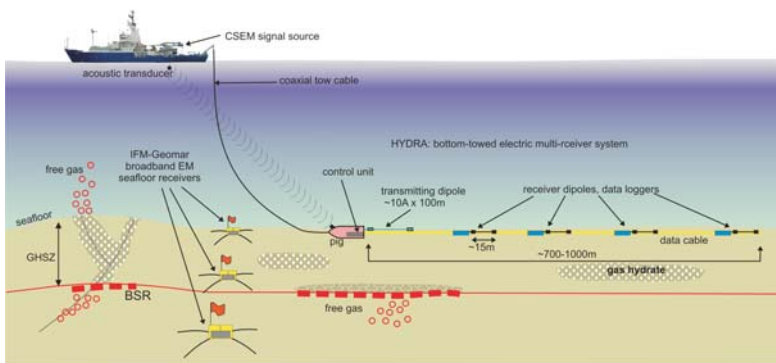


Projekt SUGAR-A: Submarine Gashydrat- Ressourcen

Teilprojekt A2.2 Bewertung submariner Gashydrate mit marinen elektromagnetischen Methoden

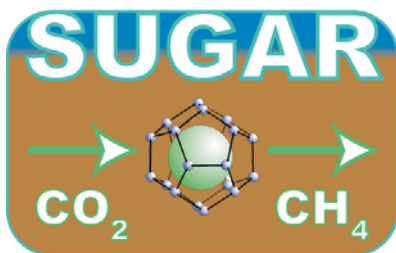


Abschlussbericht

Berichtszeitraum: 01.05.2008 - 30.04.2011

BMBF Förderzeichen: 03G0688A

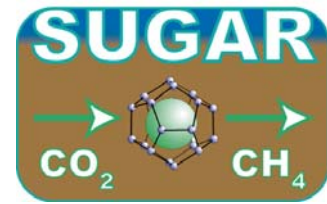
BGR Projekt Nr: 05-449



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Projekt: SUGAR – Submarine Gashydrat-Ressourcen

SUGAR-A: Submarine Gashydratlagerstätten als Deponie für die CO₂-Sequestrierung
Sonderprogramm – Geotechnologien

Teilprojekt: A2.2 Bewertung submariner Gashydrate mit marinen elektromagnetischen
Verfahren

Zuwendungsempfänger: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2,
30655 Hannover

Förderkennzeichen: 03G0688A

Berichtszeitraum: 01.05.2008 - 30.04.2011

Verfasser: Dr. Katrin Schwalenberg, Dr. Martin Engels

Schlussbericht

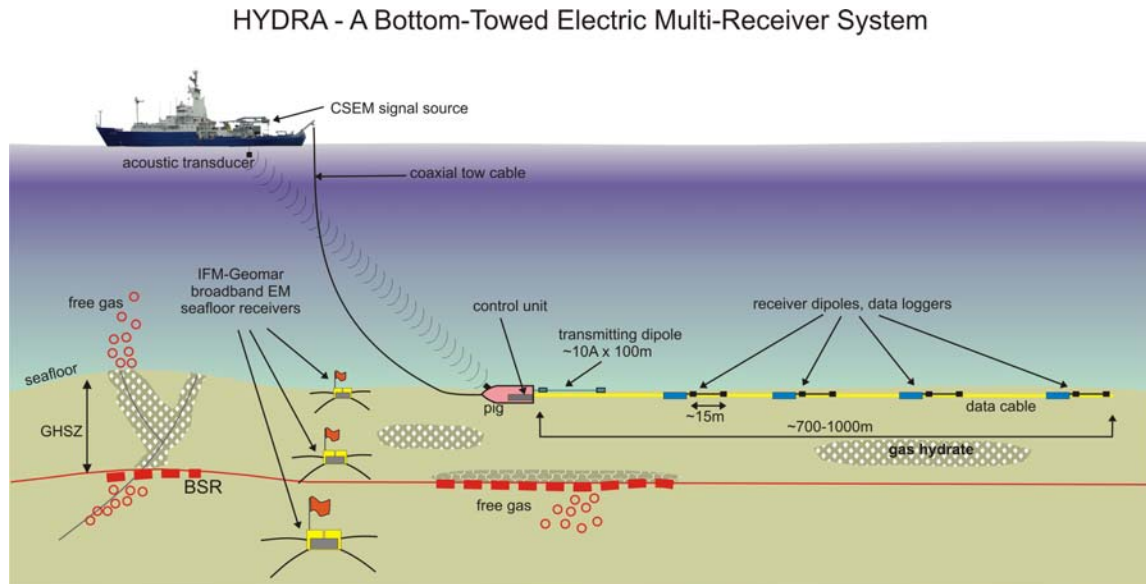
I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Für die Bewertung einer Gashydratlagerstätte, sei es aufgrund ihres Energiepotentials oder ihrer Eignung als CO₂ Speicher, ist die Kenntnis von Bedeutung, wie viel Gashydrat sich wo bildet und wie es verteilt ist. Dazu braucht man Messverfahren, die den gesamten Gashydrat-Stabilitätsbereich erfassen. Aktive Elektromagnetik oder *controlled source electromagnetic* (CSEM) ist eine sehr geeignete Methode, da die elektrische Leitfähigkeit bzw. der elektrische Widerstand sich dort signifikant ändert, wo sich Gashydrate in signifikanten Mengen gebildet haben. Gashydrate sind elektrische Nichtleiter und verdrängen bei ihrer Bildung das elektrisch gut leitende Salzwasser aus den Poren oder ersetzen Teile der Sedimentmatrix. Der elektrische Widerstand der Gashydratformation ist somit entsprechend erhöht. Dieser Effekt ist mit einem geschleppten elektrischen Dipol-Dipol Messsystem (Edwards, 1997, Yuan and Edwards, 2000) an den Kontinentalrändern von Kanada und Neuseeland beobachtet worden (Schwalenberg et al., 2005, 2008).

Ziel des SUGAR TP A2.2 war die Entwicklung von CSEM Messverfahren zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung im Meeressediment. Dazu ist an der BGR ein neues, am Meeresboden geschlepptes CSEM Messsystem entwickelt und gebaut worden, welches

sich speziell für die Exploration der Gashydratstabilitätszone vom Meeresboden bis zu einige Hundert Meter darunter eignet. Das Messsystem konnte während der Projektlaufzeit fertig gestellt werden und ist auf zwei Testfahrten (St. Lawrence River, Quebec; Schwarzes Meer, Rumänien) und einer Ausfahrt vor Neuseeland (Projekt NEMESYS) getestet und erfolgreich eingesetzt worden.



Messkonfiguration des an der BGR entwickelten, geschleppten CSEM Messsystems HYDRA und stationäre Breitband-Elektromagnetik-Empfänger des IFM-Geomar.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Ein wichtiger Schwerpunkt an der BGR im Fachbereich Marine Rohstoffexploration ist die Entwicklung von geophysikalischen Methoden und Geräten zur Erkundung des Meeresbodens. Dazu stehen ein breites Spektrum an Methoden, Labor- und Ausrüstungsgegenständen, Lager- und Versuchsräumen, sowie erfahrenes wissenschaftliches und technisches Personal zur Verfügung. Seit 2006 besteht an der BGR die Arbeitsgruppe „Marine Elektromagnetik“, die sich insbesondere mit der Entwicklung und Anwendung aktiver Elektromagnetik-Verfahren (CSEM) zur Untersuchung des flachen Meeresuntergrunds beschäftigt. Erste Erfahrungen mit marin-elektromagnetischen Verfahren zur Erkundung von submarinen Gashydraten wurden an der University of Toronto gesammelt (Edwards, 1997). Die Arbeitsgruppe um Prof. Nigel Edwards entwickelte Ende der 90er Jahre ein am Meeresboden geschlepptes elektrisches Dipol-Dipol System mit einem Sendedipol und zwei Empfangsdipolen welches vor Kanada, Chile und Neuseeland (Schwalenberg et al., 2005, 2010) zum Einsatz kam und mittlerweile überholt und nicht mehr im Gebrauch ist.

Marine Elektromagnetik wird in Deutschland erst seit Einrichtung der Arbeitsgruppen an der BGR und am IFM-Geomar betrieben. Da zur Exploration von Gashydraten kein geeignetes CSEM System verfügbar war, bzw. kein kommerzieller Anbieter existiert, bestand der

Schwerpunkt im Teilprojekt A2.2 in der Entwicklung und Erprobung eines neuen CSEM Messsystems. Um dieses Ziel zu erreichen wurde zusätzliches wissenschaftliches und technisches Personal benötigt, da dies mit BGR Kernpersonal allein nicht möglich war. Für das neue Messsystem musste zunächst ein Konzept entwickelt werden, welches in der Anfangsphase mehrfach angepasst wurde, insbesondere was die Entwicklung der mechanischen Komponenten betraf, wie Datenkabel, Kabelterminierungen, Steckverbinder, Druckgehäuse und Zugrahmen. Hier mussten erst Firmen gefunden werden, die mit den nötigen Spezialanfertigungen beauftragt werden konnten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Trotz teilweise großer Verzögerungen bei den Lieferterminen konnte der geplante Projektablauf im Wesentlichen eingehalten und das Messsystem innerhalb der Projektlaufzeit fertig gestellt und getestet werden. Entscheidend dafür waren wiederholte und umfassende Labortests der elektronischen Komponenten, und kurze (RV Littorina) und längere (RV Coriolis II, RV Poseidon) Testfahrten, bei denen das Rauschverhalten der Elektronik, die Übertragung von Störsignalen über das Datenkabel, sowie Probleme bei der mechanischen Handhabung erkannt und behandelt werden konnten.

Der zeitliche Ablauf des Teilprojekts A2.2 ist im Folgenden schematisch aufgeführt:

05/2008	Rückwirkender Projektstart
06 – 09/2008	Akquirierung von wissenschaftlichem und technischem Personal
10/2008 – 06/2009	Entwicklung eines Konzepts für ein geschlepptes Dipol-Dipol Messsystem, Einholung von Angeboten
07/2009 – 02/2010	Lieferung und Fertigung von Systemkomponenten für den Prototypen
02 – 07/2010	Labortests von Systemkomponenten, Erstellung von Auswerterroutinen
05 – 08/2010	erste Funktionstests auf RV Littorina in der Kieler Förde
09/2010	Testfahrt mit CSEM Empfänger Messkette auf RV Coriolis II im St. Lawrence River, Quebec, Kanada
12/2010	Testfahrt mit vollem Systemaufbau auf RV Poseidon über Gashydratvorkommen im Schwarzen Meer
01 – 04/2011	Auswertung der Daten, Revision des Messkonzepts
04/2011	Messeinsatz auf RV Sonne über Gashydraten vor Neuseeland (Projekt NEMESYS)

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Marine CSEM ist eine Explorationsmethode, die seit Mitte der 80er Jahre an wenigen Forschungsinstituten, darunter Scripps (University of California San Diego, US), University of Toronto (Canada), Woods Hole Oceanographic Institution (US) und Universities of

Cambridge / Southampton (UK) zur Erkundung der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung im Meeresuntergrund entwickelt wurde. Die Anwendungsgebiete waren zunächst Sedimenteigenschaften der ozeanischen Kruste und Hydrothermalsysteme an ozeanischen Rückensystemen. Die Gruppe um Prof. Nigel Edwards an der University of Toronto konzentrierte sich seit Ende der 90er Jahre auf die Exploration submariner Gashydrate. Seit der Jahrtausendwende erfahren marine CSEM Verfahren eine zunehmende Akzeptanz zur Exploration von offshore Öl- und Gaslagerstätten. CSEM (Volumeneigenschaften, Charakterisierung des Porenfluids) und seismische Daten (Struktur, hochauflösend) enthalten komplementäre Informationen. Die gemeinsame Evaluierung der Datensätze verringert das Explorationsrisiko.

Das gleiche gilt für die Evaluierung von Gashydratvorkommen. Auch hier führt die gemeinsame Auswertung seismischer und CSEM Daten zu einer besseren Beurteilung der Gashydratlagerstätte.

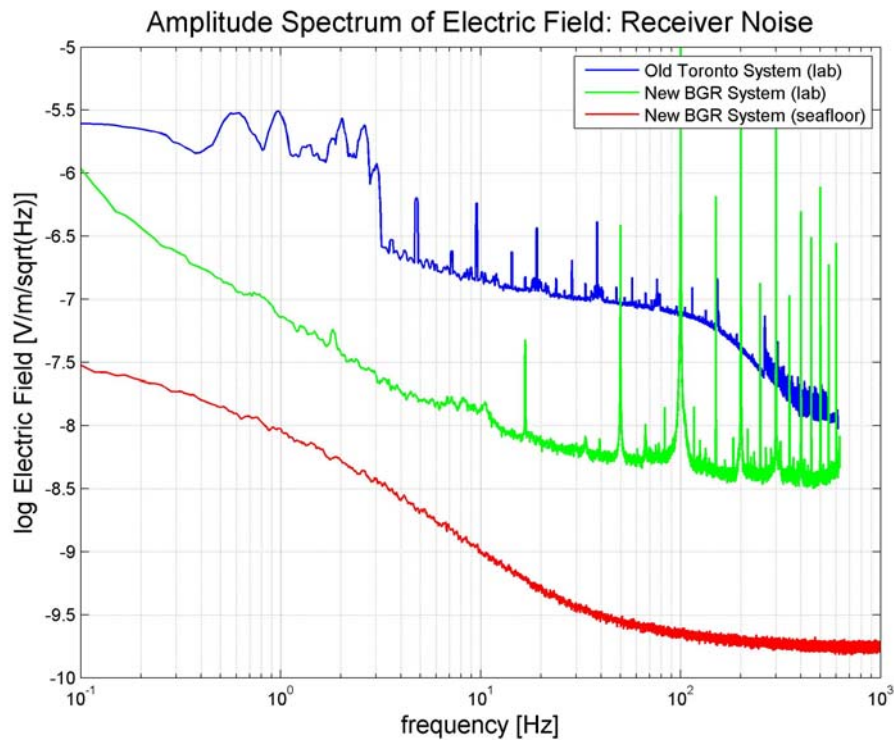
Das an der BGR entwickelte CSEM Messsystem HYDRA basiert auf der Messkonfiguration des Ende der 90er Jahre an der University of Toronto entwickelten Messsystems, welches zur Untersuchung von Gashydraten am Cascadia Margin vor Vancouver Island (Yuan and Edwards, 2000; Schwalenberg et al., 2005) und am Hikurangi Margin, Neuseeland (Schwalenberg et al., 2010a,b) eingesetzt wurde. Das Toronto Messsystem bestand aus zwei autonom aufzeichnenden elektrischen Empfangsdipolen, die *in-line* hinter einem ca. 100m langen, elektrischen Sendedipol im Abstand von mehreren Hundert Metern am Meeresboden geschleppt wurden. Sende- und Empfangsdipole waren rein mechanisch miteinander verbunden. Die zeitliche Synchronisation erfolgte über den Abgleich von hochgenauen Uhren in jeder Einheit vor dem Aussetzen. Durch mechanische Einwirkung kam es jedoch gelegentlich zum „reset“ der Uhren, wodurch die Zeitbasis verloren ging.

Das neue Messsystem HYDRA besteht aus vier modular aufgebauten, elektrischen Empfangsdipolen, die über ein Datenkabel miteinander verbunden sind. Ähnlich wie beim alten Toronto System wird der Messstrang hinter einem „Pig“ am Meeresboden geschleppt. Das Pig des neuen Systems dient nicht nur als Pflug und Gewicht, sondern auch als Geräteträger für die Kontrolleinheit, die den Sendestrom aufzeichnet und die Empfangsmesskette ein- und ausschaltet und zeitlich synchronisiert. Zusätzlich enthält das Pig einen CTD (conductivity, temperature, density) Sensor zur Messung der Bodenleitfähigkeit und Wassertiefen und einen Akustik-Transponder zur Positionierung der Messkette am Meeresboden.



Aussetzen von HYDRA an Bord RV Poseidon. Im Vordergrund das „Pig“ mit Kontrolleinheit, CTD und Akustik-Transponder, im Hintergrund eine Empfangseinheit zwischen Datenkabeln.

Durch die höhere Zahl an Dipolen können Strukturen im Untergrund vertikal und horizontal genauer erfasst und aufgelöst werden. Über das Datenkabel findet die zeitliche Synchronisation der Einheiten statt. Dadurch ist nur eine Präzisionsuhr in der Kontrolleinheit erforderlich, die vor dem Einsatz abgeglichen wird. Die neue Elektronik in der Kontrolleinheit und in den Empfangseinheiten ist mit sehr rauscharmen Operatoren ausgestattet. Mit einem Dynamikbereich von 22 bit ergibt sich bei einer Abtastrate von 10kHz eine Signalauflösung von 4.5 nV/LSB, etwa drei Größenordnungen besser als das alte Toronto System.



Passives Noise-Spektrum des Toronto Systems (blau) und HYDRA (grün) unter gestörten Laborbedingungen und am Meeresboden (rot) zeigt eine signifikant niedrigeres Rauschverhalten des neuen BGR Systems

Ein anderes CSEM Messkonzept ist vom Marine EMLab am Scripps Oceanographic Institution zur Erkundung von submarinen Gashydraten am Hydrate Ridge, Oregon, (Weitemeyer et al., 2006) und im Golf von Mexico (Weitemeyer et al., 2010) eingesetzt worden. Die dabei verwendete Messkonfiguration umfasst stationäre EM Empfänger, die am Meeresboden abgesetzt werden und eine tief-geschleppte elektrische Sendequelle sowie einen E-Feld Sensor, der im Abstand von mehreren Hundert Metern hinter der Sendequelle durch die Wassersäule gezogen wird und alle drei Komponenten des elektrischen Felds misst. Der experimentelle und logistische Aufwand dieser Messkonfigurationen übersteigt das an der BGR umgesetzte Messkonzept erheblich und eignet sich besser für die Erfassung tieferer Strukturen unterhalb der Gashydratstabilitätszone.

Bei der Entwicklung des geschleppten Messsystems wurden keine Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte anderer benutzt.

Edwards, R.N: On the resource evaluation of marine gas hydrate deposits using a seafloor transient electric dipole-dipole method", *Geophysics*, **62**, 63-74, 1997.

Schwalenberg, K., Willoughby, E., Mir, R., and Edwards, N., 2005, Marine gas hydrate electromagnetic signatures in Cascadia and their correlation with seismic blank zones. *First Break*, **23**, 57-63.

Schwalenberg, K., Haeckel, M., Poort, J., Jegen, M., 2010a. Evaluation of gas hydrate deposits in an active seep area using marine controlled source electromagnetics: Results from Opuawe

- Bank, Hikurangi Margin, New Zealand. *Marine Geology*. Vol. 272(1-4), 89-98. doi: 10.1016/j.margeo.2009.10.024
- Schwalenberg, K., Wood, W.T., Pecher, I.A., Hamdan, L.J., Henrys, S.A., Jegen, M.D., Coffin, R.B., 2010b. Preliminary interpretation of electromagnetic, heat flow, seismic, and geochemical data for gas hydrate distribution across the Porangahau Ridge, New Zealand. *Marine Geology*. Vol. 272(1-4), 79-88. doi: 10.1016/j.margeo.2009.07.006.
- Weitemeyer K., Constable, S., Key, K., and Behrens, J.: First results from a marine controlled-source electromagnetic survey to detect gas hydrates offshore Oregon. *GRL*, 33, L03304, doi:10.1029/2005GL024896, 2006
- Weitemeyer, K., and S. Constable, 2010: Mapping shallow geology and gas hydrate with marine CSEM surveys. *First break*, 97-102, June 2010.
- Yuan, J. and Edwards, R.N., 2000. The assessment of marine hydrates through electrical remote sounding: Hydrate without a BSR? *Geophysical Research Letters*, 27, 16, 2397-2400.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Konzeptionsphase des BGR Messsystems fand ein enger Informationsaustausch mit den marinen Elektromagnetik-Arbeitsgruppen am IFM-Geomar, University of Toronto und SCRIPPS statt, sowie mit den an der Geräteentwicklung beteiligten Firmen (Magson GmbH, Berlin; M.B.T. GmbH Kiel; K.U.M. GmbH, Kiel). Die enge Zusammenarbeit war maßgeblich für die Realisierung des Messsystems innerhalb der Projektlaufzeit.

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

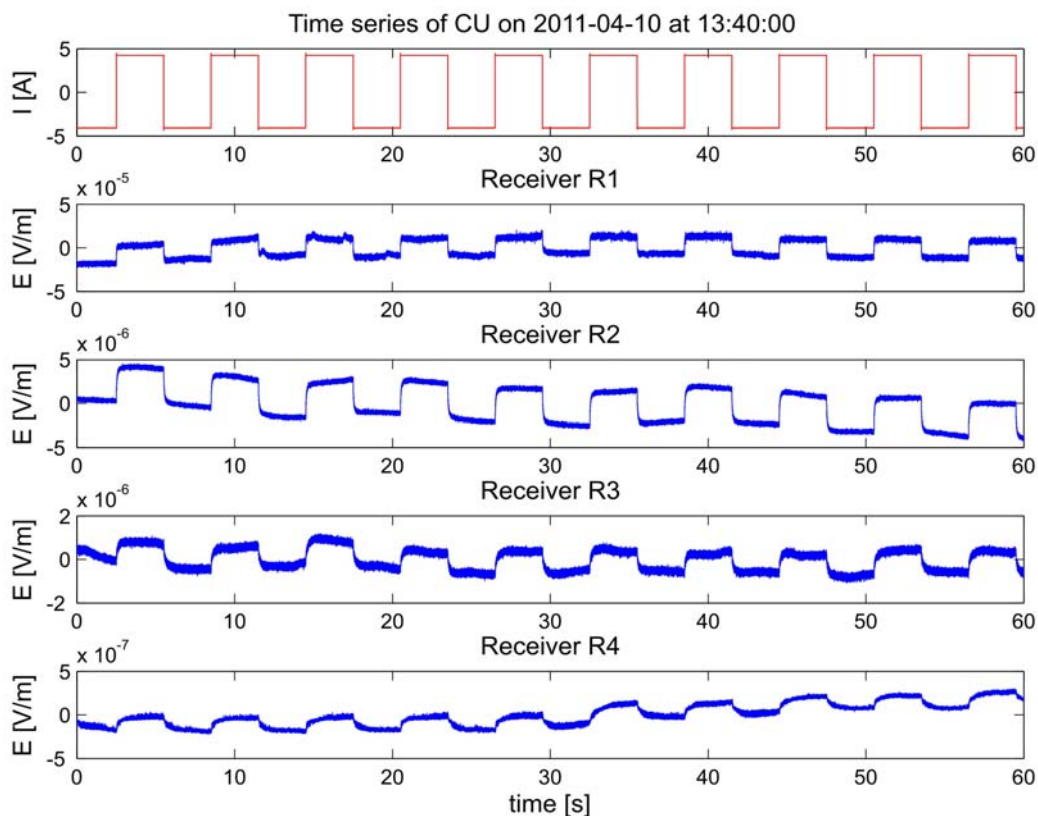
Ziel des Teilvorhabens war die Entwicklung eines Messsystems zur Erkundung der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung im flachen Meeresuntergrund bis zu einigen Hundert Meter Tiefe. In diesem Tiefenbereich sind Gashydrate stabil. Gashydrate sind elektrisch nichtleitend und verdrängen das gut leitende Porenwasser. Wo sich konzentriert Gashydrate gebildet haben ist der Formationswiderstand erhöht, was sich wiederum in den CSEM Daten abzeichnet. Neben seismischen Methoden ist CSEM dabei das einzige profil- bzw. flächendeckende Explorationsverfahren, welches den ganzen Gashydratstabilitätsbereich erfasst.

Die vorgegebenen Ziele aus dem Teilprojektantrag sind in der folgenden Tabelle aufgelistet und bewertet.

CSEM Vorgegebene Ziele aus Teilprojektantrag	Bewertung
Verbesserung der Dynamik bei der Datenaufzeichnung	Die zeitliche Dynamik wurde durch die hohe Abtastrate von 10kHz optimiert. Die Signalauflösung des schnellen 18 bit ADC konnte durch oversampling und interne Mittelung auf 22 bit erhöht werden. Mit verstellbaren Verstärkerstufen von maximal 430 bei einer bipolaren Eingangsspannung von ± 4.096 V wird eine Auflösung von 4.5 nV erreicht.
Modifikationen der Analogelektronik	Für den Aufbau der geschirmten Analogelektronik wurden extrem rauscharme Komponenten verwendet. Messwertaufzeichnungen im Labor und auf See haben gezeigt, dass die vom Hersteller angegebene Rauschamplitude kleiner $2 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ gehalten wird. Die Verwendung einer Stahl-Mittelelektrode auf dem Mittelpotential des differentiellen Eingangs ergab bei Elektrodentests beste Ergebnisse.
Integration eines USBL Systems zur Instrument-Relokalisierung	Im Geräteträger (Pig) ist ein Akustiktransponder mit abgesetztem Kopf integriert worden. Über eine Deckeinheit mit Transducer kann der Abstand zwischen Schiff und Pig bestimmt werden. Der Vergleich mit dem kalibrierten Posidonia System auf FS Sonne zeigt jedoch Abweichungen in der Größenordnung von 50m

	in 1000m Wassertiefe und 2800m Abstand zum Schiff.
Optimierung des Messablaufs	Die Handhabung des Messsystems beim Aussetzen und Einholen konnte bei den Testfahrten geübt und schrittweise optimiert werden. Zum Auf- und Abtrommeln der Kabelsegmente ist eine Spulvorrichtung angeschafft worden. Für die Konvertierung der Messdaten und das Prozessieren sind umfangreiche Matlab-Routinen verfasst worden, die eine nahezu automatische Datenbearbeitung ermöglichen. Dadurch ist eine erste Qualitätskontrolle zeitnah nach der Messung möglich.
CSEM Instrument Design	Für die mechanische Zugübertragung vom Datenkabel auf die Receiver Units sind in der Anfangsphase zugfeste Steckverbinder diskutiert worden. Da die Hersteller jedoch keine Angaben zur Zugfestigkeit bei Scherkräften machen konnten, wurde dieses Konzept verworfen und die Zugkraftübertragung durch Rahmen realisiert, in denen sich die Druckzylinder mit der Elektronik befinden. Die elektrische Verbindung zwischen Datenkabel und Receiver Unit erfolgte über zugfreie wasserfeste Stecker. Die Montage und Demontage der Receiver Units hat sich als sehr robust aber zeitaufwendig herausgestellt und soll modifiziert werden.
Frequenzbereichserweiterung MT Stationen, Entwicklung Prototyp	Die schnelle Erfassung der elektrischen Felder mit 10kHz der MT Stationen des IFM-Geomar ist umgesetzt worden und schon mehrfach im Einsatz getestet worden.
Modellierung, Sensitivitätsuntersuchungen	1D Sensitivitäts- und Auflösungsstudien sind systematisch zur Bestimmung der optimalen Transmitter- Empfänger Abstände durchgeführt worden. Zur Inversion von Test- und Messdaten sind Routinen zum Einlesen der Daten und zur Darstellung der Ergebnisse verfasst worden, so dass hier eine fast automatisierte Interpretation der Daten möglich ist.
Testfahrt und Auswertung	Testfahrten sind in der Kieler Förde, im St. Lawrence River und im Schwarzen Meer durchgeführt worden.

	Die Auswertung der Daten führte zu wichtigen Erkenntnissen, die nur beim Einsatz im Wasser erkannt werden können, wie z.B. die Verwendung von Mittelelektroden und die Übertragung von Störsignalen vom Transmitter über das Datenkabel zu den Receivern.
Veröffentlichung der Ergebnisse / Fertigstellung der Produkte	Das Messsystem und die ersten Ergebnisse der Testfahrten im St. Lawrence River und im Schwarzen Meer, sowie von der Sonneausfahrt in Neuseeland sind auf mehreren Tagungen (EGU 2011, ICGH 2011, EMTF) bereits vorgestellt worden. Weitere Publikationen sind in Vorbereitung
Vorbereitung der zweiten Projektphase	Die zweite Projektphase ist im August 2011 angelaufen.
Erstellung des Abschlussberichts	Erfüllt



Datenbeispiel aus Neuseeland (SO214) zeigt eine hohe Datenqualität trotz kleinem Sendesignal von ca. +/- 4 A und Abständen bis über 600m. Die Abstände zwischen Sender und Empfänger betragen 160m (R1), 262m (R2), 404m (R3), und 610m (R4)

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Verwendung der Personalkosten:

Wissenschaftliche Mitarbeiterstelle (3 Jahre)

Als wissenschaftlicher Mitarbeiter im TP A2.2. konnte Herr Dr. Martin Engels gewonnen werden, der vom 01.07.2008 – 28.02.2011 an der BGR im SUGAR Projekt angestellt war. Dr. Engels hat das Konzept insbesondere der Elektronik für das neue CSEM System maßgeblich mitentwickelt, die Labortests der Datenerfassungseinheiten koordiniert und durchgeführt, Routinen zur Prozessierung und Auswertung der Daten erstellt, an den Testfahrten teilgenommen und die erfassten Daten anschließend ausgewertet und dargestellt.

Technische Mitarbeiterstelle (2 Jahre)

Als technischer Mitarbeiter im TP A2.2 ist Herr Joachim Deppe vom 01.09.2008 – 30.09.2009 eingestellt worden. Herr Deppe hat die elektrischen Komponenten und die Elektronikentwicklung der Datenlogger technisch betreut, Labortests mit der Receiver-Elektronik und den Sensoren durchgeführt, die Konstruktion der mechanischen Komponenten begleitet, sowie an den Testfahrten teilgenommen. Zum 01.10. 2009 hat Herr Deppe eine Festanstellung im gleichen Arbeitsbereich an der BGR angenommen und stand seit dem den Arbeiten im TP A2.2 mit Einschränkung zur Verfügung.

Vom 01.01.2010 – 31.12.2010 ist Herr Olaf Wallrich als technischer Mitarbeiter im TP A2.2 eingestellt worden. Herr Wallrich hat in Zusammenarbeit mit Herrn Engels die Verdrahtung der Elektronikplatinen unternommen, detaillierte Labortests durchgeführt, die mechanischen Komponenten und Umbauten konstruiert und gefertigt, sowie an den Testfahrten teilgenommen.

Verwendung der Investitionskosten:

Die wichtigsten Investitionspositionen mit Bezug auf Titel 05-449-01-0850 des rechnerischen Verwendungsnachweises sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt und im Anschluss erläutert.

	Bewilligt [€]	Firma	BelegNr.	Bestellt [€]
Dekompressor (Pig)	5.000	NMT-Metalltechnik	5105683815	7096,33
Akustische Transponder	45.675	K.U.M. GmbH Ing. Büro Scholz	5105674571	26.584,36
			5105674237	13.457,95
Senderdipol TX	1.700	Seacon europe	5105684387	723,25
			5105685359	3131,65
			5105690183	213,58
			5105695965	330,79
Digitalisierer	44.625	Magson GmbH	5105679162	22.312,50
			5105683988	22.312,50
		Jäger GmbH	5105697818	9.173,71
			5105683404	4.813,43
Druckgehäuse	22.122	K.U.M.GmbH	5105683815	7.659,60
		MBT GmbH	5105688154	315,47

			5105693916	481,24
Empfänger	2.380	Castle Electrodes	5105674234 5105683144	181,30 1135,82
Total	121.502,00			119.923,48

Das Pig dient als Gewicht und Geräteträger welches der Messkette vorangeschleppt wird, um diese am Meeresboden zu halten. Bewährt hat sich dabei bei vorangegangenen Einsätzen die Form einer kurzen, spitz zulaufenden horizontalen Röhre mit Flügeln, die vermeiden, dass sich das Pig beim Ziehen umdrehen kann. Das neue Pig hat zusätzlich die Funktion eines Geräteträgers für die Kontrolleinheit, einen CTD Sensor und einen Akustiktransponder, die flexibel und geschützt im Körper des Pigs befestigt werden können.

Das akustische Positionierungssystem bestehend aus dem Akustiktransponder mit abnehmbarem Kopf und der Deckeinheit mit Transducerkopf dient der Abstandsbestimmung des Pigs hinter dem Schiff. Ein zusätzlicher CTD Sensor misst Wassertiefen und Schallgeschwindigkeiten, die zur Positionierung benötigt werden, sowie Wasserleitfähigkeiten, die für die Inversion der Daten verwendet werden.

Für den Anschluss des Sendedipols an die Kontrolleinheit, den Anschluss der Sendeelektroden, sowie den Dipol selbst wurden spezielle Adapter (Y-Kabel) und Inline Längen mit extra abriebfester Kabelummantelung in Auftrag gegeben.

Für die Messwertspeicherung der E-Felder wurden extrem schnelle und rauscharme Datenlogger entwickelt.

Für die Elektronikkomponenten wurden Platinenhalterungen und Edelstahl-Druckzylinder maßgefertigt, die für Einsattiefen bis zu 3000m getestet wurden.

Für die E-Feld Messung selbst wurden verschiedene Elektrodentypen systematisch getestet und verglichen. Da diese Sensoren am Datenkabel im Kontakt mit dem Meeresboden befestigt werden müssen, wurde ein Elektrodentyp verwendet, der sonst zu Korrosionsmessungen an Schiffen und Bohrplattformen verwendet wird. Bei den bisherigen Einsätzen hat sich gezeigt, dass der verwendete Typ nach jeder Ausfahrt ausgetauscht werden sollte.

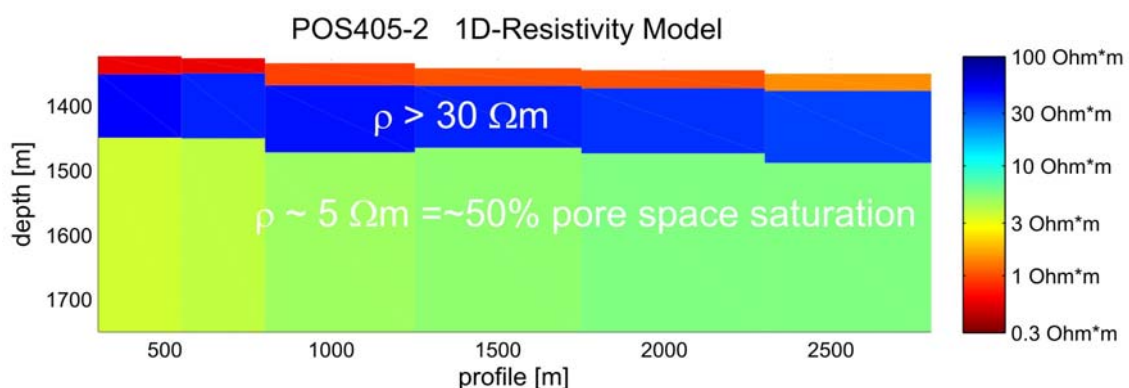
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Mit den der BGR bewilligten Mitteln im TP A2.2. ist es gelungen, ein funktionierendes CSEM System zu bauen, welches für die Exploration von submarinen Gashydraten geeignet ist. Dabei wurde die Strategie verfolgt, zunächst ein möglichst einfaches aber funktionstüchtiges System zu bauen, welches nach ersten Funktionstests weiterentwickelt werden kann. So ist z.B. in Phase II des SUGAR Projekts die Datenübertragung von der Messkette über das Tiefseekabel zum Schiff geplant, was in der ersten Phase nicht realisiert werden konnte.

Die mechanischen und elektrischen Komponenten des Messsystems sind, soweit es möglich war, ausführlich im Labor getestet worden. Auf zwei kurzen Testfahrten auf RV Littorina in

der Kieler Förde wurden einfache Funktionstests im Wasser durchgeführt. Dabei konnte eine deutliche Signalverbesserung durch die Verwendung von Bezugselektroden zwischen den Potzialektroden erreicht werden. Im September 2010 ergab sich die Möglichkeit an einer Testfahrt der University of Toronto im St. Lawrence River, Quebec, teilzunehmen und die CSEM Messkette der BGR im flachen Wasser zu testen. Die Messkette bestehend aus dem Sendedipol und zwei bzw. drei Empfangseinheiten wurde dabei hinter dem neuen Pig der University of Toronto geschleppt welches, anders als beim BGR System, die Sendequelle beinhaltet. Es wurden CSEM Daten entlang von drei Profilen akquiriert. Die Messkette konnte dabei sicher ausgesetzt und wiedereingeholt werden, alle eingesetzten Empfangseinheiten haben problemlos aufgezeichnet. Die Daten der vorderen Receiverinheiten, deren Empfangsdipole parallel zum Datenkabel befestigt waren, wiesen jedoch erhebliche Störungen auf, die vom Sendesignal verursacht werden und sich induktiv über das Datenkabel ausbreiten, so dass nur die hintere Receiverinheit mit realistischen Widerstandswerten ausgewertet werden konnte.

Die eigentliche Testfahrt des SUGAR Projekts fand im Dezember 2010 auf RV Poseidon im Schwarzen Meer statt. Dabei ist das neue CSEM System erstmalig in voller Konfiguration im tiefen Wasser über Gashydratvorkommen eingesetzt worden. Auf die Erfahrungen vom Einsatz im St. Lawrence River aufbauend sind Veränderungen in der Abschirmung des Datenkabels durchgeführt worden. Trotz des viel schwächeren Sendesignals der BGR Quelle waren die Daten der vorderen Receiverinheiten nach wie vor erheblich gestört, so dass wieder nur der hintere Receiver ausgewertet werden konnte. Die Auswertung von Daten an 6 Messpunkten entlang des Profils im tiefen Wasser ergibt ein einheitliches Bild von extrem hohen Widerstandswerten, welche zum einen auf eine vergleichsweise niedrige Leitfähigkeit des Porenfluids, zum anderen auf hohe Gas und Gashydratkonzentrationen im Sediment hinweisen. Zwei weitere CSEM Profile wurden in Wassertiefen von 200m akquiriert.



Aus 1D Marquardt-Inversionen abgeleitetes Widerstandsmodell über durch BSR belegte Gashydratvorkommen im Donau Delta vor Rumänien. Extrem hohe Widerstandswerte weisen auf hohe Gashydratkonzentrationen hin.

4. Verwertungsplan

Das CSEM Messsystem ist bereits im April 2011 auf der Sonnefahrt 214 im Projekt NEMESYS über Methan-Austrittsstellen (Seeps) am Hikurangi Margin, Neuseeland eingesetzt worden. Es sind Daten entlang von 3 Profilen akquiriert worden. Gegenüber dem originalen Design ist für den Einsatz auf RV Sonne das erste Datenkabelsegment zwischen Kontrolleinheit und Receivereinheit 1 durch ein zugfestes Seil ersetzt worden, um die Übertragung von Störungen zu unterbinden, die durch das Sendesignal verursacht werden und sich über das Datenkabel induktiv zu den hinteren Receivern ausbreiten. Dadurch konnte eine gut verwertbare Datenqualität auch an den hinteren Receivern trotz des sehr kleinen Sendesignals erreicht werden. Diese Modifikation ist gegenläufig zur geplanten online Datenübertragung in der zweiten SUGAR Phase, die eine durchgehende Datenverbindung der gesamten Messkette voraussetzt. Neue Testmessungen der University of Toronto mit einem ähnlich aufgebauten, geschleppten CSEM Messsystem haben jedoch gezeigt, dass durch die Verwendung von geeignete Filtern in der Analogelektronik der Receivereinheiten die Übertragung von Störungen minimiert werden kann.

Erste Ergebnisse der Datenanalyse vom Hikurangi Margin zeigen eine deutliche Korrelation zwischen stark anomalen Widerständen und seismisch und akustisch erfassten Seeps, wobei die CSEM Ergebnisse auf hohe Gashydratkonzentrationen unterhalb der Seeps hinweisen.

Für den Sommer 2012 ist ein Einsatz des CSEM Systems im Rahmen des an der BGR koordinierten Projekts Geopotential Deutsche Nordsee (GPDN) in Vorbereitung. Ziel ist die Untersuchung von Flachgasvorkommen in der Nordsee. Für den Einsatz im flachen Wasser sind Modifikationen der Messkonfiguration (Entkopplung von Sendedipol und Empfangsdipolen) erforderlich.

Die BGR ist Mittragsteller im Projekt INGECO, welches im Client Programm beim BMBF eingereicht wurde. Aufgabe der BGR in dem Projekt ist die Erkundung der räumlichen Verteilung der indischen Gashydratvorkommen mit CSEM.

Basierend auf den CSEM Ergebnissen der SUGAR Testfahrt ist ein Fahrtantrag ins Schwarze Meer in geplant, um die beobachteten extrem hohen Widerstandswerte zu verifizieren und um weitere Datensätze auch hinsichtlich der Exploration im Vorfeld der Lokationsbestimmung einer möglichen Produktionsbohrung zu akquirieren.

5. Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Weitere CSEM Einsätze zur Evaluierung von Gashydratvorkommen sind nur vom Marine EMLab am Scripps Oceanographic Institution, La Jolla, CA, bekannt. Die Gruppe um Dr. Steve Constable ist weltweit führend auf dem Gebiet der marinen Elektromagnetik. Im Oktober 2008 führte die Gruppe CSEM Messungen über Gashydratvorkommen in 4 Zielgebieten im nördlichen Golf von Mexiko durch. Die BGR hatte die Möglichkeit, mit zwei

Personen (Schwalenberg, Deppe) an der Ausfahrt teilzunehmen. Die von SCRIPPS eingesetzten CSEM Systeme sind stationäre EM Empfänger am Meeresboden und eine tief geschleppte Sendequelle. Diese Konfiguration hat sich zur Exploration von tiefer liegenden Öl- und Gasvorkommen etabliert und bedarf einer aufwendigen Navigation zum Einmessen der stationären Empfänger und bei der Positionierung der tief geschleppten Sendequelle. Die dreiwöchige Ausfahrt beanspruchte allein für CSEM ein größeres Forschungsschiff (RV Roger Revelle) mit 2 Arbeitsteams je 7 Personen, die in 12 Stunden Schichten arbeiten. Es wurden 30 stationäre EM Empfänger eingesetzt und 2 Sendequellen, sowie ein neu entwickelter Dipol-Empfänger, der hinter der Sendequelle in der Wassersäule „fliegt“ und alle drei Komponenten des elektrischen Felds aufzeichnet. Ein solcher Einsatz ergibt großräumige dreidimensionale Datensätze, deren räumliche Zuordnung vor der eigentlichen Auswertung gelöst werden muss.

Im Vergleich dazu zielte die CSEM Geräteentwicklung im SUGAR Projekt auf ein einfach zu handhabendes Messsystem ab, das mit geringem personellen und zeitlichen Aufwand eingesetzt und ausgewertet werden kann. Ein wesentlicher Vorteil des BGR Systems gegenüber entkoppelten Systemen besteht in dem fixen und bekannten Abstand zwischen Sende- und Empfangsdipolen. Dadurch wird eine aufwendige Navigation vermieden und die Daten können nach dem Einsatz sofort ausgewertet werden, erste Ergebnisse liegen wenige Stunden später bereits vor. Ferner lässt sich ein am Meeresboden geschlepptes System mit viel kleineren Sendeströmen sinnvoll betreiben.

An der University of Toronto ist ein neues, ebenfalls am Meeresboden geschlepptes CSEM Messsystem entwickelt worden, das zunächst jedoch nur für den Einsatz im flachen Wasser bis 300m vorgesehen ist. Die Messkonfiguration gleicht im Wesentlichen dem BGR System. Beim Toronto System befindet sich die Sendequelle im Pig am Meeresboden, was höhere Stromstärken zulässt als beim BGR System, bei dem das Sendesignal über das Tiefseekabel im Sendedipol eingespeist wird. Ein weiterer Unterschied ist die Online Datenübertragung beim Toronto System. Erste Vergleiche der Datenqualität zeigen jedoch viel bessere Datenqualität und Signal/Rauschverhältnisse beim BGR System. Eine Gegenüberstellung findet sich in der folgenden Tabelle.

U of T System	BGR System
Transmitter is in the pig on the seafloor, max. current output: 80A	Transmitter is in the lab on the ship, max. current output: 13A
Receiver Units are powered via the data cable	Receiver units are battery powered
Maximum deployment depth is 300m with own deep-tow winch	Maximum deployment water depth up to 3km, depends on the length of the deep-tow cable provided by the ship
Sampling rate is selectable and default value is 1 kHz	Sampling rate is 10 kHz
Receiver data are available in real time. The data are sent via the inter-receiver data cable to the receiver controller and where there is a DSL	Receiver data are stored locally on Micro HD SD Cards and are available on instrument recovery

modem connection through the tow cable to the vessel	
The transmitter current is monitored and recorded in real-time onboard the ship	The transmitter current is recorded by the control unit in the pig. The data are available on recovery of the array. The transmitter status can be monitored onboard during the deployment.
The reference ground of the differential input of the receiver units is floating	The receiver units have a differential input. A central stainless steel electrode was used as a reference.
Cable and connectors can handle max. current output of 80A	Cable and connectors can handle max. current output of 40A
4 Receivers at offsets from 400m to 1000m	4 Receivers at offsets from 150m to 750m

6. Publikationsliste zu den bisherigen Entwicklungen und Ergebnisse des SUGAR TP

A2.2:

Bialas J.: POS-405 RV POSEIDON Cruise Report, IFM.Geomar, 2011

Bialas J. FS SONNE Fahrtbericht SO214 NEMESYS, IFM-Geomar 174 pp, 2011

Schwalenberg K et al.: Assessing submarine gas hydrate at active seeps on the Hikurangi Margin, New Zealand, using controlled source electromagnetic data with constraints from seismic, geochemistry and heatflow data. Talk, AGU Fall Meeting, San Francisco, US, Abstract ID OS43C-03, December 14-18, 2009.

Schwalenberg K.: Gas hydrate assessment using marine electromagnetic methods; case studies and model studies. Invited talk, 7th International Workshop on Methane Hydrate Research and Development, Wellington, New Zealand, 10-12 May 2010.

Schwalenberg K., Engels M: HYDRA – A new towed electromagnetic seafloor system. Poster, EGU Meeting Vienna, Austria, Abstract EGU2011-12525, 03-08 April 2011

Schwalenberg K., Engels M: Marine controlled source electromagnetic methods for gas hydrate assessment: new instrumentation and first field applications. Proceedings of the 7th International Conference in Gas Hydrate, Edinburgh, UK, July 17-21, 2011

Schwalenberg K., Engels M: HYDRA – A new marine CSEM seafloor system for submarine gas hydrate assessment: first results from the Black Sea and New Zealand. Talk, EMTF Kolloquium, Neustadt, Weinstr., Germany, 26-30 September 2011

Publikationen in Planung und Vorbereitung:

Engels M, Schwalenberg K: HYDRA – a new time domain electromagnetic seafloor system. Geophysical Prospecting

Schwalenberg K, Engels M: Preliminary results of a marine CSEM experiment over gas hydrate targets in the Danube Delta, Black Sea, Romania. Geophysical Research Letters