

Abschlussbericht

SO-226 CHRIMP

CHatham RIse Methane Pockmarks



Förderkennzeichen: 03G0226A

Berichtszeitraum: 01.10.2012 – 28.02.2015

Abschlussbericht des Vorhabens 03G0226A „CHRIMP“

Zuwendungsempfänger:	GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel Wischhofstr. 1-3 24148 Kiel
Förderkennzeichen:	03G0226A
Projektleiter:	Dr. Jörg Bialas (GEOMAR)
Vorhabenbezeichnung:	SO-226 CHRIMP
Laufzeit des Vorhabens:	01.10.2012 bis 28.02.2015
Berichtszeitraum:	01.10.2012 bis 28.02.2015

1. Kurze Darstellung der

1.1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projektes SO-226 CHRIMP war die geowissenschaftliche Untersuchung von runden Vertiefungen des Meeresbodens mit bis zu 10 km Durchmesser, deren Beschreibung als Mega-Pockmarken publiziert wurde (Davey et al., 2010). Die Einschätzung als Pockmarken erfolgte aus der Identifizierung eines unterliegenden BSR, demzufolge eine Verbindung zu einem Gassystem als Bildungsursache angenommen wurde. Sollte sich diese Annahme bestätigen, so wäre bei der Entstehung der Pockmarken eine enorme Menge des Treibhausgases Methan in die Atmosphäre freigesetzt worden. Mit dem vorgeschlagenen Projekt sollte untersucht werden, ob die Verbindung dieser Strukturen zu einem Gas- (Gashydrat)-system bestätigt werden können und was zu einer noch heute andauernden Erhaltung der Strukturen geführt hat. Zu diesem Zweck wurden Kartierungen mit Multibeam und Sidescan, seismische Vermessungen mit 2D und 3D Streamer und geologische Probennahmen durchgeführt.

Davy, B., et al. (2010). "Gas escape features off New Zealand: Evidence of massive release of methane from hydrates." *Geophysical Research Letters* 37(21)

1.1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Davy et al. (2010) berichten über bathymetrische Aufnahmen runder Meeresbodenvertiefungen am Chatham Rise vor Neuseeland. In dieser Arbeit wurden die Strukturen am westlichen Rand des Chatham Rise anhand eines Parasoundprofil als Pockmarken in einem Gashydratsystem interpretiert. Die Meeresbodenstrukturen und vergleichbare vergrabene Strukturen wurden über eine Zeitreihe der Sauerstoffisotopenanomalien mit wechselnden Vereisungsstadien korreliert. Damit verbundene Schwankungen des Meeresspiegel wurden in einem Modell als Ursache für eine Destabilisierung von Gashydraten und die Bildung von Pockmarken als Entgasungsstrukturen interpretiert.

Isolierte Meeresbodenkartierungen entlang unterschiedlichster Schiffskurse zeigen eine weitere Verbreitung dieser Pockmarken entlang des südlichen Hanges des Chatham Rise. Dabei sind im wesentlichen drei Größenordnungen zu beobachten, Durchmesser von etwa 150 m (Wassertiefe 500 – 700 m), Durchmesser von 1 km – 5 km (Wassertiefe 800 m – 1100 m) und Durchmesser 8 km – 11 km (Wassertiefe 800 m – 1100 m). Sollten sich auch diese Strukturen als Ergebnis partieller Auflösungen von Gashydraten erweisen, dann wäre enorme Mengen an Methnagas kurzfristig in die Atmosphäre entlassen worden. Da ähnliche Strukturen auch aus anderen Meeresgebieten bekannt sind, wären im Falle zeitgleicher Ereignisse klimarelevante Folgen wie das thermische Maximum zum Paläozen / Eozän-Übergang evtl. hierdurch erklärbar (Clathrat-Gun Hypothese, Kennet et al., 2003).

Für eine Überprüfung dieser Hypothese sollten zunächst zusätzliche Bereiche um die einzelne Pockmarkfunde herum kartiert werden, um mögliche weitere Strukturen zu finden sowie deren Lage und Ausdehnung zu erkennen. Aus den gefundenen Strukturen soll anhand erster 2D seismischer Übersichtsprofile jeweils eine repräsentative Struktur aus jedem Größenbereich für detailliertere Untersuchungen ausgewählt werden. Hierzu gehören eine seismische 3D Vermessung, Kartierung mit dem Sidescan und geologisch/geoschemische Probenahme. Für die Arbeiten standen zwei Fahrtabschnitte mit dem FS SONNE zur Verfügung.

Kennett, J. P., et al. (2003). Methane hydrates in Quaternary climate change: The clathrate gun hypothesis. Washington, D.C., American Geophysical Union.

1.1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der vorgelegte Zeitplan wurde eingehalten.

1.1.4 wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde

Das Projekt hat sich auf die von Davy et al. (2010) veröffentlichte Hypothese der Bildung von Mega-Pockmarken durch die teilweise Auflösung während Meeresspiegelschwankungen gestützt.

Eine wesentliche Grundlage war der Einsatz des seismischen Mehrkanal 3D P-Cable Systems.

Weitere Angaben zum wissenschaftlich-technischen Stand sind im Antrag ausführlich dargelegt.

1.1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Die Expedition und Auswertung wurde in Kooperation mit den Wissenschaftlern des GNS, NIWA, der Universität Otago, der Universität Auckland (alle Neuseeland) und dem Naval Research Laboratory, USA durchgeführt.

2. **Eingehende Darstellung**

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

Der erste Fahrtabschnitt zur bathymetrischen Kartierung und seismischen Vermessung wurde wiederholt durch Sturm unterbrochen. Starker Seegang führte zu mehreren Beschädigungen am 3D P-Cable System. Bedingt durch die Zeitausfälle konnte im dritten Arbeitsgebiet (kleine Pockmarken) keine 3D Vermessung durchgeführt werden. Die wesentliche wissenschaftlich neue Erkundung zielte allerdings auch auf die Arbeitsgebiete 1 und 2 mit den mittleren und großen Pockmarken, so dass für die Projektdurchführung kein Nachteil entstanden ist.

In allen drei Arbeitsgebieten wurde die bathymetrische Kartengrundlage erheblich erweitert (Abb. 1). Dabei wurden weitere Strukturen vergleichbarer Größe gefunden. Weite Abschnitte der Kartierungsfahrten wurden mit 2D seismischen Profilen kombiniert, um einen ersten Überblick über die Sedimentstrukturen im Umfeld der Depression zu erhalten. Anhand dieser Ergebnisse wurde die Lage der Areale für die 3D Seismik neu festgelegt.

Im Arbeitsgebiet 1 (große Pockmarken, Abb. 1.1) lassen sich die obersten 700 ms (TWT) der Sedimentation in fünf markante Schichtpakete aufteilen. Insbesondere die obere Einheit fünf zeichnet sich durch eine Vielzahl kleinräumiger Störungen aus. Vertikal unterbrochene Amplituden weisen nur an wenigen Stellen auf mögliche Migrationskanäle für Fluide hin. Die Pockmark Strukturen weisen im SW alle einen nahezu vertikalen von Sediment befreiten Kanal auf, der bis auf einen einheitlichen Erosionshorizont hinab reicht. Dieser Erosionshorizont zeugt von einer früheren kompletten Leerung der Depressionsstruktur, die anschließend nur teilweise mit Contouriten verfüllt wurde (Abb. 2).

Die zur Bildung von Pockmarken [Hovland and Judd, 1988] benötigte Zuführung von Gas aus dem Sediment erfolgt über vertikale Förderkanäle, die sich in der Seismik durch fehlende Reflexionen oder chaotische Reflexionsmuster auszeichnen. Um eine Pockmarke von mehreren

Kilometern Durchmesser zu bilden wäre ein sehr großer Förderkanal oder eine Ansammlung kleiner Förderkanäle zu erwarten. Beides ist nicht der Fall (Abb. 2). Weiträumig verteilt treten Linsenstrukturen in der Einheit IV auf, deren Oberkante durch eine invertierte Amplitude markiert wird (Abb. 3). In der neuen Meeresbodenkartierung wurde bei 187°40' E / 44° S eine weitere große Pockmark Struktur gefunden, die mit einer solchen Linse unterlegt ist (Abb. 3) und daher als Ziel für die 3D Vermessung ausgewählt wurde. Anhand interner Reflexionen lässt sich der mögliche Migrationskanal aus der Linsenstruktur kartieren (Abb. 3). Seine Kontinuität bis zum Meeresboden ist nicht eindeutig. Seine Weite und Lage unterhalb der Meeresbodenvertiefung (Abb. 3) lassen diese Struktur nicht als Ursache für die Bildung der Pockmarke erscheinen. Weitere Anzeichen für ein weit verbreitetes Gassystem und Hydratbildung lassen sich aus den seismischen Daten nicht ableiten, ein BSR kann nicht kartiert werden.

Die im zweiten Fahrtabschnitt durchgeführte Probenahme durch ein Kolbenlot hat ebenfalls keine Hinweise auf ein Gassystem geliefert. Als Vergleich wurde ein Referenzkern entfernt von den Pockmarken genommen, dessen Porenwasserproben in Bezug auf die Methankonzentration an der Nachweisgrenze liegen. Eine Probenahme an der mit 3D Seismik kartierten Pockmarke scheiterte, da das Kolbenlot nicht aus dem Sediment geborgen werden konnte. Alternativ wurden Proben aus einer vergleichbaren benachbarten Struktur genommen, die ebenfalls von Linsenstrukturen unterlegt ist. Das Sulphatprofil (Abb. 4), aus dessen Gradient der aktuelle vertikale Gasfluss abzuleiten ist, deckt sich mit Werten für Meerwasser, d.h. gibt keinen Hinweis auf aktiven Gasaufstieg.

Die Kartierung mit Sidescan und Sedimentecholot über zwei Pockmarkstrukturen hinweg (Abb.1.1) hat keine Auffälligkeiten gezeigt, die anhand veränderter Rückstreuung aus dem Sediment auf frühere Gasaustritte schließen lassen.

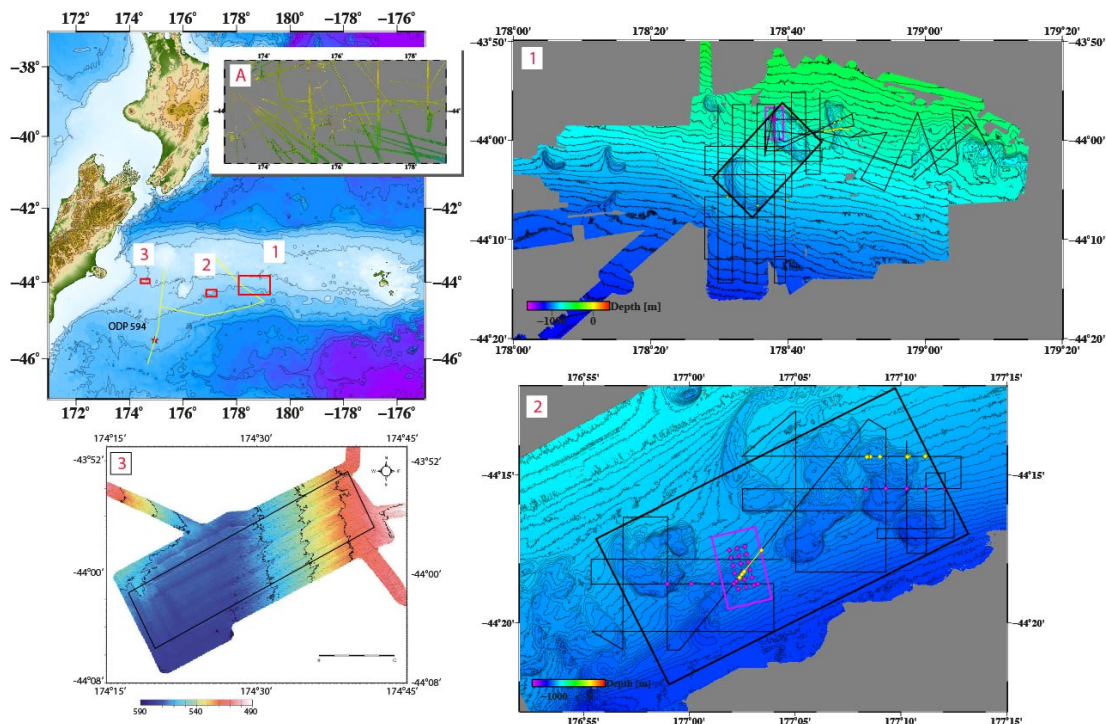


Abbildung 1: Übersichtskarte der Arbeitsgebiete und der vermessenen bathymetrischen Karten. Die Übersicht A zeigt die vor der Reise SO-226 vorhandene Kartenbasis. Durch die Erweiterung während des ersten Fahrtabschnittes konnten weitere gleichartige Strukturen in den Arbeitsgebieten gefunden werden. 2D seismische Erkundungsprofile sind in schwarz eingezeichnet. Schwarze Rechtecke geben den Bereich der Sidescan Vermessung wieder. Rote Rechtecke zeigen die Areale der 3D seismischen Vermessung. OBS Positionen sind mit roten Punkten entlang der 2D Profile und innerhalb der 3D Boxen markiert. Gelbe Punkte zeigen die Beprobungspunkte des Kolbenlot.

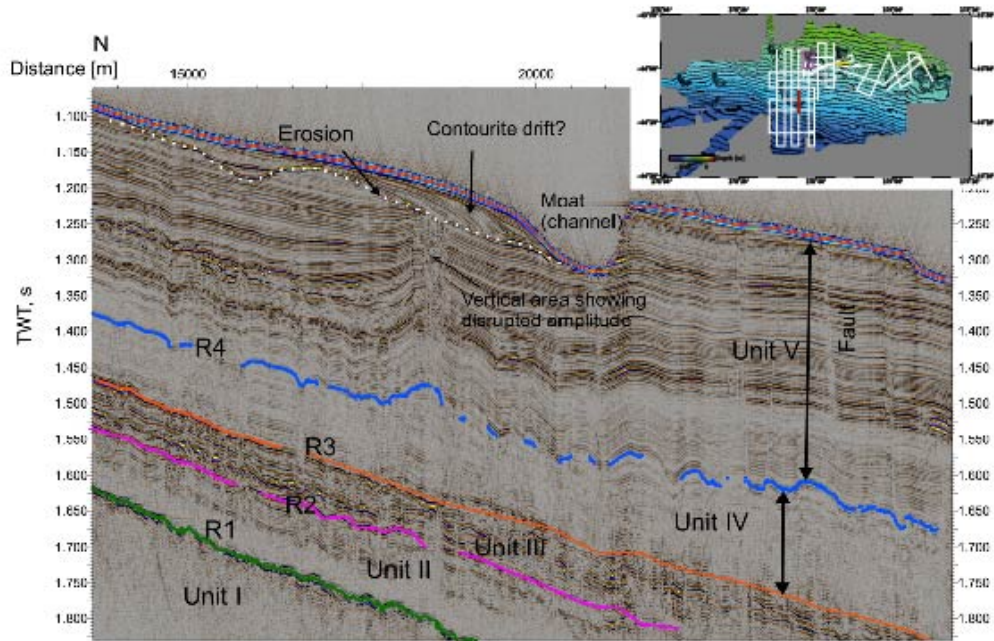


Abbildung 2: Ausschnitt aus den 2D Übersichtsprofilen im Arbeitsgebiet 1. Der seismische Schnitt kreuzt die südliche Depressionsstruktur. Die Sedimente lassen sich in fünf größere Pakete unterteilen. Die obere Einheit fünf ist durch eine Vielzahl kleinräumiger Störungen gekennzeichnet. Die Pockmarkstrukturen scheinen alle bis auf den markierten Erosionshorizont entleert worden zu sein. Anschließend wurden sie mit Contouriten verfüllt, wobei im SW jeweils ein Kanal die Abrisskante frei von Sediment hält.

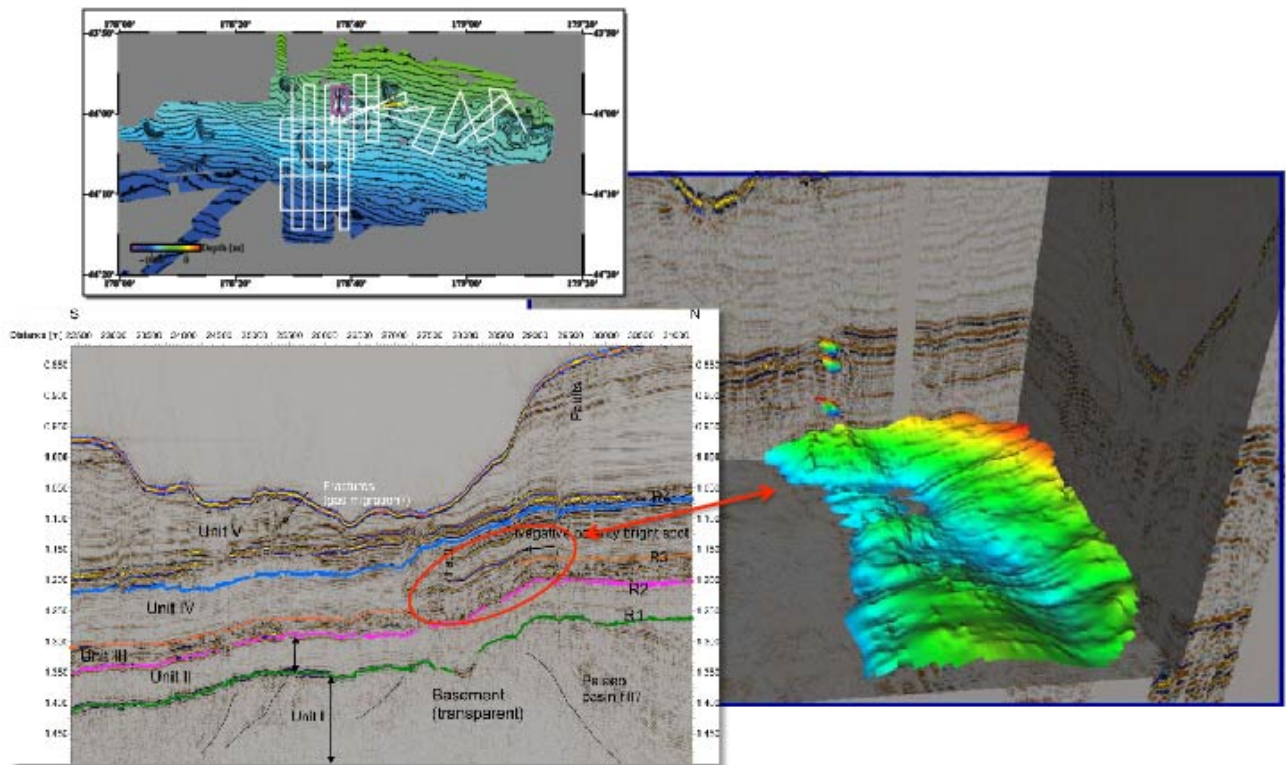


Abbildung 3: 3D seismische Kartierung einer großen Pockmarke im Arbeitsgebiet 1. Weit verbreitet sind im Arbeitsgebiet 1 linsenartige Strukturen im Sediment. Ausgehend von

diesen Strukturen können kleine Aufstiegskanäle kartiert werden. Ausdehnung und Lage dieser Migrationswege lassen unterhalb der Meeresbodendepression lassen diese aber nicht als Ursache für die Größe der Pockmarke erscheinen.

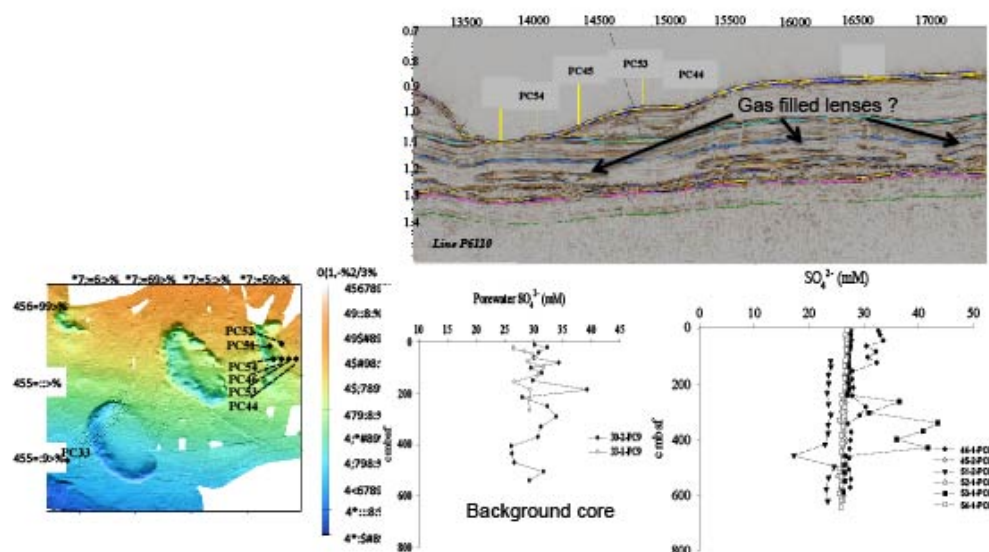


Abbildung 4: Übersicht über die geo-chemische Probenahme im Arbeitsgebiet 1.

Sowohl in einem entfernt von den Depressionen genommenen Referenzkern, als auch in den Proben aus der Pockmarke oberhalb der Linsenstrukturen sind Hintergrundwerte für den Methangehalt gemessen worden. Hinweise auf ein Gassystem wurden nicht gefunden.

Im zweiten Arbeitsgebiet (mittlere Pockmarken, Abb. 1.2) wurde ebenfalls zunächst die bathymetrische Karte erweitert. Auch hier sind weitere vergleichbare Strukturen kartiert worden. Parallel mit der Kartierung wurden Übersichtsmessungen mit dem 2D Streamer vorgenommen. Die Sedimentation ist in diesem Bereich deutlich gestörter als im Arbeitsgebiet 1, dennoch konnten die abgebildeten 0.9 s TWT in vier Schichtpakete unterteilt werden (Abb. 5). Anders als im ersten Arbeitsgebiet konnten hier unterhalb der zentralen Depression bei 177°03' E / 44°18' S Anzeichen für einen größeren Fluidtransportweg unterhalb der Pockmarke gefunden werden (Abb. 5, Waghorn et al., in Vorbereitung). Der durch reduzierte Reflexionen gekennzeichnete Aufstiegsbereich ist von einer konischen Aufwölbung des unteren Sedimentpaketes unterlegt. Diese Struktur wurde als Zielgebiet für die zweite 3D seismische Vermessung ausgewählt. Ebenso wie im ersten Arbeitsgebiet konnten kein BSR kartiert werden, der eine Bildung von Gahsydraten angezeigt hätte.

Die Kartierung mit Sidescan und Sedimentecholot im zweiten Fahrabschnitt (Abb. 1.2) hat ebenso wie im ersten Arbeitsgebiet keine Anomalien in der Struktur des Meeresbodens ergeben, die auf Einflüsse eines (früheren) aktiven Gassystems zurück zu führen wäre. Die geologische Probennahme und geochemische Analyse der Porenwässer ergab ebenfalls keine Hinweise auf ein aktives Gassystem (Abb. 6). Bodenproben wurden über die Ränder von zwei Pockmarkstrukturen genommen. Die als Indikator für vertikalen Gastransport interpretierten Sulfat Reduktionskurven zeigen auch hier keinen ausgeprägten Gradienten. Lediglich Kern 75-2 zeigt eine etwas ausgeprägtere Kurve, die eine anaerobe Methanoxidation (AOM) in etwa 16 m Tiefe andeuten würde. Alles in allem konnte auch hier über die Fläche der Pockmarken hinweg kein Anzeichen für ein aktives Gassystem gefunden werden.

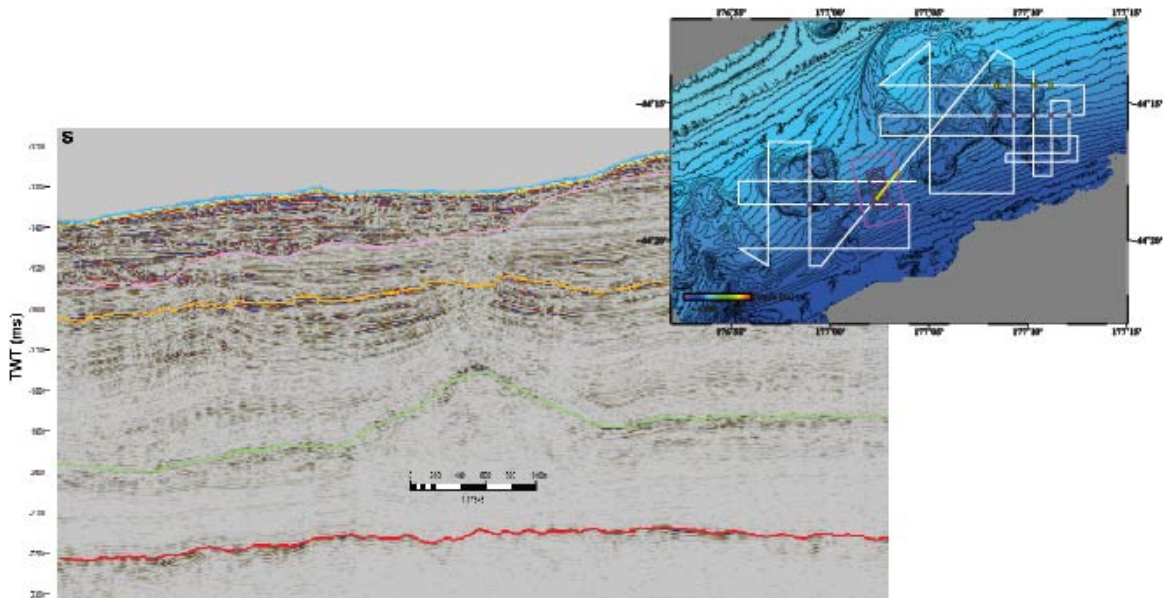


Abbildung 5: Ausschnitt aus der seismischen Übersichtsvermessung im Arbeitsgebiet 2. Trotz deutlich unruhigerer Lagerungsverhältnisse konnte eine Unterteilung in vier Schichtpakete erfolgen. Die Vertiefungen im Meeresboden scheinen ebenfalls zu einem früheren Zeitpunkt bis auf einen Reflexionshorizont hinab entleert worden zu sein. Anschließend erfolgte auch in diesem Gebiet eine teilweise Verfüllung mit Sediment, wobei ebenfalls der westliche Rand der Struktur frei von Sedimenten ist. Anders als im Arbeitsgebiet 1 wurde hier eine konische Aufwölbung im Untergrund kartiert, von der ein breiterer Migrationskanal aufsteigt.

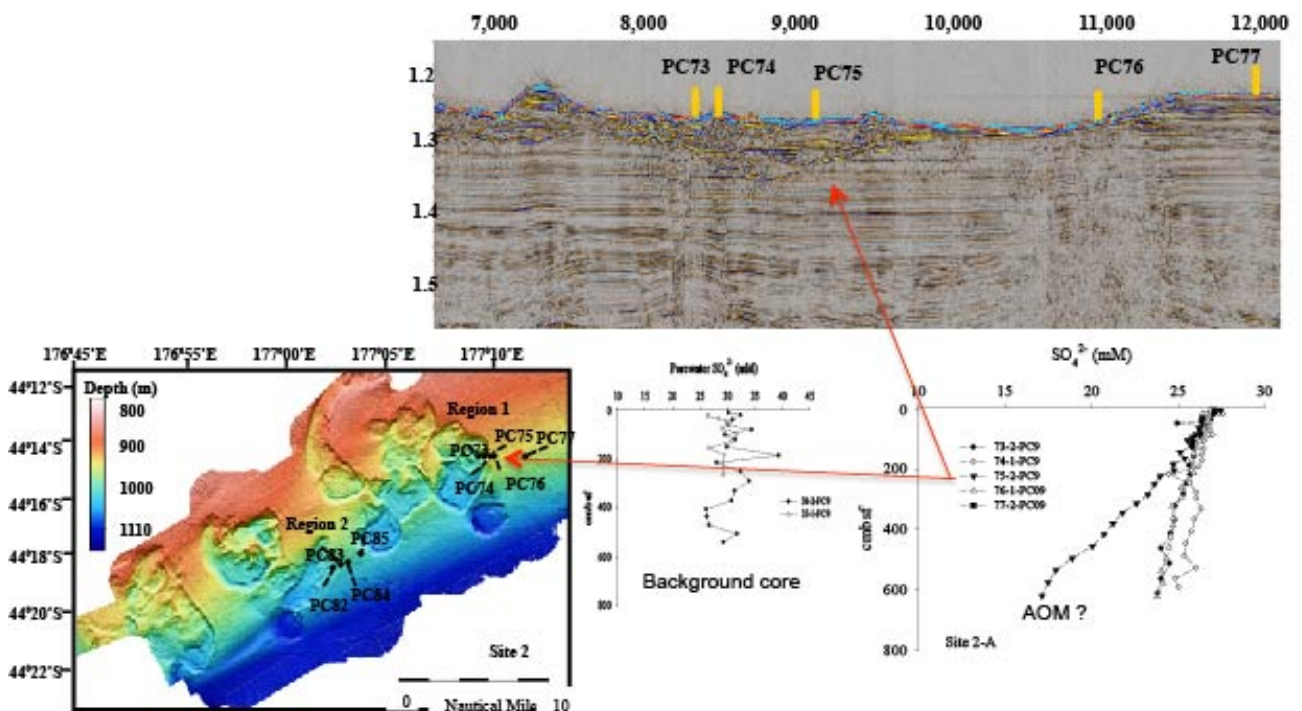


Abbildung 6: Übersicht über die geo-chemische Probenahme im Arbeitsgebiet 2. In diesem Gebiet konnten Proben über die Ränder von zwei Pockmarkstrukturen hinweg genommen werden. Der Gradient der Sulfatreduktion ist auch hier wenig ausgeprägt. Lediglich eine einzelne probe (75-2) weist auf eine AOM in ca. 16 m Tiefe. Über die Flächen verteilt sind keine Hinweise auf ein Gassystem gefunden worden.

Auf Grund von Zeitausfällen wegen stürmischem Wetter und Beschädigungen des 3D Systems in hohem Seegang blieb im dritten Arbeitsgebiet (kleine Pockmarken) nicht mehr ausreichend Zeit,

um eine seismische 3D Vermessung durchzuführen. Die Kartierung mit Multibeam und Sidescan Sonar hat eine deutliche Zonierung der Pockmarkenverteilung und –größe ergeben (Abb. 7). Tiefer als etwa 580 m Wassertiefe treten keine Pockmarken mehr auf. Hangaufwärts nimmt der Durchmesser der Pockmarken kontinuierlich ab.

Das seismische 2D Profil (Abb. 7) kann die Pockmarken am Meeresboden ebenso auflösen, wie darunter liegende vergrabene Strukturen. Vertikale Migrationskanäle der Pockmarken am Meeresboden reichen bis etwa 50 ms TWT unter den Meeresboden. Daran schließt sich eine Sedimentpaket von etwa 70 ms TWT Mächtigkeit an, das vergrabene Pockmarken aufweist. Darunter schließt sich ein weiteres Sedimentpaket von etwa 50 ms TWT, ebenfalls mit vergrabenen Pockmarken an. Eine vertikale Verbindung von Migrationskanälen über die Sedimentschichtung hinweg ist nicht zu erkennen. Ebenso fehlen Anzeichen für Fluid führende Wegsamkeiten unterhalb von 920 ms TWT. Hier ist die söhlige Sedimentlagerung zwar wiederholt durch vertikale Versätze unterbrochen, die Gleichmäßigkeit der Amplitudenstärke gibt jedoch keine Anhaltspunkte für ein Gassystem. Ebenso ist kein BSR zu erkennen. Dies wird auch durch die geochemischen Proben untermauert, deren Sulfatreduktionswerte unterhalb dem von Meerwasser liegen und keinen Gradienten aufzeigen (Abb. 7).

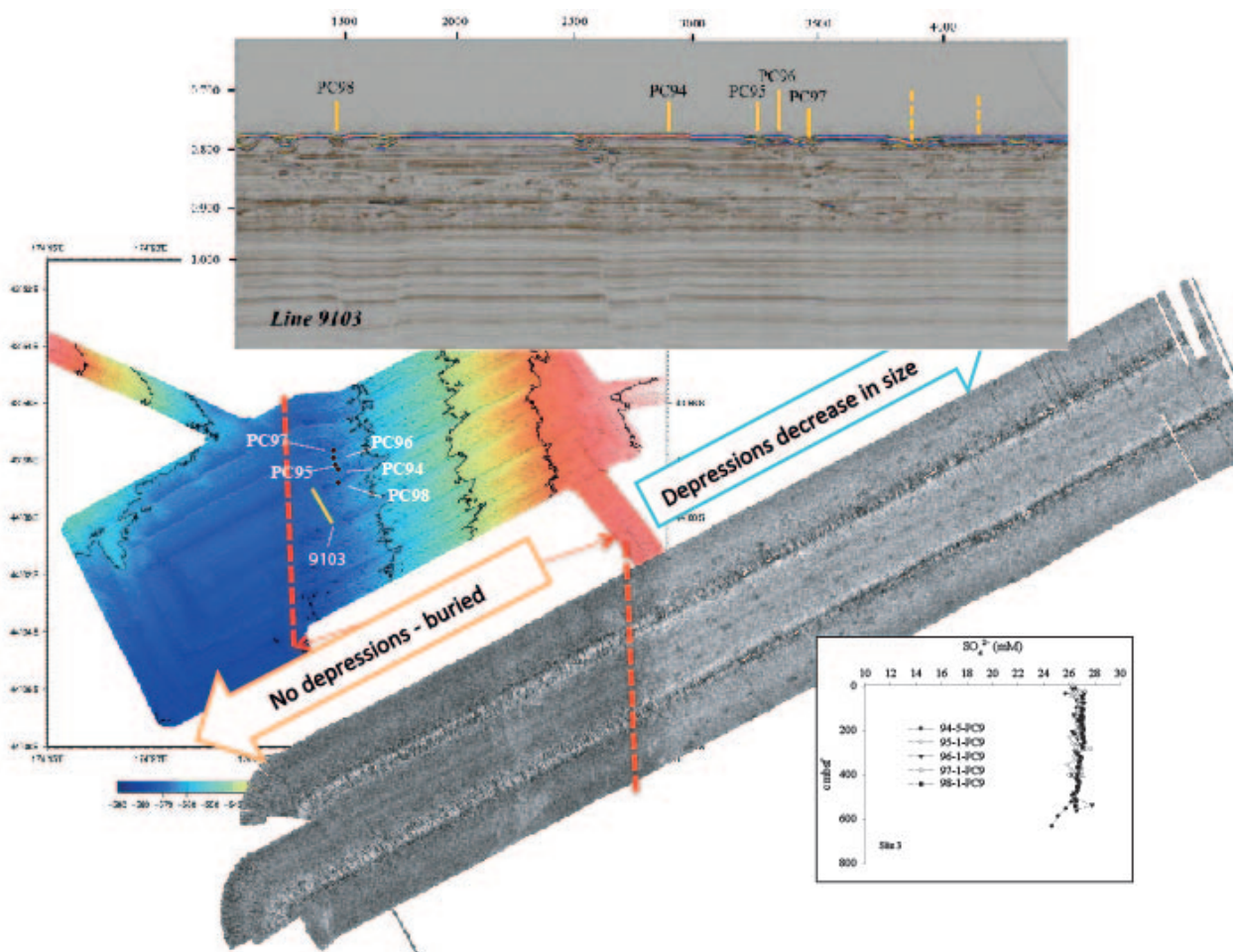


Abbildung 7: Übersicht über die Vermessungen im Arbeitsgebiet 3.

Die bathymetrische Kartierung und das Sidescan Sonar zeigen eine deutliche Zonierung der Pockmarken, die im Durchmesser mit flacher werdender Wassertiefe abnehmen. Die seismische 2D Vermessung kann drei Sedimentpakete mit teils vergrabenen Pockmarken auflösen. Diese sind vertikal nicht untereinander verbunden. Anzeichen für eine Gaszufuhr aus größerer Tiefe sind nicht gegeben, wie auch kein BSR vorgefunden wird. Die Sulfat Reduktionskurven des Porenwasser geben ebenfalls keinerlei Hinweis auf ein Gassystem.

Als Zwischenergebnis bleibt festzuhalten, das in keinem der drei Arbeitsgebiete die Arbeitshypothese das die Bildung und der Erhalt von Pockmarken durch ein unterliegendes

Gashydratsystem gesteuert wird bestätigt werden konnte. Wie im Zwischenbericht Feb. 2014 angeführt ist daher eine Neuausrichtung der Projektziele notwendig gewesen. Hierzu gehört die Erarbeitung einer Stratigraphie für das Messgebiet, eine Untersuchung auf frei liegende Reste mäandrierender Kanäle, sowie weitere Untersuchungen zu möglichen Entwässerungsstrukturen anhand der seismischen Daten.

Bohrungen mit stratigraphischen Profilen sind am Chatham Rise nicht vorhanden. Über ein Netzwerk älterer seismischer Profile ist es aber gelungen die spezifizierten Horizonte der ODP Bohrung 594 mit dem Arbeitsgebiet zu korrelieren (Abb. 8). Mit etwa 1 s TWT Mächtigkeit ist die Grenze zur Oberkreide markiert, die mit der Lösung Neuseelands von Gondwana zusammenfällt. Nur sehr dünn treten die Ablagerungen aus dem Oligozän auf, die das Einsetzen des Zirkum-Antarktischen Stromes markieren. In weiten Bereichen des Chatham Rise werden die oligozänen Ablagerungen nicht gefunden. Dieser Übergang ist als „Marshall Para-Conformity“ bekannt. Die silikatreichen Eozänen Ablagerungen sind gut zu verfolgen.

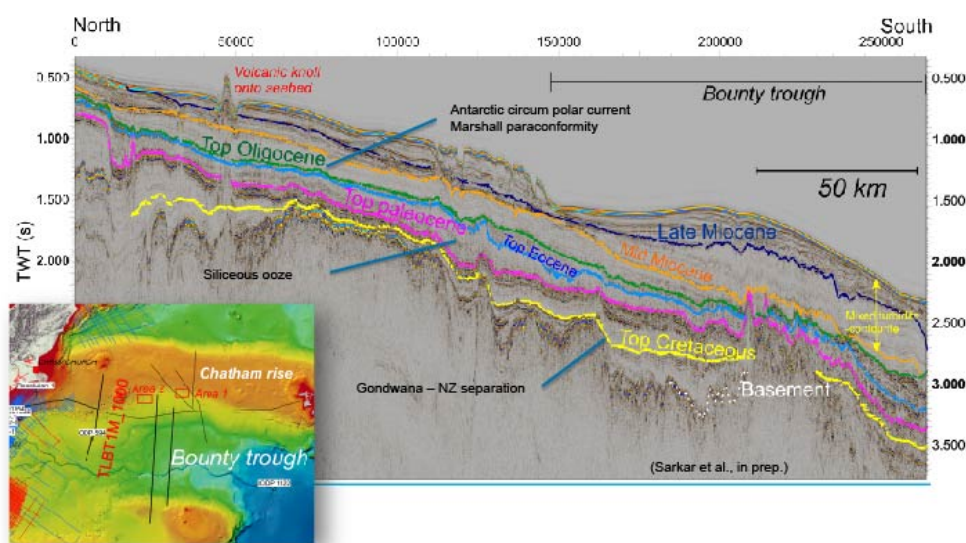


Abbildung 8: Stratigraphie abgeleitet aus der Bohrung ODP 594.

Als unterster Horizont konnte die Grenzschicht zur Oberkreide, der Abspaltung Neuseelands von Gondwana markiert werden. Auffällig ist die dünne Schicht aus dem Oligozän, die mit dem Einsetzen des Zirkum-Antarktischen Stromes einhergeht und in weiten Teilen des Chatham Rise nicht gefunden wird („Marshall Para-Conformity“). (Sarkar et al., in Vorbereitung)

Im Arbeitsgebiet zwei (mittlere Größe der Vertiefungen) variieren besonders die Amplituden im oberen Oligozän lateral sehr stark. Hier sind auch die Schichtung kreuzende positiv polarisierte Einsätze zu erkennen, die wir als Opal A/CT Front interpretieren (Abb. 9.A, Sarkar et al., in Vorbereitung). Die Tiefenlage dieser Front folgt in gleich bleibendem Abstand der Grenzschicht zum mittleren Miozän, welches daher als Bildungsalter angesehen wird. Die starke laterale Schwankung der Amplitudenstärke spiegelt sich in den variablen Schallgeschwindigkeiten der OBS Modelle wieder (Abb. 9.B). Die (zum Teil auch negativen) Anomalien in den Schallgeschwindigkeiten werden auf unterschiedliche Wassersättigung in Folge des Opal A/CT Übergangs interpretiert. Vergleichbare Strukturen sind auch im Arbeitsgebiet eins (große Vertiefungsdurchmesser) zu finden. Kleinskalige Amplitudenkrümmungen mit positiver Polarisierung, die mit kleinräumigen Störungen in Verbindung stehen bilden ein vergleichbares Muster, wie es z.B. von Davies [2005] für Opal A/CT Übergänge gezeigt wird. Hier wird an der Grenze zum Paläozän ein CT/Quartz Übergang und an der Grenze zum Eozän ein Opal A/CT Übergang interpretiert (Abb. 10, Sarkar et al., in Vorbereitung). Von beiden Fronten gehen schmale vertikale transparente Bereiche aus, die als mögliche Migrationskanäle für die beim Opalübergang erfolgte Entwässerung interpretiert werden können. Wegsamkeiten vom CT/Quarz Übergang enden an der Grenze des Eozän. Ausgehend von der weitestgehend mit der Eozängrenze zusammenfallenden Opal A/CT Front gehen unabhängige Wegsamkeit bis dicht zum Meeresboden, die nur außerhalb der Vertiefungsstruktur kartiert

werden. Die Wegsamkeiten aus dem eozänem Sedimentpaket finden sich sowohl unterhalb der Meeresbodenvertiefung, als auch außerhalb. Lediglich an einer Stelle ist ein Aufstiegskanal aus den Eozänen Sedimenten bis an die Basis der Meeresbodenvertiefung zu finden. Die Weite des Förderkanals beträgt jedoch nur Bruchteile der Ausdehnung der Meeresbodenanomalie und er endet senkrecht am Meeresboden. Ein Modell für die Entwicklung einer mehr als 5 km weiten Meeresbodenvertiefung aus einem so scharf begrenzten, ca. 500 m weiten Förderkanal konnte bisher nicht gefunden werden.

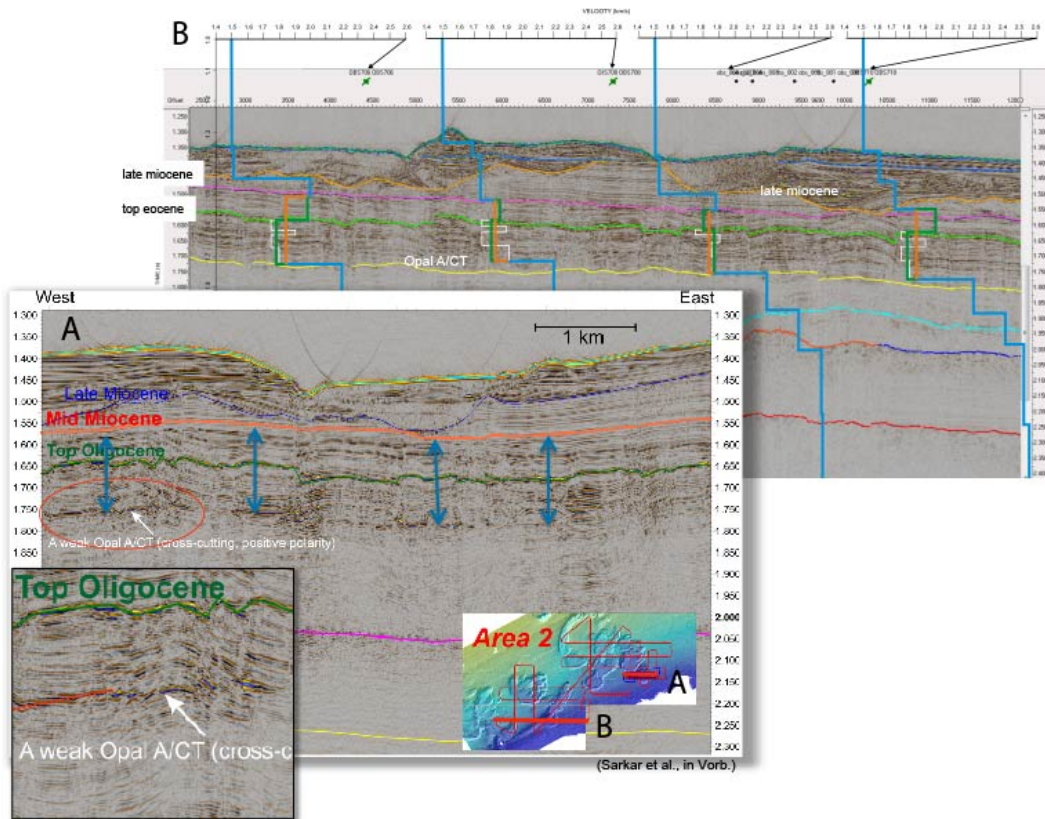


Abbildung 9: Interpretation der Opal A/CT Front im Arbeitsgebiet zwei (mittlere Vertiefungsgrößen).

Positiv polarisierte Reflexionsamplituden kreuzen Sedimentschichten im oberen Oligozän. Die Tiefenlage spricht für eine Ausbildung im mittleren Miozän (Sarkar et al., in Vorbereitung). Die lateral stark schwankende Amplitudenstärke spricht für eine nicht kontinuierliche Verteilung. Die spiegelt sich auch in der Variation der Schallgeschwindigkeiten der Miozänen / Oligozänen Sedimente wieder. Unterschiedlich stark ausgeprägte (z.T. negative) Geschwindigkeitsanomalien werden als Folgen der Entwässerung bei der Opal A/CT Bildung interpretiert

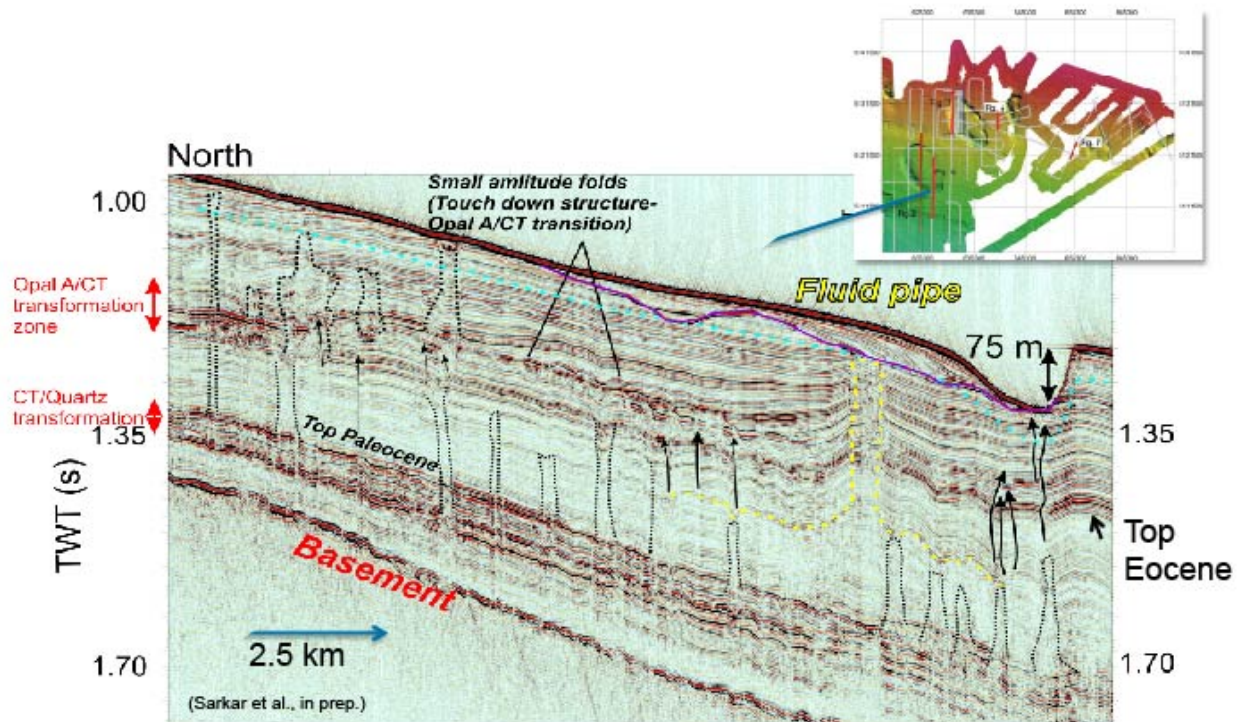


Abbildung 10: Interpretation der CT/Quarz und Opal A/CT Front im Arbeitsgebiet eins (große Vertiefungen).
 Positiv polarisierte Reflexionsamplituden in Verbindung mit kleinräumigen Störungen werden analog zu Beispielen von z.B. Davies (2005) als Opal A/CZT Übergang interpretiert (Sarkar et al., in Vorbereitung). Mögliche Aufstiegskanäle für Fluide aus dem Entwässerungsvorgang liegen außerhalb der Meeresbodenanomalie. Migrationskanäle vom CT/Quarz Übergang enden an der Eozängrenze und sind sowohl unterhalb der Meeresbodenvertiefung als auch außerhalb zu finden. Eine einzelne Förderstruktur, die bis zur Basis der Meeresbodenstruktur reicht ist scharf begrenzt und erreicht nur 1/10 der Abmessungen der Vertiefung. Bisher konnte kein Modell für einen Bildungsprozess, der aus einer möglichen Entwässerung an dieser Stelle rührt, aufgestellt werden konnte.

Weitere Untersuchungen wurden der konischen Aufstiegsstruktur gewidmet, die im zweiten Arbeitsgebiet (mittelgroße Vertiefungen) unterhalb einer der Meeresbodenstrukturen gefunden wurde (Abb. 5). Hier stellte sich die Frage, ob eine vulkanische Intrusion zur Aufwölbung geführt haben kann. Die Analyse von Schallgeschwindigkeiten aus den OBS-Daten hat maximale Geschwindigkeiten von 2.5 km/s an dem auf das obere Paläozän datierten Reflexionshorizont bei 2 s TWT ergeben und eine vulkanische Intrusion damit ausgeschlossen. Eine weitere Hypothese für die Bildung dieser konischen Struktur ist die Annahme, dass es sich um eine Schlammintrusion handelt. Schlammextrusionen aus diesem Förderkanal heraus sind nicht interpretiert worden, aber oberhalb der Kegelspitze der Aufwölbung ist eine Zone transparenter, bzw. gestörter Reflexionsamplituden zu erkennen. Diese Zone reicht bis zur Grenze Spät-Miozäner Ablagerungen (Abb. 11.A & C). Im Schallgeschwindigkeitsmodell zeigt dieser Bereich etwas reduzierte Werte, die durch Sedimentmobilisierung und damit einhergehende Zerklüftung während einer früheren Förderphase verursacht wurden (Abb. 11.B). Aus den onlap und diskordant anliegenden Sedimentschichten konnte ein Modell der Intrusion abgeleitet werden (Abb. 11.C). Hiernach hat die letzte aktive Extrusion zum späten Miozän geendet, da nachfolgende Sedimente den Migrationskanal überdecken und bei der Ausbildung der Meeresbodenvertiefung nicht mit erodiert wurden. Die Fluidförderung aus dieser Intrusion kann also ebenfalls nicht die Ursache der Meeresbodenstruktur sein. Auch geht aus diesem Modell hervor, dass die Bildung der CT/Quarz und Opal A/CT Übergänge und die Bildung der begleitenden Entwässerungsstrukturen bereits im unteren Miozän stattgefunden haben und die jüngeren Sedimentation nicht beeinflusst haben.

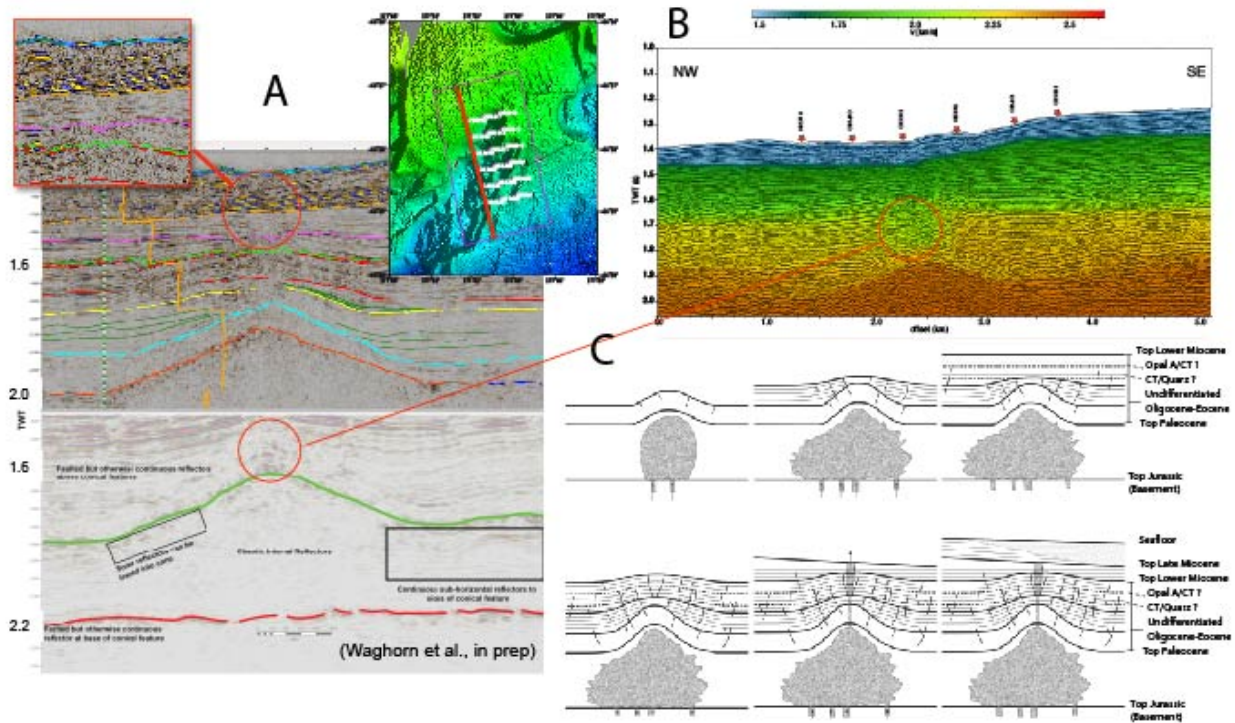


Abbildung 11: Struktur- und Geschwindigkeitsanalyse der konischen Intrusion im Arbeitsgebiet zwei (mittelgroße Vertiefungen).

Das Geschwindigkeits-Tiefenprofil aus den OBS-Daten (B) zeigt maximale Werte von 2.5 km/s an dem als oberes Paläozän korrelierten Horizont bei 1.8 s TWT und schließt damit eine vulkanische Intrusion aus. Das Sedimentpaket zwischen den Reflektoren bei 1.8 s TWT (oberes Paläozän) und 2.2 s TWT (oberes Jura) wird als fluidisierter Schlamm interpretiert. Der vertikale transparente bzw. durch chaotische Reflexionen definierte Bereich oberhalb des Konus (A) bildet sich im Geschwindigkeitsmodell durch verringerte Werte aus. Dies wird als Folge eines früheren Fluidtransportes gewertet. Das stratigraphische Entwicklungsmodell der Intrusion (C) zeigt, dass die letzte aktive Extrusion im späten Miozän geendet haben muss, da der Bereich der Amplitudenanomalien von nachfolgendem Sediment bedeckt wird, das bei der Anlage der Vertiefung nicht erodiert wurde (siehe Abb. 5).

Wie im Intrusionsmodell bereits angedeutet sind die Entwässerungsstrukturen in Form einer Vielzahl kleinräumiger Störungen auch außerhalb der Erosionsstruktur zu detektieren (Abb. 12). Die Verteilung dieser polygonalen Störungen lässt sich im Bereich der 3D Fläche in drei Gruppen zusammenfassen (Waghorn et al., in Vorb.). Die Gruppen eins und zwei liegen unterhalb der Vertiefung, während die Gruppe drei außerhalb liegt und die Störungen gegen einen früheren Horizont als den des späten Miozän terminieren. Die Basis der Störungen ist in den Ablagerungen des Oligozän / Eozän zu finden (Abb. 12). Hinweise auf Unterschiede in der Aktivität oder Fluidführung der polygonalen Strukturen ist nicht zu erkennen. Daher könne auch diese Störungen nicht als Bildungsursache der Meeresbodenvertiefung angeführt werden.

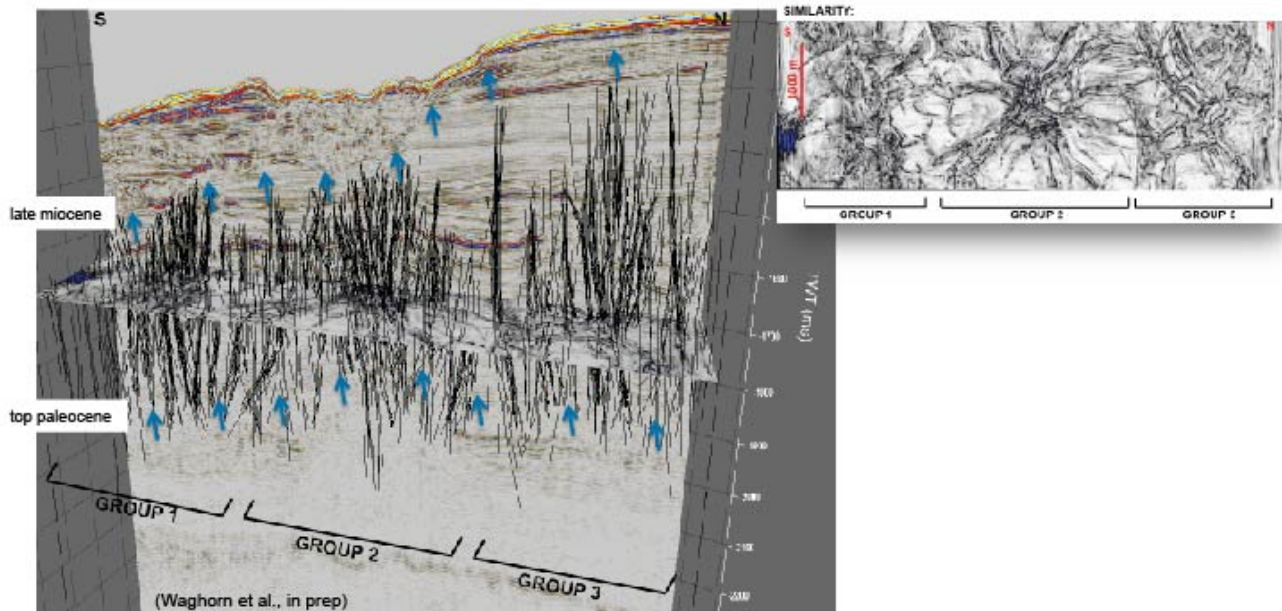


Abbildung 12: Analyse der polygonalen Störungen aus der 3D seismischen Aufnahme im Arbeitsgebiet zwei (mittelgroße Vertiefungen).

Die polygonalen Störungen lassen sich anhand der Kartierung in Zeitscheiben (Similarity oben rechts) in drei Gruppen zusammenfassen. Die Gruppe drei liegt außerhalb der Meeresbodenvertiefung. Alle Störungen gehen von den Sedimentlagen des Oligozän / Eozän aus, in denen die Ausblidung von CT/Quarz und Opla A/CT Übergängen stattgefunden hat. Die obere Terminierung vereinzelter Störungen erreicht die Grenze des späten Miozän und damit teilweise die Basis der Erosionsanomalie. Anzeichen für eine selektive Aktivierung der polygonalen Störungen als Förderkanal können nicht erkannt werden.

Eine weitere Hypothese stellte die Annahme einer teilweisen Sedimentation alter Kanalsysteme dar. Die Erosionsbasis der Vertiefungen lässt sich neben der Streamer Seismik sehr detailliert in den Parasound Daten verfolgen (Abb. 13.A). Sie fällt mit der Grenze der späten Miozänen Sedimentation zusammen. Eine Kartierung dieses Horizontes im Bereich des Arbeitsgebietes eins (große Vertiefungen) zeigte keine Hinweise auf verbindende Kanalstrukturen zwischen den Vertiefungen (Abb. 13.A & B). Im Arbeitsgebiet eins treten die Erosionsstrukturen in ihrem NE-SW ausgerichteten ovalen Umfang besonders hervor (Abb. 13.B). Auch zeigt die Verteilung der nachfolgenden Sedimentation als Mächtigkeitkarte nur singuläre Anomalien. Offensichtlich haben die Vertiefungen nach ihrer Erosion als punktuelle Sedimentfallen gewirkt.

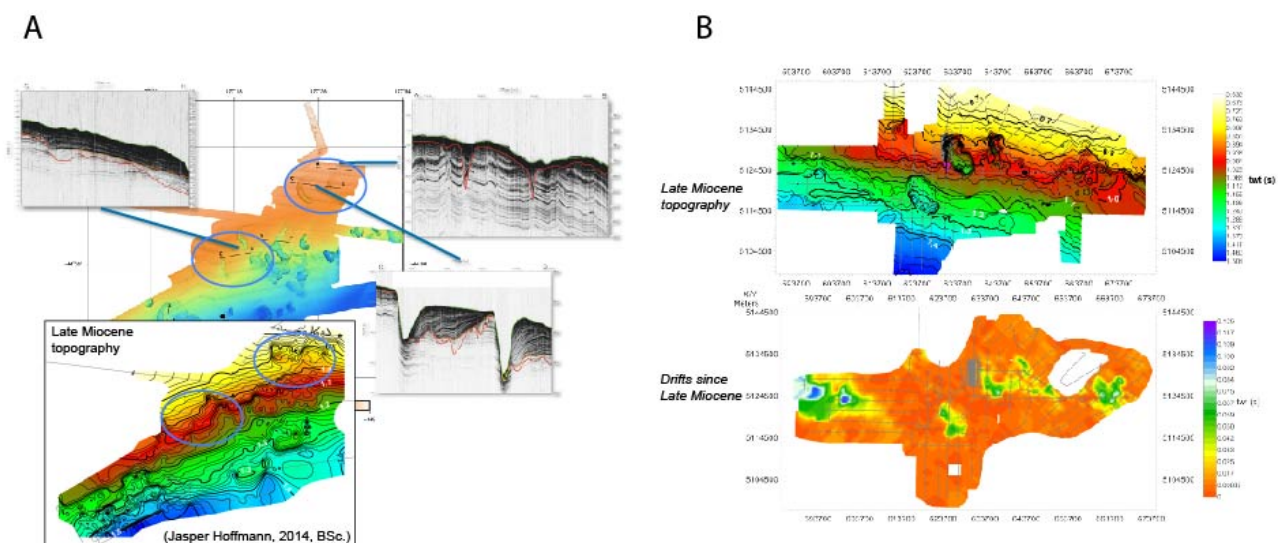


Abbildung 13: Analyse einer möglichen Verbindung von eventuellen früheren Kanalsystemen mit

den Erosionsstrukturen.

Anhand der Parasound Aufzeichnungen lassen sich die Erosionsbasis und die Sedimentation in den Erosionsstrukturen sehr klar kartieren (A, oben). Die Karte des mit der Erosionsbasis zusammen fallenden späten Eozän-Horizont (A & B) zeigt keinerlei Hinweise auf eventuelle Kanalsysteme. Auch die Mächtigkeitskarte der Sedimentation nach dem späten Eozän (B, unten) zeigt, das die Meeresbodenvertiefungen als singuläre Sedimentfallen funktioniert haben.

Neben der bisher nicht erfolgreichen Suche nach ursächlichen Ereignissen, die zur Bildung der punktuellen Meeresbodenerosionen geführt haben sind auch Untersuchungen zur Erklärung für die langfristige teilweise Erhaltung der Strukturen durchgeführt worden. Die Klassifizierung des Meeresbodens anhand von Backscatterdaten und Bodenproben (Abb. 14) zeigt eine systematische Einteilung zumindest für die großen Vertiefungen im Arbeitsgebiet eins auf. Starke Rückstreuamplituden konnten mit groben Sanden und verfestigten Karbonaten in Verbindung gesetzt werden. Diese markieren die frei stehenden SW Ränder der Vertiefungen. Die Verfüllung der Strukturen erfolgte offensichtlich durch feinkörnige Schlämme und Sedimente mit hohem organischen Anteil (schwache Rückstreuung). Der Umliegende Meeresboden zeichnet sich durch mittlere Rückstreuamplituden aus, die mit mittel bis fein strukturierten Sanden in Verbindung gesetzt werden. Ganz offensichtlich hat die östlich gerichtete Strömung der subtropischen Front mit ihrem Kreisel entlang des Bounty Trough (Abb. 14) zu einer Zonierung der Ablagerung von feinkörnigem Sediment geführt. Weiter kann postuliert werden, dass die Karbonate zu einer Stabilisierung der westlichen Flanken der Vertiefungen geführt haben und damit deren Struktur nicht erodiert wurde.

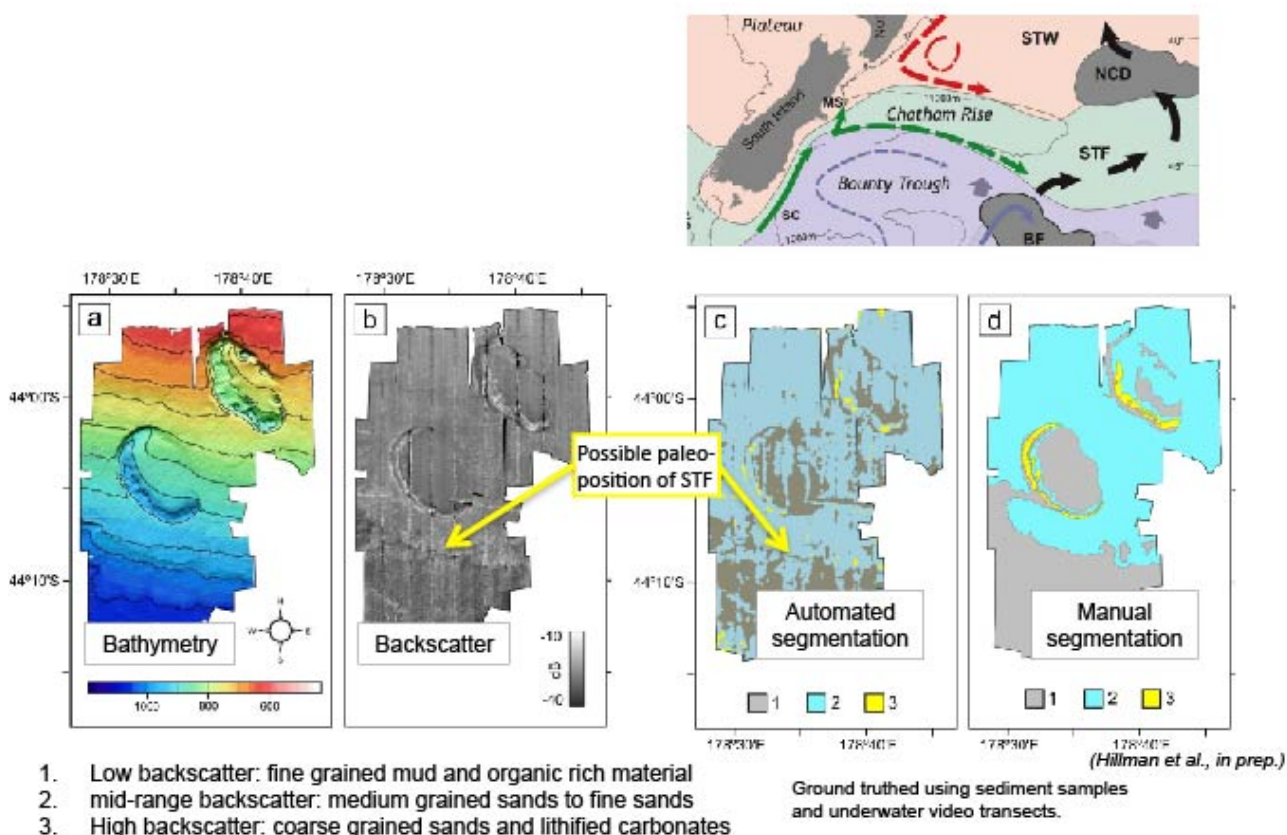


Abbildung 14: Klassifizierung des Meeresboden im Umfeld der großen Erosionsstrukturen im Arbeitsgebiet eins.

Die Rückstreudaten der Meeresbodenkartierung zeigen eine deutliche Zonierung. Eine Verbindung mit Videoaufnahmen und Bodenproben ermöglicht die Klassifizierung in feine (grau), mittlere (blau) und grobe Sande bzw. verfestigte Karbonate (gelb). Offensichtlich ist durch die östlich gerichtete Strömung der STF eine teilweise Verfüllung der Erosionsstrukturen mit feinkörnigem Sediment erfolgt, während Karbonate die westlichen

Ränder verfestigt und der Erosion verhindert haben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der ursprüngliche Ansatz einer Interpretation von großen gerundeten Erosionsstrukturen am Meeresboden als Pockmarken auf Grund eines fehlenden Gassystems nicht gehalten werden kann. Die Meeresbodenstrukturen weisen allerdings unabhängig von ihrer Tiefenlage am Hang des Chatham Rise markante Übereinstimmungen auf. Alle Strukturen wurden bis auf den Horizont des späten Eozäns erodiert. Ihr Umriss weist eine NW-SE gerichtete ovale Struktur auf. Die Vertiefungen wurden nachträglich mit Driftsedimenten teilweise verfüllt, wobei jeweils der westliche Rand der Strukturen von Sedimenten frei gehalten wird. Es wurden verschiedene Systeme möglicher Entwässerungen (Intrusionskörper, polygonale Störungen in Verbindung mit CT/Quarz und Opal A/CT Übergängen) in den Arbeitsgebieten erkannt und untersucht. Keiner dieser Strukturen konnte bisher eine direkte ursächliche Verbindung zu den Erosionsstrukturen nachgewiesen werden.

Eine zukünftige weitergehende Untersuchung des Datenmaterials auf Anzeichen für andere punktuelle Störungen in der Sedimentation mag noch Anhaltspunkte für singuläre Schwachstellen geben, die zu einer Ausbildung der Meeresbodenvertiefungen geführt haben.

Davies, R. J. (2005), Differential compaction and subsidence in sedimentary basins due to silica diagenesis: A case study, *Geol Soc Am Bull*, 117(9-10), 1146-1155.

Hovland, M., and A. G. Judd (1988), *Seabed Pockmarks and Seepages: Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*, 293 pp., Graham and Trotman, London.

2.2 der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises,

Die Ausstattung der Expeditionsmittel, insbesondere der Miete des Multibeamsystems, hatten einen entscheidenden Anteil am erfolgreichen Abschluss der SONNE Ausfahrt. So konnte mit der WCI-Eigenschaft des ELAC Multibeam eindeutig nachgewiesen werden, dass kein aktiver Blasenaustritt in den Arbeitsgebieten stattfindet.

Über die Personalausstattung im Projekt konnten mit Dr. Sarkar und M.Sc. Koch zwei hoch qualifizierte und engagierte Mitarbeiter gewonnen werden, die eine erfolgreiche Bearbeitung und Auswertung der Messdaten sichergestellt und die Kooperation mit den Partnern gefördert haben. Die Verwendung von Restmitteln für die Beschäftigungen von Dr. Dannowski und Dr. Erogluer haben zeitliche Verzögerungen durch die späte Verpflichtung von Dr. Sarkar ausgeglichen.

2.3 der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit,

Der Bericht über die Arbeitsergebnisse hat gezeigt, dass die ursprüngliche Hypothese eines Gashydratsystems nicht verifiziert werden konnte. Daher wurde es notwendig den Datensatz im größerem Rahmen als geplant in einen regionalen Kontext zu stellen. Die Erarbeitung einer diesbezüglichen Stratigraphie für das Arbeitsgebiet ist durch die Ferne von Bohrungen erheblich erschwert worden. Erst die Integration weiterer teils sehr alter seismischer Linien hat hier zum Erfolg geführt. Im Folgenden wurden aus den Daten verschiedene Alternativansätze abgeleitet und überprüft.

2.4 des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans,

Die von Davy et al. (2010) publizierte Hypothese massiver Gashydratauflösungen als Ursache für die Bildung von großen Pockmarken konnte für den Chatham Rise widerlegt werden. Alternative Ansätze wurden aufgezeigt und analysiert, wenn auch ohne bisher den Auslöser gefunden zu haben. Die Erarbeitung von CT/Quarz und Opal A/CT Übergängen im Bereich des Chatham Rise ist bisher einmalig und ermöglicht neue Bewertungen der Systementwicklung. Dies dürfte u.A. auch für die Explorationsindustrie von Interesse sein.

- 2.5 des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,
 Entwicklungsfortschritte bei den Partnern wurden intensiv ausgetauscht und sind in den Bericht eingearbeitet. Relevante Ergebnisse anderer Stellen sind nicht bekannt.
- 2.6 der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6.

Peer reviewed publications:

- Sarkar, S., Bialas, J., Huuse M., Berndt, C., Papenberg C., Koch S., Gross F., Klaucke I., Dannowski A., Hoffmann J., Kroeger, K., Davy, B., Waghorn, K., Pecher, I. (in Vorbereitung) Seismic and geological evidences of invigorated biological pumping at the early evolutionary stage of Antarctic circumpolar current.
- Waghorn, K., Pecher, I., Strachan, L., Crutchley, G., Bialas, J., Sarkar, S., Davy, B., Papenberg, C., Koch, S., Eckhardt, T., Kroeger, K., Rose, P., Coffin, R., and SO-226 scientific party (in prep) Possible link between contouritic seafloor depressions and fluid flow expulsion on the Chatham Rise, New Zealand

Conference contributions:

- Bialas, J., Pecher, I., Davy, B., Papenberg, C., Gross, F., Hillman, J., Koch, S., Kroeger, K., Sarkar, S., and the SO-226 Scientific Party (2013) Seismic studies of Giant-Pockmark-like features in Southern Chatham Rise, New Zealand, 75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013, London, UK, 10-13 June 2013
- Coffin, R.B., Rose, P.S., Klaucke, I., Bialas, J., Pecher, I., and Gorman, A.R. (2014) Evaluation of shallow sediment methane cycling in a pockmark field on the Chatham Rise, New Zealand, Abstract OS21A-1100 presented at 2014 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 15-19 Dec
- Davy, B., Pecher, I., Bialas, J., Coffin, R., Sarkar, S., Hillman, J., Waghorn, K., Kroeger, K., and SO-226 Scientific Party (2014) Pockmarks of the Chatham Rise and Further South, Geologic Society of New Zealand, Annual Assembly 2014
- Hillman, J.I.T. Gorman, A.R. and Pecher, I.A. 2012, Investigation gas hydrate release structures on the Chatham Rise using angular range analysis to model seafloor lithology, 34th International Geological Congress
- Hillman, J.I.T. Gorman, A.R. Pecher, I.A. and Pallentin, A. 2012, Investigating potential gas hydrate release structures on the Chatham Rise and Canterbury Shelf, Geoscience Society of New Zealand Annual Conference
- Hillman, J.I.T. Gorman, A.R. Pallentin, A. Lamarche, G. And Pecher, I.A. 2013, Predictive mapping of seafloor depressions on the Chatham Rise using supervised classification of backscatter data, GeoHab 2013 - 12th International Symposium
- Hillman, J.I.T. Gorman, A.R. Pecher, I.A. Bialas, J. And Waghorn, K. 2013, Investigating potential gas hydrate release structures on the Chatham Rise and Canterbury Margin, 75th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition
- Hillman J.I.T. Gorman, A.R. Pecher, I.A. Waghorn, K. Bialas, J. and SO226 Scientific Party, 2013, Investigating potential gas hydrate release structures on the Chatham Rise and Canterbury Shelf using geophysical techniques, Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society
- Pecher, I.A., Waghorn, K.A., Strachan, L.-J., Crutchley, G.J., Bialas, J., Sarkar, S., Davy, B., Papenberg, C., Koch, S., Eckhardt, T., Kroger, K., Rose, P.S., and Coffin, R.B. (2014) 3-D seismic study into the origin of a large seafloor depression on the Chatham Rise, New Zealand, Abstract OS21A-1102 presented at 2014 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 15-19 Dec.
- Rose, P., Coffin, R., Millholland, L., Klaucke, I., Bialas, J., Pecher, I., and Gorman, A. (2013) Sulfate reduction in a pockmark field on the Chatham Rise, New Zealand, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-3579, 2013, EGU General Assembly 2013
- Rose P.S., Boyd, T.J., Millholland, L.C., Yoza, B., Montgomery, M.T., Klaucke, I., Bialas, J., Pecher, I.A., Gorman, A.R., Coffin, R.B., and the SO-266 Science Party (2013) Carbon isotopic evidence of past and present CH₄ fluxes in a pockmark field on the Chatham Rise, Goldschmidt Conference, Florence, Italy, 25-30 August 2013
- Sarkar, S., Bialas, J., Koch, S., Papenberg, C., Eckhardt, T., Gross, F., Hoffmann, J., Klaucke, I., Berndt, Ch., Davy, B., Kroger, K., Pecher, I., Waghorn, K., and SO-226 Scientific Party (2014) Polygonal fault system

and mud mobilization in Cenozoic Limestone of the Chatham Rise, New Zealand, 12th International Conference on Gas in Marine Sediments, Taipei, Taiwan, 1st-6th September 2014

Waghorn, K.A., Pecher, I.A., Strachan, L.J., Crutchley, G., Coffin, R.B., Rose, P.S., Bialas, J., Davy, R.W., and Kroeger, K. (2013) Nature of a cone-shaped subsurface feature below a large seafloor depression on the Chatham Rise, New Zealand, Abstract OS33A-1747 presented at 2013 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 9-13 Dec.

Unpublished thesis

Hillman, J.I.T. (in prep) Investigation of seafloor depressions east of New Zealand's South Island to explore their potential link to methane transport processes between the seafloor and ocean. In Department of Geology, University of Otago, New Zealand

Hoffmann, J. (2014) Appearance and possible evolution of submarine large scale scour features on southern Chatham Rise (New Zealand). In Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

Waghorn, K. (2014) Seafloor Depressions on the Chatham Rise, New Zealand: Their link to underlying fluid flow systems. In Department of Geophysics, University of Auckland, New Zealand