

## **Abschlußbericht für das BMBF-Projekt: BALTIC GAS – IOW (TP2)**

**Zuwendungsempfänger:** Institut für Ostseeforschung, Seestr. 15, 18119

Warnemünde, PI : Prof. Dr. Gregor Rehder

**Förderkennzeichen:** 03F0488B

**Vorhabenbezeichnung:** ERANET BONUS Verbundprojekt BALTIC GAS – Methanemission in der Ostsee: Gasspeicherung und Auswirkungen des Klimawandels und der Eutrophierung, Vorhaben TP2

**Laufzeit des Vorhabens:** 1.1.2009 – 31.12.2011

### **I. Kurze Darstellung zu**

#### **1. Aufgabenstellung**

Das Projektvorhaben umfasst die Arbeiten des Partners IOW zum ERANET BONUS Projektvorhaben BALTIC GAS (koordiniert durch Prof. Dr. Bo Baker Jørgensen, CfG, Aarhus).

BALTIC GAS hatte die Zielsetzung, den rezenten Methankreislauf in der Ostsee zu untersuchen. Hierdurch sollte das Verständnis vertieft werden, inwieweit Klimaveränderung und Eutrophierung auf die Akkumulation von Flachgasvorkommen und die Emission von Methan und Schwefelwasserstoff vom Meeresboden in die Atmosphäre und in die Wassersäule Einfluss haben. Zur Beantwortung dieser übergeordneten Fragestellung wurde den folgenden Einzelzielen nachgegangen:

- Quantifizierung und Kartierung von Methanverteilung und Flüssen
- Analyse der Kontrollmechanismen von in diesem Zusammenhang wichtigen biogeochemischen Prozessen
- Integration der seismo-akustischen Kartierungen mit geochemischen und geophysikalischen Profilen
- Modellierung der Dynamik des Methankreislaufs der Ostsee in der Vergangenheit (Holozän), der Gegenwart, und für ausgewählte Zukunftsszenarien.
- Identifizierung von potentiellen „Hot-Spots“ für Gasvorkommen und Regionen erhöhten Risikos für Gasfreisetzung.

Das IOW war in eine Vielzahl dieser Aktivitäten involviert. Die Schwerpunkte lagen hierbei auf

- der Aufarbeitung alter und Gewinnung neuer seismo-akustischer Daten zur Kartierung und Quantifizierung der Flachgasvorkommen in der Ostsee
- der Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften von Sedimenten in Bereichen mit Gasvorkommen und ohne Gasvorkommen

- der Findung von Gasaustritten in die Wassersäule aufgrund von Literaturrecherche und Untersuchung mit Hilfe von akustischen oder meereschemischen Methoden
- der Quantifizierung des Methanaustritts in die Atmosphäre sowie Bestimmung der Mechanismen, die die Stärke und Saisonalität dieser Austritte umfassen.

Gantt chart B: Responsibilities of each consortium participant	Participants											
	CiG	NERIMAR	GEUS	GeoB	MPIMM	AWI	IOW	IOPAS	INMI RAS	IGG	LU	DESJU
<b>WP 1: Project management, coordination and dissemination</b>	WP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>T 1.1: Management and dissemination</i>	TR	X										
1.1.1: Coordination scientific Reports (R)	X	X										
1.1.2: Organizing Workshops (W) or Meetings (M)	X	X										
1.1.3: Establishment of project home-page	X	X										
<i>T 1.2: Submission of data to common database</i>	X	TR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>T 1.3: Research Cruises</i>	X	TR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.3.1: Identification of target sites	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1.3.2: GIS based maps of target areas			X			X						
1.3.3: Organizing two weeks cruises	X	X					X	X	X			
<i>T 1.4: Ph.D-training program</i>	X	X		TR								
<b>WP 2: Data mining and GIS-mapping</b>			WP	X		X	X	X	X		X	
<i>T 2.1: Data mining</i>			TR	X		X	X	X	X		X	
2.1.1: Searching Baltic Sea methane data in national data-bases			X	X		X	X	X	X		X	
2.1.2: Compiling data in a common database			X	X		X	X	X	X		X	
<i>T 2.2: GIS-mapping</i>			X			TR						
2.2.1: Mapping of mined data			X			X						
2.2.2: Mapping methane flux and distribution in sediments			X			X						
2.2.3: Mapping hot-spots of present and future CH <sub>4</sub> -emission			X			X						
<b>WP 3: Gas and seismo-acoustic mapping</b>			X	X			WP	X	X	X	X	X
<i>T 3.1: Mapping and quantification of shallow gas by seismo-acoustic techniques</i>			TR	X			X	X	X			
<i>T 3.2: Physical characterization of gas-bearing sediments</i>			X	X			TR	X	X			
<i>T 3.3: Assessment of sites of sediment weakness for recent and future gas ebullition using multidisciplinary seismo-acoustic and sediment property data</i>			X				TR	X	X		X	X
<i>T 3.4: Detection and monitoring of gas bubble propagation through the water column and into the atmosphere in key regions of the Baltic</i>							TR		X	X		
<b>WP 4: Biogeochemistry</b>	X	X			WP	X	X	X	X	X	X	X
<i>T 4.1: Methane distribution and geochemical in situ gradients</i>	X	X			TR	X			X	X		
4.1.1: Sulfur biogeochemistry	X	X			X				X	X		
4.1.2: Methane biogeochemistry	X	X			X	X			X	X		
<i>T 4.2: Gas emission across sediment-water and sea-air interface</i>	X	X			X		X			TR		
4.2.1: Methane flux and ebullition measurements							X			X		
4.2.2: Hydrogen sulphide flux	X	X			X					X		
4.2.2: Water column methane and ferry box surface methane measurements							X					
<i>T 4.3: Methane and key biogeochemical processes</i>	TR	X			X		X	X	X	X	X	X
4.3.1: Quantify production and breakdown of methane	X	X			X					X		
4.3.2: Analyze controls on relevant key geochemical processes	X	X			X		X	X	X	X	X	X
4.3.3: CH <sub>4</sub> and H <sub>2</sub> S oxidation coupled to water column oxygen consumption	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<i>T 4.4: Holocene evolution of the Baltic ecosystem</i>											TR	
<b>WP 5: Modelling and data integration</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	WP
<i>T 5.1: Modelling methane and sulfur dynamics</i>												TR
5.1.1: transport-reaction models												X
5.1.2: Predictive models (i.e. climate change scenarios)												X
<i>T 5.2: GIS-modelling</i>			X			TR						
<i>T 5.2: Integrating gas, acoustics and biogeochemistry</i>	TR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**Abb. 1:** Gantt Chart der Verantwortlichkeiten der Partner im Projekt BALTIC GAS (aus Gesamtantrag)

Das IOW war hierbei für die Bestimmung der geophysikalischen Parameter des Sediments faktisch allein verantwortlich. Die Bestückung der Fährlinie mit Sensoren zur kontinuierlichen Messung von Methan im Oberflächenwasser war das Kernstück der Bestimmung der Quantifizierung des Methanflusses durch die Wasser-Luft Grenzfläche. Das IOW war an allen Arbeitspaketen (work packages, WP) beteiligt, verantwortlich für die Teilprojektkoordination des WP 3, sowie für eine Vielzahl der in diesem WP definierten Deliverables (siehe Fig. 1, Gant Chart des Originalantrags.)

## **2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Das Projekt wurde am IOW im Wesentlichen durch die beteiligten PIs des IOW (Prof. Dr. Gregor Rehder, Dr. Rudolf Endler) sowie die projektangestellten Wissenschaftler und Techniker (Dr. Jens Schneider von Deimling, Dipl. Geoökol. Wanda Gülzow, Dipl. Ing. Sascha Plewe) durchgeführt. Das Projekt lag hierbei im Kern der Expertise der PIs, wodurch auf eine vollständig existierenden Infrastruktur zur Durchführung der Arbeiten zurückgegriffen werden konnte, bzw. Berufungsmittel (Rehder) zur Schaffung der Infrastruktur für dieses Projekt vorgesehen wurden. Hierzu zählen

- alle für die Meersboden- und Wassersäulenbeprobung erforderlichen Geräte (diverse Kernprobennehmer, CTD/Rosette)
- eine Vielzahl geoakustischer Systeme zur Messung der sedimentakustischen Eigenschaften (Parametrisches Sedimentecholot Ses96, Multi-Frequenz Echolot MFE2000, Sparker Flachseismik Profiles, Atlas Parasound System PD70, Sediment-Kern-Logger).
- alle analytischen Apparaturen und Geräte zur Bestimmung der Methankonzentration in Seewasser sowie der Bestimmung der stabilen Kohlenstoffisotopie (GC, Vakuum-Entgasungsanlage, GC-combustion-IRMS)
- eine etablierte Plattform zur kontinuierlichen Messung des Partialdrucks von Kohlendioxid, die im Rahmen des Projekts um die Messung von Methan erweitert werden sollte (Installation auf der „Finnmaid“).

## **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Das Vorhaben wurde direkt mit Projektbeginn begonnen, weil auch das Personal weitgehend bereits gefunden war. Eine große Menge von Daten war bereits vorhanden, dies gilt insbesondere für die sedimentakustischen Daten, aber auch für einen Datensatz der Methanverteilung in der Wassersäule in allen größeren Becken, der im Jahre 2008 bereits gewonnen wurde. Im Vorfeld des Projektes war bereits von Seiten des IOW die Einwerbung von Schiffszeit für das Projekt erfolgt. Dies umfasste die Fahrten:

- RV Professor Albrecht Penck PAP0903, 21. bis 29. Januar 2009 (PI Endler)

- RV Poseidon P392, 29. November bis 17. Dezember 2009 (PI Endler)
- RV Maria S. Merian MSM 16/1, 31. Juli bis 22. August 2010 (PI Rehder)

Neben der Organisation und Auswertung dieser Fahrten wurden unter Beteiligung der am Projekt involvierten Wissenschaftler der Datensatz der MSM 8/3 (2008) ausgewertet und publiziert (Schmale et al., 2010).

Mit der Beschaffung eines Sensors zur kontinuierlichen Messung von Methan und der Planung der Erweiterung der Peripherie und Software auf dem Fährschiff Finnmaid wurde bereits einige Monate vor Projektbeginn begonnen. Die Implementierung eines Systems zur kontinuierlichen Messung von Methan und CO<sub>2</sub> mit Hilfe eines integrated cavity output Infrarotspektrometers und die Auswertung der ersten so erhobenen Datensätze stellen das Kernstück der Dissertation von Wanda Gülzow dar, die im Rahmen von BALTIC GAS erfolgte.

Für die Untersuchungen temporärer Änderungen der Methanverteilungen in den Becken mit variierenden Redoxverhältnissen (Arkona Becken, Bornholm Becken) wurde zur Probennahme zusätzlich auf das Monitoring-Programm zurückgegriffen. Hierzu war die Verwendung unterschiedlicher Messverfahren erforderlich. Untersuchung der Kompatibilität der Methodiken sowie eine Evaluierung der Messmethoden für die Bestimmung von Methan, die in anderen Arbeitsgruppen innerhalb von BALTIC GAS verwendet wurden, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit ausgekoppelt.

Durch Teilnahme an allen halbjährigen Treffen des BALTIC GAS Konsortiums wurde eine gute Einbettung / Vernetzung in die Aktivitäten des Gesamtprojekts erreicht.

Alle Deliverables des Projekts, für das das IOW gegenüber dem EEIG verantwortlich war, wurden fristgerecht übergeben und die entsprechenden Highlights für den Abschlussbericht des Gesamtprojekts wurden erstellt.

#### **4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

Der wissenschaftliche Stand vor Beginn des Projekts ist im Leitantrag eingehend beschrieben. Daher sei hier vor allem in den Bereichen auf den technischen „State of the art“ hingewiesen, in denen im Rahmen des Projekts technische Innovationen erfolgten.

Die Messung von Spurengasen auf kommerziellen Fährschiffen war bislang nur für CO<sub>2</sub> realisiert, weil hier die Messung IR-spektroskopisch möglich war unter kompletter Rückführung des gemessenen Gases (i.e. Koertzinger et al., 1996). Für andere Klimagase bestand bislang nur die Möglichkeit der Messung unter Verbrauch der zu messenden Komponente, in der Regel unter gaschromatographischer

Detektion (Bange et al., 1994, Rehder et al., 2001). In jüngerer Zeit wurden mit der off axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS, realisiert durch Los Gatos Ltd.) und durch die cavity ringdown spectroscopy (CRDS, realisiert durch Picarro) zwei konkurrierende Verfahren zur Messung von Spurengasen aus natürlicher Luft zur Marktreife gebracht, die schon vielfach Anwendung in der Atmosphärenforschung gefunden haben. Dies war der Ausgangspunkt für die Konzeption einer kontinuierlichen Messung von Methan auf einem kommerziellen Fährschiff, die an das bereits etablierte System des IOW auf einer Fährlinie von Lübeck nach Helsinki etabliert wurde.

Der akustische Nachweis von Gasblasen in der Wassersäule ist mit Single-Beam Verfahren lange bekannt und etabliert. Relativ neu ist die Erfassung der Wassersäulendaten von Fächerecholoten, die normalerweise aufgrund der erforderlichen Datenreduktion verworfen wurde, zur Erkennung von Gas-Flares (Schneider von Deimling et al., 2007). In Zusammenarbeit mit der Fa. Elac Nautik wurde im Rahmen unserer Arbeiten zu BALTIC GAS ein Prototyp mit Option der Datenerfassung im WCI-Mode (water column imaging) eingesetzt und getestet. Die durch den Projekt-PostDoc Dr. Jens Schneider von Deimling mitgebrachte und weiter entwickelte Expertise hat maßgeblichen Einfluss z.B. auf die Wahl des neuen Fächerecholots des IOW-Forschungsschiffes FS Elisabeth Mann Borgese gehabt.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Die Arbeiten erfolgten in dem international zusammengesetzten ERANET Projekt BALTIC GAS, mit insgesamt zwölf Partnern aus sechs Ländern. Hierbei wurde und wird insbesondere mit dem CfG und dem NERI (beide Aarhus), dem MPI in Bremen, dem GEUS Dänemark und der Universität Bremen (Abt. Geologie) kooperiert. Diese Institutionen waren auch verstärkt bei den beiden längeren Expeditionen auf FS Poseidon und FS Meteor vertreten. Akustische Daten der Uni Bremen (Abt. Geologie) und geochemische Daten des NERI flossen auch in zwei Publikationen mit ein (II.6). Mit einigen der Partner sind Projektbeantragungen im Rahmen der zweiten Phase des BONUS-Programms geplant. Das Projekt war extrem hilfreich, um die einzelnen Arbeitsgruppen und Institute, die sich mit Aspekten des Methankreislaufs in der Ostsee beschäftigen, zu vernetzen.

### **II.1 Eingehende Darstellung des erzielten wissenschaftlichen Ergebnisses**

Die Arbeiten, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden, lassen sich im Wesentlichen in vier Kategorien unterteilen, die alle in Zusammenhang mit den im Gesamtantrag stehenden Aufgaben und Deliverables stehen:

- A.) Messung der Oberflächenkonzentration von Methan und des Gasaustauschs an der Grenzfläche Wasser-Luft

- B.) Untersuchung der Methanverteilung in der Wassersäule und deren zeitlich-räumlicher Variabilität
- C.) Findung von freien Gasaustrittsstellen und Abschätzung der Bedeutung solcher Austritte für die Zukunft
- D.) Akustische Kartierung von Flachgasvorkommen durch Auswertung und Integration bereits gewonnener und im Rahmen des Projekts neu gewonnener Daten
- E.) Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften der gashaltigen oberflächennahen Sedimente sowie Änderungen der Sedimenteigenschaften durch die Anwesenheit freien Gases

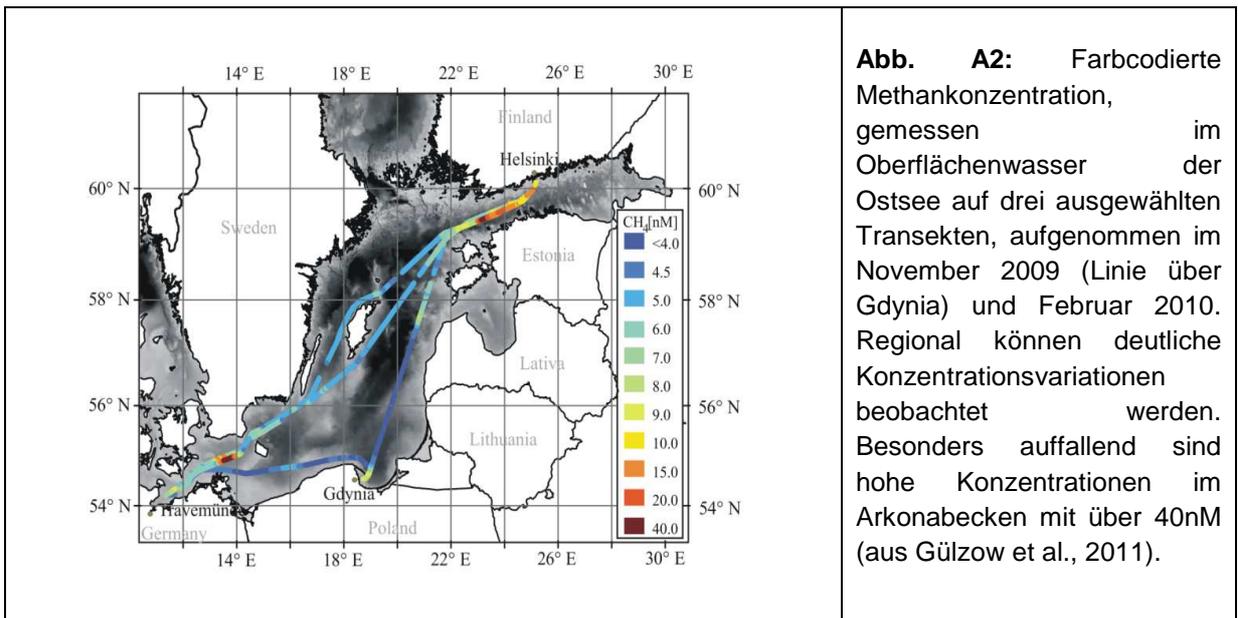
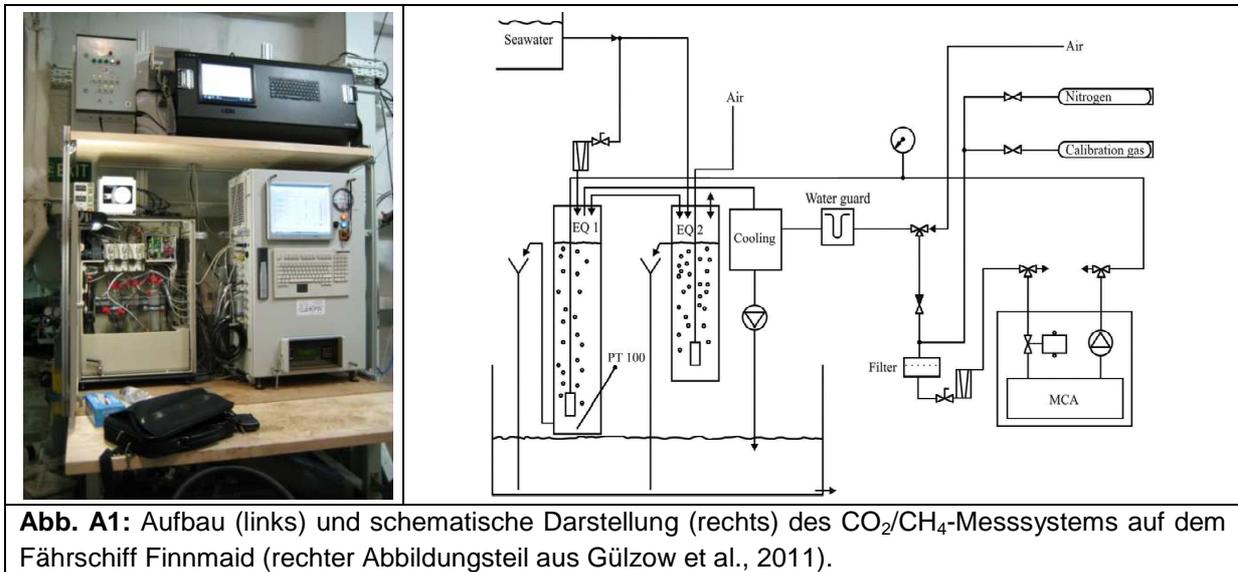
Die Themenbereiche A.) und B.) wurden hierbei vor allem im Rahmen der Dissertation der projektangestellten Doktorandin Wanda Gülzow bearbeitet.

*A.) Messung der Oberflächenkonzentration von Methan und des Gasaustauschs an der Grenzfläche Wasser-Luft*

Im Rahmen des BONUS-Projekts BALTIC GAS wurde – mit erheblichen Investitionsmitteln aus der Grundausstattung - eine neue Methode zur Messung von Methan und Kohlenstoffdioxid im Oberflächenwasser der Ostsee erfolgreich entwickelt. Das System wurde im November 2009 auf dem Fährschiff „Finnmaid“ installiert (Abb. A1). auf dem schon seit längerer Zeit ein Oberflächenmesssystem zur Messung von Kohlendioxid erfolgreich eingesetzt ist. Die Fähre der Reederei „Finnpartner“ verkehrt regelmäßig auf einer Route, welche Travemünde (Deutschland), Gdynia(Polen) und Helsinki (Finnland) verbindet. Das System, bestehend aus einem Methan/Kohlenstoffdioxidanalysator der Firma Los Gatos Research und einem bereits etablierten Equilibrationssystem, erfasst auf diesen Strecken kontinuierlich und autonom Methan und Kohlenstoffdioxidaten. Im Gegenstromprinzip wird ein festes Gasvolumen mit Seewasser equilibriert und mit einem Infrarot-Sensor bestimmt. Bei geringen Konzentrationen führt das besondere Messprinzip zu einer hohen Präzision und Genauigkeit der Messung von Methan ( $\pm 0,002\text{ppm}$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $\pm 2,5\text{ppm}$ ). Es ist die erste Anlage zur spektroskopischen  $\text{CH}_4$  Messung im Oberflächenwasser auf einer VOS-Linie.

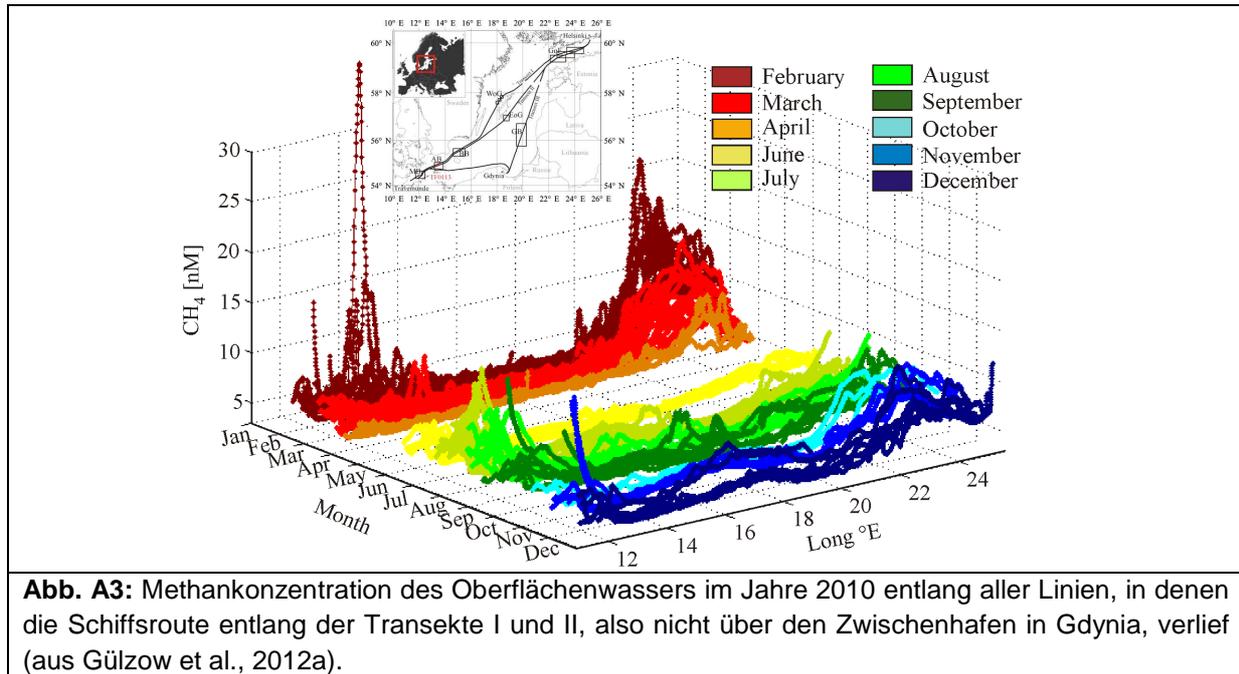
Aus den ersten Datensätzen konnten bereits einige interessante Erkenntnisse gewonnen werden (Abb. A2). So zeigen die Methankonzentrationen starke regionale Unterschiede. Während das Oberflächenwasser im Bereich der Gotlandsee mit  $3,4\text{nM CH}_4$  eher Hintergrundkonzentrationen aufweist, können selbige in Flachwasserregionen bis  $16\text{nM}$  ansteigen. In der Arkonasee konnten außerordentlich hohe Konzentrationen mit über  $40\text{nM}$  Methan beobachtet werden, welche in Zusammenhang mit einem Sturmereignis gebracht werden können. Es konnte festgestellt werden, dass solche Phänomene nur kurzzeitig in Erscheinung treten,

bevor die Methankonzentrationen des Oberflächenwassers wieder auf niedrigere Werte absinken. Die Systembeschreibung und erste Dateninterpretation wurde auf mehreren internationalen Konferenzen vorgestellt und in L&O Methods publiziert (Gülzow et al., 2011).



Das an Bord der Finnmaid installierte System lieferte – mit einigen mittlerweile behobenen Anfangsproblemen geschuldeten Datenlücken – kontinuierlich Daten entlang der drei Schiffsrouten zwischen Helsinki und Lübeck und ist auch über das Projektende hinaus kontinuierlich in Betrieb (siehe hierzu auch Abschnitt II.4). Ein Manuskript zur Beschreibung des Jahresgangs 2010 unter Korrelation mit Daten der Einflussparameter (mixed layer depth, T-Jahresgang, Gas-Seepage, saisonale Hydrographie und Meteorologie) ist derzeit unter Biogeosciences Discussions im

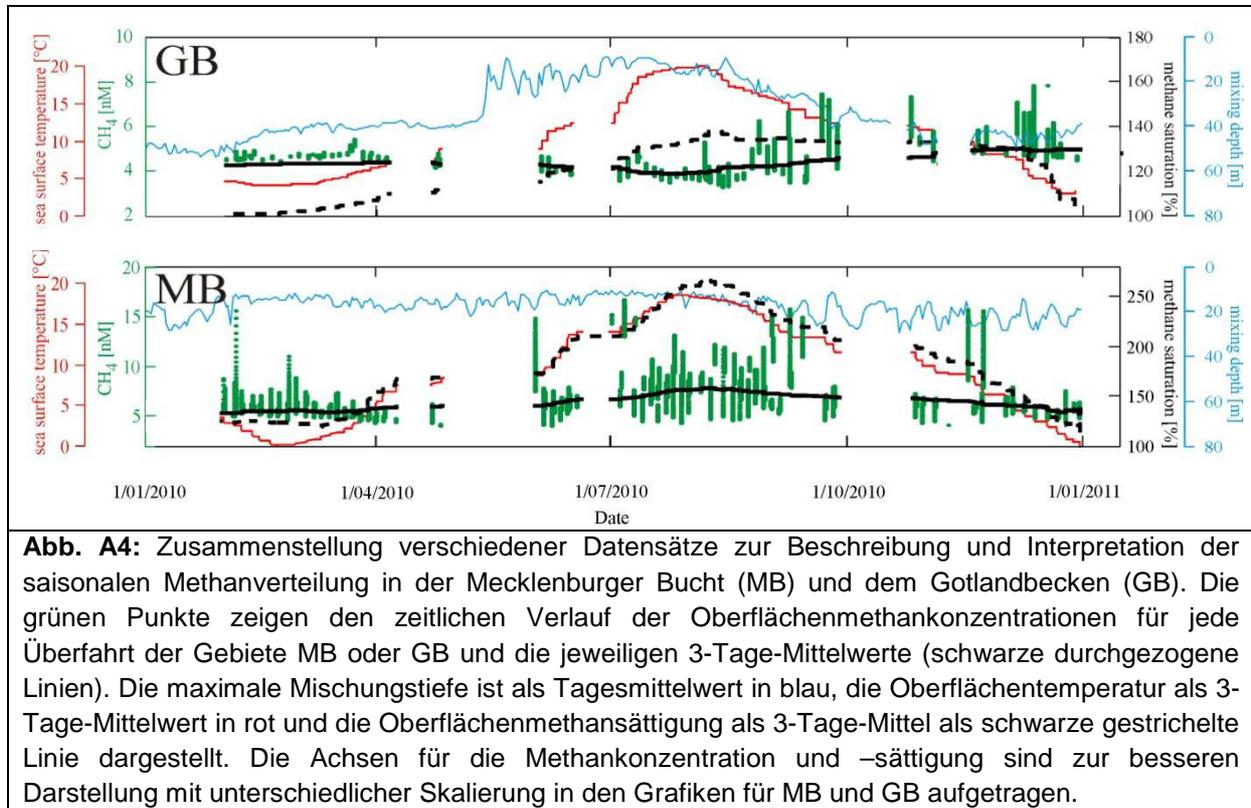
Review; Gülzow et al., 2012a) Eine Übersicht des beobachteten Jahresgangs der Methankonzentration im Oberflächenwasser ist in Abb. A3 dargestellt.



Die Darstellung der gesamten Ergebnisse würde den Rahmen des Abschlussberichts sprengen. Besonders interessant ist allerdings der unterschiedliche Jahresgang in flachen, saisonal stratifizierten und tiefen, dauerhaft geschichteten Becken. Exemplarisch sind hier die Unterschiede der Jahresgänge der Methan-Oberflächenkonzentration im Gotlandbecken (GB, Abb. A4) und in der Mecklenburger Bucht (MB, Abb. A4) aufgegriffen.

Die Oberflächenmethankonzentration der Ostsee ist maßgeblich durch den Wechsel von Durchmischung der Wassersäule (teilweise bis zum Meeresboden) im Winter und (temporärer oder permanenter) Stratifikation der Wassersäule im Sommer gekennzeichnet. Bei einer windgesteuerten vertieften Durchmischung wird methanangereichertes Tiefenwasser an die Oberfläche transportiert und führt hier zu erhöhten Methankonzentrationen (GB, Abb. A4). Der gleichzeitig verstärkte Gasaustausch mit der Atmosphäre führt gegenläufig zu einer kontinuierlichen Abnahme der Oberflächenmethankonzentrationen zum Ende des Winters. Steigende Temperaturen und verminderte Durchmischung im Frühjahr und Sommer führen zu einer Schichtung der Wassersäule (Stratifikation) und somit einer Behinderung von Methantransport vom Sediment oder dem methanreicheren Tiefenwasser bis an die Oberfläche. Daraus ergeben sich durch kontinuierliche Entgasung zur Atmosphäre sinkende Oberflächenmethankonzentrationen bei temperaturbedingter hoher Methansättigung bis zum Ende des Sommers. Während dieser Phase werden die nicht durchmischten tiefen Wasserschichten kontinuierlich mit Methan aus dem Sediment angereicht und ein „Methanreservoir“ entsteht im Tiefenwasser. Mit

zunehmender Durchmischungstiefe im Herbst und frühem Winter werden diese methanangereicherten Wasserschichten schrittweise wieder an die Oberfläche gemischt und führen zu steigenden Oberflächenmethankonzentrationen und steigenden Sättigungswerten (GB, Abb. A4).

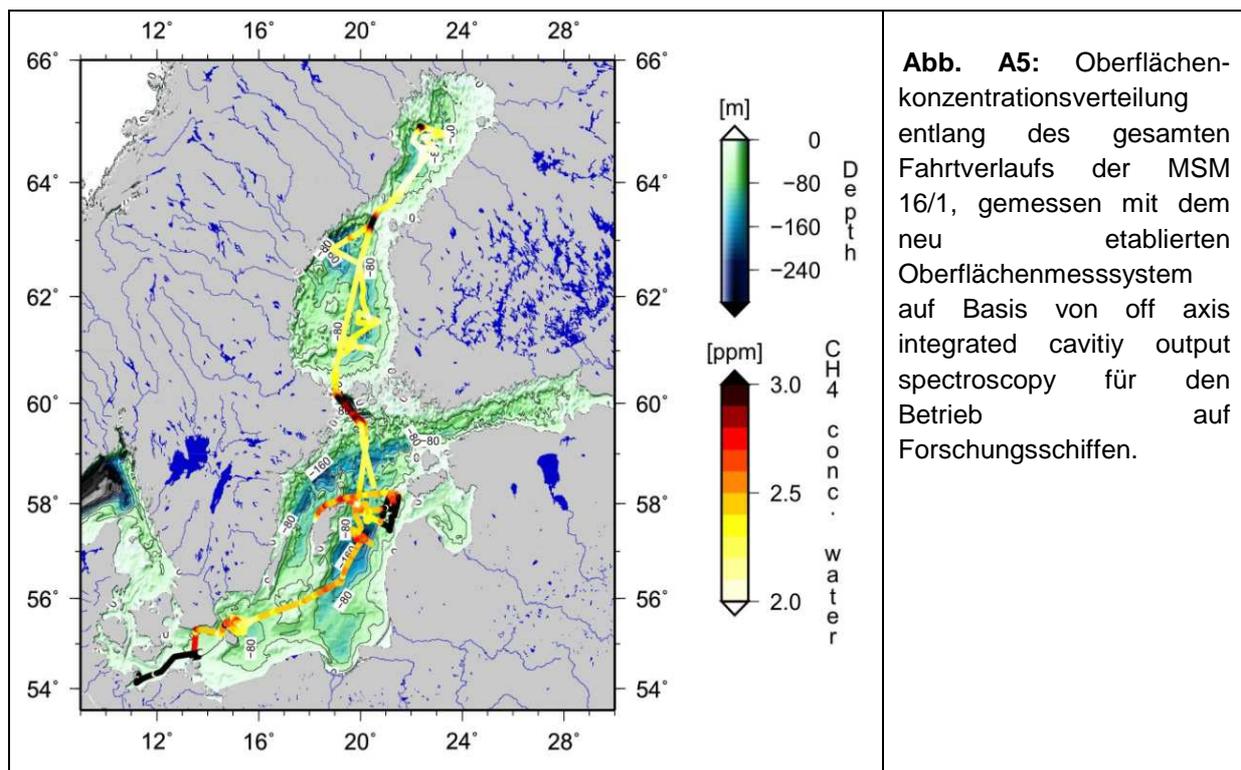


**Abb. A4:** Zusammenstellung verschiedener Datensätze zur Beschreibung und Interpretation der saisonalen Methanverteilung in der Mecklenburger Bucht (MB) und dem Gotlandbecken (GB). Die grünen Punkte zeigen den zeitlichen Verlauf der Oberflächenmethankonzentrationen für jede Überfahrt der Gebiete MB oder GB und die jeweiligen 3-Tage-Mittelwerte (schwarze durchgezogene Linien). Die maximale Mischungstiefe ist als Tagesmittelwert in blau, die Oberflächentemperatur als 3-Tage-Mittelwert in rot und die Oberflächenmethansättigung als 3-Tage-Mittel als schwarze gestrichelte Linie dargestellt. Die Achsen für die Methankonzentration und –sättigung sind zur besseren Darstellung mit unterschiedlicher Skalierung in den Grafiken für MB und GB aufgetragen.

Der Jahresgang in der Mecklenburger Bucht unterscheidet sich maßgeblich von dem anderer Regionen der Ostsee. Hier wurden deutlich erhöhte Oberflächenmethankonzentrationen im Sommer gemessen. Wir gehen davon aus, dass die windgesteuerte tiefe Durchmischung der Wassersäule hier trotz temporärer Schichtung auch im Sommer relevant bleibt für die vergleichsweise flache Region und kurze Windereignisse hier schnell tiefere Wasserschichten erreichen und an die Oberfläche mischen können. Weiterhin kann es hier durch die geringe Wassertiefe nicht zu einem relevanten Aufbau eines Methanreservoirs kommen, wie zum Beispiel im Gotlandbecken möglich. Dadurch bleibt eine maßgebliche Methananreicherung im Oberflächenwasser wie in anderen, tieferen Seegebieten der Ostsee im Spätherbst aus. Zusätzlich kann eine sommerliche Erwärmung des Sedimentes im Mecklenburger Becken ergänzend mikrobielle Methanbildung und Ausgasung von Methan in die Wassersäule fördern (Heyer et al. 1990). Für einen detaillierten Vergleich einzelner Regionen der Ostsee sei auf Gülzow et al. 2012a verwiesen.

Praktisch zeitgleich mit der Installation der CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> Analytik mit Hilfe der ICOS-Sensorik wurde ein strukturell ähnliches System für den Einsatz auf Forschungsschiffen entwickelt. Dieses wurde vor allem genutzt, um während einiger

Forschungsfahrten (inklusive der „BALTIC GAS Fahrt“ MSM 16/1), die die gesamte Ostsee inklusive der nördlichen Becken abdecken, den  $\text{CH}_4$ - und  $\text{CO}_2$ -Partialdruck des Oberflächenwassers kontinuierlich zu bestimmen. Aufgrund einer schnelleren Equilibrationszeit und der geringeren Reisegeschwindigkeit eines Forschungsschiffs im Vergleich zum Fährschiff „Finmaid“ wird hier neben einer höheren räumlichen Abdeckung auch eine höhere räumliche Auflösung erreicht. Bislang konnte durch Messungen auf der Expedition M86/1 (November 2011), MSM 16/1 (August 2010) und M87/3 (Juni 2012) bereits zu drei unterschiedlichen Zeiten die Situation der Oberflächenmethankonzentration erfasst werden. Ziel ist, durch weitere Nutzung dieser Option eine weitere Verbesserung der räumlich-zeitlichen Entwicklung der Methanflüsse aus dem Bereich der Ostsee zu erhalten. Solche Daten sind zu denen auf der VOS-Linie erhaltenen in hervorragender Weise komplementär. In Abb. A5 sind exemplarisch die Messungen der MSM 16/1 dargestellt. Die  $\text{CO}_2$ -Daten wurden bereits im Rahmen einer Publikation zum Jahrgang des  $\text{CO}_2$ -Partialdrucks in den nördlichen Becken herangezogen, ein direkte Kooperation der Projekte BALTIC C und BALTIC GAS (Löffler et al., 2012).

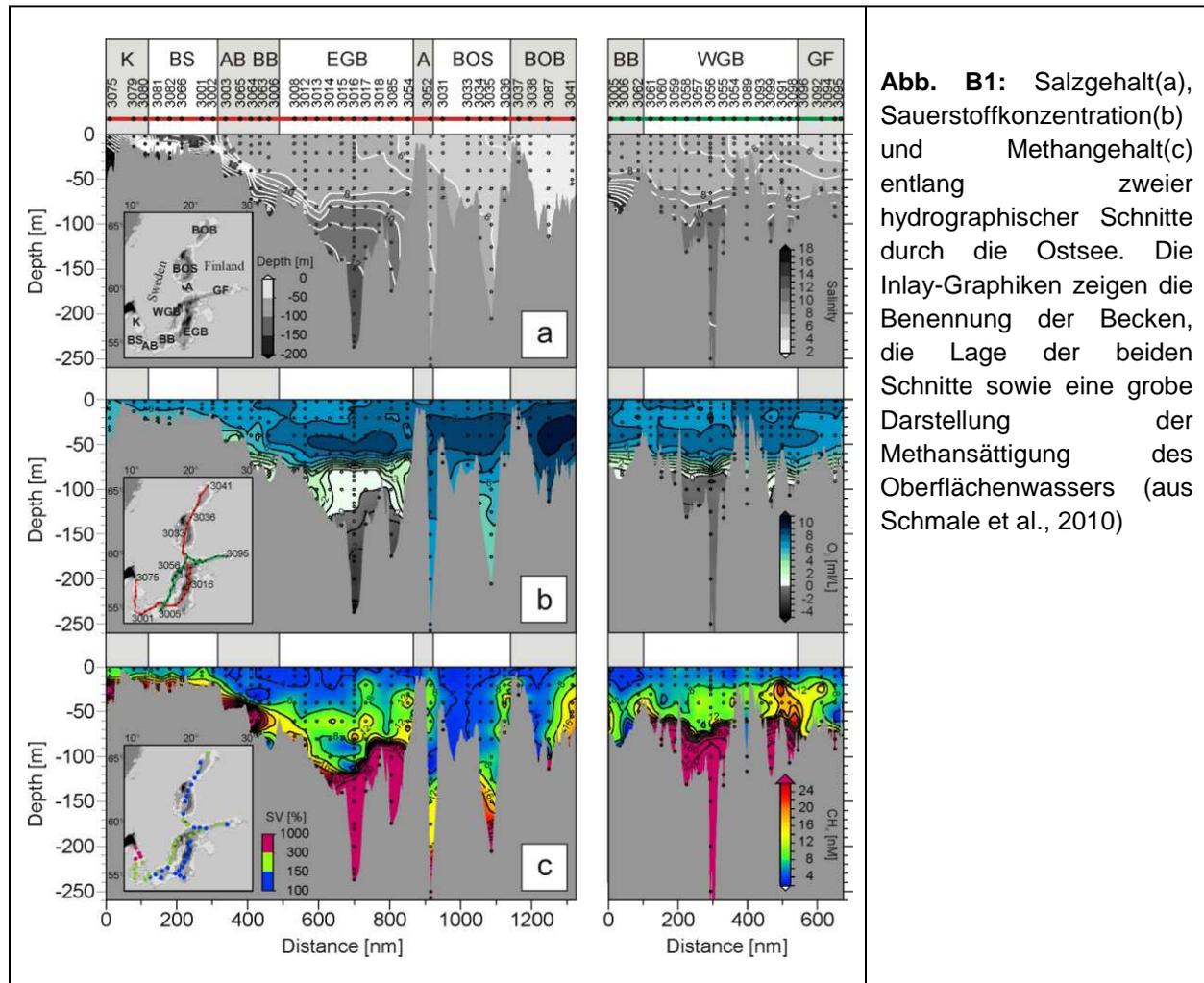


**Abb. A5:** Oberflächenkonzentrationsverteilung entlang des gesamten Fahrtverlaufs der MSM 16/1, gemessen mit dem neu etablierten Oberflächenmesssystem auf Basis von off axis integrated cavity output spectroscopy für den Betrieb auf Forschungsschiffen.

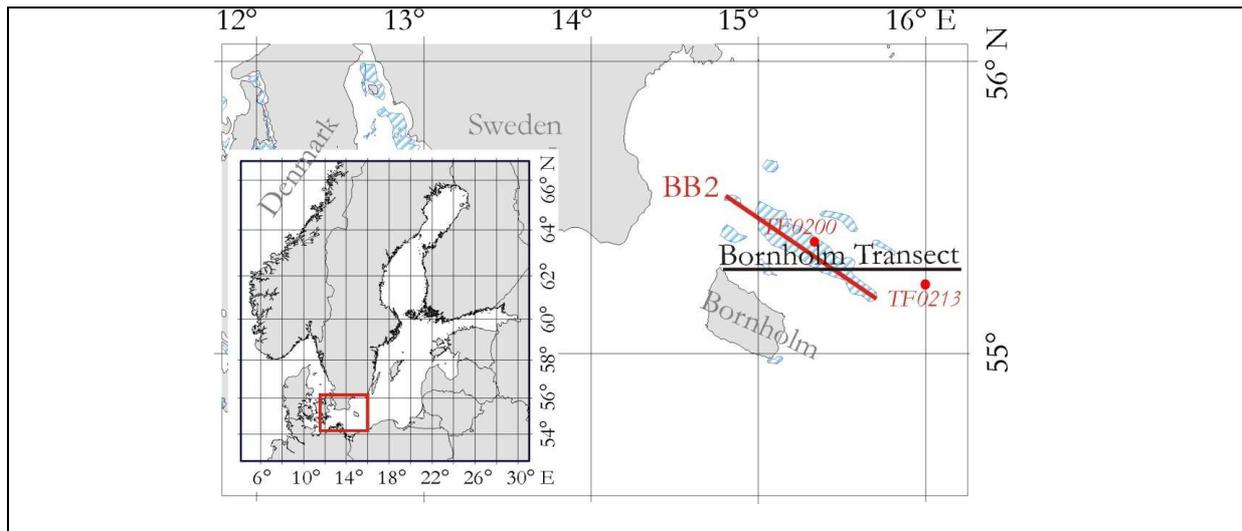
### B.) Untersuchung der Methanverteilung in der Wassersäule und deren zeitlich-räumlicher Variabilität

Als Vorarbeit zum Projektantrag wurde bereits die Ostsee-Expedition von FS Maria S. Merian im Jahre 2008 (MSM 08) genutzt, um eine weiträumige Erfassung der Methanverteilung in der Ostsee zu erheben. Diese Ergebnisse wurden von den im Rahmen von BALTIC GAS mit dieser Fragestellung betrauten Wissenschaftlern

gemeinsam veröffentlicht (Schmale et al., 2010, Fig. B1). Die Arbeit stellt die bislang umfassendste Arbeit zur Methanverteilung in der Ostsee dar und weist vor allem einen klaren Bezug zwischen erhöhter Methankonzentration und sub- bzw. anoxischen Verhältnissen nach. Die Arbeit war für viele der Aktivitäten des gesamten BALTIC GAS Konsortiums eine wichtige Hilfe für die Planung der Forschungsaktivitäten. Die Auffindung hoher CH<sub>4</sub>-Konzentrationen bis nahe an die Thermokline im Golf von Finnland deckt sich mit den höchsten Oberflächenkonzentrationen und Methanflüssen in die Atmosphäre im durch die Fährlinie (Finnmaid) abgedeckten Gebiet.

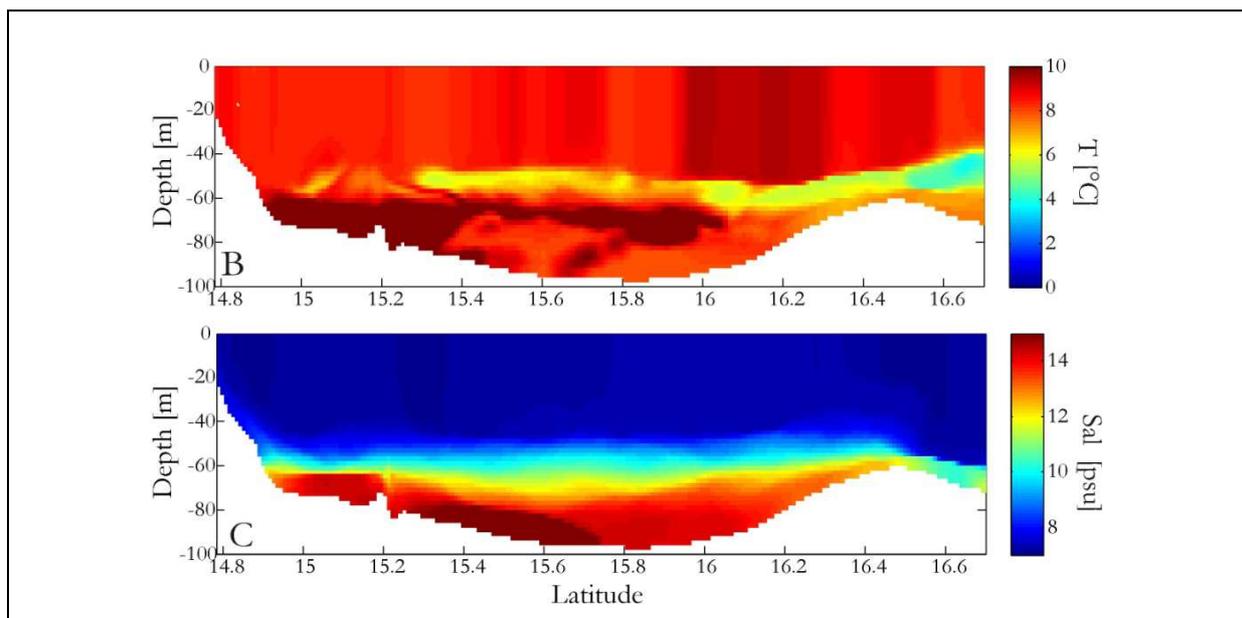


Für eine Klärung der Dynamik der Methanverteilung in der Wassersäule wurden zwei Schnitte der Methanverteilung in den Bereichen Arkonabecken und Bornholmbecken (Abb. B2) im Januar und Dezember 2009 sowie im August 2010 herangezogen, zum anderen die Langzeitentwicklung zweier zentraler Stationen in den beiden Becken durch erweiterte Probennahme im Rahmen des BSH-Monitoringprogramms analysiert (z.B. Station TF0200 und TF0213, Abb. B2). Dabei konnte für die Interpretation zusätzlich auf die hydrographische Modellierung zurückgegriffen werden.



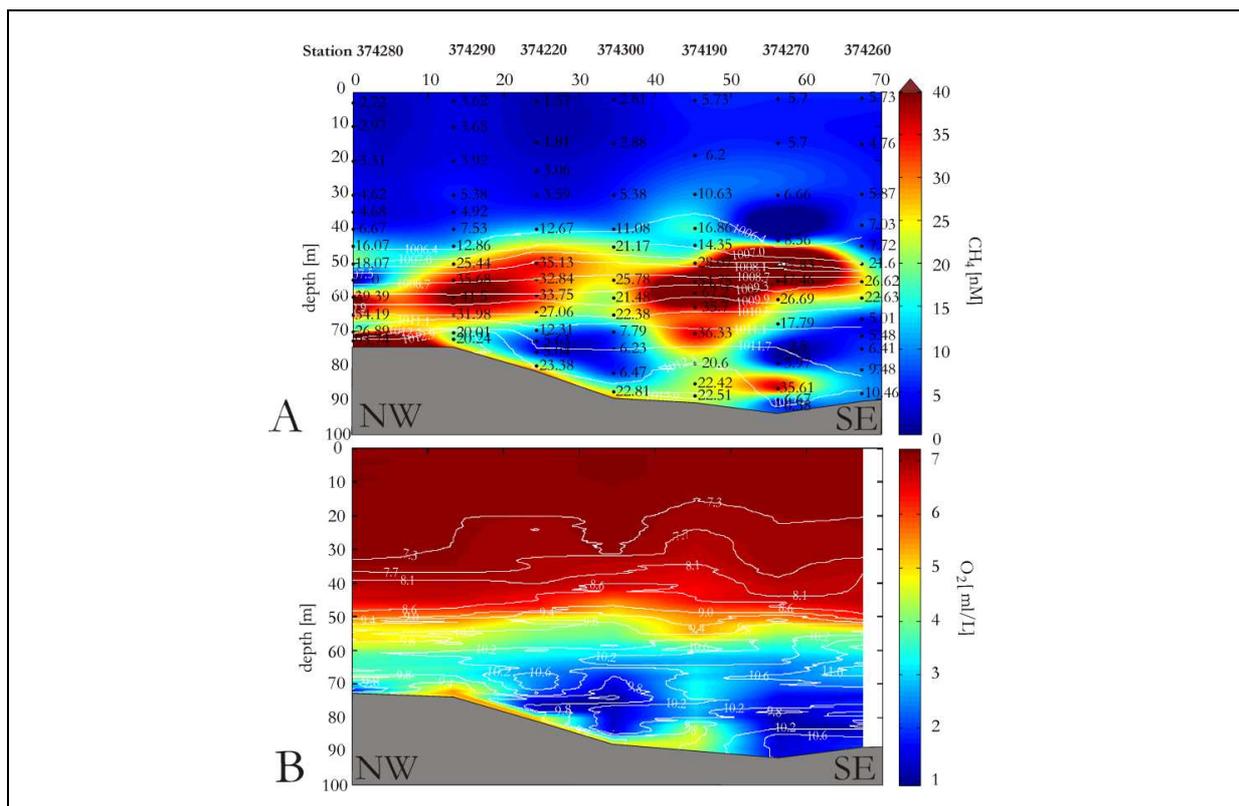
**Abb. B2:** Untersuchungsgebiet Bornholm Becken mit der Lage der hydrographischen Schnitte der GETM-Modelldaten (Bornholm Transect, schwarze Linie, Abb. B3), der Monitoringstationen TF0200 und TF0213 sowie des Methanschnittes BB2 (rote Linie, Abb. B4). Der Schnitt BB2 verläuft entlang der kartierten Gasvorkommen im oberflächennahen Sediment (blau-gestreifte Fläche, nach Laier et al., 2007).

In Abbildung B3-B ist ein barokliner Einstrom abgebildet, erkennbar anhand der deutlich wärmeren Temperatursignatur im Vergleich zum Umgebungswasser. Aufgrund der Dichtegleichheit mit dem Umgebungswasser schichtet sich das aus der Nordsee stammende salzreichere Wasser bei etwa 60m Wassertiefe ein. Ein weiterer Einstrom konnte Anhand von Modelldaten (B3-C) als barotroper Einstrom klassifiziert werden. Dieses einströmende Wasser zeichnet sich durch eine deutlich höhere Dichte als das Umgebungswasser aus und „schiebt“ sich dadurch unter das „alte“ Tiefenwasser.



**Abb. B3:** GETM-Modelldaten der Wassertemperatur entlang eines Ost-West-Schnittes im Bornholm Becken (siehe Abb. B2 zur Orientierung) für B-Oktober 2009 und C-Dezember 2009 (Gülzow 2012b).

Die Dynamiken der beiden Einstromereignisse beeinflussen die Methanverteilung in der Wassersäule des Bornholm Beckens maßgeblich. Als Beispiel ist hier ein Schnitt entlang des Transekts BB2 (Abb. B4) dargestellt. Die Methanverteilung entlang des Transekts BB2 ist charakterisiert durch niedrige Methanwerte im Oberflächen- und Tiefenwasser und deutlich erhöhten Konzentrationen in einer Wassertiefe zwischen 50 und 70m. Diese „Methanschicht“ erstreckt sich als „Linse“ über weite Teile des Bornholm Beckens und trifft hierbei mit dem Dichtegradienten zusammen. Wir gehen davon aus, dass während der beschriebenen Einstromereignisse große Mengen an Methan vom Arkona Becken in das Bornholm Becken transportiert werden und durch die Dichteigenschaften der transportierten Wassermassen die beobachtete methanreiche Wasserschicht gebildet wird. Die im Transekt BB2 gemessene methanreiche Schicht kann auf den baroklinen Einstrom von Oktober 2009 (Abb.B3-B) zurückgeführt werden. Weiterhin kann man in Abbildung B4 bereits erste Anzeichen der einströmenden barotropen Wassermassen erkennen. So konnte an Station 374280 zwischen 70 und 75 m Wassertiefe eine Zunge hochsalinen, methanreichen Wassers erfasst werden, die sich als dünne Wasserschicht bereits bis Station 374270 entlang das Bodens erstreckt. Im Temperaturprofil (Abb. B4-B) kann man diese Zunge auch als wärmere dünne Bodenwasserschicht erkennen.



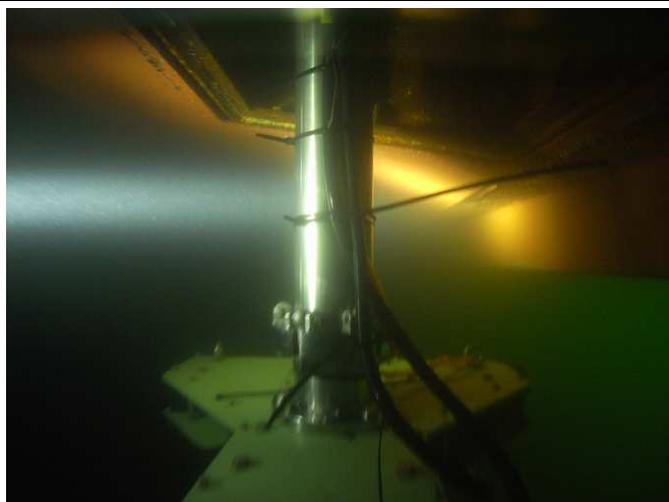
**Abb. B4:** Transekt BB2 (siehe Abb. B2 zur Orientierung) im Bornholm Becken aufgenommen im Dezember 2009. A: Methankonzentration (farblich codiert) und Dichte (weiße Linien in  $\text{kg/m}^3$ ) B: Sauerstoffkonzentration (farblich codiert) und Temperatur (weiße Linien, in  $^{\circ}\text{C}$ ). Die Betrachtung der Dynamik der Methanverteilung in der Wassersäule ist als Kapitel in Manuskriptform Teil der eingereichten Dissertation von W. Gülzow (Gülzow, 2012b) dargestellt und soll demnächst in einem begutachteten Journal eingereicht werden.

C.) *Findung von freien Gasaustrittsstellen und Abschätzung der Bedeutung solcher Austritte für die Zukunft*

Austrittsstellen für freies Gas stellen zum einen eine mögliche direkte Verbindung zwischen sedimentärer Methanproduktion und Atmosphäre dar, zum anderen sind Gasaustrittsstellen potentielle Lokationen verringerter Sedimentstabilität. Die Frage nach dem Vorkommen und potentiellen Änderungen von sedimentären freien Gasquellen aufgrund von Erwärmung und/oder Änderung der Ablagerung organischen Materials (Eutrophierung) kam daher eine besondere Bedeutung im Rahmen des Projekts zu, für die das IOW federführend verantwortlich zeichnete (Tasks 3.3 und 3.4., Abb. 1).

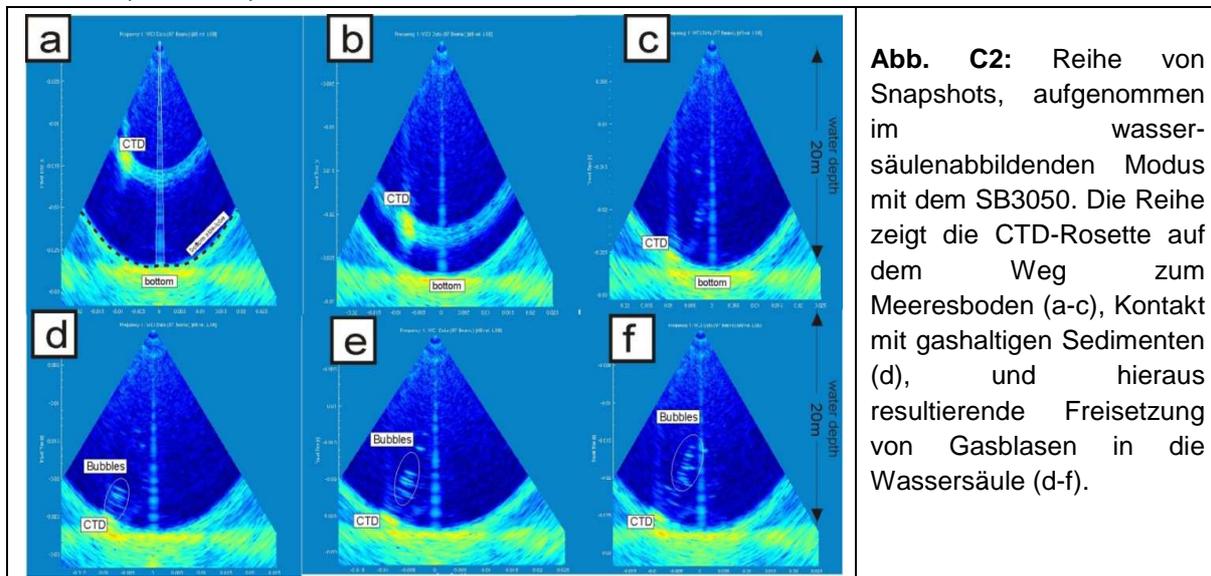
Um natürliche und bisher unbekannt Gasaustritte in der Ostsee aufzuspüren wurde zunächst eine Recherche der bestehenden Daten durchgeführt. Als Indikatoren für Gasseepage wurden (a) seismische Anomalien, die bodennahe, freie Gasvorkommen vermuten lassen, (b) hydroakustische Anomalien in der Wassersäule, (c) Methanwerte nahe der Sättigung im Sediment, und (d) Methananomalien in der Wassersäule, herangezogen. Neben bekannten Gasaustritten in der Eckernförder Bucht und im Kattegat ließen Daten aus der Mecklenburger Bucht und dem Arkonabecken freie Gasaustritte in die Wassersäule als wahrscheinlich erscheinen.

Die Forschungsreise Poseidon 392 hatte unter anderem zum Ziel, akustische Nachweise von Gasaustritten in die Wassersäule in diesen Gebieten zu erbringen. Hierzu wurde in Kooperation mit der Firma ELAC-Nautik GmbH ein Prototyp Fächerecholot SB3050 (50kHz) auf Poseidon mit vier Tauchern installiert und anschließend erfolgreich betrieben (Abb. C1). Moderne Fächerecholotsysteme erlauben neuerdings Wassersäulensignale über die gesamte Fächerbreite zu registrieren und bieten damit eine weit effizientere Vermessung der Wassersäule als bisherige Systeme.



**Abb. C1:** Mills Kreuz Schwingeranordnung, installiert unter dem Lotschacht von FS Poseidon

Die enorm hohe Datenrate von >1GB pro Stunde wurde erfolgreich bewältigt und selbst geringe Mengen an Gasblasen in der Wassersäule – wie z.B. der Aufstieg einzelner Gasblasen oder Gruppen von Gasblasen konnten in Echtzeit dargestellt werden (Abb. C2)

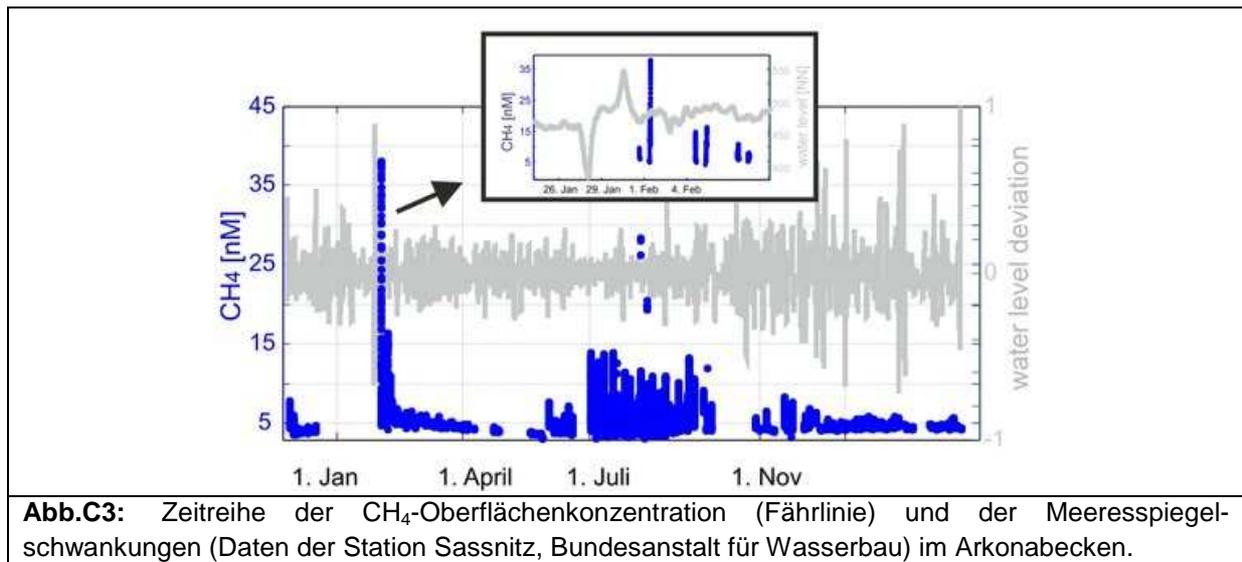


**Abb. C2:** Reihe von Snapshots, aufgenommen im wassersäulenabbildenden Modus mit dem SB3050. Die Reihe zeigt die CTD-Rosette auf dem Weg zum Meeresboden (a-c), Kontakt mit gashaltigen Sedimenten (d), und hieraus resultierende Freisetzung von Gasblasen in die Wassersäule (d-f).

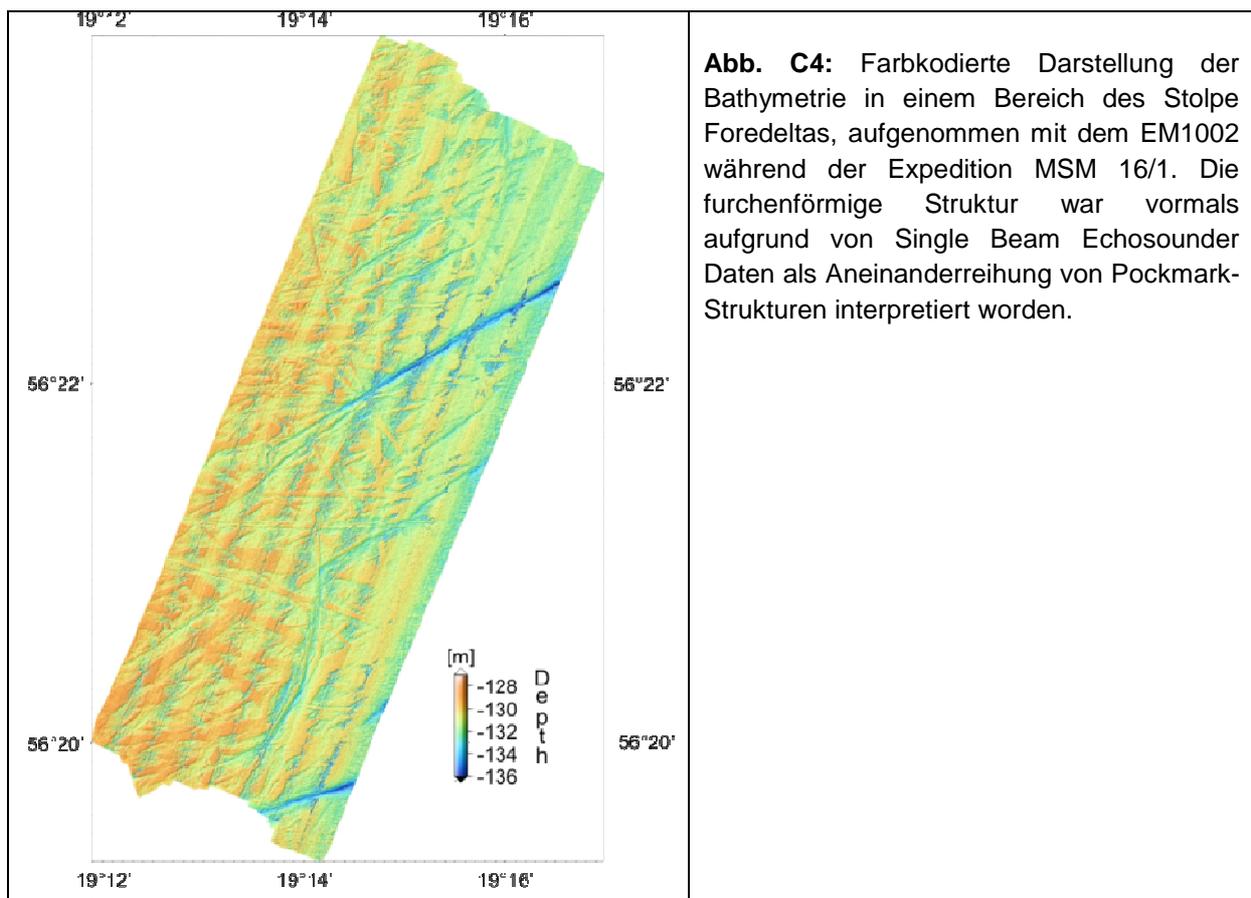
Während die technische Machbarkeit der Gasblasendetektion während der BALTIC GAS Fahrt P 392 (FS Poseidon) mit dem Gerät erstmals demonstriert werden konnte (Abb. C2), wurden während der Expedition nicht zweifelsfrei natürliche Gasaustrittsstellen gefunden, obwohl bei der im Vorfeld der Expedition durchgeführten Recherche mehrere potentielle Gasaustrittsstellen identifiziert worden waren. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, dass es möglich ist, dass eine Änderung der Windrichtung von S nach N, sowie ansteigender Wasserstand (hydrostatischer Druck) und niedrige Temperaturen im Bereich der Mecklenburger Bucht während des Untersuchungszeitraums zu einer temporären Inaktivität der Seeps geführt haben können.

Außergewöhnlich hohe Methankonzentrationen im Oberflächenwasser konnten durch das kontinuierlich messende System auf der Fährlinie gemessen werden. Diese Episode höherer Methankonzentrationen steht in Verbindung mit einer Episode starker Winde und einer schnellen Wasserstandsänderung um fast 1,5 m. Eine der Hypothesen für dieses Ereignis ist die Entgasung aus den in diesem Bereich sehr nah an der Sedimentoberfläche lokalisierten Gasvorkommen (Thiessen et al., 2006) aufgrund der Druckfluktuation, zumal eine Pockmark-Struktur in unmittelbarer Umgebung nachgewiesen wurde. Dieser Zusammenhang ist in Gülzow et al., (2012a) eingehend ausgeführt und diskutiert.

Darüber hinaus wurden Anzeichen für aktive Pockmarks und potentiellen Gasaustritt im Bereich der Danziger Bucht vorgefunden (Pimenov et al., 2010).



Bisher in der Literatur beschriebene Pockmarkstrukturen im Bereich der Stolper Schwelle, die mit dem Austreten von freiem Gas in Verbindung gebracht wurden, konnten hingegen als zusammenhängende Rinnen identifiziert werden, deren Herkunft augenscheinlich nicht in Zusammenhang mit dem Austreten von Gas steht.



Insgesamt bleibt als Ergebnis der Messungen und Synthese der bekannten Daten festzuhalten, dass nur wenige Anzeichen für freien Gasaustritt im Bereich der Ostsee existieren (bekannte Störungszonen im Kattegat ausgenommen). Unterhalb von 70 m Wassertiefe wurden freie Gasaustritte nur an 2 Lokationen aufgefunden, und der Beitrag zum Gesamtfluss in die Atmosphäre scheint in der Ostsee sehr gering. Die bisherigen Erkenntnisse zum Vorkommen von Quellen von Gasblasen wurden unter der Federführung des IOW (J. Schneider) im Deliverable 3.3 des BALTIC GAS Projekts zusammengefasst.

[http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3\\_deliverable\\_no.3.pdf](http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3_deliverable_no.3.pdf)

Auf Basis dieser Daten und Ergebnissen der sedimentphysikalischen Untersuchungen (siehe Abschnitt II.1 E) sowie der Modellierung der Methanflüsse aus dem Sediment unter unterschiedlichen Klimaszenarien wurde unter Federführung des IOW (G. Rehder) eine Abschätzung für das Potential erhöhter Methanfreisetzung aus den Sedimenten der Ostsee entwickelt. Hier bleibt zusammenfassend festzuhalten

- dass trotz der großen Ausdehnung von Gebieten mit Flachgasvorkommen nur wenige Gasaustrittsstellen beobachtet wurden, wahrscheinlich eine Folge geringer Sedimentpermeabilität und geringen Überdrucks.
- dass trotz erhöhter Primärproduktion und erwarteter klimatischer Änderungen bis zum Ende des Jahrhunderts, welche die Produktion von Methan verstärken sollten, die Modellierung dieser Szenarien für Schlüsselgebiete nahelegen, dass dies nicht zu einer verstärkten Freisetzung von freiem Gas führen wird.
- dass die sehr flache obere Grenze der Front freien Gases in Gebieten mit hoher Akkumulation von Littorina-Schlammablagerungen das Potential zur Gasfreisetzung hat, wenn das Sedimentgefüge mechanisch gestört wird (Offshore Aktivitäten, Trawling, etc.). Wegen der sehr niedrigen Konnektivität des Porenraums blieben solche Effekte aber auf ein sehr kleines Gebiet um die mechanische Störung begrenzt.

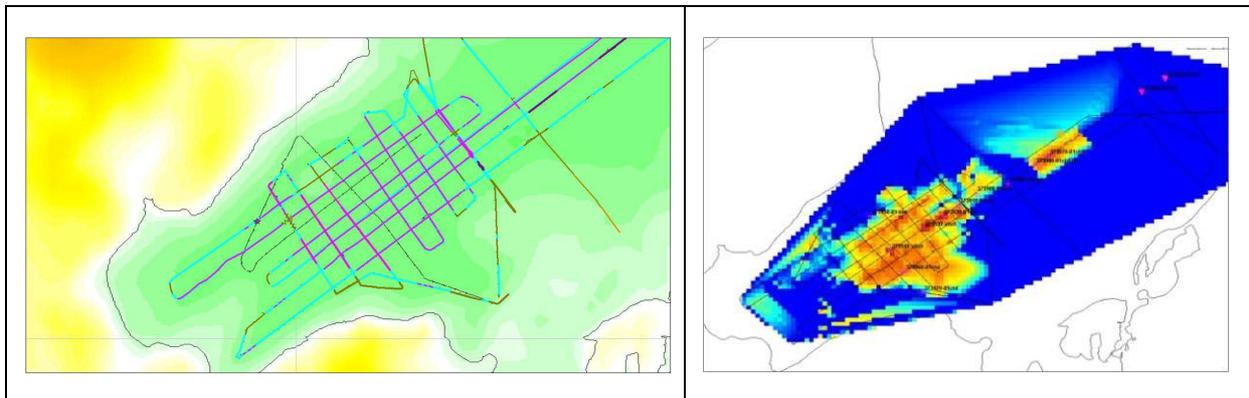
Das gesamte Deliverable zu dieser Thematik ist unter

[http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3\\_deliverable\\_no.2.pdf](http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3_deliverable_no.2.pdf)

hinterlegt.

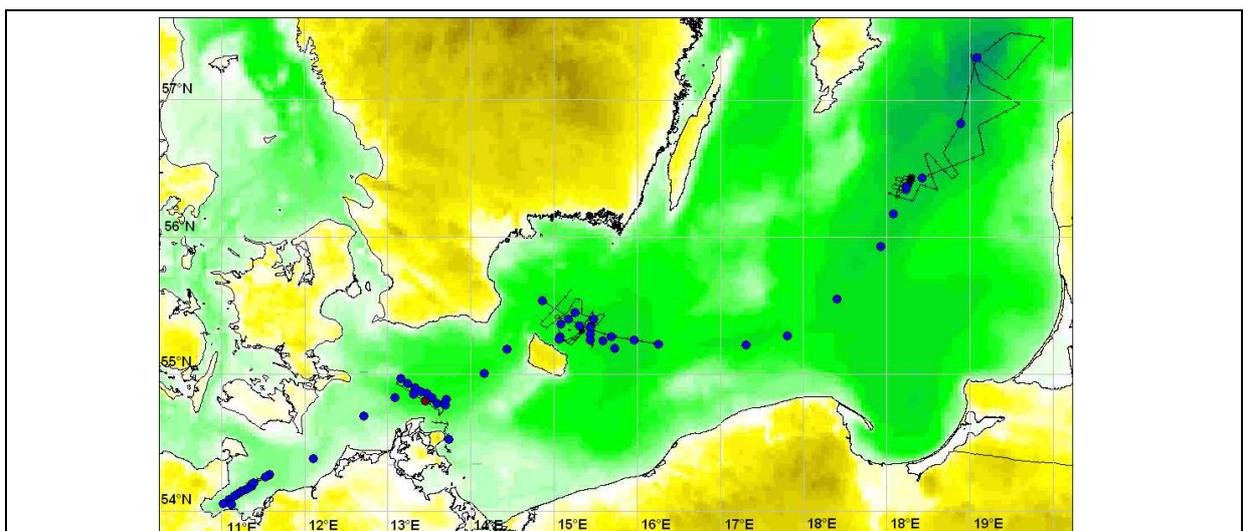
*D.) Akustische Kartierung von Flachgasvorkommen durch Auswertung und Integration bereits gewonnener und im Rahmen des Projekts neu gewonnener Daten*

Im IOW vorhandene seismoakustische Daten wurden zusammengestellt und hinsichtlich des Auftretens und der räumlichen Verbreitung von Gasvorkommen im Seeboden bearbeitet und interpretiert.



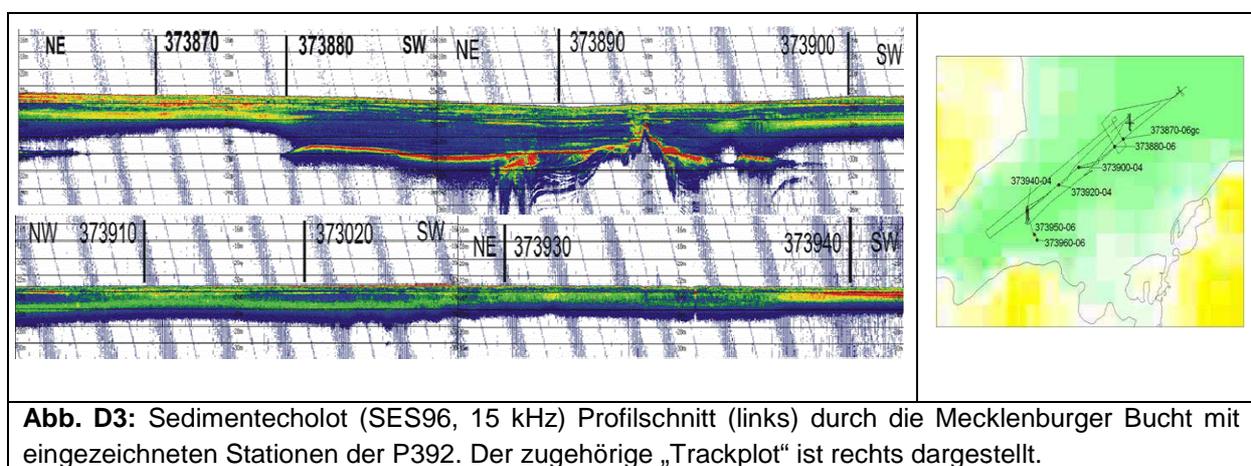
**Abb. D1:** Beispiel für die Auswertung von Sedimentecholotdaten (SES96) hinsichtlich der Verbreitung von Methanvorkommen im Schlick der Mecklenburger Bucht. Die violetten Linien in der linken Abbildung zeigen die Verbreitung von Gas in der obersten Schlickschicht. Die rechte Abbildung stellt ein erstes grobes Verteilungsmuster der akustischen Rückstreustärke dar, welches als Maß für den Anteil des freien Gases im Meeresboden angesehen werden kann.

Analoge Arbeiten wurden für die Beckenbereiche Arkonabecken und Bornholmbecken in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern vom Geologischen Dienst Dänemarks (GEUS) durchgeführt. Die Erstellung von Karten der Verteilung von Flachgasvorkommen ist eines der zentralen „Deliverables“ des Projekts BALTIC GAS. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienten als Grundlage für Profil- und Stationsplanung der „BALTIC GAS“ Forschungsreisen P392 mit FS Poseidon im Dezember 2009 und MSM 16/1 mit FS Maria S. Merian im August 2010. Einen ersten Überblick zu den Arbeiten der Reise P392 vermittelt die Karte der räumlichen Verteilung der gefahrenen akustischen Profile und der Stationen (Abb. D2).



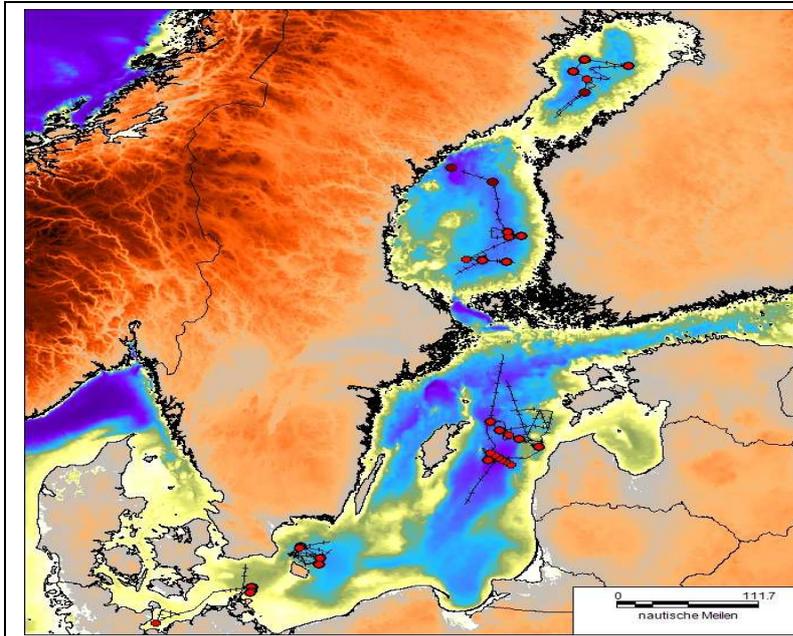
**Abb. D2:** Profil- und Stationspositionen der Forschungsreise P392.

Die Arbeiten während der Forschungsreise P392 erfolgten vorwiegend entlang von Transekten, welche Bereiche mit unterschiedlichen geologischen Situationen und Gasvorkommen beinhalteten (Abb. D3). Sowohl während der Profilmessungen als auch während der Stationsarbeiten wurden akustische Daten in unterschiedlichen Frequenzbereichen (4-15 kHz, 100 kHz) gewonnen. Diese werden zunächst mit den vorhandenen Software-Tools bearbeitet und hinsichtlich der räumlichen Gasverbreitung und der geologischen Situation ausgewertet. Parallel dazu erfolgt die Entwicklung von Softwaretools zur Extraktion von Wellenfeldparametern aus den akustischen Aufzeichnungen. Im Rahmen der geoakustischen Modellierung sollen diese Daten später mit den Methan Messungen der Kooperationspartner verknüpft werden. Ziel ist die Entwicklung von Verfahren, die eine Ableitung von (semi-)quantitativen Daten aus akustischen Messungen ermöglichen.

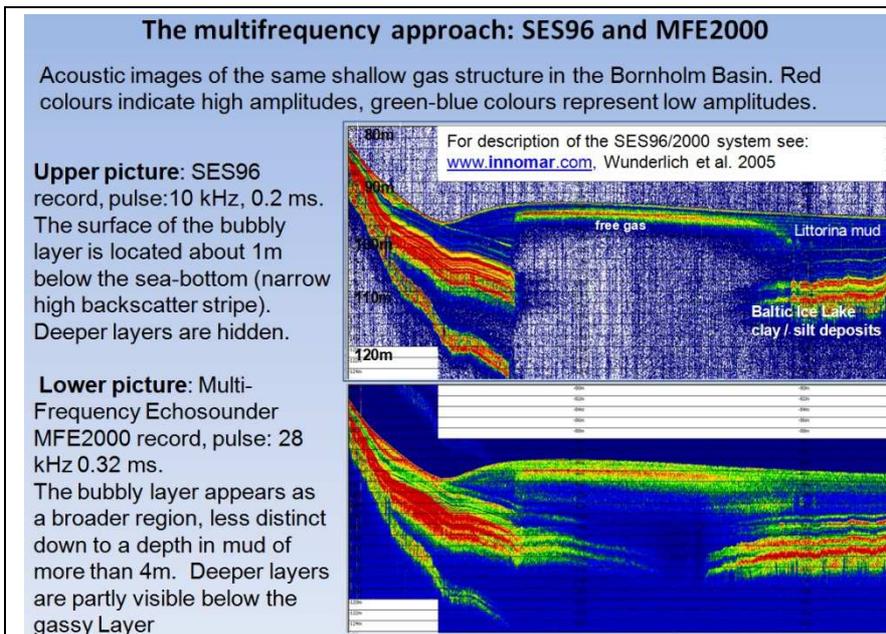


Weitere neue sediment-akustische Daten wurden im Rahmen der Forschungsfahrt MSM16/1 mit drei Sedimentecholotsystemen (Parasound, SES96 und MFE2000) in den Beckenbereichen der Ostsee erhoben (siehe Abb. D4). Bei gleichzeitigem Betrieb der drei Systeme war es möglich einen Frequenzbereich von 4 kHz bis 100kHz für die akustische Untersuchung der Seebodenablagerungen zu nutzen. Das ist von Bedeutung, da insbesondere die akustischen Eigenschaften gashaltiger Sedimente in nichtlinearer Weise von der Frequenz abhängen. Für jede Gasanreicherung existiert eine Gasblasen-Resonanzfrequenz. Sofern die Frequenz des benutzten Sedimentecholotes in diesem Bereich liegt, werden die Gasblasen zum Schwingen angeregt und senden wiederum akustische Signale aus, die sich als starke Echobänder in den akustischen Aufzeichnungen widerspiegeln (Abb. D5, oberer Teil). Liegt die Frequenz des Sedimentecholotes oberhalb der Gasblasen-Resonanzfrequenz, so wird nur ein Teil der akustischen Energie zurückgestreut, der Rest dringt in tiefere Schichten ein und zeigt deren Struktur an (Abb. D5 unterer Teil). Durch die Kombination der akustischen Abbilder in den verschiedenen Frequenzbereichen lassen sich bessere Informationen über die Untergrundstrukturen und den Gasgehalt ableiten. Es zeigte sich jedoch, dass es bedingt durch die fehlende Synchronisationsmöglichkeit des Parasound Systems häufig zu erheblichen

Störungen der SES96 und MFE96 Messungen kam. Gleiches gilt für den Betrieb des Multibeam-Systems. Dadurch wurde die Menge des für die Frequenzanalyse nutzbaren Datenmaterials reduziert.



**Abb. D4:** Lage der sedimentakustischen Profile und Kerngewinnungsstationen der Forschungsreise MSM16/1

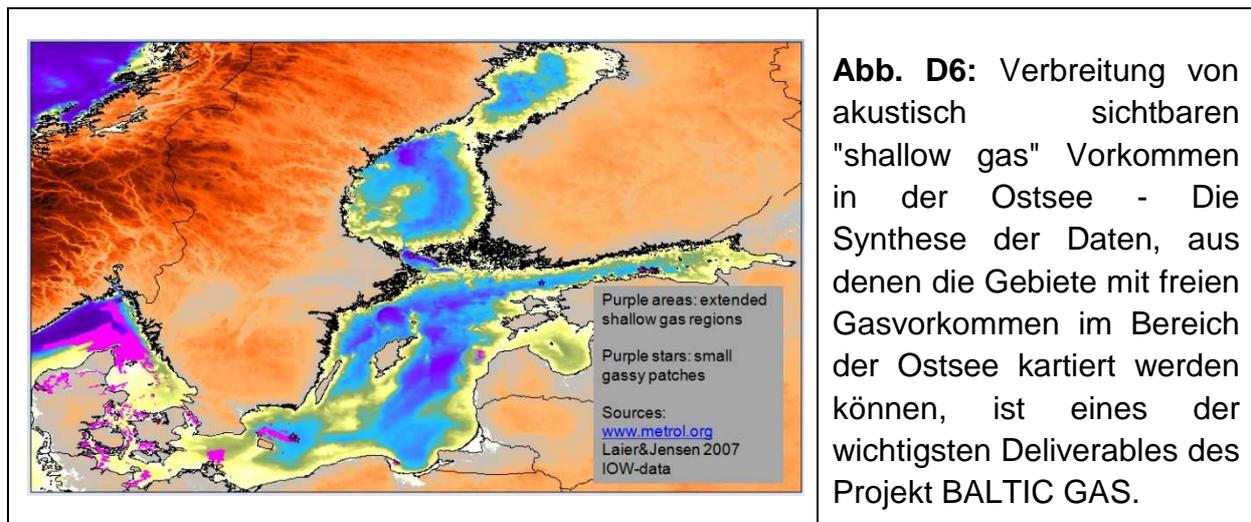


**Abb. D5:** Akustische Abbilder der gleichen Flachgas-Struktur im Bornholm Becken, aufgenommen in verschiedenen Frequenzbereichen; oben 10 kHz, unten 28 kHz. Rote Farben zeigen hohe Echostärken an, grün-blaue Farben (einschließlich weiß) niedrige Amplituden.

Die akustischen Arbeiten des ersten Abschnitts der Forschungsreise MSM 16/1 (Mecklenburger Bucht, Arkonabecken und Bornholmbecken) basierten sowohl inhaltlich als auch regional auf den Ergebnissen der vorherigen BALTIC GAS Forschungsreise mit FS Poseidon im Jahre 2009. Im Verlauf des zweiten Abschnittes wurden neue sedimentakustische Profile in der zentralen und nördlichen Ostsee vermessen. Im Gegensatz zu den Beckenbereichen der westlichen Ostsee wurden

dort deutlich weniger akustische Anzeichen für freies Gas im Schlick gefunden. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass bedingt durch die größere Wassertiefe (höherer Druck) und die niedrigere Temperatur die *in situ* Sättigungsgrenze kaum überschritten wird. Erst bei der Kernentnahme an Bord bilden sich Gasblasen im Sediment und zeigen den Gasanteil an.

Die Auswertung (räumlichen Gasverbreitung und geologische Situation) der akustischen Daten wurde gemeinsam mit den Projektpartnern vom GEUS durchgeführt. Aufbauend auf den Ergebnissen des Metrol-Vorhabens wurden alle Daten in einem GIS zusammengeführt und räumlich dargestellt (Abb. D6).



Das gesamte Deliverable zu dieser Thematik ist unter

[http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3\\_deliverable\\_no.1.pdf](http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3_deliverable_no.1.pdf)

hinterlegt.

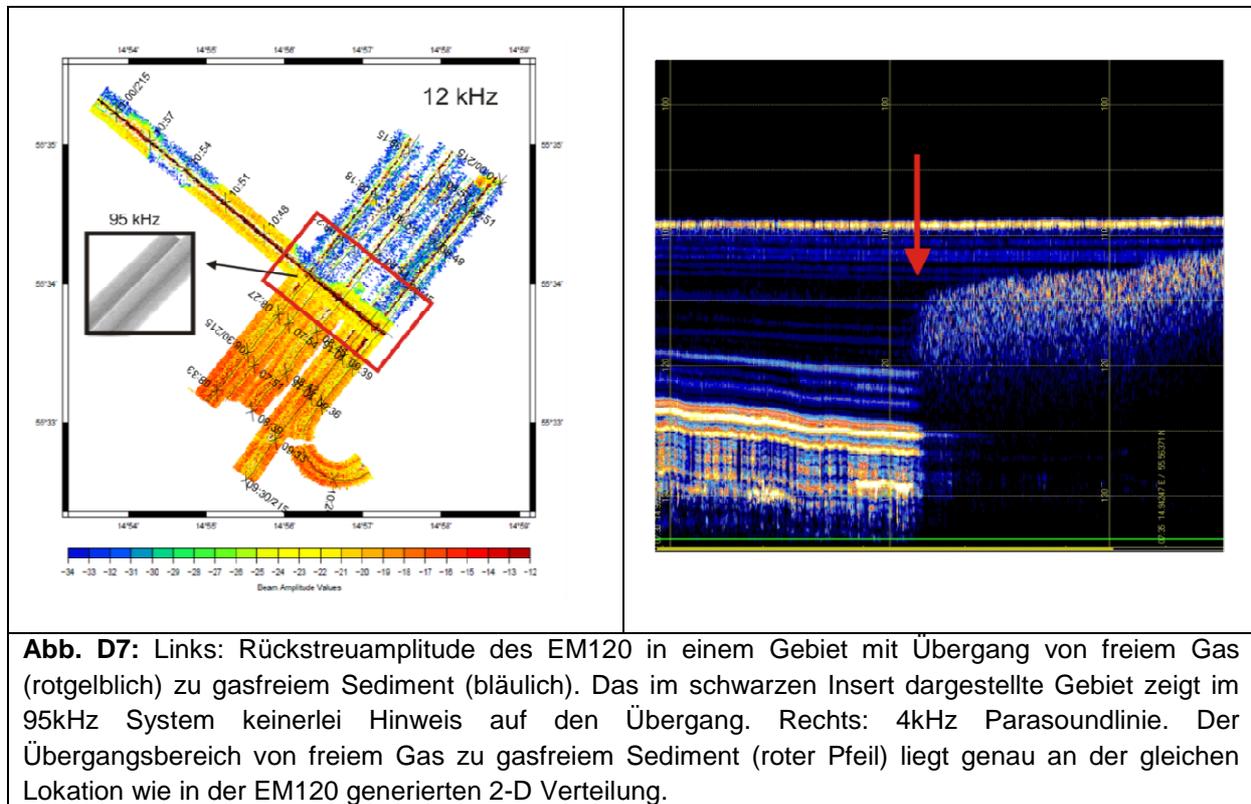
Die Kompilierung der vor BALTIC GAS existierenden Daten (WP2-Data mining), mit starkem Engagement des IOW in Bezug auf die Verfügbarkeit von Daten wie auch die Zusammenführung (WP-Leitung: J.B. Jensen, GEUS), ist unter

[http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP2\\_deliverable\\_no.1.pdf](http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP2_deliverable_no.1.pdf)

hinterlegt

Neben diesen Arbeiten wurde die hervorragende akustische Ausstattung des FS *Maria S. Merian* verwendet, um ein methodisches Experiment zur 2-D-Kartierung von Flachgasstrukturen mit Hilfe des Rückstreuensignals des EM 120 (Tiefwasserecholot) zu realisieren, das sich als sehr erfolgreich erwies. Die Verteilung von flachem Gas

wurde an einem Übergang von gashaltigen zu weniger gashaltigen Sedimenten als Abweichung in den Rückstreuereigenschaften festgehalten, durch 1-D-Verifizierung mit dem Parasound System überprüft und durch Kernbeprobung und geochemische Untersuchungen verifiziert, wobei hier eine recht genaue Abschätzung der Tiefe des Auftretens von freiem Gas möglich ist.

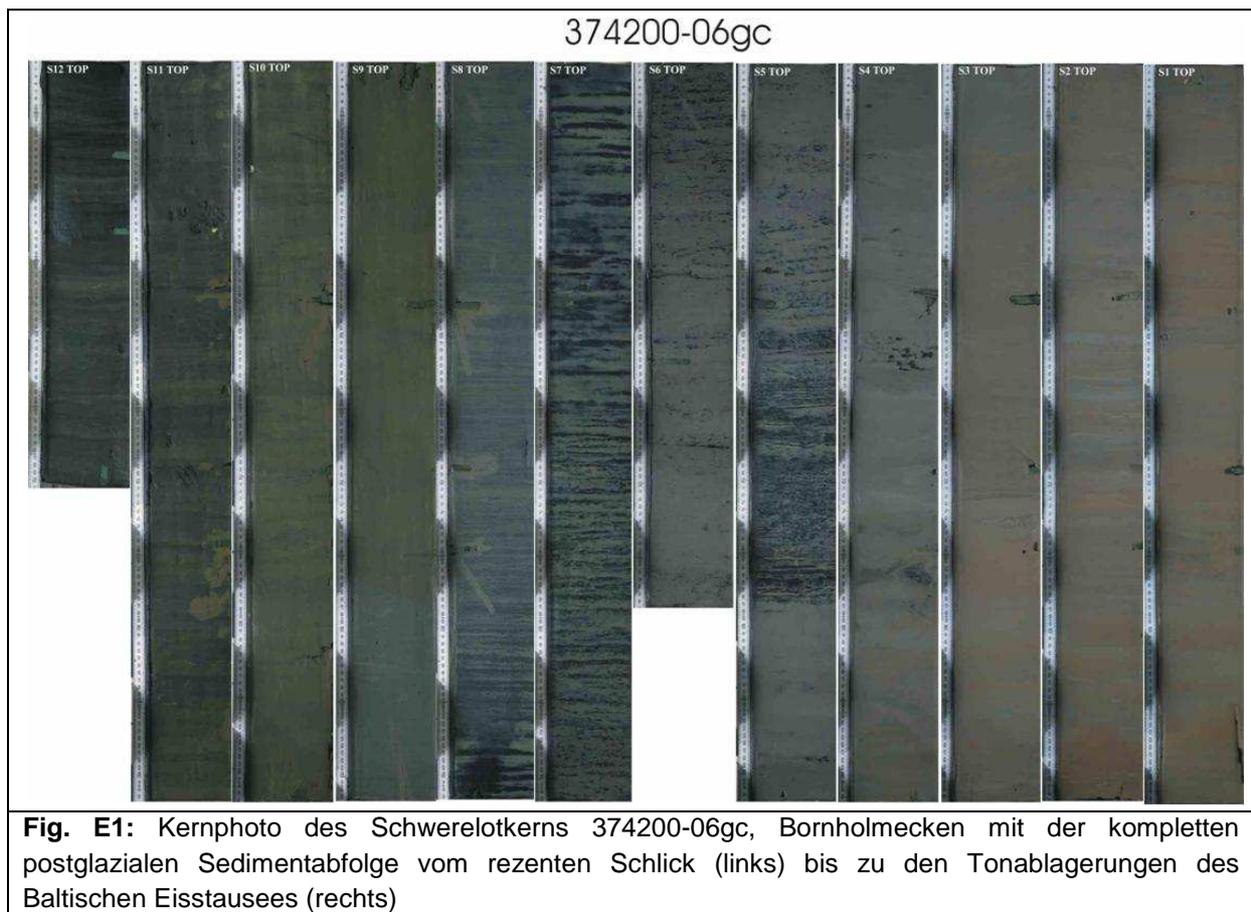


Im Postprocessing zeigt sich zudem, dass eine Zuordnung der Rückstreuanomalien durch Gasvorkommen durch Analyse der Winkelabhängigkeit des Streusignals umgesetzt werden kann. Die Daten wurden bereits beim AGU Fall meeting im Dezember 2010 vorgestellt. Eine erweiterte Ausarbeitung ist derzeit bei Marine and Petroleum Geology im Reviewverfahren (Schneider et al., 2012 submitted).

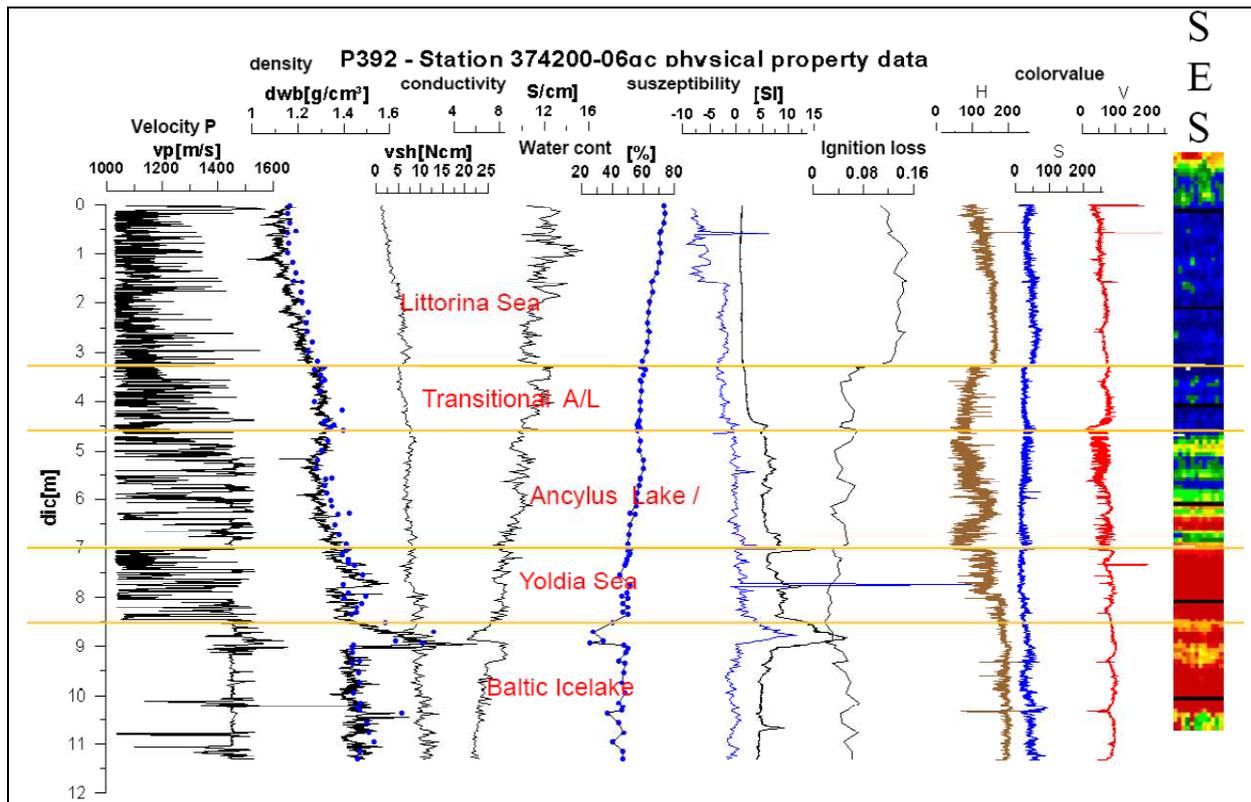
E.) *Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften der gashaltigen oberflächennahen Sedimente sowie Änderungen der Sedimenteigenschaften durch die Anwesenheit freien Gases*

Sedimentkerne werden für die Bearbeitung und Interpretation der akustischen Profilmessungen benötigt. Messung / Logging von physikalischen Eigenschaften der Sedimente erfolgte im Rahmen von BALTIC GAS nahezu ausschließlich am IOW. Die Kerne für die geophysikalischen Untersuchungen wurden während der Expedition P392 des FS Poseidon im Dezember 2009 und während der Expedition MSM 16/1 des FS Maria S. Merian im August 2010 gewonnen. An der Mehrzahl der in Fig. D-2 dargestellten Stationspositionen der P 392 wurden Kurzkerne (Frahmplot,

Rumohrlot) sowie lange Kerne (Schwerelot) gewonnen. An Bord wurden an diesen Kernen von den Kooperationspartnern Proben für geochemische Untersuchungen (Porenwasser, Methan, etc.) entnommen. Die weitere Bearbeitung der Kerne hinsichtlich sedimentphysikalischer und sedimentologischer Parameter erfolgte im IOW. Dabei kamen unterschiedliche Kernlogging Systeme zum Einsatz, die am IOW entwickelt bzw. weiterentwickelt wurden. Beispiel-Ergebnisse sind in Abb. E1 und E2 dargestellt.



Mit Hilfe der akustischen Eigenschaften (Schallgeschwindigkeit, Feuchtraumdichte) erfolgt dann die Verknüpfung der anderen physikalischen und sedimentologischen Daten mit den akustischen Profilmessungen bzw. den darin ausgehaltenen Schichtgrenzen. Des Weiteren bilden die an den Kernen bestimmten Parameter einen wichtigen Teil der Datenbasis für die geoakustische Modellierung, insbesondere die Erzeugung synthetischer Seismogramme. Gleichermäßen werden sie für die Einschätzung der Beeinflussung des Gasgehalts auf die Stabilität des Seebodens und damit möglicher Risiken für die Umwelt benötigt.

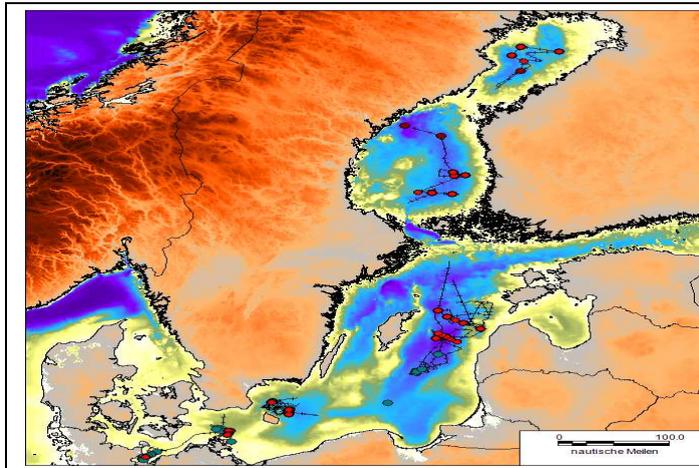


**Abb. E2:** Ergebnisse der sedimentphysikalischen und sedimentologischen Untersuchungen am Schwerelot Kern 374200-06gc, Bornholmbecken, außerhalb der gasführenden Schichten. Parameter: vp-Schallgeschwindigkeit; dwb – Feuchtraumdichte (wet bulk density), vsh-Flügel Scherfestigkeit, cond- elektrische Leitfähigkeit, WC- Wassergehalt, Susz- magnetische Suszeptibilität, IL- Glühverlust, H,S,V – Farbwerte im HSV-System, extrahiert aus den Kernphotos entlang der Kernachse

Sedimentkerne (6 - 12 m lange Schwerelotkerne, 0.6 - 1.5 m Kurzkerne) wurden weiterhin im Verlaufe der Forschungsreise MSM16/1 mit unterschiedlichen Zielstellungen für die BONUS-Vorhaben BALTIC GAS, INFLOW und HYPER gewonnen. Ein Teil der Kerne wurde bereits an Bord geöffnet und bearbeitet. Die Zwischenlagerung und weitere Bearbeitung der restlichen Kerne erfolgte in den Laboren der teilnehmenden Institute in Dänemark (Universität Aarhus), Schweden (Universität Lund), Finnland (Geolog. Dienst) und in Deutschland (IOW, MPI). Zusammen mit den Kernstationen der Reise P329 des FS *Poseidon* ergibt sich ein guter Überdeckungsgrad der wichtigsten Beckenbereiche in der Ostsee (Abb. E3).

Die "Standard" Prozedur der Kernbearbeitung beinhaltet das Kernlogging mit dem GEOTEK-MSCL (magnetische Volumenssuszeptibilität, P-Wellen Geschwindigkeit, Rohdichte), dem IOW-Split Core Logger (Kernphoto, elektrische Leitfähigkeit, Scherfestigkeit, magnetische Volumenssuszeptibilität) und dem Vertical Core Logger (nur für Frahm-Lote und Multi-Corer Kerne, elektrische Leitfähigkeit, P-Wave full wave form logging, magnetische Volumenssuszeptibilität, Scherfestigkeit). An ausgewählten Proben erfolgen Kompaktionsexperimente, um die Veränderung der

physikalischen Eigenschaften der Sedimente während der Sedimentbildung und Verfestigung zu untersuchen und damit die *in situ* Eigenschaften zu rekonstruieren.



**Abb. E3:** Lage der Sedimentecholotprofile und Kernstationen der BALTIC GAS Schiffsreisen P329 (grüne Punkte) und MSM16-1 (rote Punkte).

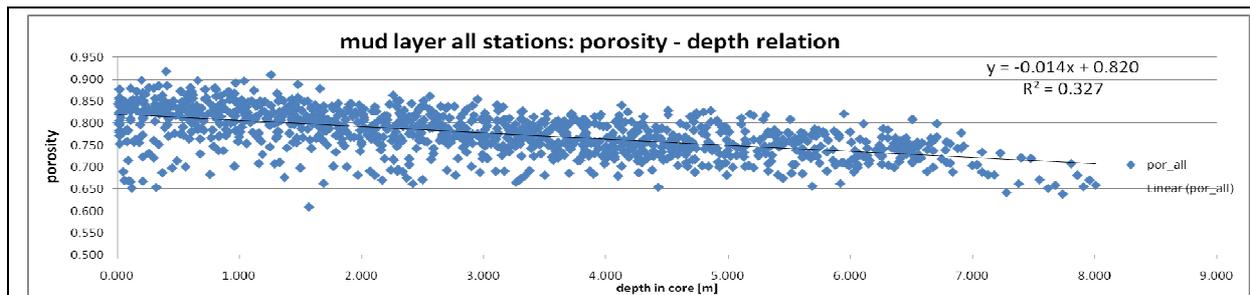
Ausgewählte physikalische Eigenschaften von gasfreien und gashaltigen Schlickablagerung des Holozäns sind in Tabelle E1 für den obersten Teil (0.5m) sowie die komplette erfasste Schichtmächtigkeit aufgelistet. Der Vergleich von gashaltigen und gasfreien Schlickeigenschaften zeigt, dass kein signifikanter Unterschied in Dichte (wet bulk density), Porosität (porosity), Wassergehalt (water content), Glühverlust (ignition loss) und Scherfestigkeit (vane shear strength) besteht. Eine Erklärung für dieses Verhalten ist, dass die Gas-Anteile sehr gering sind und daher die erwähnten „Bulk“ - Eigenschaften kaum beeinflussen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Wilkens & Richardson (1998) bei ihren Untersuchungen in der Eckernförder Bucht mit Gasanteilen zwischen 0-5% und Gasblasendurchmessern von 0-5mm.

**Tabelle E1:** Physikalische Eigenschaften von gashaltigen und gasfreiem Schlick für die oberste (0.5m) und komplette Schlickschicht

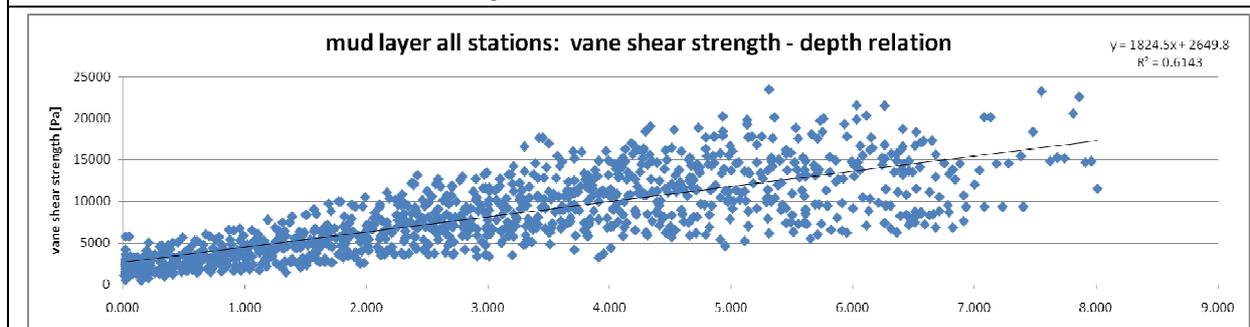
	Mean Thickn- ess	wbd- mean	wbd- std	wbd- depth- corr	wbd- depth- grad	dbd- mea- n	por- mean	por- std	por- depth- corr	por- depth- grad	gwc- mean	IL- mean	vsh- mean	vsh- depth- corr	vsh- depth- grad	vsh- wbd- corr	vsh- wbd- grad
	m	kg m- 3	kg m- 3		kg m- 4	kg m- 3				m-1			Pa	Pa m- 1	Pa m- 2		
gassy	0.500	1231	30	0.035	3	466	0.805	0.025	0.301	0.023	0.652	0.120	3208	0.571	1572	0.139	2.7
gassy	5.796	1282	52	0.726	22	521	0.771	0.034	-0.685	-0.013	0.599	0.117	9227	0.931	2224	0.697	55.1
gasfree	0.500	1185	21	0.029	-22	408	0.829	0.017	0.085	0.031	0.693	0.108	2339	0.811	2138	0.242	8.1
gasfree	4.698	1257	60	0.776	38	472	0.792	0.033	-0.759	-0.024	0.629	0.103	6367	0.885	1983	0.635	29.6

Mean Thickness – mean thickness of the depth interval [m], wbd-mean- mean wet bulk density [kg m<sup>-3</sup>], wbd-std – standard deviation of wet bulk density, dbd-mean – mean dry bulk density [kg m<sup>-3</sup>], por-mean – mean porosity, por-std – standard deviation of porosity, por-depth-corr – porosity depth correlation coefficient, por-depth-grad – porosity depth gradient, gwc-mean – mean bulk gravimetric water content, IL-mean – mean ignition loss, vsh-mean – mean vane shear failure strength, vsh-depth-corr – vane shear strength –depth correlation coefficient, vsh-depth-grad - vane shear depth gradient, vsh-wbd-corr – vane shear strength – wet bulk density correlation coefficient, vsh-wbd-grad – vane shear strength wet bulk density gradient

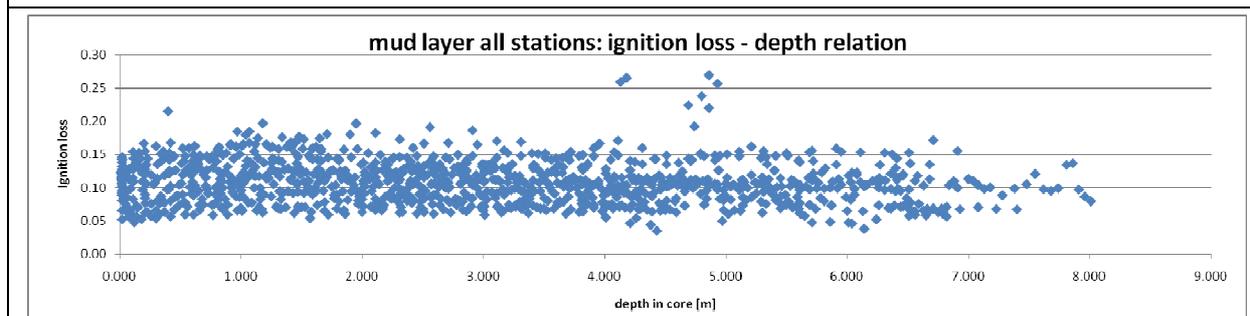
Die Tiefenabhängigkeit von Porosität, Glühverlust (als Maß für den organogenen Anteil) sowie die Scherfestigkeit ist in den Abbildungen E4a – E4c dargestellt. Es existiert eine geringfügige Abnahme in der Porosität von etwa 0.8 auf ca. 0.7 (Anteil am Gesamtvolumen), welches durch die natürliche Kompaktion verursacht wird. Das erwartete gegensätzliche Verhalten zeigt die Scherfestigkeit (undrained vane shear strength) mit Werten von ca. 3 kPa in Seebodennähe und Werten von bis zu 16 kPa in 8m Tiefe im Sediment. Der Glühverlust mit einem mittel von 0.1 (Gewichtsanteile) ist nahezu unabhängig von der Tiefe.



**Abb. E4a:** Porositäts – Tiefenbeziehung des Holozänen Schlicks in der Ostsee



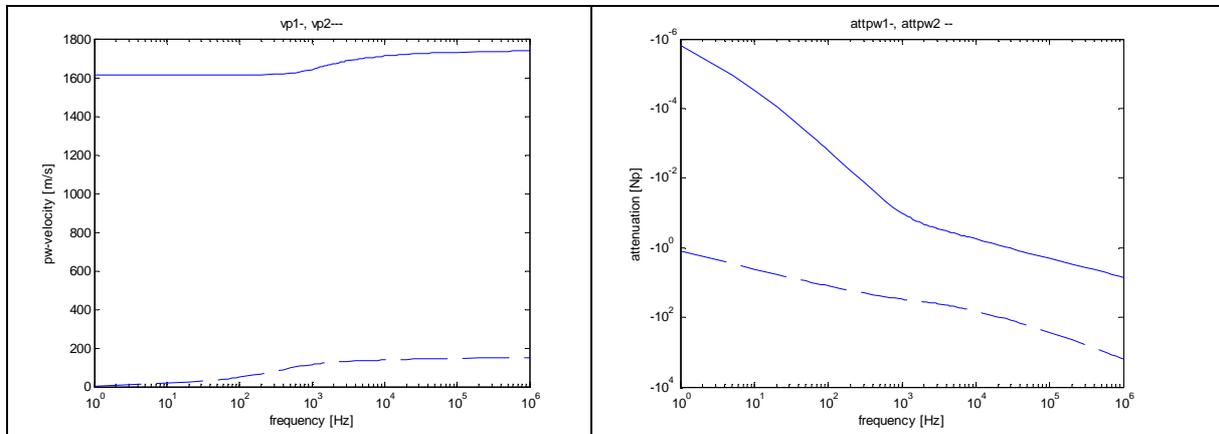
**Abb. E4b:** Scherfestigkeits (undrained vane shear strength) – Tiefenbeziehung des Holozänen Schlicks in der Ostsee



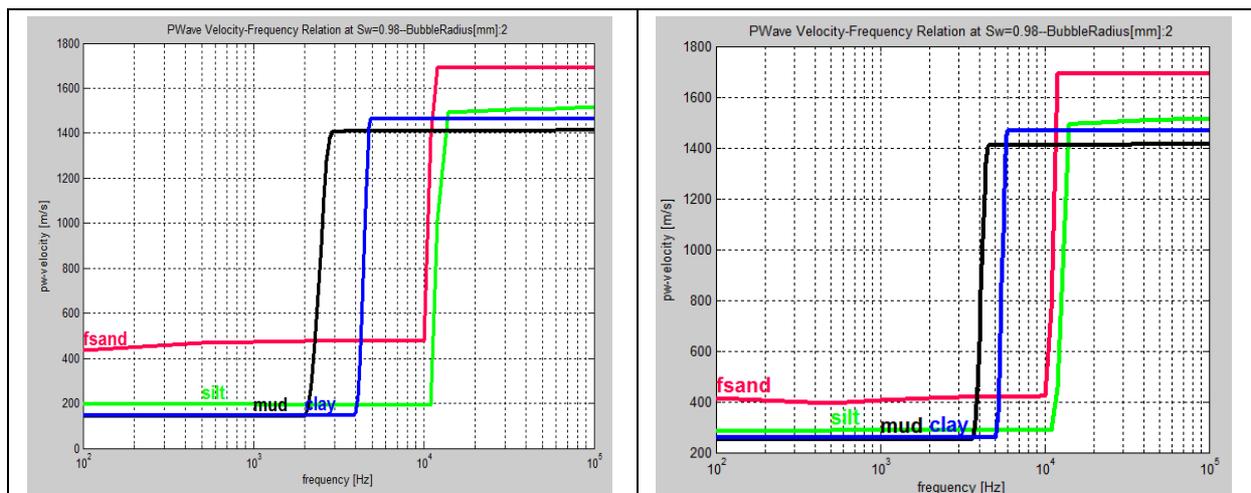
**Abb. E4c:** Glühverlust (ignition loss) – Tiefenbeziehung des Holozänen Schlicks in der Ostsee

Das Vorhandensein von Gasblasen im Sediment hat einen großen Einfluss auf akustische Eigenschaften wie Schallgeschwindigkeit, Dämpfung und Rückstreuung. Dies ist insbesondere in den Aufzeichnungen der akustischen Profilmessungen zu erkennen (Abb. D5). Das Verhalten der akustischen Parameter ist sehr komplex und wird durch Umgebungsparameter wie Druck und Temperatur, durch die Schallfrequenz, sowie durch die physikalischen Eigenschaften der einzelnen Sediment-Bestandteile bestimmt. Für ein besseres Verständnis dieser Beziehungen

wurde ein Modell für die Berechnung akustischer Eigenschaften von gasfreien und gashaltigen Sedimenten auf der Basis der Theorien von Biot (1956), Stoll (1985), und weiterer Autoren (Anderson & Hampton, 1980; Wilkens & Richardson, 1998) erstellt und erfolgreich mit ausgewählten Kernlogging Daten getestet.



**Abb. E5a:** Frequenzabhängigkeit von Phasengeschwindigkeit (links) und Dämpfung der BIOT'schen p-Wellen 1. und 2. Art (rechts) für gasfreies Sediment (Schluff).



**Abb. E5b:** Modellergebnisse für die Schallgeschwindigkeits-Frequenz Beziehungen für gashaltige Sedimente, Schluff (mud), Schluff (silt), und Feinsand. Sättigung 0.98 (2% Gas im Porenraum), Radius der Gasblasen 2 mm, Umgebungsparameter: Tiefe im Sediment: 1 m, Salinität der Porenflüssigkeit 18 psu, Temperatur 10°C, Wassertiefe 20m (li. Bild), Wassertiefe 92m (re. Bild)

Abb. E5a zeigt die Frequenzabhängigkeit von Phasengeschwindigkeit und Dämpfung der BIOT'schen p-Wellen 1. und 2. Art für gasfreies Sediment (Schluff). Schallgeschwindigkeits-Frequenz-Beziehungen für verschiedene gashaltige Sedimente (Feinsand, Schluff, Schluff, Ton, Sättigungsgrad  $SW = 0.98$ , Gasblasendurchmesser 2 mm) sind in Abb. E5b für verschiedene Wassertiefen (20 m, linkes Bild und 92 m, rechtes Bild) dargestellt. Die Resonanzfrequenz einer Gasblase von 2 mm Radius ist unterschiedlich für jeden Sedimenttyp, abhängig von

den Umgebungsparametern und liegt im Bereich von ca. 2-11 kHz (in Abhängigkeit von der Festigkeit des Sediments). Das Verhalten von Schallgeschwindigkeit und Schalldämpfung in der Nähe der Gasblasenresonanz ist sehr schwierig zu fassen und konnte in den Modellen nur näherungsweise implementiert werden. Die auffälligsten Merkmale sind die starken Veränderungen in Schallgeschwindigkeit und ein sehr starker Anstieg der Schalldämpfung, hauptsächlich verursacht durch Streuung. Dies führt zu den typischen „gas-anzeigenden“ Merkmalen in den akustischen Profilmessungen (siehe D5, D7). Oberhalb der Gasblasenresonanz entspricht die Schallgeschwindigkeit in etwa der des gasfreien Sediments. Unterhalb der Gasblasenresonanz hingegen fällt die Schallgeschwindigkeit auf Werte unter 500 m/s, welches auch recht gut mit den Geschwindigkeitsmodellen der seismischen Arbeiten übereinstimmt.

Die Arbeiten zu den physikalischen Eigenschaften der Sedimente (Task 3.2: Physical characterization of gas-bearing sediments) wurden praktisch ausschließlich am IOW durchgeführt und sind im entsprechenden Teil des BALTIC GAS Deliverables

[http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3\\_deliverable\\_no.1.pdf](http://balticgas.au.dk/fileadmin/balticgas/WP3_deliverable_no.1.pdf)

hinterlegt.

## **II. 2 Eingehende Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Dieser Teil des Berichtes wurde separat durch die Verwaltung des IOW übermittelt.

## **II. 3 Eingehende Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.**

Die Positionen des zahlenmäßigen Nachweises umfassen im Wesentlichen Personalkosten, sowie in geringerem Maße Verbrauchs- und Reisemittel. Letztere wurden überwiegend für die Expeditionen sowie die Teilnahme an den halbjährlichen Treffen des BALTIC GAS Konsortiums verwendet.

Die Personalkosten wurden maßgeblich verwendet für:

Anstellung der Diplom Geoökologin Wanda Gülzow. Sie war federführend mit der Implementierung der off axis integrated cavity output spectroscopy zur Messung von CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> auf der Fährlinie und dem Aufbau eines analogen Systems für den Betrieb auf Forschungsschiffen betraut. Hierauf aufbauend hat sie den ersten vollständigen Jahresgang der Methan- Oberflächenmessungen mit interdisziplinärem Ansatz ausgewertet und zur Veröffentlichung eingereicht. Im Rahmen ihrer

Dissertation (eingereicht Juni 2012) hat sie zudem die Wassersäulendaten des Bornholm- und Arkonabeckens, die im Rahmen von BALTIC GAS gewonnen wurden, wiederum mit stark interdisziplinären Ansätzen ausgewertet.

Anstellung des Post Docs Dr. Jens Schneider von Deimling. Dr. Schneider von Deimling hat vorrangig die Weiterentwicklung der Nutzung der Fächerechote für die Fragestellungen in BALTIC GAS betrieben. Er hat die ersten WCI-Daten mit Hilfe des ELAC-Prototypen gewonnen und hiermit auch das BMWi geförderte Projekt SUGAR (GEOMAR, TP Bialas) unterstützt. Zudem hat er den Ansatz der Nutzung des Backscattersignals des Tiefenwasserecholotes zur Kartierung von Flachgasvorkommen demonstriert und publiziert. Er war federführend für die Kompilierung aller Daten zur Freisetzung von freiem Gas in die Wassersäule verantwortlich (im Rahmen des Gesamtprojekts), was essentiell für die Deliverables 3.2 (federführend Rehder) und 3.3. (federführend Schneider von Deimling) des Projekts war. Daneben hat Dr. Schneider von Deimling die Messungen der Methankonzentration in der Wassersäule unterstützt und war Co-Betreuer der Arbeit von Frau Gülzow.

Dipl. Ing Sascha Plewe war für 2,5 Jahre im Projekt angestellt und als Techniker vorwiegend mit der Messung der physikalischen Eigenschaften der Sedimente sowohl auf See wie auch an Land betraut.

Die Mittel waren für die Durchführung des Projekts in dem geleisteten Umfang vollständig erforderlich, aber nicht hinreichend. Das Projekt wurde sowohl personell (Arbeitszeit der PIs Rehder und Endler, geoakustische Messungen durch den Festangestellten Techniker Gerald Nickel, Unterstützung durch den institutionell angestellten Wissenschaftler Dr. Oliver Schmale, etwa acht Monate Arbeitszeit des festangestellten Technikers Bernd Sadkowiak) wie auch investitionsseitig (etwa 120.000 € Berufungs- und Hausinvestitionsmittel für 2 Los Gatos icos-Sensoren, Peripherie auf Fährlinie und Messstand des freien Systems, Softwareanpassung auf der Fährlinie) aus Hausmitteln unterstützt.

## **II. 4 Eingehende Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Auf die Tatsache, dass es sich hier um ein Projekt der Grundlagenforschung handelt, wurde bereits bei der Antragstellung hingewiesen. Die Daten des Projekts wurden und werden weiterhin in die BALTIC GAS Datenbank bei Pangea eingepflegt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden und werden, teilweise in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, publiziert (siehe auch II.6). Um die Anschlussfähigkeit im Rahmen einer Weiterführung des BONUS 169 Plans zu verbessern, wurde im

Rahmen des BONUS EEIG Polls ein Vorschlag für ein Projekt zur Untersuchung der Spurengasemissionen aus den küstennahen Bereichen der Ostsee vorgeschlagen. Ein entsprechender Antrag wird unter Finnischer Führung mit Beteiligung des IOW gestellt werden, wenn der BONUS Call wie erwartet erfolgen sollte. Die Fährlinie Helsinki-Lübeck, mit dem im Rahmen dieses Projekts implementierten System zur kontinuierlichen Messung von CO<sub>2</sub> und Methan, ist, sicherlich auch aufgrund der im Rahmen des Projekts BALTIC GAS erfolgten Erweiterung, als Komponente des Deutschen Beitrags zum ESFRI Projekt ICOS etabliert worden. Im Rahmen der bereits geförderten Pilotstudie im Rahmen von ICOS-D erfolgt zunächst eine Erweiterung um meteorologische Parameter und atmosphärische Messungen. In einer weiteren Phase soll das System um die Messung von N<sub>2</sub>O erweitert werden bevor es dann im Rahmen der Förderung des IOW als Dauereinrichtung etabliert werden soll. Damit leistet das im Rahmen von BALTIC GAS aufgebaute System einen Beitrag zur Deutschen Verpflichtung der Klimaforschung, und wird weit über den erwarteten Zeithorizont hinweg genutzt werden.

Die Kartierung der Flachgasvorkommen sowie Charakterisierung der geophysikalischen Eigenschaften der Sedimente sind zudem von hohem Wert für die Risikoabschätzung geplanter und zukünftiger Offshore-Aktivitäten.

## **II. 5. Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Fortschritt im Rahmen der Fragestellung von BALTIC GAS sind im Wesentlichen im durch die Projektpartner erfolgt. Hierzu zählen vor allem die Modellierungsstudien zur erwarteten Änderung der biogeochemischen Bildung und Umsetzung von Methan im Sediment infolge von Eutrophierung/Klimaänderung (TP5).

## **II. 6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses**

### a) abgeschlossene Diplomarbeiten

Thomas, Stine: Vergleich und Optimierung analytischer Methoden zur Bestimmung des Methangehalts in Seewasser, Universität Rostock, Juli 2011 (1,3 sehr gut)

### b) abgeschlossene Dissertationen

Gülzow, W.: Seasonal distribution of methane in the surface water and the water column of selected areas of the Baltic Sea, Universität Rostock, eingereicht 26. Juni 2012 (in Begutachtung)

c) Artikel in internationalen Fachzeitschriften

veröffentlicht:

Gülzow, W., G. Rehder, B. Schneider, J. Schneider von Deimling and B. Sadkowiak (2011): A new method for continuous measurement of methane and carbon dioxide in surface waters of the Baltic Sea using off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS), *Limnology Oceanography Methods*, 9, 176-184

Löffler, A., B. Schneider, M. Perttilä and G. Rehder (2012): Air-Sea CO<sub>2</sub> exchange in the Gulf of Bothnia, Baltic Sea, *Continental Shelf Research*, 37, 46-56.

Schmale, O., J. Schneider von Deimling, W. Gülzow, G. Nausch, J. J. Waniek and G. Rehder (2010): Distribution of methane in the water column of the Baltic Sea, *Geophysical Research Letters*, 37, L12604.

Schneider von Deimling, J., J. Greinert, N. R. Chapman, W. Rabbel and P. Linke (2010a): Acoustic imaging of natural gas seepage in the North Sea: Sensing bubbles under control of variable currents, *Limnology and Oceanography Methods*, 8, 155-171.

Schneider von Deimling, J., G. Rehder, J. Greinert, D. F. McGinnes, A. Boetius and P. Linke (2011): Quantification of seep-related methane gas emissions at Tommeliten, North Sea. *Continental Shelf Research* 31, 867-878.

Schneider von Deimling, J. and C. Papenberg (2012): Detection of gas bubble leakage via correlation of water column multibeam images. *Ocean Scientific Discussions*, 8, 1757-1775.

eingereicht:

Gülzow, W., G. Rehder, J. Schneider von Deimling, T. Seifert and Zs. Tóth (2012): One year of continuous measurements constraining methane emissions from the Baltic Sea to the atmosphere using a ship of opportunity, *Biogeosciences Discussions*, 9, 9897-9944

Schneider von Deimling, J., W. Weinrebe, Zs. Tóth, H. Fossing, R. Endler, G. Rehder and V. Spieß (n.d.) (2012): A low frequency multibeam assessment: Spatial mapping of shallow gas by enhanced penetration and angular response anomaly, submitted to *Marine and Petroleum Geology*

c) Vorträge und Poster bei internationalen Konferenzen und Instituten

Endler, R., J. Wunderlich, J. Schneider von Deimling and S. Erdmann: Acoustic imaging of shallow gas in Baltic Sea sediments, Oral presentation, *Int. Conf. HYDRO*, Warnemünde, 2010

Gülzow W., G. Rehder, J. Schneider von Deimling and T. Seifert: Controlling processes of seasonal and spatial distribution of methane in the surface water of the Baltic Sea based on long term continuous measurements, Ferrybox Workshop, Geestacht, 2011

Gülzow W., G. Rehder, J. Schneider von Deimling, and T. Seifert: Seasonal and spatial distribution of methane in the surface water of the Baltic Sea. 8<sup>th</sup> Baltic Sea Science Congress, Skt. Petersburg, Russia, Aug. 22-26, 2011.

Rehder G., L. Lapham, H. Fossing, W. Gülzow, J. Schneider von Deimling, R. Endler, V. Spieß, J.B. Jensen, V. Bruechert, T. Ferdelmann, O. Schmale, J. Virtasalo, D. Conley, T. Neumann, T. Leipe, S. Flury, Zs. Toth, B. B. Jørgensen and the MSM 16/1 shipboard scientific party (2011): Shallow gas occurrences, methane fluxes and their controlling processes in the Baltic, 8<sup>th</sup> Baltic Sea Science Congress, Skt. Petersburg, Russia, Aug. 22-26, 2011

Schneider von Deimling, J., Gas Mapping using Multibeam Mapping Sonar, Oral presentation, *Int. Conf. HYDRO*, Warnemünde, 2010

Gülzow W., G. Rehder, B. Schneider, J. Schneider von Deimling and B. Sadkowiak: A new method for continuous measurement of methane and carbon dioxide in surface waters of the Baltic Sea using off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS). *Geophysical Research Abstracts Vol.12*, EGU 2010-2913, EGU General Assembly, Vienna, May 2-7, 2010.

Gülzow W., G. Rehder, B. Schneider, J. Schneider von Deimling and B. Sadkowiak: Continuous measurement of methane and carbon dioxide concentrations in surface waters based on off-axis integrated cavity output spectroscopy (B13E-02). AGU general assembly, San Francisco, U.S.A., Dec. 13-17, 2010.

Rehder G., H. Fossing, L. Lapham, R. Endler, V. Spiess, V. Bruchert, T. Nguyen, W. Gülzow, J. Schneider von Deimling, D J. Conley and B.B. Jørgensen: Methane fluxes and their controlling processes in the Baltic Sea (B41D-0328). AGU general assembly, San Francisco, U.S.A. Dec. 13-17, 2010.

Schneider von Deimling J., W. Weinrebe, D. Bürk, Zs.Tóth, R. Endler, H. Fossing, V. Spieß and G. Rehder. Subbottom mapping of shallow gas using medium to low frequency multibeam sounders (OS12B-03). AGU general assembly, San Francisco, U.S.A. Dec. 13-17, 2010.

Tóth Zs., J. Schneider von Deimling and V. Spieß: Distribution of shallow gas accumulations in the sediments of the Mecklenburg Bay, Baltic Sea; based on multi-frequency seismo-acoustic mapping, Poster, Hungary ([www.isza.hu](http://www.isza.hu)), 26-27th of March 2010

## Literaturangaben:

- Anderson, A.L. and L.D. Hampton (1980): Acoustics of gas-bearing sediments: I. Background. II. Measurements and models. *Journal of the Acoustical Society of America*, 67, 1865-1903
- Bange, H. W., U. H. Bartell, S. Rapsomanikis and M. O. Andreae (1994): Methane in the Baltic and North Seas and a reassessment of the marine emissions of methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 8, 465-480.
- Biot, M.A. (1956): Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. I. Low Frequency Range. II. Higher Frequency Range. *Journal of the Acoustical Society of America*, 28, 168-191
- Gülzow, W., G. Rehder, B. Schneider, J. Schneider von Deimling and B. Sadkowiak (2011): A new method for continuous measurement of methane and carbon dioxide in surface waters using off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS): An example from the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography Methods*, 9, 176-184.
- Gülzow, W., G. Rehder, J. Schneider von Deimling, T. Seifert and Zs. Tóth (2012a): One year of continuous measurements constraining methane emissions from the Baltic Sea to the atmosphere using a ship of opportunity. *Biogeosciences Discussion*, 9, 9897-9944.
- Gülzow, W. (2012b): Seasonal distribution of methane in the surface water and the water column of selected areas of the Baltic Sea, *Ph.D.thesis, Universität Rostock*, submitted 26. June 2012 (in review), 180pp.
- Heyer, J., U. Berger and R. Suckow (1990): Methanogenesis in different parts of a brackish water ecosystem. *Limnologica*, 20 (1), 135-139.
- Körtzinger, A., H. Thomas, B. Schneider, N. Gronau, L. Mintrop and J. C. Duinker (1996): At sea - intercomparison of two newly designed underway pCO<sub>2</sub>-systems - encouraging results. *Marine Chemistry*, 52, 133-145.
- Laier, T. and J. Jensen (2007): Shallow gas depth - contour map of the Skagerrak-western Baltic Sea region. *Geo-Marine Letters*, 27 (2), 127-141.
- Löffler, A., B. Schneider, M. Perttilä and G. Rehder (2012): Air-Sea CO<sub>2</sub> exchange in the Gulf of Bothnia, Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 37, 46-56.
- Pimenov, N., M. Ulyanova, T. Kanapatsky, E. Veslopolova, P. Sigalevich and V. Sivkov (2010): Microbially mediated methane and sulfur cycling in pockmark sediments of the Gdansk Basin, Baltic Sea. *Geo-Marine Letters*, 30 (3), 439-448.
- Rehder, G. and E. Süß (2001): Methane and pCO<sub>2</sub> in the Kuroshio and the South China Sea during maximum summer surface temperatures. *Marine Chemistry*, 75, 89-108.
- Schmale, O., J. Schneider von Deimling, W. Gülzow, G. Nausch, J. J. Waniek and G. Rehder (2010): Distribution of methane in the water column of the Baltic Sea. *Geophysical Research Letters*, 37, L12604.
- Schneider von Deimling, J., J. Brockhoff and J. Greinert (2007): Flare imaging with multibeam sonar systems: Data processing for seep bubble detection. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 8, 1-7.

- Schneider von Deimling, J. and C. Papenberg (2012): Detection of gas bubble leakage via correlation of water column multibeam images. *Ocean Scientific Discussions*, 8, 1757-1775.
- Stoll, R.D. (1985): Marine sediment acoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77 (5), 1789-1799.
- Thießen, O., M. Schmidt, F. Theilen, M. Schmitt and G. Klein (2006): Methane formation and distribution of acoustic turbidity in organic-rich surface sediments in the Arkona Basin, Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 26 (19), 2469-2483.
- Wilkins, R.H. and M.D. Richardson (1998): The influence of gas bubbles on sediment acoustic properties: in situ, laboratory, and theoretical results from Eckernförde Bay, Baltic sea. *Continental Shelf Research*, 18, 1859-1892.

## ANHANG:

- Gülzow, W., G. Rehder, B. Schneider, J. Schneider von Deimling and B. Sadkowiak (2011): A new method for continuous measurement of methane and carbon dioxide in surface waters of the Baltic Sea using off-axis integrated cavity output spectroscopy (ICOS), *Limnology Oceanography Methods*, 9, 176-184
- Gülzow, W., G. Rehder, J. Schneider von Deimling, T. Seifert and Zs. Tóth (2012a): One year of continuous measurements constraining methane emissions from the Baltic Sea to the atmosphere using a ship of opportunity. *Biogeosciences Discussion*, 9, 9897-9944.
- Löffler, A., B. Schneider, M. Perttilä and G. Rehder (2012): Air-Sea CO<sub>2</sub> exchange in the Gulf of Bothnia, Baltic Sea, *Continental Shelf Research*, 37, 46-56.
- Schmale, O., J. Schneider von Deimling, W. Gülzow, G. Nausch, J. J. Waniek and G. Rehder (2010): Distribution of methane in the water column of the Baltic Sea. *Geophysical Research Letters*, 37, L12604.
- Schneider von Deimling, J., Greinert, J., Chapman, N. R., Rabbel, W., Linke and P (2010a): Acoustic imaging of natural gas seepage in the North Sea: Sensing bubbles under control of variable currents, *Limnology and Oceanography Methods*, 8, 155-171.
- Schneider von Deimling, J., G. Rehder, J. Greinert, D. F. Mcginnes, A. Boetius and P. Linke (2011): Quantification of seep-related methane gas emissions at Tommeliten, North Sea, *Continental Shelf Research*, 31, 867-878.
- Schneider von Deimling, J. and C. Papenberg (2012): Detection of gas bubble leakage via correlation of water column multibeam images, *Ocean Scientific Discussions*, 8, 1757-1775.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Abschlußbericht	
3a. Titel des Berichts  ERANET BONUS Verbundprojekt BALTIC GAS – Methanemission in der Ostsee: Gasspeicherung und Auswirkungen des Klimawandels und der Eutrophierung, Vorhaben TP2 (IOW)		
3b. Titel der Publikation		
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Rehder, Gregor	5. Abschlußdatum des Vorhabens 31.12.2011	
	6. Veröffentlichungsdatum 29.8.2012	
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	7. Form der Publikation BMBF Abschlußbericht	
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) Seestrasse 15 18119 Rostock	10. Förderkennzeichen *) 03F0488B	
	11a. Seitenzahl Bericht 36	
	11b. Seitenzahl Publikation	
	12. Literaturangaben 16	
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  53170 Bonn	14. Tabellen 2	
	15. Abbildungen 25	
	16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung  Der Bericht beschreibt die wissenschaftlichen Arbeiten des IOW im Rahmen des ERANET BONUS Projekts BALTIC GAS. Übergeordnetes Ziel von BALTIC GAS war es, den derzeitigen Zustand des Methankreislaufs in der Ostsee zu untersuchen. Hierbei war auch Ziel, das Verständnis zu mehr, inwieweit Klimawandel und Eutrophierung die Verbreitung von Flachgasvorkommen in den Sedimenten der Ostsee sowie die Emission von Methan in die Wassersäule und die Atmosphäre beeinflussen kann. Um zu dieser Zielsetzung beizutragen, wurden die folgenden Arbeitspakete am IOW bearbeitet: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswertung älterer sowie Gewinnung und Auswertung neuer seismo-akustischer Daten zur Kartierung und Quantifizierung von Flachgasvorkommen in der Ostsee</li> <li>• Charakterisierung der sedimentphysikalischen Eigenschaften in Gebieten mit und ohne Vorkommen freien Gases</li> <li>• Identifizierung von „Hot Spots“ der Gasfreisetzung in die Wassersäule durch Literaturrecherche und neue Untersuchungen</li> <li>• Quantifizierung der Methanemissionen in die Atmosphäre und Identifizierung der Kontrollmechanismen für Stärke und Saisonalität dieser Emissionen.</li> </ul> Besonders hervorzuhebende Ergebnisse sind <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Entwicklung eines kontinuierlich laufenden Systems zur Messung der Methankonzentration an der Meeresoberfläche unter Nutzung eines Handelsschiffs und „off axis integrated cavity output“ Spektroskopie</li> <li>• Interpretation eines Jahresgangs kontinuierlicher Methan- Oberflächenmessungen zwischen Helsinki und Travemünde</li> <li>• Entwicklung einer Methode zur Nutzung des Rückstreuungssignals von niederfrequenten Fächerecholotsystemen zur zweidimensionalen Kartierung von Flachgasvorkommen</li> <li>• Korrelation der Variabilität des Methaninventars in der Wassersäule mit hydrographischen Prozessen unter Nutzung von 3-D Modellierungen hydrographischer Parameter</li> </ul>		
19. Schlagwörter Ostsee, Methan, Flachgas, Treibhausgase, Klimawandel, Eutrophierung, Fächerecholot, Sonar		
20. Verlag Eigenverlag	21. Preis kostenlos	

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of Report Final Report	
3a. Report Title ERANET BONUS Verbundprojekt BALTIC GAS – Methanemission in der Ostsee: Gasspeicherung und Auswirkungen des Klimawandels und der Eutrophierung, Vorhaben TP2 (IOW)		
3b. Title of Publication		
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Rehder, Gregor	5. End of Project 31.12.2011	
	6. Publication Date 29.8.2012	
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s))	7. Form of Publication BMBF Final Report	
	9. Originator's Report No.	
8. Performing Organization(s) (Name, Address)  Leibniz Institute for Baltic Sea Research (IOW) Seestrasse 15 18119 Rostock	10. Reference No. 03F0488B	
	11a. No. of Pages Report 36	
	11b. No. of Pages Publication	
	12. No. of References 16	
13. Sponsoring Agency (Name, Address)  Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  53170 Bonn	14. No. of Tables 2	
	15. No. of Figures 25	
	16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)		
18. Abstract <p>The Report describes the scientific effort made by IOW within the ERANET BONUS Project BALTIC GAS. The overarching goal of BALTIC GAS was the investigation of the current state of the methane cycle within the Baltic, with the aim to foster the understanding in how far climate change and eutrophication might alter the abundance of shallow gas occurrences in Baltic Sea sediments, as well as the emission of methane into the water column and atmosphere. To contribute to this overarching goal of BALTIC GAS, the following individual work packages were performed at IOW:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- processing of elder and collection and processing of new seismo-acoustic data for the mapping and quantification of shallow gas occurrences in the Baltic</li> <li>- characterization of physical properties of the sediments in areas with and without the occurrence of free gas</li> <li>- identification of hot spot of gas emanation into the water column by literature review and new investigations using acoustical and chemical tools</li> <li>- quantification of the methane emission into the atmosphere and identification of the key controls on the strength and seasonality of these emissions</li> </ul> <p>Highlights of the work include</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- the development of a continuous running system for the measurement of surface methane concentrations on a ship of opportunity using off axis integrated output spectroscopy</li> <li>- interpretation of the year of continuous surface methane observations between Helsinki and Travemünde</li> <li>- development of a method to use low frequency multibeam reflection data for the 2-D mapping of shallow gas</li> <li>- correlation of the variability of the methane inventory in the water column to hydrographic processes using advanced modeling data</li> </ul>		
19. Keywords Baltic Sea, Methane, Shallow Gas, Greenhouse Gases, Climate Change, Eutrophication, Multibeam, Acoustics		
20. Publisher	21. Price	