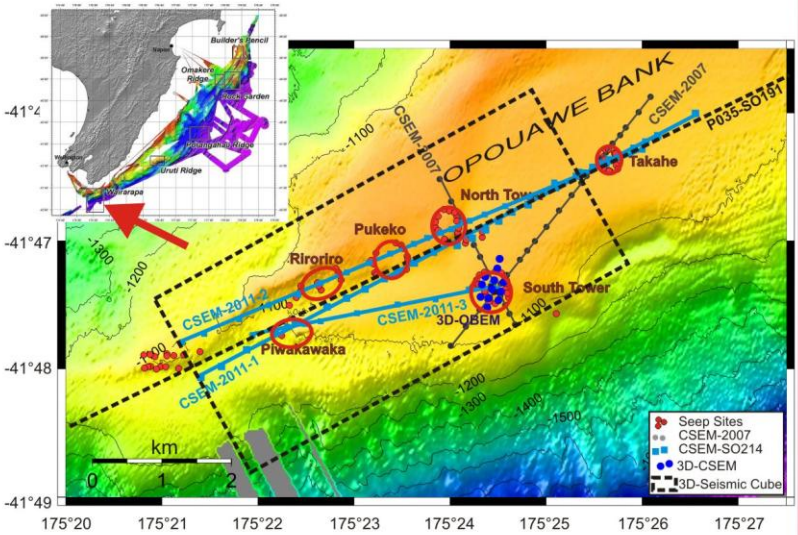
Katrin Schwalenberg, Martin Engels,
Dennis Rippe

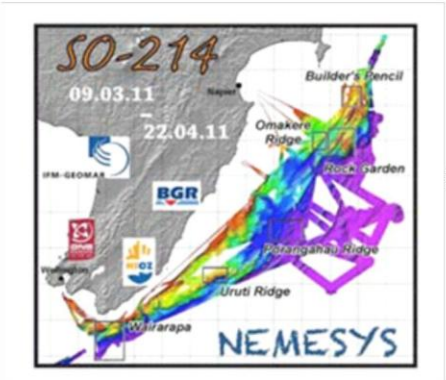
Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Projekt NEMESYS:
Untersuchung von submarinen Gasaustritten und Gashydraten am Hikurangi Margin mit marin-elektromagnetischen Methoden



Abschlussbericht

Berichtzeitraum: 01.03.2011 - 31.08.2013
BMBF Förderzeichen: 03G0214B

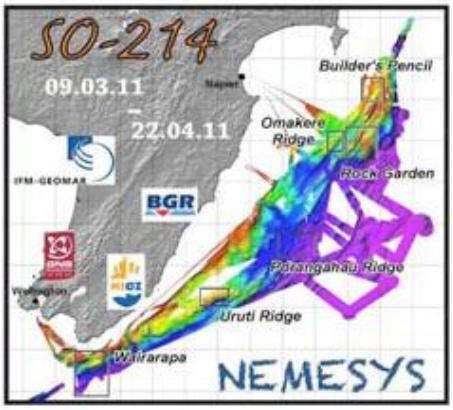


GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Projekt: NEMESYS – Untersuchung von submarinen Gasaustritten und Gashydraten am Hikurangi Margin, Neuseeland mit marin-elektromagentischen Methoden

Zuwendungsempfänger:	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Stilleweg 2, 30655 Hannover
Förderkennzeichen:	03G0214B
Berichtszeitraum:	01.03.2011 - 31.08.2013
Verfasser:	Dr. Katrin Schwalenberg, Dr. Martin Engels, Dr. Dennis Rippe

Schlussbericht

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Das Projekt NEMESYS - Untersuchung von submarinen Gasaustritten und Gashydraten am Hikurangi Margin, Neuseeland mit marin-elektromagentischen Methoden - umfasst die Durchführung von aktiven, elektromagnetischen (CSEM von engl. controlled source electromagnetic) Messungen auf der Ausfahrt SO214 mit dem Forschungsschiff SONNE und die Auswertung und Interpretation der während der Fahrt gewonnenen Daten.

Das übergeordnete Ziel vom Projekt NEMESYS war die detaillierte Untersuchung von Methanaustrittsstellen (Seeps) und assoziierten Gashydratvorkommen am neuseeländischen Hikurangi Margin. Methan-Seeps sind auf vorangegangenen Fahrten mit dem neuseeländischen Forschungsschiff RV TANGAROA vielfach beobachtet worden und im Projekt „New Vents“, SONNE-Fahrt SO191 (Bialas et al., 2007) intensiv untersucht worden. Viele Fragen blieben jedoch offen, bzw. stellten sich neu aus den bisherigen Ergebnissen. Die neuen Daten von SO214 und deren Auswertung sollten ein detailliertes Verständnis über den Mechanismus der Seeps, ihrer internen Struktur und dem Zusammenspiel mit dem regionalen tektonischen Aufbau erbringen.

Die Ausfahrt war aus logistischen Gründen in zwei Fahrtabschnitten unterteilt, die vom 09.03. – 05.04.2011 (Leg 1) und vom 06. – 22.04.2011 (Leg 2) stattfanden. Die eingesetzten Methoden umfassten 3-D Seismik (P-Cable), Parasound, Sidescan und CTD Messungen während dem ersten Fahrtabschnitt, aktive Elektromagnetik (CSEM), geologische (Probenahme, Videobeobachtungen) und geochemische (Porenwasseranalysen) Untersuchungen während dem zweiten Fahrtabschnitt (Bialas, 2011).

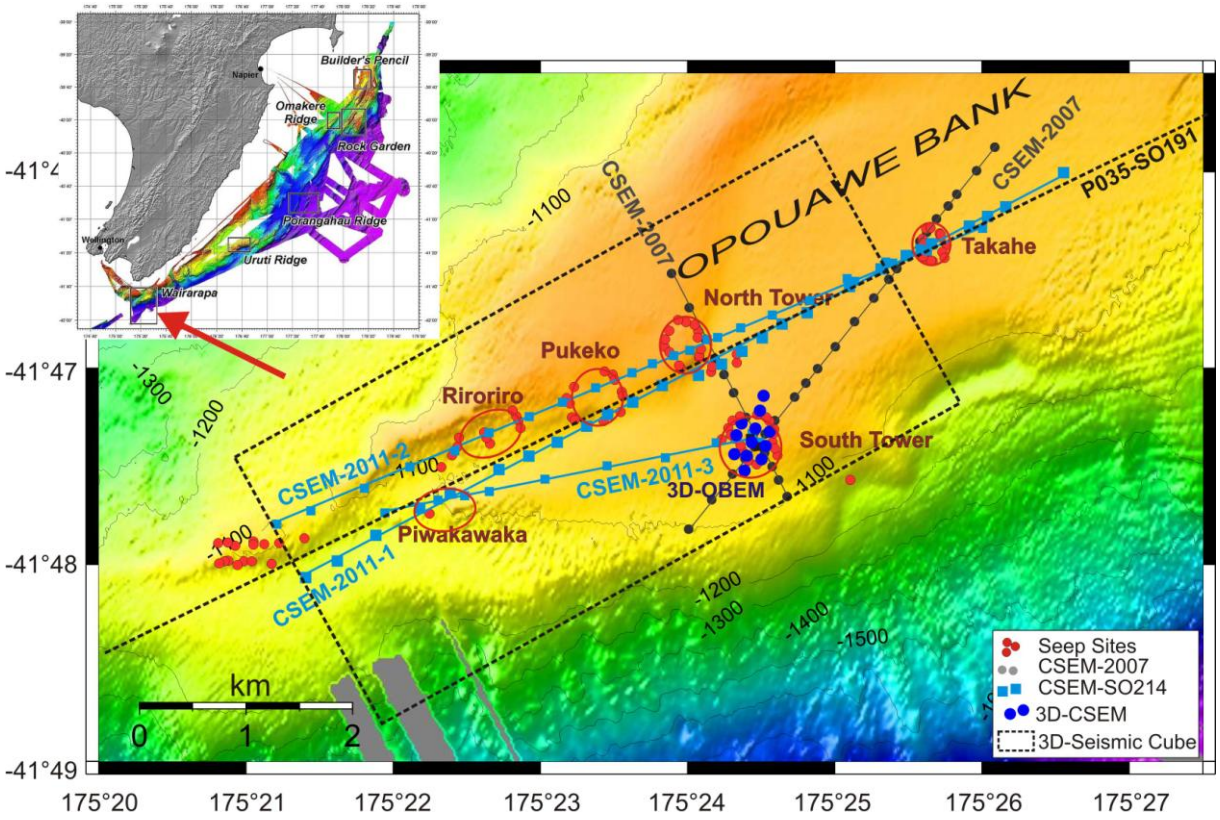


Abb. 1: Bathymetrische Karte vom Arbeitsgebiet Opouawe Bank am Hikurangi Margin. Rote Kreise kennzeichnen Methanaustrittsstellen (Seeps), die in Parasound und Videoaufzeichnungen beobachtet wurden. Eingezeichnet sind die drei CSEM Profile von SO214 (hellblau), zwei CSEM Profile von SO191 (2007, grau), und die Umrisse vom 3D Seismik-Block und 2D Profil (gestrichelt).

Die BGR war an dem Vorhaben und dem zweiten Fahrtabschnitt als Projektpartner mit einem eigenen Finanzierungsantrag beteiligt und führte marine CSEM Messungen durch. Dazu wurde das an der BGR entwickelte, am Meeresboden geschleppte, CSEM Messsystem HYDRA eingesetzt. HYDRA besteht aus einer bis zu 1 km langen Messkette, die einen 100 m langen, elektrischen Sendedipol mit 4 Empfangsdipolen verbindet (siehe Abb. 2). Das System ist dafür ausgelegt, die elektrische Widerstandsverteilung im Sediment vom Meeresboden bis zu etwa 300 m Eindringtiefe, also den für Gashydrate relevanten Tiefenbereich, zu erfassen. Ziel war es, aus den Daten die Verteilung von Gashydraten und freiem Gas im Bereich der Seeps abzubilden und zu quantifizieren.

Gashydrate, wie auch freies Gas, sind elektrisch nichtleitend gegenüber dem leitfähigen Porenfluid und verdrängen dieses. Der Formationswiderstand von Gas und Gashydrat-reichen Sediment kann somit deutlich erhöht sein.

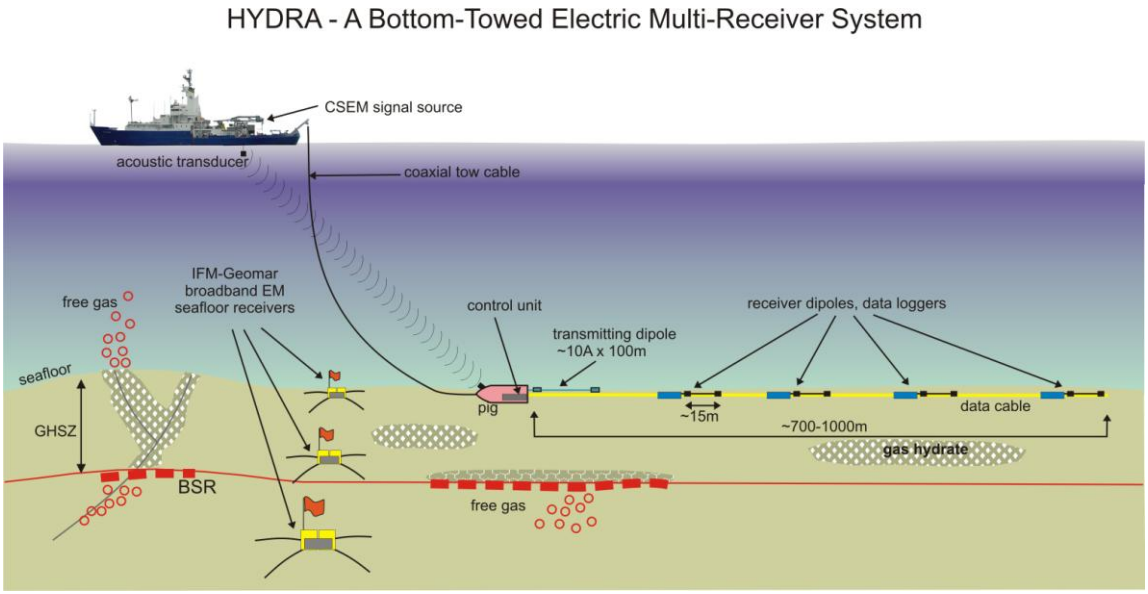


Abb. 2: Messkonfiguration des an der BGR entwickelten, geschleppten CSEM Messsystems HYDRA und stationäre Breitband-Elektromagnetik-Empfänger des Geomar.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das NEMESYS Projekt und die Ausfahrt SO214 schließen thematisch an das vorangegangene New Vents Projekt und die SONNE Fahrt SO191 an, die vom 11.01 – 23.03.2007 stattfand. Auf dieser Fahrt wurden auf drei Fahrtabschnitten verschiedene, marin-geowissenschaftliche Methoden eingesetzt. Erste CSEM Messungen erfolgten mit einem älteren Messsystem der University of Toronto, Kanada, davon zwei Profile im Arbeitsgebiet Opouawe Bank vor der Wairarapa Küste (Schwalenberg et al., 2010a). Somit lag bereits eine fundierte Datenbasis zu Beginn des NEMESYS Projekts vor, aus der sich konkrete Fragestellungen zum Mechanismus der Seep-Strukturen und zur Gas und Gashydratverteilung ergaben. Für die SONNE-Fahrt SO214 standen neue geophysikalische Messsysteme wie das P-Cable (3-D Seismik) und das CSEM System HYDRA zur Verfügung.

Für die erfolgreiche Durchführung der CSEM Messungen stehen an der BGR im Fachbereich „Marine Rohstofferkundung“ ein breites Spektrum an Methoden, Labor- und Ausrüstungsgegenständen, Lager- und Versuchsräumen, sowie erfahrenes wissen-schaftliches und technisches Personal zur Verfügung. Seit 2008 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. Das im Rahmen des vom BMBF und BMWi geförderten Verbundprojektes „SUGAR - Submarine Gashydratvorkommen“ an der BGR entwickelte

CSEM Messsystem HYDRA ist dabei für die Untersuchung von submarinen Gashydratvorkommen besonders geeignet. Vor der Ausfahrt war das System auf zwei Testfahrten im St. Lawrence River, Quebec, Kanada und im Donaudelta, Schwarzes Meer eingesetzt und weiter entwickelt worden.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben begann planmäßig mit den Vorbereitungen und der Durchführung der CSEM Messungen am Hikurangi Margin auf dem Forschungsschiff SONNE. Es konnten auf der Ausfahrt SO214 drei neue CSEM Profile im Arbeitsgebiet Opouawe Bank vermessen werden (Abb.1). Die anschließende Auswertung der Daten beinhaltete die Anpassung und Entwicklung von Processing Routinen und systematische 1D Inversionsrechnungen. Diese wurden im Projektverlauf durch 2D Inversionsrechnungen ergänzt. In der Verlängerungsphase des Vorhabens wurden erste 3D Modellierungen durchgeführt. Zwischenergebnisse wurden auf mehreren nationalen und internationalen Tagungen und Projekttreffen vorgestellt und diskutiert. Publikationen in begutachteten Fachzeitschriften sind in Vorbereitung. Mit den Projektpartnern vom Geomar fanden regelmäßig Austauschgespräche statt, bei denen die Ergebnisse insbesondere der 3D Seismik und CSEM gemeinsam diskutiert wurden.

Der zeitliche Ablauf des Projekts ist im Folgenden schematisch aufgeführt:

01.03.2011	Projektstart, Einstellung von Dr. Martin Engels als wissenschaftlichen Mitarbeiter (WM)
April 2011	SONNE Ausfahrt SO214, Einsatz CSEM, Daten von 3 Profilen über bekannten Methan Seeps im Messgebiet Opouawe Bank
05 – 10/2011	Entwicklung und Anpassung von Methoden zur Daten Prozessierung
11/2011 – 03/2012	1D Inversion der CSEM Daten, erste Vergleiche mit seismischen Ergebnissen
15.03.2012	Dr. Engels scheidet aus dem Projekt aus.
Mai 2012	Neuausschreibung der WM Stelle
01.09.2012	Einstellung von Herrn Hagen Schulte in den Bäumen als WM für 6 Monate
10/2012 – 02/2013	Einführung in COMSOL – Finite Elemente Software zur dreidimensionalen Daten-Modellierung
Dezember 2012	Kooperation mit Fugro-EM (jetzt CGG) zur 2D Inversion der CSEM Daten
01.03.2013	Kostenneutrale Projektverlängerung für 6 Monate. Einstellung von Dr. Dennis Rippe als WM für 6 Monate.

03 – 08/2013 Vergleichende Modellstudien mit COMSOL, Interpretation der CSEM Daten mit 3D Modellen, 2D Inversion der Daten, Vorbereitung einer Publikation

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Wissenschaftlicher Stand:

Methanaustrittsstellen sind seit Mitte der 90er Jahre am Hikurangi Margin beobachtet worden (Lewis und Marshall, 1996). Die Existenz und Verteilung von submarinen Gashydraten wurden durch die Beobachtung von bottom simulating reflectors (BSRs), Indikatoren für freies Gas z.B. unter Gashydratvorkommen, in seismischen Daten nachgewiesen (Ausfahrten auf RV TANGAROA TAN0607, TAN0616). Das NEMESYS Projekt und die Ausfahrt SO214 schließen thematisch an das vorangegangene New Vents Projekt und die SONNE Fahrt SO191 an, die vom 11.01 – 23.03.2007 stattfand. Dabei wurden umfassende und multidisziplinäre Untersuchungen durchgeführt, wobei eine Reihe von neuen, bisher unbekannten Seep Sites in mehreren Arbeitsgebieten am Hikurangi Margin entdeckt wurden. Die Ergebnisse und Erkenntnisse, die im Projekt „New Vents“ erarbeitet wurden, sind im Sonderband Marine Geology Nr.272 in 2010 umfangreich publiziert worden. Im Arbeitsgebiet Opouawe Bank wurden bereits zwei CSEM Profile mit einem älteren Messsystem der University of Toronto vermessen. Die Auswertung ergab deutliche Widerstandsanomalien im Bereich der Seeps, die durch lokal stark erhöhte Gashydratkonzentrationen erklärt wurden (Schwalenberg et al., 2010a).

Technischer Stand:

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 (Edwards, 1997). Seit der Jahrtausendwende erfahren marine CSEM Verfahren eine zunehmende Akzeptanz zur Exploration von offshore Öl- und Gaslagerstätten (Constable, 2010). 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 neue Messsystem HYDRA besteht aus einem Sendedipol und 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, die Empfangsmesskette ein- und ausschaltet, und zeitlich synchronisiert. Zusätzlich enthält das Pig einen CTD-Sensor (conductivity, temperature, density) zur Messung der Meerwasserleitfähigkeit und Wassertiefen und einen Akustik-Transponder zur Positionierung der Messkette am Meeresboden. Durch die höhere Zahl an Dipolen in variablen Abständen können Strukturen im Untergrund vertikal und horizontal genauer erfasst und aufgelöst werden.

Abb. 3: Vorbereitung und Aussetzen des Geräteträgers „Pig“ auf FS SONNE.

Bialas J., Greinert J., Linke P., Pfannkucke O., 2007. FS SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO191-New Vents. 11.01.- 23.03.2007 Bericht Nr. 9, IFM-GEOMAR, ISSN 1614-6298.

Bialas J., 2011. FS SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO214 - NEMESYS. 09.03 – 22.04.2011 Bericht Nr. 47, IFM-GEOMAR. ISSN Nr. 1614-6298.

Constable, S., 2010. Ten years of marine CSEM for hydrocarbon exploration. Geophysics, Vol.75 No.5.

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.

Lewis, K.B. and Marshall, B.A., 1996. Seep faunas and other indicators of methane-rich dewatering on New Zealand convergent margins. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics,* **39**, 181-200.

Netzeband, G., Krabbenhoeft, A., Zillmer, M., Petersen, C., Papenberg, C., Bialas, J., 2010. The structures beneath submarine methane seeps: Seismic evidence from Opouawe Bank, Hikurangi margin, New Zealand, Marine Geology, 272, 59-70.

Pecher I.A. et al., 2010. Focussed fluid flow on the Hikurangi Margin, new Zealand - Evidence from possible local upwarping of the base of gas hydrate stability. Marine geology, 272 (1-4), 99-113.
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 Opouawe 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

Das NEMESYS Projekt wurde am GEOMAR koordiniert, die BGR war Verbundpartner mit eigenem Finanzierungsantrag. Während der gesamten Laufzeit des Vorhabens bestand ein enger Austausch mit den Projektpartnern am GEOMAR, insbesondere bezüglich der gemeinsamen Interpretation der Seismik- und CSEM-Daten. Ein Kooperationsvertrag mit Dr. Carsten Scholl (CGG Electro Magnetic, früher Fugro-EM) ermöglichte die 2D Inversion der CSEM Daten, was zu geologisch sinnvolleren Ergebnissen führte im Vergleich zur standardmäßig durchgeführten 1D Inversion. Die im NEMESYS Projekt eingesetzten Geräte und Methoden wurden zum Teil im Rahmen des Verbundprojekts SUGAR zur Erkundung von Gashydratlagerstätten entwickelt. An den CSEM Messungen auf der Ausfahrt SO214 nahmen Kollegen der University of Toronto und der Heriot-Watt University, Edinburgh, teil.

II. Eingehende Darstellung

1. der erzielten Ergebnisse

Ziel des BGR-Vorhabens war die Durchführung von marin-elektromagnetischen Messungen auf der SONNE-Fahrt SO214 über bekannten Methan-Austrittsstellen am Hikurangi Margin, Neuseeland, sowie die anschließende Auswertung und Interpretation der Daten. Dazu wurde das an der BGR im Rahmen des BMBF-BMWi finanzierten Verbundprojekts SUGAR neu entwickelte, geschleppte CSEM System HYDRA eingesetzt. Insgesamt konnten mit dem Messsystem drei Profile über bekannten Seeps im Messgebiet Opouawe Bank akquiriert werden (Abb. 1). Im gleichen Messgebiet wurde auf dem vorangegangenen Fahrtabschnitt hydroakustische Parasound-Daten, Backscatter Sidescan-Daten, und mit dem P-Cable System vom GEOMAR ein hochauflösender 3D Seismik-Datensatz aufgenommen.

Die Auswertung der CSEM Daten erfolgte in mehreren Schritten. Zunächst wurden aus den Daten mit einer 1D Inversion die Halbraumwiderstände (Apparent Resistivity) entlang der Profile berechnet (Abb. 4). Diese geben den Durchschnittswert der elektrischen Widerstände und zeigen bereits deutliche Widerstandserhöhungen unterhalb der Seeps. Mit wachsendem Abstand der Empfänger vom Sender wird ein größerer Tiefenbereich (Induktionsraum) erfasst, dessen gemittelter Widerstand abgebildet wird.

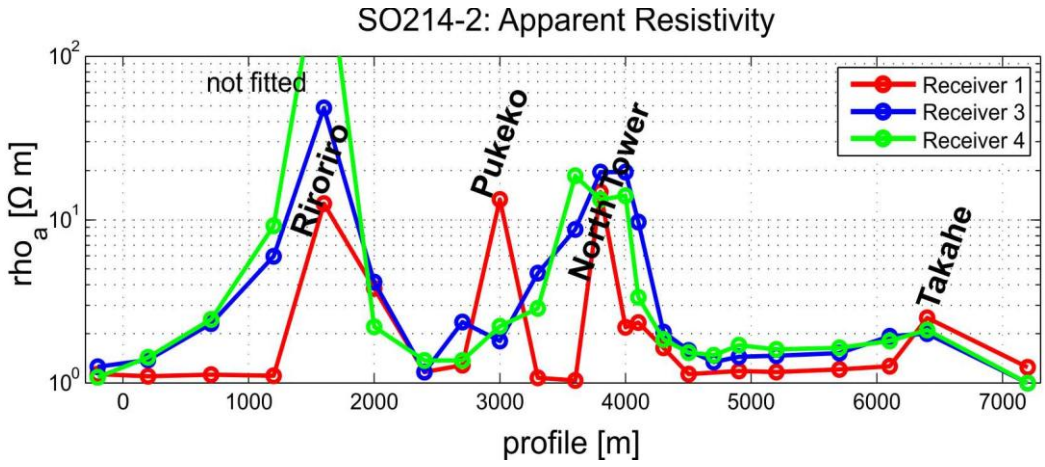


Abb. 4: Invertierte Halbraumwiderstände entlang des CSEM Profils CSEM-2011-2 zeigen deutlich erhöhte Werte über den bekannten Seeps.

Im nächsten Schritt werden geschichtete 1D Modelle per 1D Occam Inversion berechnet, um damit die vertikale Widerstandsverteilung zu erfassen (Abb. 5). Die Modelle zeigen anomal hohe Widerstände im Tiefenbereich von ca. 0 – 100 mbsf (meter below sea floor), aber darunter extrem hohe Leitfähigkeiten, die auf 3D Effekte zurückgeführt und nicht in die Interpretation einbezogen werden.

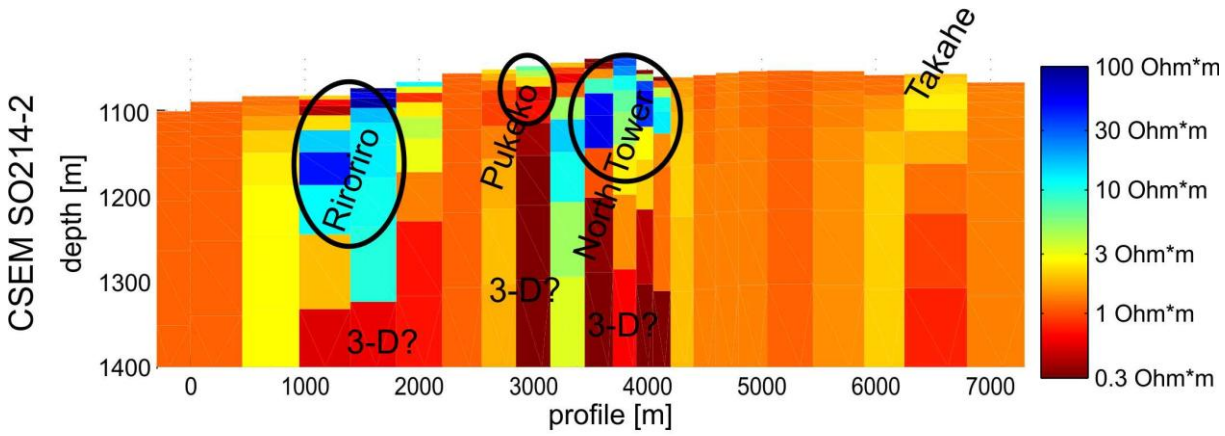


Abb. 5: 1D Occam Inversion mit den Daten des gleichen Profils wie in Abb.4 zeigt Widerstandsanomalien (blau) im Bereich der Seeps. Die extrem hohen Leitfähigkeiten unterhalb der Seeps werden auf 3D Effekte zurückgeführt.

Durch die Kooperation mit Dr. C. Scholl (CGG- Electro Magnetics) war es möglich, eine volle 2D Inversion der Profile mit allen Receiver Daten durchzuführen. Abb. 6 zeigt das Ergebnis mit den Daten des gleichen Profils aus Abb. 4 und 5. Die Widerstandsanomalien unterhalb der Seeps sind deutlich wiedergegeben und korrelieren mit Bereichen erhöhter Reflektivität und starker seismischer Amplitudenanomalien. Außerhalb der Seeps ergibt die Inversion Hintergrundswerte um 1-1.5 Ωm, was typische Werte für marine Sedimente sind. Die extrem hohen Widerstandswerte sprechen dafür, dass sich unterhalb der Seeps Gashydrat in einem ausgedehnten Volumenbereich konzentriert gebildet hat, wobei freies Gas lokal ebenfalls vorhanden sein muss, wie es die Parasound Daten und Seismikdaten suggerieren.

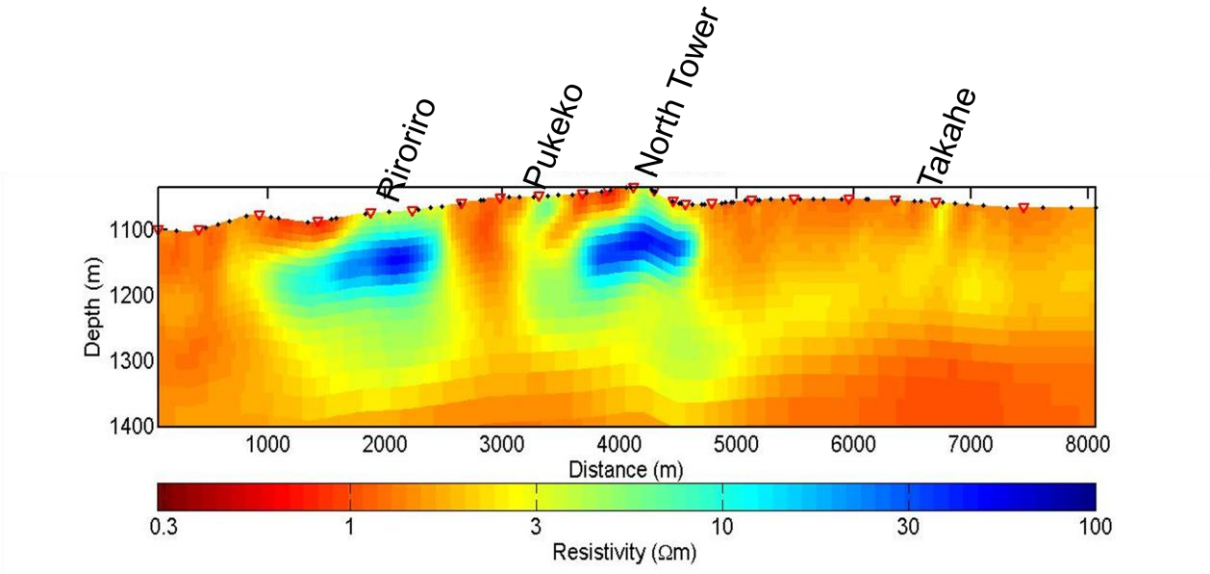


Abb. 6: 2D Occam Inversion mit den Daten des gleichen Profils wie in Abb.4 zeigt Widerstandsanomalien (blau) im Bereich der Seeps.

Mit dem Finite Elemente Löser COMSOL wurde in Vorwärtsmodellierungen schließlich die räumliche 3D Ausdehnung der anomalen Strukturen untersucht. Das Ergebnis der 2D

Inversion wurde dabei als Vorlage verwendet. Die Zuordnung der Widerstandsanomalien zu den Seep Lokationen sowie deren laterale Ausdehnung wie aus der 2D Inversion angedeutet, konnte dabei weitestgehend bestätigt werden.

Die Abschätzung des möglichen Gashydratpotentials ergibt sich aus Archie's Law. Mit typischen Archie-Koeffizienten a=1, m,n=2 und einer Porosität von 50% ergibt sich eine Gashydratsättigung um 70%, wobei freies Gas hierzu ebenfalls anteilig beiträgt. Lokale Widerstandswerte innerhalb des Gashydratstabilitätsbereichs um 10-20 Ωm sind in Bohrungen beobachtet worden und mit hohen Gashydratkonzentrationen erklärt worden (Expedition 311 Scientists, 2006, Collett et al., 2008). Ob sich diese hohen Konzentrationen auch weiträumig bilden können, könnte am Hikurangi Margin erstmalig beobachtet worden sein.

Expedition 311 Scientists, 2006. Site U1328. *In* Riedel, M., Collett, T.S., Malone, M.J., and the Expedition 311 Scientists. *Proc. IODP,* 311: Washington, DC (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.311.106.2006.

Collett, T. S., M. Riedel, J. Cochran, R. Boswell, J. Presley, P. Kumar, A. Sathe, A. Sethi, M. Lall, and V. Sibal, 2008, Indian National Gas Hydrate Program Expedition 01 initial reports: Directorate General of Hydrocarbons, Ministry of Petroleum&Natural Gas India.

2. des vorrausichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse der Auswertung der CSEM Daten im Projekt NEMESYS haben gezeigt, dass CSEM wichtige Hinweise auf die Gas- und Gashydratverteilung innerhalb des gesamten Gashydratstabilitätsbereichs liefern kann. Die hohen Widerstandswerte lassen dabei auf eine hohe Gas und Gashydratkonzentration im Bereich der Seeps schließen, was aus den seismischen Daten allein nicht hervorgegangen wäre. Das Messsystem HYDRA eignet sich dabei besonders, Strukturen von ca. 100 – 500 m räumlicher Ausdehnung zu erfassen. Seit der Ausfahrt SO214 ist das System technisch weiterentwickelt worden. Weitere Einsätze erfolgten 2012 auf FS METEOR zur Untersuchung von Flachgasvorkommen in der Deutschen Nordsee, und 2014 auf FS MERIAN zur Erkundung von Gashydratvorkommen im Schwarzen Meer. In 2011 und 2012 sind Verbundprojektanträge mit BGR Beteiligung gestellt worden, die Gashydratvorkommen im indischen Krishna Godavari Becken zu untersuchen. Beide Anträge wurden jedoch nicht genehmigt.

Seit 2012 laufen Gespräche zwischen der BGR und der Universität Tromsö über einen marinen CSEM-Einsatz, um Seep-Strukturen und die Gashydratverteilung am Vestnesa-Rücken vor Spitzbergen zu untersuchen. Hier existieren bereits mit dem P-Cable akquirierte 3D Seismikdaten, die mehrere Aufstiegszonen (Vents) innerhalb des Gashydratstabilitätsbereichs abbilden. Ein Messeinsatz konnte bisher noch nicht realisiert werden.

Des Weiteren deuten sich derzeit neue Aktivitäten auf EU-Ebene in Richtung Gashydratexploration, Methanproduktion aus Gashydraten und Monitoring an. Auch hier können marine CSEM-Verfahren einen Beitrag leisten.

3. das während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Exploration von submarinen Gashydraten als unkonventionelle Energieressource ist ein aktuelles Thema. Japan ist es im März 2013 mit einer offshore Bohrung erstmalig gelungen, Methan aus submarinen Gashydrat zu fördern.

Auf der internationalen, geowissenschaftlichen Bühne gibt es nach wie vor nur wenige akademische Gruppen, die marin-elektromagnetische Methoden zur Exploration von submarinen Gashydraten entwickeln und anwenden. Erstmalig vorgeschlagen wurde der Einsatz von CSEM zur Untersuchung von Gashydraten von Edwards (1997) an der University of Toronto. Hier wurde ein erster Prototyp eines geschleppten elektrischen Dipol-Dipol-Systems entwickelt und eingesetzt (Yuan and Edwards, 2000, Schwalenberg et al., 2005). Dieses Messsystem wurde auch im New Vents Projekt auf SO191 am Hikurangi Margin eingesetzt (Schwalenberg et al., 2010a, b). Es diente dann als Vorlage für das an der BGR im SUGAR Projekt entwickelte CSEM System HYDRA, welches auf SO214 im NEMESYS Projekt zum Einsatz kam. Im Vergleich zum Toronto System hat HYDRA vier statt zwei elektrischen Dipol-Empfängereinheiten und erreicht eine um Größenordnungen bessere Datenqualität.

Marine CSEM ist auch von anderen Gruppen zur Erkundung von Gashydraten eingesetzt worden. Dazu gehören das GEOMAR in Kiel, das Marine EMLab am Scripps Oceanographic Institution, La Jolla, CA, neuerdings auch das National Oceanographic Centre, Southampton, UK, und Kyoto University, Japan. Diese Gruppen verwenden andere Messkonfigurationen, aber auch hier ist es gelungen, Gashydrate aufgrund erhöhter elektrischer Widerstände abzubilden.

4. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr.6

<u>Konferenzbeiträge:</u>

Schwalenberg, K., Engels M: Marine controlled source electromagnetic methods for submarine gas hydrate assessment: New instrumentations and first field applications. Poster and Talk. International Gas Hydrate Conference, Edinburgh, UK, July 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, 24. Schmucker-Weidelt Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung. Neustadt an der Weinstr. Sept 2011.

Schwalenberg, K., Engels M: Marine controlled source electromagnetic methods for submarine gas hydrate assessment: Results from Hikurangi Margin, New Zealand. Talk, Arctic Frontiers Conference, Tromsoe Jan 2012.

Engels M., Schwalenberg K: Aktive Elektromagnetik bei der Forschungsfahrt SO214 vor Neuseeland: Evaluierung von Gashydraten mit einem neuen geschleppten Multidipolsystem. Vortrag DGG Tagung Hamburg 5-8. März 2012.

Schwalenberg, K., Engels M: Marine controlled source electromagnetic developments at BGR: New instrumentation, applications and 3D modelling studies. Poster, DGG Tagung Hamburg 5-8 März 2012.

Schwalenberg, K., Engels M: Marine controlled source electromagnetic methods for gas hydrate assessment: Latest results from the Black Sea and the Hikurangi Margin,NZ. Talk, 21st Electromagnetic Induction Workshop, Darwin, Australia, July 25-31, 2012

Schwalenberg, K., Engels M, Schulte i.d. Bäumen H: Evaluation of seep-related gas hydrate occurrences on Opouawe Bank, Hikurangi Margin, NZ, from controlled source electromagnetic. SONNE-Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE, 14-15.02.2013, GEOMAR, Kiel, poster and talk.

Schwalenberg, K., Engels M: Two marine controlled source electromagnetic case studies using bottom-towed electric dipole-dipole systems. MARELEC Conference, 16 -19 July 2013, Hamburg, Germany, keynote paper.

Schwalenberg K, Engels M, Rippe D, Moghadas D, 2013. Marine CSEM experiments for submarine gas hydrate and free gas exploration: A case study from New Zealand. Chinese-German Symposium for Electromagnetic Sounding Studies. Qingdao, China, 30.08 - 02.09.2013.

Moghadas D, Engels M, Gehrmann R, Schwalenberg K, 2013. 3D numerical modeling and 1D inversion and resolution analysis of time-domain controlled source electromagnetic data. Talk, 25th Schmucker-Weidelt-Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung. Kirchhundem Rahrbach, 23-27 September 2013.

Rippe D, Engels M, Schwalenberg K, Scholl C, 2013. Constraints on gas hydrate distribution on Opouawe Bank on Hikurangi Margin, New Zealand. Poster, 25th Schmucker-Weidelt-Kolloquium für Elektromagnetische Tiefenforschung. Kirchhundem Rahrbach, 23-27 September 2013.

Rippe D, Engels M, Schwalenberg K, Scholl C. Electrical anisotropy associated with methane seep sites - examples from Opouawe Bank, Hikurangi Margin, New Zealand. Poster, 74. Jahrestagung der DGG, Karlsruhe, 10-13 März 2014

Artikel:

Schwalenberg K.; Gashydrat-Suche vor Neuseeland. Resource – Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2012-2016, p 7-8.

Schwalenberg, K., Engels M, Schulte i.d. Bäumen H: Evaluation of seep-related gas hydrate occurrences on Opouawe Bank, Hikurangi Margin, NZ, from controlled source electromagnetic. Tagungsband SONNE-Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE, 14-15.02.2013, GEOMAR, Kiel, p 209-214.

Rippe D, Engels M, Schwalenberg K, Scholl C. Investigation of submarine gas hydrates and methane seep sites on the Hikurangi margin, New Zealand. Article in preparation for Geological Journal International.

Schwalenberg, K, Koch S, Engels M, Rippe D, Bialas J. Evidence of methane seepage and gas hydrates from CSEM and high resolution 3D Seismic data on Opouawe Bank, Hikuangi Margin, New Zealand. Planned for submission to Marine Geology.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht

3. Titel
NEMESYS - Untersuchung von submarinen Gasaustritten und Gashydraten am Hikurangi Margin, Neuseeland mit marin-elektromagentischen Methoden

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.08.2013
Schwalenberg, Katrin Engels, Martin Rippe, Dennis	6. Veröffentlichungsdatum Geplant
	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) B1.4 Marine Rohstofferkundung Stilleweg 2 30655 Hannover	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03G0214B
	11. Seitenzahl 12
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 6

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

18. Kurzfassung

Die SONNE Fahrt SO214 hatte das Ziel, am neuseeländischen Hikurangi Margin bekannte Methanaustrittsstellen (Seeps) und damit verbundene Gashydratvorkommen detailliert mit verschiedenen geophysikalischen und geologischen Methoden zu untersuchen. Die BGR führte auf der Ausfahrt marine elektromagnetische Messungen mit einem neu entwickelten CSEM Messsystem durch. Entlang von drei Profilen ergaben die CSEM Messungen deulich erhöhte Widerstandsanomalien, die mit den seismisch und hydroakustisch identifizierten Seeps korrelieren. Dies wird mit einer stark erhöhten Gas und/oder Gashydratkonzentration von ca. 70% des Porenraums unterhalb der Seeps erklärt.
Die Ergebnisse liefern einen wichtigen Beitrag zur Evaluierung der Gas- und Gashydratverteilung mit mariner CSEM

19. Schlagwörter
Neuseeland, Hikurangi Margin, Methan Seeps, Gashydrate, Marine Elektromagnetik (CSEM)

20. Verlag Technische Informationsbibliothek Hannover	21. Preis