dieser hohe Aufwand war gerechtfertigt und von Erfolg gekrönt, da mit dem jetzt vorliegenden geochemischen Atlas der deutschen Ostsee und der dazugehörigen Datenbasis ein einzigartiges Werkzeug zur Verfügung steht. Sedimentgeochemische Daten in solcher Dichte und Komplexität existieren bisher für keinen anderen Ostsee-Anrainerstaat.

**TP 1.2:** Eine vollständige Biotopkarte der deutschen Ostsee entsprechend der Biotoptypen Klassifikation (HELCOM HUB) sowie Karten von Makrozoobenthos-Gemeinschaften für die gesamte Ostsee, Karten quantifizierter Ökosystemfunktionen des Makrozoobenthos und Daten von experimentellen Feldarbeiten werden die Grundlage für die Arbeiten der Endnutzer in den folgenden Jahren sein. Daher war die Arbeit sowohl notwendig als auch in dem geleisteten Umfang angemessen.

**TP 1.3:** Die in diesem Teilprojekt durchgeführten Arbeiten hatten zum Ziel die Sedimentdynamik und deren Einfluss auf Akkumulation und Speicherung von Nähr- und Schadstoffen mit Hilfe sedimentologischer und geochemischer Methoden zu untersuchen. Der Probenumfang (Anzahl der untersuchten Kurzkerne) und die angewandten Methoden wurden im Hinblick auf die Repräsentativität der Ergebnisse dimensioniert und die beantragten Mittel waren daher für die Realisierung des Vorhabens zwingend erforderlich und die geleistete Arbeit entsprechend angemessen.

**TP 2.1:** Im Hinblick auf die Entwicklung eines numerischen Modellsystems zur Beschreibung der Sedimentdynamik in der westlichen Ostsee sind in diesem Teilprojekt wesentliche Vorarbeiten geleistet worden. Eine wichtige Komponente eines solchen Modellsystems ist ein validiertes Modell zur Beschreibung von Oberflächenwellen, welches durch die Arbeiten in TP 2.1 nun zur Verfügung steht. Ein gekoppeltes Turbulenz-Sedimenttransportmodell wurde ebenfalls entwickelt, im Detail getestet und kann nun in ein Gesamtmodellsystem integriert werden. Darüber hinaus steht aus dem Feldprogramm von TP 2.1 nun ein Datensatz zur Modellvalidierung zur Verfügung, der insbesondere durch die Kombination von Turbulenz- und Sedimentdaten einmalig ist. Diese Komponenten sind unverzichtbar zur zuverlässigen Beschreibung der Prozesse in der Westlichen Ostsee. Die projektseitige Finanzierung einer Doktorandin erscheint angemessen in Anbetracht der Spannweite der erzielten Ergebnisse und geleisteten Arbeiten, die von idealisierten Modellrechnungen über die Entwicklung eines ostseeweiten Wellenmodells bis hin zu einem umfangreichen Feldprogramm reichen.

**TP 2.2:** Informationen über Bioturbation können generell zur Ableitung von Ökosystemleistungen genutzt werden, da diese Sedimentdurchmischung die Komposition des Sedimentes und des darüberliegenden Wassers, sowie die Verteilung organischen Materials beeinflusst. Dabei wird die Tiefe der durchmischten Schicht signifikant erhöht und die Residenzzeiten der Partikel in Oberflächensedimenten verlängert. Bioturbation reguliert biogeochemische Prozesse und ist



verantwortlich für die Verteilung von Nahrungsressourcen in den oberen Zentimetern mariner Sedimente. Nährstoffrecycling, benthopelagische Kopplung sowie die permanente Vergrabung oder Mobilisierung von Schadstoffen werden durch die Partikelbewegung stimuliert. Die hohe klein- und breitskalige Variabilität der Bioturbation, welche im Rahmen dieses Teilprojektes ermittelt wurde, resultiert in der Notwendigkeit eines hohen Stichprobenumfangs sowie des Einbeziehens regionaler und geographischer Variabilität in z.B. biogeochemische Modelle, welche als Grundlage für die Ableitung bestimmter Ökosystemleistungen dienen.

**TP 2.3:** Die Mittel sind für Beprobung zahlreiche Expeditionsprobenahmen sowie die analytische Vermessung der erhaltenen Proben verwendet worden und die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

**TP 2.4:** Die Arbeiten sind im Hinblick auf die bereitgestellten Mittel angemessen durchgeführt worden.

**TP 2.5:** Die Arbeiten sind im Verhältnis zu der Fördersumme sehr erfolgreich durchgeführt worden.

**TP 3.1:** Die Entwicklung des Sedimentmodells war notwendig, da ein entsprechendes, in Sediment und Wassersäule dreidimensional aufgelöstes, biogeochemisches Modellsystem, das auf die Ostsee anwendbar wäre, nicht zur Verfügung stand. Der Bedarf an einer prognostischen Modellierung der Sedimentprozesse ist andererseits durch die Anwendung in Zukunftsprojektionen gegeben, in denen die starke und meist statische Parametrisierung von Sedimentprozessen eine erhebliche Unsicherheitsquelle darstellt.

**TP 3.2:** Die Arbeiten zur Codeoptimierung orientierten sich an den Notwendigkeiten der Aufgabe, nämlich zunächst der Analyse und Quantifizierung der Umgebung und der Codestellen und danach der Modifikation der identifizierten Hotspots.

**TP 4.1:** Die neu-vorgeschlagenen Zielwerte stellen eine deutliche Verbesserung gegenüber den ursprünglichen dar und werden die Grundlage für die Arbeiten der Endnutzer in den folgenden Jahren sein, daher war die Arbeit sowohl notwendig als auch in dem geleisteten Umfang angemessen.

**TP 4.2:** Die Erstellung eines methodologischen Rahmens für die monetäre Bewertung mariner Ökosystemleistungen und die Synopse zu vorhandenen Studien und monetären Bewertungsergebnissen stellt sowohl für die wissenschaftliche Diskussion als auch insbesondere für das praktische Management mariner Ökosysteme wichtige Wissensgrundlagen bereit. Mit der monetären Bewertung und der Festlegung zentral relevanter Schadstoffe im Sediment wird eine wichtige Informationsgrundlage für die Weiterentwicklung nachhaltiger Managementstrategien für die Ostsee erarbeitet und eine Lücke in der aktuellen Literatur zu Ökosystemleistungen gefüllt.

## **2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

An den im Projektantrag niedergelegten Zielen der Verwertung hat sich grundsätzlich nichts geändert. Bei dem Projekt SECOS handelt es sich um einen Beitrag zur Grundlagenforschung, bei dem keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bestehen. Ein direkter ökonomischer Nutzen der



erzielten Ergebnisse ist nicht absehbar. Die Verwertung der Ergebnisse der einzelnen Projektpartner ist detailliert in den Erfolgskontrollberichten beschrieben. Derzeit sind keine Erfindungen bzw. Schutzrechtsanmeldungen geplant. Die Verwertungsmöglichkeiten sind entsprechend der Fortschreibung des Verwertungsplans in Tabelle 2.4.1 zusammengefasst. Es ist basierend auf den Ergebnissen der SECOS Projektphase I eine zweite Phase II erfolgreich beantragt worden. Weitere neue Forschungsprojektanträge sind geplant.

Für den in Arbeitspaket 1 aus den Ergebniszuarbeiten sämtlicher SECOS-Teilprojekte erstellten Baltic Sea Atlas als zentrales Projektprodukt von SECOS ist eine Verwendung als wissenschaftliche Planungsgrundlage beim Management von Küstengewässern im Bereich der deutschen Ostsee möglich und vorgesehen. Der Atlas wird dazu potentiellen Endnutzern in den entsprechenden Institutionen (Ämter und Behörden) und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurden und werden die wissenschaftlichen Ergebnisse der Teilprojekte in Publikationen verwertet und auf Fachveranstaltungen vorgestellt.

Im Einzelnen ergibt sich der große Nutzen und die Verwertbarkeit der Ergebnisse des für die Erstellung des Atlas maßgeblich verantwortlichen Teilprojektes [Kartierung und Typologie \(TP 1.1\)](#) aus mehreren Gründen: Natürlich sind alle hier gemessenen Daten geo-referenziert und somit direkt verschneidbar mit anderen regionalen Datensätzen, Modellen und Karten. Für die Regionalplanung ergeben sich Möglichkeiten, stoffliche Charakteristika (einschließlich Schadstoffe) des Meeresbodens der deutschen Ostsee zu berücksichtigen. Die Kartenprodukte aus dem Teilprojekt [Kartierung und Modellierung der Biodiversität und Habitataignung \(TP 1.2\)](#) sind als räumliche Referenzsysteme für die Umsetzung umweltpolitischer Maßnahmen in der deutsche Ostsee geeignet, mit denen die Lebensraumbedingungen am Meeresboden flächenhaft abgebildet sind (auf einer groben Skala). Über die Erstellung eines Atlases von Sediment- und Habitatkarten hinaus, zielten die Arbeiten von Teilprojekt [Deposition und Akkumulation \(TP 1.3\)](#) in diesem Arbeitspaket darauf ab die zeitliche Komponente – und damit die Dynamik der Sedimentation und, daran gekoppelt, die Inventare der Oberflächensedimente zu erfassen.

Innerhalb des zweiten Arbeitspaketes, welches die funktionellen Sedimentleistungen untersuchte, mündete der wissenschaftliche Beitrag des Teilprojektes [Biologische Effekte auf Partikelaustausch an der Sediment-Wasser-Grenzfläche \(TP 2.2, Uni HRO\)](#) zur Grundlagenforschung bereits in mehreren Publikationen. Mit der SECOS-Synthesephase und dem darin untersuchten Flüssigkeitstransport zielt dieses Teilprojekt auf eine umfassendere Beschreibung, Verständnis und evtl. Quantifizierung der durch Tiere verursachten Transportvorgänge am Meeresboden insgesamt. Zu diesem Zweck wird im Anschluss an diese Projekte eine international besetzte Veranstaltung erwogen, die sich mit dem Thema auseinandersetzt. Der wissenschaftliche Nutzen der in [TP 2.1 zur Untersuchung physikalischer Effekte auf Resuspension und Sedimenttransport](#) geleisteten Arbeiten ist unter Abschnitt 2.3 beschrieben. Die Ergebnisse der Untersuchungen zum [Gasaustausch an der Sediment-Wasser-Grenzfläche \(TP 2.4\)](#) werden im Rahmen des Folgeprojektes „SECOS Synthese“ in internationalen Fachzeitschriften publiziert und auf mindestens einer internationalen Konferenz („Ocean Science Meeting“ - ASLO 2018) präsentiert. Die Messdaten sowie die Ergebnisse werden zum Abschluss des Projektes SECOS (z.B. in PANGAEA- Publishing Network for Geoscientific & Environmental Data, IOWDB-Odin) archiviert und stehen damit auch anderen interessierten Wissenschaftlern und der Öffentlichkeit zur Verfügung. Die Publikation der Ergebnisse und die Datenarchivierung werden somit spätestens 3 Jahre nach Projektende von SECOS 1 abgeschlossen sein. Die Ergebnisse fließen weiter

in die Modellierung und Bewertung der Ökosystemdienstleistung der anderen TP des SECOS-Projektes ein.

Die Simulation sedimentärer Ökosystemleistungen und ihrer Änderungen unter verschiedenen externen Einfluss-Szenarien in Arbeitspaket 3 ergab folgende Verwertungsmöglichkeiten: Das im Projekt entwickelte neue **Sedimentmodell (TP 3.1)** wird im Rahmen des Projekts SECOS-Synthese verwendet werden, um die mögliche Sensitivität der Sedimentprozesse und damit mittelbar des Gesamtsystems auf Änderungen verschiedener Parameter zu untersuchen. Die Ergebnisse der Simulationen wurden auch von behördlichen Stellen nachgefragt und z.B. vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern im Rahmen der Gesetzgebung zur Wasserrahmenrichtlinie verwendet. Dem Verwertungsplan folgend, wurde durch das **ZIB (TP 3.2)** kein wirtschaftlicher Nutzen aus den Arbeiten gezogen. Der wissenschaftliche Nutzen besteht in der Publikation von Artikeln und im Anschluss an das Projekt in der Anwendung des vorliegenden **optimierten Modellsystems ERGOM/MOM**, siehe auch Abschnitt 2.6 (Publikationen).

Die in Arbeitspaket 4 erzielten Ergebnisse der Untersuchung von **Ostsee-Qualitätsindikatoren und Ökosystemleistungen** werden wie folgt verwertet: Die in **TP 4.1** entwickelten **Wasserqualitätszielwerte** wurden im Rahmen der WRRL und MSRL national und international (im Rahmen von HELCOM) eingebracht und teilweise implementiert. Die im Teilprojekt entwickelte Obergrenze von 2,6 mg TN/l für die deutschen Ostseezuflüsse wurde in der Oberflächengewässerverordnung implementiert und ist somit die Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen im Einzugsgebiet.

Die in **TP 4.2** durch das **IÖW** erfolgte **ökonomische Bewertung der Ökosystemleistung** „Festlegung von Schadstoffen im Sediment“ in Geldwerten macht ihre gesellschaftliche Bedeutung anschaulich und gut vermittelbar. Die Ergebnisse in Arbeitspaket 4 dienen dazu, nationale und europäische Meerespolitiken in Form eines "Ecosystem Approach to Management" (EAM) in den deutschen Küstenmeeren zu unterstützen. Damit wurden Beiträge zur Unterstützung der nationalen Implementierung der EU-Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) und der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) geliefert. Die Ergebnisse wurden auch international auf Treffen verschiedener Arbeitsgruppen vorgetragen und zur Diskussion gestellt. Sie bilden damit einen Beitrag zur Umsetzung einer gemeinsamen Ostsee-Umweltpolitik mit dem Ziel eines guten Ökosystemzustands. Die Verwertung der vom Projekt bereitgestellten Informationen, Methoden und Ergebnisse liegt in erster Linie im wissenschaftlichen Bereich. Mit dem Vorhaben war kein direkter einzelwirtschaftlicher Nutzen für das IÖW verbunden. Die gute Vernetzung mit Stakeholdern aus Wissenschaft und Praxis, die im Projekt intensiv ausgebaut werden konnte, garantiert hervorragende wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit. Die Ergebnisse wurden in der wissenschaftlichen Diskussion aufgenommen und bieten eine Grundlage für weitere Forschungsansätze zur Bewertung von Ökosystemleistungen.

Tabelle 2.4.1. Liste der Verwertungsmöglichkeiten mit zeitlichem Horizont (nach Verwertungsplan gemäß Nr. 4.2 BNBEST-BMBF98)

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
1	Baltic Sea Atlas (geo-referenzierter Web GIS-Atlas mit Kartenprodukten aus den Teilprojekten)	Erste Version online verfügbar seit 2015, laufende Ergänzungen bis Projektende und während Anschluss-Projekt SECOS-Synthese



Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
		2016–2019
2	Erfolgreiche Projektbeantragung SECOS-Synthese basierend auf Ergebnissen von SECOS	Laufzeit 2016-2019
3	Aufbereitung und Analyse der während der SECOS-Ausfahrten gewonnenen Mess- und Forschungsdaten und Einspeisung in institutseigene (z. IOWDB-Odin) bzw. übergreifende Informationssysteme (z. B. Pangaea), Einspeisung in den Baltic Sea Atlas während SECOS-Synthese	Fortlaufend bis spätestens 3 Jahre nach Projektende SECOS
4	Publikation der Ergebnisse aus den Teilprojekten	Fortlaufend bis 2 Jahre nach Projektende SECOS

## 2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In Hinblick auf die Sediment-Kartierung und Typologie in TP 1.1 ist das Portal „Geopotenzial deutsche Nordsee“ beispielhaft für einen modernen Kartenserver, leider aber noch ohne geochemische Detailinformationen.

Mit der in TP 1.2 vorliegenden Projektstudie liegt erstmals und einzigartig eine Habitat-Karte für den deutschen Ostseeraum vor (Schiele et al. 2015). Außerdem ist die quasi synoptische und allumfassende Darstellung der benthischen Lebensgemeinschaften im gesamten Ostseeraum einschließlich ihrer charakteristischen Arten sowie der Biomasseverteilung originell und erstmalig innerhalb des Projektes (in Zusammenarbeit mit anderen Projekten und Partnern) erstellt worden (Gogina et al. 2016). Kenntnisse über ähnliche Vorhaben bzw. Resultate im Ostseeraum liegen uns nicht vor. Die Analyse von Ökosystemfunktionen auf der Grundlage der dominierenden benthischen Vertreter ist auch in anderen Seegebieten erfolgt. Diese Thematik wird insbesondere in dem von uns angewendeten Modell des Bioturbation-Potentials auch in internationalen Gremien wie der ICES „Benthos Ecology Working Group“ vorgestellt und weiterentwickelt.

In den Teilprojekten 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 2.5 sind im Rahmen der Laufzeit dieses Projektes zu den bearbeiteten Thematiken, soweit uns bekannt, keine weiteren Arbeiten und Erkenntnisse hinzugekommen.

Der fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnisgewinn hat, soweit relevant, bei der Durchführung des Teilprojektes 2.3 Berücksichtigung gefunden und wird bei der weiteren Auswertung Berücksichtigung finden.

Auf dem Arbeitsgebiet von TP 3.1 (Szenariensimulationen und Verbesserung des Sedimentmoduls) wird ein weiteres gekoppeltes biogeochemisches Modell für Wassersäule und Sediment im BONUS-Projekt COCOA entwickelt.

Dem ZIB (TP 3.2, Verbesserung der Modellvorhersagekapazität) sind keine Arbeiten bekannt, die für das Modellsystem ERGOM/MOM die Realisierung von MPI-Task-Platzierung und Vektorisierung beinhalten.

Hinsichtlich der von TP 4.1 bearbeiteten Thematik der Ökosystemqualitätsindikatoren und Zielwerten verfolgt der 2. Dänische Wasseraktionsplan einen vergleichbaren Ansatz, in dem zuerst



Wasserqualitätsziele (über Makrophytenverteilung, Sichttiefe und Gesamtstickstoff) definiert wurden und danach mit Hilfe von Modellen die maximal-erlaubte Stickstofffrachten bestimmt wurden, so dass die Ziele noch eingehalten wurden.

Ergebnisse von dritter Seite wurden im Rahmen der Metastudie im IÖW-Teilprojekt 4.2, Task 2 gesammelt und aufbereitet. Dabei konnten keine vergleichbaren Studien identifiziert werden, die eine solche ökonomische Bewertung von Sedimentierungsleistungen durchgeführt hat, wie sie im SECOS-Projekt vorgesehen war und durchgeführt wurde.

## 2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach BNBest-BMBF 98, Nr. 6

### Im Projekt SECOS entstandene Veröffentlichungen:

#### Bachelorarbeiten / Masterarbeiten

**TP 1.2:** Steiner N (2015) Influence of the sampling strategy on the description of benthic ecosystem functioning. Master Thesis, University of Rostock

**TP 2.1:** Ebner R (2015) Modelling of Surface Waves in the western Baltic Sea. Master Thesis, University of Rostock

**TP 2.2:** Zwicker A (2014) Benthische Fauna und ihre Rolle beim Partikeltransport: eine Untersuchung des Makrozoobenthos im Sublitoral der Mecklenburger Bucht (westliche Ostsee). Masterarbeit, Universität Rostock

Engelmann L (2015) Untersuchungen zum Partikeltransport durch Makrozoobenthos im Sublitoral der Mecklenburger Bucht (westliche Ostsee-Station Stoltera). Bachelorarbeit, Universität Rostock

Schulz P (2015) Die Darstellung bioturbierender Makrofauna in der Ostsee am Beispiel der Oderbank. Bachelorarbeit, Universität Hildesheim

**TP 2.4:** Emmerich A-S (2015) Saisonale Gasflüsse der Sediment-Wasser-Grenzschicht in den Flachwassergebieten der deutschen Ostseeküste. Masterarbeit (April-Dezember 2015)

**TP 4.1:** Grahl H (2015) Modellierung der Lichtverfügbarkeit in der Ostsee. Masterarbeit, Universität Greifswald

**TP 4.2:** Schwartz C (2014) Ökosystemdienstleistungen – ein plausibles Verfahren zur Wertschätzung der Natur? Bachelorarbeit an der Humboldt-Universität zu Berlin.

#### Dissertationen

**TP 1.3: Bunke D.** *Sedimentation processes and accumulation patterns in western Baltic Sea basins.* Dissertation. Ernst Moritz Arndt University of Greifswald (geplante Einreichung: September 2016)

**TP 2.1: Schulz K.** *Mechanisms of sediment transport near sloping topography.* Dissertation. University of Rostock (geplante Einreichung: Oktober 2016)

**TP 2.2: Morys C.** *Partikeldynamik in Sedimenten der westlichen Ostsee.* Dissertation. Universität Rostock (geplante Fertigstellung/Einreichung: Oktober 2016)

**TP 2.3: Lipka M.** *Biogeochemical processes and element fluxes in surface sediments of marginal seas.* Dissertation. Ernst Moritz Arndt University of Greifswald (*geplante Einreichung: September 2016*)

## begutachtete Publikationen

**TP 1.2: Gogina M,** Nygård H, Blomqvist M, Daunys D, Josefson AB, Kotta J, Maximov A, Warzocha J, Yermakov V, Gräwe U, **Zettler ML** (2016): The Baltic Sea scale inventory of benthic faunal communities. *ICES Journal of Marine Science* 73: 1196-1213 doi:10.1093/icesjms/fsv265

Schiele KS, Darr A, **Zettler ML, Friedland R, Tauber F,** von Weber M, Voss J (2015): Biotope map of the German Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 96: 127-135

**Gogina, M., Morys, C., Forster, S.,** Gräwe, U., **Friedland, R., Zettler, M. L.:** Towards benthic ecosystem functioning maps: quantifying bioturbation potential in the German part of the Baltic Sea (*Ecological Indicators, in review*)

**TP 1.3:** Moros, M., Andersen, T.J., Schulz-Bull, D., Häusler, K., **Bunke, D.,** Snowball, I., Kotilainen, A.T., Zillén, L., Jensen, J.B., Kabel, K., Hand, I., **Leipe, T., Arz, H.W.,** Loughheed, B. and Wagner, B. Towards an event stratigraphy for Baltic Sea sediments deposited since AD 1900: approaches and challenges. (*Boreas, in press*)

**TP 2.1: Schulz K** and **Umlauf L:** Residual transport of suspended material by tidal straining near sloping topography. *Journal of Physical Oceanography* 46(7): 2083–2102. Published: July 2016

**TP 2.2: Morys C, Forster S, Graf G:** Variability of bioturbation in various sediment types and on different spatial scales in the Southwestern Baltic Sea (*Marine Ecology Progress Series, in review*)

**TP 2.3:** Reyes C, Dellwig ODähnke K, Gehre M, , Ortega-Nortega B, **Böttcher ME,** Meister P, Friedrich M (2016): Bacterial communities potentially involved in iron cycling in Baltic Sea and North Sea sediments revealed by pyrosequencing. *FEMS Microbiol Ecol.* 92, fiv054

**TP 3.1: Radtke H** and Burchard H (2015): A Positive and Multi-Element Conserving Time Stepping Scheme for Biogeochemical Processes in Marine Ecosystem Models. *Ocean Modelling* 85: 32–41.

**TP 3.2: Wende F,** Noack M, Steinke T, Klemm M, Newburn CJ, Zitzlsberger G (2016): Portable SIMD Performance with OpenMP\* 4.x Compiler Directives, (accepted for presentation). In Euro-Par 2016: Parallel Processing. 22nd International Conference, Grenoble, France, August 22-26, 2016, Proceedings.

**Wende F,** Steinke T, Reinefeld A (2015): The impact of Process Placement and Oversubscription on Application Performance: A Case Study for Exascale Computing, Proceedings of the 3rd International Conference on Exascale Applications and Software, EASC 2015.

**TP 4.1: Schernewski G, Friedland R,** Carstens M, Hirt U, Leujak W, Nausch G, **Neumann T,** Petenati T, Sagert S, Wasmund N, von Weber M (2015): Implementation of European marine policy: New water quality targets for German Baltic water, *Marine Policy*, Volume 51, 305-321.

**TP 4.2: Sagebiel J,** Schwartz C, Rhozyel M, **Rajmis S, Hirschfeld J** (2016): Economic Valuation of Baltic Marine Ecosystem Services: Blind Spots and Limited Consistency. *ICES Journal of Marine Sciences* 73(4), 991-1003.



## Tagungsbeiträge/Vorträge

**TP 1.2:** **Gogina M**, Nygård H, Blomqvist M, Daunys D, Josefson AB, Kotta J, Maximov A, Warzocha J, Yermakov V, Gräwe U, **Zettler ML**. The Baltic Sea scale inventory of benthic faunal communities. ICES ASC 2015, Copenhagen, 21-25 September 2015, Denmark. N:07.

**Gogina M**, Darr A, **Morys C**, **Lipka M**, **Woelfel J**, **Zettler ML**. Quantifying and mapping the potential role of benthic macrofauna in ecological functioning along natural gradients. ASLO Aquatic Sciences Meeting 2015, 22-27 February 2015, Granada, Spain. Abstract ID: 25435.

**Gogina M**, **Zettler M L.**, Blomqvist M, Nygård H, Daunys D, Josefson AB, Kotta J, Yermakov V, Warzocha J, Darr A, Schiele K. Holistic approach to analyze benthic fauna communities on the whole Baltic Sea. IMBER Open Science Conference "Future Oceans" 2014, 23-27 June 2014, Bergen, Norway. Abstract book, p. 354.

**Gogina M**, Darr A, Schiele, K, **Zettler ML**. Matching the benthic biodiversity and habitat suitability to sediment properties. First results for modeling and mapping. BSSC 2013, 26-30 August, Klaipeda, Lithuania. Abstract book, p. 41.

**TP 1.1 und 1.3:** **Bunke, D**, Virtasalo, JJ, **Morys, C**, **Leipe, T**, Moros, M, **Arz, HW**. Possible causes of sediment dynamics and mixing in western Baltic Sea basins. 10th Baltic Sea Science Congress (BSSC 2015), 15.-19.06.2015, Rīga, Latvia

**Bunke, D**, **Leipe, T**, **Tauber, F**, Moros, M, **Arz, HW**. Sedimentäre Leistungen der westlichen Ostsee im Kontext menschlicher Nutzung. 79. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Norddeutscher Geologen (NGT 2015), 26.-29.05.2015, Güstrow, Germany

**TP 2.1:** **Schulz K** and **Umlauf L**. Residual Transport of Suspended Sediment by Tidal Straining near Sloping Topography. Ocean Sciences Meeting, 22 February 2016, New Orleans, Louisiana, U.S.A.

**Schulz K** and **Umlauf L**. Residual Transport of Suspended Sediment by Tidal Straining near Sloping Topography. Physics Seminar, 19 November 2015, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**Schulz K** and **Umlauf L**. Residual Transport of Suspended Sediment by Tidal Straining near Sloping Topography. Warnemünde Turbulence Days, 03 September 2015, Vilm

**Schulz K** and **Umlauf L**. Residual Transport of Suspended Sediment by Tidal Straining near Sloping Topography. ILWAO Seminar, Leibniz-Institute for Atmospheric Research, 10 July 2015, Kühlungsborn, Germany

**Schulz K** and **Umlauf L**. Residual Transport of Suspended Sediment by Tidal Straining near Sloping Topography. Gordon Kenan Research Seminar, 07 June 2015, Biddeford, Maine, USA

**Schulz K** and **Umlauf L**. Wave climate in the Baltic Sea – Theory and numerical modeling. Physics Seminar 18.08.2014, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**Umlauf L** and **Schulz K**. Progress Workpackage 2.1. SECOS Work in progress Seminar, 19.08.2014, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**TP 2.2:** **Morys C**, **Graf G**, **Forster S**. Variability of bioturbation intensity: a concept to explain geographic patterns. 4th Nereis Park Conference 2014, Plymouth, UK

**Forster S** and **Renz J**. Does burrow geometry govern solute exchange by Marenzelleria? 4th Nereis Park Conference 2014, Plymouth, UK



**Schuster A.** Adsorption of Thorium-234 onto particles differing in surface area and surface quality. Ocean Sciences Meeting 2016, 21.-26. February 2016, New Orleans, Louisiana, USA

**Kunz F, Bathmann U.** SECOS: The Service of Sediments in German Coastal Seas – a Spatial, Functional and Monetary Approach. 34th Annual Conference 'Geography of Seas and Coasts' (AMK), April 20 – 23, 2016, Warnemünde, Germany

**TP 2.3: Lipka M and Böttcher ME.** Fluxes across the sediment water interface and transformation rates in surface sediments of marginal seas with special regards to the southern Baltic Sea, IOW Thesis Seminar, July 2014, Warnemünde, Germany

**Lipka M and Böttcher ME.** Fluxes across the sediment water interface and transformation rates in surface sediments of the southern Baltic Sea, IOW FJN Workshop, August 2014, Warnemünde, Germany

**Lipka M and Böttcher ME.** Fluxes across the sediment water interface and transformation rates in surface sediments of the southern Baltic Sea, SECOS Work in Progress Seminar, August 2014, Warnemünde, Germany

**Lipka M and Böttcher ME.** Fluxes across the Sediment Water Interface in German Coastal Surface Sediments, SECOS Status Seminar, November 2014, Warnemünde, Germany

*TP 2.4: Neben der jährlichen Dokumentation der Projektergebnisse auf den SECOS- und KÜNO-Projekttreffen in Warnemünde (SECOS: 08/ & 11/2014; 02/2016; KÜNO: 11/2015), sowie auf anderen hausinternen Treffen (s.u.: weitere Veröffentlichungen/Präsentationen) und vor Kooperationspartnern, wurde das Projekt auf einer internationalen Konferenz präsentiert und diskutiert:*

**Wölfel J, Lipka M, Rehder G.** Seasonal benthic gas and nutrient dynamics at different sediment water interfaces, Western Baltic Sea, 20. Baltic Sea Science Conference (BSSC), 15.06.-19.06.2015, Riga, Latvia

**TP 2.5: Berga M, Bolzman E, Thoms F, Schulz-Vogt H.** SECOS-WP2.5 Microorganisms as drivers for diagenesis and elemental turnover in key sediments. Aug 2014, Warnemünde, Germany

Berga M and **Schulz-Vogt H.** WP 2.5 – Microorganism as drivers for diagenesis and elemental turnover in key sediments, 19.02.2016, SECOS-Status Seminar, Warnemünde, Germany

**TP 3.1: Radtke H.** The code generation tool for biogeochemical models. Modular Coupling Workshop 2013, Sandkrughof, Germany

**Radtke H.** New methods and perspectives of ecosystem modelling at IOW. 12th Polish-German Seminar on Baltic Sea Research, 2014, Ozeanographisches Institut der polnischen Akademie der Wissenschaften, Sopot, Polen

**Radtke H and Neumann T.** Extending the Baltic Sea ecosystem model ERGOM into the sediment - an early diagenetic modelling approach. Modellierworkshop, Baltic Nest Institute, 2015, Stockholm, Schweden

**TP 4.1: Schernewski G, Friedland R, Neumann T.** Einsatz von Modellen in der Praxis: Beispiele und Herausforderungen. Küstenmeerforschung in Nord- und Ostsee (KüNO), Kickoff-Meeting, 29.-30. April 2013, Hamburg, Germany

**Schernewski G.** Klimawandel, Meer und Küste. Radost-Workshop, 23.-24.Mai 2013, TU Hamburg-Harburg, Germany



**Schernewski G, Neumann T, Venohr M.** Integrated modeling and management of river basin – coastal sea systems: A southern Baltic Sea case study. 6th International Conference on Water Resources and Environment Research „Water and Environmental Dynamics“, 3.–7. Juni 2013, Koblenz, Germany

**Schernewski G, Friedland R, Hirt U, Neumann T, Heidecke C.** EU policy implementation in Germany: Baltic Sea water quality. Baltic Sea Science Conference, 26 – 30. August 2013, Klaipeda, Lithuania

**Schernewski G, Friedland R, Stybel N, Neumann T, Venohr M.** Water quality management in coastal lagoons: Future challenges. Baltic Sea Science Conference, 26 – 30. August 2013, Klaipeda, Lithuania

**Schernewski G, Friedland R, Hirt U, Neumann T, Stybel N, Heidecke C.** EU policy implementation in Germany: Water quality. Presentation at the Lithuanian Environmental Protection Agency, 16th September 2013, Vilnius, Lithuania

**Schernewski G, Friedland R, Hirt U, Neumann T.** Integrated modelling and management of river basin-lagoon-sea systems. VI EUROLAG Conference, 16 -19 Dec. 2013, Lecce, Italy

**Friedland R, Schernewski G, Neumann T.** New Simulations of eutrophication scenarios using an improved version of ERGOM. Baltic Sea Science Conference, 26 – 30. August 2013, Klaipeda, Lithuania

**Friedland R, Schernewski G, Neumann T.** Simulations of eutrophication scenarios with and an improved version of ERGOM. 7th Study Conference on BALTEX, 10.-14. June 2013, Borgholm, Sweden

**Friedland R, Schernewski G, Neumann T.** Simulation of the historical ecosystem state as a reference according to the Water Framework Directive, 2nd International Conference on Climate Change - The environmental and socio-economic response in the southern Baltic region, 12. – 15. Mai 2014, Szczecin, Poland

**Friedland R, Schernewski G, Nausch G, Neumann T, Wasmund N, Leujak W, Petenati T, von Weber M, Venohr M, Gadegast M.** Ableitung des ökologischen Referenzzustandes mit einem integrierten Ansatz aus Modellen und Messwerten, Meeresumwelt-Symposium, 3. – 4. Juni 2014, Hamburg, Germany

**Friedland R, Gräwe U, Schernewski G, Neumann T.** Klimawandel und Gewässerqualitätsziele für die Ostsee. RADOST-Abschlusskonferenz, 1 – 2. April 2014, Rostock, Germany

**Schernewski G, Friedland R, Nausch G, Neumann T, Wasmund N, Leujak W, Petenati T, v. Weber M, Venohr M, Gadegast M.** Gewässerqualitätsziele für die deutschen Ostseegewässer, Strategie-Workshop zur Ableitung von Nährstoffreferenz- und Orientierungswerten für die Nordsee, 11.07.2014, BSH, Hamburg, Germany

**Friedland R, Schernewski G, Neumann T.** The good ecological state of the Baltic lagoons – defined by using the historical nutrient loads and achieved with the new BSAP? Littoral 2014, 22-26.09.2014, Klaipeda, Lithuania

**Friedland R, Schernewski G, Nausch G, Neumann T, Wasmund N, Leujak W (UBA), Petenati T (LLUR), von Weber M (LUNG), Venohr M, Gadegast M. (IGB).** New water quality targets for German Baltic waters, SECOS Statusseminar, 6.11.2014, IOW, Warnemünde, Germany

**Friedland R, Neumann T, Schernewski G.** The good ecological state of Baltic lagoons – defined by using historical nutrient loads and achieved with the new BSAP. Baltic Sea Science Conference, 15 – 19. June 2015, Riga, Latvia

**Friedland R, Schernewski G, Neumann T.** Integrated modelling of water quality targets for the south-western Baltic Sea. 18th International Workshop on Physical Processes in Natural Waters, 24 – 28. August 2015, Landau, Germany



**Friedland R, Schernewski G, Neumann T.** Integrated modelling of water quality targets for the south-western Baltic Sea. 17th IWA International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication, 13–18 September 2015, Berlin, Germany

**Schernewski G, Friedland R, Wirtz K, Bathmann U.** Kooperation mit Ämtern und Ministerien am Beispiel Gewässerqualitätsziele. KÜNO-Jahrestagung 2015, 17./18.11.2015, Warnemünde, Germany

**Friedland R, Neumann T, Nausch G, Wasmund N, Schernewski G.** Calculation of water quality targets in the south-western Baltic Sea on the edge of WFD and MSFD. Workshop of the Network of Experts for ReDeveloping Models of the European Marine Environment, 20-21 January 2016, Brussels, Belgium

**Friedland R, Radtke H, Inácio M, Neumann T, Schernewski G.** Secchi depth & bottom oxygen - Modelling & use as water quality indicators, SECOS-Statusseminar, 19.2.2016, Warnemünde, Germany

**Friedland R, Inácio M, Meyers L, Schernewski G, Stybel N.** Water quality in Szczecin Lagoon (past, present, future) – an approach to integrate modelling and observations, Eurolag 7, 1.-4.3.2016, Murcia, Spain

**TP 4.2: Hirschfeld J.** Sozioökonomische Bewertung mariner Ökosystemleistungen am Beispiel der Sedimentierung von Schadstoffen, KüNO-Methodikworkshop, 7. Oktober 2013, Warnemünde, Germany

**Hirschfeld J.** Economic assessment of coastal and marine ecosystem services, Lehrvortrag auf der KüNO Summerschool "Marine benthic habitats - function of sediments and valuation of their services", 18.09.2014, Lauenburg, Germany

**Hirschfeld J.** Economic valuation of marine ecosystem's sedimentation services – the case of mercury, SECOS Statusseminar, 6.11.2014, IOW, Warnemünde, Germany

**Sagebiel J.** Umweltökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen der Ostsee, KüNO Bewertungsworkshop, 6.06.2014, Berlin, Germany

**Sagebiel J.** Umweltökonomische Bewertung der Ökosystemleistung: Dauerhafte Festlegung von Schadstoffen im Sediment, SECOS-Arbeitstreffen, 29.08.2015, Warnemünde, Germany

**Sagebiel J.** Valuing Coastal Ecosystem Services: Results from a Stated Preferences Survey at the German Baltic Sea, Workshop: Coastal Ecosystem Services at the Land-Sea Interface, 23./24.03.2015, Kiel, Germany

**Hirschfeld J.** The Valuation of the Ecosystem Service 'Sedimentation, Workshop: Coastal Ecosystem Services at the Land-Sea Interface, 23./24.03.2015, Kiel, Germany

**Hirschfeld J.** Economic Valuation of Marine Ecosystem's Sedimentation Services, SECOS Statusseminar, 19. Februar 2016, Warnemünde, Germany

**Sagebiel J.** Valuing Coastal Ecosystem Services at the Baltic Sea, 34. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“, 21.04.2016, Warnemünde, Germany

## Tagungsbeiträge/ Poster

**TP 1.2: Gogina M, Morys C, Lipka M, Woelfel J, Zettler ML.** Quantifying and mapping the potential role of benthic fauna in ecological functioning along natural gradients. KÜNO-Jahrestagung 2015, 17.-18.11.2015, IOW Rostock-Warnemünde, Germany



**Gogina M, Berga M, Zettler ML, Schulz-Vogt H.** Biodiversity players in functioning of sediments: macro and micro. FS Diskussion, 17.-18.12.2016, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**TP 1.1 und TP 1.3: Bunke D, Leipe T, Moros M, Arz HW.** Subrecent sedimentation in western Baltic Sea basins. The 12th Colloquium on Baltic Sea Marine Geology (BALTIC 2014), 08.-12.09.2014, Rostock-Warnemünde, Germany

**TP 2.1: Schulz K and Umlauf L.** Transport of Suspended Material near Sloping Topography. Midterm Audit, 16 March 2016, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**Schulz K and Umlauf L.** Resuspension and Sediment Transport Mechanisms in the Western Baltic Sea. SECOS status seminar, 19 February 2016, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**Schulz K and Umlauf L.** Residual Transport of Suspended Sediment by Tidal Straining near Sloping Topography. Gordon Research Conference, 07- 12 June 2015, Biddeford, Maine, USA

**Schulz K and Umlauf L.** Resuspension and Sediment Transport Mechanisms in the Western Baltic Sea. SECOS status seminar, 17 December 2015, Leibniz-Institute for Baltic Sea Research Warnemünde, Germany

**TP 2.2: Morys C, Graf G, Forster S.** Variability of bioturbation intensity: a concept to explain geographic patterns. 4th Nereis Park Conference 2014, Plymouth, UK

**Forster S and Renz J.** Does burrow geometry govern solute exchange by *Marenzelleria*? 4th Nereis Park Conference 2014, Plymouth, UK

**A. Schuster.** Adsorption of Thorium-234 onto particles differing in surface area and surface quality. Ocean Sciences Meeting 2016, 21.-26. February 2016, New Orleans, Louisiana, USA

**Kunz F, Bathmann U.** The Service of Sediments in German Coastal Seas – Ökosystemleistungen und Bewertung der Ostseesedimente. Symposium of the Science Campus Phosphorus Research, 10 March 2016, Rostock, Germany

**TP 2.3: Lipka M,** Wegwerth A, Dellwig O, Al-Raei A, Schoster F, **Böttcher ME.** Element transformation rates and fluxes across the sediment-water interface of the Baltic Sea, EGU General Assembly, April/May 2014, Vienna, Austria

**Lipka M,** Wegwerth A, Dellwig O, Al-Raei A, Schoster F, **Böttcher ME.** Element transformation rates and fluxes across the sediment-water interface of the Baltic Sea, BALTIC 2014, September 2014, Warnemünde, Germany

**Lipka M,** Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, Winde V, Al-Raei A, Schoster F, **Böttcher ME.** Element transformation rates and fluxes across the sediment-water interface of the Baltic Sea, 2015 Aquatic Sciences Meeting, February 2015, Granada, Spain

**Lipka M,** Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, Winde V, Al-Raei A, Schoster F, **BöttcherME.** Fluxes and transformation rates in surface sediments of the Baltic Sea, Science Campus Phosphorus Research, February 2015, Rostock, Germany

**Lipka M,** Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, Winde V, **Böttcher ME.** Carbon transformation and the sources of dissolved inorganic carbon in sediments of a temperate coastal sea, the Baltic Sea: A stable isotope and modelling approach, European Geosciences Union General Assembly, April 2015, Vienna, Austria



**Lipka M**, Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, Winde V, **Böttcher ME**. Element transformation rates and fluxes across the sediment-water interface in the Baltic Sea, 55th Conference of Estuarine Coastal Sciences Association, September 2015, London, UK

**Lipka M**, Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, Winde V, **Böttcher ME**. Element transformation rates and fluxes across the sediment-water interface in the Baltic Sea: A stable isotope and modelling approach, Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Stabile Isotope e.V., September 2015, Heidelberg, Germany

**Lipka M**, Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, Schoster F, **Böttcher ME**. Fluxes and transformation rates in surface sediments of the Baltic Sea, Symposium of the ScienceCampus Phosphorus Research, Rostock, Germany

**Lipka M**, Liu B, Wegwerth A, Dellwig O, **Böttcher ME**. Benthische Elementflüsse in der Ostsee, Department Maritime Systems evaluation, March 2016, Rostock, Germany

**TP 2.4: Woelfel J, Lipka M, Rehder G**: W.P 2.4 Benthic gas dynamics in different sediment water interfaces. SECOS-Statusseminar, 19.02.2016, Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde

**TP 2.5: Gogina M**, Berga M, **Zettler ML, Schulz-Vogt H**. SECOS (BMBF) WP 1.2 und 2.5 – Biodiversity players in functioning of sediments: macro and micro, Dezember 2014, Forschungsdiskussion, Warnemünde, Germany

**TP 3.1: Radtke H, Neumann, T, Friedland R**. Extending the ecosystem model ERGOM across the sediment-water interface. Baltic Sea Science Conference 2015, Riga, Latvia

**TP 4.1: Friedland R**, Hirt U, Mischke U, Nausch G, **Neumann T, Radtke H, Schernewski G**, Venohr M, Wasmund N. Historical conditions as basis for WFD values – a combined method of integrated modeling and measurements, Baltic Sea Science Congress, 26.-30.08.2013, Klaipeda, Lithuania

**Friedland R, Schernewski G, Neumann T**. Which water quality is reachable with the load reductions of the new BSAP? Science Campus Phosphorus Research Symposium, 02.03.2015, Warnemünde, Germany

**Friedland R**, Grahl X, Inacio M, **Neumann T, Radtke H, Schernewski G**, Siegel H. Using Secchi Depth as water quality indicator of coastal waters. Baltic Sea Science Conference, 15 – 19. June 2015, Riga, Latvia

## weitere Veröffentlichungen / Präsentationen

**TP 1.1: Leipe T, Naumann T, Tauber F, Radtke H**: Geochemical mapping of German Baltic Sea sediments and relevance to ecosystem functioning. (*in Vorbereitung, s. pdf-Datei im Anhang*)

**TP 1.2: Gogina et al.**: Towards a benthic ecosystem functioning maps: quantifying bioturbation potential of the German Baltic Sea. (*in preparation*)

**TP 1.3: Bunke D**, Virtasalo JJ, **Leipe T**, Moros M, **Arz HW**: Sediment dynamics and mixing in western Baltic Sea basins (*in preparation*)

**Bunke D, Leipe T**, Moros M, **Arz HW**: Veröffentlichung zu Nähr- und Schadstoff-Inventaren in den westlichen Ostseebecken (*geplant*)

**TP 2.1: Schulz K and Umlauf L**: Near-bottom turbulence and Resuspension in the Western Baltic Sea. (*in preparation*)

**TP 2.2: Morys C, Powilleit M, Forster S:** Bioturbation in relation to the depth distribution of macrozoobenthos in the Southern Baltic Sea. (*submitted to Marine Ecology Progress Series*)

**Kunz F, Bathmann U:** The service of sediments in German coastal seas – SECOS. Scientific Advisory Council Meeting of the Department Maritime Systems, 21 March 2016, Rostock, Germany (poster presentation)

**Kunz F, Bathmann U:** The service of sediments in German coastal seas – a spatial, functional and monetary approach by the SECOS project. (in preparation; accepted oral presentation at Estuarine Coastal Sciences Association - ECSA 56 Conference, 4.-7.09.2016, Bremen, Germany)

**Kunz F, Hiller A, Lipka M, Böttcher ME, Schernewski G, Bathmann U:** Phosphorus-related services of sediments in German coastal seas – Aspects of the SECOS project. (in preparation; accepted poster presentation at 8<sup>th</sup> International Phosphorus Workshop (IPW8), September 12–16, 2016, Rostock, Germany)

**TP 2.3: Reyes C, Schneider D, Lipka M, Daniel R, Böttcher ME:** Nitrogen metabolism genes in Skagerrak and Bothnian Bay sediments. (*submitted 5-2016*)

**Lipka M, Bunke D, Liu B, Schmiedinger I, Böttcher ME:** Controls of element fluxes from surface sediments in the southern Baltic Sea: the role of sediment properties and season. (*planned 2-2017*)

**Lipka M and Böttcher ME:** Bonding environment of trace elements and phosphorus in surface sediments of the southern Baltic Sea and its impact by sediment resuspension. (*planned 9-2017*)

**Lipka M, Böttcher ME, Schmiedinger I, Al-Raei AM:** Release of isotopically light biogenic DIC from oxic and anoxic surface sediments of marginal seas. (*planned 12-2016*)

**Lipka M, Böttcher ME, Kallmeyer J:** Organic matter mineralization by microbial sulfate reduction in surface sediments of the southern Baltic Sea. (*planned 4-2017*)

**Lipka M, Wegwerth A, Winde V, Dellwig O, Böttcher ME:** P and Mn fluxes from Baltic Sea surface sediments. (*planned 5-2017*)

**Lipka M, Wölfel J, Rehder G, Böttcher ME:** Element release from surface sediments in the southern Baltic Sea: a comparison of in-situ and ex-situ methods. (*planned 12-2017*)

Liu B, **Lipka M, Schmiedinger I, Böttcher ME:**  $\text{DI}^{13\text{C}}$  traces organic matter mineralization and solute transport in surface sediments. (*planned 9-2016*)

Liu B, **Lipka M, Schmiedinger I, Böttcher ME:** Impact of sediment resuspension events on  $\text{DI}^{13\text{C}}$  in brackish-marine surface sediments. (*planned 4-2017*)

**TP 2.4: Woelfel J:** Seasonal benthic gas and nutrient dynamics at different sediment water interfaces, Western Baltic Sea. Vortrag vor internationalen Wissenschaftlern der Schiffsreise POS487 (u.a. Kooperationspartner Dr. Stefan Sommer), 7.08.2015, POS487

**Woelfel J:** 20.000 mm unter dem Meer – Neues Landersystem mit benthischer Kammer am IOW. Vortrag, Kolloquium der Messtechnik des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung, 13.05.2015, Warnemünde

**Woelfel J:** Benthic gas and nutrient dynamics at different sediment water interfaces. Vortrag, Post-Doc-Treffen des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung, 15.03.2015, BSH Rostock

**Woelfel J:** Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren – Bewertung der Funktion mariner benthischer Systeme im Kontext menschlicher Nutzung – „Dienstleistungen“ der Ostsee. Vortrag, Sektionsseminar der „Meereschemie“ des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung, 29.08.2014, Warnemünde

**Woelfel J, Gogina M, Zettler ML, Rehder G:** Benthic *in situ* oxygen uptake at shallow water areas of the Baltic Sea in relation to different abiotic and biotic parameters (planned/in preparation, for “Journal of Marine Systems”)

**Lipka M, Woelfel J, Rehder G, Boettcher ME:** Seasonal nutrient- and gas exchange across the sediment–water interface in shallow water areas of the Southern Baltic Sea (planned/in preparation, for “Journal: Estuarine, Coastal and Shelf Science”)

**TP 3.1: Radtke H, Lipka M, Böttcher ME, Bunke D, Leipe T, Morys C, Woelfel J, Friedland R, Neumann T:** Combining early diagenetic and marine ecosystem models – on the importance of an advanced sediment representation (in preparation, for: “Ocean Modelling”)

**TP 3.2: Wende F:** SIMD Vectorization in MOM5/ERGOM, IOW-Application Modelling Seminar 11.5. 2015, Warnemünde

**TP 4.1:** Bund/Länder-Ausschuss Nord- und Ostsee (BLANO) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [Hrsg.] (2014). Harmonisierte Hintergrund- und Orientierungswerte für Nährstoffe und Chlorophyll-a in den deutschen Küstengewässern der Ostsee sowie Zielfrachten und Zielkonzentrationen für die Einträge über die Gewässer. Konzept zur Ableitung von Nährstoffreduktionszielen nach den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie, der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie, der Helsinki-Konvention und des Göteborg-Protokolls. Download: <http://www.meeresschutz.info/index.php/sonstige-berichte.html>

**Friedland R** and von Weber M (2015): Wasserqualitäts- und Nährstoffreduktionsziele für die deutsche Ostsee, Wasser und Abfall, 12/2015, 10-1

**TP 4.2:** IÖW Schriftenreihe zu Vermeidungskosten von Schad- und Nährstoffen in der deutschen Ostsee (2016, in Vorbereitung).

Economic valuation of sediment burial services (Deliverable, Monat 36; in Vorbereitung, erscheint 2016).





### **III. Anhang**

— Manuskript als separate Anlage beim Projektträger —

## Berichtsblatt BMBF-Fkz 03F0666 SECOS

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht des Verbundprojektes SECOS: Die Leistung der Sedimente in deutschen Küstenmeeren – Bewertung der Funktion mariner benthischer Systeme im Kontext menschlicher Nutzung – Dienstleistungen der Ostsee (SECOS)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Prof. Dr. Helge Arz, Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Prof. Dr. Michael Böttcher, Dr. Eva-Maria Brodte, Dennis Bunke, PD Dr. Stefan Forster, Dr. René Friedland, Dr. Mayya Gogina, Prof. Dr. Gerhard Graf, Dr. Jesko Hirschfeld, Dr. Friederike Kunz, Dr. Matthias Läuter, Dr. Thomas Leipe, Marko Lipka, Claudia Morys, Dr. Thomas Neumann, Dr. Hagen Radtke, Sandra Rajmis, Prof. Dr. Gregor Rehder, Julian Sagebiel, Prof. Dr. Gerald Schernewski, Kirstin Schulz, Prof. Dr. Heide Schulz-Vogt, Dr. Franz Tauber, PD Dr. Lars Umlauf, Florian Wende, Dr. Jana Wölfel, Dr. Michael Zettler	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2016
	6. Veröffentlichungsdatum August.2016
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), Seestr. 15, 18119 Rostock, Department Maritime Systeme der Universität Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Potsdamer Strasse 105, 10785 Berlin, Zuse-Institute Berlin (ZIB), Takustrasse 7, 14195 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03F0666
	11. Seitenzahl 108
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 222
	14. Tabellen 10
	15. Abbildungen 28
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Dr. Sigrid Sagert, Rostock, August 2016	
18. Kurzfassung Sedimente stellen in Küsten- und Randmeeren den Hauptort für die Ablagerung und Modifikation eingebrachter Stoffe dar. Die Leistung der Sedimente wurde bislang jedoch ungenügend erforscht und bewertet. Im Projekt SECOS wurde daher die Leistung der Sedimente in den äußeren Küstengewässern der deutschen Ostsee untersucht. Die Ergebnisse der Charakterisierung von Sedimenteigenschaften und –funktionen wurden in Form digitaler Karten in den Baltic Sea Atlas eingespeist. Dieser funktionale georeferenzierte Sedimentatlas der Küstengewässer ist eine Internetanwendung und liefert eine wissenschaftliche Grundlage für ein nachhaltiges Küstenzonenmanagement und für die Umsetzung der nationalen und internationalen Küsten- und Meeresschutzpolitiken.	
19. Schlagwörter Ostsee, Baltic Sea Atlas, Sedimentleistungen, Ökosystemleistungen, Qualitätsindikatoren, monetäre Bewertung	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet BMBF-Fkz 03F0666 SECOS

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title  SECOS – The <u>service</u> of sediments in German <u>coastal</u> <u>seas</u> – evaluating the function of marine benthic systems in the context of human use – Service functions of the Baltic Sea	
4. author(s) (family name, first name(s))  Prof. Dr. Helge Arz, Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Prof. Dr. Michael Böttcher, Dr. Eva-Maria Brodte, Dennis Bunke, PD Dr. Stefan Forster, Dr. René Friedland, Dr. Mayya Gogina, Prof. Dr. Gerhard Graf, Dr. Jesko Hirschfeld, Dr. Friederike Kunz, Dr. Matthias Läuter, Dr. Thomas Leipe, Marko Lipka, Claudia Morys, Dr. Thomas Neumann, Dr. Hagen Radtke, Sandra Rajmis, Prof. Dr. Gregor Rehder, Julian Sagebiel, Prof. Dr. Gerald Schernewski, Kirstin Schulz, Prof. Dr. Heide Schulz-Vogt, Dr. Franz Tauber, PD Dr. Lars Umlauf, Florian Wende, Dr. Jana Wölfel, Dr. Michael Zettler	5. end of project 31.03.2016  6. publication date August 2016  7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde (IOW), Seestrasse 15, 18119 Rostock, Department Maritime Systems of Rostock University, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Potsdamer Strasse 105, 10785 Berlin, Zuse-Institute Berlin (ZIB), Takustrasse 7, 14195 Berlin	9. originator's report no.  10. reference no. 03F0666  11. no. of pages 108
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 222  14. no. of tables 10  15. no. of figures 28
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich, Dr. Sigrid Sagert, Rostock, August 2016	
18. abstract  Though sediments represent the main site of the accumulation and modification of material deposited into coastal and marginal seas, the service of sediments has been only insufficiently addressed and valued so far. Within the SECOS project the service of sediments in the outer German Baltic was investigated. The results of the characterisation of sedimentary properties and functions were transferred into the Baltic Sea Atlas as digital maps and shape files. This functional geo-referenced sediment atlas of coastal waters represents an internet application and provides a scientific basis for a sustainable coastal zone management and implementation of national and international coastal and marine protection policies.	
19. keywords Baltic Sea, Baltic Sea Atlas, Sedimentary Services, Ecosystem Services, Quality Indicators, Monetary Valuation	
20. publisher	21. price