

Ein Beitrag zur
deutsch-russischen Wissenschaftlich-Technischen Zusammenarbeit



***Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea -
Island Arc Systems:
Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time***

**Abschlussbericht
BMBF-Verbundvorhaben 03G0672 A, B, 03G0673A
KALMAR B**

Kiel, Juni 2012

BMBF-Verbundvorhaben KALMAR:
**KALMAR - Kurile-Kamchatka and ALeutean
MARginal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate
Interaction in Space and Time**

Abschlussbericht
KALMAR B

Förderkennzeichen: 03G0672 A,B, 03G0673A

Laufzeit: 01.01.2009 – 31.12.2011

Berichtszeitraum: 01.01.2009 – 31.12.2011

Projektleiter: Prof. Dr. Wolf-Christian Dullo
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
GEOMAR
Wischhofstraße 1-3
24148 Kiel
Tel.: 0431/ 600-2215
Fax: 0431/ 600-2925
E-Mail: cdullo@geomar.de

INHALTSVERZEICHNIS

Liste der verwendeten Abkürzungen	2
Einleitung und Zusammenfassung der Ergebnisse	3
Abschlussbericht zum KALMAR B Leitantrag	9
Abschlussbericht zum KALMAR B TP 2: Geodynamik des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka und der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction	37
Abschlussbericht zum KALMAR B TP 3B: Vulkanische und magmatische Entwicklung der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction in Raum und Zeit	67
Abschlussbericht zum KALMAR B TP 4: Rekonstruktion der pleistozän-holozänen Klimageschichte und Ozeanographie im subarktischen NW-Pazifik und seinen Randmeeren mit einer zeitlichen Auflösung von Dekaden bis Jahrtausenden.....	97
Anhang	
Anlage 1: Elektronische Fassung des Abschlussberichts	
Anlage 2: pdf-Dateien der Publikationen auf CD-ROM	

LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

AGU	American Geophysical Union
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AWI	Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CKD	Central Kamchatka Depression
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DSDP	Deep Sea Drilling Project
EEZ	Exclusive Economic Zone
EVB	Eastern Volcanic Belt
EVF	Eastern Volcanic Front
FB	Fachbereich
FEB	Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
FZ	Fracture Zone
GEOKHI	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
IAVCEI	International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
IO RAS	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS
IVS FEB RAS	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS
KOMEX	Kurile-Ochotsk Marine Expeditions
MCS	Multi channel seismics
MGU	Moscow State University
MKS	Mehrkanalseismik
ODP	Ocean Drilling Program
OSL	Optisch Stimulierte Lumineszenz
PCA	Principal Component Analysis
RAS	Russian Academy of Sciences
REM	Rasterelektronenmikroskop
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
SMOW	Standard Mean Ocean Water
SO	Forschungsschiff Sonne
SR	Sredinny Range
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TP	Teilprojekt
TWT	Two-way traveltime
XRF	X-Ray Fluorescence Analysis

EINLEITUNG UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Im Verbundvorhaben "KALMAR - *Kurile-Kamchatka and ALeutean MARginal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time*" sind umfangreiche strukturgeologische, geochemische, petrologische, limnologische und klimatologische Untersuchungen auf Kamtschatka durchgeführt worden. Das Ziel der Untersuchungen mit dem multidisziplinären Forschungsansatz war, die Funktionsweise des klimasteuernden Systems des Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Bogens mit den angrenzenden Bereichen im Nordwestpazifik und der Beringsee besser zu verstehen. In der zweiten Phase von KALMAR (= KALMAR B) wurden in den Jahren 2009 bis 2011 drei marine Expeditionen erfolgreich durchgeführt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden auf einem gemeinsamen Workshop 2011 in Trier präsentiert und diskutiert. In der zweiten Phase des Projektes (KALMAR B) wurden die marinen Prozesse untersucht, die zu den Themenschwerpunkten der geodynamisch-vulkanisch-magmatischen und die ozeanographisch-klimatische Entwicklung des Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Systems beitragen werden.

Die wissenschaftlichen Ansätze im zweiten Teil des amphibisch angelegten Forschungsvorhabens waren in sich sehr erfolgreich, auch deshalb, da die Arbeiten auf den exzellenten Ergebnissen der deutsch-russischen geowissenschaftlichen Forschung im Ochotskischen Meer (v.a. KOMEX) und auf Kamtschatka (u.a. KALMAR A) aufgebaut haben. Ohne die sich in den vorhergehenden Projekten entwickelte vertrauensvolle und jetzt fest gewachsene Zusammenarbeit der russischen und deutschen Wissenschaftler wäre dieser Erfolg unter teilweise sehr schweren logistischen Umständen im Gelände nicht möglich gewesen.

In der zweiten Phase des Projektes wurden die marinen Prozesse untersucht, welche die wissenschaftlichen Themenschwerpunkte der geodynamisch-vulkanisch-magmatischen und die ozeanographisch-klimatische Entwicklung des Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Systems im Fokus hatten.

Im KALMAR B-Projekt ist es gelungen, einen einzigartigen Proben- und Datensatz aus dem Nordwest Pazifik zu gewinnen, zu bearbeiten und wesentliche neue Erkenntnisse für die komplexe Entwicklung dieser Region zu gewinnen. Diese sind in zahlreichen gemeinsamen Publikationen, Arbeitsberichten und Tagungsbeiträgen dokumentiert, die den wissenschaftlichen Erfolg von KALMAR deutlich machen.

Im Rahmen von KALMAR B wurden von deutschen und russischen Studenten 5 Bachelor, eine Master und eine Diplomarbeit sowie 5 Dissertationen angefertigt. Damit hat KALMAR B einen nachhaltigen Beitrag zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses geleistet.

Teilprojekt 2: Geodynamik des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka und der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction

Im KALMAR B TP 2 *Geodynamik des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka und der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction* sollte die Interaktion von subduzierender und überschiebender Platte untersucht werden und dabei den Schwerpunkt auf die Kopplung der Platten am Subduktionsinterface und den Einfluss von Lineamenten und ererbten Strukturen auf die Oberplatte legen. In enger Abstimmung mit anderen Teilprojekten wurde das Arbeitsgebiet auf die ozeanische Kruste, den nordwestlichen Teil der Emperor Seamount Kette und den Obruchev Rise, außerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone Russlands, verlegt. Im Arbeitsgebiet wurden überregionale Daten zur Struktur und zum Aufbau der Pazifischen Platte im Nordwestpazifik gesammelt. Es wurden die Struktur von Bruchzonen, Sedimentbedeckung der ozeanischen Kruste und die Architektur der Seamounts vor ihrem Eintritt in die Subduktionszone untersucht. Die Charakterisierung der auf der ozeanischen Platte aufliegenden Sedimente liefert zusätzliche Hinweise, um die Variabilität der Geochemie der Vulkanite Kamtschatkas besser erklären zu können. Alle gewählten methodischen Ansätze erwiesen sich als grundsätzlich hervorragend geeignet um diese, wie auch die ursprünglichen Fragestellungen zu beantworten.

Die Krusenstern Bruchzone ist eine Transformstörung mit ehemals dextralem Bewegungssinn, die an einem kreidezeitlichen Rücken zwischen der Kulaplatte und der Pazifischen Platte ihren Ursprung hat. Die Störung ist heute eine reaktivierte Bruchzone, die mit der ozeanischen Kruste unter Kamtschatka subduziert wird und dabei einen Einfluss auf die Deformation der Oberplatte im Forearc von Kamtschatka ausübt. Auf der ozeanischen Kruste können auch bei Anwendung neuer statistischer Verfahren keine Anomalien in der kretazischen Superchron nachgewiesen werden. Die Seamounts der Emperor-Seamountkette sind im randlichen Bereich, vermutlich durch die Deformation während der Abkühlungsphase, gestört und nach Nordosten geneigt, wobei ihre südwestliche Flanke flacher als die nordöstliche ist. Im nördlichen Bereich der untersuchten Seamounts bedecken Kontourite die ebenen Flächen auf dem Top.

Teilprojekt 3B: Vulkanische und magmatische Entwicklung der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction in Raum und Zeit

Im TP3 von KALMAR wurde die räumliche, zeitliche und kompositionelle Entwicklung des mit der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction assoziierten Magmatismus untersucht. TP3 war amphibisch angelegt mit landgestützten Untersuchungen auf Kamtschatka und den westlichen Aleuteninseln (TP 3A) sowie marinen Untersuchungen (TP3B), während SO201 Leg 1b und 2 im Westpazifik und der Beringsee. TP3 wurde in enger Zusammenarbeit insbesondere mit Kollegen von TP2 und TP4 sowie aus Russland und den U.S.A. durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse aus TP3B sind:

- (1) Die ersten geochemischen Daten und Ar/Ar-Alter vom magmatischen Basement des Bowersrückens belegen seinen *in situ* Ursprung als Inselbogen vor 32 - 26 Mill. Jahren.
- (2) Neue geochemische Daten und Ar/Ar-Alter vom Shirshovrückens zeigen einen allochthonen Ursprung des Rückens, möglicherweise als Teil des spätkretazischen bis frühtertiären Olyutorskybogen (69 - 65 Ma).
- (3) Detaillierte petrologische Untersuchungen an Mantelperidotiten von der Stalemate Fracture Zone (NW-Pazifik) belegen die Existenz von langsam spreizenden Rücken im Pazifik während der Spätkereide und des frühen Paläogens.
- (4) Mantelperidotite der Stalemate Fracture Zone verwitterten unter subaerischen Bedingungen und belegen somit eine ungewöhnlich starke vertikale Bewegung dieses Blocks der ozeanischen Lithosphäre seit seiner Bildung in der Oberkreide/Paläogen.
- (5) Das häufige Vorkommen von Adakiten im westlichen Aleutenbogen ist höchstwahrscheinlich verbunden mit pyroxenitischen Mantelquellen, die durch die Reaktion von Schmelzen der subduzierten Platte mit Mantelperidotiten entstanden. Im Gegensatz zur bisherigen Lehrmeinung konnte gezeigt werden, dass pyroxenitische Mantelquellen bei der Bildung von Arc-Magmen eine bedeutende Rolle spielen.
- (6) Junger Vulkanismus mit extremen geochemischen Charakteristika (ähnlich wie A-Typ-Adakite) wurde westlich von Attu Island im westlichen Aleutenbogen entdeckt. Diese Magmen entstehen durch Aufschmelzen subduzierter ozeanischer Kruste und repräsentieren ein wichtiges geochemisches Endglied des Aleutenbogens.
- (7) Es wurde die erste umfassende Datenbank für Tephraproben von Kamtschatka, den Kurilen und aus Tiefseesedimenten im NW-Pazifik erstellt. Diese Datenbank umfasst mehr als 13.000 geochemischen Analysen und erlaubt die Korrelation von einzelnen Tephralagen über große Distanzen, die Erfassung bisher unbekannter Eruptionen und die Abschätzung der Verbreitung der Tephra und der Eruptionsvolumen.

Die Ergebnisse aus TP3B leisteten wesentliche Beiträge zu einem verbesserten Verständnis der Entwicklung des komplexen Systems aus Inselbögen, Becken und

Ozeanboden an der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction. Aus TP3 ergaben sich wichtige neue Fragestellungen, die Gegenstand zukünftiger Forschungsprojekte sein könnten.

Teilprojekt 4: Rekonstruktion der pleistozän-holozänen Klimageschichte und Ozeanographie im subarktischen NW-Pazifik und seinen Randmeeren mit einer zeitlichen Auflösung von Dekaden bis Jahrtausenden

Die Untersuchungen basieren auf Sedimentmaterial, das aus marinen Klimaarchiven während der Expedition SO201-2-KALMAR mit dem deutschen Forschungsschiff SONNE gewonnen wurde und regional aus dem NW Pazifik und dem angrenzenden Beringmeer stammen. Diese Meeresregion ist kaum untersucht und stellt einen der letzten weißen Flecken auf unseren paläozeanographischen Karten dar. Mit dem vorhandenen Probenmaterial wird die Ausdehnung der Meereisbedeckung, die vertikale und regionale Temperaturverteilung in der ozeanischen Deckschicht, die Effektivität der biologischen Pumpe sowie die Bildung und Durchlüftung von pazifischen Tiefenwassermassen rekonstruiert. Die Untersuchung dieser Parameter zeigte, welche Rolle physikalische und biologische Prozesse in dieser kaum untersuchten Region für das globale Klimasystem, vor allem während des letzten Glazial/Interglazial-Zyklus, gespielt haben und auch aktuell spielen. Die Bestimmung dieser Parameter erfolgte mit bewährten biogeochemischen und paläozeanographischen Methoden in einem Multiproxy-Ansatz. Es wurde aber auch eine neue Methode zur Bestimmung von Sauerstoff- und Siliziumisotopen an kieseligen Mikrofossilien entwickelt. Diese neue Methode lieferte ergänzende Einsichten in oberflächennahen Temperatur- und Salzgehaltsänderungen sowie in die Nährstoffverwertung des Phytoplanktons.

Die angewandten Datierungsmethoden zeigen, dass die untersuchten Sedimentprofile zum Teil den Zeitraum der letzten 180.000 Jahre abdecken. Die Veränderungen im Sedimentationsgeschehen folgen dabei auf Zeitskalen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden den bekannten Temperaturmustern auf Grönland die an Eiskernen rekonstruiert wurden. Teilweise erlaubt die zeitliche Auflösung unserer Sedimentkerne Einblicke in die saisonale Veränderlichkeit während des Bölling/Alleröd und des frühen Holozäns. Der Vergleich unserer Datensätze mit Klimazeitreihen aus Eiskernen, Seesedimenten aus Sibirien und marinen Sedimentabfolgen aus anderen Ozeanregionen zeigt neue Einsichten in die Klima-Anfachungsmechanismen und Telekonnektionen zwischen Nordatlantik und Nordpazifik. Für den Zeitraum der letzten 15.000 Jahre folgen die rekonstruierten Wasseroberflächentemperaturen aus dem NW-Pazifik und des westlichen Beringmeeres den Temperaturmustern im N-Atlantik, während die Änderungen in der Tiefenwasserbildung zwischen N-Atlantik und N-Pazifik eher entgegengesetzt verlaufen. Solche Informationen werden einerseits das Verständnis der Klimasteuerung und der zugrunde liegenden

Prozesse verbessern. Andererseits leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung numerischer Paläoklima-Simulationen und damit auch für die Simulation der zukünftigen Klimaentwicklung.

**Abschlussbericht zum KALMAR B Leitantrag:
KALMAR - Kurile-Kamchatka and Aleutian
MARginal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate
Interaction in Space and Time**

Projektleiter: Prof. Dr. Wolf-Christian Dullo
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
(GEOMAR)
Wischhofstraße 1-3
24148 Kiel
Tel.: 0431/ 600-2215
Fax: 0431/ 600-2925
E-Mail: cdullo@geomar.de

Projektmitarbeiter: Dr. Christel van den Bogaard
Jutta Bothmann

Förderkennzeichen: 03G0672A

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2009 – 31.12.2011

Inhalt:**I. EINLEITUNG**

I.1 Aufgabenstellung	11
I.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	12
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	13
I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes	16
I.5 Zusammenarbeit mit Dritten	16
I.6 Literatur	17

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	23
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	22
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	23
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	23
II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit	25
II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	26

III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT (vertraulich hier nicht enthalten)

III.1 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen	32
III.2 Wissenschaftlich-technischer Erfolg des Vorhabens	33
III.3 Verwertbarkeit der Ergebnisse	33
III.4 Ungelöste Fragestellungen	33
III.5 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans	34

I. EINLEITUNG

I.1 Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des russisch-deutschen Verbundvorhabens KALMAR lag darin mit einem multidisziplinären Forschungsansatz die Funktionsweise des komplexen, klimasteuernden und klimamodulierenden Systems des Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Bogen besser zu verstehen und die Auswirkungen der dort ablaufenden geodynamischen und ozeanographisch-physikalischen Prozesse auf Stoffverteilung, Stoffkreisläufe, Wassermassenbildung und -zirkulation, Klima und Naturgefahren zu untersuchen. Es galt dabei auf den Ergebnissen der sehr erfolgreichen deutsch-russischen geowissenschaftlichen Forschung im Ochotskischen Meer und auf Kamtschatka (v. a. KOMEX) aufzubauen und diese regional auf den Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Bogen und die angrenzenden Bereiche des Nordwestpazifik und der Beringsee auszuweiten.

Mit KALMAR sollte die sehr erfolgreiche Kooperation von deutschen und russischen Arbeitsgruppen fortgesetzt werden, die bereits in den vorangegangenen Projekten belegt hat, dass sich nur durch die Verbindung exzellenter regionaler Kenntnisse und möglicher Datensätze mit modernster Analytik und Beprobungstechnik das übergeordnete Ziel dieses Verbundvorhabens mit einer derartigen multidisziplinären Verschränkung erreichen lässt. Ferner sollte die sich positiv entwickelnde Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses weiter ausgebaut werden.

Der aktive Kontinentalrand von Kamtschatka und der Kurilen-Inselbogen bilden zusammen ein komplexes, etwa 2.500 km langes Subduktionssystem, in dem sich die weltweit aktivsten Subduktionszonenvulkane befinden, deren teilweise katastrophalen Eruptionen nicht nur anliegende Gebiete bedrohen, sondern auch signifikante Auswirkungen auf die globale Umwelt und das Klima haben. Dieses System wird maßgeblich durch den Übergang von Ozean-Inselbogen- zu Ozean-Kontinent-Subduktion, durch geodynamische Prozesse im Bereich der Aleuten-Kamtschatka-Triple Junction und durch die Subduktion der Emperor Seamountkette beeinflusst. Ergebnisse aus KOMEX und der ersten Phase von KALMAR (KALMAR A) wiesen darauf hin, dass der extreme Vulkanismus auf Kamtschatka mit dem Zustrom angereicherter Mantelmaterials aus dem Pazifik in Zusammenhang stehen könnte. Die hier zu Grunde liegenden Prozesse waren bislang allerdings kaum verstanden.

Die Entwicklung der Aleuten-Inselkette hat eine herausragende Bedeutung für den Wassermassenaustausch zwischen Beringsee und Nordpazifik und damit für das Klima. Die Kontinentalhänge östlich Kamtschatkas sowie limnische Ablagerungen in Seen auf Kamtschatka enthalten bisher kaum erforschte Klimaarchive, die eine Land-Ozean-Anbindung erlauben und die Klimasteuerung der Nordhemisphäre aufklären helfen können. Insbesondere das dynamische System der "western boundary currents" steuert die Klimaentwicklung im NW-pazifischen Raum nachhaltig sowohl auf langen als auch auf sehr

kurzen Zeitskalen. Diese zeitlichen und räumlichen Veränderungen im Zirkulationsmuster haben dabei nicht nur den Wärmeaustausch und den Materialfluss zwischen Kontinent und Ozean beeinflusst, sondern ebenfalls die Hydrographie der angrenzenden Randmeere.

Die einzelnen Forschungsschwerpunkte, die im zweiten marinen Teil des Verbundvorhabens KALMAR B vorgesehen waren, konzentrierten sich auf folgende Fragestellungen:

- Geodynamik des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka und der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction
- Vulkanische und magmatische Entwicklung der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction in Raum und Zeit
- Rekonstruktion der pleistozän-holozänen Klimageschichte und Ozeanographie im subarktischen NW-Pazifik und seinen Randmeeren mit einer zeitlichen Auflösung von Dekaden bis Jahrtausenden

1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Voraussetzung für die Formulierung des Verbundvorhabens KALMAR B waren die russisch-deutschen Forschungsprojekte und Pilotstudien im Ochotskischen Meer und auf Kamtschatka, die seit 1992 gemeinsam durchgeführt worden waren und die halfen die Untersuchungsziele von KALMAR zu präzisieren. Die während der Schiffsexpeditionen und den gemeinsamen Workshops während der vorangegangenen Projekte gut ausgebauten Kontakte zu den russischen Partnerinstituten gewährleisteten die technische und organisatorische Durchführbarkeit des Vorhabens und eine vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Das Verbundvorhaben KALMAR B baute auf den Ergebnissen der vorangegangenen KOMEX I und II und KALMAR A Verbundvorhaben auf. Die hierzu relevanten Ergebnisse sind unter 1.2 Stand der Forschung und eigene Vorarbeiten im Antrag zu KALMAR B ausführlich dargestellt.

Alle KALMAR B-Aktivitäten wurden gemeinsam vom P.P. Shirshov Institute of Oceanology in Moskau, dem Vulkanologischen-Seismologischen Institut in Petropavlovsk-Kamtschatskij und dem IFM-GEOMAR Leibniz-Institut für Meereswissenschaften organisiert. Die Kontakte, die durch die gemeinsamen Untersuchungen zu russischen Wissenschaftlern bereits bestanden oder sich im Laufe des Projektes ergaben, wurden in gemeinsamen Workshops in Petropavlovsk-Kamtschatskij in 2009 und in Trier in 2011 intensiviert.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Während des Bewilligungszeitraums von KALMAR B wurden die folgenden gemeinsamen Aktivitäten erfolgreich durchgeführt und abgeschlossen (Abb. 1):

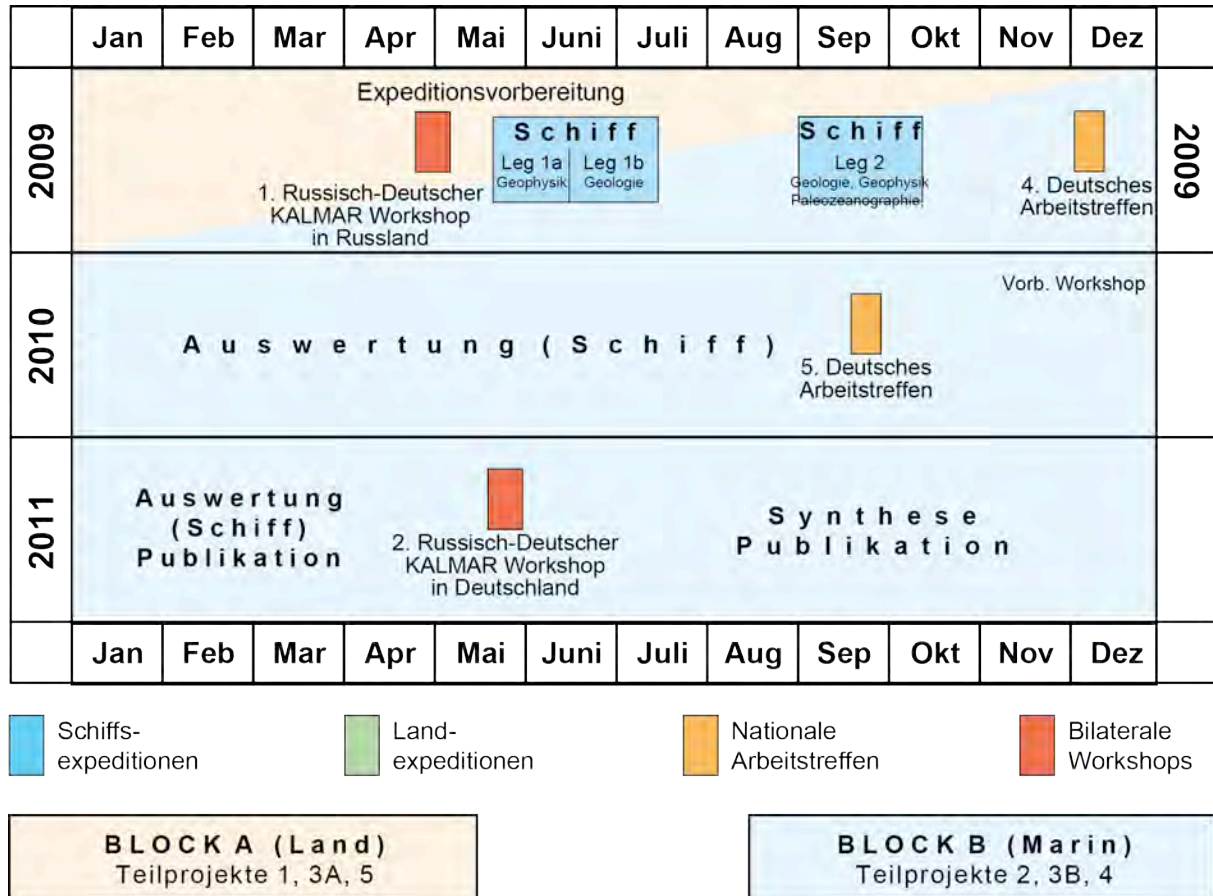


Abb. 1: Arbeitsprogramm und zeitlicher Ablauf des KALMAR-Verbundvorhabens in Phase B. Phase B sind marine Arbeiten, die in 2009 begonnen wurden, und Gegenstand dieses Berichtes sind.

1. Bilateraler Workshop in Petropavlovsk-Kamtschatskij, 27.04.-1.05.2009

Der erste bilateralen Workshop in Petropavlovsk-Kamtschatskij vom 27. April bis zum 1. Mai 2009 wurde gemeinsam mit den Wissenschaftler von KALMAR A und B durchgeführt. Es wurden Ergebnisse des KALMAR A Projektes vorgestellt und die Fragestellungen für die bevorstehenden Schiffsexpeditionen im Rahmen von KALMAR B intensiv diskutiert. Kurzfassungen der Vorträge wurden in Terra Nostra 2009/1 veröffentlicht. Der Workshop wurde in enger Zusammenarbeit mit den Kollegen vom Institute of Volcanology and Seismology in Petropavlovsk-Kamtschatskij vorbereitet und durchgeführt. Die angereisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer, mehr als 40 der an KALMAR beteiligten Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftler und Studenten, erfreuten sich einer regen Beteiligung durch Kolleginnen und Kollegen des gastgebenden Institutes of Volcanology and Seismology

so dass die für alle Anwesenden förderliche Diskussion nach der Darstellung der Ergebnisse ganz im Mittelpunkt stand.

R/F SONNE Ausfahrten in 2009 - SO201-KALMAR Leg1a, Leg1b, Leg2

Insgesamt fanden während KALMAR B drei marine Ausfahrten mit R/F SONNE SO201 in 2009 statt: KALMAR Leg 1a, SO201-KALMAR Leg1b und SO201-KALMAR Leg2:

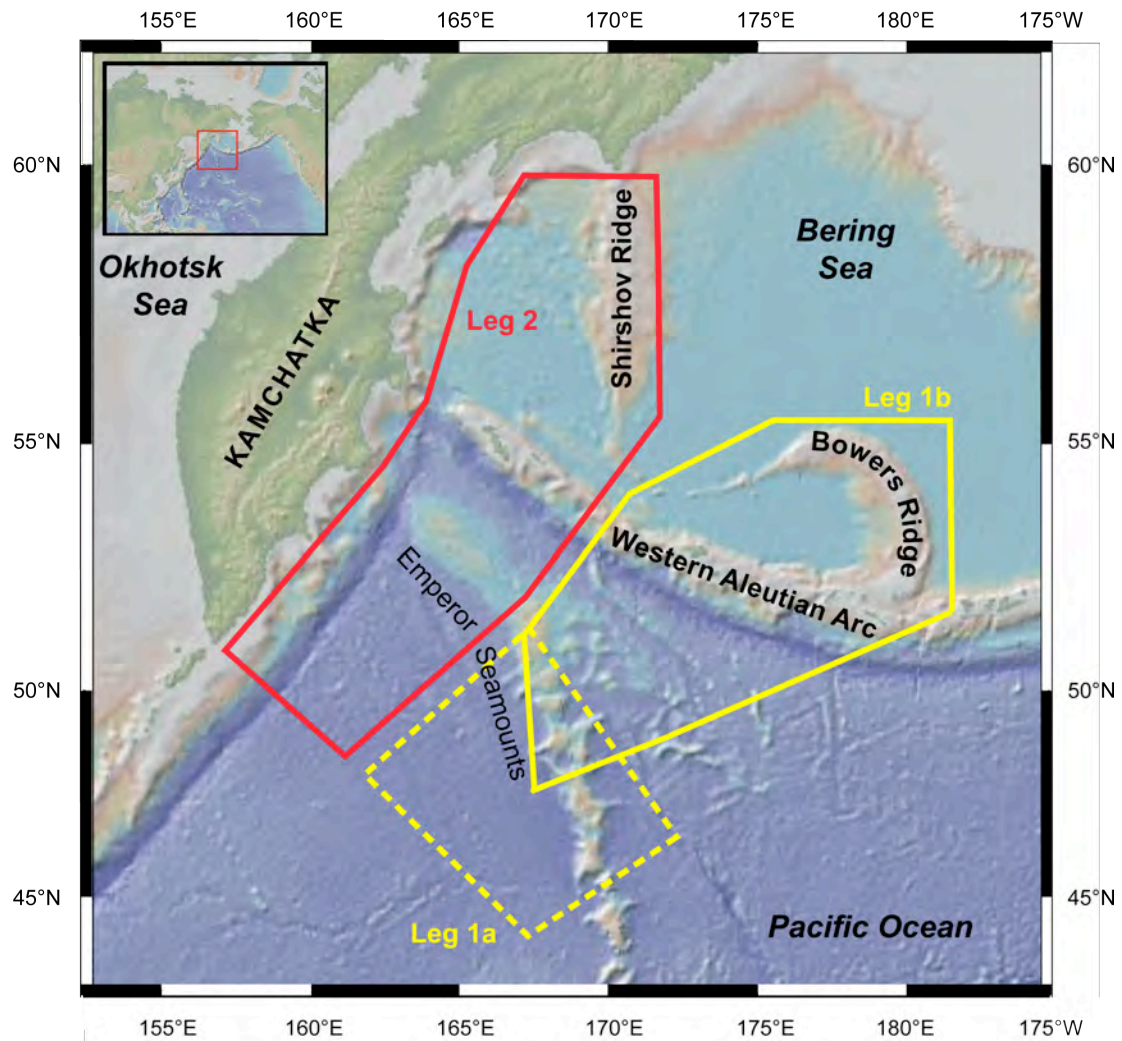


Abb. 2: Untersuchungsgebiete an denen in KALMAR-B die Schiffsexpeditionen mit R/F SONNE in 2009 (SO201 Leg1a, Leg1b, Leg2) durchgeführt wurden.

SO201-KALMAR Leg 1a wurde vom 16.05.-06.07.2009 unter der Fahrleitung von Dr. Christoph Gaedicke (BGR) durchgeführt. An dieser Expedition nahmen deutsche und russische Wissenschaftler der Teilprojekte TP2 teil. Die Forschungsfahrt fand in internationalen Gewässern statt, nachdem eine Genehmigung für geophysikalische/seismische Arbeiten in Gewässern der ausschließlichen Wirtschaftszone Rußland nicht erteilt wurde. Die Zieländerung für diese Arbeiten erfolgte nach Absprache mit

dem Projektträger und Wissenschaftlern des Teilprojektes 3B. Während der Ausfahrt wurden Daten zu Reflexionsseismik, Magnetik, Gravimetrie, Bathymetrie, Parasound aquiriert.

SO201-KALMAR Leg1b wurde vom 10.06.-06.07.2009 unter der Fahrtleitung von Dr. Reinhard Werner (IFM-GEOMAR) durchgeführt. An dieser Expedition nahmen deutsche, amerikanische und russische Wissenschaftler und Studenten der Teilprojekte TP3 teil. Die FS Sonne-Expedition mit vulkanologisch-petrologischer Zielsetzung wurde kurzfristig unter Absprache mit dem PtJ durchgeführt, nachdem eine Verkürzung in der Durchführung der SO201 Leg1a Expedition notwendig geworden war. Hierdurch konnte für das Teilprojekt TP3B eine zusätzliche petrologische Beprobung am Aleutenbogen und am Bowersrücken in der Beringsee durchgeführt werden und somit die verfolgten Zielsetzungen ergänzt und erweitert werden.

SO201-KALMAR Leg2 wurde vom 30.08.-08.10.2009 unter der Fahrtleitung von Prof. Christian Dullo (IFM-GEOMAR) durchgeführt. An dieser Expedition nahmen Wissenschaftler der Teilprojekte TP2, TP3 und TP4, von deutscher, amerikanischer und russischer Seite teil. Die FS Sonne-Expedition hatte paläo-ozeanographische, vulkanologisch-petrologische und geophysikalische Zielsetzung und fand wie geplant in russischen Gewässern statt. Die Genehmigung zur Durchführung der Expedition wurde Mitte Juni an den russischen Projektleiter Dr. Boris Baranov übermittelt. In ihr waren nur minimale Einschränkungen der Gebiete vermerkt, die die Zielsetzung der Forschungsfahrt SO201 Leg 2 nicht gefährdete. Die Ausfahrt war, trotz teilweise schwieriger Wetterlagen, ein voller Erfolg. Das gewonnene Probenmaterial eignete sich hervorragend zur Bearbeitung der KALMAR Ziele.

Der Winter 2009 bis 2010 stand im Zeichen der Analysen und Datengewinnung, im Frühjahr 2011 schlossen sich Auswertungen und die Datenaufbereitung für Publikationen an.

4. Deutscher KALMAR-Workshop

Das vierte deutsche Arbeitstreffen fand vom 7. - 9. Dezember 2009 am IFM-GEOMAR in Kiel statt. Er diente der Vorstellung der Ergebnisse der drei Teilprojekte TP1, TP3A und TP5, sowie den geplanten Arbeiten der Teilprojekte TP2, TP3B und TP4 und den Berichten über die erfolgreichen Ausfahrten mit dem Forschungsschiff SONNE: SO201-KALMAR Leg 1a, SO201-KALMAR Leg 1b und SO201-KALMAR Leg 2. Unter den anwesenden KALMAR-Wissenschaftlern waren auch zehn russische Kollegen des KALMAR-Projektes, die sich zu diesem Zeitpunkt für Forschungsarbeiten in Kiel aufhielten.

5. Deutscher KALMAR-Workshop

Das fünfte Deutsche Arbeitstreffen fand vom 27.-28. September 2010 am IFM-GEOMAR in Kiel statt. an dem beide KALMAR Projektgruppen (A - terrestrische Untersuchungen und B - marine Untersuchungen) teilnahmen. Dies war zum Erreichen der gemeinsamen Ziele des amphibisch angelegten Projektes und für die Verzahnung der Teilprojekte erforderlich. Unter den anwesenden KALMAR-Wissenschaftlern waren auch 2 russische Kollegen des

KALMAR-Projektes, die sich zu diesem Zeitpunkt für Forschungsarbeiten in Bremerhaven aufhielten.

2. Bilateraler Workshop in Trier, 16.-20.05.2011

Die Ergebnisse der KALMAR B - Untersuchungen wurden auf dem zweiten bilateralen Workshop in Trier vom 16. Mai bis zum 20. Mai 2011 vorgestellt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden in Vorträgen und Postern präsentiert. Die angereisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer, mehr als 50 der an KALMAR beteiligten Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftler und Studenten/innen, insgesamt reisten 17 Kollegen aus Russland an (s. Tab. 1). Alle Anwesenden profitierten von der Diskussion nach der Darstellung der bislang erreichten Ergebnisse. Ferner wurden die Fragestellungen für Weiterführung der Zusammenarbeit und die Fortsetzung in einem möglichen Anschlußprojekt intensiv diskutiert. Kurzfassungen der Vorträge wurden in einem Abstract Band zusammengefasst und liegen dem Bericht bei. Am Gastwissenschaftler austausch nahmen die in Tab. 2 aufgeführten Kollegen teil.

I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes

Vor dem Beginn des KALMAR Projektes stellte der Bereich der Kamtschatka Aleuten Inseln und der Bering See ein weitgehend unter modernen geowissenschaftlichen Gesichtspunkten unbearbeitetes Gebiet dar. Ursache hierfür waren unter anderem, bis vor wenigen Jahren die politische Rahmenbedingungen; und auch jetzt ist der Zugang nicht immer gewährt. Als Folge davon gab es nur sehr wenige internationale Veröffentlichungen, vor allem in englischer Sprache; der überwiegende Teil der Arbeiten wurde auf russisch publiziert und vielfach nur in schwer zugänglichen Journalen. – siehe Projektantrag.

Im Antrag zu KALMAR wird auf diese Veröffentlichungen ausführlich eingegangen. Ein großer Teil des Kenntnisstandes zu den KALMAR-Fragestellungen beruht auf Daten, die in den letzten Jahren während der Vorläuferprojekte KOMEX I und II gewonnen wurden. Detaillierte Angaben hierzu sind den Anträgen und Zwischenberichten der einzelnen Teilprojekte, TP3B (Förderkennzeichen 03G0672A), TP2 (Förderkennzeichen 03G0673A) und TP4 (Förderkennzeichen 03G0672A, 03G0672B) zu entnehmen, bzw. dem hierzu erstellten Abschlussbericht und den damit in Zusammenhang stehenden Publikationen.

I.5 Zusammenarbeit mit Dritten

An KALMAR B nahmen Wissenschaftler der folgenden Institute in Russland und Deutschland teil:

- IFM-GEOMAR Leibniz Institut für Meereswissenschaften, Kiel
- Alfred-Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, AWI, Bremerhaven

- Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung (AWI), Potsdam
- Bundesanstalt für Geowissenschaften Hannover, Hannover
- P.P. Shirshov Institute of Oceanology, IORAS, Moskau
- Institute of Volcanology and Seismology, IVS, Petropavlovsk-Kamchatskij
- Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, GEOKHI, Moskau
- Moscow State University, Moskau
- Kamchatka Vitus Bering State University, Petropavlovsk-Kamchatskij
- V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute (POI), Vladivostok, Russland
- Northeastern Integrated Scientific Research Institute FEB RAS, Magadan, Russland

Institute in Russland, Deutschland, England, USA und Japan, deren Wissenschaftler zum Gelingen des Projektes z.B. in Form von Analytik (z.B. ^{14}C Datierungen) und Diskussionen beigetragen haben, sind zur vollständigen Übersicht in Tabelle 3 aufgeführt.

I.6 Literatur

- Dullo WC (2004) KOMEX II - Kurilen Ochotskisches Meer Experiment, Abschlussbericht zum BMBF-Verbundvorhaben 03G0568A, 2001-2004
- Dullo WC, Biebow N, Georgeleit K (2004) SO178-KOMEX Cruise Report: Mass exchange processes and balances in the Okhotsk Sea. Kiel, IFM-GEOMAR: 125p, <http://www.geomar.de/projekte/komex/sonne/index.html>
- van den Bogaard C; Dullo WC (Hrsg.) (2009) KALMAR - First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile- Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems. Programme and Abstracts. (First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile- Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia 27.04.-01.05) Berlin : GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung (Terra Nostra Bd. 2009/1). 73 pp. ISSN 0946-8978
- FS SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO201-1a: KALMAR: Kurile-Kamchatka and Aleutian MARGinal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time, Yokohama -Yokohama, Japan, 16.05.-9.06.2009: Gaedicke C., Adam J., Barckhausen U., Bargeloh H-O., Behrens T., Demir Ü., Franke D., Freitag R., Goldmann F., Heyde I., Kallaus G., Ladage S., Lutz R., Tsukanov N., Pletsch T., Schrader U., Sievers A., Sukhoveev E., Thöle H., Zeibig M. and Ziehlke T.,Cruise Report Sonne Cruise SO-201 Leg 1a ([http://kalmar.ifm-geomar.de/?download=Cruise Report SO201 Leg1a.pdf](http://kalmar.ifm-geomar.de/?download=Cruise+Report+SO201+Leg1a.pdf) (last access: 30.06.2011)
- FS SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO201-1b: KALMAR - Kurile-Kamchatka and Aleutian MARGinal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time, Yokohama, Japan - Tomakomai, Japan, 10.06. - 06.07.2009 (2009) Eds.: Reinhard Werner & Folkmar Hauff, IFM-GEOMAR Reports, No. 32, 105 pp., doi: 10.3289/ifm-geomar_rep_32_2009
- FS SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO201-2: KALMAR: Kurile-Kamchatka and Aleutian MARGinal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time, Busan/Korea – Tomakomai/Japan, 30.08. - 08.10.2009 (2009) Eds.: Wolf-Christian Dullo, Boris Baranov, and Christel van den Bogaard, IFM-GEOMAR Reports, No. 35, 233 pp., doi: 10.3289/ifm-geomar_rep_35_2010

Dullo WC (2010) KALMAR A - Kurile- Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, Abschlussbericht zum BMBF-Verbundvorhaben 03G0640A, B,C, 2006-2009

Dullo WC, van den Bogaard C, (eds). (2011) KALMAR - Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea - Island Arc Systems: Workshop Program and Abstracts; Russian-German Cooperation, May 16 - 20, 2011 Trier, Germany [Konferenzband]

Tab. 1: Teilnehmer aus Russland und den USA am bilateralen Workshop in Trier, Mai 2011

Dr. Boris Baranov	P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow
Dr. Natalya Bubenshchikova	P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow
Dr. Alexander Derkachev	Pacific Oceanological Institute, Vladivostok
Dr. Oleg Dirksen	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
Dr. Veronika Dirksen	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
Dr. Sergey Gorbarenko	Pacific Oceanological Institute, Vladivostok
Dr. Sergey Korsun	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow
Dr. Andrey Kozhurin	Geological Institute RAS, Moscow
Prof. Dr. Mikhail Levitan	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow
Dr. Mikhail I. Malakhov	North Eastern Interdisciplinary Science Research Institute FEB RAS, Magadan
Dr. Aleksander Matul	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow
Dr. Nikita Mironov	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow
Tatyana Pinegina	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
Dr. Vera Ponomareva	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
Dr. Sergey Silantiev	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow
Maria Smirnova	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow
Dr. Nikolay Tsukanov	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow
Richard Weiss	University of South Carolina, Columbia
Prof. Gene Yagodinski	University of South Carolina, Columbia

Tab. 2: Russische Wissenschaftler und Studenten, die im Rahmen von KALMAR B an verschiedenen Instituten zu Gast waren.

Name	Institut	Zeitraum	Ort	Aufgabe	Teilprojektpartner
2009					
Kuvikas, O.	State Vitus-Bering University, Petropavlovsk-Kamchatsky	14.01.-13.02.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung der während der Geländearbeit im September 2008 genommenen Tephraproben	M. Portnyagin K. Hoernle
Ponomareva, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	07.02. - 21.02.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben im Rahmen von KALMAR	M. Portnyagin
Krashennnikov, S.	Moscow State University, Moscow	15.02. - 28.02.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung der während der Geländearbeit im September 2008 genommenen Gesteinsproben	M. Portnyagin
Tsukanov, N.	IO RAS, Moscow	10.02. - 08.03.2009	Universität Jena; BGR, Hannover	Diskussion zur Vorbereitung zukünftiger Forschungsarbeiten, Analyse von OSL-Daten	C. Gaedicke R. Freitag
Kuvikas, O.	State Vitus-Bering University, Petropavlovsk-Kamchatsky	11.06. - 06.07.2009	IFM-GEOMAR, Kiel/ FS SONNE	Ausfahrt SO201 Leg1b, Probennahme, Gesteinsansprache	M. Portnyagin K. Hoernle
Krashennnikov, S.	Moscow State University, Moscow	11.06. - 06.07.2009	IFM-GEOMAR, Kiel/ FS SONNE	Ausfahrt SO201 Leg1b, Probennahme, Gesteinsansprache	M. Portnyagin
Dirksen, O.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	18.10. - 18.12.2009	AWI Potsdam; IFM-GEOMAR, Kiel	Auswertung der Analysen der Sedimentkerne, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	B. Diekmann C. v.d.Bogaard
Dirksen, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	18.10. - 18.12.2009	AWI Potsdam; IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse der Kamtschatka Paläobiologie gefördert durch ein DFG-Gastwissenschaftler-Stipendium, Diskussion der weiteren Zusammenarbeit und Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	B. Diekmann
Ponomareva, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	23.11. - 15.12.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben im Rahmen von KALMAR, Vorbereitung von gemeinsamen Publikationen	M. Portnyagin
Tsukanov, N.	IO RAS, Moscow	23.11. - 04.12.2009	BGR, Hannover IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger Forschungsarbeiten, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	C. Gaedicke R. Freitag M. Portnyagin
Derkachev, A.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	26.11. - 10.12.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger gemeinsamer Arbeiten, Analyse von Gesteinsproben des KALMAR Projektes	M. Portnyagin D. Nürnberg
Bosin, A.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	26.11. - 10.12.2009	AWI-Brmerhaven IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger gemeinsamer Arbeiten, Teilnahme am KALMAR Workshop	R. Tiedemann D. Nürnberg
Mironov, N.	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow	23.11. - 31.12.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Synthese der Daten vom Klychevskoy Vulkan, Vorbereitung der gemeinsamen Publikationen	K. Hoernle M. Portnyagin
Silantiev, S.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	26.11. - 03.12.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger gemeinsamer Arbeiten, Teilnahme am KALMAR Workshop	M. Portnyagin R. Werner
Korsun, S.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	30.11. - 04.12.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger gemeinsamer Arbeiten, Teilnahme am KALMAR Workshop	A. Abelmann
Ivanova, E.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	30.11. - 04.12.2009	IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger gemeinsamer Arbeiten, Teilnahme am KALMAR Workshop	R. Tiedemann D. Nürnberg
2010					
Krashennnikov, S.	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS Moscow	15.02. - 28.02.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung der während der SO201 KALMAR Leg1b gewonnenen Proben	M. Portnyagin
Baranov, B.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	01.03. - 02.04.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger Forschungsarbeiten, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	C. Dullo R. Werner
Derkachev, A.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	05.03. - 02.04.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben	M. Portnyagin D. Nürnberg
Gorbarenko, S.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	05.03. - 31.03.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben	R. Tiedemann D. Nürnberg
Mironov, N.	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS Moscow	10.05. - 31.05.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Synthese von Daten	K. Hoernle M. Portnyagin

Fortsetzung Tab. 2: Russische Wissenschaftler und Studenten, die im Rahmen von KALMAR B an verschiedenen Instituten zu Gast waren.

Name	Institut	Zeitraum	Ort	Aufgabe	Teilprojektpartner
Ponomareva, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	10.05. - 10.06.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben des KALMAR Projektes, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	M. Portnyagin
Krasnova, E.	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS Moscow	10.07. - 06.08.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben und Datendiskussion	M. Portnyagin
Matul, A.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	06.09. - 31.10.2010	AWI-Bremerhaven, Kiel	Analyse von Gesteinsproben und Datendiskussion	A. Abelmann R. Tiedemann
Krasnova, E.	V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS Moscow	24.09. - 10.10.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben und Datendiskussion	M. Portnyagin
Smirnova, M.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	26.09. - 30.09.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben	R. Tiedemann D. Nürnberg
Baranov, B.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	18.10. - 19.11.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Diskussion zukünftiger Forschungsarbeiten, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	C. Dullo R. Werner C. v.d.Bogaard
Tsukanov, N.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	22.11. - 05.12.2010	IFM-GEOMAR, Kiel BGR, Hannover	Diskussion zukünftiger Forschungsarbeiten, Analyse von ÖSL-Daten, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	C. Gaedicke R. Freitag M. Portnyagin
Ponomareva, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	18.11. - 23.12.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben des KALMAR Projektes, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	M. Portnyagin
Derkachev, A.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	03.12. - 24.12.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben. Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	M. Portnyagin D. Nürnberg
Gorbarenko, S.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	03.12. - 24.12.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben. Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	R. Tiedemann D. Nürnberg
Malakhov, M.	Eastern Interdisciplinary Science Research Institute FEB RAS, Magadan	03.12. - 24.12.2010	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben. Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	R. Tiedemann D. Nürnberg
2011					
Matul, S.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	24.01. - 25.02.2011	AWI-Bremerhaven, Kiel	Analyse von Gesteinsproben und Datendiskussion	A. Abelmann R. Tiedemann
Ponomareva, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	21.05. - 10.06.2011	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben des KALMAR Projektes, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	M. Portnyagin
Khieborodova, O.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	29.09. - 11.10.2011	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben und Daten	M. Portnyagin
Ponomareva, V.	Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky	17.10. - 14.11.2011	IFM-GEOMAR, Kiel	Analyse von Gesteinsproben des KALMAR Projektes, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	M. Portnyagin
Matul, S.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	24.10. - 28.11.2011	AWI-Bremerhaven, Kiel	Analyse von Gesteinsproben und Datendiskussion	A. Abelmann R. Tiedemann
Derkachev, A.	POI FEB RAS Pacific Oceanological Institute, Vladivostok	19.11. - 03.12.2011	IFM-GEOMAR, Kiel	Aufbereitung und Analyse der während der SO201 KALMAR Leg2 gewonnenen Proben	M. Portnyagin D. Nürnberg
Tsukanov, N.	P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow	05.12. - 17.12.2011	IFM-GEOMAR, Kiel BGR, Hannover	Diskussion zukünftiger Forschungsarbeiten, Analyse von ÖSL-Daten, Vorbereitung gemeinsamer Publikationen	C. Gaedicke R. Freitag M. Portnyagin

Tab. 3: Am Gelingen des Projektes beteiligte Institute: Kooperationspartner

Kooperationspartner	Institute	Thematik
Dr. Folkmar Hauff	GEOMAR, Kiel	Sr-Nd-Pb- - Isotopenanalytik
Dr. Paul van den Bogaard	GEOMAR, Kiel	Ar-Ar Datierung
Prof. Dr. Martin Frank	GEOMAR, Kiel	Wassertracer, Paläozeanography
Dr. Dieter Garbe-Schönberg	Institut für Geowissenschaften, CAU, Kiel	ICP-MS Analysen
Prof. Ralph Schneider	Leibniz Labor, CAU, Kiel	¹⁴ C-Datierungen
Prof. Dr. Achim Brauer	Geoforschungszentrum (GFZ), Potsdam	Micro-XRF-Scanner
F. Fahl	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	Biomarker
Dr. Rainer Gersonde	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	INOPEX
G. Knorr	Alfred-Wegener-Institut (AWI, Bremerhaven)	Modellierungen
G. Kuhn	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	Sedimentologie
H. Kühn	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	INOPEX, Laminite
Dr. Frank Lamy	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	Paläozeanography
Dr. Gerrit Lohmann	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	Modellierungen
G. Mollenhauer	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	Biomarker, Datierungen
J. Ren	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	INOPEX, Diatomeen
Dr. Rüdiger Stein	Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven	Biomarker
Prof. Dr. Gerald Haug	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH) Geologisches Institut, Schweiz	Paläozeanographie
M. Schulz	Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften (GeoB), Marine Geophysik, Bremen	Paläomodellierung

Dr. M. Straub	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH) Geologisches Institut, Schweiz	$\delta^{15}\text{N}$, Foraminiferen
A. Studer	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH) Geologisches Institut, Schweiz	Opalisotopie, $\delta^{15}\text{N}$
D. M. Sigman	Princeton University, Dept. of Geosciences, USA	Opalisotopie, $\delta^{15}\text{N}$
A. Timmermann	University of Hawaii, Department of Oceanography, Honolulu, USA	Modellierung
Prof. Dr. Gene Yagodzinski	Dept. of Geological Sciences, University of South Carolina, USA	Petrologie des Aleutenbogens
Prof. Dr. Alexander Sobolev	MPI, Mainz/ Vernadsky Institute, Moscow	Präzise Olivin Analysen
Dr. Sergey Simakin	Yaroslavl Physico Physico-Technical Institute, Yaroslavl, Russia	Ion Probe Analysen

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

II.1 Erzielte Ergebnisse

Einen Überblick über die bisher erzielten Ergebnisse bieten die Zwischenberichte der Jahre 2009 und 2010 sowie der Abstract Band zum KALMAR-Workshop 2011, sowie den Fahrtberichten zu SO201 Leg1a, Leg1b und Leg2. Die wissenschaftlichen Ergebnisse des Verbundvorhabens KALMAR B sind ausführlich in den Berichten der einzelnen Teilprojekte und in den beiliegenden Veröffentlichungen dargestellt, so dass auf eine Darstellung an dieser Stelle verzichtet werden kann.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigste Position war die TV-L 13-Stelle (27 Monate) für die Koordinatorin Dr. Christel van den Bogaard. Ohne die Mitarbeit von Frau van den Bogaard wäre das Vorhaben nicht in dieser Form durchführbar gewesen. Frau van den Bogaard hat u.a. die Ausfahrten mit vorbereitet und koordiniert, Arbeitstreffen organisiert, Berichte abgefaßt und KALMAR auf internationalen Tagungen repräsentiert. Auch hat sie sich in Zusammenarbeit mit dem Antragsteller bei der Förderung russischer und deutscher Nachwuchswissenschaftler engagiert und das Verbundvorhaben KALMAR insgesamt logistisch unterstützt.

Die Durchführung eines deutsch-russischen Workshop gemeinsam mit allen beteiligten deutschen und russischen Wissenschaftlern war für den interdisziplinären Ansatz des Projektes und zur besseren Zusammenarbeit aller KALMAR beteiligten Kooperationspartner unabdingbar.

Der Gast-Aufenthalt der russischen Kollegen an den KALMAR beteiligten deutschen Instituten diente der Durchführung von Laboruntersuchungen, die in Russland zur Zeit nicht möglich sind, der gemeinsamen Auswertung der Analysen und der Vorbereitung der Publikationen.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die wichtigsten Arbeitsschritte waren die Förderung der Zusammenarbeit mit Russland und die Koordination der Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern. Ein wichtiger Punkt war die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, sowie die Präsentation von Ergebnissen auf Tagungen und in Berichten. Diese Arbeiten waren absolut notwendig, um KALMAR erfolgreich durchzuführen. Alle diese Arbeiten führten zu Ergebnissen, und waren somit angemessen.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die wissenschaftlichen Untersuchungen des KALMAR-Verbundvorhabens sind im Bereich der Grundlagenforschung anzusiedeln.

Sie liefern einen Beitrag zum Verständnis der natürlichen Klimavariabilität, der Deutung des Umweltwandels auf Kamtschatka und zu Erkenntnissen über die Herkunft und Entwicklung des Vulkanismus in Kamtschatka, deren Ergebnisse dazu dienen, existierende tektonische und petrologische Modelle zu überprüfen und zu verbessern. Die Verwertbarkeit der in den einzelnen Teilprojekten erlangten Ergebnisse sind in den Einzelberichten ausführlich dargestellt, hier sind die wesentlichsten Resultate der Einzelprojekte stichpunktartig aufgeführt:

Teilprojekt 2: Geodynamik des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka und der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction

- Die Krusenstern Bruchzone ist eine Transformstörung mit ehemals dextralem Bewegungssinn am kreidezeitlichen Rücken zwischen der Kulaplatte und der Pazifischen Platte
- Identifikation der Krusenstern Störung als reaktivierte Bruchzone und Einflussnahme auf die Oberplattendeformation von Kamtschatka
- Einzelne Seamounts sind im randlichen Bereich gestört, vermutlich durch die Deformation während der Abkühlungsphase
- Die untersuchten Seamounts sind nach Nordosten geneigt: ihre südwestliche Flanke ist flacher als die nordöstliche
- Magnetische Anomalien in der kretazischen Superchron konnten auch mit statistischen Verfahren nicht identifiziert werden

Teilprojekt 3A: Vulkanische und magmatische Entwicklung der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction in Raum und Zeit

- Der Bowersrücken wurde vor 32 - 26 Mill. Jahren in situ in einem Inselbogenenvironment gebildet.
- Der Shirshovrücken ist allochthonen Ursprungs, wahrscheinlich als Teil des spätkretazischen bis frühtertiären Olyutorskybogen (69 - 65 Ma).
- Die Existenz von langsam spreizenden Rücken im Pazifik während der Spätkreide und des frühen Paläogens konnte belegt werden.
- Subaerischen Verwitterungsprozesse von Mantelperidotiten aus der Stalemate Fracture Zone (NW-Pazifik) belegen ungewöhnlich starke vertikale Bewegungen dieses Blocks der ozeanischen Lithosphäre seit seiner Bildung in der Kreide/Paläogen.
- Im Gegensatz zur bisherigen Lehrmeinung konnte gezeigt werden, dass pyroxenitische Mantelquellen bei der Bildung von Arc-Magmen eine bedeutende Rolle spielen.
- Junger Vulkanismus mit extremen geochemischen Charakteristika (ähnlich wie A-Typ-Adakite) wurde westlich von Attu Island im westlichen Aleutenbogen entdeckt. Diese Magmen entstanden durch Aufschmelzen subduzierter ozeanischer Kruste und repräsentieren ein wichtiges Endglied in der geochemischen Systematik des Aleutenbogens.

- Es wurde die KALMAR-Datenbank für Tephraproben aus terrestrischen und Tiefsee-Sedimenten aus dem NW-pazifischen Raum erstellt. Diese Datenbank erlaubt die Korrelation von einzelnen Tephralagen über große Distanzen, die Erfassung bisher unbekannter (Groß-) Eruptionen und die Abschätzung der Verbreitung der Tephra und der Eruptionsvolumen. So wurde z.B. eine große, bisher vollkommen unbekannte Eruption des Ushkovsky-Vulkans identifiziert.

Teilprojekt 4: Rekonstruktion der pleistozän-holozänen Klimageschichte und Ozeanographie im subarktischen NW-Pazifik und seinen Randmeeren mit einer zeitlichen Auflösung von Dekaden bis Jahrtausenden

- Insgesamt wurden 7 Sedimentkerne stratigraphisch eingeordnet. Zur Entwicklung der Altersmodelle wurde eine Kombination von AMS14C-Datierungen, Sauerstoffisotopenstratigraphie, Paläomagnetik sowie die Korrelation von Sedimentkernen mit Hilfe von sedimentphysikalischen und XRF-Scanner-Zeitreihen angewendet.
- Es wurden zum Einen neue Methoden zur Abtrennung von kieseligen Mikrofossilgruppen und zum Anderen eine neue Messtechnik zur Bestimmung von $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{30}\text{Si}$ Werten an kieseligen Mikrofossilien entwickelt, und erfolgreich umgesetzt.
- Die Verbreitung von Laminiten im Bering Meer, deren Altersstellung und paläozeanographische Steuerungsmechanismen wurden definiert. Die oberhalb einer Wassertiefe von ~2500 m auftretenden Laminite sind den klimatisch warmen Zeiten während der Deglaziation, dem Bølling-Allerød und dem Präboreal, zugeordnet. Die Entstehung der Laminite geht mit einer Verstärkung der Sauerstoffminimumzone einher.
- Die Rekonstruktion der Wasseroberflächentemperaturen für die letzten 15.000 Jahre belegt, dass die bisherigen modellierten Klimamuster nicht in Frage kommen, um die komplexe holozäne Temperaturentwicklung in ihren Ursachen zu erklären. Für den Zeitraum des letzten Deglazials ist die Temperaturentwicklung im Beringmeer und der Ochotskischen See relativ gleichförmig und widerspricht Hypothesen, die während der deglazialen Kälteereignisse eine Zunahme der Oberflächentemperaturen im N-Pazifik im Zuge einer verstärkten Tiefwasserbildung postulieren.
- Die Rekonstruktion der Meereisverbreitung im NW-Pazifik während der letzten 15.000 Jahre zeigt im Vergleich zu heute eine deutliche Ausdehnung der Meereisgrenze während H1 und der YD.
- Die deglaziale Temperatur- und Salinitätsentwicklung im subarktischen NW-Pazifik deutet auf regional sehr unterschiedliche Entwicklungen der ozeanischen Deckschicht im Untersuchungsgebiet und wird vor allem durch Veränderungen in der Nordhemisphären-Sommerinsolation verursacht, die ihrerseits die Saisonalität, die Meereisdynamik und die Stratifizierung der oberen Deckschicht steuert.
- Die Veränderungen der Umweltbedingungen im Bereich des Beringmeeres während glazial/interglazialer-Wechsel werden durch das enge Zusammenwirken von Insolation, atmosphärischer Zirkulation, saisonalen Kontrasten, Meeresspiegelschwankungen, Meereisdynamik und Wassermassenstratifizierung bestimmt, die nachhaltigen Einfluss auf die Veränderlichkeit der marinen Produktivität und des Eintrages lithogenen Materials hatten. Rapide Wechsel der Umweltbedingungen während der glazialen Stadien MIS2-3 lassen eine zeitliche Anbindung an die nordatlantischen Dansgaard-Oeschger Zyklen und somit eine einheitliche nordatlantische/nordpazifische Klimasteuerung erkennen.
- Die rapiden Veränderungen in der Bildung von Nordpazifischem Tiefen-/Zwischenwasser zeigen, dass es während der deglazialen Kälteereignisse Heinrich 1 und Jüngere Dryas keine Tiefenwasserbildung im Bereich des N-Pazifiks gab. Während dieser Zeiten erfolgte aber eine verstärkte Zwischenwasserbildung im Beringmeer und der Ochotskischen See hin, die den Pazifik bis in eine Wassertiefe von 1350–2100 m ventilierte. Die Änderungen

in der Zwischenwasserbildung vollziehen sich sehr schnell (<200 Jahre) und sind invers zu den Veränderungen in der nordatlantischen Tiefenwasserbildung korreliert. Während des warmzeitlichen Bølling/Allerød und des Präboreals ist die Zwischenwasserbildung im Beringmeer abgeschaltet und es kommt dort zur Ausbildung von laminierten Sedimenten im Zwischenwasserstockwerk aufgrund gering-ventilierter Wassermassen.

KALMAR B hat neben den sehr guten wissenschaftlichen Ergebnissen auch die bilaterale wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit mit Russland weiter vorantreiben können und speziell durch die Kooperation mit Instituten aus dem Fernen Osten Russlands, deren wissenschaftliche und technische Perspektiven zur Zeit noch schlecht sind, die wissenschaftlich-technische Anbindung Russlands an die europäische geowissenschaftliche Forschung gestärkt.

Die Daten und Proben die während der Ausfahrten mit R/F SONNE im Rahmen von KALMAR B gewonnen werden konnten, bilden zudem die Grundlage für 5 Bachelor, eine Master und eine Diplomarbeit und 5 Doktorarbeiten, die in Russland und Deutschland geschrieben wurden. Damit wurde nicht zuletzt ein ganz wesentlicher Beitrag zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses sowohl in Russland als auch in Deutschland geleistet.

II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit

Der Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit von KALMAR B ist ausführlich in den Berichten der einzelnen Teilprojekte dargestellt. Deshalb wird hier nicht näher darauf eingegangen.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

(Gesamtliste der KALMAR B-Publikationen)

Fett hervorgehobene Publikationen liegen als PDF-file auf CD-ROM dem Bericht bei.

Baranov B, Gaedicke C, Freitag R (2010): Active faults of south-eastern Kamchatsky and Komandorsky shear zone. Vestnik Kraunc. 16/2, 66-77

Delisle G (2011): Positive geothermal anomalies in oceanic crust of Cretaceous age offshore Kamchatka. Solid Earth, 2, 191-198. DOI: 10.5194/s2-2-191-2011.

Derkachev AN, Portnyagin M.V. (2012) Marker layers of catastrophic eruptions of Nemo Caldera (Onkotan Island, Kurile Islands) in the Late Quaternary deposits of the Okhotsk Sea. Stratigraphy and correlation: im Druck (in Russisch)

Dirksen O, van den Bogaard C, Danhara T, Diekmann B (2011) Tephrochronological investigation at Dvuh-yurtochnoe lake area, Kamchatka: Numerous landslides and lake tsunami, and their environmental impacts. Quaternary International 246, 298-311doi:10.1016/j.quaint.2011.08.032

Gorbach NV, Portnyagin MV (2011) Geology and Petrology of the Lava Complex of Young Shiveluch Volcano, Kamchatka, Petrology 1: 134–166, DOI: 10.1134/S0869591111020068.

- Gorbach N (2011) Old Shiveluch Volcano: Geologic structure, reconstruction of eruptive centers and characteristics of volcanic activity in the Late Pleistocene. *Vestnik KRAUNTS, Earth Sciences*, V. 1, N 17: 77-90 (in Russisch)
- Gorbach N, Portnyagin M, Tembrel I (in Begutachtung) Volcanic structure and composition of Old Shiveluch volcano, Kamchatka: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*
- Kayzar TM, Nelson BK, Bachmann O, Portnyagin M (in Vorbereitung) Formation of Th-excess Isotopic Disequilibrium by Assimilation and Fractional Crystallization in Volcanic Arcs: (^{238}U)/(^{230}Th) from Volcanoes in the Central Kamchatka Depression. *Geochimica et Cosmochimica Acta*
- Krasnova E, Portnyagin M, Silantjev S, Hoernle K, Werner R (in Revision) Two-stage evolution of mantle peridotites from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific): *Geochemistry International* (in Russisch)
- Max L, Riethdorf J-R, Tiedemann R, Smirnova M, Lembke-Jene L, Fahl K, Nürnberg D, Matul A, Mollenhauer G (in Begutachtung) Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic Northwest Pacific during the past 15,000 years (in Begutachtung bei *Paleoceanography*)
- Max L, Lembke-Jene L, Riethdorf J-R, Tiedemann R, Nürnberg D. (in Vorbereitung) Rapid changes in North Pacific Intermediate Water formation during the last glacial termination (vorbereitet für *Nature Geoscience*)
- Mironov NL, Portnyagin MV (2011) H₂O and CO₂ in parental magmas of Kliuchevskoi volcano inferred from study of melt and fluid inclusions in olivine. *Russian Geology and Geophysics* 52(11):1353-1367, doi:1310.1016/j.rgg.2011.1310.1007**
- Pflanz D, Gaedicke C, Freitag R, Krbetschek M, Tsukanov N, Baranov B (subm. 02/2012): Neotectonics and recent uplift on Kamchatka Cape Peninsula (Russia). Submitted to *International Journal of Earth Sciences* (02/2012)
- Plechova AA, Portnyagin MV, Bazanova LI (2011) The Origin and Evolution of the Parental Magmas of Frontal Volcanoes in Kamchatka: Evidence from Magmatic Inclusions in Olivine from Zhupanovsky Volcano. *Geochemistry International* 49(8):743–768, doi: 710.1134/S0016702911080064**
- Ponomareva VV, Portnyagin MV, Melnikov DV (2012) The composition of tephra from recent (2009-2011) eruptions of volcanoes of Kamchatka and Kurile Islands. *Vestnik KRAUNTS, Earth Sciences: im Druck* (in Russisch)
- Ponomareva VV, Portnyagin MV, Derkachev AN, Pendea IF, Bourgeois J, Krasheninnikov S (in Vorbereitung) Early Holocene M~6 explosive eruption from Ushkovsky volcano (Kamchatka) and its tephra as a link between terrestrial and marine paleoenvironmental records. *Quaternary Research*
- Ponomareva VV, Portnyagin MV, Blaaw M, Pevzner M, Kyle P, Derkachev AN, (in Vorbereitung) Detailed record of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*
- Portnyagin MV, Naumov VB, Mironov NL, Belousov IA, Kononkova NN (2011) Composition and Evolution of the Melts Erupted in 1996 at Karymskoe Lake, Eastern Kamchatka: Evidence from Inclusions in Minerals. *Geochemistry International* 49(11):1085-1100, doi: 1010.1134/S0016702911110085
- Riethdorf J-R, Max L, Nürnberg D, Lembke-Jene L, Tiedemann R (in Vorbereitung) Deglacial history of (sub) sea surface temperatures and salinity in the subarctic NW Pacific: Implications for upper-ocean stratification (vorbereitet für *Paleoceanography*)
- Riethdorf J-R, Nürnberg D, Max L, Tiedemann R, Gorbarenko S, Malakhov M (in Vorbereitung) Millennial-scale variability of marine productivity and terrigenous matter

supply in the western Bering Sea during the last glacial-interglacial cycle (vorbereitet für Paleoceanography)

Silant'ev SA, Novoselov AA, Krasnova EA, Portnyagin MV, Hauff F, Werner R (2012) Silicification of Peridotites at the Stalemate Fracture Zone (Northwestern Pacific): Reconstruction of the Conditions of Low-Temperature Weathering and Tectonic Interpretation. *Petrology* 20: 21-39, doi: 10.1134/S0869591112010055

Wanke M, Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, van den Bogaard P, Garbe-Schönberg D (2012) Bowers Ridge (Bering Sea): An Oligocene - Early Miocene Island Arc. *Geology*: im Druck

Wanke M, Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, van den Bogaard P, Garbe-Schönberg D (in Vorbereitung) Late Cretaceous to Early Paleocene island arc volcanism at Shirshov Ridge (Bering Sea). *Lithos*

Präsentationen auf Konferenzen und Workshops

(Teilliste umfaßt Beiträge von C. Dullo , B. Baranov und C. van den Bogaard. Tagungsbeiträge der Mitarbeiter der Teilprojekte TP2 (18 Beiträge), TP3B (56 Beiträge) und TP4 (37 Beiträge) sind in den Berichten der Teilprojekte, in diesem Gesamtbericht aufgelistet).

Dullo WC, Baranov B, van den Bogaard C (2010) KALMAR - „Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time” – an integrated science approach between Russia and Germany [Poster] In: EGU General Assembly 2010, 02.05.-07.05.2010, Vienna, Austria.

Dullo WC, Baranov B, van den Bogaard C (2011) KALMAR: “Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction in Space and Time”: an Integrated Polar Science Approach between Russia and Germany [Poster] In: EGU General Assembly 2011, 03.-08.04.2011, Vienna, Austria.

Dullo WC, Baranov B, van den Bogaard C. (2011) Kurilen-Kamtschatka und randliche Aleuten Inselbogen Systeme: Geodynamische und klimatische Wechselwirkungen in Raum und Zeit: Überblick über die Ausfahrten SO201-KALMAR [Vortrag] In: Statusseminar Meeresforschung mit FS Sonne 2011, 09.-10.02.2011, Hannover.

Dullo WC, Shapovalov S (2011) Hydrography of the NW Pacific off Kamchatka and of the SW Bering Sea [Poster] In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.

Dirksen O, Danhara C, Diekmann B, **van den Bogaard C (2010) Tephrochronological investigations as a tool for reliable age control of lacustrine deposits of the Two-Yurts lake, Kamchatka and reconstruction of landform development history (Vortrag) In: Active Tephra in Kyushu, International Field Conference and Workshop on Tephrochronology, Volcanism and Human Activity, 09.05.-17.05.2010, Kirishima, South Kyushu, Japan**

Hoff U, Chapligin B, Dirksen O, Hubberten HW, Meyer H, **van den Bogaard C, Diekmann B (2010) Fossil diatom assemblages in Lakes of Kamchatka, Russia [Vortrag] In: Fourth Central European Diatom Meeting, 12.-14.03.2010, Reichenau/Bodensee.**

Derkachev A, Portnyagin MV, Ponomareva VV, Gorbarenko S, Malakhov M, Nürnberg D, Riethdorf JR, Tiedemann R, **van den Bogaard C (2011) Marker tephra layers in the Holocene-Pleistocene deposits of the Bering Sea and the north-western Pacific Ocean. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 38-40 (poster)**

- Ponomareva V, Portnyagin M, Bazanova L, Bigg G, Bindeman I, Derkachev A, Juschus O, Leonov V, **van den Bogaard C** (2010) The largest Pleistocene-Holocene eruptions in the Kamchatka Peninsula, NW Pacific, and long-distance correlation of their tephra. 5th International El'gygytgyn Lake Workshop, May 21 and 22, 2010, University of Cologne, Germany
- Ponomareva VV, Portnyagin MV, Derkachev A, Blauw M, Kozhurin A, Pevzner M, Pinegina T, **van den Bogaard C**, Garbe-Schönberg D (2011) Tephra links for the NW Pacific, Asian mainland and Kamchatka regions. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 97-99 (poster)
- Portnyagin MV, Werner R, Hoernle K, Hauff F, Yogodzinski G, Silantiev SA, **van den Bogaard C** (2009) First results of marine petrological studies within the Russian-German project "KALMAR" obtained during R/V SONNE cruise SO201-1 b. In: Lisitsin AP (ed) Proceedings of the XVIII International Conference on Marine Geology, 16-20 November 2009, Moscow, Russia, IO RAN, vol V. GEOS, pp 243-245, invited talk
- Portnyagin M, Derkachev A, Ponomareva VV, **van den Bogaard C**, Garbe-Schönberg D (2011) Tephra links for the NW Pacific, Asian Mainland and Kamchatka regions. Marine Tephrochronology, Geological Society London, 25 October 2011, London (Poster)
- Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, Maicher D, Yogodzinski G, Baranov B, Silantjev S, Wanke M, Krasnova E, **van den Bogaard C** (2011) Initial scientific results from the cruises SO201-KALMAR: volcanology and petrology Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“ 2011, 9-10 Februar 2011, Hannover
- Portnyagin MV, Hoernle K, Storm S, Mironov N, **van den Bogaard C** (2010) Water-rich melt inclusions in olivine from silicic Icelandic rocks. ACROFI III and TBG XIV Abstracts Volume: Abstracts of III Biennial Conference Asian Current Research on Fluid Inclusions (ACROFI III) and XIV International Conference on Thermobarogeochemistry (TBG XIV), Novosibirsk, 15-20 September 2010 (Ed. V.V.Sharygin) / Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk: Publishing House of SB RAS:176-177 (Vortrag)
- Riethdorf JR, Max L, Nürnberg D, Tiedemann R, **Dullo WC** (2009) SO201-KALMAR (Leg 2): Reconstruction of late Pleistocene-Holocene climate and oceanography in the subarctic NW-Pacific. First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, Petropavlovsk-Kamchatsky, Vortrag & Poster.
- Tiedemann R, Nürnberg D, Abelman A, **Dullo WC** (2009) Reconstruction of the Pleistocene-Holocene climate development and oceanography in the subarctic NW Pacific with a temporal resolution from decades to millennia – research with RV SONNE during SO201-KALMAR Leg 2. First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, Petropavlovsk-Kamchatsky, Vortrag.
- van den Bogaard C, Dullo C, Baranov B**, Hoernle K, Nürnberg D, Werner R (2011) Geodynamic and Climate Interaction in the Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc System [Poster] In: AGU Fall Meeting 2011, 05.-09.12.2011, San Francisco, USA.
- van den Bogaard C, Dullo C, Baranov B** (2011) Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea - Island Arc Systems: Geodynamic and climate interaction in space and time – A RUSSIAN - GERMAN research initiative, 7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2067.pdf (talk)

- van den Bogaard C**, Ponomareva V, Portnyagin M, Dirksen O, Diekmann B, Derkachev A, Nürnberg D (2010) Towards a Kamchatka tephrochronological framework for testing synchronous climate development. International Field Conference and Workshop on Tephrochronology, Volcanism and Human Activity. Active Tephra in Kyushu, 2010. Kirishima (Kagoshima Prefecture), South Kyushu, Japan, May 9-17, 2010:93 (Vortrag)
- van den Bogaard C**, Portnyagin M, Ponomareva V, Derkachev A, Dirksen O, Diekmann B, Tiedemann R, Nürnberg D (2011) Application of Tephrochronology in the Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems (KALMAR-Project). XVIII INQUA Conference, Bern, Juli 21-27, 2011 (poster)
- van den Bogaard C**, Portnyagin M, Ponomareva V, Derkachev A, Dirksen O, Diekmann B, Nürnberg D, Garbe-Schönberg D (2011) Tephrochronology in the NW Pacific region in the frame of the KALMAR Project: Workshop on Marine Tephrochronology, Geological Society London, October 25, 2011, London, UK (invited talk)

Master-, Diplom und Doktorarbeiten

Die Arbeiten liegen als pdf-file dem Bericht bei.

B.Sc.-Arbeiten

- Muff S (2010): Auswertung und Interpretation paleo-magnetischer Messdaten der Forschungsfahrt SO-201 Leg 1a aus dem geologischen Zeitabschnitt der kretazisch magnetisch ruhigen Zone im Nordwest-Pazifik. Bachelorarbeit Leibniz Universität Hannover. (TP2)
- Belz L (2010) Spätpleistozäne-holozäne Veränderungen in den Wasseroberflächentemperaturen der Beringsee (Bachelorarbeit), Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 28 S. (TP4/AWI)
- Mund O (2010) Zeitliche Einstufung und Variation der Sedimentzusammensetzung während der letzten 120.000 Jahre am Shirshov-Rücken (Bachelorarbeit), Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen. (TP4/AWI)
- Ibenthal M (2011) Geochemische Verteilungsmuster rezenter Sedimente im Ochotskischen Meer und der Beringsee (Bachelorarbeit), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, 50 S. (TP4/GEOMAR)
- Ochs J (2011) Vergleich zweier Sedimentationsräume der hohen Breiten zur Klimarekonstruktion : Versuch des Nachweises einer atmosphärischen Telekonnektion zwischen dem El'Gygytgyn See und dem Ochotskischen Meer (Bachelorarbeit), Universität zu Köln, Köln, 62 S. (TP4/GEOMAR)

M.Sc. / Diplom-Arbeiten

- Gottschalk, J. (2011) Timing and forcing of deglacial climate change in the Bering Sea derived from laminated sediments and numerical climate modelling (Masterarbeit), Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 120 S. (TP4/AWI)
- Wanke M. (2011) The origin of the Bowers and Shirshov Ridges (Bering Sea, NW Pacific). Diploma thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: 82 pp. (TP3)

Doktorarbeiten-Arbeiten

- Max L (2012) Millennial-scale changes in sea surface temperatures and intermediate water circulation in the northwest Pacific during the past 20,000 years. Dissertation, Univ. Bremen. (TP4)
- Riethdorf JR (2012) Late Pleistocene to Holocene changes in upper-ocean stratification and its impact on marine productivity, sub-seasurface temperature and salinity in the subarctic northwest Pacific. Dissertation, Univ. Kiel. (TP4)
- Gorbach N (to be completed in 2012) Geology and geochemistry of Shiveluch Volcano (Kamchatka). PhD dissertation. Institute of volcanology and seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky (TP3)
- Krasheninnikov SP (to be completed in 2013) The Holocene evolution of Avachinsky Volcano (Kamchatka): petrology, geochemistry and eruptive dynamics. PhD dissertation, Vernadsky Institute, Moscow, in preparation (TP3)
- Krasnova EA preparation (to be completed in 2013) The origin and evolution of mantle peridotites from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific): PhD dissertation, Vernadsky Institute, Moscow, in. (TP3)

Öffentlichkeitsarbeit

- Dullo WC (2011) Klima: Wie war es, wie ist es, wohin geht es? Worin liegt unsere Verantwortung für einen nachhaltigen Umgang mit der Erde? [Eingeladener Vortrag] In: Humboldt-Kolleg: West-Östlicher Dialog in Wissenschaft und Kultur, Goethe-Institut Seoul, 23.09.2011, Seoul, Korea.
- Dullo WC (2011) Volcanoes, bears and salmon: geological investigations on and off Kamchatka [Vortrag] In: Lebende Ausstellung: Brennpunkte der deutsch-russischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Meeres- und Polarforschung, 25.10.2011, St. Petersburg, Russia..
- Gaedicke C (Juli 2009): Filmbeitrag RTL-Nord. Der Filmebeitrag findet sich auf der Berichts-CD.
- Portnyagin M, Ponomareva V (2012) Kliuchevskoi volcano diary. Int J Earth Sci (Geol Rundschau) 101:195 DOI 10.1007/s00531-011-0710-y

Über das Verbundvorhaben wurde in mehreren regionalen Zeitungen berichtet.

KALMAR präsentiert sich mit einer eigenen Webseite unter <http://kalmar.ifm-geomar.de>

**Abschlussbericht zum KALMAR Teilprojekt 2:
Geodynamik des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka und der
Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction**

Projektleiter: Dr. Christoph Gaedicke
Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe (BGR)
Postfach 51 01 53
30631 Hannover
Tel.: 0511/ 643-3790
Fax: 0511/ 643-3661
E-Mail: christoph.gaedicke@bgr.de

Projektmitarbeiter: Hauke Thöle (1-12/2009)
Ralf Freitag

Förderkennzeichen: 03G0673A

Laufzeit: 01.01.2009 – 31.12.2011

Inhalt:**I. EINLEITUNG**

I.1 Aufgabenstellung	39
I.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	40
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	40
I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes	41
I.5 Zusammenarbeit mit Dritten	41

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

II.1 Erzielte Ergebnisse.....	43
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	60
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	60
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	60
II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit	60
II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	61

III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT (vertraulich hier nicht enthalten)

III.1 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen	64
III.2 Wissenschaftlich-technischer Erfolg des Vorhabens	64
III.3 Verwertbarkeit der Ergebnisse	64
III.4 Ungelöste Fragestellungen	65
III.5 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans	65

I. EINLEITUNG

I.1 Aufgabenstellung

Vorbemerkung

Das Gesamtziel des russisch-deutschen Verbundvorhabens KALMAR war, mit einem multidisziplinären Forschungsansatz die Funktionsweise des komplexen, klimasteuernden und klimamodulierenden Systems des Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Bogen besser zu verstehen und die Auswirkungen der dort ablaufenden geodynamischen und ozeanographisch-physikalischen Prozesse auf Stoffverteilung, Stoffkreisläufe, Wassermassenbildung und -zirkulation, Klima und Naturgefahren zu untersuchen. Es galt dabei auf den Ergebnissen der sehr erfolgreichen deutsch-russischen geowissenschaftlichen Forschung im Ochotskischen Meer und auf Kamtschatka (v. a. KOMEX) aufzubauen und diese regional auf den Kurilen-Kamtschatka-Aleuten-Bogen und die angrenzenden Bereiche des Nordwestpazifik und der Beringsee auszuweiten. Das Teilprojekt 2 hatte in diesem Kontext die Aufgabe, die Interaktion von subduzierender und überschiebender Platte zu untersuchen. Das Hauptaugenmerk sollte auf der Kopplung der Platten und den Einfluss von Lineamenten und ererbten Strukturen auf die Oberplatte gelegt werden. Diese Parameter scheinen sowohl die Entwicklung des exhumierten Fore-Arcs, den Fluidhaushalt im Fore-Arc und den Vulkanismus als auch die Segmentierung und damit das Risikopotenzial zu kontrollieren. Für diese Untersuchungen eignet sich der aktive Rand des Kurilen-Kamtschatka-Bogens besonders, weil die Veränderungen in der subduzierenden Platte – sowohl lateral (entlang des Inselbogens), als auch vertikal (entlang der abtauchenden Platte) – besonders auffällig sind. Dazu zählen Scherungsstrukturen im Bereich des Aleuten-Inselbogens, die Kollision von Seamounts der Emperor-Seamountkette mit Kamtschatka und das Abbrechen der Subduktion nördlich des Tripelpunktes.

Nachdem die Forschungsgenehmigung für die Expedition SO-201 Leg 1 endgültig versagt wurde, hat der Projektträger den Antragsteller aufgefordert, ein Alternativprogramm für Arbeiten im Nordwestpazifik vorzulegen. Eine Vorgabe war, einen Teil der mit beiden Projekten (SONNE-KALMAR und TP2 innerhalb des Verbundvorhabens KALMAR) ursprünglich angestrebten Ziele, zu erreichen. Die meisten der ursprünglichen Ziele sind nur innerhalb der russischen Ausschließlichen Wirtschaftszone (EEZ) zu erreichen. Wir haben uns daher in enger Abstimmung mit anderen Teilprojekten entschlossen, den Fahrtabschnitt SO-201 Leg 1 mit Schwerpunkt auf die Emperor Seamount Kette und das Obruchev Rise zu konzentrieren. Die ursprünglich geplante Schiffszeit wurde auf insgesamt 23 Tage reduziert, die 18 Messtage enthielten.

Struktur der Emperor Seamount Kette, Scherzonen und Alter der ozeanischen Kruste

Die Emperor Seamount Kette hat ihren Ursprung am Hawaii Hotspot, sie zieht sich von dort erst in West-Nordwestlicher Richtung und später Nord-Nordwestlicher Richtung bis nach Kamtschatka. Der nördlichste Bereich wird als Obruchev Rise bezeichnet. Mit seismischen Profilen sollte die Architektur und Ausmaße der Seamounts untersucht werden, um ihren Einfluss auf das Subduktionsgeschehen abschätzen zu können. Hierbei sollten wichtige Grundlagen für die anschließende Beprobung gelegt werden, welche die geochemische Signatur der ozeanischen Kruste sowie der auflagernden Sedimente bestimmen wird. Desweiteren soll die Frage nach der Sedimentmächtigkeit auf der ozeanischen Platte vor der Subduktion nachgegangen werden, um den Einfluss der Sedimente auf die Geochemie der Vulkanite Kamtschatkas abschätzen zu können.

I.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Alle Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens waren zum Zeitpunkt der Antragstellung und während der gesamten Laufzeit des Projektes erfüllt. Die BGR verfügt über ein reflexionsseismisches System zur Datenakquisition, ein Labor zur Prozessierung der gewonnenen Daten, ein Labor zur interaktiven digitalen Interpretation, Methoden zur Bestimmung des Potenzialfeldes (Magnetik, Gravimetrie, Wärmestrom) und GIS gestützter Weiterbearbeitung von bathymetrischen Datensätzen.

Alle Aktivitäten im Teilprojekt wurden gemeinsam vom P.P. Shirshov Institute of Oceanology in Moskau, dem Vulkanologischen-Seismologischen Institut in Petropavlovsk-Kamtschatskij und dem IFM-GEOMAR Leibniz-Institut für Meereskunde abgestimmt.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens erfolgte in gegenseitiger Abstimmung mit den am Vorhaben beteiligten Partnern. Die Aufgabenstellung und der zeitliche Verlauf der einzelnen Bearbeitungsphasen wurden in der Vorhabenbeschreibung festgelegt. Nach dem Weggang des Doktoranden Hauke Thöle (Februar 2010) konnte Herr Dr. Ralf Freitag (ehemaliger Teilprojektleiter TP 1) von Juni 2010 bis August 2011 für das Projekt gewonnen werden. Hierdurch ergab sich die vorteilhafte Situation, dass eine sehr enge Verzahnung der Teilprojekte TP 1 und TP 2 möglich wurde, was letztlich in einer gemeinsamen Publikation von Ergebnissen mündete. Forschungsaufenthalte russischer Wissenschaftler Dr. Evgeny Sukhoyev (POI), Dr. Boris Baranov und Dr. Nikolay Tsukanov (beide IO-RAS) an der BGR dienten der gemeinsamen Auswertung der Daten.

Während des Bewilligungszeitraums von KALMAR TP 2 wurden die folgenden Aktivitäten erfolgreich durchgeführt und abgeschlossen:

- Teilnahme am 1. bilateralen KALMAR-Workshop in Petropavlovsk-Kamtschatskij (27.04. bis 1.05.2009) und 2. bilateralen KALMAR-Workshop in Trier (16.05. bis 20.05.2011)
- Durchführung der Forschungsfahrt SO201 Leg 1a (16.05. bis 10.06.2009), Datenakquisition: Reflexionsseismik, Magnetik, Gravimetrie, Bathymetrie, Parasound
- Teilnahme an Forschungsfahrt SO201 Leg 2 (30.08. bis 08.10.2009), Datenakquisition: Wärmestrom, Bathymetrie, Parasound
- Interpretation der reflexionsseismischen Daten wurde abgeschlossen
- Bachelorarbeit zur kretazischen Superchron auf Grundlage der Potenzialfelddaten SO201-Leg 1 wurde abgeschlossen
- statistische Verfahren wurden auf das kretazische Superchron (Chron 34) angewendet
- bathymetrische Daten aller SO201-Legs wurden editiert und in einem GIS zusammengeführt. Für diese Arbeiten wurden studentische Hilfskräfte eingesetzt.
- Modellierung der Schwere wurde in Kombination mit seismischen Profilen für ausgewählte Profile durchgeführt
- Ergebnisse der Wärmestrommessungen und bathymetrischen Daten wurden zu einem Modell zusammengeführt.
- Präsentation der Ergebnisse auf nationalen und internationalen Tagungen (siehe Anhang)

I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes

Vor dem Beginn des KALMAR Projektes stellte der Bereich der Kamtschatka Aleuten Inseln ein weitgehend unter modernen geowissenschaftlichen Gesichtspunkten unbearbeitetes Gebiet dar. Geophysikalische Daten über den nördlichen Teil der Emperor-Seamountkette, insbesondere mehrkanalreflexionsseismische Profile und Wärmestromdaten, lagen nur in schlechter Auflösung und mit geringer Eindringung vor. Ausführliche Beschreibung des Standes der Wissenschaft findet sich Leitantrag.

I.5 Zusammenarbeit mit Dritten

An KALMAR TP2 nahmen Wissenschaftler der folgenden Institute in Russland und Deutschland teil:

- IFM-GEOMAR Leibniz Institut für Meereswissenschaften, Kiel

- Bundesanstalt für Geowissenschaften Hannover, Hannover
- P.P. Shirshov Institute of Oceanology, IORAS, Moskau
- Pacific Oceanological Institute, Wladiwostok
- Institute of Volcanology and Seismology, IVS, Petropavlovsk-Kamchatskij
- Moscow State University, Moskau

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

II.1 Erzielte Ergebnisse

Einen Überblick über die bisher erzielten Ergebnisse bieten die Zwischenberichte der Jahre 2009 und 2010, der Fahrtbericht SO-201 Leg 1a (BGR 2009) und der Abstract-Band zum KALMAR-Workshop 2011.

Seismik, Bathymetrie und Morphotektonik

Die Tektonik im nordwestpazifischen Raum wird kontrolliert durch das Zusammenspiel der Pazifischen (PAC), Nordamerikanischen (NAM) und der Eurasischen Lithosphärenplatte. Ein direkter Ausdruck der Plattenbewegung zwischen der Pazifischen und der Nordamerikanischen Platte ist der Aleutenbogen, der in seinem östlichen Teil von Kollision und Subduktion dominiert wird, im westlichen Teil hingegen herrscht reine Blattverschiebung vor. Der Aleutenbogen trifft im Bereich der Beringstraße senkrecht auf den Kurilen-Kamtschatka-Graben und bildet dort eine *Triple Junction* (Gaedicke et al. 2000, Geist & Scholl 1994, Baranov et al. 1991). Entlang des Kurilen-Kamtschatka Grabens wird die ozeanische Lithosphäre der PAC unter die Eurasische Platte subduziert. Die enorme rezente Aktivität dieses Prozesses spiegelt sich wider in sehr intensivem Vulkanismus, starken und stärksten Erdbeben sowie häufigen Tsunamis e.g. Fedotov 1991, Ruppert et al. 2007, Pinegina 2001).

Ein Hauptmerkmal der Pazifischen Platte ist die NNW-SSE-verlaufende Emperor Seamount Kette, die nahezu genau in der Mitte der Kamtschatka-Halbinsel auf den Kurilen-Kamtschatka-Bogen trifft. Die Erdbebenverteilung (Ruppert et al. 2007, Johnson & Satake 1999, Zobin & Levina 2001), der Vulkanismus und die Tektonik (Portnyagin & Manea 2008) auf Kamtschatka variiert von Norden nach Süden. Der Einfluss des Endes der Emperor Seamount Kette -des Obruchev Rise- auf das Subduktionssystem unter dem zentralen Teil von Kamtschatka (z.B. der Versatz des magmatischen Bogens in der Umgebung der Kronotsky Halbinsel oder der Eintrag von Meiji-Drift Sedimenten in die Subduktionszone) wird lebhaft diskutiert.

Während der Expedition SONNE 201 Leg 1a wurde die Emperor Seamount Kette, die Krusenstern Bruchzone und der Bereich zwischen dem Obruchev Rise und dem Kamtschatka Graben mit geophysikalischen Methoden kartiert. In früheren Landexpeditionen wurden außerdem zahlreiche Datensätze zur Oberplattendeformation und Exhumierung gesammelt. Hier berichten wir über die Struktur und die Kinematik der Krusenstern Bruchzone und die Morphologie des subduzierenden Obruchev Rise unter Kamtschatka.

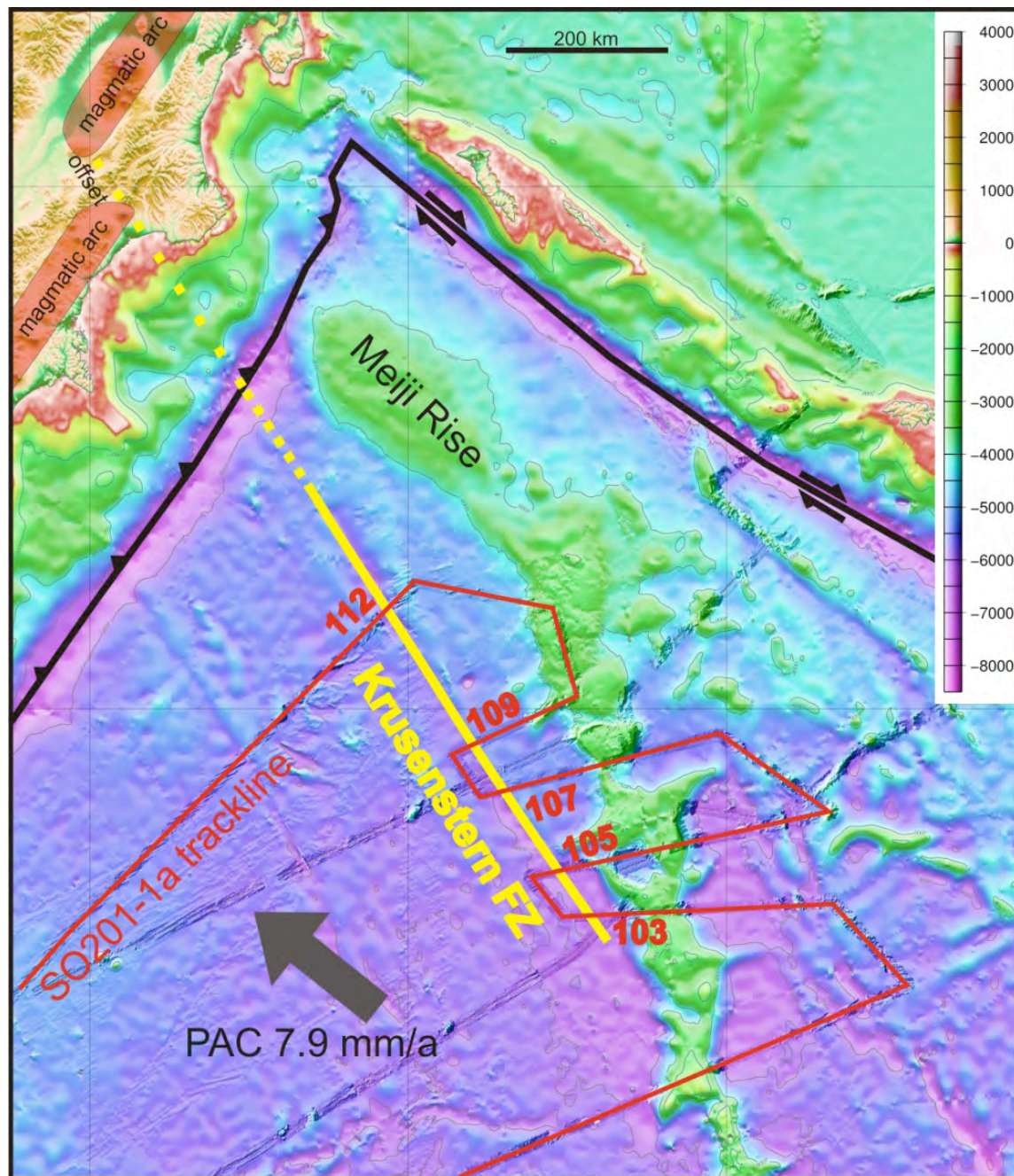


Abb. 1: Bathymetrisch-topographische Karte des Kamtschatka-Aleuten Konvergenzbereichs. Die Krusenstern Störung (gelb) begrenzt im SW den Meiji-Rise, ein ca. 2500 m hoher Seamount, der rezent mit 7.9. mm/a gegen den Plattenrand von Kamtschatka konvergiert. Die Krusenstern-Störung wurde während SO201-1a mehrfach überfahren (rot) und geophysikalisch erkundet. Beachte den Versatz des magmatischen Bogens in direkter Fortsetzung der Krusenstern Störung.

Regionale Geologie

Die Hawaii-Emperor Seamount Kette ist in der Morphologie des Meeresbodens von Hawaii im zentralen Pazifik bis zum Obruchev Rise vor Kamtschatka leicht zu verfolgen. Im Bereich der Aleuten-Kurilen-Kamtschatka-*Triple Junction* wird die Seamount Kette im Nordosten durch das Emperor Becken, die Stalemate Bruchzone und den Aleutengraben begrenzt. Im Süden begrenzt die Krusenstern Bruchzone den ältesten Teil der Kette (Abb. 1). Weiterhin verläuft eine Bruchzone ohne Namen etwa 200 km weiter südlich parallel zur Krusenstern Bruchzone.

Die meisten Autoren stimmen überein, dass die Hawaii-Emperor Seamount Kette ihren Ursprung in einem Hot Spot unter Hawaii hat (Tarduno et al. 2003, Duncan et al. 2006, Stock 2003). Als Teil der Pazifischen Platte bewegt sich das Ende der Emperor Kette (das Obruchev Rise) mit etwa 7.9 mm/yr nahezu rechtwinklig auf die Subduktionszone vor Kamtschatka zu. Zahlreiche kleinere Seamounts und Vulkanische Gebilde sitzen dem Obruchev Rise auf. Der bekannteste davon ist der Detroit Seamount, dessen Basement und Sedimenthülle detailliert in den Ergebnisberichten von ODP Leg 197 (sites 1203 & 1204) und DSDP Leg 19 (site 192) (z.B. Duncan et al. 2006) beschrieben wird.

Die ozeanische Lithosphäre im NW-Pazifik wurde vorwiegend in der „magnetisch ruhigen Zone“ (Cretaceous Normal Superchron, Chron 34) im Zeitraum von 118-83 Ma gebildet. Dies erschwert die Rekonstruktion regionaler tektonischer Prozesse zu dieser Zeit erheblich. Bis heute herrscht Uneinigkeit unter den Autoren, ob magnetische Anomalien innerhalb des Chron 34 als Zeitmarken korreliert werden können. Von allen ozeanischen Bereichen, deren Meeresboden während dieser Zeit gebildet wurde, ist der NW-Pazifische Raum der am wenigsten untersuchte.

Trotz des hohen kretazischen Alters der konvergierenden Lithosphäre ist die Auflage von pelagischen Sedimenten typischerweise nicht größer als 0.5 s (TWT). In einigen Vertiefungen erreicht die Sedimentmächtigkeit selten 2 s (TWT).

In nordwestlicher Richtung der Emperor Seamounts folgend stößt man direkt auf die Kronotsky Halbinsel von Kamtschatka. Die Kronotsky Halbinsel ist der zentrale Bereich des exotischen Kronotsky-Shipunsky Terrans, welcher sich heute in der fore-arc Position des aktiven Plattenrandes von Kamtschatka befindet. Das exotische Terran besteht aus kretazischen und eozänen Effusiva mit hohem Titaniumgehalt und repräsentiert einen Inselbogen im frühen Stadium (Kramer et al. 2000). Im Gegensatz zur Kamtschatka Cape Halbinsel im Norden wird die Kronotsky Halbinsel nicht von modernen Störungssystemen des Aleutenbogens erfasst. Die tektonische Entwicklung der Kronotsky Halbinsel ist geprägt durch die Akkretion von Unterplatten-Material der subduzierenden PAC. Das Obruchev Rise liegt im direkten Anschluss an die Kronotsky Halbinsel und wird von ihr nur durch den

schmalen und steilen Kamtschatka Graben getrennt. Die Isobathen deuten darauf hin, dass nur kleine Teile des Obruchev Rise mit Sedimenten bedeckt sind.

Methoden

Die hier präsentierten geophysikalischen Daten wurden während der Forschungsfahrt KALMAR SO-201 Leg 1a (und teilweise Leg 2) an Bord FS Sonne gewonnen. Für die Mehrkanalseismik (MKS) wurde ein modifizierte G-Gun Array benutzt, das aus zwei Sub-Arrays mit je 145 bar Druck besteht. Das Gesamtvolumen des Systems ist etwa 50,8 Liter. Die Schiffsgeschwindigkeit während der MKS-Profilfahrt betrug etwa 5,4 Knoten, das durchschnittliche Schussintervall betrug somit 50 m. Zur Aufzeichnung wurde ein 3450 m langer SERCEL-Streamer mit 276 Kanälen ausgebracht, die Aufzeichnungslänge betrug etwa 14 Sekunden. Insgesamt wurden 11 MKS-Profile aufgenommen mit einer Gesamtlänge von etwa 2715 km.

Über eine Profillänge von insgesamt 5895 km wurden Daten zur hochaufgelösten Sedimentechographie, Magnetik, Gravimetrie und Meeresboden-Relief aufgezeichnet. Die bathymetrische Kartierung erfolgte während der Fahrt durchgängig mit einem SIMRAD EM120 Fächerecholot. Zum prozessieren und editieren der Daten und zur Kartenerstellung wurde die frei verfügbare Software MB-System (Caress and Chayes, 2008) und GMT (Wessel and Smith, 1995) benutzt. Als Sedimentecholot diente das auf FS SONNE fest installierte System PARAsound P70. Weitere technische Details zur Datenaufnahme finden sich im Fahrtbericht (Gaedicke et al. 2009).

Obruchev Rise und Krusenstern Bruchzone

Das Obruchev Rise ist eine parallelogramm-förmige ozeanische Erhebung von etwa 300 km Breite und 600 km Länge. Es ist in einen südöstlichen Block und einen nordwestlichen Block unterteilt unterteilt (Sholl et al. 1977). Die Oberseite der Erhebung ist flach und liegt etwa 3000 bis 3200 m unter dem Wasserspiegel. Die maximale Mächtigkeit der Sedimentauflage beträgt etwa 2000 m (Seliverstov 1998). Generell ist das Obruchev Rise sehr wenig untersucht und in großen Teilen unbekannt. Der am besten untersuchte Teil ist der Detroit Seamount, der dem südwestlichen Block aufsitzt. Dieser Seamount ist ozeanischen Ursprungs und erhebt sich bis zu 4,5 km über den umgebenden Meeresboden. Das Basement des Seamounts ist ozeanischer Natur und erreicht eine Dicke von etwa 9-11 bis maximal 13 km. Die Moho-Diskontinuität liegt am tiefsten unter dem zentralen Teil des Seamounts (Karp et al. 1989).

Die Mächtigkeit der Sedimentbedeckung variiert von etwa 600 bis 1000 m im zentralen Teil bis zu 0 m an den Flanken. Nach Nordosten hin nimmt die Sedimentmächtigkeit auf bis zu 2 km zu und bildet dort die Meiji-Fan Sedimente. Die Auswertung von Bohrdaten (well 192) ergab eine Sedimentbedeckung von 1044 m (Init. Rep. 1973, vol.19). Der oberste

Abschnitt besteht aus 50-150 m feinlaminierten Sedimenten mit Aschelagen des späten Pliozän und Pleistozän. Darunter folgen Radiolarite mit spätmiozänem Alter. Der folgende Abschnitt besteht aus heterogenen Sedimenten mittelmiozänen Alters und ist 400 – 500 m mächtig. Der tiefste erbohrte Komplex (Init. Rep. 1980, vol. 55). besteht aus 500-600 m mächtigen tholeiitischen Pillow-Basalten des Maastricht (Obere Kreide). Dredgen brachten tholeiitische und subalkalische Basalte mit eozänem Alter zutage. Ein tholeiitischer Basalt mit einem Alter von 81 Ma wurde von der ODP 884 auf dem Detroit Seamount erbohrt. Die ODP site 884 liegt etwa 150 km nördlich von Profil BGR09-112.

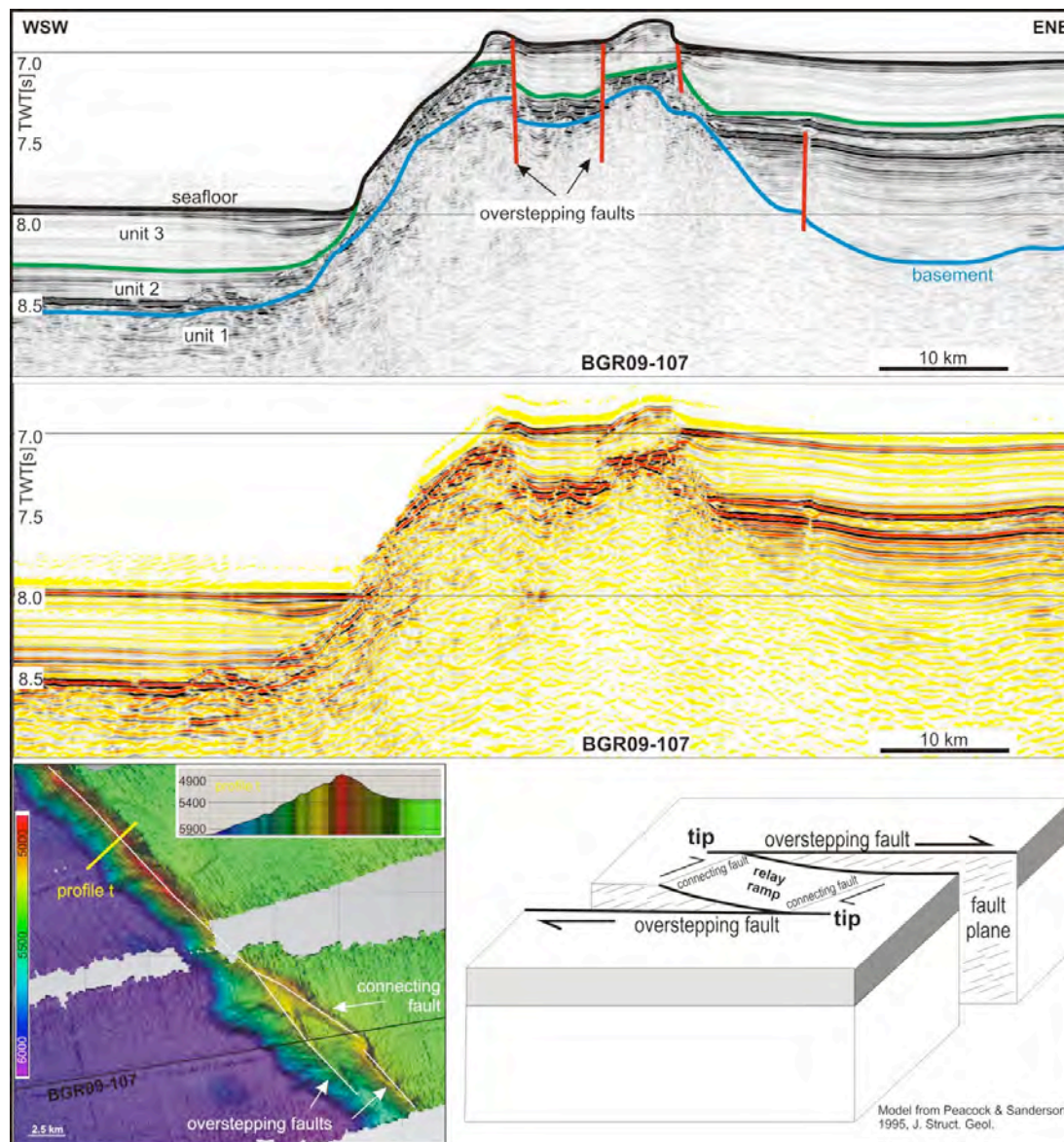


Abb. 2: „Verbindungs-Störung“ (relay ramp) zwischen einer übertretenden Blattverschiebung auf Profil BGR09-107. Die Orientierung und Anordnung dieser Störung deutet auf einen früheren dextralen Versatz der Krusenstern-Bruchzone hin. In der MKS sind die beiden Zweigstörungen deutlich sichtbar. In der 3D-Ansicht der Bathymetrie ist sie ebenfalls gut erkennbar und entspricht dem mechanischen Modell von Peacock & Sanderson (1995).

Im Nordosten wird der Obruchev Rise begrenzt durch den Aleutengraben und das Kommandorsky Störungssystem. Im Südwesten ist es durch ein auffälliges Lineament begrenzt, das nach etwa 150° streicht: Die Krusenstern Bruchzone.

Durch Fächerecholot-Daten konnte die Krusenstern Bruchzone mehrfach überfahren und abgebildet werden. Morphologisch erscheint sie als ein steiler Abhang, der den Meeresboden von etwa 6000 m im Südwesten auf etwa 5000 m im Nordosten anhebt. In den Profilen der MKS zeigt sich ein deutlich komplexeres Bild.

Die Krusenstern Bruchzone liegt im kretazischen Chron 34, der Magnetisch ruhigen Zone. Darum ist das Alter der umgebenden ozeanischen Kruste unbekannt. Trotzdem kann durch eine ganz grobe Abschätzung von bekannten magnetischen Umkehrungen weiter im Südwesten auf ein Alter nahe der Grenze Unter- zur Oberkreide angenommen werden (etwa 100 Ma). Einige Autoren interpretieren die Krusenstern Bruchzone als eine kretazische Transformstörung, die sich am bereits subduzierten Spreizungs-Rücken zwischen der Kula-Platte und der Pazifischen Platte gebildet hat (Mammerickx & Sharman 1988, Norton 2007). Im Südwesten zeigt sie eine nur geringe Asymmetrie und einen geringen vertikalen Versatz. Die Asymmetrie, der Versatz und die morphologische Ausprägung nehmen nach Nordwesten rapide zu. Im Profil BGR09-107 (Abb. 2) ist die südwestliche Schulter der asymmetrischen Transformstörung bereits etwa 1000 m gegen den umgebenden Meeresboden angehoben. In diesem Profil wurde auch eine relay ramp (Verzweigungs-Störung) kartiert, die auf einen ehemaligen dextralen Versatz der kretazischen Transformstörung hinweist. Im Profil BGR09-112 ist die Krusenstern Bruchzone von Sedimenten bedeckt. Sedimentecholot-Daten zeigen einen scharfen vertikalen Versatz von ca. 35 Metern an der Meeresbodenoberfläche direkt über der Bruchzone. Das deutet auf eine Reaktivierung der Bruchzone hin, die in Richtung des Kamtschatka Grabens zunimmt.

Seismische Stratigraphie und Alter

In den MKS-Profilen kann man drei Einheiten durch ihre unterschiedlichen Lagerungs- und akustischen Eigenschaften unterscheiden. Die unterste Einheit 1 ist charakterisiert durch kurze, meist diskontinuierliche Reflektoren mit geringem Kontrast. Die Reflektoren sind nicht an eine bestimmte Tiefe gebunden und zeigen keinerlei Schichtung. Wir betrachten diese Einheit 1 als das kristalline ozeanische Basement (Abb. 2 und 3). Der oberste Reflektor von Einheit 1 wird durch die Einheit 2 bedeckt. Sie zeichnet sich durch deutliche Reflektoren an ihrer Unter- und Oberseite aus. Einheit 2 ist gut stratifiziert, Untereinheiten mit hohem Kontrast alternieren mit Paketen niedriger Impedanz. An der Basis sind einige Diskordanzen beobachtbar die zeigen, wie diese Sedimente die ehemals unebene und raue Oberfläche des kristallinen Basements überdecken. Weil sich der Charakter der Einheit 2 in Richtung der Flanken der Emperor Seamount Kette nicht ändert gehen wir davon aus, dass es sich

um Sedimente der frühen Phase der Seamount-Bildung handelt, also um vulkanische Tuffe und Erosionsprodukte der sich entwickelnden Seamounts.

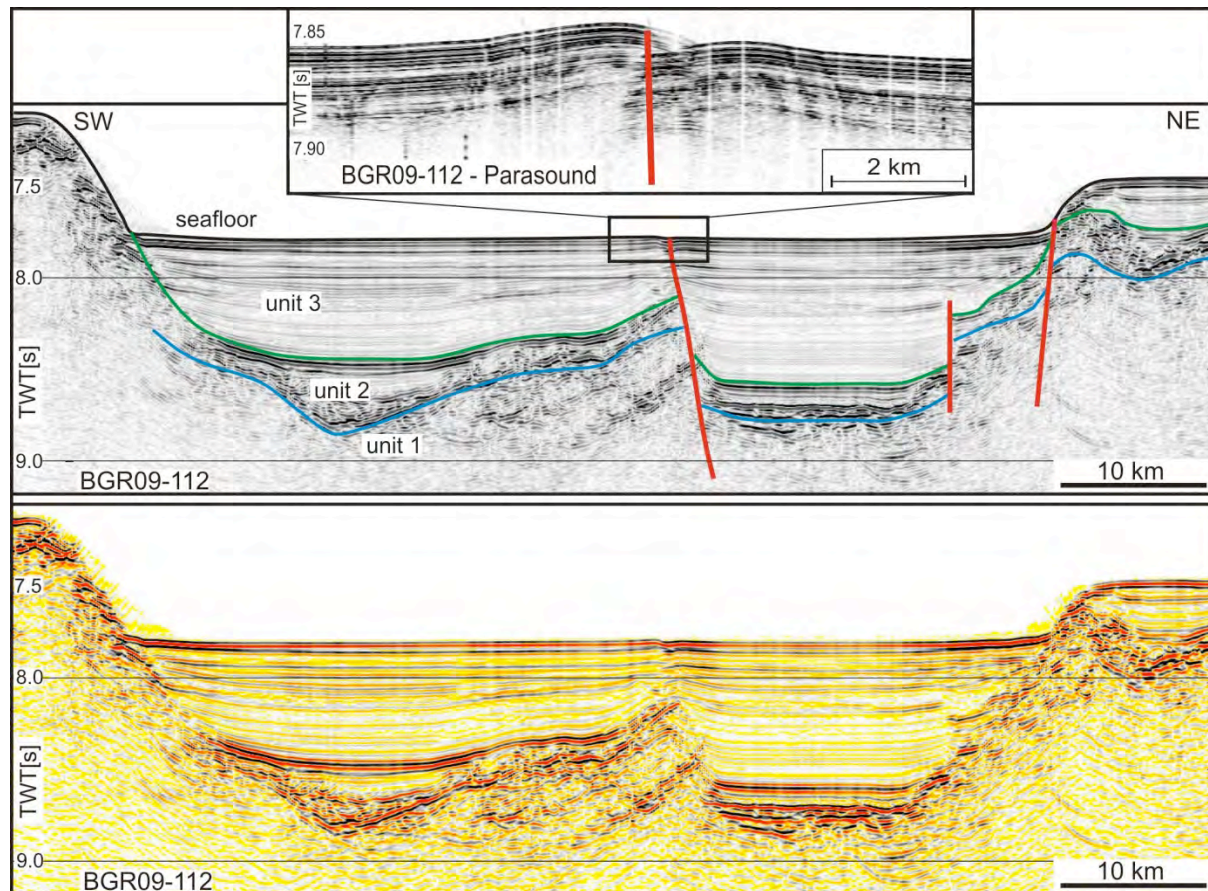


Abb. 3: Mehrkanalseismische Daten des Profils BGR09-112 (unten) und Interpretation (Mitte). Die Störungsbahn der Krusenstern Störung erreicht die Sedimentoberfläche. Rezente Sedimente werden durch die Störung versetzt. Der Versatz der Meeresbodenoberfläche beträgt etwa 35 m, wie man aus den Parasound-Daten ermitteln kann (oben). Aus den reflexionsseismischen Daten ergibt sich eine Abschiebungsgeometrie, eine laterale Bewegungskomponente kann aus den vorliegenden Daten nicht ausgeschlossen werden.

Einheit 3 wird aus den jüngsten Sedimenten aufgebaut. Sie zeigt eine sehr deutliche Stratifizierung mit einem durchgehenden, parallelen Reflexionsmuster und hoher Transparenz. Innerhalb dieser Einheit sind Diskordanzen ausschließlich an der südwestlichen Schulter der Bruchzone erkennbar. Dies deutet auf größere Massenverlagerungen an der Flanke der Bruchzone und einen Transport parallel zur Streichrichtung hin. Die generell gute ausgebildete Schichtung und der niedrige Kontrast deuten auf eine Pelagische Sedimentation hin. Die Sedimentmächtigkeit auf der nordöstlichen Seite der Zone ist größer als hier. Die gefalteten Schichten im Hangendblock belegen eine syn-sedimentäre Aktivität der Störung.

Kollision des Obruchev Rise mit Kamtschatka

Die Konvergenz zwischen der Pazifischen und der Asiatischen Platte führt zur Kollision des Obruchev Rise mit Kamtschatka im Tiefseegraben vor der Kronotsky Halbinsel (Abb. 4). Die

neuen bathymetrischen Daten zeigen den Kontinentalhang von Kamtschatka und den ozeanischen Teil des Kamtschatka Tiefseegrabens. Der Graben wird nahe der Kollisionszone sehr eng und steil und die Wassertiefe nimmt ab (Abb. 4). An der Flanke des Obruchev Rise können deutlich acht Steilstufen identifiziert werden, die den Meeresboden um jeweils bis zu 200 Meter absenken (Profil b in Abb. 4). Die Steilstufen sind konvex um die höher gelegenen Teile des Obruchev Rise angeordnet und werden in Richtung Graben zunehmend parallel. Wir interpretieren diese Steilstufen als die Abrisskanten von aktiven Abschiebungen, die durch die Biegung der ozeanischen Lithosphäre durch die Subduktion unter Kamtschatka entstanden. Das Vorhandensein ausgeprägter Abschiebungen ist in guter Übereinstimmung mit den hohen gemessenen Wärmeflusswerten in diesem Gebiet.

Im Profil a (Abb. 4) haben die Abschiebungen 1 und 3 jeweils eigene Ausbisslinien im südlichen Bereich. Diese beiden Störungen vereinigen sich aber im zentralen Teil zu einer größeren Abschiebung mit etwa 450 Metern vertikalen Versatz. Diese ‚Hauptabschiebung‘ trennt auch einen Block unbekanntes Ursprungs vom Obruchev Rise ab. Zusätzlich wandert der tiefste Teil des Grabens, welcher die Plattengrenze markiert (in Abb. 4 mit einer roten Linie), näher an diesen Block heran. Wir nehmen an, dass in diesem Teil des Grabens der Akkretionsmechanismus dokumentiert ist: In unserem Modell springt die Achse des Grabens, die jetzt im Westen des Blocks gelegen ist, nach Osten wo die ‚Hauptabschiebung‘ lokalisiert wurde. Dadurch kommt dieser Block von seiner Position im Liegendblock zu einer Position im Hangenden und wird somit Teil des Akkretionskeils der Oberplatte.

Im Abhang der Oberplatte sind ebenfalls zahlreiche Steilhänge zu beobachten. Sie verlaufen meist geradlinig und sind parallel zum Graben. Sie können als Ausbisse von Überschiebungen betrachtet werden, die gewöhnlich bereits akkretierte Blöcke tektonisch voneinander abgrenzen. Größere Hangrutschungen sind im tiefen Bereich des untersten Abhangs erkennbar. Man kann auch einen größeren, nichtgestörten Block im Süden identifizieren, der wie ein Indenter wirkt, da der Graben in seiner Nähe in Richtung Oberplatte gekrümmt ist.

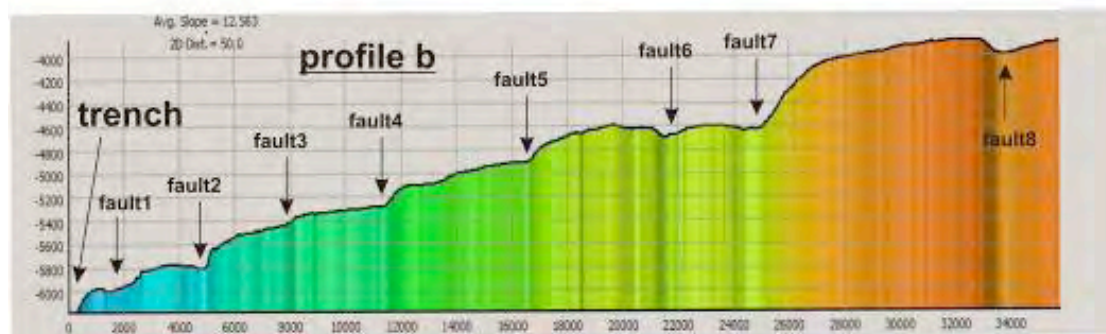
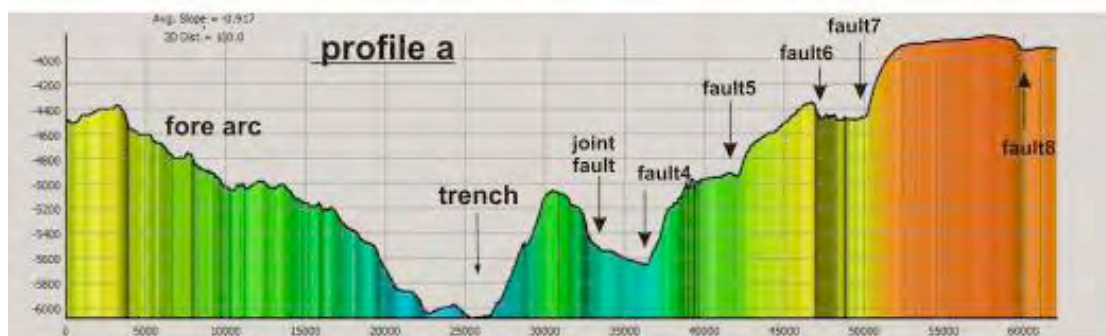
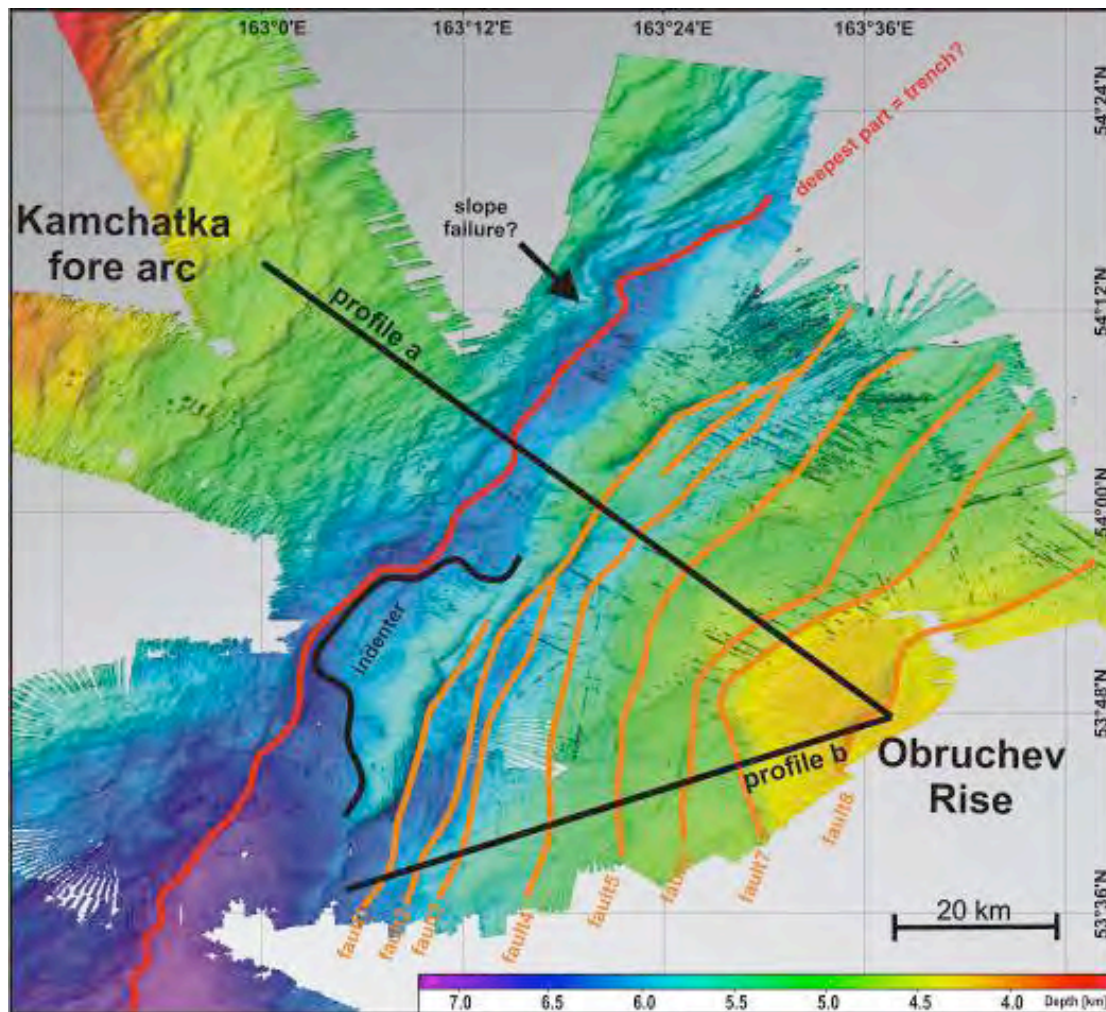


Abb. 4: 3D-Darstellung der bathymetrischen Daten (Leg 1b) zwischen dem Kontinentalhang von Kamchatka und dem ozeanischen Obruchev-Plateau.

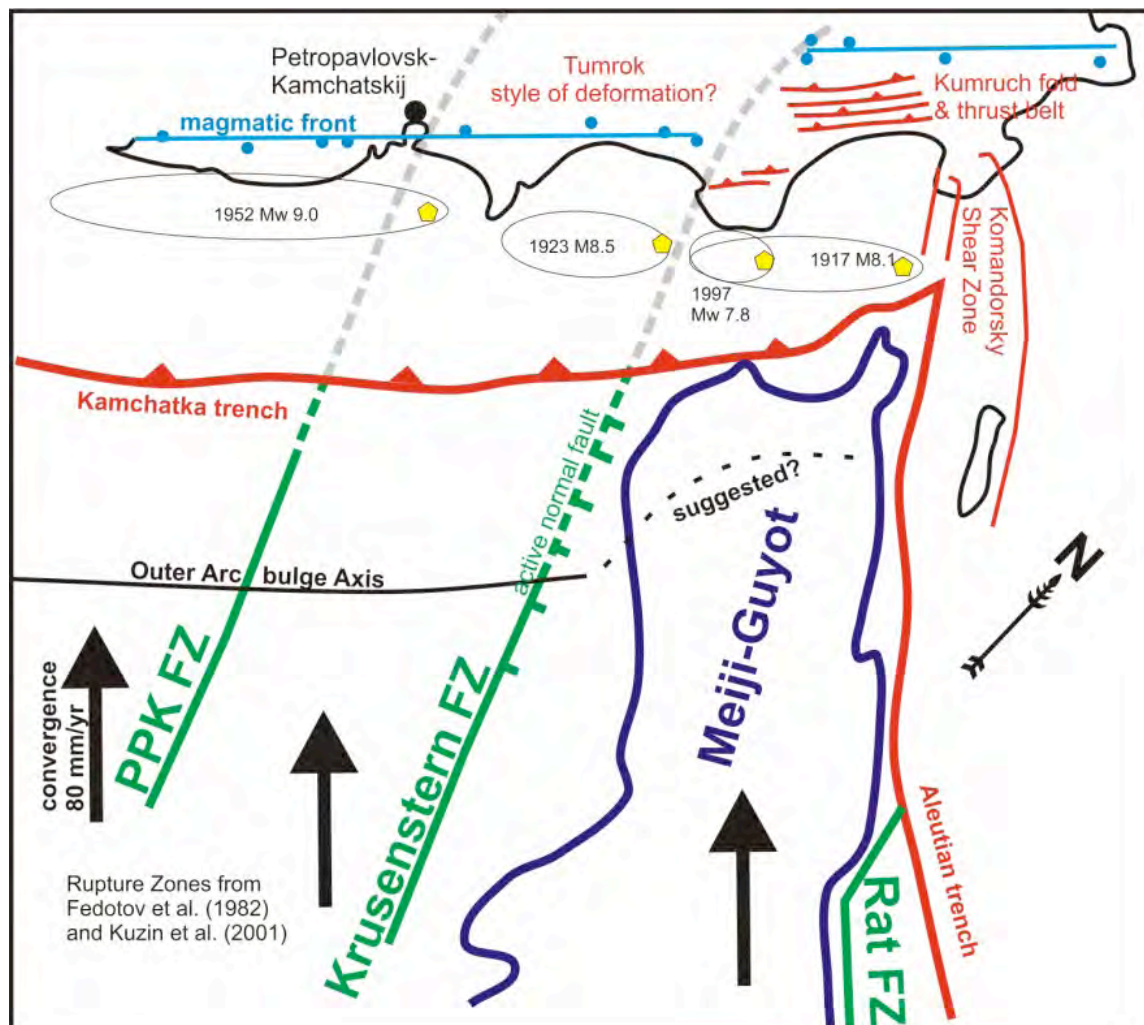


Abb. 5: Schematische Darstellung des Konvergenzbereiches. Die Segmentierung und Ausprägung der Unterplatte hat Einfluss auf die Geometrie der Oberplatte und die Seismizität.

Gravimetrie

Während der Forschungsfahrt SO-201 Leg 1a wurden kontinuierliche marine Schweremessungen mit dem KSS31M Seegravimeter der BGR durchgeführt. Gemessen wurden Daten entlang aller 15 Profile mit einer Gesamtlänge von 5894 km. Zusätzlich wurden Schweredaten entlang von Transitfahrten auf etwa 1000 km Länge aufgezeichnet. Die Freiluftschwereanomalien der Schiffsmessungen wurden mit Anomaliendatensätzen verglichen, die aus der Satellitenaltimetrie abgeleitet wurden. Es handelt sich um die Daten von Sandwell and Smith (2005) (SDW18.1) und Andersen et al. (2008) (DNSC08). Die geringeren Differenzen führten zur Einbeziehung der DNSC08 Daten zur Kompilation einer Schwerefeldkarte des Meßgebietes (Abb. 6).

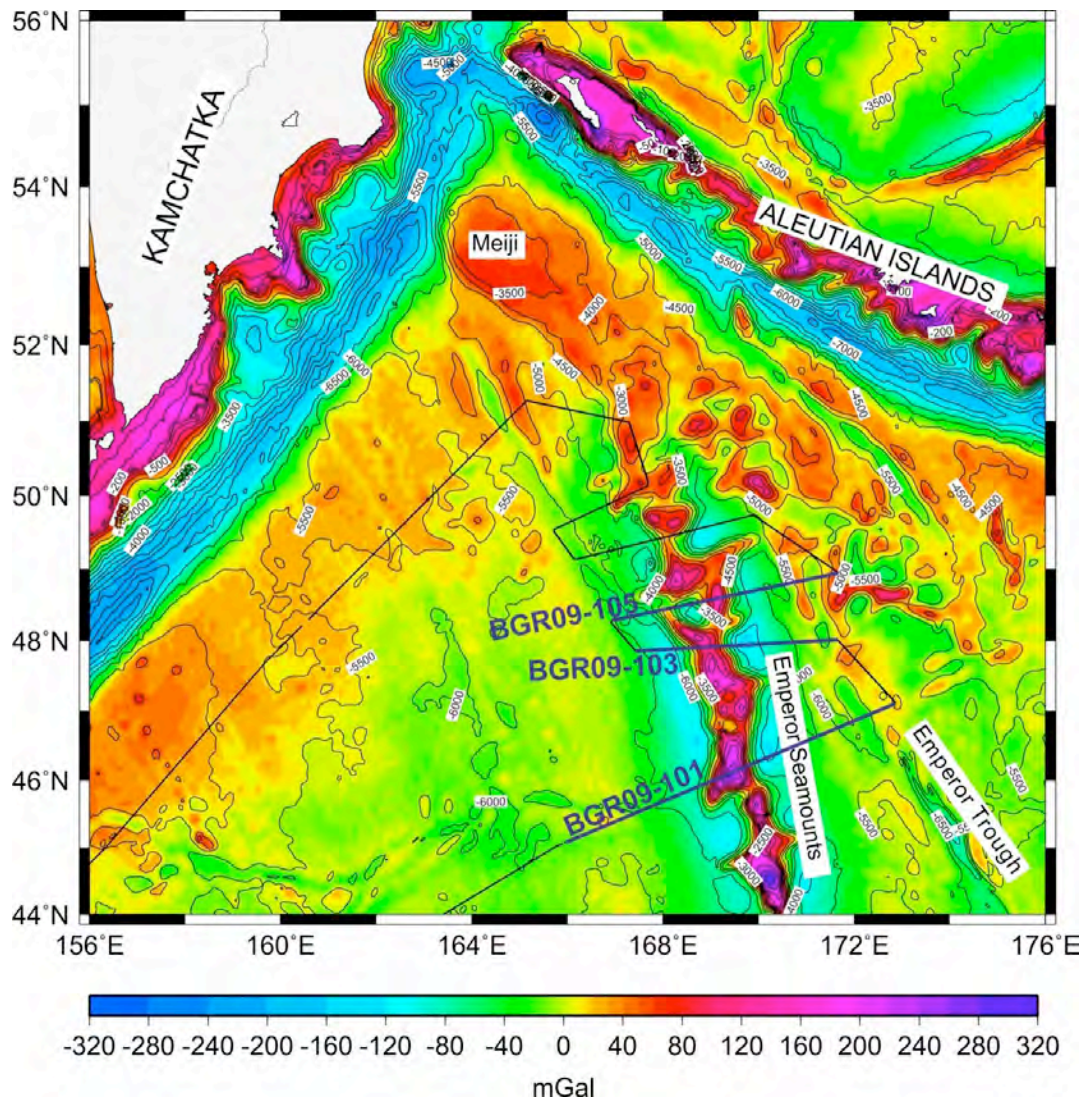


Abb. 6: Karte der Freiluftschwereanomalien. Die Kompilation des zugrundeliegenden Schwererasters erfolgte durch Einbeziehung der DNSC08 Schweredaten (Andersen et al., 2008). Der Karte ist die DNSC08 Bathymetrie unterlegt. Der Schiffsweg und die modellierten Profile sind markiert.

Für das Gebiet wurden auch die Karte der Bougwerschwereanomalien erstellt und die isostatischen Residualanomalien berechnet. Die isostatischen Anomalien geben Hinweise auf die Biegesteifigkeit der Lithosphäre von etwa 10^{21} Nm.

Die Schweredaten entlang einiger Profile wurden durch 2D Dichtemodelle unter Berücksichtigung der gestapelten und im Zeitbereich migrierten MCS Daten interpretiert. Die Tiefenbestimmung der herausragenden seismischen Horizonte erfolgte durch die Berücksichtigung der jeweiligen mittleren Intervallgeschwindigkeit. Abb. 2 zeigt die Modelle entlang der Profile BGR09-105, -103 und -101.

Die Modelle zeigen, dass die Seamounts Wurzeln von etwa dem 1,5 bis 2 fachen ihrer Höhe haben. Diese ist meist asymmetrisch mit einer größeren Tiefe im Osten als im Westen. Die Sedimentbecken an den Rändern der Seamounts besitzen eine Mächtigkeit von 1,5 bis 3 km. Eine Unterteilung der Basalteinheiten auf dem südlichsten Profil BGR09-101 ist zur

Erklärung der zentralen Schweremaxima sowie vor allem zur Erklärung des gemessenen magnetischen Totalfeldes notwendig.

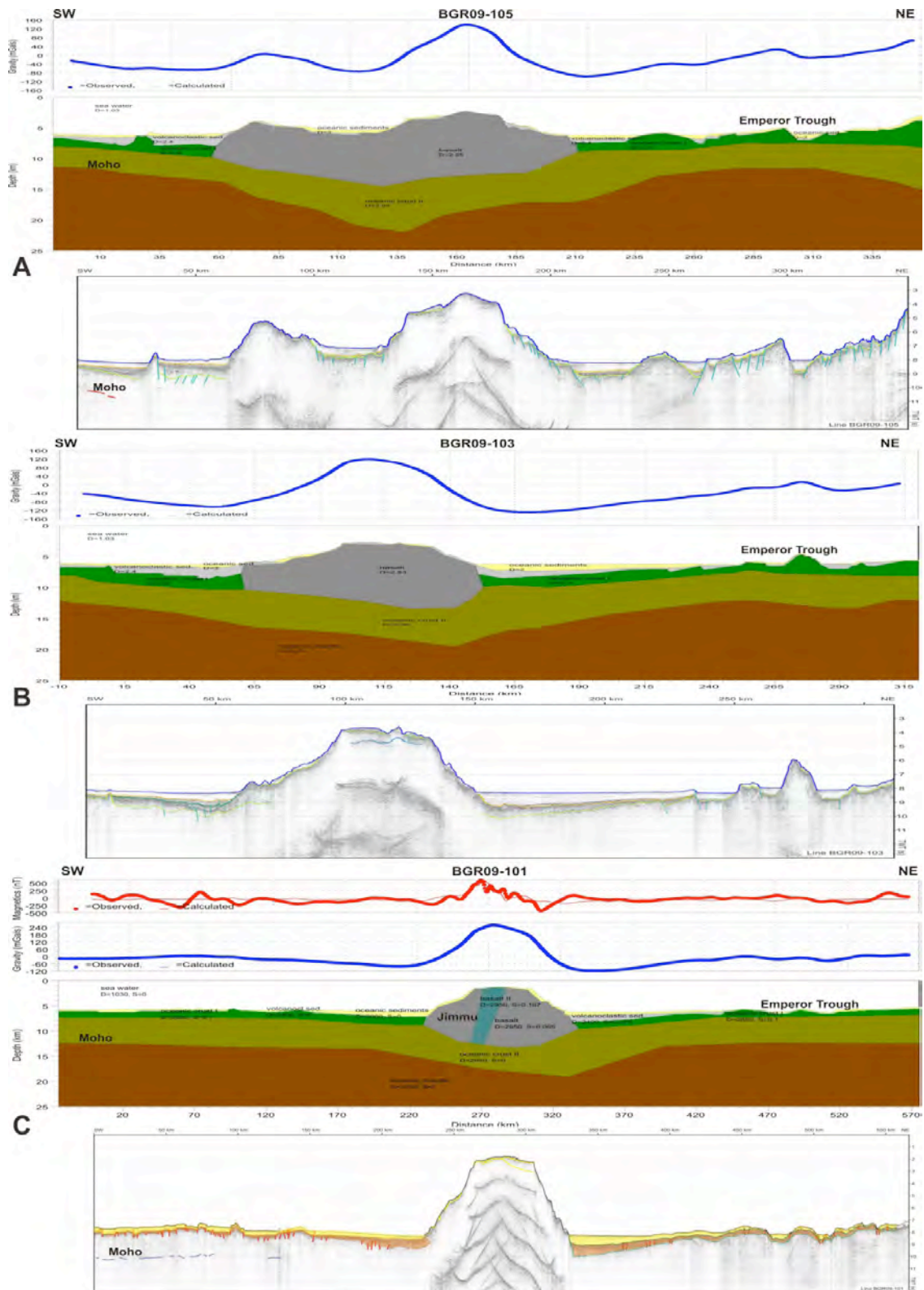


Abb. 7: Vergleich der 2D-Dichtemodell (oben) mit den entsprechenden MCS Sektionen (unten) der Profile BGR09-105 (A), -103 (B) und -101 (C). Dichten in g/cm³ bzw. kg/m³. Suszeptibilitäten in SI (nur C).

Magnetik

Die magnetischen Anomalien im Untersuchungsgebiet der Emperor-Seamount-Kette werden von den magnetischen Signaturen der großen Seamounts dominiert. Die Quelle der Anomalien sind überwiegend die remanenten Magnetisierungen der großen Basaltkörper, welche das vergleichsweise schwache Hintergrundfeld der Seafloor Spreading-Anomalien der darunterliegenden, älteren ozeanischen Kruste weitgehend überdecken. Von den Hawaiischen Inseln ist bekannt, dass die Bildungsphase der großen Hotspot-Seamounts wenigstens einige hunderttausend Jahre, in vielen Fällen auch einige Millionen Jahre andauert. Durch die lange Bildungsphase in zahllosen vulkanischen Eruptionen haben die einzelnen Lavaflüsse unterschiedliche remanente Magnetisierungen je nach dem zum Zeitpunkt ihrer Bildung gerade herrschenden Erdmagnetfeld angenommen. Insgesamt weisen die Seamounts der Emperor-Kette deshalb eine heterogene Magnetisierung auf und zeigen nicht die Dipolförmigen magnetischen Anomalien homogen magnetisierter Körper. Der mehrfache Wechsel der Polaritätsrichtung remanenter Magnetisierungen innerhalb eines Seamounts der Emperor-Kette wurde an Bohrkernen nachgewiesen (Tarduno et al., 2003).

Westlich einer Bruchzone, die annähernd parallel zur Emperor-Kette verläuft und von den Profilen der Fahrt SO-201 überquert wird, zeigt eine Kompilation der magnetischen Anomalien der Weltmeere (Cande et al., 1989) die Ost-West-verlaufenden Seafloor Spreading-Anomalien 32A und 32B. Die in diesem Bereich gemessenen Daten der Profile BGR09-102 und BGR09-106 passen qualitativ zu dieser Interpretation, jedoch sind die Profile zu kurz, um aus ihnen eindeutige Aussagen zum Krustenalter anhand von identifizierten Seafloor Spreading-Anomalien treffen zu können. Nach der magnetischen Feldumkehr-Zeitskala von Cande und Kent (1995) entspricht Anomalie 32A (32n.1n nach moderner Zählweise) einem Alter von 70 Ma.

Während der Transitfahrten der Forschungsfahrt SO-201 wurden zwischen Kamtschatka und der Emperor-Seamount-Kette lange Magnetikprofile über ozeanischer Kruste gemessen, die während des kretazischen Superchrons (früher auch „kretazisch magnetisch ruhige Zone“ genannt) gebildet wurde. Die magnetischen Anomalien in diesem Bereich sind keineswegs „ruhig“ und es ist wiederholt der Versuch unternommen worden, auch innerhalb des Chron 34 (118 Ma bis 83 Ma; Cande und Kent, 1995) eine zeitliche Korrelation von magnetischen Anomalien vorzunehmen, zuletzt von Dyment et al. (2009). Von allen ozeanischen Gebieten, deren Kruste während dieses Zeitabschnittes gebildet wurde, ist der Nordwestpazifik bisher am wenigsten untersucht.

Dyment et al. (2009) gehen von der Annahme aus, dass es während des Chron 34 zu erheblichen Schwankungen in der Stärke des Erdmagnetfeldes kam, ohne dass ein Wechsel der Polarität zustande kam. Die postulierten Schwankungen der Feldstärke könnten bei hinreichender Dauer und hinreichender Stärke ähnlich wie die Umkehrungen des Feldes zu

anderen Zeiten in den magnetischen Anomalien der jeweils gerade neu gebildeten Kruste an den ozeanischen Spreizungsrücken der Erde sichtbar sein. Danach müssten diese Anomalien überall in den Weltozeanen in Krusten gleichen Alters existieren und damit als Zeitmarken verwendbar sein. Dyment et al. (2009) haben in zwei tiefgeschleppten Magnetikprofilen aus dem Bereich von Chron 34 im Nordatlantik Hinweise auf eine solche zeitliche Korrelierbarkeit von magnetischen Anomalien gefunden.

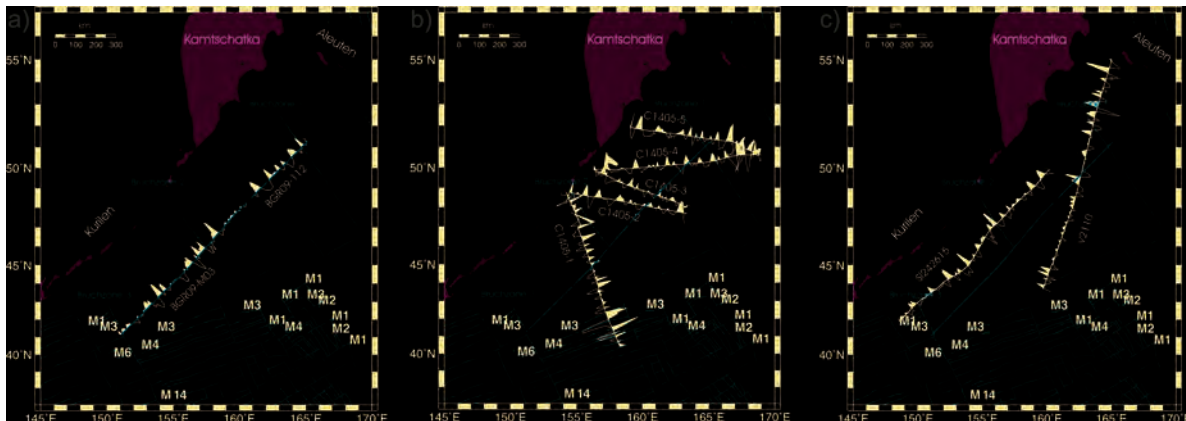


Abb. 8: Auswahl an magnetischen Profilen der Fahrt SO-201 (a), sowie Profilen aus der Datenbank Geodas, die im Bereich der kretazisch magnetisch ruhigen Zone des nordwestlichen Pazifik annähernd senkrecht (b) bzw. parallel (c) zu den Isochronen verlaufen. Die magnetischen Anomalien sind als wiggles über den Profillinien dargestellt. Rote Linien und M-Nummern sind identifizierte magnetischen Anomalien nach Cande et al., 1989.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden die Magnetikprofile der Fahrt SO-201 und andere geeignete Magnetikprofile (Abb. 8) auf die Frage hin untersucht, ob eine Korrelation von Anomalien entlang von Isochronen bzw. auf Linien senkrecht zu den Bruchzonen des Untersuchungsgebietes im Nordwestpazifik vor Kamtschatka möglich ist. Im optischen Vergleich der Profile ließen sich trotz erheblicher Amplituden der magnetischen Anomalien keine eindeutigen Belege für oder gegen diese These finden ließen (Abb. 9). Daher wurde ein statistischer Ansatz verfolgt: Auf Profilen die sowohl im Streichen der Isochronen als auch annähernd senkrecht dazu verlaufen, wurden die Amplituden und Wellenlängen der magnetischen Anomalien bestimmt und über bestimmte Abschnitte Mittelwerte gebildet. Gäbe es eine zeitliche Korrelation von Anomalien, dann sollten sich die Amplituden und Wellenlängen der Anomalien je nach Profilrichtung deutlich unterscheiden: Im Streichen der Anomalien sollten die Wellenlängen erheblich größer sein als auf Profilrichtungen senkrecht dazu. Für verschiedene Altersbereiche wären unter Umständen unterschiedliche Amplituden der Anomalien zu erwarten. Tatsächlich konnten solche Unterschiede nicht nachgewiesen werden. Stattdessen scheint es deutliche Unterschiede in den Anomalien zwischen Krustensegmenten zu geben, die durch die Bruchzonen begrenzt sind, ohne dass jedoch

irgendwelche Vorzugsrichtungen erkennbar werden. Wir vermuten, dass die offensichtlich unregelmäßig verteilten, überwiegend jedoch recht starken remanenten Magnetisierungen der ozeanischen Kruste in diesem Bereich einerseits von kleinräumigen Magnetfeldstrukturen während der Bildungsphase der Kruste und andererseits von unterschiedlicher Zusammensetzung der basaltischen Laven in benachbarten Krustensegmente geprägt werden.

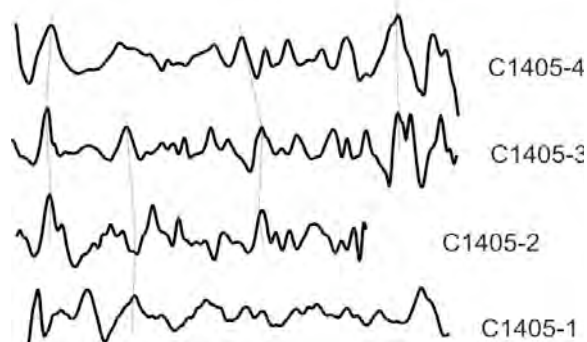


Abb. 9: Versuch einer Korrelation von magnetischen Anomalien auf parallelen Profilen senkrecht zu den Isochronen. Es konnte keine überzeugende Korrelation festgestellt werden.

Wärmestrommessungen

Während Leg 2 der KALMAR –Expedition (SO 201) konnten wegen der in der russischen Forschungserlaubnis enthaltenen Auflagen nur 7 Wärmestrommessungen mit der BGR Hard-Ground Sonde durchgeführt werden. Die Messpunkte wurden entlang einem Transect, ausgehend von der seeseitigen Flanke des Subduktions-Trenchs in Richtung Meiji Seamount angelegt. Motivation für diese Festlegung waren von russischen Wissenschaftlern publizierte Wärmestrom-Messdaten (siehe z. B. Sugrobov & Yanovsky, 1993), die erstaunlich hohe Wärmestromwerte im Umfeld des Meiji-Seamounts nahelegen. Diese Werte sind prinzipiell unerwartet, da sie auf kreidezeitlicher ozeanischer Kruste gemessen wurden, die inzwischen weitestgehend abgekühlt sein sollte. Unsere Messungen ergaben ebenfalls hohe Wärmestromwerte und bestätigen somit die früheren russischen Resultate.

Ziel war es, über numerische Modellierungen eine plausible Interpretation aller bekannten Messdaten zu erarbeiten. In einem ersten Schritt wurde versucht, die hohen Wärmestrommessungen über Zirkulationsprozesse von Fluiden zu erklären. Während die beobachteten hohen Wärmestromwerte zwanglos mit plausiblen Aufstiegsraten von Fluiden (im cm/a-Bereich liegend) erklärt werden können, zeigt sich eine Schwierigkeit darin, dass messtechnisch nicht genügend Flächen mit anomal geringem Wärmestrom ausgewiesen sind, durch welche Bodenwässer in die ozeanische Kruste eindringen, um dann nachfolgend unter den heutigen positiven geothermischen Anomalien aufzusteigen. Der flächenmäßigen

Ausdehnung von positiven geothermischen Anomalien sollte eine vergleichbare Fläche mit reduziertem Wärmestrom gegenüberstehen.

Deshalb wurde ein zweiter Ansatz verfolgt, der die erhöhten Wärmestromwerte als Folge einer steten Erosion der sedimentären Bedeckung der ozeanischen Kruste erklärt. Stete Erosion bringt mit der Zeit tiefere und somit wärmere Sedimentlagen näher zum Meeresboden, womit eine Erhöhung des am Meeresboden beobachtbaren Wärmestromes einhergeht. Dieser Interpretationsansatz ist in Übereinstimmung mit der beobachteten Härte der beprobten Sedimentlagen (Wärmestrom wie auch piston/gravity corer), die sich auch in den untypisch hohen gemessenen in-situ Wärmeleitfähigkeitswerten – Hinweis auf kompaktierte Sedimente - niederschlägt.

Literatur

- Andersen, O. B., Knudsen, P., Berry, P. and Kenyon, S. (2008): The DNSC08 ocean wide altimetry derived gravity field. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-07163
- Baranov B. V., Seliverstov N. I., Muravev A. V. & Muzurov E. L. (1991): The Komandorsky Basin as a product of spreading behind a transform plate boundary. *Tectonophysics* 199, 237–69
- Cande S. C., LaBrecque J. L., Larson R. L., Pitman W.C., Golovchenko X. and Haxby W. F. (1989): Magnetic lineations of the world's ocean basins, LDGO contribution 4267, AAPG, Tulsa, Oklahoma
- Cande S. C. and Kent D. V. (1995): Revised calibration of the geomagnetic polarity time-scale for the Late Cretaceous and Cenozoic, *J. Geophys. Res.*, 100, 6093-6095, 1995
- Caress D. W. and Chayes D. N. (2008): MB-System: Open source software for the processing and display of swath mapping sonar data. <http://www.mbari.org/data/mbsystem/> (Accessed April 2012)
- Duncan R. A., Tarduno J. A. and Scholl D. W. (2006): Leg 197 synthesis: Southward motion and geochemical variability of the Hawaiian hotspot. In: Duncan, R. A., Tarduno, J. A., Davies, T. A. and Scholl, D.W. (Eds.). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Volume 197*
- Dyment J., Gallet Y. and Hoise, E. (2009): First complete high resolution record of the Cretaceous Normal Superchron, *Am. Geophys. Union, Fall Meeting*, GP31A-05
- Ellis S. (1999): Geodynamic models of crustal-scale episodic tectonic accretion and underplating in subduction zones. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, Issue B7, pp.15169-15190
- Fedotov S. A. (1991): *Active volcanoes of Kamchatka*. Vol. 1 Moscow Nauka Publishers, 1991, 302 pp
- Gaedicke C., Baranov B., Seliverstov N., Alexeiev D., Tsukanov N. and Freitag R. (2000): Structure of an active arc-continent collision area; the Aleutian-Kamchatka junction. *Tectonophysics* 2000, Vol. 325, Issue 1-2, pp. 63-85
- Gaedicke C., Adam J., Barckhausen U., Bargeloh H-O., Behrens T., Demir Ü., Franke D., Freitag R., Goldmann F., Heyde I., Kallaus G., Ladage S., Lutz R., Tsukanov N., Pletsch T., Schrader U., Sievers A., Sukhoveev E., Thöle H., Zeibig M. and Ziehlke T. (2009) KALMAR Kurile-Kamchatka and ALeutian MARginal Sea-Island Arc Systems: Geodynamic and Climate Interaction. Cruise Report Sonne Cruise SO-201 Leg 1a

- ([http://kalmar.ifm-geomar.de/?download=Cruise Report SO201 Leg1a.pdf](http://kalmar.ifm-geomar.de/?download=Cruise+Report+SO201+Leg1a.pdf) (last access: 30.06.2011))
- Geist E. L. and Scholl D. W. (1994). Large-scale deformation related to the collision of the Aleutian Arc with Kamchatka. *Tectonics* 13(2), 538–560
- Initial Reports of Deep Sea Project. Wash. (D.C.): US gov, print, off 1973 Vol. 19, 1077
- Initial Reports of Deep Sea Project. Wash. (D.C.): US gov, print, off 1980 Vol. 55, 1000
- Johnson, J. M. and Satake K. (1999): Asperity Distribution of the 1952 Great Kamchatka Earthquake and its Relation to Future Earthquake Potential in Kamchatka. *Pure appl. Geophys.* 154, 541-533
- Karp B. and Medvedev S. (1989): Skorost prodolnykh voln v verchney chasty zemnoy kory Tikhogo okeana k vostoku ot Kamchatki. *Volcanology and Seismology*, 1989, N1, p.73-80
- Zimmer M., Skolotnev S., Tsukanov N. V., Gaedicke C. and Freitag R. (2000): Geochemistry of basit-hyperbasit complexes of the Kamchatka Cape peninsula. In: *Petrology and Metallogeny of the Kamchatka mafic-ultramafic complexes. Petropavlovsk-Kamchatsky. Scientific Meeting of the Kamchatka Division of the Russian Mineralogical Society (Petropavlovsk-Kamchatsky 2000)*, 48-50
- Mammerickx J. and Sharman G. F. (1988): Tectonic evolution of the North Pacific during the Cretaceous quiete period, *JGR* v.93B p. 3009-3024
- Norton I. O. (2007): Speculation on Cretaceous tectonic history of the Northwest Pacific and a tectonic origin for the Hawaii hotspot. *GSA Special papers* 2007, v. 430, p. 451-470
- Peacock D. C. P. and Sanderson D. J. (1995): Strike-slip relay ramps. *Journal of Structural Geology* Volume 17, Issue 10, Pages 1351–1360
- Pinegina T. K. (2001): Historical and paleo-tsunami deposits on Kamchatka, Russia; long-term chronologies and long-distance correlations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 1, Issue 4, pp.177-185
- Portnyagin M. V. and Manea V. C. (2008): Mantle temperature control on composition of arc magmas along the Central Kamchatka Depression. *Geology* 36(7), 519-522
- Ruppert N., Lees J. M. and Kozyreva N. P. (2007): Seismicity, Earthquakes and Structure Along the Alaska-Aleutian and Kamchatka-Kurile Subduction Zones: A Review. *Geophys. Mono. Series* 172
- Sandwell D. T. and Smith W. H. F. (2005): Retracking ERS-1 altimeter waveforms for optimal gravity field recovery, *Geophys. J. Int.*, 163, 79–89
- Scholl D. W., Hein J. R., Marlow M. S., Buffington E. C. (1977): Meiji sediment tongue: North Pacific evidence for limited movement between the Pacific and North American plates. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 88, N 11, p. 15676-1576
- Seliverstov N. I. (1998): The structure near Kamchatka offshore area and Geodynamic Kuril-Kamchatka and Aleutian Island arcs Junction area. *M. Nauchny Mir*, 164 p
- Stock J. (2003): Hotspot Come Unstuck. *Science* 301, p.1059-1060
- Sugrobov V. M. and Yanovsky F. A. (1993). Terrestrial heat flow, estimation of deep temperature and seismicity of the Kamchatka region, *Tectonophysics*, 217(1-2), 43-53.
- Tarduno J. A., Duncan R. A., Scholl D.W., Cottrell R. D., Steinberger B., Thordarson T., Kerr B. C., Neal C. R., Frey F. A., Torii M. and Carvallo, C. (2003): The Emperor seamounts: Southward motion of the Hawaiian hotspot plume in Earth's mantle, *Science*, 301, 1064-1069

Wessel P. and Smith W. H. F. (1995): New version of the Generic Mapping Tool released, EOS Trans. AGU, p.329, see also <http://gmt.soest.hawaii.edu>.

Zobin V. N. and Levina V. I. (2001): The Rupture Process of the Mw 7.8 Cape Kronotsky, Kamchatka Earthquake of 5 December 1997 and Its Relationship to Foreshocks and Aftershocks. Bulletin of the Seismological Societa of America 91(6), pp.1619-1628

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Mit den Personalmitteln wurden Wissenschaftler eingestellt, die mit der Akquisition, Auswertung und Interpretation der Daten betraut wurden. Die Ergebnisse wurden publiziert (siehe Anhang). Die Reisemittel wurden entsprechend der Beantragung für die Präsentation der Ergebnisse auf nationalen und internationalen Tagungen verwendet.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Um die geänderten, alternativen Ziele des Teilprojektes zu erreichen, erwiesen sich die gewählten Methoden und durchgeführten Arbeiten als grundsätzlich hervorragend geeignet, um die Fragestellungen auf hohem wissenschaftlichem Niveau zu beantworten.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die wissenschaftlichen Untersuchungen des KALMAR-Verbundvorhabens sind im Bereich der Grundlagenforschung anzusiedeln. Sie liefern einen Beitrag zum Verständnis der Entwicklung ozeanischer Seamountketten und von Scherzonen. Der Nutzen der Ergebnisse besteht in der Sammlung von grundlegenden geowissenschaftlichen Erkenntnissen. Zusätzlich entstand im Rahmen des Vorhabens eine Bachelorarbeit und drei Publikationen (peer review). Studentische Hilfskräfte wurden mit unterschiedlichen Aufgaben im Sinne des Vorhabens betraut und konnten so erste Erfahrungen bei der Mitarbeit in einem wissenschaftlichen Forschungsvorhaben sammeln. Eine weitergehende, wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse ist nicht vorgesehen.

II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit

Zu den hier behandelten Fragestellungen ist von dritter Seite während der Projektlaufzeit keine Veröffentlichung erschienen.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die Liste der Publikationen umfassen auch Arbeiten, die der ursprünglichen Intention des Projektes folgend gemeinsam mit KALMAR A – TP1 verfasst wurden. **Fett** hervorgehobene Publikationen liegen dem Bericht als PDF-Datei auf der CD-ROM bei.

Barckhausen U. und Muff S. (2011): Der kretazische Superchron im Nordwest-Pazifik. 71. Jahrestagung DGG, ME P01, S. 109, Köln 2011 (Poster)

Barckhausen U. und Muff S. und Gaedicke C. (2011): Der kretazische Superchron im Nordwest-Pazifik. Statusseminar Meeresforschung mit FS Sonne, Hannover 09.-10. Februar 2011 (Poster)

Baranov B., Gaedicke C., Freitag R. (2010): Active faults of south-eastern Kamchatsky and Komandorsky shear zone. Vestnik Kraunc. 16/2, 66-77

Baranov B., Gaedicke C., Freitag R. (2009): Active faults of the southeastern Kamchatsky Peninsula: rotation or indentation model? Terra Nostra, Vol 2009/1: 16-17, Poster

Delisle G. (2011): Positive Wärmestromanomalie in der subduzierenden Platte vor Kamtschatka. Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE, 09.-10. Februar 2011 in Hannover

Delisle G. (2011): Positive geothermal anomalies in oceanic crust of Cretaceous age offshore Kamchatka. Solid Earth, 2, 191-198. DOI: 10.5194/s2-2-191-2011.

Gaedicke C., Baranov B. (2009): Studying Tectonic Processes at Active Continental Margins: Geophysical Research with RV SONNE during SO201-KALMAR Leg 1a. Terra Nostra, Vol. 2009/1: 16-17, Talk

Gaedicke C., Freitag R., Barckhausen U., Franke D., Ladage S., Schnabel M. and Tsukanov N. (2010): Subducting fracture zones control earthquake distribution and upper plate properties: examples from Sumatra and Kamchatka. American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting. Poster

Gaedicke C., Barckhausen U., Berglar K., Franke D., Freitag R., Heyde I., Ladage S., Lutz R., Pletsch T., Schnabel M., Thöle H., Tsukanov N. (2010): The influence of subducting fracture zone on earthquake distribution at active margins: examples from Sumatra and Kamchatka - Results from RV SONNE cruises SO186 and SO201. GeoDarmstadt, 9.-14. Oktober 2010. Schriftenreihe d. Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften; 68

Gaedicke C., Barckhausen U., Franke D., Freitag R., Heyde I., Ladage S., Lutz R., Tsukanov N., Pletsch T., Sukhooev E., Thöle H. (2011): SO201 Leg 1a KALMAR - Geophysikalische Messungen im Nordwest-Pazifik: Eine Übersicht Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE, 09-10 Februar, Hannover, 149-152

Heyde I., Franke D., Freitag R., Gaedicke C. & Tsukanov N. (2011): SO201 Leg 1a KALMAR - Ergebnisse der seegeophysikalische Messungen im nördlichen Bereich der Emperor-Seamount-Kette. Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE, 09.-10. Februar 2011 in Hannover

Heyde I., Franke D., Freitag R. & Gaedicke C. (2011). Marine geophysikalische Messungen im nördlichen Bereich der Emperor Seamount Kette. Tagungsband 71. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, S. 121, Februar 2011, Köln

Heyde I., Franke D., Freitag R., Gaedicke C. & Tsukanov, N. (2011): Marine geophysical measurements in the northernmost part of the Emperor Seamount Chain in the Northwest Pacific. EGU General Assembly, April 2011, Vienna, Austria. Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-8421-1.

- Freitag R. (2009): Deformation and mechanical coupling of an active fore-arc in space and time, Kamchatka, Russian Federation. *Terra Nostra*, Vol. 2009/1: 27-28, Talk
- Freitag R., Gaedicke C., Tsukanov N., Ladage S., Franke D., Lutz R. (2011): SO201 - Leg 1a: Die Krusenstern - Bruchzone: Eine reaktivierte kretazische Transformstörung? Statusseminar Meeresforschung mit FS SONNE, 09-10 Februar, Hannover, 153-156 (talk & poster)
- Freitag R., Gaedicke C., Tsukanov N. V., Barckhausen U., Franke D., Heyde I., Ladage S., Lutz R., Schnabel M. (2011): The Krusenstern Fault, NW Pacific: A reactivated cretaceous transform fault? 7th Biennial Workshop on JKSAP 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, August 25-30, 2011
- Freitag R., Pflanz D., Gaedicke C., Tsukanov N. V., Baranov B., Krbetschek M. (2011): Surface uplift and rock exhumation of morphotectonic blocks at the active fore-arc of Kamchatka, Russia, 7th Biennial Workshop on JKSAP 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, August 25-30, 2011 (poster)
- Freitag R., Gaedicke C., Tsukanov N., Barckhausen U., Franke D., Heyde I., Ladage S., Lutz R., Schnabel M. (2011): The Krusenstern Fault, NW Pacific. Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU General Assembly 2011. Poster**
- Freitag R., Pflanz D., Gaedicke C., Tsukanov N., Baranov B. & Krbetschek M. (2010): Exhumation and uplift of morphotectonic blocks and segmentation of the active fore-arc of Kamchatka, Russia. *GeoDarmstadt* 9.-14. Oktober 2010; Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften; 68
- Pflanz D., Freitag R., Krbetschek M., Tsukanov N., Baranov B. (2009): Tectonic geomorphology at the eastern coast of Kamchatka Cape Peninsula, Russia; 7th International Conference on Geomorphology, Melbourne 6.-11. July 2009, Poster
- Pflanz D., Gaedicke C., Freitag R., Krbetschek M. Tsukanov N., Baranov B. (subm. 02/2012): Neotectonics and recent uplift on Kamchatka Cape Peninsula (Russia). Submitted to International Journal of Earth Sciences (02/2012)**
- Thöle H., Gaedicke C., Ladage S., Berglar K. (2009): Comprehensive Analysis of Forearc Structures Using Swath Bathymetry and Seismic Data: An Example from the Sumatra Forearc Region, *Terra Nostra*, Vol 2009/1: 16-17, Poster
- Tsukanov N. V., Gaedike C., Baranov B., Dozorova K. A., Freitag R. (2011): Structure of the uppermost sedimentary layers in Kamchatka - Aleutian Island Arc Junction area from high resolution echosound data (SO-201 LEG 2 KALMAR), 7th Biennial Workshop on JKSAP 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, August 25-30, 2011 (Poster)

Bachelorarbeit

Muff S. (2010): Auswertung und Interpretation paleo-magnetischer Messdaten der Forschungsfahrt SO-201 Leg 1a aus dem geologischen Zeitabschnitt der kretazisch magnetisch ruhigen Zone im Nordwest-Pazifik. Bachelorarbeit Leibniz Universität Hannover.

Die Arbeit liegt als PDF-Datei dem Bericht auf der CD-ROM bei.

Öffentlichkeitsarbeit

Gaedicke C. (Juli 2009): Filmbeitrag RTL-Nord. Der Filmebeitrag findet sich auf der Berichts-CD.

Über das Verbundvorhaben wurde in mehreren regionalen Zeitungen berichtet. Eine Pressemitteilung befindet sich auf der Berichts-CD.

KALMAR präsentiert sich mit einer eigenen Webseite unter <http://kalmar.ifm-geomar.de>

**Abschlussbericht zum KALMAR Teilprojekt 3B:
Vulkanische und magmatische Entwicklung der Kamtschatka-
Aleuten-Triple-Junction in Raum und Zeit**

Projektleiter: Prof. Dr. Kaj Hoernle
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
GEOMAR
Wischhofstraße 1-3
24148 Kiel
Tel.: 0431/ 600-2642
Fax: 0431/ 600-2924
E-Mail: khoernle@geomar.de

Projektmitarbeiter: Dr. Maxim Portnyagin

Förderkennzeichen: 03G0672A

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2009 – 31.12.2011

Inhalt:**I. EINLEITUNG**

I.1 Aufgabenstellung	69
I.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	69
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	70
I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes	71
I.5 Zusammenarbeit mit Dritten	71

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	73
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	83
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	83
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	84
II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit	85
II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	85

III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT (vertraulich hier nicht enthalten)

III.1 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen	93
III.2 Wissenschaftlich-technischer Erfolg des Vorhabens	93
III.3 Verwertbarkeit der Ergebnisse	94
III.4 Ungelöste Fragestellungen	94
III.5 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans	96

I. EINLEITUNG

I.1 Aufgabenstellung

Im Teilprojekt 3 von KALMAR sollte die räumliche, zeitliche und kompositionelle Entwicklung des mit der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction assoziierten Magmatismus mit vulkanologischen, petrologischen, geochemischen und geochronologischen Methoden detailliert untersucht werden. Teilprojekt 3 war amphibisch angelegt mit landgestützten Untersuchungen auf Kamtschatka und den westlichen Aleuteninseln, die in der ersten Phase (Teilprojekt 3A) durchgeführt wurden. Diese sehr erfolgreichen Untersuchungen (s. Abschlußbericht KALMAR A) lieferten wichtige Grundlagen für die marinen Untersuchungen im Nordwestpazifik vor Kamtschatka, im Bereich der West-Aleuten und in der Beringsee (Komandorskybecken), die in der zweiten Phase (Teilprojekt 3B) vorgenommen wurden und die Gegenstand dieses Berichtes sind. Die wichtigsten Ziele waren dabei (1) eine Kartierung der Mantelzusammensetzung im Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction, (2) die Gewinnung von Informationen über den Subduktionsinput in diesem Bereich, (3) neue Erkenntnisse über die Rolle pyroxenitischer gegenüber peridotitischer Mantelquellen an Arcs zu gewinnen, und (4) zur Rekonstruktion der frühen, bisher weitgehend unbekanntes Geschichte des Hawaii-Plumes beizutragen. Durch Integration der Ergebnisse aus beiden Projektphasen sollten die zeitliche und räumliche Entwicklung des Magmatismus sowie die physiochemischen Bedingungen bei der Magmengenese im Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction rekonstruiert werden. Damit sollten auch die Ursachen für die derzeitige Zunahme der vulkanischen Aktivität auf Kamtschatka und die Auswirkungen der aktivsten und produktivsten Subduktionszonenvulkane der Erde (Klyuchevskoy- und Shiveluch-Vulkankomplexe in Kamtschatka) auf das lokale und globale Klima charakterisiert werden. Diese Arbeiten sollten dazu beitragen, ein geodynamisches Modell zum Ursprung und zur Entwicklung des Magmatismus im Bereich der Kamtschatka- Aleuten-Triple-Junction zu entwickeln und so unser Verständnis der Ursachen von Vulkankatastrophen im Nordwestpazifik und der Auswirkungen des Vulkanismus auf Kamtschatka auf Klimaänderungen im Holozän zu verbessern.

I.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Ziele von KALMAR TP3B wurden auf der Basis unserer vorangegangenen Untersuchungen im Rahmen von KOMEX II (K. Hoernle, R. Werner), DFG-Projekten (K. Hoernle, M. Portnyagin) und KALMAR TP3A (K. Hoernle, M. Portnyagin) sowie verschiedenen Projekten der Russian Science Foundation (an M. Portnyagin, N. Mironov, A. Plechova, V. Ponomareva) und der Far-East Division of the Russian Academy of Sciences (an N. Gorbach, D. Savelyev) zum rezenten Vulkanismus auf Kamtschatka und den

Küstenophioliten formuliert. Die Daten und Gesteinsproben, die im Rahmen dieser Projekte gewonnen wurden, wurden genutzt, um zusammen mit den neuen Proben, die während den KALMAR-Ausfahrten SO201 Leg 1b und Leg 2 gewonnen wurden, die Ziele von TP3B zu erreichen. Während TP3B wurde die Datenbasis und die existierende Sammlung von vulkanischen Gesteinen aus dem Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction (Kamtschatka, Aleutenbogen, Beringsee, Nordwestpazifik) wesentlich erweitert. Weiterhin wurde während TP3A eine Datenbank der Zusammensetzung von silizischen Aschen von der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction aufgebaut, um ein gut datiertes tephrochronologisches Gerüst zu erstellen, dass nicht nur ein Altersmodell für die geochemischen Untersuchungen in KALMAR TP3 liefert, sondern auch für die Korrelationen der Land- und Seeablagerungen mit den marinen Ablagerungen in den Teilprojekten TP4 und TP5. Diese Datenbank wurde während TP3B weiter gepflegt und ausgebaut (s.a. Abschnitte I.3 und II.1)

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Vorhabens entsprach im wesentlichen der von uns im Antrag vorgeschlagenen Arbeits- und Zeitplanung.

Marine Expeditionen

Da für die in russischen Gewässern geplanten geophysikalischen Arbeiten (TP2) von SO201 Leg 1 keine Genehmigung durch die russischen Behörden erteilt wurde und daher nur ein verkürztes Messprogramm in internationalen Gewässern durchgeführt wurde, konnte durch TP3B eine zusätzliche petrologische Beprobung während SO201 Leg 1b im NW-Pazifik, am Aleutenbogen und am Bowersrücken in der Beringsee durchgeführt werden und so unser Daten- und Probensatz auf optimale Weise ergänzt bzw. erweitert werden.

Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse der während der FS SONNE-Reisen SO201 Leg 1b und SO201 Leg 2 im Rahmen von TP3B durchgeführten Kartierungen und Hartgesteinsbeprobungen sowie der dabei gewonnenen Proben findet sich in der Fahrtberichten von diesen Reisen (Werner und Hauff 2009, IFM-GEOMAR-Report 32; Dullo et al. 2009, IFM-GEOMAR-Report 35). Insgesamt erbrachten die Sonne-Reisen insbesondere aufgrund der zusätzlich in Arbeitsprogramm aufgenommenen Reise SO201 Leg 1b einen erheblich größeren Proben- und Datensatz für TP3B als bei Beantragung erwartet worden war. Im einzelnen wurden statt der ursprünglich geplanten 36 Dredgestationen nun insgesamt 75 Stationen durchgeführt, wovon 55 Stationen in situ magmatische Gesteine, 18 sedimentäre Gesteine und 19 Mn-Fe-Oxide erbrachten.

Laborarbeiten

Die Laborarbeiten zur Aufbereitung der Proben für die chemischen Analysen wurden stets unmittelbar nach Ankunft der Proben am GEOMAR begonnen. Über 140 der neuen Gesteinsproben wurden komplett aufbereitet und mittels Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA) auf Haupt- und einige Spurenlemente analysiert. Für repräsentative Proben vom Piip-Vulkan (13 Proben), vom Bowers- und Shirshovrücken (14 Proben), der Stalemate Fracture Zone (10 Proben) und von den Emperor Seamounts (12 Proben) wurden die Spurenelement- und Sr-Nd-Pb-Isotopenzusammensetzung bestimmt. Etwa 300 vulkanische Gläser und Schmelzeinschlüsse in Proben von Piip-Vulkans wurden mit der Mikrosonde auf Haupt- und Spurenlemente sowie Volatile (Cl, S, H₂O) untersucht. Über 1.000 Olivinkristalle in Proben vom Piip-Vulkan und von den Emperor Seamounts wurden mit der Mikrosonde auf Haupt- und Spurenlemente untersucht.

Insgesamt bildete das auf den Expeditionen gewonnene Daten- und Probenmaterial eine hervorragende Grundlage für die verschiedenen weiterführenden, im Antrag umfassend dargestellten Laborarbeiten und Analysemethoden, aus denen die unten vorgestellten Ergebnisse resultierten.

Weiterhin ist nun durch die systematische Untersuchung der Glaszusammensetzung anhand von den während TP3A/Landexpeditionen und TP3B/SO201 Leg 2 gewonnenen Tephraproben von großen explosiven Ausbrüchen auf Kamtschatka eine umfangreiche Datenbank für die Zusammensetzung von silizischen Aschen von der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction verfügbar, die jetzt u.a. 5.000 neue, qualitativ hochwertige Glasanalysen von 200 Tephraproben umfasst.

I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes

Der wissenschaftlich-technische Stand wurde im Antrag zu dem Forschungsvorhaben KALMAR TP3B ausführlich beschrieben.

I.5 Zusammenarbeit mit Dritten

Neben der engen Zusammenarbeit mit den verschiedenen KALMAR TPs hat TP3B während der Laufzeit des Vorhabens mit verschiedenen weiteren Stellen im In- und Ausland intensiv und erfolgreich zusammengearbeitet. Diese Kooperationen, die zukünftig im Rahmen anderer Projekte fortgeführt werden sollen, erbrachten zahlreiche Ergebnisse, die in Abschnitt II.1. dargestellt sind und die teilweise bereits in Manuskripte eingeflossen sind. Unsere wichtigsten Kooperationspartner sind:

- Dr. Folkmar Hauff (GEOMAR, Kiel): Sr-Nd-Pb-Isotopenanalytik.
- Dr. Paul van den Bogaard (GEOMAR, Kiel): Ar-Ar Datierung.
- Dr. Dieter Garbe-Schönberg (Institut für Geowissenschaften, CAU, Kiel): ICP-MS.

- Prof. Boris Baranov (Institute of Oceanology, Moscow): Bathymetrie, Tektonik und Geodynamik
- Dr. Vera Ponomareva (Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky): Tephra
- Dr. Alexander Derkachev (Institute of Oceanology, Vladivostok): Marine Tephra
- Prof. Dr. Alexander Sobolev (MPI, Mainz; Vernadsky Institute, Moscow): präzise Olivin Analysen.
- Dr. Sergei Simakin (Yaroslavl Physico-Technical Institute, Yaroslavl, Russia): Ion Probe Analysen
- Dr. Sergei Silantyev (Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Moskau): Petrologie und Geochemie der ozeanische Lithosphere
- Prof. Dr. Gene Yogodzinski (Dept. of Geological Sciences, University of South Carolina, U.S.A.): Petrologie und Geochemie des Aleutenbogens

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

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

Thema/Ziel 1: Kartierung der Mantelzusammensetzung im Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction

Um die Zusammensetzung und einen möglichen Mantel-Flow von oberem Mantel an der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction zu untersuchen und um die Hypothese zu testen, dass angereicherter Mantel durch ein Slab-Window unter dem westlichen Aleutenbogen von der pazifischen Seite nach Norden zum Komandorskybecken und nach Nord-Kamtschatka fließt, wurden während SO201 Leg 2 Gesteine von der Gamma-Störungszone im Komandorskybecken und an der Basis des Piip-Vulkans beprobt. Diese Gesteine wurden im spätem Miozän gebildet und ihre Spurenelement- und Isotopensignaturen (z.B. $La/Yb < 1$, $^{87}Sr/^{86}Sr < 0.7030$; $^{206}Pb/^{204}Pb < 18$) sind typisch für verarmten N-MORB ("normaler mittelozeanischer Rückenbasalt"). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass angereicherter Mantel nicht zur Mantelquelle der spätmiozänen Basalte des Komandorskybecken beigetragen hat. Möglicherweise existierte das Slab-Window unter den westlichen Aleuten zu dieser Zeit nicht, so dass ein Mantel-Flow nach Norden verhindert wurde. Dies schließt jedoch nicht aus, dass der Mantel-Flow ein relativ rezenter Prozess (d.h. post-Miozän) ist. Diese Hypothese kann durch die Beprobung jüngerer Gesteine aus dem Komandorskybecken überprüft werden, die wir in einem Gebiet mit anormal hohem Heat-Flow im Norden der Beta-Störungszone erwarten. Daher planen wir eine detaillierte bathymetrische Kartierung und Beprobung von vulkanischen Gesteinen aus diesem Gebiet im Rahmen einer in Beantragung befindlichen Sonne-Reise. Geochemische Untersuchungen dieser Gesteine würden die Fragen beantworten, ob der vorgeschlagene nach Norden gerichtete Mantel-Flow unter dem westlichen Aleutenbogen wirklich existiert und was seine Auswirkungen auf den Magmatismus an der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction sind.

Thema/Ziel 2: Informationen über den Subduktionsinput im Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction

Eine komplette Abfolge der ozeanischen Lithosphäre vor Kamtschatka und dem westlichen Aleutenbogen, die Mantelperidotite, Gabbros und basaltische Gänge und Laven umfasst, konnte während SO201 Leg 1b entlang der Stalemate Fracture Zone, an dem abgestorbenen Kula-Pacific-Rift und von der benachbarten pazifischen Platte beprobt werden. Wir schätzen diese Gesteinsserie als repräsentativ für den Eintrag (krustale Komponente ohne Seamounts) in die Subduktionszone an der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction ein. Von allen diesen Gesteinsproben wurde die Hauptelementzusammensetzung analysiert, von ausgewählten Proben weiterhin die Spurenelementzusammensetzung sowie

die Sr-Nd-Pb-Isotopneverhältnisse. Die Auswertung dieser Daten ist noch nicht vollständig abgeschlossen und es sind weitere, detailliertere geochemische Untersuchungen sowie eine erweiterte Beprobung mit FS Sonne geplant. Im derzeitigen Stadium der Arbeiten sind detaillierte petrologische Untersuchungen der tiefsten Teile der ozeanischen Lithosphäre (residuale Mantelperidotite), die an der Stalemate Fracture Zone aufgeschlossen sind, bereits abgeschlossen. Die Arbeiten umfassten u.a. Untersuchungen der Bedingungen bei ihrer Bildung an einem Paläo-Spreizungszentrum und der folgenden Niedrigtemperatur-Alteration. Aus diesen Arbeiten resultieren bisher zwei Veröffentlichungen und eine Doktorarbeit von Elizaveta Krasnova (Vernadsky Institut, Moskau):

Silant'ev SA, Novoselov AA, Krasnova EA, Portnyagin MV, Hauff F, Werner R (2012) Silicification of Peridotites at the Stalemate Fracture Zone (Northwestern Pacific): Reconstruction of the Conditions of Low-Temperature Weathering and Tectonic Interpretation: *Petrology* 20: 21-39, DOI: 10.1134/S0869591112010055

Diese Veröffentlichung befasst sich mit während SO201 Leg 1b am östlichen Hang des nordwestlichen Segments der Stalemate Fracture Zone gedredgten Mantelperidotiten (Dunite und Lherzolithen), auf die unterschiedliche sekundäre Alteration eingewirkt hat. Das häufige Auftreten von amorphen Silizium und Quarz, sehr hohe SiO_2 -Gehalte von bis zu 88,7 wt.% und ungewöhnlich niedrige MgO-Gehalte (max. 1,4 wt.%) in den serpentinisierten Duniten unterscheiden diese von den bekannten Produkten, die sich bei hydrothermalen- und Niedrig-Temperatur- (Ozeanboden-)Alteration von Peridotiten in der ozeanischen Kruste bilden. Ergebnisse von Modellierungen mit dem GEOCHEQ-Programm zeigen, dass die geochemischen und mineralogischen Merkmale der Dunite von der Stalemate Fracture Zone auf eine Niedrig-Temperatur-Deserpentinisierung unter subaerischen Bedingungen zurückzuführen sind und belegen damit eine ungewöhnlich starke vertikale Bewegung dieses Teils der ozeanischen Lithosphäre seit seiner Bildung in der Kreide/Paläogen.

Krasnova E, Portnyagin M, Silant'ev S, Hoernle K, Werner R (2012) Two-stage evolution of mantle peridotites from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific): *Geochemistry International*, in Revision.

In dieser Arbeit präsentieren wir Daten einer mineralogischen Untersuchung an Mantelperidotiten, die während SO201 Leg 1b am nordwestlichen Segment der Stalemate Fracture Zone gedredgt worden sind. Die Ergebnisse dieser Arbeiten deuten darauf hin, dass die Lherzolithen der Stalemate Fracture Zone durch 10-12% Aufschmelzung von DMM (Depleted MORB Mantle)-artigem Mantel unter dem Kula-Pazifik-Spreizungszentrum entstanden. Die Dunite entstanden durch Interaktion von residualem Lherzolith mit Na- und Ti-reichen Schmelzen und repräsentieren wahrscheinlich Fragmente eines Netzwerkes von Dunitadern in aufsteigendem Mantel. Die moderat refraktische Zusammensetzung der

Minerale der Lherzolithe der Stalemate Fracture Zone unterscheidet diese Gesteine von den stark verarmten Peridotiten des East Pacific Rise und zeigt, dass während der Kreide und des Paläogens langsam spreizende mittelozeanische Rücken im Pazifik existierten.

Thema/Ziel 3: Die Rolle pyroxenitischer gegenüber peridotitischer Mantelquellen an Arcs

Eines der wichtigsten Ergebnisse von KALMAR TP3A war, dass erstmals die Bedeutung pyroxenitischer Quellen für den Ursprung primärer Magmen der Central Kamtchatka Depression erkannt wurde. Im nächsten Stadium dieser Untersuchungen haben wir im Rahmen von TP3B anhand der Analyse der Spurenelementkonzentrationen in Magnesium-reichen Olivinen von primitiven Gesteinen des Piip-Vulkans die Hypothese getestet, dass Pyroxenite genauso bedeutend sind für die Magmengenese im westlichen Aleutenbogen.

Unsere neuen Ergebnisse deuten darauf hin, dass die ältesten Gesteine vom Basement und den Flanken des Piip-Vulkans (Komandor-Serie) aus peridotitischen Quellen stammen (Abb. 1). Die jüngeren Magnesium-reichen Andesite der Piip-Serie stammen jedoch aus einer gemischten, peridotitischen und pyroxenitischen Quelle mit bis zu 30% Anteil der Pyroxenitkomponente im Magma. Der Pyroxenitanteil korreliert positiv mit dem Sr/Y-Verhältnis der Gesteine. Die Extrapolation dieser Korrelation auf ein Sr/Y-Verhältnis von ca. 170, das für A-Typ-Adakite aus dem westlichen Aleutenbogen charakteristisch ist, weist darauf hin, dass die Adakite aus rein pyroxenitischen Quellen stammen könnten (Abb. 1). Vor diesen Untersuchungen wurde allgemein davon ausgegangen, dass A-Typ-Adakite direkt aus subduzierter ozeanischer Kruste stammen. Unsere neuen Ergebnisse deuten dagegen auf einen mehrphasigen Prozess für den Ursprung von Adakiten hin: (1) Aufschmelzen von subduzierter ozeanischer Kruste, (2) Reaktion der Schmelzen aus der subduzierten Platte mit Mantelperidotiten wobei sich Pyroxenite bilden und (3) Schmelzen der Pyroxenite.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen, die zur Zeit zur Veröffentlichung vorbereitet werden, weisen somit darauf hin, dass - im Gegensatz zur bisherigen Lehrmeinung - pyroxenitische Mantelquellen bei der Bildung von Arc-Magmen eine bedeutende Rolle spielen.

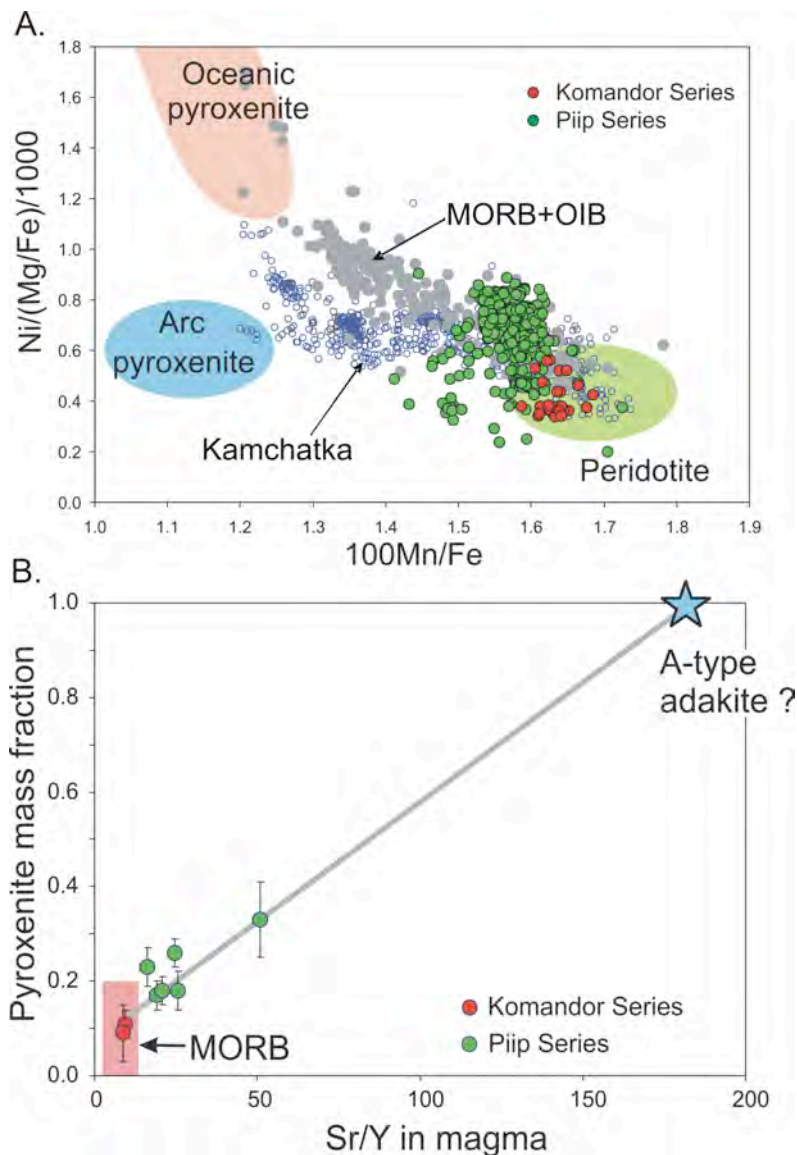


Abb. 1: Beweis für den Ursprung primärer Magmen des Piip-Vulkans aus gemischten, peridotitischen und pyroxenitischen Mantelquellen. (A) Systematik von Spurenelementen in Magnesium-reichen Olivinen des Piip-Vulkans im Vergleich mit der Zusammensetzung von Olivinen aus ozeanischen Magmen (graue Punkte) und aus der Central Kamchatka Depression (kleine blaue Punkte). Felder für Olivine aus aus peridotitischen und pyroxenitischen Quellen nach Sobolev et al. (2007, Science 316) und Portnyagin et al. (2009, GCA 73, 13). (B) Korrelation zwischen dem anhand der Zusammensetzung von Olivin-Phänokristallen kalkulierten Anteil der pyroxenitischen Komponente und dem Sr/Y-Verhältnis im Magma. A-Typ-Adakite aus den westlichen Aleuten haben ein Sr/Y-Verhältnis von ca. 170 und könnten aus rein pyroxenitischen oder eklogitischen Quellen stammen.

Thema/Ziel 4: Rekonstruktion der frühen, bisher weitgehend unbekanntes Geschichte des Hawaii-Plumes

Um die frühe, bisher unbekanntes Geschichte des Hawaii-Plume zu rekonstruieren, haben wir während SO201 Leg 1b und Leg 2 Beprobungen an den nordöstlichen Emperor Seamounts (Meiji, Suizei, Tenji) im NW-Pazifik und an den Bowers- und Shirshovrücken in der Beringsee, die nach Steinberger et al. (2007, Geology 35) Teile der mesozoischen Hawaii-

Hotspotspur repräsentieren, durchgeführt. Innerhalb des Zeitrahmens von TP3B haben wir an den dabei gewonnenen Gesteinsproben eine umfangreiche Analytik durchgeführt. Ein Teil der dabei gewonnenen Daten muss jedoch noch ausgewertet werden. Diese Arbeiten, deren bisherigen Ergebnisse auf ein erhebliches Interesse bei der internationalen geowissenschaftlichen Gemeinschaft gestossen sind, werden zur Zeit fortgeführt. Bisher haben wir uns im wesentlichen auf die Frage konzentriert, ob die Bildung der Shirshov- und Bowersrücken auf den Vulkanismus des Hawaii-Plume zurückzuführen ist oder nicht. Bisher resultierte neben zahlreichen Konferenzbeiträgen ein wissenschaftlicher Artikel aus diesen Arbeiten, die Vorbereitung eines weiteren ist nahezu abgeschlossen. Daneben waren diese Untersuchungen ein Schwerpunkt der Diplomarbeit von Maren Wanke (s.a. Abschnitt. II.6)

Wanke M, Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, van den Bogaard P, Garbe-Schönberg D (2012) Bowers Ridge (Bering Sea): An Oligocene - Early Miocene Island Arc. Geology, im Druck.

In dieser Arbeit werden geochemische Daten und der $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter vom vulkanischen Basement des Bowersrückens und eines Seamounts am westlichen Ende des Rückens präsentiert. Beide Strukturen wurden während SO201 Leg 1b erstmals erfolgreich beprobt. Das Basement des nördlichen Bowersrückens (26 - 32 Ma) besteht aus mafischen bis intermediären kalkalkalinen Gesteinen mit adakite-artigen, an HFSE (High Field Strength Element) verarmten Spurenelementmustern und einer Sr-Nd-Pb-Isotopenzusammensetzung, die im Bereich der Gesteine des westlichen Aleutenbogens liegt. Die Geochemie dieser Gesteine kann mit einer sehr schrägen Subduktion entlang des nördlichen Teil des Bowersrückens in seiner heutigen Konfiguration erklärt werden. Unsere Daten sprechen gegen eine Bildung des Bowersrückens durch den Hawaii-Plume und sind konsistent mit einem *in situ* Ursprung des Rücken als känozoischer Inselbogen.

Wanke M, Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, van den Bogaard P, Garbe-Schönberg D (2012) Late Cretaceous to Early Paleocene island arc volcanism at Shirshov Ridge (Bering Sea). Lithos, in Vorbereitung.

In dieser Arbeit stellen wir neue geochemische Daten und Altersdatierungen von zwei unterschiedlichen Gesteinsserien vor, die während SO201 Leg 2 am Shirshovrücken gedredgt wurden. Unsere Daten zeigen, dass einige Teile des Shirshovrückens Fragmente eines Inselbogens aus der späten Kreide und dem frühen Paläozän (69 - 65 Ma) sind. Beide Gesteinsserien zeigen in ihrer geochemischen Zusammensetzung und Isotopie starke Ähnlichkeiten mit den Gesteinen des Bowersrückens, des westlichen Aleutenbogens, von der Karaginski Insel (Beringsee) und der Kumroch Range im Kamtschatka. Geochemie und Altersdaten belegen einen allochthonen Ursprung des Shirshovrückens, möglicherweise als

Teil des spätkretazischen bis frühtertiären Olyutorskybogens, der vor Ausbildung des westlichen Aleutenbogens von Süden her in die Beringsee riftete.

Andere KALMAR TP3 A+B relevante Ergebnisse (publizierte oder in Vorbereitung zur Veröffentlichung befindliche Arbeiten)

Unter anderem aus der zusätzlichen Sonne-Reise SO201 Leg 1b und aus der Fortführung der Untersuchungen von KALMAR TP3A resultierten weitere Ergebnisse, die bereits veröffentlicht wurden oder deren Veröffentlichung in Vorbereitung ist. Diese Arbeiten werden hier kurz vorgestellt und deren bisherige Ergebnisse zusammengefasst.

1. Junger Vulkanismus im westlichen Aleutenbogen

Eine herausragende Errungenschaft der FS Sonne-Reisen im Rahmen von KALMAR war die Entdeckung bisher unbekannter junger submariner Vulkanbauten im westlichen Aleutenbogen. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich im Gegensatz zur bisherigen Ansicht junger Vulkanismus ohne Unterbrechung entlang des gesamten Aleutenbogens ereignet, sich aber die Bedingungen der Magmenbildung entlang des Streichens des Arcs signifikant ändern. Unsere Daten zur Zusammensetzung der neu entdeckten Vulkankegel sowie neue Daten aus TP3B zur Zusammensetzung der Gesteine des Piip-Vulkans und von Vulkankegeln aus der Ingenstrem Depression im Aleutenbogen liefern somit wichtige Informationen über den Ursprung der Magmen des westlichen Aleutenbogens.

Die submarinen Laven aus der Ingenstrem Depression und von den neu entdeckten westlichen Vulkankegeln weisen die radiogensten Nd- und HF-Isotopenzusammensetzungen des Aleutenbogens auf (Abb. 2). So gesehen sind diese ähnlich wie die des Piip-Vulkans, die MORB-artige Isotopenzusammensetzungen aufweisen, was zeigt, dass der Anteil an subduzierten Sedimente (oder recycelter kontinentaler Kruste) in ihrer Quelle sehr gering war.

Alle submarinen Laven der westlichen Aleuten haben generell ähnliche Isotopenzusammensetzungen (Abb. 2), aber ihre Spurenelementmuster sind höchst variabel und zeigen eindeutig, dass eine Vielzahl von Prozessen bei ihrer Bildung involviert waren. Dies zeigt sich besonders deutlich bei den Laven aus der Ingenstrem Depression und von den westlichen Vulkankegeln, die häufig hohe Sr-Konzentrationen (> 1.000 ppm) und stark fraktionierte Spurenelementmuster (z.B. $\text{La/Yb} > 10$, $\text{Sr/Y} > 100$; Abb. 2) aufweisen, was mit einer signifikanten Präsenz von residualem Granat in ihrer Quelle konsistent ist. Ein noch stärker auffallender Aspekt der Laven der Ingenstrem Depression und der westlichen Kegel sind ihre geringen relativen Konzentrationen an Ta und Nb, was sich z.B. an stark erhöhten La/Nb und La/Ta-Verhältnissen zeigt (Abb. 2). Kombiniert zeigen die Isotopen- und

Spurenelementcharakteristika, dass die MORB-artige Isotopie und stark fraktionierten Spurenelementmuster der Laven der Ingenstrem Depression und der westlichen Vulkankegel auf Liquide (wasserhaltige Fluide oder hydratisierte Schmelzen) zurückzuführen sind, die aus subduzierten Basalten extrahiert wurden.

Modellierungen zeigen, dass Liquide aus der subduzierten Platte bei 850 - 950°C und 4 GPa die relativen Konzentrationen einer Vielzahl von Spurenelementen in Laven aus dem westlichen Aleutenbogen korrekt widerspiegeln. Diese physikalischen Bedingungen überschreiten aber den wassergesättigten Solidus für Basalt bei 4GPa und zeigen daher, dass die Liquid-Komponente eine hydratisierte silikatische Schmelze ist.

Diese geochemischen Daten und Modellierungen zeigen, dass geringe Mengen von Schmelzen, die in ihrer Zusammensetzungen den Laven der westlichen Aleuten ähneln, sich in der Quelle der Mehrzahl der welt-weiten Arc-Magmen befinden können. Damit können einige charakteristische Merkmale des Arc-Magmatismus wie z.B. im Vergleich zu MORB geringe La/Nb-Verhältnisse erklärt werden.

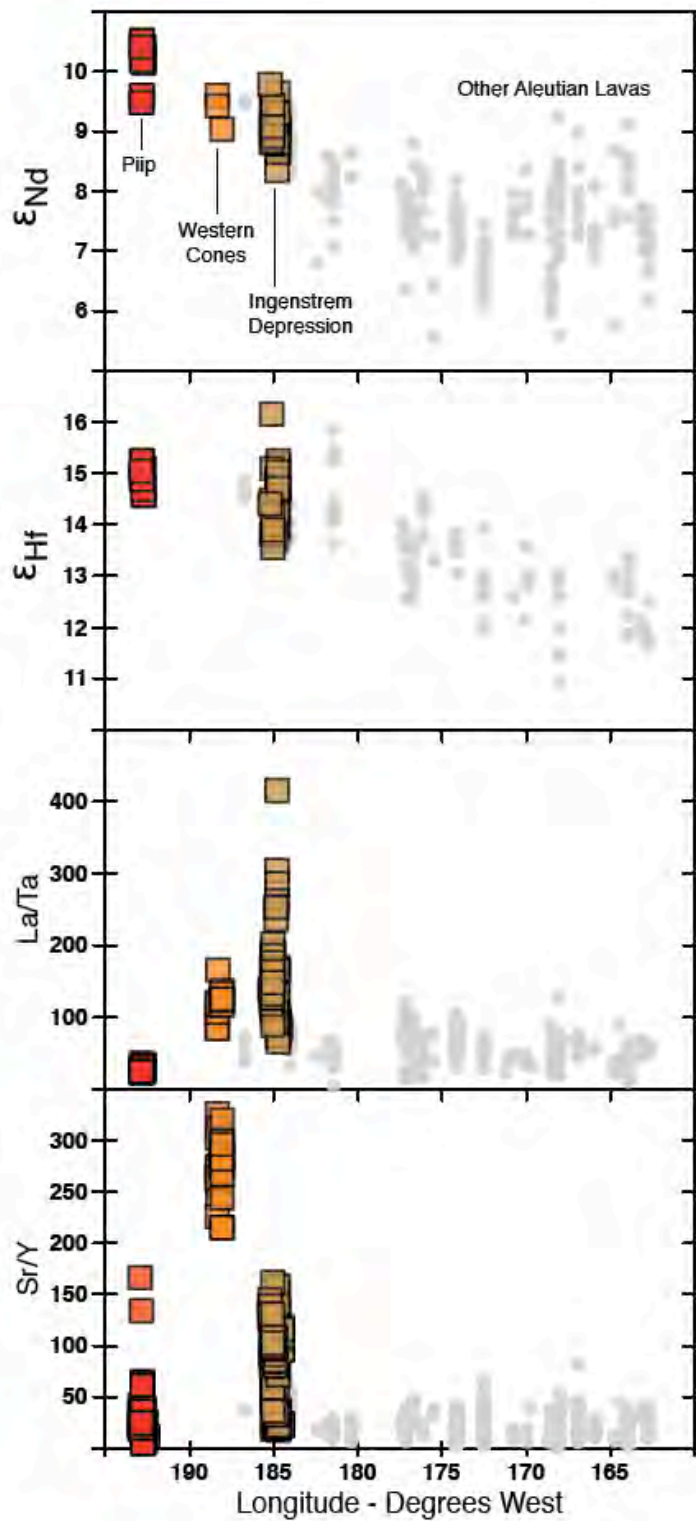


Abb. 2: Geochemische Variationen entlang des Aleutenbogens. Die farbigen Symbole markieren neue Daten aus KALMAR TP-3B.

2. Evolution des Kliuchevskoi-Vulkans

Portnyagin MV, Ponomareva VV (2012) Kliuchevskoi volcano diary: International Journal of Earth Sciences 101: doi:10.1007/s00531-011-0710-y.

Mironov NL, Portnyagin MV (2011) H₂O and CO₂ in parental magmas of Kliuchevskoi volcano inferred from study of melt and fluid inclusions in olivine. Russian Geology and Geophysics 52(11):1353-1367, doi:1310.1016/j.rgg.2011.1310.1007

Kayzar TM, Nelson BK, Bachmann O, Portnyagin M (2012) Formation of Th-excess Isotopic Disequilibrium by Assimilation and Fractional Crystallization in Volcanic Arcs: (²³⁸U)/(²³⁰Th) from Volcanoes in the Central Kamchatka Depression. Geochimica et Cosmochimica Acta, in Vorbereitung.

In diesen Arbeiten werden neue Ergebnisse aus der Fortführung der Untersuchungen von KALMAR TP3A vorgestellt, die in erster Linie den Ursprung der Magmen des Kliuchevskoi-Vulkans betreffen. Portnyagin und Ponomareva (2012) geben eine generelle, zusammenfassende Beschreibung der im Rahmen von KALMAR untersuchten Kliuchevskoi-Tephra und erörtern deren Bedeutung. Die Arbeit von Mironov und Portnyagin (2011) befasst sich mit den H₂O und CO₂-Konzentrationen in den primitivsten Schmelzeinschlüssen in Olivinen des Kliuchevskoi-Vulkans und diskutiert mögliche initiale Konzentrationen dieser Fluide in den Mutterschmelzen. Kayzar et al. (2012) stellen neue Daten zu kurzlebigen U-Serien-Isotopen in Magmen der Kliuchevskoi- und Bezimianny-Vulkane vor. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass flache krustale Assimilation ein wichtiger Prozess war, um die geochemischen Eigenheiten der Magmen in der Central Kamtchatka Depression zu generieren. Diese Arbeit hat auch eine generelle Bedeutung für einen möglichen Ursprung von ²³⁰Th-Überschuss in Arc-Magmen durch krustale Assimilation.

3. Evolution des Shiveluch-Vulkans

Gorbach NV, Portnyagin MV (2011) Geology and Petrology of the Lava Complex of Young Shiveluch Volcano, Kamchatka: Petrology 19: 134–166, DOI: 10.1134/S0869591111020068.

Gorbach N (2011) Old Shiveluch Volcano: Geologic structure, reconstruction of eruptive centers and characteristics of volcanic activity in the Late Pleistocene. Vestnik KRAUNTS, Earth Sciences V. 1, N 17: 77-90 (in Russisch)

Gorbach N, Portnyagin M, Tembrel I (2012) Volcanic structure and composition of Old Shiveluch volcano, Kamchatka: Journal of Volcanology and Geothermal Research, in Begutachtung.

Diese Arbeiten von Natalia Gorbach und Co-Autoren befassen sich mit der geologischen Struktur, Entwicklung und Zusammensetzung von Gesteinen des Shiveluch-Vulkans in der Central Kamtchatka Depression. Dank der im Rahmen des KALMAR-Projektes generierten geochemischen Daten wurde es möglich, die Zusammensetzungen und die Alter der Gesteine zu korrelieren und zu zeigen wie sich die Magmen im Laufe der Zeit entwickelten.

Eine wichtige Schlussfolgerung dieser Arbeiten ist, dass die Rolle von Magmenmischung während der Evolution des Shiveluch-Vulkans zugenommen hat. Es wird postuliert, dass Magmenmischung einer der Hauptmechanismen bei der Bildung der Magnesium-reichen Andesite des Shiveluch-Vulkans ist, von denen bisher angenommen wurde, dass sie durch Schmelzen der subduzierten Platte an der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction gebildet wurden.

4. Untersuchungen an terrestrischer und mariner Tephra

Ponomareva VV, Portnyagin MV, Melnikov DV (2012) The composition of tephra from recent (2009-2011) eruptions of volcanoes of Kamchatka and Kurile Islands. Vestnik KRAUNTS: Earth Sciences, im Druck (in Russisch).

Derkachev AN, Portnyagin M.V. (2012) Marker layers of catastrophic eruptions of Nemo Caldera (Onkotan Island, Kurile Islands) in the Late Quaternary deposits of the Okhotsk Sea. Stratigraphy and Correlation, im Druck (in Russisch).

Ponomareva VV, Portnyagin MV, Derkachev AN, Pendea IF, Bourgeois J, Krashennikov S (2012) Early Holocene M~6 explosive eruption from Ushkovsky volcano (Kamchatka) and its tephra as a link between terrestrial and marine paleoenvironmental records, Quaternary Research, in Vorbereitung.

Ponomareva VV, Portnyagin MV, Blaaw M, Pevzner M, Kyle P, Derkachev AN, (2012) Detailed record of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific. Journal of Volcanology and Geothermal Research, in Vorbereitung.

In diesen Arbeiten werden werden einige der Ergebnisse der im Rahmen von KALMAR TP3A und B durchgeführten Tephra-Studien zusammengefasst. Ponomareva et al. (2012, KRAUNTS) stellen Daten zur Zusammensetzung von Tephra aus rezenten und zur Zeit stattfindenden Eruptionen in Kamtschatka und im Kurilenbogen vor. Die Ergebnisse werden genutzt, um die derzeitigen Eruptionen mit Eruptionen der jeweils gleichen Vulkane in der Vergangenheit zu vergleichen, das gegenwärtige Stadium des Magmenzufuhrsystems zu charakterisieren und die mögliche Entwicklung der Eruptionen abzuschätzen. Derkachev und Portnyagin (2012) stellen neue Daten über die Geochemie von Tephralagen der Nemo-Caldera (Onekoan Insel, Kurilenbogen) und deren räumliche Verbreitung im Ochotskischen Meer vor. Die Autoren schlagen vor, dass zwei große explosive Eruptionen dieser Caldera im Holozän weit verbreitete Tephralagen produzierten, die sowohl an Land als auch im marinen Bereich erhalten sind und die als wichtige Isochronen für marine Sedimente im Ochotskischen Meer dienen können. In der Arbeit von Ponomareva et al. (2012, Quater. Res.) werden neue Daten zu Alter, räumlicher Verbreitung und Zusammensetzung eines neuen Tephra-Markerhorizonts diskutiert, der vor 10.200 Jahren durch die M6-Eruption des Ushkovsky-Vulkans entstand. Diese Tephra wurde in frühholozänen Sedimenten in Kamtschatka und in der Beringsee identifiziert und wird als guter Leithorizont sowohl für

terrestrische und marine Ablagerungen westlich und nördlich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction angesehen. Ponomareva et al. (2012, JVGR) charakterisieren anhand von EMPA-Analysen an vulkanischen Gläsern die holozäne Geschichte der Eruptionen des hochexplosiven Shiveluch-Vulkans und Tephra-Leithorizonte von seinen ca. 80 großen Eruptionen. Die kompositionelle Variabilität der Shiveluch-Gläser erleichtert die Identifikation von distaler Shiveluch-Tephra, die sich daher gut als Instrument zu Datierungen für Untersuchungen zur Paläo-Vulkanologie, Paläo-Seismologie, Paläo-Umwelt und Archäologie eignet. Die Identifikation von verschiedenen Tephralagen des Shiveluch-Vulkans in Sedimenten aus der Beringsee, die in ca. 600 km Entfernung vom Eruptionszentrum gekernt wurden, erlaubt eine Neueinschätzung der Magnituden der Eruptionen und liefert Links zwischen terrestrischen und marinen Paläoenvironment-Records.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigste Position war die TV-L 13-Stelle (26 Monate) für den Wissenschaftler Dr. Maxim Portnyagin. Ohne die Mitarbeit von Herrn Portnyagin wäre das Vorhaben nicht durchführbar gewesen. Herr Portnyagin hat u.a. bei der Probennahme mitgewirkt, die Aufbereitung der Proben für die verschiedenen Analysemethoden koordiniert, umfangreiche analytische Arbeiten durchgeführt sowie bei der Auswertung, Interpretation und Modellierung der Daten und der Abfassung von Berichten und Publikationen intensiv mitgearbeitet. Auch hat er sich in Zusammenarbeit mit dem Antragsteller bei der Förderung russischer und deutscher Nachwuchswissenschaftler engagiert und das Verbundvorhaben KALMAR logistisch und wissenschaftlich unterstützt. Herr Portnyagin hat somit wesentlich zum erfolgreichen Abschluss von TP3 beigetragen.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die wichtigsten Arbeitsschritte (neben Nachwuchsförderung etc.) waren die (1) Literaturarbeiten; (2) Probennahme; (3) Evaluierung, Auswahl und Aufbereitung der Proben; (4) umfangreiche analytische Arbeiten; (5) Evaluierung, Auswertung und Synthese der dabei anfallenden Daten sowie Synthese dieser Daten mit denen aus TP3A und den anderen KALMAR TPs und (6) die Präsentation der Ergebnisse auf Tagungen, in Berichten und wissenschaftlichen Publikationen. Diese Arbeiten wurden von dem Antragsteller, seinen Mitarbeitern, Herrn Dr. Portnyagin sowie Studenten und Doktoranden in Zusammenarbeit mit unseren Kooperationspartnern geleistet und waren absolut notwendig, um TP3 erfolgreich abzuschließen. Alle diese Arbeiten führten zu Ergebnissen, die wiederum zum erfolgreichen Abschluss von TP3 beitrugen, und waren somit angemessen.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse von KALMAR TP3 haben neue Erkenntnisse über Herkunft und Entwicklung des Magmatismus im Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction geliefert, die dazu dienen, existierende tektonische und petrologische Modelle zu überprüfen. Die Daten über Art und Menge von Volatilen in den Magmen Kamtschatkas können für Modellierungen der Klimaveränderungen genutzt werden. Die erste Datenbank über die Zusammensetzung der vulkanischen Gläser von großen explosiven Vulkaneruptionen in Kamtschatka, die in TP3 angefertigt wurde, kann für Datierungen von terrestrischen und marinen Sedimenten in Kamtschatka und den umliegenden Meeren genutzt werden. Das Interesse, diese Datenbank zu nutzen, ist groß. Die Anfragen kommen aus der Geologie, der Tektonik, Archäologie und anderen Projekten. Die Ergebnisse unserer experimentellen Untersuchungen haben grundlegende Bedeutung für die Interpretation von geologischen Daten und für die Rekonstruktion der physiochemischen Bedingungen bei der Magmengenese.

Der „ISI citation record“ zeigt, dass im Rahmen von TP3 durchgeführten Arbeiten für die wissenschaftliche Gemeinschaft von grundlegender Bedeutung ist. Die Artikel, die aus den im Bereich der Kamtschatka-Aleuten-Triple-Junction seit 2005 im Rahmen von KOMEX und KALMAR durchgeführten vulkanologisch/petrologisch/geochemischen Untersuchungen resultierten, wurden bisher 257 mal in internationalen Zeitschriften zitiert.

Innerhalb des Verbundvorhabens KALMAR hat TP3 wichtige Daten für alle anderen an KALMAR beteiligten Teilprojekte geliefert. Für TP2 (marine Geophysik) wurden u.a. Basisdaten über die Zusammensetzung der Kruste und Krustenalter gewonnen. Zur Ausarbeitung hochauflösender Altersmodelle in TP4 (Paläozeanographie) und TP5 (Seekampagne) hat TP3 durch die Charakterisierung von Tephralagen beigetragen. Auch hat TP3 durch Untersuchungen zum zeitintegrierten und momentanen Einfluss der hochexplosiven Großeruptionen auf Kamtschatka wichtige Daten für die Klimarekonstruktionen von TP 4 und 5 geliefert.

Insgesamt bildet dieses Forschungsvorhaben eine wichtige Grundlage für weiterführende wissenschaftliche, aber auch umweltpolitische oder wirtschaftliche Programme. Die Ergebnisse aus TP3 wurden bzw. werden in der internationalen Fachliteratur publiziert sowie auf Tagungen vorgestellt und, soweit sinnvoll, an Datenbanken transferiert. Alle Daten und Ergebnisse werden somit allgemein zugänglich gemacht und können z.B. für die zukünftige Abschätzung mineralischer Rohstoffe, für Risikoanalysen (Vulkanismus, Erdbeben, Klimaänderung) und/oder für weiterführende geologische Forschungsvorhaben von den dafür zuständigen nationalen und internationalen Stellen genutzt werden. Weiterhin haben sich intensivere wissenschaftliche Kooperationen mit nationalen und internationalen (insb. russischen) Institutionen ergeben, die im Rahmen zukünftiger Projekte wie z.B. der in

Beantragung befindlichen Sonne-Reise KALMAR-2 oder eines möglichen Nachfolgeprojektes von KALMAR fortgesetzt und weiter ausgebaut werden sollen.

II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit

Die Fortschritte im Stand der Wissenschaft sind unter Abschnitt II.1 „Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele“ zusammengefasst.

II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Begutachtete Zeitschriften

Fett hervorgehobene Publikationen liegen als PDF-Datei auf CD-ROM dem Bericht bei.

Derkachev AN, Portnyagin M.V. (2012) Marker layers of catastrophic eruptions of Nemo Caldera (Onkotan Island, Kurile Islands) in the Late Quaternary deposits of the Okhotsk Sea. Stratigraphy and correlation: im Druck (in Russisch)

Gorbach NV, Portnyagin MV (2011) Geology and Petrology of the Lava Complex of Young Shiveluch Volcano, Kamchatka, Petrology 1: 134–166, DOI: 10.1134/S08695911111020068.

Gorbach N (2011) Old Shiveluch Volcano: Geologic structure, reconstruction of eruptive centers and characteristics of volcanic activity in the Late Pleistocene. Vestnik KRAUNTS, Earth Sciences, V. 1, N 17: 77-90 (in Russisch)

Gorbach N, Portnyagin M, Tembrel I (in Begutachtung) Volcanic structure and composition of Old Shiveluch volcano, Kamchatka: Journal of Volcanology and Geothermal Research

Kayzar TM, Nelson BK, Bachmann O, Portnyagin M (in Vorbereitung) Formation of Th-excess Isotopic Disequilibrium by Assimilation and Fractional Crystallization in Volcanic Arcs: (238U)/(230Th) from Volcanoes in the Central Kamchatka Depression. Geochimica et Cosmochimica Acta

Krasnova E, Portnyagin M, Silantjev S, Hoernle K, Werner R (in Revision) Two-stage evolution of mantle peridotites from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific): Geochemistry International (in Russisch)

Mironov NL, Portnyagin MV (2011) H₂O and CO₂ in parental magmas of Kliuchevskoi volcano inferred from study of melt and fluid inclusions in olivine. Russian Geology and Geophysics 52(11):1353-1367, doi:1310.1016/j.rgg.2011.1310.1007

Plechova AA, Portnyagin MV, Bazanova LI (2011) The Origin and Evolution of the Parental Magmas of Frontal Volcanoes in Kamchatka: Evidence from Magmatic Inclusions in Olivine from Zhupanovsky Volcano. Geochemistry International 49(8):743–768, doi: 710.1134/S0016702911080064

Portnyagin MV, Naumov VB, Mironov NL, Belousov IA, Kononkova NN (2011) Composition and Evolution of the Melts Erupted in 1996 at Karymskoe Lake, Eastern Kamchatka: Evidence from Inclusions in Minerals. Geochemistry International 49(11):1085-1100, doi: 1010.1134/S0016702911110085

Ponomareva VV, Portnyagin MV, Melnikov DV (2012) The composition of tephra from recent (2009-2011) eruptions of volcanoes of Kamchatka and Kurile Islands. Vestnik KRAUNTS, Earth Sciences: im Druck (in Russisch)

Ponomareva VV, Portnyagin MV, Derkachev AN, Pendea IF, Bourgeois J, Krasheninnikov S (in Vorbereitung) Early Holocene M~6 explosive eruption from Ushkovsky volcano (Kamchatka) and its tephra as a link between terrestrial and marine paleoenvironmental records. Quaternary Research

Ponomareva VV, Portnyagin MV, Blaaw M, Pevzner M, Kyle P, Derkachev AN, (in Vorbereitung) Detailed record of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*

Silant'ev SA, Novoselov AA, Krasnova EA, Portnyagin MV, Hauff F, Werner R (2012) Silicification of Peridotites at the Stalemate Fracture Zone (Northwestern Pacific): Reconstruction of the Conditions of Low-Temperature Weathering and Tectonic Interpretation. *Petrology* 20: 21-39, doi: 10.1134/S0869591112010055

Wanke M, Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, van den Bogaard P, Garbe-Schönberg D (2012) Bowers Ridge (Bering Sea): An Oligocene - Early Miocene Island Arc. *Geology*: im Druck

Wanke M, Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, van den Bogaard P, Garbe-Schönberg D (in Vorbereitung) Late Cretaceous to Early Paleocene island arc volcanism at Shirshov Ridge (Bering Sea). *Lithos*

Präsentationen auf Konferenzen und Workshops (TP3A+B relevant)

Almeev R, Ariskin A, Botcharnikov R, Holtz F, Shishkina T, Portnyagin MV, Kimura JI, Ozerov A (2011) Modeling magma differentiation processes in Volcanic systems: Key examples from Kamchatka island arc (Klyuchevskoy, Bezymianny and Mutnovsky Volcanoes). KALMAR - 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 - 20, 2011, Trier, Germany 19-20 (poster)

Baranov B, Werner R, N. T, Portnyagin MV, Yogodzinski G (2011) Multi-beam investigations in the SO 201-2 Cruise: an overview. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 23-24 (talk)

Botcharnikov R, Shishkina T, Almeev R, Holtz F, Portnyagin MV (2011) Evaluation of storage conditions and degassing processes for natural magmas: An effective combination of natural observations and experimental methods. KALMAR - 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 - 20, 2011, Trier, Germany:26-27 (poster)

Derkachev A, Portnyagin MV, Ponomareva VV, Gorbarenko S, Malakhov M, Nürnberg D, Riethdorf JR, Tiedemann R, van den Bogaard C (2011) Marker tephra layers in the Holocene-Pleistocene deposits of the Bering Sea and the north-western Pacific Ocean. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 38-40 (poster)

Derkachev AN, Nikolaeva NA, Gorbarenko SA, Portnyagin MV, Ponomareva VV, Sakhno VG, Nürnberg D, Sakamoto T, Iijima K, Liu H, Wang K, Chen Z (2011) Volcanic ash layers in the Okhotsk Sea Holocene-Pleistocene deposits. 7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts:271-274, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2126.pdf (Poster)

Gorbach N, Portnyagin M (2011) Geochemistry and mineralogy of the Late Pleistocene Old Shiveluch Volcano, Kamchatka. 7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska

- Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts:260-261, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2120.pdf (Poster)
- Gorbach N, Portnyagin MV (2011) Evolution of the Late Pleistocene Old Shiveluch Volcano, Kamchatka. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany:58-59 (poster)
- Gorbach N, Portnyagin MV (2011) Thermobarometry of amphiboles from lavas of Young Shiveluch: Implication to the structure of the volcano feeding system. Regional conference IVIS DVO RAN, "Volcanism and related processes", Petropavlovsk-Kamchatsky, March 2011:15
- Kayzar TM, Nelson BK, Bachmann O, Portnyagin M, Ponomareva V (2010) Are U-Series Disequilibria Transparent to Crustal Processing of Magma? A Case Study at Bezymianny and Klyuchevskoy Volcanoes, Kamchatka, Russia. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 13-17, Eos Trans. AGU, 91 (53), Fall Meet. Suppl., Abstract V43A-2358, Poster.
- Kayzar TM, Nelson BK, Portnyagin M, Bachmann O, Ponomareva V (2011) Examining Canonical Theories of U-series Disequilibria in Volcanic Arcs in Light of a More Comprehensive, Global Database. Abstract V52A-05 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.
- Krasheninnikov S, Portnyagin M (2011) Parental melts of Avachinsky volcano (Kamchatka) recorded in melt inclusions. Mineralogical Magazine 75 (3):1235 (Goldschmidt Conference, Prague, August 1214-1219, 2011, Oral)
- Krasheninnikov S, Portnyagin MV (2011) Parental melts of Avachinskiy Volcano (Kamchatka) inferred from data on melt inclusions. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16. - 20. Mai Trier, Germany:73-74 (poster)
- Krasheninnikov SP, Portnyagin MV, Bazanova LI, Ponomareva VV (2011) Magmatic evolution of Avachinsky volcano (Kamchatka) during the Holocene revealed from composition of tephra, their matrix glasses and melt inclusions in minerals. 7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts:174-177, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2076.pdf (Oral)
- Krasnova E, Portnyagin M, Silantjev S, Hauff F, Werner R, Hoernle K (2011) Ultramafic rocks from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific) dredged during the cruise R/V SONNE SO201-KALMAR Leg 1b Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“ 2011, 9-10 Februar 2011, Hannover
- Krasnova E, Portnyagin M, Silantjev S, Werner R, Hoernle K (2011) First data on geochemistry of oceanic peridotites from NW Pacific and their possible contribution to volcanism in Kamchatka and Aleutian Arc. 7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts:155-158, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2069.pdf (Oral)
- Krasnova E, Portnyagin M, Silantjev S, Werner R, Hoernle K (2011) Mantle Peridotites from the Stalemate F.Z. (NW Pacific). Mineralogical Magazine 75(3):1236 (Goldschmidt Conference, Prague, August 1214-1219, 2011, Poster)
- Krasnova E, Portnyagin MV, Silantiev S, Werner R, Hauff F, Hoernle K (2011) Petrology and geochemistry of mantle rocks from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific) KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and

- the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany:75-76 (poster)
- Kuvikas O, Portnyagin MV, Ponomareva VV (2011) Compositional variations of volcanic glasses from Kamchatka. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16. - 20. Mai Trier, Germany:78-79 (poster)
- Mironov N, Portnyagin M (2011) Volatiles (H₂O, CO₂, S, Cl, F) in Primary Magmas of Klyuchevskoy Volcano (Kamchatka). Mineralogical Magazine 75(3):1478 (Goldschmidt Conference, Prague, August 1414-1419, 2011; Poster)
- Mironov N, Portnyagin MV (2011) Deep roots of Klyuchevskoy Volcano, Kamchatka KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 85-86 (poster)
- Mironov N, Portnyagin MV (2011) Volatile flux from Klyuchevskoy Volcano, Kamchatka. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 87-88 (poster)
- Mironov NL, Hoernle K, Portnyagin MV (2010) Preliminary data on volatiles (H₂O, S, Cl, F) in primitive magmas of Azores islands, Northern Atlantic. . International conference Geochemistry of magmatic rocks, school “Alkaline magmatism of the Earth”, 12-16 September 2010, Crimea, Ukraine
- Mironov NL, Portnyagin MV (2011) H₂O and CO₂ in parental magmas of Klyuchevskoi volcano inferred from study of melt and fluid inclusions in olivine. Russian geology and geophysics 52(11):1353-1367, doi:1310.1016/j.rgg.2011.1310.1007
- Plechova A, Portnyagin M (2011) Thermal State of Subducting Plate beneath Kamchatka Inferred from H₂O/Ce in Melt Inclusions. Mineralogical Magazine 75(3):1649 (Goldschmidt Conference, Prague, August 1614-1619, 2011, Poster)
- Plechova A, Portnyagin MV, Mironov N (2011) Fluxes of Volatiles from Volcanoes of Kamchatka (poster). KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 95-96 (poster)
- Plechova AA, Portnyagin MV, Bazanova LI (2011) The Origin and Evolution of the Parental Magmas of Frontal Volcanoes in Kamchatka: Evidence from Magmatic Inclusions in Olivine from Zhupanovsky Volcano. Geochemistry International 49(8):743–768, DOI: 710.1134/S0016702911080064
- Plechova AA, Portnyagin MV, Mironov N (2010) Volatiles in primitive magmas of Kamchatka and their long-term fluxes. ACROFI III and TBG XIV Abstracts Volume: Abstracts of III Biennial Conference Asian Current Research on Fluid Inclusions (ACROFI III) and XIV International Conference on Thermobarogeochemistry (TBG XIV), Novosibirsk, 15-20 September 2010 (Ed. V.V.Sharygin) / Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk: Publishing House of SB RAS:174-175
- Ponomareva V, Blaauw M, Portnyagin M (2011) A chronology of the Holocene eruptions from the northern Kamchatka volcanoes based on linking major C14-dated tephra sequences with the help of EMPA glass data. INQUA
- Ponomareva V, Portnyagin M, Bazanova L, Bigg G, Bindeman I, Derkachev A, Juschus O, Leonov V, van den Bogaard C (2010) The largest Pleistocene-Holocene eruptions in the Kamchatka Peninsula, NW Pacific, and long-distance correlation of their tephra. 5th International El'gygytyn Lake Workshop, May 21 and 22, 2010, University of Cologne, Germany

- Ponomareva V, Portnyagin M, Bindeman I (2010) Quaternary Volcanism on the Kamchatka Peninsula, Northwest Pacific Region. GSA Annual Meeting, 31 October-5 November, 2010, Denver, Colorado, USA
- Ponomareva V, Portnyagin M, Blaauw M, Pevzner M, Kyle PR (2011) Variations of glass composition in the Holocene tephra of Shiveluch volcano (Kamchatka): applications for magmatic history and tephrochronology. Abstract V43C-2585 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec..
- Ponomareva VV, Portnyagin MV, Derkachev A, Blauw M, Kozhurin A, Pevzner M, Pinegina T, van den Bogaard C, Garbe-Schönberg D (2011) Tephra links for the NW Pacific, Asian mainland and Kamchatka regions. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 97-99 (poster)
- Portnyagin MV, Werner R, Hoernle K, Hauff F, Yogodzinski G, Silantiev SA, van den Bogaard C (2009) First results of marine petrological studies within the Russian-German project "KALMAR" obtained during R/V SONNE cruise SO201-1 b. In: Lisitsin AP (ed) Proceedings of the XVIII International Conference on Marine Geology, 16-20 November 2009, Moscow, Russia, IO RAN, vol V. GEOS, pp 243-245, invited talk
- Portnyagin M, Borisova AY, Plechov P, Shkurski B, Stefansson A (2011) Magma mixing during the 2010 Eyjafjallajökull eruption. Abstract V33D-2676 Abstract V52A-05 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.
- Portnyagin M, Derkachev A, Ponomareva VV, van den Bogaard C, Garbe-Schönberg D (2011) Tephra links for the NW Pacific, Asian Mainland and Kamchatka regions. Marine Tephrochronology, Geological Society London, 25 October 2011, London (Poster)
- Portnyagin M, Hauff F, Hoernle K, Yogodzinski G, Werner R, Baranov B, Garbe-Schönberg D (2011) Geochemistry of primitive glasses from the Volcanologists Massif (Far Western Aleutian Arc) obtained during SO201-KALMAR. Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“ 2011, 9-10 Februar 2011, Hannover
- Portnyagin M, Hoernle K, Sobolev A, Heydolph K, Hauff F, Kuzmin D (2010) Wide-spread occurrence of olivine-free pyroxenites in the mantle wedge beneath the Central American Arc. Workshop on Subduction Zone Processes, November 4-7, 2010, Pucon, Chile
- Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, Maicher D, Yogodzinski G, Baranov B, Silantjev S, Wanke M, Krasnova E, van den Bogaard C (2011) Initial scientific results from the cruises SO201-KALMAR: volcanology and petrology Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“ 2011, 9-10 Februar 2011, Hannover
- Portnyagin M, Hoernle K, Werner R, Hauff F, Meicher D, Yogodzinski G, Baranov B, Silantiev S, Wanke M, Krasnova E (2011) Marine volcanological and petrological studies with R/V SONNE in the NW Pacific and Bering Sea: SO201 KALMAR cruise results. 7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts:150-153, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2067.pdf (Oral)
- Portnyagin M, Mironov N, Ponomareva V, Bindeman I, Hauff F, Sobolev A, Kayzar T, Garbe-Schönberg D, Hoernle K (2011) Arc Magmas from Slab to Eruption: The Case of Kliuchevskoy Volcano. Mineralogical Magazine 75(3):1661 (Goldschmidt Conference, Prague, August 1614-1619, 2011, Keynote)
- Portnyagin MV, Hauff F, Hoernle K, Yogodzinski G, Werner R, Baranov B, Garbe-Schönberg D (2011) Geochemical systematics of submarine glasses from the Volcanologists Massif, Far Western Aleutian Arc. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-

- German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 100-102 (poster)
- Portnyagin MV, Sobolev A, Mironov N, Gorbach N, Kuzmin D, Hoernle K (2011) The origin of primary magmas at the Kamchatka-Aleutian Arc junction by melting of mixed pyroxenite and peridotite mantle sources (talk). KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 103-104 (talk)
- Shishkina T, Almeev R, Botcharnikov R, Holtz F, Portnyagin M (2011) Magma Storage Conditions of Mutnovsky Volcano, Kamchatka. *Mineralogical Magazine* 75(3):1864 (Goldschmidt Conference, Prague, August 1814-1819, 2011, Poster)
- Silant'ev S, Krasnova E, Portnyagin MV, Novoselov A (2011) Silification of peridotites from the Stalemate Fracture Zone, NW Pacific: Tectonic and geochemical applications. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 109-110 (poster)
- van den Bogaard C, Ponomareva V, Portnyagin MV, Dirksen O, Diekmann B, Derkachev A, Nürnberg D (2010) Towards a Kamchatka tephrochronological framework for testing synchronous climate development. *International Field Conference and Workshop on Tephrochronology, Volcanism and Human Activity. Active Tephra in Kyushu*, 2010. Kirishima (Kagoshima Prefecture), South Kyushu, Japan, May 9-17, 2010:93
- van den Bogaard C, Portnyagin M, Ponomareva VV, Derkachev A, Dirksen O, Diekmann B, Nürnberg D, Garbe-Schönberg D (2011) Tephrochronology in the NW Pacific region in the frame of the KALMAR Project. *Workshop on Marine Tephrochronology*, Geological Society London, 25 October 2011, London, UK (Invited talk)
- Wanke M, Portnyagin M, Werner R, Hauff F, Hoernle K (2010) Initial results for the composition of the igneous basement of the Bowers and Shirshov Ridges (Bering Sea, NW Pacific). *Jahrestagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft*, Münster, Deutschland, September 19-22, Abstract S14-T17, pp 192, Talk.
- Wanke M, Portnyagin M, Werner R, Hauff F, Hoernle K (2011) Erste Ergebnisse der Untersuchungen des Basements der Bowers und Shirshovrücken im Rahmen von SO201 KALMAR (Bering See, NW Pazifik). *Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“* 2011, 9-10 Februar 2011, Hannover,
- Wanke M, Portnyagin M, Werner R, Hauff F, Hoernle K, Garbe-Schönberg D (2011) Geochemical evidence for subduction related origin of the Bowers and Shirshov Ridges (Bering Sea, NW Pacific). *7 th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011)*, 25 -30 August 2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. Abstracts:159-160, http://www.kscnet.ru/ivs/slsecret/jkasp_2011/abstr/abs2070.pdf
- Wanke M, Portnyagin MV, Werner R, Hauff F, Hoernle K, Garbe-Schönberg D (2011) Effect of seawater alteration on trace element geochemistry of submarine basalts from the Bowers Ridge, Bering Sea. KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 119-120 (poster)
- Wanke M, Portnyagin MV, Werner R, Hauff F, Hoernle K, Garbe-Schönberg D (2011) New geochemical data provide evidence for an island-arc origin of the Bowers and Shirshov Ridges (Bering Sea, NW Pacific) KALMAR – 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 – 20, 2011, Trier, Germany 121-122 (talk)
- Wickham K, Bindeman IN, Ponomareva VV, Izbekov PE, Portnyagin MV (2010) Oxygen, hydrogen, and compositional characterization of 2000 years of Bezmyanny volcano (Kamchatka, Russia) history based on analysis of individual phenocrysts and glasses

from tephra sections and surface lavas. AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 13-17, Eos Trans. AGU, 91 (53), Fall Meet. Suppl., Abstract V21B-2334, Poster.

Yogodzinski G, Turka J, Portnyagin M, Kelemen P, Vervoort, Sims K, Bindeman i (2009) The extent of sea floor volcanism and nature of primitive magmas in the Western Aleutians. AGU Fall Meeting, San Fransisco, USA, December 14-18, Eos Trans. AGU, 90 (53), Fall Meet. Suppl., Abstract V34A-03

Yogodzinski G, Arndt S, Turka JR, Kelemen PB, Vervoort JD, Portnyagin M, Hoernle K (2011) Nature and Significance of the High-Sr Aleutian Lavas (Invited). Abstract V32C-02 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.

Yogodzinski G, Turka J, Arndt S, Kelemen P, Portnyagin MV, Hoernle K (2011) Geochemistry of Seafloor Lavas of the Western Aleutian Arc. KALMAR - 2nd Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, May 16 - 20, 2011, Trier, Germany, 123-124 (talk)

Master-, Diplom und Doktorarbeiten

Im Rahmen KALMAR TP3B wurden eine Diplomarbeit (M. Wanke) angefertigt und drei Doktorarbeiten vergeben, die voraussichtlich 2012 - 2013 abgeschlossen werden (N. Gorbach, E. Krasnova, S. Krasheninnikov).

Wanke M: The origin of the Bowers and Shirshov Ridges (Bering Sea, NW Pacific). Diploma thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: 82 pp.

In der Beringsee befinden sich zwei markante, submarine Rückenstrukturen, deren Ursprung bis dato nicht vollständig geklärt werden konnte. Dabei handelt es sich um den ~700km langen, sichelförmigen Bowersrücken hinter dem zentralen Bereich des Aleutenbogens sowie den ~500km langen, N-S-streichenden Shirshovrücken, der die Grenze zwischen dem känozoischen Komandorskybecken und dem kretazischen Aleutenbecken in der westlichen Beringsee bildet. Die Beprobung des vulkanischen Basements beider Rückenstrukturen während der R/V SONNE Ausfahrten SO201-1b und -2 in 2009 sowie anschließende $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Altersdatierungen, geochemischen Analysen und Messungen von Sr-, Nd- und Pb-Isotopen geben Aufschluss über die Entstehung der beiden Rücken und liefern damit einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung geodynamischer Modelle zur Entstehung des heutigen Nordpazifiks und der gesamten Aleuten-Beringsee-Region.

Das Basement des nördlichen Bowersrückens (26 - 32 Ma) besteht aus mafischen bis intermediären, kalkalkalinen Gesteinen, deren geochemische Zusammensetzungen sich durch stark oblique Subduktion unter dem nördlichen Ende des Bowersrückens in seiner heutigen Konfiguration erklären lässt. Im Gegensatz dazu lassen sich die Olivinbasalte eines westlich angrenzenden Seamounts (22 - 24 Ma) auf Dekompressionsschmelzen von leicht subduktionsmodifiziertem Mantel bei geringen Aufschmelzgraden zurückführen. Diese Daten implizieren eine in situ Entstehung des Bowersrückens als Inselbogen im Oligozän bis frühen Miozän.

Dahingegen konnten Teile des Shirshovrückens eindeutig als spätkretazischer bis frühpaläozäner (65 - 69 Ma), allochthoner Inselbogen identifiziert werden. Geochemisch weisen die Gesteine zweier unterschiedlicher magmatischer Serien zum Teil starke Ähnlichkeiten zum Bowersrücken, den westlichen Aleuten sowie zu akkretierten Komplexen in Nord-Kamtschatka auf, was sich durch eine Entstehung des Shirshovrückens als Teil des spätkretazischen bis frühtertiären Olyutorskybogens erklären lässt, der vor der Entstehung der westlichen Aleuten von Süden her in die Beringsee gedriftet und an die Kontinentalgrenze akkretiert ist.

Siehe hierzu auch Abschnitt II.6, Thema/Ziel 4, Wanke et al. (im Druck und in Vorbereitung)

Krasnova EA: The origin and evolution of mantle peridotites from the Stalemate Fracture Zone (NW Pacific): PhD dissertation, Vernadsky Institute, Moscow, in preparation (to be completed in 2013).

Diese Arbeit basiert auf Proben, die während SO201 Leg 1b gedredgt wurden und umfasst eine umfangreiche Beschreibung und Interpretation der magmatischen Entwicklung sowie der Alterationsgeschichte von Mantelperidotiten aus dem NW-Pazifik und diskutiert deren geodynamische Bedeutung. *Siehe hierzu auch Abschnitt II.6, Thema/Ziel 2, Silantyev et al. (2012) und Krasnova et al. (in Vorbereitung).*

Gorbach N: Geology and geochemistry of Shiveluch Volcano (Kamchatka). PhD dissertation. Institute of volcanology and seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky (to be completed in 2012)

Diese Arbeit enthält die erste detaillierte geologische und geochemische Beschreibung des Shiveluch-Vulkans und seiner Entwicklung. *Siehe hierzu auch Abschnitt II.6, Andere KALMAR TP3 A+B relevante Ergebnisse, Abschnitt 3, Gorbach (2011), Gorbach und Portnyagin (2011), Gorbach et al. (in Begutachtung).*

Krashennikov SP: The Holocene evolution of Avachinsky Volcano (Kamchatka): petrology, geochemistry and eruptive dynamics. PhD dissertation, Vernadsky Institute, Moscow, in preparation (to be completed in 2013).

Basierend auf präzisen Tephradatierungen, der Analyse der Zusammensetzung von vulkanischen Gläsern und Schmelzeinschlüssen sowie mineralogischen Untersuchungen liefert diese Arbeit eine detaillierte Rekonstruktion der Entwicklung des Avachinsky-Vulkans in Kamtschatka. Diese Arbeit ist Teil der umfassenden geochemischen Untersuchungen an Tephra im Rahmen von KALMAR. Ergebnisse dieser Arbeit wurden bereits auf internationalen Tagungen vorgestellt (z.B. Krashennikov et al. 2011, Goldschmidt Conference; Krashennikov et al. 2011, JKASP) und werden zur Zeit für die Publikation vorbereitet.

**Abschlussbericht zum KALMAR Teilprojekt 4:
Rekonstruktion der pleistozän-holozänen Klimageschichte und
Ozeanographie im subarktischen NW-Pazifik und seinen
Randmeeren mit einer zeitlichen Auflösung von Dekaden bis
Jahrtausenden**

Projektleiter:

Prof. Dr. Ralf Tiedemann
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft (AWI)
Postfach 120161
27515 Bremerhaven
Tel.: 0471-4831-1200
e-mail: Ralf.Tiedemann@awi.de

Prof. Dr. Dirk Nürnberg
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (GEOMAR)
Wischhofstraße 1-3
24148 Kiel
Tel.: 0431/ 600-2313
e-mail: dnuernberg@geomar.de

Dr. Andrea Abelmann
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft (AWI)
Postfach 120161
27515 Bremerhaven
Tel.: 0471-4831-1205
e-mail: Andrea.Abelmann@awi.de

Prof. Dr. Wolf-Christian Dullo
Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (GEOMAR)
Wischhofstraße 1-3
24148 Kiel
Tel.: 0431/ 600-2215
e-Mail: cdullo@geomar.de

Projektmitarbeiter:

Lars Max
Jan-Rainer Riethdorf
Birgit Glückselig / Ulricke Böttjer / Marianne Warnkross
Nadine Gehre

Förderkennzeichen:

03G0672A (GEOMAR), 03G0672B (AWI),

Laufzeit des Vorhabens:

01.01.2009 – 31.12.2011

Inhalt:**I. EINLEITUNG**

I.1 KALMAR TP4 - Aufgabenstellung	99
I.2 Voraussetzungen unter denen KALMAR TP4 durchgeführt wurde	100
I.3 Planung und Ablauf von KALMAR 4.....	102
I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes	104
I.5 Zusammenarbeit mit Dritten	104

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

II.1 Kurzfassung der KALMAR TP4 - Einzelergebnisse	106
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	120
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	121
II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	122
II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit	123
II.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	124
II.7 Referenzliste.....	127

III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT (vertraulich hier nicht enthalten)

III.1 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen	132
III.2 Wissenschaftlich-technischer Erfolg des Vorhabens.....	132
III.3 Verwertbarkeit der Ergebnisse	142
III.4 Ungelöste Fragestellungen.....	142
III.5 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans	144

I. EINLEITUNG

I.1 KALMAR TP4 - Aufgabenstellung

Der östliche Kontinentalhang vor Kamtschatka und die Region des Komandorsky Beckens im Beringmeer weisen bisher unerforschte Klimaarchive auf. Aus diesen Archiven sollen im Rahmen der KALMAR-Expedition zeitlich hochauflösende Datensätze zur Rekonstruktion der spätpleistozänen und holozänen Klimaentwicklung im nordpolaren pazifischen Raum gewonnen werden. Mit einem innovativen Multiproxy-Ansatz, der bewährte und neue Methoden miteinander vereint, sollten die Veränderungen folgender Klima- und Ozeanvariablen rekonstruiert werden:

- Stratifizierung der ozeanischen Deckschicht anhand von Temperatur- und Salinitätsrekonstruktionen mit ihren Auswirkungen auf die biologische Produktivität, den atmosphärisch-ozeanischen Gasaustausch und die Bildung von Nordpazifischem Zwischenwasser.
- Biologische Produktivität in der ozeanischen Deckschicht: Nährstoffangebot und Nährstoffverwertung. Zur Abschätzung der Nährstoffverwertung sollen Si-Isotope an ausgewählten kieseligen Mikrofossilgruppen gemessen werden. Dazu sollte eine neue Messtechnik am AWI entwickelt werden, die es erlaubt Sauerstoff- und Siliziumisotope ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{30}\text{Si}$) an der gleichen Opalprobe zu messen.
- Intensität und Wärmetransfer des Kamtschatka Stromes (Veränderung ihrer meridionalen Gradienten zwischen 65°N und 50°N).
- Meereisverbreitung, Eisbergtransport und Schmelzwassereintrag im nordwestpazifischen Raum (Vereisungsgeschichte Kamtschatkas).
- Ausdehnung, Durchlüftungsgrad und Nährstoffkonzentration von Zwischen- und Tiefenwasserstockwerk

Die Rekonstruktionen in einer stratigraphischen Auflösung, die einen globalen Vergleich mit Sediment- und Eiskerndaten auf orbitalen und sub-orbitalen Zeitskalen erlaubt, sollen unsere Kenntnisse über die komplexen Wechselwirkungen zwischen Ozean, Atmosphäre und kontinentalen Eismassen sowie über die Anfachungs- und Übertragungsmechanismen von Klimaänderungen verbessern. Das Ausmaß der zeitlichen und räumlichen Veränderungen in den ozeanischen und atmosphärischen Zirkulationsmustern wird heute im wesentlichen durch die Arktische Oszillation (AO), die El Niño/Southern Oscillation (ENSO) und die Pazifisch N-Amerikanische Oszillation (PNA) bestimmt. Unser Vorhaben wird daher insbesondere unsere Einsichten in die Wechselwirkungen zwischen polaren und äquatorialen Breiten im Pazifik erweitern und damit die bislang auf den Atlantik konzentrierten Ergebnisse zu latitudinalen und interhemisphärischen Kopplungen zum Verständnis global wirksamer Klimamechanismen ergänzen. In enger Zusammenarbeit mit Teilprojekt 5 sollen durch Verknüpfung und Vergleich von marinen und terrestrischen

Klimaarchiven Wirkung, Zusammenspiel und Einflußgröße mariner und atmosphärischer Klimafaktoren auf diesen Raum dokumentiert und abgeschätzt werden. Folgende Themenbereiche stehen dabei im Vordergrund:

- Wie sahen die ozeanisch-atmosphärischen Wechselwirkungen zwischen N-Atlantik und N-Pazifik aus? Bisher wurde auf der Grundlage von Modellergebnissen und nur wenigen Datensätzen aus dem nordpazifischen Raum eine Hypothese aufgestellt, wonach die holozäne Entwicklung in den Wasseroberflächentemperaturen (SST) zwischen N-Pazifik und N-Atlantik gegenläufig wäre.
- Wechselwirkungen zwischen Kontinent-Ozean-Atmosphäre: Vereisungsgeschichte Kamtschatkas
- Aufschlüsselung von Ursachenketten und Klimaanfachungsmechanismen: Überprüfung der Hypothese einer nordatlantisch-nordpazifischen Salinitäts- und Temperatur-Schaukel an zeitlich hochauflösenden Sedimentprofilen der letzten 60.000 Jahre; zeitlicher Vergleich von IRD-Eintragsereignissen mit den Heinrich-Ereignissen im N-Atlantik.
- Paläozeanographische Rekonstruktion von Mechanismen, die den Austausch zwischen Ozean und Atmosphäre (Meereis, Stratifizierung), Ozeanzirkulation (Schmelzwasserereignisse) und das biologische Produktivitätsregime steuern
- War der N-Pazifik während des letzten Glazials besser durchlüftet als im Holozän? Wenn ja, wo lagen die Quellen der Tiefenwasserbildung (Beringmeer oder Ochotskische See?).

I.2 Voraussetzungen, unter denen KALMAR TP4 durchgeführt wurde

Wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung von KALMAR TP4 umfassen:

- Finanzierung der Schiffs- und Transportkosten der Expedition SO201-2 mit FS Sonne durch das BMBF.
- Bereitstellung von Probennahmegeräten (u.a. Kolbenlot, Schwerelot, Kastenlot, Multicorer, Großkastengreifer, Multinetz, Planktonnetz) und Meßgeräten (Sedimentkernlogger) durch AWI, GEOMAR und Fa. Kawohl Marinetechnik für den Zeitraum der SO202-Expedition.
- Finanzierung von wissenschaftlich technischem Personal durch das BMBF, darunter
 - a) 1 Doktorandenstelle (Lars Max, AWI, 35 Monate, 02/2009 bis 12/2011) für die Durchführung und paläozeanographische Auswertung von benthischen Isotopenmessungen ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{33}\text{C}$), organischen Biomarkern (Rekonstruktion von Wasseroberflächen-temperaturen, Meereisverbreitung), XRF-Kernscanner-Daten zur Charakterisierung des terrigenen und biogenen Sedimenteintrags und Erstellung der Stratigraphie. Die Stelle wurde durch AWI-Mittel auf eine Gesamtdauer von 43 Monaten aufgestockt.

- b) 1 Doktorandenstelle (Jan-Rainer Riethdorf, GEOMAR, 35 Monate, 02/2009 bis 12/2011) für die Durchführung und paläozeanographische Auswertung von planktischen Isotopenmessungen ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$), Mg/Ca-Bestimmungen an planktischen Foraminiferen (Rekonstruktion von Wassertemperaturen), und sedimentologisch-geochemische Parameter (Korngrößen, Elementzusammensetzung etc.) zur Charakterisierung des terrigenen und biogenen Sedimenteintrags. Die Stelle wurde durch GEOMAR-Mittel auf eine Gesamtdauer von 41 Monaten aufgestockt (01/2012-06/2012).
- c) 1 halbe Technikerstelle am AWI (Birgit Glückselig, 36 Monate, 01/2009 bis 12/2011) für die Abtrennung der Biogenopal-Fraktion und die Aufbereitung von Probenmaterial zur Messung stabiler Opalisotope. Seit Januar 2012 ist Frau Glückselig unbefristet für diese Arbeitsgruppe tätig.
- d) 1 halbe Technikerstelle am AWI (Ulricke Böttjer, 36 Monate, 01/2009 bis 12/2011) für die Entwicklung einer Abtrennungstechnik für die Biogenopalfraktion und anschließender Weiterentwicklung zur Abtrennung von Diatomeen, Radiolarien und Schwammnadeln innerhalb der Opalfraktion. Seit Januar 2012 ist Frau Böttjer unbefristet für diese Arbeitsgruppe tätig.
- e) 1 halbe Technikerstelle am AWI (Marianne Warnkross, 12 Monate, 08/2010 bis 08/2011) für die Auslese von planktischen und benthischen Foraminiferen für AMS¹⁴C-Altersdatierungen.
- f) 1 halbe Technikerstelle am GEOMAR (Nadine Gehre, 24 Monate, 01/2010-12/2011) insbesondere für die Spurenelementanalytik in Foraminiferencalcit. Seit Januar 2012 ist Frau Gehre unbefristet für die Paläozeanographie-Arbeitsgruppe am GEOMAR tätig.
- g) Studentische Hilfskräfte für die Aufbereitung von Probenmaterial für mikropaläontologische und isotopengeochemische Untersuchungen und AMS¹⁴C-Datierungen.
- Umfangreiche Bereitstellung der Infrastruktur und Messzeiten am AWI und GEOMAR zur Durchführung der sedimentologisch-geochemischen Untersuchungen.
 - Entwicklung und Etablierung einer neuen Methode zur Messung von stabilen Isotopenverhältnissen ($\delta^{30}\text{Si}$, $\delta^{18}\text{O}$) an biogenem Opal (separiert nach Diatomeen, Radiolarien, Schwammnadeln) zur Abschätzung der Nährstoffverwertung bei der biogenen Primärproduktion und von Wassertemperaturen/Salzgehalten.
 - Nutzung eines Micro-XRF-Sanners am GeoForschungszentrum Posdam zur Bestimmung der Elementzusammensetzung (biogener vs. terrigener Sedimenteintrag) an laminierten Sedimentintervallen (saisonale Auflösung).

- Verknüpfung von KALMAR-TP4 Zielen mit nationalen Forschungsprogrammen (AWI-Forschungsprogramm PACES, DFG-Forschungszentrum FZT 15 „The Ocean in the Earth System“, HGF-REKLIM Initiative), um die Finanzierung der weiteren Auswertung seit Januar 2012 sicherzustellen.
- Bereitstellung von Sedimentkern- und Probenlager für SO201-2 Probenmaterial durch AWI und GEOMAR.
- Datenhaltung und Datenverwaltung in PANGAEA-Datenbank am AWI.

I.3 Planung und Ablauf von KALMAR TP4

Der **Winter 2008/09 und das Frühjahr 2009** standen im Zeichen logistischer Vorbereitungen für die Durchführung der Expedition SO201 Leg 2. Außerdem wurde für den Fall, dass die Forschungsgenehmigung für die Seegebiete der Russischen Föderation nicht erteilt wird, ein alternativer Expeditionsplan entwickelt.

Vom 27.4. – 1.5.2009 nahm unsere Gruppe am ersten deutsch-russischen KALMAR-Workshop in Petropawlowsk-Kamtschatskij teil. Die Vortrags- und Posterinhalte wurden in TERRA NOSTRA 2009/1 veröffentlicht (s. Kapitel 2.6). Der Workshop diente auch zur Abstimmung der geplanten Arbeiten mit unseren russischen Kooperationspartnern.

Die KALMAR SO201-2 Expedition fand vom 30.8. – 8.10.2009 in russischen Gewässern statt. Die Genehmigung zur Durchführung der Expedition wurde Mitte Juni an den russischen Projektleiter Dr. Boris Baranov übermittelt. In ihr waren nur minimale Einschränkungen der Gebiete vermerkt, welche die Zielsetzung der Forschungsfahrt SO201 Leg 2 nicht beeinträchtigte. Die Ausfahrt war, trotz teilweise schwieriger Wetterlagen, ein großer Erfolg. Das gewonnene Probenmaterial eignet sich hervorragend zur Bearbeitung unserer Ziele.

Der zweite Workshop fand vom 7. - 9. Dezember 2009 am IFM-GEOMAR in Kiel statt. Er diente der Vorstellung der Expeditionsergebnisse und der Koordinierung der geplanten Auswertearbeiten. Unter den anwesenden KALMAR-Wissenschaftlern waren auch russische Kollegen des KALMAR-TP4 Projektes, die sich zu diesem Zeitpunkt für Forschungsarbeiten in Kiel aufhielten. **Etwa zeitgleich trafen die Container mit dem auf der Expedition gewonnenen Probenmaterial ein.**

Im Frühjahr 2010 wurden gemeinsame „Sampling Parties“ am GEOMAR sowie am AWI organisiert. An ausgewählten Sedimentkernen wurden am AWI mit dem **Röntgenfluoreszenz (XRF) Scanner** die Intensitäten der Elementvariationen in 1cm Abständen gemessen (Elemente im Periodensystem von Aluminium bis zum Uran). Die Messungen dauerten etwa 2 Monate und wurden durch Wissenschaftler und Studenten vom GEOMAR unterstützt. Sie bildeten die Grundlage für eine detaillierte Korrelation der Sedimentabfolgen zwischen den einzelnen Sedimentkernen, ermöglichten erste stratigraphische Einstufungen und lieferten Hinweise über die Veränderungen im biogenen und Terrigenen Sedimenteintrag.

Die Aufbereitung der Sedimentproben und die Messung bestimmter Proxydaten (siehe Kapitel 2) begann im Sommer 2010 und dauert bis heute an. Dabei wurden in Abständen von 3 Monaten die Ergebnisse zusammengetragen und mit allen TP4-Beteiligten diskutiert. Die Planung der weiteren Arbeiten wurde dabei entsprechend den Ergebnissen überdacht und gegebenenfalls neu angepasst. Der Großteil der Messungen verlief erwartungsgemäß. Die beiden Doktoranden vom AWI und GEOMAR entwickelten gemeinsam eine vorbildliche Strategie zu einer effizienten und damit zeitsparenden Probenaufbereitung, die auch zu Synergien im wissenschaftlichen Bereich führte.

Zeitliche Verzögerungen bei der Durchführung der wissenschaftlichen Auswertearbeiten betrafen vor allem die Messung der O- und Si-Isotope an kieseligen Mikrofossilien, da die apparativen und methodischen Voraussetzungen für die Opalisotopie nicht wie ursprünglich geplant geschaffen werden konnten. Die Methodik und apparative Ausstattung konnte erst erfolgreich aufgebaut und entwickelt werden, nachdem nach Kündigung der für das Labor zunächst zuständigen Person die Mitantragstellerin Frau Dr. A. Abelmann die Laborleitung übernommen hatte. Durch verstärkten Personaleinsatz konnten die Verzögerungen ab Mitte 2010 weitestgehend wieder aufgeholt werden. Derzeit arbeitet das Opal-Isotopenlabor routinemäßig. Gestützt auf einen neuen Ansatz können nun Sauerstoff- und Silizium-Isotope parallel an einer Probe durchgeführt werden (s. Kap. 3 Erfolgskontrollbericht).

Ein technisches Problem stellte bislang die Alterseinstufung der Sedimentprofile für den Zeitraum der letzten 8.000 Jahre dar. In diesem Zeitintervall ist die Menge an planktischen Karbonatschalen so gering, dass sie nicht für AMS ¹⁴C-Datierungen ausreicht. Erst kürzlich wurde eine extrem verbesserte Messtechnik am Institut für Umweltphysik an der Universität Heidelberg entwickelt mit der unsere Proben datierbar wären. Erste Datierungen sind für September geplant.

Wichtige Meilensteine auf dem Weg von der Auswertung zur Dokumentation und Veröffentlichung waren:

- **Sonne-Statusseminar** (9.-10.2.2011, Hannover)
- **Deutsch-russischer KALMAR Workshop** (16.-20.5.2011, Trier)
Auf dem Workshops wurden die erzielten russisch-deutschen Ergebnisse zusammengeführt und gemeinsame Publikationen geplant. Als dringende Notwendigkeit wurde die Verwendung gleicher Altersmodelle angesehen. In den Folgemonaten wurde daher gemeinsam für jeden Sedimentkern eine einheitlich verwendbare Stratigraphie entwickelt. Darüber hinaus wurde eine Strategie entwickelt, die die Einbindung von neuen Datierungen ermöglicht und für alle Partner verfügbar macht.
- **European Geosciences Union General Assembly 2011** (3.-8.4.2011, Wien)
Hier wurden erste Ergebnisse anhand von Postern vorgestellt.
- **AGU Fall Meeting 2011** (5.-9.12.2011, San Francisco)
Im Rahmen des AGU Fall Meetings wurde von den Projektleitern eine sehr gut besuchte und erfolgreich verlaufene Poster- und Vortragsession (PP52) mit dem Titel „Pleistocene-Holocene Climate Variability in the North Pacific Realm“ (Convenor: Gersonde, Nürnberg, Tiedemann) organisiert und durchgeführt, bei der neben KALMAR-Ergebnissen auch Ergebnisse der SO202-Expedition INOPEX (N-Pazifik) vorgestellt wurden. Daran nahmen auch unsere russischen Partner teil. Unser Doktorand Jan-Rainer Riethdorf hat Projektergebnisse als Vortrag präsentiert. Der Doktorand Lars Max und die Master-Sudentin Julia Gottschalk präsentierten Poster.
- **Abschluss der Dissertationen von Lars Max und Jan-Rainer Riethdorf und Einreichung erster Publikationen.** Beide Dissertationen sind abgeschlossen, wurden im Mai 2012 eingereicht und befinden sich in der Begutachtungsphase. Zwei Manuskripte sind bei der Zeitschrift *Paleoceanography* eingereicht. Eines ist mit „minor revisions“ bereits zurück und wird akzeptiert. Drei weitere Manuskripte (Teilkapitel der Dissertationen) werden im Juni bzw. in den darauffolgenden Monaten eingereicht. Beide Wissenschaftler verbleiben in der Forschung, so dass diese Veröffentlichungen (nicht nur durch die Antragsteller selbst) sichergestellt sind.
- **M.Sc. Arbeit Julia Gottschalk.** Frau Gottschalk wurde am AWI durch R. Tiedemann betreut und hat an laminierten Sediment des Beringmeeres gearbeitet. Der Titel der Diplomarbeit lautet: Timing and forcing of deglacial climate change in the Bering Sea derived from laminated sediments and numerical climate modelling.
- **B.Sc. Arbeit L. Belz.** Frau Belz hat im Rahmen ihrer Bachelor-Arbeit (Univ. Bremen, 2010) in der AWI Arbeitsgruppe Alkenonmessungen durchgeführt. Die von R. Tiedemann betreute Arbeit hat den Titel: Spätpleistozäne-holozäne Veränderungen in den Wasseroberflächentemperaturen der Beringsee.
- **B.Sc. Arbeit O. Mund.** Herr Mund hat im Rahmen seiner Bachelor-Arbeit (Univ. Bremen) unter der Betreuung von R. Tiedemann den Versuch einer ersten stratigraphischen

Einordnung des Sedimentkernes SO201-2 85 KL aus der westlichen Beringsee unternommen. Die B.Sc.-Arbeit hat den Titel „Zeitliche Einstufung und Variation der Sedimentzusammensetzung während der letzten 120.000 Jahre am Shirshov-Rücken“.

- **B.Sc. Arbeit Miriam Ibenthal.** Frau Ibenthal hat im Rahmen ihrer Bachelor-Arbeit (Univ. Kiel., 2011) in der GEOMAR Arbeitsgruppe bereits erstellte geochemische RFA-Analysen von Sedimentoberflächenproben aus des Beringmeeres (KALMAR) und der Ochotskischen See (KOMEX) zusammengetragen, ausgewertet und in Form von Verteilungskarten dargestellt. Der Titel der mit sehr gut benoteten B.Sc. Arbeit ist: Geochemische Verteilungsmuster rezenter Sedimente im Ochotskischen Meer und des Beringmeeres. Die Betreuung übernahm D. Nürnberg.
- **B.Sc. Arbeit Johanna Ochs.** Frau Ochs hat im Rahmen ihrer Bachelor-Arbeit (Univ. Köln, 2011) den Disziplin-übergreifenden Versuch unternommen, mittels bereits erstellter geochemische XRF-Scannerdaten von Sedimentkernen aus der Ochotskischen See und Lake Elgygytyn (N-Sibirien) eine Korrelation zwischen den marinen und terrestrischen Klimadaten des NW-pazifischen Raumes zu erzielen. Der Titel der mit sehr gut benoteten und von Prof. Dr. M. Melles (Univ. Köln) und D. Nürnberg betreuten B.Sc. Arbeit heißt: Vergleich zweier Sedimentationsräume der hohen Breiten zur Klimarekonstruktion: Versuch des Nachweises einer atmosphärischen Telekonnektion zwischen dem El'Gygytyn See und dem Ochotskischen Meer.

I.4 Wissenschaftlich-technischer Stand zu Beginn des Projektes

Der wissenschaftlich-technische Stand, an den mit diesem Projekt angeknüpft wurde, ist ausführlich unter dem Punkt „Stand der Wissenschaft“ bei Antragstellung abgehandelt. Die aktuellen wissenschaftlichen Hypothesen und Fragestellungen werden im Zusammenhang mit unseren vorliegenden Ergebnissen im „Erfolgskontrollbericht“ diskutiert. Daher wird an dieser Stelle auf eine Wiederholung verzichtet.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

*fett markiert sind direkte TP4-Projektbeteiligte

Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven

- R. Tiedemann** (Paläozeanographie)
- A. Abelmann** (Opal-Isotopie $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{30}\text{Si}$, Datierung, Radiolarien)
- O. Esper** (Diatomeen-, Dinozysten-Paläozeanographie)
- K. Fahl (Biomarker)
- R. Gersonde (INOPEX-Koordination, Paläozeanographie, Diatomeen, Datierung)
- G. Knorr (Modellierung)
- G. Kuhn (Sedimentologie)
- H. Kühn (östliches Beringmeer-Laminite, INOPEX)
- F. Lamy (Paläozeanographie)
- G. Lohmann (Modellierung)
- A. Mackensen (Isotopenstratigraphie)
- L. Max** (Paläozeanographie)
- E. Maier** (Opalisotopie, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{30}\text{Si}$, INOPEX+KALMAR)
- M. Meheust** (Biomarker, INOPEX+KALMAR)
- G. Mollenhauer (Biomarker, Datierung)
- J. Ren (Diatomeen-Paläozeanographie, INOPEX)
- R. Stein (Biomarker)

Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung (AWI), Potsdam

- B. Diekmann (Seesedimente Kamtschatka, KALMAR TP5)

Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (GEOMAR), Kiel

- D. Nürnberg** (chemische Paläozeanographie, stabile Isotope, Spurenelemente)
- C. Dullo (Korallen)
- M. Frank (Paläozeanographie, Wassertracer)

J.R. Riethdorf (Paläozeanographie)

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moskau, Russland

E. Ivanova (Paläozeanographie)

A. Matul (Radiolarien)

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute (POI), Vladivostok, Russland

A. Derkachev (Geochemie)

S. Gorbarenko (Paläozeanographie)

Northeastern Integrated Scientific Research Institute FEB RAS, Magadan, Russland

M. Malakhov (Paläomagnetik)

Institute of Volcanology and Seismology, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russland

V. Ponomareva (Aschenlagen)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Geologisches Institut, Schweiz

G. Haug (Paläozeanographie)

M. Straub ($\delta^{15}\text{N}$, Foraminiferen)

A. Studer (Opalisotopie, $\delta^{15}\text{N}$)

Geoforschungszentrum (GFZ), Potsdam

A. Brauer (Micro XRF-Scanner)

Princeton University, Dept. of Geosciences, USA

D. M. Sigman (Opalisotopie, $\delta^{15}\text{N}$)

Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften (GeoB), Marine Geophysik, Bremen

M. Schulz (Paläomodellierung)

University of Hawaii, Department of Oceanography, Honolulu, USA

A. Timmermann (Modellierung)

II. WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

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

Im Folgenden sind die KALMAR-TP4 Einzelergebnisse kurz zusammengefasst. Einzelne Ergebnissen finden sich zudem im vertraulichen Erfolgskontrollbericht (Kap. 3) soweit sie noch nicht publiziert sind, um die Vertraulichkeit dieser Ergebnisse gegenüber der Öffentlichkeit zu wahren.

Allgemeines

Während der Expedition SO201-2 KALMAR wurde an 16 Lokationen im NW-Pazifik und im Beringmeer spätpleistozäne bis holozäne Sedimente für paläozeanographische Rekonstruktionen gewonnen (Abb. 1). Vier sehr unterschiedliche Ablagerungsräume wurden

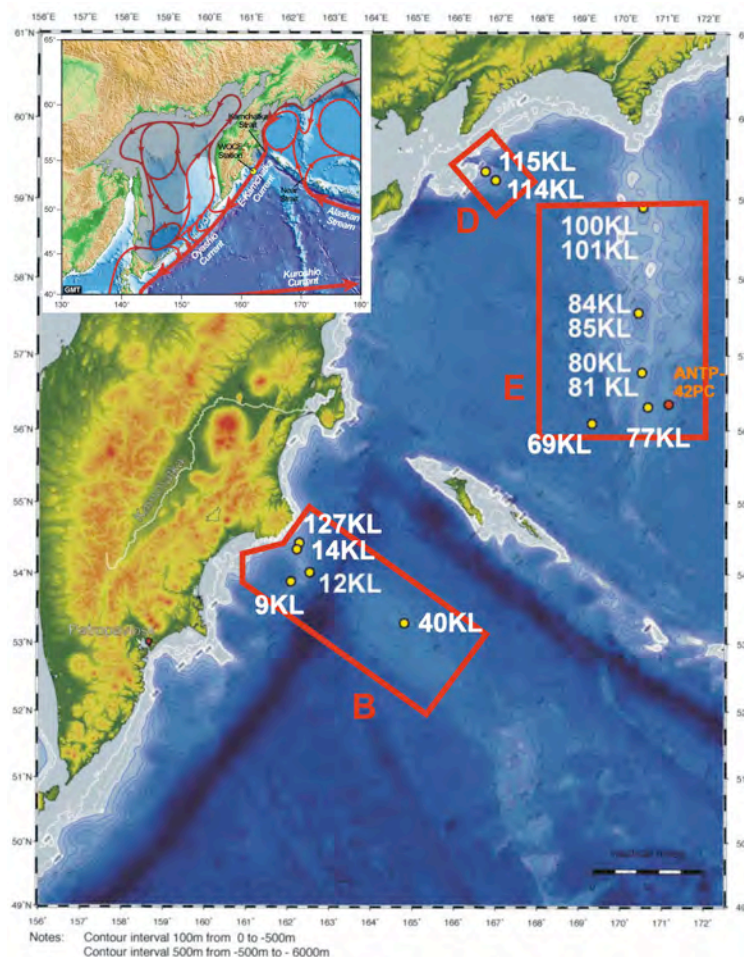


Abb. 1: Paläozeanographische Stationen der SO201-KALMAR (Leg 2) Expedition. Arbeitsgebiete B (Kronotsky Halbinsel und Meiji Seamount), D (Kontinentalrand im nordwestlichen Beringmeer) und E (Komandorsky Becken und Shirshov Rücken) sind rot umrandet. Karte oben links zeigt das Oberflächen-strömungsmuster im Arbeitsgebiet.

bearbeitet: der Kontinentalrand vor der Kronotsky Halbinsel Kamtschatkas (Gebiet B), der Meiji Seamount im nordwestlichen Pazifik (Gebiet B), das Kommandorsky Becken und der Shirshov Rücken im Beringmeer (Gebiet E), sowie der nordwestliche Kontinentalhang im Beringmeer (Gebiet D). Die Sedimentarchive vom Shirshov Rücken (Gebiet E) decken den Zeitraum der letzten 180.000 Jahre ab und umfassen damit die letzten beiden Glazial/Interglazial-Zyklen. Im NW-Pazifik am Kontinentalhang vor Kamtschatka (Gebiet B) wurden kürzere Zeitreihen gewonnen, die maximal den Zeitraum der letzten 25.000 Jahre dokumentieren. Mit Sedimentationsraten von bis zu 1m/1000Jahre sind sie aber zeitlich sehr hochauflösend. Am nordwestlichen Kontinentalhang des Beringmeeres (Gebiet D) wurden Sedimentkerne gewonnen, die laminierte Sedimentintervalle im Bölling/Alleröd und im frühen Holozän aufweisen. Die Wechsellagen kennzeichnen saisonale Änderungen in der Sedimentablagerung. Damit wurde das grundsätzliche Ziel, zeitlich hochauflösende Klimaarchive aufzuspüren und zu beproben, erfüllt.

II.1.1 Entwicklung von Altersmodellen (AWI, GEOMAR)

Zur Entwicklung von Altersmodellen wurde wenn möglich eine Kombination von AMS¹⁴C-Datierungen, Sauerstoffisotopenstratigraphie, Paläomagnetik sowie die Korrelation von Sedimentkernen mit Hilfe von sedimentphysikalischen und XRF-Scanner-Zeitreihen eingesetzt. Aus dem Zeitraum der letzten 40 ka wurden bislang insgesamt 40 AMS¹⁴C Proben (planktische, benthische Foraminiferen, Holz, Pflanzenreste) im Datierungslabor von Woods Hole Oceanographic Institution (NOSAMS) und im Leibnizlabor für Alterdatierung und Isotopenforschung in Kiel datiert. Die Kalibrierung der AMS¹⁴C-Alter wurde mit Hilfe von CALIB Rev 6.1 Radiocarbon Calibration Program (Stuiver und Reimer 1993) durchgeführt. Paralleldatierungen planktischer und benthischer Foraminiferen, die an verschiedenen Horizonten durchgeführt werden ermöglichen neben der Datierung auch die Abschätzung von Änderungen in der Ozeanventilation (Max, eingereichte Dissertation). Die geomagnetischen Untersuchungen wurden von unseren russischen Partnern (M. Malakhov) durchgeführt und sind in der Dissertation von Riethdorf aufgeführt. Insgesamt wurden 7 Sedimentkerne stratigraphisch datiert, weitere sind in Bearbeitung. (Abb. 2).

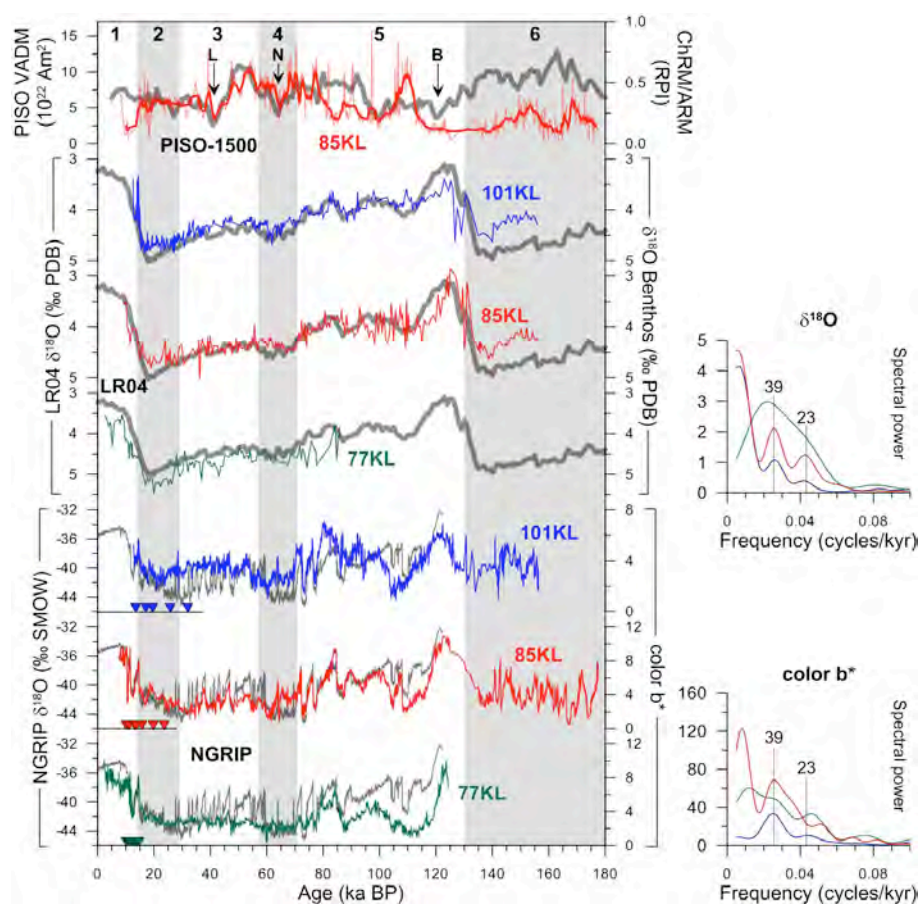


Abb. 2: Altermodelle der bearbeiteten Sedi-mentkerne. Die Strati-graphie basiert auf Radiokarbon-Datierungen, Sauerstoffisoto-penstratigraphie, Pa-läomagnetik und der graphischen Korrela-tion von hochauflö-senden Kernlogging-Daten.

II.1.2. Sauerstoff- und Silizium-Isotopie an Diatomeen, Methodenentwicklung und paläozeanographische Anwendung

Dargestellt in Kap. 3 Erfolgskontrollbericht: Während des Berichtszeitraums wurden am AWI unter Einsatz von KALMAR Personalmitteln neue Methoden zur Abtrennung von kieseligen Mikrofossilgruppen (Diatomeen, Radiolarien, Schwammnadeln) und zur Bestimmung von Sauerstoff und Siliziumisotopen entwickelt. Diese Daten liefern erstmals Hinweise auf Angebot/Nutzung des Nährstoffs Silizium (Si) und lassen Aussagen zu Änderungen in der Salinität (Schmelzwasserereignisse)/Temperatur zu. Wegen der aufwändigen Probenpräparation beschränken sich die langwierigen Arbeiten bislang auf Messungen an Sedimentkern SO201-2-77KL von Shirshov Rücken. Damit wurde das Ziel, eine neue Messtechnik zur Bestimmung von $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{30}\text{Si}$ Werten an kieseligen Mikrofossilgruppen zu entwickeln, erfolgreich umgesetzt.

II.1.3. Laminite im Bering Meer: Verbreitung, Altersstellung und paläozeanographische Bedeutung

Am Kontinentalhang des nordwestlichen Beringmeeres wurde ein Sedimentkern aus 1400 m Wassertiefe gezogen (201-2-114KL) der in den Zeitintervallen von 14.600-13.000 J.v.h. (Bölling/Alleröd) und von 11.200–7.600 J.v.h. (frühes Holozän) laminierte Sedimente auf-

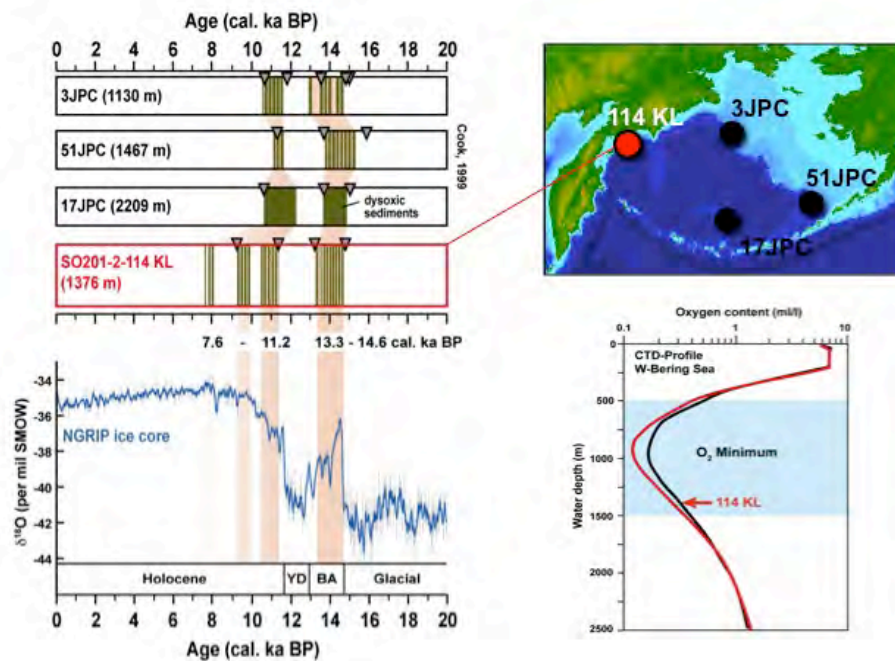


Abb. 3: Laminierte Sedimente des Bering-meeres. Die Karte zeigt die Lage des Sedimentkerns SO201-2-114KL. Links ist die zeitliche Einstufung der laminierten Horizonte im Vergleich zum östlichen Beringmeer und der grönländischen laminierte Sedimente (NGRIP Eis-kerndaten) dargestellt. Abbildung rechts unten zeigt die Sauerstoffverteilung in der Wassersäule von zwei SO201-2 Stationen aus dem westlichen Beringmeer.

weist (Abb. 3). Diese Sedimentintervalle wurden im Rahmen einer Masterarbeit (Gottschalk, 2010) AMS¹⁴C-datiert und bearbeitet. Das Vorkommen von laminierten Sedimenten im Beringmeer ist bekannt, allerdings nur für das östliche Beringmeer (Cook et al., 2005). Darüber hinaus wurden während der SO202-INOPEX Expedition (Gersonde, AWI) drei weitere Sedimentkerne mit laminierten Intervallen im östlichen Beringmeer gezogen (Bowers Rücken, nordöstlicher Beringhang, Umnak Plateau). Da alle Kerne aus unterschiedlichen Wassertiefen stammen, wissen wir nun, dass die Laminite oberhalb einer Wassertiefe von ca. 2500 m auftreten und mindestens den Tiefenbereich bis 1100 m erfassen. Sie lassen sich zeitlich - übereinstimmend mit Ergebnissen von Cook et al. (2005) - den klimatisch warmen Zeiträumen während des letzten Glazial/Interglazialübergangs, dem Bølling-Allerød und dem frühen Holozän zuordnen.

Die Entstehung der Laminite wird auf eine erhöhte biologische Produktivität und eine Verstärkung der Sauerstoffminimumzone zurückgeführt. Heute liegt die Sauerstoffminimumzone in einem Tiefenintervall zwischen 500 und 1500 m (Abb. 3), ist aber heute trotz minimaler Gehalte von 0.1 ml O₂/l für die Bildung von Laminiten nicht ausreichend stark ausgebildet. Untersuchungen mit dem Raster-Elektronen-Mikroskop zeigen, dass die Lamination aus einer Wechsellagerung von diatomeenreichen und terrigen-dominierten Lagen besteht, die nach bisherigem Kenntnisstand jahreszeitlich abgelagert wurden (Gottschalk, 2010). Darauf weisen Zählungen, die Frau Gottschalk mit Hilfe des Micro-XRF-Sannings am GFZ Potsdam durchgeführt hat. Das Elementverhältnis Si/Al eignete sich sehr gut zur Erfassung der Wechsellagen. Biogenopal-reiche Lagen sind durch hohe Si/Al Werte gekennzeichnet, terrigene Lagen hingegen durch geringe Verhältnisse (Abb. 4). Die Bildung der laminierten Horizonte ist zudem eng an die globale Klimaentwicklung und daran gekoppelter Veränderungen in der Ozeanographie und atmosphärischen Zirkulation verbunden.

II.1.4. Entwicklung der Wasseroberflächentemperaturen und der Meereisverbreitung im NW-Pazifik während der letzten 15.000 Jahre

An insgesamt 6 Sedimentkernen aus dem NW-Pazifik, der westlichen Beringsee und der See von Ochotsk haben wir die Entwicklung der Wasseroberflächentemperatur (SST) und der Meereisverbreitung für den Zeitraum der letzten 15.000 Jahre rekonstruiert. In drei Kernen fehlte allerdings das Holozän zu großen Teilen. Die Wasseroberflächentemperaturen wurden über den Sättigungsgrad von Alkenenonen rekonstruiert (Müller et al., 1998). Die Meereisverbreitung wurde durch Anwendung des relativ neuen organischen Biomarkers IP25 rekonstruiert (Müller et al., 2011).

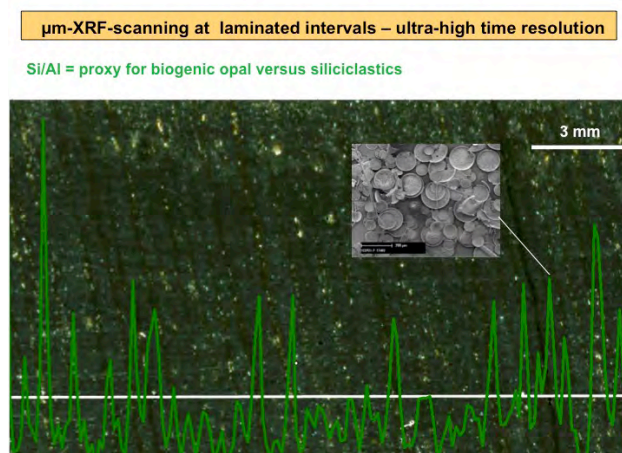


Abb. 4. Radiographie eines laminierten Horizontes und zugehörige Variation in den Si/Al Verhältnissen (grüne Kurve). Die eingeschobene Raster-Elektronen-Mikroskop-Aufnahme kennzeichnet eine diatomeenreiche Lage (Si/Al Maximum).

Mit den erstellten SST-Kurven (Abb. 5) sollten einerseits der Wärmetransfer aus der Beringsee entlang der Küste von Kamtchatka (Kamtchatka Strom) bis in die See von Ochotsk erfasst werden und andererseits zwei Hypothesen überprüft werden die auf Modellergebnissen basieren. Hypothese 1 schlägt für die letzten 7000 Jahre einen abnehmenden SST-Trend für den N-Atlantik vor (durch Proxydaten belegt) und genau umgekehrt eine SST-Zunahme für den nordwestpazifischen Raum vor (z.B. Saenko et al., 2004). Als Ursache werden atmosphärische Telekonnektionen angeführt. Hypothese 2 schlägt für die kaltzeitlichen Ereignisse Heinrich I (H1) und die Jüngere Dryas (YD) eine Zunahme der SSTs im N-Pazifik im Zuge einer verstärkten nordpazifischen Tiefenwasserbildung vor. Eine verstärkte Tiefenwasserbildung führt in den Modellen zu einem „Nachsaugen“ von oberflächennahen Wassermassen, die vom relativ warmen Kuroshio Strom aus den Subtropen in den NW-Pazifik transportiert werden und dann mit dem Alaska Strom weiter nach Westen entlang der Aleuten strömen (Okumura et al., 2009; Okazaki et al., 2010; Chikamoto et al., 2012).

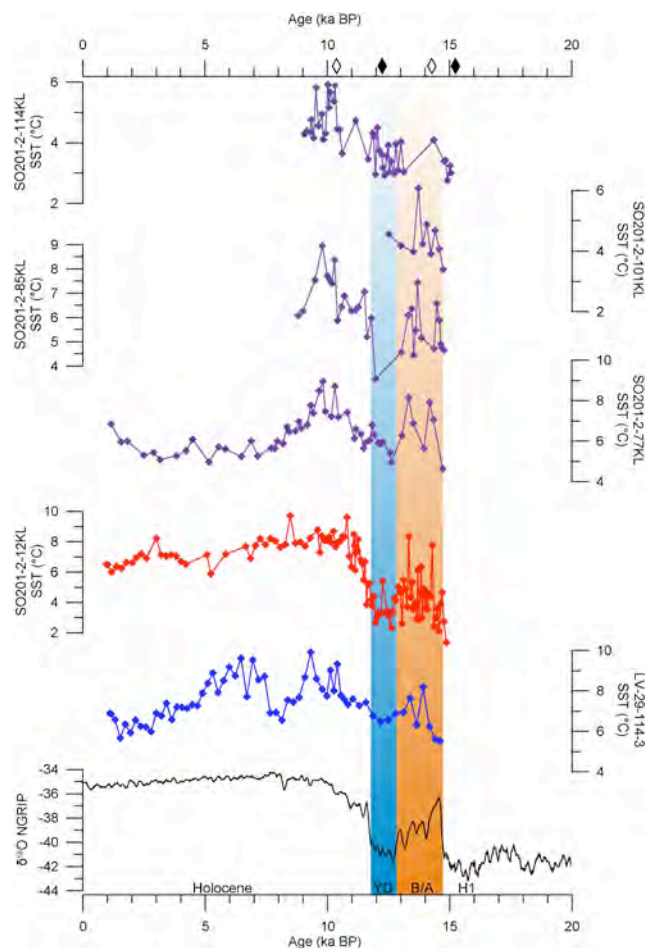


Abb. 5: Rekonstruktion der Wasseroberflächentemperaturen für die letzten 15.000 Jahre an Sedimentkernen aus dem Beringmeer (SO201-2-77KL, -85KL, -101KL, -114KL), dem NW-Pazifik (SO201-2-12KL) und der Ochotskischen See (LV-29-114-3). Zum Vergleich ist die Temperaturvariabilität des grönländischen NGRIP-Eiskerns abgebildet. Die stratigraphischen Positionen von Heinrich 1 (H1), Bölling/Alleröd (B/A) und Jüngerer Dryas (YD) sind farblich unterlegt.

Die holozänen Temperaturkurven aus dem Beringmeer, dem NW-Pazifik und der Ochotskischen See zeigen für die letzten 7000 Jahre unterschiedlich stark ausgebildete Trends, was auf Überprägungen in der regionalen Ozeanographie hindeutet. Der NW-Pazifik und die Ochotskische See zeichnen sich durch eine Abnahme in den SSTs aus, was im Kontrast zur Hypothese 1 steht. Im Beringmeer steigt die Temperatur erst während der letzten 2000 Jahre an und zeigt damit ebenfalls keinen deutlichen Erwärmungstrend über den Zeitraum der letzten 7000 Jahre. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass einerseits die Temperaturentwicklung im nordwestpazifischen Raum relativ komplex ist und dass die modellierten Klimamuster nicht in Frage kommen um die holozäne Temperaturentwicklung in ihren Ursachen zu erklären. Die Entwicklung der SSTs ist jedoch für den Zeitraum des letzten Deglazials (15.000 – 10.000 Jv.h.) im Beringmeer, dem NW-Pazifik und der Ochotskischen See relativ gleichförmig ausgeprägt. Die SSTs nehmen am Übergang von H1 in das Bölling/Alleröd zu und nehmen am Übergang vom Bölling/Alleröd in die YD wieder ab. Der Temperaturabschwung steht ebenfalls im Widerspruch zur Hypothese 2, wonach genau umgekehrt ein SST Anstieg zu erwarten wäre. Dies schließt eine verstärkte Bildung von nordpazifischen Tiefenwasser aber nicht aus (siehe 2.1.6). Unsere Daten tragen damit entscheidend zu einem verbesserten Verständnis der Klimaentwicklung im N-Pazifik bei.

Die Rekonstruktionen in der Meereisverbreitung zeigen im Vergleich zu heute eine deutliche Ausdehnung der Meereisgrenze während H1 und der YD. In beiden Intervallen erreichte die maximale Ausdehnung der Meereisgrenze mindestens die Südspitze des Shirshov Rückens im Beringmeer, sowie die Position von Sedimentkern 201-2-12KL im NW-Pazifik. Ergänzende Arbeiten werden im Rahmen von INOPEX durchgeführt.

II.1.5. Deglaziale Temperatur- und Salinitätsentwicklung im subarktischen NW-Pazifik und Implikationen für die Stratifizierung der oberen Deckschicht

Anhand von Modell- als auch Proxydatenergebnissen wurde postuliert, dass die salzgehaltsgesteuerte Stratifizierung der oberen Deckschicht des subarktischen N-Pazifiks während der letzten Deglaziation deutlich abgeschwächt war und damit den deglazialen Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration entscheidend beeinflusst haben könnte. Im Rahmen dieser Studie wurden an mehreren Sedimentkernen aus dem N-Pazifik, dem Beringmeer und dem Ochotskischen Meer (Abb. 6) für den Zeitraum der letzten 20.000 Jahre hochauflösende Meeresoberflächentemperaturen (SST_{UK37}), als auch Temperatur- (subSST_{Mg/Ca}) und Salzgehaltsänderungen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{icf-sw}}$) der oberflächennahen Deckschicht rekonstruiert. Diese Proxydaten resultieren zum Einen aus kombinierten $\delta^{18}\text{O}$ und Mg/Ca-Analysen, die an planktischen Foraminiferen (*N. pachyderma* sin.) gemessen wurden, zum Anderen aus der Messung bestimmter Biomarker (SST_{UK37}).

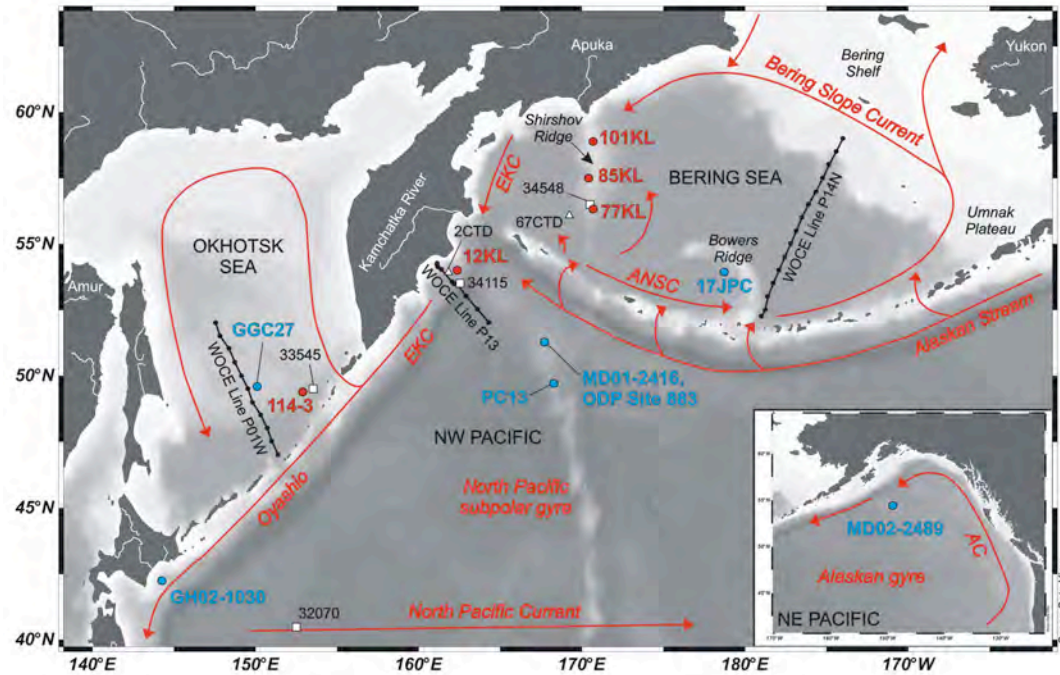


Abb. 6: Bathymetrische Karte des subarktischen Pazifik, der Ochotskischen See und des Beringmeeres. Rote Punkte markieren die untersuchten Sedimentkerne. Blaue Punkte sind publizierte Referenzdaten-sätze. Weiße Dreiecke markieren CTD-Stationen der FS SONNE Expedition SO201-2, wogegen weiße Vierecke Stationen des World Ocean Atlas 2009 (Locarnini et al., 2010) und schwarze Punkte Stationen des World Ocean Circulation Experiment (WOCE) markieren. Das Oberflächenzirkulationsmuster nach Tomczak und Godfrey (1994) und Stabeno et al., 1999) ist mit roten Pfeilen eingetragen: AC = Alaskan Current, ANSC = Aleutian North Slope Current, EKC = East Kamchatka Current. Abbildung erstellt mit Ocean Data View (Schlitzer, 2011).

Die Untersuchungen lassen eine regional deutlich unterschiedliche Entwicklung der oberen Deckschicht im Untersuchungsgebiet erkennen, wobei aber die zeitlichen Veränderungen von ozeanischen Temperaturen und Salzgehalten synchron verlaufen (Abb. 7). Während der Kälteperioden des Heinrich 1 und der Jüngeren Dryas ist die obere Deckschicht an allen Kernlokationen durch kalte oberflächennahe Wassermassen beeinflusst, was mit einer abgeschwächten Stratifizierung aufgrund einer verstärkten winterlichen Meereisbildung, einer stark verkürzten Sommersaison und einer zunehmenden Advektion von geringsalinen Wassermassen des Alaska-Stromes und des Ost-Kamchatka Stromes in Zusammenhang steht.

Dagegen erwärmten sich die Oberflächentemperaturen während des warmzeitlichen Bølling/Allerød im N-Pazifik (Kern 12KL) und im Beringmeer (Kerne 85KL und 101KL), wobei auch die Salzgehalte in der oberen Deckschicht anstiegen. Ursächlich scheint eine verstärkt ausgebildete thermale Stratifizierung der Deckschicht und ein verringerter Einfluss des Alaska-Stromes und des Ost-Kamchatka Stromes. Die Salzgehalte in der südlichen Ochotskischen See und an den Beringmeer Lokationen 114-3 und 77KL verblieben dagegen geringsalin, was darauf hindeutet, dass die Meereisbedeckung und damit die saisonale Stratifizierung regional stark variierte.

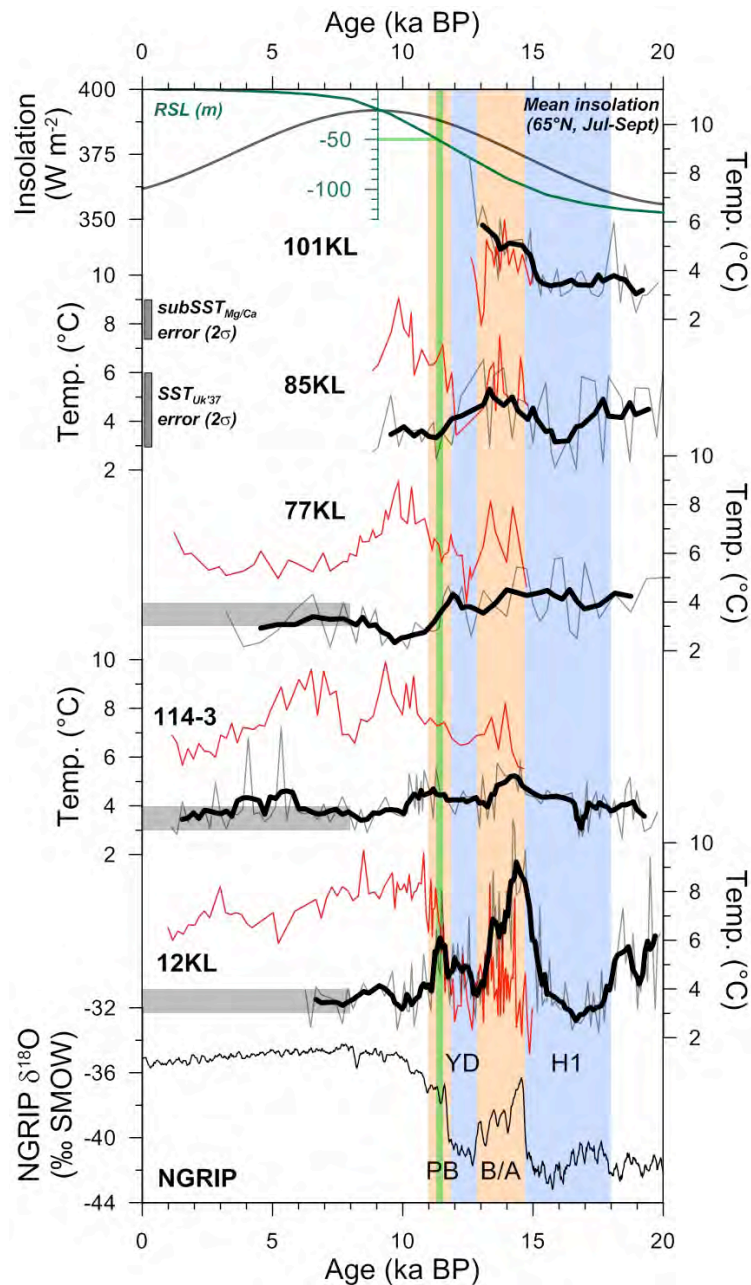


Abb. 7: Temperaturrekonstruktionen über die letzten 20.000 Jahre aus dem Beringmeer (SO201-2-101KL, -85KL, -77KL), des subarktischen NW-Pazifiks vor Kamtschatka (SO201-2-12KL) und der südlichen Ochotskischen See (LV29-114-3). Als Referenz wird der NGRIP Klimarecord (NGRIP members, 2004; GICC05 Zeitskala, Rasmussen et al., 2005) gezeigt. Die $SST_{Mg/Ca}$ -Records (grau, mit darübergelegten gemittelten Kurven, schwarz) stehen im Vergleich zu den Alkenon-basierten SST_{UK37} -Daten (rot; Max et al., in Begutachtung). Die schattierten Bereiche geben die gemittelten mittel bis spätholozänen (<8 ka BP) Temperaturen von 3-4°C an, die mit den modernen Temperaturen korrespondieren. Die Meeresspiegelkurve (RSL in Meter) ist von Waelbroeck et al., (2002), wobei die vertikale grüne Linie den Zeitpunkt angibt, ab dem die Schwellentiefe von ca. 50 m der Beringstraße erreicht wird. Die mittlere Insolation für den Nordsummer (Juli bis September) für 65°N nach Laskar et al. (2004) ist als graue Kurve dargestellt. Bølling/Allerød, Preboreal, Heinrich 1 und Jüngere Dryas sind markiert.

Während des Holozäns langzeitlich sinkende Temperaturen und Salzgehalte der oberen Deckschicht stehen in engem Zusammenhang mit den die Saisonalität steuernden atmosphärischen und ozeanographischen Veränderungen, sowie mit der durch den

ansteigenden Meeresspiegel ausgelösten Öffnung der Beringstraße. Die Etablierung der modernen, salzgehalts-gesteuerten Wassermassenschichtung im NW-Pazifik erfolgte demnach erst im frühen Holozän.

Die auffällig unterschiedliche Temperaturentwicklung während der Deglaziation und dem Holozän, wie sie einerseits aus den Alkenon- und andererseits aus den Foraminiferen-Mg/Ca-basierten Rekonstruktionen ersichtlich ist, erlaubt neue und sich ergänzende Aussagen zur Thermoklinenveränderung im NW-Pazifik, die bisher so noch nicht gezeigt wurden. Die Thermoklinenentwicklung während der Deglaziation wird demnach vor allem durch Veränderungen in der Nordhemisphären-Sommerinsolation verursacht, die ihrerseits die Saisonalität, die Meereisdynamik und die Stratifizierung der oberen Deckschicht steuert. Nach unseren Ergebnissen scheint die Saisonalität während Heinrich 1 und der Jüngeren Dryas im Gegensatz zur Situation im Bølling/Allerød deutlich schwächer ausgebildet gewesen zu sein, mit dem Effekt einer deutlich abgeschwächten Stratifizierung der Wassermassen in der oberen Deckschicht.

II.1.6. Rapide Änderungen der marinen Produktivität und des Terrigenflusses im westlichen Beringmeer während des letzten glazial/interglazialen Überganges

Anhand von Sedimentkernen, die aus intermediären Wassertiefen entlang eines Nord-Süd-Transektiv auf dem Shirshov-Rücken, westliches Beringmeer, abgeteuft wurden (Abb. 8), wurde die Veränderlichkeit der marinen Produktivität und des Terrigenflusses während der letzten ca. 180.000 Jahre rekonstruiert. Dabei erlaubten die Sedimentkerne eine relativ hohe zeitliche Auflösung unserer Datenserien auf Zeitskalen von Jahrhunderten bis Jahrtausenden. Während des zwei Glazial/Interglazial-Wechsel umfassenden Zeitraumes wurden die Umweltbedingungen im Bereich des Beringmeeres durch das enge Zusammenwirken von Insolation, atmosphärischer Zirkulation, saisonalen Kontrasten, Meeresspiegelschwankungen, Meereisdynamik und Wassermassenstratifizierung bestimmt, die nachhaltigen Einfluss auf die Veränderlichkeit der marinen Produktivität und des Eintrages lithogenen Materials hatten. Letztere beiden Prozesse wurden im Rahmen dieser Studie überwiegend anhand eines geochemischen „Multi-Proxy-Ansatzes“ adressiert.

Die marine Produktivität wird im Untersuchungsgebiet durch silikatisches Plankton, insbesondere Kieselalgen (Diatomeen), dominiert. Generell war sie während der meisten Zeit des letzten Glazial/Interglazial-Zyklus und während des vorletzten Glazials (MIS6) gering, zu Zeiten als die Beringstraße geschlossen und die Sommerinsolation nur schwach ausgeprägt war (Abb. 9). Signifikante Zunahmen in der marinen Produktivität erfolgten während der Interglaziale bzw. den Warmstadien MIS 5a und 5c, während derer die Sommerinsolation sehr ausgeprägt und die Beringstraße aufgrund des höheren Meeresspiegels geöffnet war. Die lithogenen Anteile am Sediment werden dagegen durch

siliziklastisches Material charakterisiert, das überwiegend an die Silt- und Tonfraktion gebunden ist. Der Terrigeneintrag war dabei während der letzten 180.000 Jahre sehr hoch, wobei nur während der Interglaziale und der Warmstadien MIS 5a und 5c eine Verringerung um ~30-40% zu beobachten ist. Die zeitlichen Veränderungen im Terrigenfluss und mariner Produktivität erfolgten synchron und sind nahezu antikorreliert.

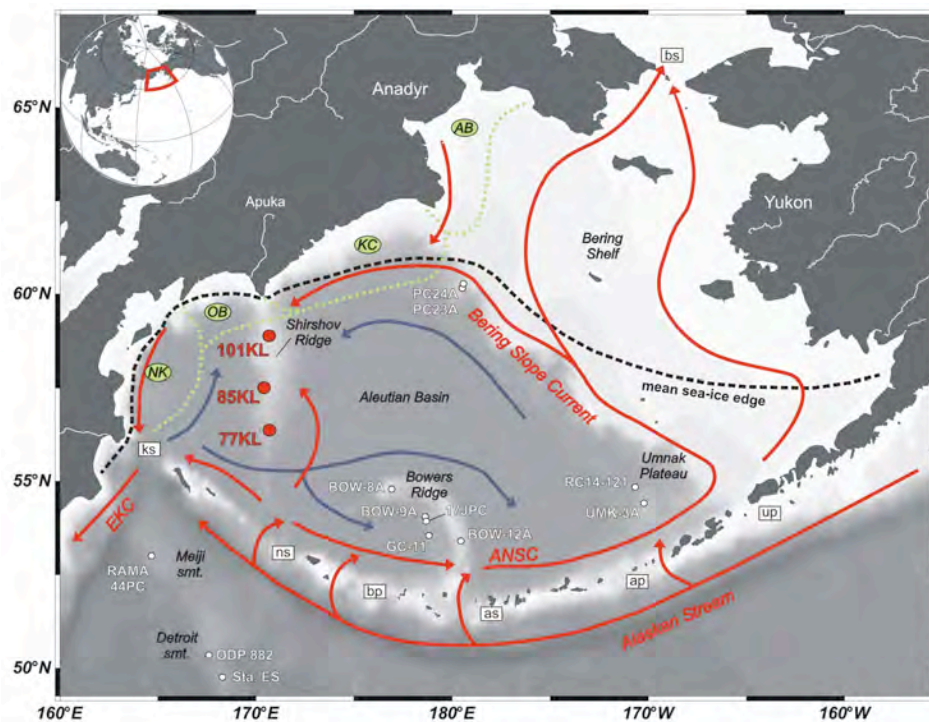


Abb. 8: Bathymetrische Karte mit eingezeichneten Kernlokalationen (rote Punkte). Weiße Punkte markieren publizierte Referenz-datenätze. Die gestrichelte schwarze Linie kennzeichnet die durchschnittliche Meereisausbreitung (15. März, 1973-1986, nach Niebauer et al., 1999). Die gepunktete grüne Linie indiziert mineralogische Provinzen nach Lisitzin (2002): NK = Northern Kamchatka, OB = Olyutorskii Bay, KC = Koryak Coast, AB = Anadyr Bay. Die Oberflächen- (rot) und Tiefenwasserzirkulation (blau) wurde von Stabeno et al., 1999) übernommen: ANSC = Aleutian North Slope Current, EKC = East Kamchatka Current. Ks = Kamchatka Strait, ns = Near Strait, bp = Buldir Pass, as = Amchitka Strait, ap = Amukta Pass, up = Unimak Pass, bs = Bering Strait. Karte erstellt mit Ocean Data View (Schlitzer, 2011) und „Online Map Creation“ (<https://sfb574.ifm-geomar.de/gmt-maps/>).

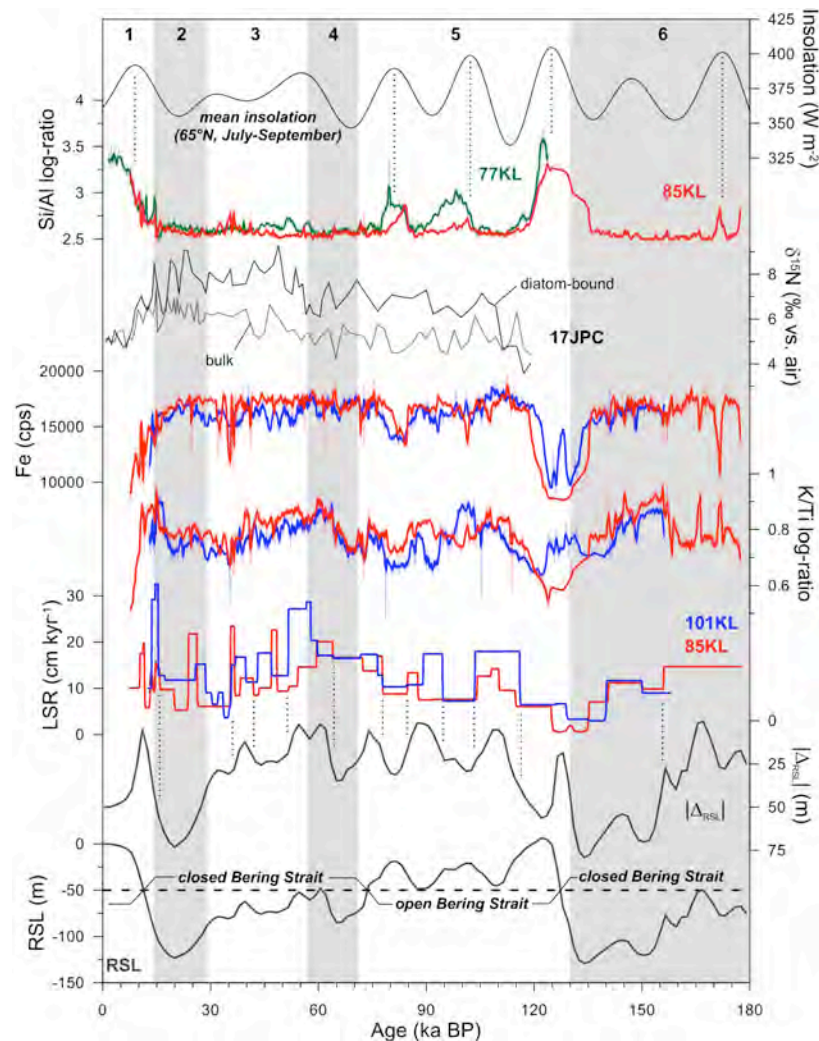


Abb. 9: Darstellung zu Umweltveränderungen im Beringmeer während der letzten 180.000 Jahre. XRF-basierende Si/Al-Verhältnisse reflektieren Veränderungen der mari-nen Produktivität. K/Ti-Verhältnisse und Fe-Inten-sitäten zeigen Veränderun-gen im Terrigenfluß. RSL = Meeresspiegeländerungen nach Waelbroeck et al. (2002), gestrichelte hori-zontale Linie markiert 50 m-Linie, die die Schwellentiefe der Beringstraße angibt. (ΔRSL zeigt die absolute Differenz zwischen RSL-Record und Schwellen-tiefe). Schwarze Kurve : Nordsommer-Insolation (Ju-li – September) für 65°N nach Laskar et al. (2004). Diatomeen- und Gesamt-stickstoffisotopenverhältnissen ($\delta^{15}N$) zeigen die Nährstoffzehrung (Brunelle et al., 2007). Glaziale Isotopenstadien MIS 2, 4 und 6 sind schattiert (nach Liesiecki und Raymo, 2005). LSR = lineare Sedimentationsraten.

Entlang des untersuchten Transekts auf dem Shirshov-Rücken treten deutliche regionale Unterschiede auf, die mit einem generell stärkeren Meereiseinfluss in den nördlichen Regionen zu erklären ist, wodurch eine verstärkte marine Produktivität in den südlicheren Regionen des Shirshov-Rückens ermöglicht wird. Meereis erscheint dabei als wichtigste Steuergröße insbesondere während glazialer Zeiten, zum Einen als Transportagens für die lithogene Fracht, zum Anderen als limitierender Faktor für die marine Produktivität. Die lithogene Fracht des Meereises wird dabei im Küstenbereich des nördlichen Beringmeeres über unterschiedliche Eintragsmechanismen aufgenommen, wobei unsere geochemischen Untersuchungen die Anadyr Bucht als wahrscheinlichstes Herkunftsgebiet für Sedimente vom Shirshov-Rücken identifizieren konnten.

Marine Produktivität und Terrigenfluss unterlagen vor allem während der letzten Deglaziation ausgeprägten zeitlichen Variationen, die aber dem klimatischen Muster des N Atlantiks folgen und atmosphärische Fernwirkungen zwischen Grönland und dem N Pazifik vermuten lassen. Die Umweltbedingungen während der Kälteperioden des Heinrich 1 und der Jüngeren Dryas ähneln den glazialen Bedingungen mit einer stark ausgedehnten Meereisbedeckung, die den Terrigenfluss und die marine Produktivität während einer deutlich ausgedehnteren Wintersaison und verstärkter vertikaler Konvektion der ozeanischen Deckschicht signifikant bestimmten. Die deglazialen Warmphasen des Bølling/Allerød und des Preboreals zeichnen sich dagegen durch eine sehr hohe marine Produktivität aus, die nur während einer verlängerten Sommersaison bei signifikant zurückgehendem Meereiseinfluss und einer stabileren Wassermassenschichtung ermöglicht wurde. Diese Bedingungen erlauben entsprechend eine höhere Nährstoffzehrung, eventuell sogar die Denitrifizierung des ozeanischen Nitrats, sowie eine bessere Karbonaterhaltung.

Rapide Wechsel der Umweltbedingungen sind auch während der glazialen Stadien MIS2-3 zu erkennen, die eine zeitliche Anbindung an die nordatlantischen Dansgaard-Oeschger Zyklen und somit eine einheitliche nordatlantische/nordpazifische Klimasteuerung vermuten lassen. Diese interstadialen Verhältnisse entsprechen dabei den Umweltbedingungen, wie sie für das Bølling/Allerød beschrieben werden.

II.1.7. Schnelle Wechsel in der Bildung von Nordpazifischem Tiefen-/Zwischenwasser

Heute wird im N-Pazifik kein Tiefenwasser gebildet. Der Zwischenwasserbereich (Kerntiefe ca. 500 m) wird im NW-Pazifik allerdings von Wassermassen ventiliert, die ihren Ursprung im der Ochotskischen See haben. Dort wird während der Wintermonate im Bereich einer stationären Polynya im Randbereich des nordwestlichen Schelfes das Ochotskische Zwischenwasser gebildet. In der Beringsee gibt es dagegen keine Tiefen- oder Zwischenwasserbildung, da die oberflächennahen Salzgehalte zu gering sind.

Neue Ergebnisse gekoppelter Ozean-Atmosphäre Klimamodelle schlagen für den Zeitraum der letzten 18.000 Jahre eine Wippe in der Tiefenwasserbildung zwischen N-Atlantik und N-Pazifik vor (Okumura et al., 2009; Okazaki et al., 2010; Chikamoto et al., 2012). Im N-Atlantik kam es dementsprechend aufgrund von Schmelzwassereinträgen während des Heinrich 1-Ereignisses (H1) am Ausgang des letzten Glazials und während des Klimarückschlages der Jüngeren Dryas (YD) während der letzten Deglaziation zu einem Erliegen bzw. einer starken Abschwächung in der Bildungsrate von nordatlantischem Tiefenwasser. Das belegen zusätzlich Klimaproxy-Zeitreihen aus dem Atlantik (z.B. McManus et al., 2004). Für diese Zeiträume postulieren die Modellsimulationen genau entgegengesetzt eine Bildung von Tiefenwasser im Bereich des N-Pazifiks, wobei die Umwälzung und die damit verbundene Ventilation bis in Wassertiefen von 3000 m gereicht haben sollen. Aufgrund der

Großskaligkeit der Modelle konnten die Ursprungsregionen bisher jedoch nicht näher eingegrenzt werden.

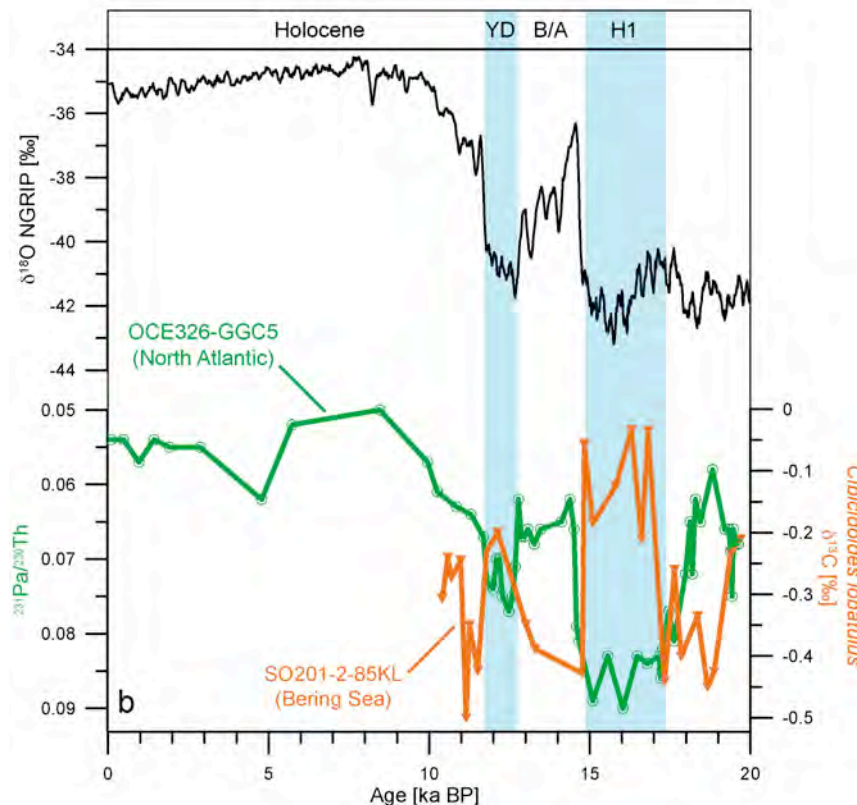


Abb. 10: Veränderungen in der Bildung von Nordatlantischem Tiefen-wasser (grün) im Vergleich zur Zwischenwasserbildung im Beringmeer (orange). Geringe Protactinium/Thorium Isotopenverhältnisse (grün) kennzeichnen Mini-ma in der Bildung von Nordatlantischem Tiefen-wasser. Hohe $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (orange) weisen auf eine Zwischenwasserbildung im Beringmeer. Zum Vergleich ist die grönländische NGRIP $\delta^{18}\text{O}$ Klimakurve gezeigt (schwarz.). Zur stratigraphischen Orientierung sind die Intervalle Heinrich 1 (H1), Bølling /Allerød und Jüngere Dryas (YD) farblich gekennzeichnet.

Diese Hypothese konnten wir anhand von Sedimentkernen aus dem Beringmeer, dem NW-Pazifik und der Ochotskischen See überprüfen. Die ausgewählten Sedimentkerne erlaubten erstmals einen Einblick in das Zwischenwasserstockwerk (2100 – 700 m Wassertiefe). Unsere Ergebnisse leiten sich einerseits aus benthischen $\delta^{13}\text{C}$ -Kurven ab, wobei hohe $\delta^{13}\text{C}$ Werte eine verbesserte Ventilation und damit die Erneuerung/Konvektion von Wassermassen widerspiegeln. Andererseits stützen sich die Ergebnisse auf Ventilationsalter, die sich aus der Differenz von ^{14}C -Altern errechnen, die sowohl an planktischen als auch an benthischen Foraminiferen aus einer Probe bestimmt wurden. Ein geringer Altersunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser deutet auf die Bildung von Tiefenwassermassen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass es während H1 und der YD keine Tiefenwasserbildung im Bereich des N-Pazifiks gab. Allerdings weisen unsere Daten während dieser Zeiten auf eine verstärkte Zwischenwasserbildung im Beringmeer und der Ochotskischen See hin, die den Pazifik bis in eine Wassertiefe von 1350–2100 m ventilierte.

Unterhalb 2100 m Wassertiefe sind die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte geringer und zeigen darüber hinaus einen Kurvenverlauf, der im Gegensatz zu den Kurven aus flacheren Wassertiefen steht. Die Änderungen in der Zwischenwasserbildung (An-Aus) vollziehen sich dabei sehr schnell (<200 Jahre) und sind invers zu den Veränderungen in der nordatlantischen Tiefenwasserbildung korreliert (Abb. 10). Während des warmzeitlichen Bølling/Allerød und im frühen Holozän ist die Zwischenwasserbildung zumindest im Beringmeer abgeschaltet (Minima im $\delta^{13}\text{C}$), und es kommt dort zur Bildung von laminierten Sedimenten im Zwischenwasserstockwerk, was auf extrem gering-ventilierte Wassermassen hinweist.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises (siehe auch Kap. 3.5)

AWI

0812 und 0817 Personalmittel AWI

Die zur Verfügung gestellten Personalmittel wurden nahezu vollständig ausgegeben. Angestellt waren der Doktorand Lars Max (35 Monate), die Technikerinnen Ulrike Böttjer (halbe Stelle, 36 Monate), Birgit Glückselig (halbe Stelle, 36 Monate) und Marianne Warnkross (halbe Stelle, 12 Monate), sowie zahlreiche HIWIs.

0835 Vergabe von Aufträgen AWI

Die zur Verfügung gestellten Mittel wurden ausschließlich für die Bestimmung von AMS¹⁴C-Datierungen in Fremdlaboren verbraucht.

0844 und 0845 Reisekosten AWI

Entsprechend der Bewilligung wurden die Reisekosten für Dienstreisen im Inland (Sonnenstatusseminar, Messeinsätze am AWI-Potsdam) und Ausland (AGU San Francisco; ICP10, San Diego) eingesetzt und nahezu vollständig verbraucht. Darüber hinaus wurden die Mittel für Arbeits-Gastaufenthalte unseres russischen Projektpartners Dr. A. Matul (Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow) am AWI verwendet.

GEOMAR

0812 und 0817 Personalmittel GEOMAR

Von den zur Verfügung gestellten Personalmitteln wurden der Doktorand Jan-Rainer Riethdorf (35 Monate) und die Technikerin Nadine Gehre (24 Monate), sowie zahlreiche Hiwis finanziert.

0835 Vergabe von Aufträgen GEOMAR

Für die Vergabe von Aufträgen wurden die bewilligten Mittel entsprechend dem Antrag für geochemische Analytik und AMS¹⁴C-Datierungen ausgegeben.

0838 Verbrauch GEOMAR

Für die Finanzierung von Labor-Verbrauchsmaterial, das in Zusammenhang mit der Probenaufbereitung und –Analyse steht, wurden die bewilligten Mittel vollständig ausgegeben.

0844 und 0845 Reisekosten GEOMAR

Für Dienstreisen im Inland (Sonne-Statusseminar, Trier Workshop) und Ausland (AGU San Francisco; ICP10, San Diego) wurden die bewilligten Mittel vollständig ausgegeben.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten im Rahmen von TP4 wurden ziel- und erfolgsorientiert durchgeführt. Bei den zur Anwendung gekommenen Methoden zur Gewinnung großer paläozeanographischer Proxy-Datenserien handelte es sich überwiegend um geochemische Ansätze, die sich ergänzten und zu wichtigen neuen Erkenntnissen geführt haben. Entsprechend war unser methodischer Ansatz im Rahmen des Projektes TP4 notwendig, angemessen und gerechtfertigt.

Die Etablierung einer robusten und zeitlich hochauflösenden Chronostratigraphie war für das Gesamtprojekt eine große Herausforderung, die nur mit dem kombinierten Ansatz einer Vielzahl von stratigraphischen Methoden gerecht werden konnte. Radiocarbonatierungen, Paläomagnetik, Sauerstoffisotopenstratigraphie und Kernkorrelationen über hochauflösenden geochemische XRF-Scanner Datensätze wurden kombiniert, so dass für die bearbeiteten Sedimentkerne Stratigraphien vorliegen, die es erlauben, unsere N-pazifischen Klimarecords mit anderen Gebieten mit höchster Genauigkeit zu vergleichen.

Ein wichtiges Ziel unserer Arbeiten war die Bestimmung der Meeresoberflächentemperaturen im Arbeitsgebiet über pleistozäne/holozäne Zeiträume. Die systematische Durchführung von Alkenon-basierten als auch Mg/Ca-basierten Paläotemperaturmethoden erlaubten nicht nur die Rekonstruktion der Oberflächentemperaturen, sondern auch der oberflächennahen Temperaturen in ca. 100 m Wassertiefe und damit die Rekonstruktion der Thermoklinenvariationen über die Zeit. Zusätzlich konnten aus der Kombination von Foraminiferen $\delta^{18}\text{O}$ und Mg/Ca Einblicke in die Variabilität der oberflächennahen Salzgehalte gewonnen werden.

Die Rekonstruktion der marinen Produktivität erfolgte über einen „Multi-Proxy-Ansatz“, bei dem traditionelle (z.B. Opal, TOC, CaCO_3) wie auch „neue“ Proxies (Brom und andere Elementverhältnisse wie Ca/Ti, IP25-Index). Gleiches gilt für die Bestimmung des Terrigenflusses. Die synchrone Rekonstruktion sowohl von mariner Produktivität als auch Terrigenfluß hat zu einem neuen Verständnis der Bedeutung der Meereisdynamik im NW-Pazifik geführt.

Benthische Kohlenstoffisotopie als auch kombinierte AMS¹⁴C-Datierungen an planktischen und benthischen Biogencalcit als auch organischen Materials erlaubten neue Einblicke in die Zwischenwasserbildung im N-Pazifik während der letzten Deglaziation. Unsere Ergebnisse belegen Phasen der Ventilation des tieferen N-Pazifik, die aber deutlich anders verlaufen sind als es Modellierungen bisher vorschlugen.

Um den drängenden Fragen und Hypothesen bezüglich des globalen CO₂-Kreislaufs und der daran gekoppelten Bedeutung der biologischen Pumpe Rechnung zu tragen, wurde eine neue Methode zur Bestimmung von Si-Isotopen an kieseligen Mikrofossilien entwickelt. Diese Daten werden es ermöglichen, die Effektivität der biologischen Pumpe und damit den Grad der Entgasung von CO₂ aus dem Ozean in die Atmosphäre näher einzugrenzen. In diesem Projekt wurde dafür der erforderliche Grundstein gelegt, der in Bezug auf die übergeordnete Fragestellung angemessen erscheint.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse der geochemisch-sedimentologischen Untersuchungen an Sedimentkernen, die Rahmen von KALMAR-TP 4 erzielt wurden, tragen zur Verbesserung der Kenntnis der Klimavariabilität, der Klimasteuerungsmechanismen und ihrer Schwellenwerte im nordpolaren Raum bei. Diese Region ist derzeit von den weltweit wahrscheinlich stärksten Umweltveränderungen infolge der fortschreitenden globalen Erwärmung betroffen (Hassel, 2005), die längerfristig auch den deutschen und europäischen Lebensraum nachhaltig beeinflussen können. Um rechtzeitig Vorsorge treffen zu können, sollten die Mechanismen und Schwellenwerte, die mit der Klimaentwicklung in nordpolaren Breiten verbunden sind, möglichst umfassend bekannt sein. Diese Ergebnisse können von nationalen und internationalen Wirtschafts- und Forschungseinrichtungen für weiterführende Untersuchungen zu Themen wie Funktion von Klimamechanismen, zukünftige Klimaentwicklung, Klimavorsorge, Risikoanalyse und Welternährung genutzt werden.

Das Vorhaben ist ein Beispiel für ein bilaterales Projekt im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit zwischen Russland und Deutschland. Unsere Ergebnisse zur ozeanographischen und klimatischen Entwicklung des NW-Pazifiks liefern zudem ideale Voraussetzungen, um die Ergebnisse aus den BMBF-geförderten WTZ Projekten KOMEX, „System Laptev-See“ (Lena), „Kontinentale Flüsse, Einträge aus sibirischen Flüssen und deren Verhalten in angrenzenden arktischen Becken“ (Ob, Yenissei), „Paläoklima des Elgygytgyn-See“ und dem ebenfalls im Nordpazifik durchgeführten Projekt INOPEX (Innovatives Nordpazifik Experiment) - in einer Synthese zu vereinen.

Unser Vorhaben steht in direktem Bezug zum nationalen Klimaprogramm der Bundesregierung und international zu Programmen, in denen Prozesse der globalen Klimaveränderungen und der Klimafolgen-Risikoabschätzung im Vordergrund stehen, wie

z.B. The International Polar Year 2007-2008 (IPY), International Geosphere Biosphere Project: PAGES, IMAGES; EU-Projekt Past4Future; DFG-Geotechnologien: Das System Erde, vom Prozessverständnis zum Erdmanagement; Integrated Ocean Drilling Program, IODP.

II.5 Fortschritt im Stand der Wissenschaft während der Projektlaufzeit durch Dritte

Im Sommer 2009 fanden neben der KALMAR Expedition zwei weitere Expeditionen in den N-Pazifik und die östliche Beringsee statt (INOPEX-Expedition SO202; Ocean Drilling Program, IODP Leg 323). Fahrtleiter der INOPEX Expedition war Dr. Gersonde, der ebenfalls am AWI arbeitet. Die Auswertearbeiten von KALMAR und INOPEX sind daher aufeinander abgestimmt und es erfolgte ein regelmäßiger Informationsaustausch über neu erzielte Ergebnisse. Dabei arbeitet eine Doktorandin (Frau Maier, INOPEX) projektübergreifend an Probenmaterial der KALMAR- und INOPEX Expeditionen und untersucht die Nährstoffverwertung der Primärproduktionsblüten anhand von Si-Isotopenbestimmungen an Diatomeenschalen. Erste Ergebnisse von IODP-Leg 323 wurden auf der AGU Konferenz 2011 in San Francisco vorgestellt, also zeitgleich zu unserer gemeinsamen Session „Pleistocene-Holocene Climate Variability in the North Pacific Realm“ (Convenor: Gersonde, Nürnberg, Tiedemann). Die entsprechende Veröffentlichung wird für Ende 2012 erwartet. Während der Projektlaufzeit erschienen keine anderen auf neuen Sedimentdaten basierende Veröffentlichungen aus dem NW-Pazifik.

Während der Projektlaufzeit erschienen hingegen einige Veröffentlichungen, die auf Modellergebnissen basieren (Okumura et al., 2009; Okazaki et al., 2010; Chikamoto et al., 2012). Die durchgeführten Simulationen untersuchen die paläozeanographischen und klimatischen Veränderungen im N-Pazifik und die ursächlichen Prozesse und Fernwirkungen für bestimmte Zeitintervalle des Holozäns und des letzten Glazials. Diese Arbeiten führten zu neuen Hypothesen hinsichtlich der Tiefenwasserbildung im N-Pazifik mit ihren Auswirkungen auf die Wasseroberflächensignaturen. Danach war das Heinrich 1 Ereignis am Ende des letzten Glazials geprägt durch einen Zusammenbruch der Tiefenwasserbildung im N-Atlantik und dem Einsetzen einer Tiefenwasserbildung im N-Pazifik. Das Einsetzen der Tiefenwasserbildung im N-Pazifik sollte zu diesem Zeitpunkt zu erhöhten Salinitäten und Wasseroberflächentemperaturen geführt haben. Diese Hypothesen wurden von uns aufgegriffen und werden in den Manuskripten und Dissertationen von Lars Max und Jan-Rainer Riethdorf diskutiert. Die Modellergebnisse werden zum Teil nicht durch unsere Arbeiten bestätigt.

II.6 Erfolge und geplante Veröffentlichungen

* Publikationen liegen als PDF-Dokument bei; direkte Projektbeteiligte sind fett markiert

Manuskripte in Begutachtung / in Vorbereitung / in Planung

- Riethdorf, J.-R., Nürnberg, D., Max, L., Tiedemann, R.,** Gorbarenko, S., Malakhov, M. (in Vorbereitung) *Millennial-scale variability of marine productivity and terrigenous matter supply in the western Bering Sea during the last glacial-interglacial cycle* (vorbereitet für Paleoceanography).
- Max, L., Riethdorf, J.-R., Tiedemann, R.,** Smirnova, M., Lembke-Jene, L., Fahl, K., **Nürnberg, D., Matul, A.,** Mollenhauer, G. (in Begutachtung) *Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic Northwest Pacific during the past 15,000 years* (in Begutachtung bei Paleoceanography).
- Riethdorf, J.-R., Max, L., Nürnberg, D.,** Lembke-Jene, L., **Tiedemann, R.** (in Vorbereitung) *Deglacial history of (sub) sea surface temperatures and salinity in the subarctic NW Pacific: Implications for upper-ocean stratification* (vorbereitet für Paleoceanography).
- Max, L.,** Lembke-Jene, L., **Riethdorf, J.-R., Tiedemann, R., Nürnberg, D.** (in Vorbereitung) *Rapid changes in North Pacific Intermediate Water formation during the last glacial termination* (vorbereitet für Nature Geoscience).

Dissertationen 2012 (eingereicht und in Begutachtung)

- Max, L.** (2012) Millennial-scale changes in sea surface temperatures and intermediate water circulation in the northwest Pacific during the past 20,000 years. Dissertation, Univ. Bremen.
- Riethdorf, J.-R.** (2012) Late Pleistocene to Holocene changes in upper-ocean stratification and its impact on marine productivity, sub seasurface temperature and salinity in the subarctic northwest Pacific. Dissertation, Univ. Kiel.

M.Sc. / Diplom-Arbeiten (betreut am AWI)

- Gottschalk, J.** (2011) Timing and forcing of deglacial climate change in the Bering Sea derived from laminated sediments and numerical climate modelling (Masterarbeit), Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 120 S.

B.Sc.-Arbeiten (betreut am AWI)

- Belz, L.** (2010) Spätpleistozäne-holozäne Veränderungen in den Wasseroberflächentemperaturen der Beringsee (Bachelorarbeit), Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 28 S.
- Mund, O.** (2010) Zeitliche Einstufung und Variation der Sedimentzusammensetzung während der letzten 120.000 Jahre am Shirshov-Rücken (Bachelorarbeit), Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen.

B.Sc.-Arbeiten (betreut am GEOMAR)

- Ibenthal, M.** (2011) *Geochemische Verteilungsmuster rezenter Sedimente im Ochotskischen Meer und der Beringsee* (Bachelorarbeit), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, 50 S.
- Ochs, J.** (2011) *Vergleich zweier Sedimentationsräume der hohen Breiten zur Klimarekonstruktion : Versuch des Nachweises einer atmosphärischen Telekonnektion zwischen dem El'Gygytyn See und dem Ochotskischen Meer* (Bachelorarbeit), Universität zu Köln, Köln, 62 S.

Vorträge 2009-2012

2012

- Maier, E., **Abelmann, A.,** Gersonde, R., Chaplignin, B., Ren, J. und **Tiedemann, R.** (2012) *Combined diatom stable oxygen and silicon isotope records from the subarctic North Pacific over the last termination*, IBIS Meeting, May 2012, Hamburg

2011

- Riethdorf, J. R., Max, L., Nürnberg, D.** und **Tiedemann, R.** (2011) *Rekonstruktion der Oberflächentemperaturen, marinen Produktivität und Terrigenflüsse im westlichen Beringmeer während des Spätpleistozäns und Holozäns (Sonne 201-2)* In: Statusseminar Meeresforschung mit FS Sonne 2011, 09.-10.02.2011, Hannover.
- Riethdorf, J. R., Max, L., Nürnberg, D.** und **Tiedemann, R.** (2011) *Late Pleistocene to Holocene changes in sea surface temperature, marine productivity and terrigenous fluxes in the western Bering Sea* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Riethdorf, J. R., Max, L., Nürnberg, D., Tiedemann, R.,** Gorbarenko, S. und Malakhov, M. (2011) *Millennial-scale climate variability in the subarctic NW-Pacific during the last 150 kyr and implications for upper-ocean stratification* In: AGU Fall Meeting 2011, 05.12.-09.12.2011, San Francisco, California, USA.
- van den Bogaard, C., Portnyagin, M., Ponomareva, V. V., Derkachev, A., Dirksen, O., Diekmann, B., **Nürnberg, D.** und Garbe-Schönberg, D. (2011) *Tephrochronology in the NW Pacific region in the frame of the KALMAR Project* In: Workshop on Marine Tephrochronology, Geological Society London, 25.10.2011, London, UK.

2010

- van den Bogaard, C., Ponomareva, V., Portnyagin, M., Dirksen, O., Diekmann, B., Derkachev, A. und **Nürnberg, D.** (2010) *Towards a Kamchatka tephrochronological framework for testing synchronous climate development* In: Active Tephra in Kyushu, International Field Conference and Workshop on Tephrochronology, Volcanism,

and Human Activity, 09.05.-17.05.2010, Kirishima, South Kyushu, Japan.

2009

- Bubenshchikova, N., **Nürnberg, D.** und Gorbarenko, S. (2009) *Millennial-scale variations of the paleoproductivity and intermediate water oxygenation in the Okhotsk Sea during the last 130 ka revealed by benthic foraminiferal and sedimentological data (core MD01-2415)* In: First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 28.04, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.
- Derkachev, A., Nikolaeva, N., Gorbarenko, S. und **Nürnberg, D.** (2009) *Tephrochronology in the Okhotsk Sea and adjoining areas of the Pacific Ocean* In: First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 28.04, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.
- Gorbarenko, S., Goldberg, E., **Nürnberg, D.**, **Tiedemann, R.**, Ignatiev, A. und Artemova, A. (2009) *Millennium and centennial regional climate and the Okhotsk Sea environment changes during the Last Deglaciation and Holocen* In: First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 28.04, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.
- Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.**, **Abelmann, A.** und Dullo, W. C. (2009) *Reconstruction of the Pleistocene-Holocene climate development and oceanography in the subarctic NW Pacific with a temporal resolution from decades to millenia - research with RV SONNE during SO201-KALMAR Leg 2* In: First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 27.04.-01.05, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.

Poster

2012

- Riethdorf, J.-R.**, **Max, L.**, **Nürnberg, D.**, **Tiedemann, R.**, Lembke-Jene, L., submitted. *Deglacial variability of sea surface temperature and salinity in the subarctic North Pacific and its marginal seas* In: GV & Sediment Meeting, Hamburg, Germany, 23/09-28/02/2012.

2011

- Bubenshchikova, N., **Nürnberg, D.**, **Tiedemann, R.** und Lembke-Jene, L. (2011) *Variations of an oxygen minimum zone in the Okhotsk Sea over the last glacial-interglacial cycle as recorded by benthic foraminiferal and sedimentological data* In: AGU Fall Meeting 2011, 05.12.-09.12.2011, San Francisco, California, USA.
- Bubenshchikova, N., **Nürnberg, D.** und **Tiedemann, R.** (2011) *Spatial and temporal variability of an oxygen minimum zone in the marginal NW-Pacific during the last deglaciation to Holocene: indications from benthic foraminiferal and biogeochemical data* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Cherepanova, M., Gorbarenko, S., Malakhov, M. und **Nürnberg, D.** (2011) *Diatom stratigraphy and paleoceanography of the Western Bering Sea over the past 170ka* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Derkachev, A. N., Nikolaeva, N. A., Gorbarenko, S. A., Portnyagin, M. V., Ponomareva, V. V., Sakhno, V. G., **Nürnberg, D.**, Sakamoto, T., Iijima, K., Liu, H., Wang, K. und Chen, Z. (2011) *Volcanic ash layers in the Okhotsk Sea Holocene-Pleistocene deposits* In: 7. Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Mitigating Risk through International Volcano, Earthquake, and Tsunami Science (JKASP-2011), 25.-30.08.2011, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.
- Derkachev, A., Portnyagin, M., Ponomareva, V., Gorbarenko, S., Malakhov, M., **Nürnberg, D.**, **Riethdorf, J. R.**, **Tiedemann, R.** und van den Bogaard, C. (2011) *Marker tephra layers in the Holocene-Pleistocene deposits of the Bering Sea and the north-western Pacific Ocean* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Gottschalk, J.**, **Tiedemann, R.**, Schulz, M., **Riethdorf, J.-R.**, **Max, L.** (2011) *Laminierte Sedimentintervalle offenbaren Timing und Antrieb von Klimawandel in der Beringsee während der letzten Deglaziation* In: Statusseminar Meeresforschung mit FS Sonne 2011, Hannover, Germany, 09/02-10/02/2011.
- Ivanova, E., Ovsepyan, E., Murdmaa, I., **Max, L.**, **Riethdorf, J. R.**, **Nürnberg, D.**, Tiedemann, R. und Alekseeva, T. (2011) *Millennial environmental variability on Shirshov Ridge, Bering Sea, during the penultimate and last glacial cycles* In: AGU Fall Meeting 2011, 05.-09.12.2011, San Francisco, California, USA.
- Lembke-Jene, L., **Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.**, Bubenshchikova, N. und Dullo, W. C. (2011) *Paleoceanographic changes in the Okhotsk Sea during the past 25,000 years - implications for ventilation of North Pacific intermediate water and stratification patterns* In: AGU Fall Meeting 2011, 05.12.-09.12.2011, San Francisco, California, USA.
- Levitan, M., Kuzmina, T., Roshchina, I., Syromyatnikov, K., **Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.** und **Max, L.** (2011) *First results of component, grain-size and XRF analyses for sediment core SO201-2-101-KL (Shirshov Ridge)* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Maier, E., **Abelmann, A.**, Gersonde, R. und **Tiedemann, R.** (2011) *Stabile Sauerstoff- und Siliziumisotope aus biogenem Opal – Neue Proxies zur Rekonstruktion von pleistozänen Änderungen der Wassermassenstruktur und Nährstoffnutzung im polaren Nordpazifik (SO202-INOPEX), Sonne Statusseminar, February 2011, Hannover.*

- Maier, E., **Abelmann, A.**, Gersonde, R., Ren, J. und **Tiedemann, R.** (2011) *Stable Oxygen and Silicon Isotopes of Biogenic Silica – new Proxies for Reconstructing Pleistocene Changes in Water Mass Structure and Nutrient Utilization in the polar North Pacific*, INQUA, July 2011, Bern.
- Maier, E., **Abelmann, A.**, Chaplignin, B., Gersonde, R., Ren, J. und **Tiedemann, R.** (2011) *Combined Stable Oxygen and Silicon Isotope Analysis of Biogenic Silica – Method and Application to the Late Pleistocene NW Pacific*, AGU, December 2011, San Francisco.
- Malakhov, M., Gorbarenko, S., **Nürnberg, D.**, **Tiedemann, R.**, Malakhova, G. und **Riethdorf, J. R.** (2011) *Geomagnetic relative paleointensity of sediment cores of the Western Bering Sea and NW Pacific* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Malakhov, M., Gorbarenko, S., **Nürnberg, D.**, **Tiedemann, R.**, Malakhova, G., **Riethdorf, J. R.**, Bosin, A. und Cherepanova, M. (2011) *Climate change, sea ice and productivity responses in magnetic parameters of sediments from Western Bering Sea and NW Pacific* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- Max, L.**, **Riethdorf, J. R.**, **Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.** und **Abelmann, A.** (2011) *Late Pleistocene to Holocene sea surface temperature development in the NW-Pacific and its marginal seas* In: AGU Fall Meeting 2011, 05.12.-09.12.2011, San Francisco, California, USA.
- Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.**, **Max, L.**, **Riethdorf, J. R.**, **Gottschalk, J.**, **Abelmann, A.**, Gorbarenko, S., Ivanova, E. und Matul, A. (2011) *Oceanic and atmospheric teleconnections between the North Pacific and the North Atlantic during the past 25 ka* In: KALMAR - Second Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 16.05.-20.05.2011, Trier.
- van den Bogaard, C., Dullo, C., Baranov, B., Hoernle, K., **Nürnberg, D.** und Werner, R. (2011) *Geodynamic and Climate Interaction in the Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc System* [Poster] In: AGU Fall Meeting 2011, 05.-09.12.2011, San Francisco, USA.
- van den Bogaard, C., Portnyagin, M., Ponomareva, V., Derkachev, A., Dirksen, O., Diekmann, B., **Tiedemann, R.** und **Nürnberg, D.** (2011) *Application of Tephrochronology in the Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems (KALMAR-Project)* In: 18. INQUA-Congress, Quaternary Sciences – The View From The Mountains, 21.07.-27.07.2011, Bern, Switzerland.

2010

- Gottschalk, J.**, **Riethdorf, J.-R.**, **Tiedemann, R.**, Schulz, M. (2010) *Deglacial climate change in the western Bering Sea derived from laminated sediment units* In: Fifth German KALMAR Project Workshop, Kiel, Germany, 27/09-28/09/2010.
- Max, L.**, **Riethdorf, J. R.**, Lembke-Jene, L., **Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.** und Fahl, K. (2010) *Changes in sea surface and (sub)sea surface temperatures in the Bering Sea and Sea of Okhotsk from Termination I into the Holocene* In: 10th International Conference on Paleoceanography, ICP 10, 29.08.-03.09.2010, San Diego, LaJolla, California, USA.
- Max, L.**, **Riethdorf, J. R.**, Lembke-Jene, L., **Tiedemann, R.**, **Nürnberg, D.** und Fahl, K. (2010) *Changes in sea surface and (sub)sea surface temperatures in the Bering Sea and Sea of Okhotsk from Termination I into the Holocene* In: Fifth German KALMAR Project Workshop, 27.09.-28.09.2010, Kiel.
- Ovsepyan, E. A., Ivanova, E. v., **Max, L.**, **Riethdorf, J. R.**, **Tiedemann, R.** und **Nürnberg, D.** (2010) *Reconstruction of bottom water ventilation and export production based on benthic foraminiferal assemblages from the Shirshov Ridge (Bering Sea) during MS1-3* In: FORAMS 2010, 5.-10.09.2010, Bonn.
- Riethdorf, J. R.**, **Max, L.**, **Nürnberg, D.** und **Tiedemann, R.** (2010) *Late Pleistocene to Holocene paleoceanographic reconstructions at Shirshov Ridge, western Bering Sea* In: GeoDarmstadt2010, 10.-13.10.2010, Darmstadt.
- Riethdorf, J. R.**, **Max, L.**, **Nürnberg, D.** und **Tiedemann, R.** (2010) *Sea surface temperature, marine productivity and terrigenous fluxes in the western Bering Sea during the last 150 ka* In: Fifth German KALMAR Project Workshop, 27.-28.09.2010, Kiel.
- Riethdorf, J. R.**, **Max, L.**, **Nürnberg, D.** und **Tiedemann, R.** (2010) *Sea surface temperature, marine productivity and terrigenous fluxes in the western Bering Sea during the last 150 ka* In: 10th International Conference on Paleoceanography, 29.08.-03.09.2010, San Diego, USA.

2009

- Riethdorf, J. R.**, **Max, L.**, **Nürnberg, D.**, **Tiedemann, R.** und Dullo, W. C. (2009) *SO201-KALMAR (Leg 2): Reconstruction of late Pleistocene-Holocene climate and oceanography in the subarctic NW-Pacific* In: First Bilateral Workshop on Russian-German Cooperation on Kurile-Kamchatka and the Aleutian Marginal Sea-Island Arc Systems, 28.04., Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia.

Publikationen der Projektleiter mit direktem Bezug zum Vorhaben

2011

- Nürnberg, D.**, Dethleff, D., **Tiedemann, R.**, Kaiser, A. und Gorbarenko, S. A. (2011) *Okhotsk Sea ice coverage and Kamchatka glaciation over the last 350ka – Evidence from ice-rafted debris and planktonic $\delta^{18}O$* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 310 (3-4). pp. 191-205. DOI 10.1016/j.palaeo.2011.07.011.

2010

- Bubenshchikova, N. V., **Nürnberg, D.**, Gorbarenko, S. A. und Lembke-Jene, L. (2010) *Variations of the oxygen minimum zone of the Okhotsk Sea during the last 50 ka as indicated by benthic foraminiferal and biogeochemical data (Izmeneniya zonu kislorodnogo minimuma okhotskogo morya za poslednie 50 tusyach*

let po bentosnum foraminiferam i biogeokhimikheskim dannum) Oceanology, 50 (1). pp. 93-106. DOI 10.1134/S000143701001011X.

Gorbarenko, S. A., Psheneva, O. Y., Artemova, A. V., Matul', A. G., Tiedemann, R. und Nürnberg, D. (2010) *Paleoenvironmental changes in the NW Okhotsk Sea for the last 18 kyr determined with micropaleontological, geochemical, and lithological data* Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers, 157 . pp. 797-811. DOI 10.1016/j.dsr.2010.04.004.

2009

Kozdon, R., Eisenhauer, A., Weinelt, M., Meland, M. Y. und Nürnberg, D. (2009) *Reassessing Mg/Ca temperature calibrations of Neogloboquadrina pachyderma (sinistral) using paired $\delta^{44/40}$ and Mg/Ca measurements* Geochemistry Geophysics Geosystems, 10 (3). DOI 10.1029/2008GC002169.

Matul, A. G., Abelmann, A., Nürnberg, D. und Tiedemann, R. (2009) *Stratigraphy and major paleoenvironmental changes in the Sea of Okhotsk during the last million years inferred from radiolarian data* Oceanology, 49 (1). pp. 93-100. DOI 10.1134/S0001437009010111. Item not available from this repository.

II.7 Referenzliste

- Abelmann, A., Nimmergut, A., 2005. Radiolarians in the Sea of Okhotsk and their ecological implication for paleoenvironmental reconstructions. Deep-Sea Research II 52, 2302-2331.
- Abelmann, A., Gersonde, R., Cortese, G., Kuhn, G., Smetacek, V., 2006. Extensive phytoplankton blooms in the Atlantic Sector of the glacial Southern Ocean, Paleooceanography 21, doi:10.1029/2005PA001199.
- Anderson, R.F., Fleisher, M.Q., Lao, Y., 2006. Glacial-interglacial variability in the delivery of dust to the central equatorial Pacific Ocean. Earth and Planetary Science Letters 242, 406-414.
- Andreev, A., Kusakabe, M., Honda, M., Murata, A., Saito, C., 2002. Vertical fluxes of nutrients and carbon through the halocline in the westernsubarctic Gyre calculated by mass balance. Deep Sea Research II 49, 5577-5593.
- Aoki, K., Machida, H., 2006. Major element composition of volcanic glass shards of the late Quaternary widespread tephra in Japan - Distinction of tephra using K₂O-TiO₂ diagrams. Bulletin of the Geological Survey of Japan 57 (7/8), 239-258. (in Japanese with English summary)
- Aoki, K., Irino, T., Oba, T., 2008. Middle-late Pleistocene tephrostratigraphy of the sediment core MD01-2421 collected off the Kashima coast, Japan. The Quaternary Research (Japan Association for Quaternary Research) 47, 391-407. (In Japanese with English abstract)
- Belt, S.T., Massé, G., Rowland, S.J., Poulin, M., Michel, C., LeBlanc, B., 2007. A novel chemical fossil of palaeo sea ice: IP25. Organic Geochemistry 38, 16-27.
- Bianchi, G.G., McCave, I.N., 1999. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland. Nature 397, 515-517.
- Bjørklund, K.R., Cortese, G., Swanberg, N.R., Schrader, H.J., 1998. Radiolarian faunal provinces in surface sediments of the Greenland, Iceland and Norwegian (GIN) Seas. Marine Micropaleontology 35, 105-140.
- Bleil, U., von Dobeneck, T. 1999. Geomagnetic events and relative paleointensity records – clues to high-resolution paleomagnetic chronostratigraphies of Late Quaternary marine sediments? In: Fischer, G., Wefer, G. (eds.) Use of proxies in paleoceanography: Examples from the South Atlantic. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 635 – 654.
- Bonnet, S., de Vernal, A., Gersonde, R., Lembke-Jene, L., 2012. Modern distribution of dinocysts from the North Pacific Ocean (37–64°N, 144°E–148°W) in relation to hydrographic conditions, sea-ice and productivity. Marine Micropaleontology 84-85, 87-113.
- Bradtmiller, L.I., Anderson, R.F., Fleisher, M.Q., Burckle, L.H., 2007. Opal burial in the equatorial Atlantic Ocean over the last 30 ka: Implications for glacial-interglacial changes in the ocean silicon cycle. Paleooceanography 22, PA4216, doi:10.1029/2007PA001443.
- Brewer, T.S., Leng, M.J., Mackay, A.W., Lamb, A.L., Tyler, J.J., Marsh, N.G., 2008. Unravelling contamination signals in biogenic silica oxygen isotope composition: the role of major and trace element geochemistry. Journal of Quaternary Science 23, 321-330.
- Brigham-Grette, J., Gualtieri, L.M., Glushkova, O., Hamilton, T.D., Mostoller, D., Kotov, A., 2003. Chlorine-36 and ¹⁴C chronology support a limited Last Glacial Maximum across central Chukotka, Northeastern Siberia, and no Beringian Ice Sheet. Quaternary Research 59, 386-398.
- Brunelle, B.G., Sigman, D.M., Cook, M.S., Keigwin, L.D., Haug, G.H., Plessen, B., Schettler, G., Jaccard, S.L., 2007. Evidence from diatom-bound nitrogen isotopes for subarctic Pacific stratification during the last ice age and a link to North Pacific denitrification changes. Paleooceanography 22, PA1215, doi:10.1029/2005PA001205.
- Caissie, B., Brigham-Grette, J., Lawrence, K., Herbert, T., Cook, M., 2010. Last Glacial Maximum to Holocene sea surface conditions at Umnak Plateau, Bering Sea, as inferred from diatom, alkenone, and stable isotope records. Paleooceanography 25, 1-16.
- Chapligin, B., Meyer, H., Friedrichsen, H., Marent, A., Sohns, E., Hubberten, H.W., 2010. A high-performance, safer and semi-automated approach for the $\delta^{18}\text{O}$ analysis of diatom silica and new methods for removing exchangeable oxygen. Rapid Communication Mass Spectrometry 24, 2655-2664.
- Chapligin, B., Leng, M.J., Webb, E., Alexandre, A., Dodd, J.P., Ijiri, A., Lücke, A., Shemesh, A., Abelmann, A., Herzsuh, U., Longstaffe, F.J., Meyer, H., Moschen, R., Okazaki, Y., Rees, N., Sharp, Z.D., Sloane, H.J., Sonzogni, C., Swann, G.E.A., Sylvestre, F., Tyler, J.J., Yam, R., 2011. Inter-laboratory comparison of oxygen isotopes from biogenic silica. Geochimica et Cosmochimica Acta 75 (22), 7242-7256.

- Chikamoto M.O., Menviel, L., Abe-Ouchi, A., Ohgaito, R., Timmermann, A., Okazaki, Y., Harada, N., Oka, A., Mouchet, A., 2012. Variability in North Pacific intermediate and deep water ventilation during Heinrich events in two coupled climate models. *Deep-Sea Research Part II – Topical Studies in Oceanography* 61-64, 114-126.
- Cook, M.S., Keigwin, L.D., Sancetta, C.A., 2005. The deglacial history of surface and intermediate water of the Bering Sea. *Deep-Sea Research II* 52, 2163-2173.
- De Boer, A.M., Nof, D., 2004. The exhaust valve of the North Atlantic. *J. Clim.* 17, 417-422.
- De La Rocha, C. L., Brzezinski, M.A., DeNiro, M.J., Shemesh, A., 1998. Silicon-isotope composition of diatoms as an indicator of past oceanic change. *Nature* 395, 680-683.
- de Vernal, A., Eynaud, F., Henry, M., Hillaire-Marcel, C., Londeix, L., Mangin, S., Matthiessen, J., Marret, F., Radi, T., Rochon, A., Solignac, S., Turon, J.-L., 2005. Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Review* 24, 897-924.
- de Vernal, A., Rosell-Melé, A., Kucera, M., Hillaire-Marcel, C., Eynaud, F., Weinelt, M., Dokken, T., Kageyama, M., 2006. Comparing proxies for the reconstruction of LGM sea-surface conditions in the northern North Atlantic. *Quaternary Science Review* 25, 2820-2834.
- Francois, R., Frank, M., Rutgers van der Loeff, M.M., Bacon, M., 2004. ^{230}Th normalization: an essential tool for interpreting sedimentary fluxes during the late Quaternary. *Paleoceanography* 19, PA1018, doi:10.1029/2003PA000939.
- Franke, C., Hofmann, D., von Döbenek, T., 2004. Does lithology influence paleointensity records? A statistical analysis on South Atlantic pelagic sediments. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 147, 285-296
- Garcia, H.E., Locarnini, R.A., Boyer, T.P., Antonov, J.I., Baranova, O.K., Zweng, M.M., Johnson, D.R., 2010. *World Ocean Atlas 2009, Volume 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Oxygen Saturation.* In: Levitus, S. (ed.) NOAA Atlas NESDIS 70, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 344 pp.
- Gebhardt, H., Sarnthein, M., Grootes, P.M., Kiefer, T., Kuehn, H., Schmieder, F., Röhl, U., 2008. Paleonutrient and productivity records from the subarctic North Pacific for Pleistocene glacial terminations I to V. *Paleoceanography* 23, PA4212, doi:10.1029/2007PA001513.
- Gersonde, R., Crosta, X., Abelmann, A., Armand, L., 2005. Sea-surface temperature and sea ice distribution of the Southern Ocean at the EPILOG Last Glacial Maximum a circum-Antarctic view based on siliceous microfossil records. *Quaternary Science Reviews* 24, 869-896, doi:10.1016/j.quascirev.2004.07.015.
- Hassol, Susan J., 2005. Impacts of a Warming Arctic. In *Arctic Climate Impact Assessment.* Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 139 pp., doi: 10.2277/0521617782.
- Hatte, C., Hodgins, G., Jull, A.J.T., Bishop, B., Tesson, B., 2008. Marine chronology based on C-14 dating on diatom proteins. *Marine Chemistry* 109 (1-2), 143-151.
- Haug, G. H. et al., 2005. North Pacific seasonality and the glaciation of North America 2.7 million years ago. *Nature* 433, 821-825.
- Haug, G. H., Sigman, D. M., 2009. Polar twins. *Nature Geoscience* 2, 91-92.
- Hu, A., Meehl, G.A., Han, W., 2007. Role of the Bering Strait in the thermohaline circulation and abrupt climate change. *Geophys. Res. Lett.* 34, L05704, doi:10.1029/2006GL028906.
- Hu, A.X., Meehl, G.A., Otto-Bliesner, B.L., Waelbroeck, C., Han, W.Q., Loutre, M.F., Lambeck, K., Mitrovica, J.X., Rosenbloom, N., 2010. Influence of Bering Strait flow and North Atlantic circulation on glacial sea-level changes. *Nature Geoscience* 3 (2), 118-121, doi:10.1038/Ngeo729.
- Ingalls, A.E., Anderson, R.F., Pearson, A., 2004. Radiocarbon dating of diatom-bound organic compounds. *Marine Chemistry* 92,91-105.
- IODP Expedition 323 Scientists, 2010. Bering Sea paleoceanography: Pliocene–Pleistocene paleoceanography and climate history of the Bering Sea. IODP Preliminary Report 323. doi:10.2204/iodp.pr.323.2010.
- Itaki, T., Uchida M., Kim, S., Shin, H.-S., Tada, R., Khim, B.-K., 2009. Late Pleistocene stratigraphy and palaeoceanographic implications in northern Bering Sea slope sediments: evidence from the radiolarian species *Cycladophora davisiana*. *Journal of Quaternary Science* 24 (8), 856-865.
- Jansen, J.H.F., van der Gaast, S.J., Kloster, B., Vaars, A.J., 1998. CORTEX, a shipboard XRF scanner for element analyses in split sediment cores. *Marine Geology* 151, 143-153.
- Katsuki, K., Takahashi, K., 2005. Diatoms as paleoenvironmental proxies for seasonal productivity, sea ice and surface circulation in the Bering Sea during the late Quaternary. *Deep-Sea Research II* 52, 2110-2130.
- Keigwin, L., D., 1987. North Pacific Deep Water formation during the latest glaciation. *Nature* 330, 651-655.
- Keigwin, L.D., Donnelly, J.P., Cook, M.S., Driscoll, N.W., Brigham-Grette, J., 2006. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea. *Geology* 34, 861-864.
- Kiefer, T., Kienast, M., 2005. Patterns of deglacial warming in the Pacific Ocean: A review with emphasis on the time interval of Heinrich event 1. *Quaternary Science Review* 24, 1063-1081.
- Kiefer, T., Sarnthein, M., Erlenkeuser, H., Grootes, P.M., Roberts, A.P., 2001. North Pacific response to millennial-changes in ocean circulation over the last 60 kyr. *Paleoceanography* 16 (2), 179-189.
- Kim, J.-H., Rimbu, N., Lorenz, S.J., Lohmann, G., Nam, S.-I., Schouten, S., Rühlemann, C., Schneider, R.R., 2004. North Pacific and North Atlantic sea-surface temperature variability during the Holocene. *Quaternary Science Review* 23, 2141-2154.
- Kim, J.-H., Schouten, S., Hopmans, E.C., Donner, B., Sinnighe Damsté, J.S., 2008. Global sediment core-top calibration of the TEX_{86} paleothermometer in the ocean. *Geochimica Cosmochimica Acta* 72, 1154-1173.
- Kröger, N., Deutzmann, R., Bergsdorf, C., Sumper M., 2000. Species-specific polyamines from diatoms control silica morphology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97, 14133-14138.

- Kruglikova, S.B., 1999. Distribution of Polycystine radiolarians from recent and Pleistocene sediments of the Arctic-Boreal zone. *Berichte zur Polarforschung* 306 120-131.
- Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A.C.M., Levrard, B., 2004. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astronomy & Astrophysics* 428, 261–285, doi:10.1051/0004-6361:20041335.
- Lisiecki, L.E., Raymo, M.E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography* 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- Lisitzin, A.P., 2002. Sea ice and iceberg sedimentation in the ocean: Recent and past. Springer-Verlag, Berlin, 563 pp.
- Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Garcia, H.E., 2010. World Ocean Atlas 2009, Volume 1: Temperature. In: Levitus, S. (Ed.), NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- Martínez-García, A., Rosell-Melé, A., Geibert, W., Gersonde, R., Masqué, P., Gaspari, V., Barbante, C., 2009. Links between iron supply, marine productivity, sea surface temperature, and CO_2 over the last 1.1 Ma. *Paleoceanography*, 24, PA1207, doi:10.1029/2008PA001657.
- Massé, G., Rowland, S.J., Sicre, M.-A., Jacob, J., Jansen, E., Belt, S.T., 2008. Abrupt climate changes for Iceland during the last millenium: evidence from high resolution sea ice reconstructions. *Earth and Planetary Science Letters* 269 (3-4), 565-569.
- Matul, A., Abelmann, A., 2005. Pleistocene and Holocene distribution of the radiolarian *Amphimelissa setosa* Cleve in the North Pacific and North Atlantic: Evidence for water mass movement. *Deep-Sea Research II* 52, 2351-2364.
- Matul, A., Abelmann, A., Khusid, T., Chekhovskaya, M., Kaiser, A., Nürnberg, D., Tiedemann, R., in press, Late Quaternary changes of the oxygen conditions in the bottom and intermediate waters on the western Kamchatka continental slope, the Sea of Okhotsk, DSR II.
- McGee, D., Marcantonio, F., Lynch-Stieglitz, J., 2007. Deglacial changes in dust flux in the eastern equatorial Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 257: 215-230.
- McManus, J.F., Francois, R., Gherardi, J.M., Keigwin, L.D., Brown-Leger, 2004. Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional circulation linked to deglacial climate changes. *Nature* 428(6985), 834-837, doi:10.1038/Nature02494.
- Mikkelsen, N., Labeyrie, L., Berger, W.H., 1978. Silica oxygen isotopes in diatoms: a 20,000 yr record in deep-sea sediments. *Nature* 271, 536-538.
- Möller, P., Bolshiyarov, D.Y., Bergsten, H., 1999. Weichselian geology and palaeoenvironmental history of the central Taymyr Peninsula, Siberia, indicating no glaciation during the last global glacial maximum. *Boreas* 28, 92–114.
- Moore, T.C. Jr., Burckle, L.H., Geitzenauer, K., Luz, B., Molina-Cruz, A., Robertson, J.H., Sachs, H., Sancetta, C., Thiede, J., Thompson, P., Wenkam, C., 1980. The reconstruction of sea surface temperatures in the Pacific Ocean of 18,000 B.P. *Marine Micropaleontology* 5, 215-247.
- Morley, J.J., Pisias, N.G., Leinen, M., 1987. Late Pleistocene time series of atmospheric and oceanic variables recorded in sediments from the subarctic Pacific. *Paleoceanography* 2 (1), 49-62.
- Murton, J.B., Bateman, M.D., Dallimore, S.R., Teller, J.T., Yang, Z., 2010. Identification of Younger Dryas outburst flood path from Lake Agassiz to the Arctic Ocean. *Nature* 464, 740-743.
- Niebauer, H.J., Bond, N.A., Yakunin, L.P., Plotnikov, V.V., 1999. An update on the climatology and sea ice of the Bering Sea. In: Loughlin, T.R., Ohtani, K. (Eds.), *Dynamics of the Bering Sea*, University of Alaska Sea Grant, pp. 29–59.
- Nimmergut, A., Abelmann, A., 2002. Spatial and seasonal changes of radiolarian standing stocks in the Sea of Okhotsk. *Deep-Sea Research I* 49, 463-493.
- North Greenland Ice Core Project Members, 2004. High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature* 431, 147-151.
- Ohkushi, K., Itaki, T., Nemoto, N., 2003. Last Glacial-Holocene change in intermediate-water ventilation in the northwestern Pacific. *Quaternary Science Review* 22, 1477–1484.
- Okada, M., Takagi, M., Narita, H., Takahashi, K., 2005. Chronostratigraphy of sediment cores from the Bering Sea and the subarctic Pacific based on paleomagnetic and oxygen isotope analyses. *Deep-Sea Research II* 52, 2092-2109.
- Okazaki, Y. et al., 2010. Deepwater formation in the North Pacific during the last glacial Termination. *Science* 329, 200-204.
- Okumura, Y. M., Deser, C., Hu, A., Timmermann, A., Xie, S.-P., 2008. North Pacific climate response to freshwater forcing in the Subarctic North Atlantic: Oceanic and atmospheric pathways. *Journal of Climate* 22, 1424-1445.
- Otosaka, S., Honda, M.C., Noriki, S., 2004. La/Yb and Th/Sc in settling particles: vertical and horizontal transport of lithogenic material in the western North Pacific. *Geochemistry Journal* 38, 515–525.
- Pichevin, L.E., Reynolds, B.C., Ganeshram, R.S., Cacho, I., Pena, L., Keefe, K., Ellam, R.M., 2009. Enhanced carbon pump inferred from relaxation of nutrient limitation in the glacial ocean. *Nature* 459, 1114-1117.
- Piotrowski, A.M., Goldstein, S.L., Hemming, S.R., Fairbanks, R.G., 2004. Intensification and variability of ocean thermohaline circulation through the last deglaciation. *Earth and Planetary Science Letters* 225, 205-220.
- Radi, T., Pospelova, V., de Vernal, A., Barrie, J.V., 2007. Dinoflagellate cysts as indicators of water quality and productivity in British Columbia estuarine environments. *Marine Micropaleontology* 62, 269-297.
- Rasmussen, S.O., Andersen, K.K., Svensson, A.M., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Clausen, H.B., Siggaard-Andersen, M.-L., Johnsen, S.J., Larsen, L.B., Dahl-Jensen, D., Bigler, M., Röthlisberger, R., Fischer, H., Goto-

- Azuma, K., Hansson, M.E., Ruth, U., 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical Research* 111, D06102, doi:10.1029/2005JD006079.
- Ratnayake, N. P., Suzuki, N., Okada, M., Takagi, M., 2006. The variations of stable carbon isotope ratio of plant-derived n-alkanes in deep-sea sediments from the Bering Sea and the North Pacific Ocean during the last 250,000 years. *Chemical Geology* 228, 197-208.
- Ren, H., Sigman, D.M., Meckler, A.N., Plessen, B., Robinson, R.S., Rosenthal, Y., Haug, G.H., 2009. Foraminiferal Isotope Evidence of Reduced Nitrogen Fixation in the Ice Age Atlantic Ocean. *Science* 323 (5911), 244-248.
- Reynolds, B.C., Aggarwal, J., Andr e, L., Baxter, D., Beucher, C., Brzezinski, M.A., Engstr om, E., Georg, R.B., Land, M., Leng, M.J., Opfergelt, S., Rodushkin, I., Sloane, H.J., van der Boorn, S.H.J.M., Vroon, P.Z., Cardinal, D., 2007. An Inter-laboratory comparison of Si isotope reference materials. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 22, 561-568.
- Reynolds, B.C., Frank M., Halliday, A.N., 2008. Evidence for a major change in silicon cycling in the subarctic North Pacific at 2.73 Ma. *Paleoceanography* 23, PA4219, doi:10.1029/2007PA001563.
- Robertson, J.H., 1975. Glacial to interglacial oceanographic changes in the Northwest Pacific, including a continuous record of the last 400,000 years. Ph.D. Thesis. Columbia University, New York, 355 p.
- Robinson, R.S., Sigman, D.M., 2008. Nitrogen isotopic evidence for a poleward decrease in surface nitrate within the ice age Antarctic. *Quaternary Science Reviews* 27 (9-10), 1076-1090.
- R ohl, U., Abrams, L.J., 2000. High-resolution, downhole and non-destructive core measurements from Sites 999 and 1001 in the Caribbean Sea: applications to the Late Paleocene Thermal Maximum. *Proceedings ODP, Scientific Results* 165, 191-203.
- Sancetta, C., 1981. Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas. *Deep-Sea Research*, 28, 789-817.
- Sancetta, C., 1983. Effect of Pleistocene glaciation upon oceanographic characteristics of the North Pacific Ocean and Bering Sea. *Deep-Sea Research* 30 (8A), 851-869.
- Sancetta, C., Heusser, L., Labeyrie, L., Naidu, A.S., Robinson, S.W., 1985. Wisconsin-Holocene paleoenvironment of the Bering Sea: Evidence from diatoms, pollen, oxygen isotopes and clay minerals. *Marine Geology* 62, 55-68.
- Sarnthein, M., Gebhard, H., Kiefer, T., Kucera, M., Cook, M., Erlenkeuser, H., 2004. Mid Holocene origin of the sea-surface salinity low in the subarctic North Pacific. *Quaternary Science Reviews* 23, 2089-2099.
- Sarnthein, M., Grootes, P.M., Kennett, J.P., Nadeau, M.J., 2007. ¹⁴C reservoir ages show deglacial changes in ocean currents and carbon cycle. *Geophysical Monograph Series* 173, 175-196.
- Schlitzer, R., 2011. Ocean Data View. <http://odv.awi.de>.
- Shemesh, A., Charles, C.D., Fairbanks, R.G., 1992. Oxygen isotopes in biogenic silica: Global changes in ocean temperature and isotopic composition. *Science* 256, 1434-1436.
- Shemesh, A., Burckle, L.H., Hays, J.D., 1994. Meltwater input to the Southern Ocean during the Last Glacial Maximum. *Science* 266, 1542-1544.
- Shemesh, A., Burckle, L.H., Hays, J.D., 1995. Late Pleistocene oxygen isotope records of biogenic silica from the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Paleoceanography* 10, 179-196.
- Shemesh, A., Hodell, D., Crosta, X., Kanfoush, S., Charles, C., Guilderson, T., 2002. Sequence of events during the Last deglaciation in Southern Ocean Sediments and Antarctic ice cores. *Paleoceanography* 17, 599-605.
- Shigemitsu, M., Narita, H., Watanabe, Y.W., Harada, N., Tsunogai, S., 2007. Ba, Si, U, Al, Sc, La, Th, C and ¹³C/¹²C in a sediment core in the western subarctic Pacific as proxies of past biological production. *Marine Chemistry* 106, 442-455.
- Stabeno, P.J., Schumacher, J.D., Ohtani, K., 1999. The physical oceanography of the Bering Sea. In: Loughlin, T.R., Ohtani, K. (Eds.), *Dynamics of the Bering Sea*, University of Alaska Sea Grant, pp. 1-28.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., 1993. CALIB Radiocarbon calibration program, *Radiocarbon* 35, 215-230.
- Svendsen, J.I., Alexanderson, H., Astakhov, V.I., Demidov, I., Dowdeswell, J.A., Funder, S., Gataullin, V., Henriksen, M., Hj ort, C., Houmark-Nielsen, M., Hubberten, H.W., Ing olfsson,  ., Jakobsson, M., Kj ar, K.H., Larsen, E., Lokrantz, H., Lunkka, J.P., Lys a, A., Mangerud, J., Matushkov, A., Murray, A., M oller, P., Niessen, F., Nikolskaya, O., Polyak, L., Saarnisto, M., Siegert, C., Siegert, M., Spielhagen, R.F., Stein, R., 2004. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews* 23, 1229-1271.
- Swanberg, N.R., Eide, L.K., 1992. The radiolarian fauna at the ice edge in the Greenland Sea during summer, 1988. *Journal of Marine Research* 50, 297-320.
- Swann, G.E.A., Maslin, M.A., Leng, M.J., Sloane, H.J., Haug, G.H., 2006. Diatom $\delta^{18}\text{O}$ evidence for the development of the modern halocline system in the subarctic northwest Pacific at the onset of major Northern Hemisphere glaciation. *Paleoceanography* 21, PA1009, doi:10.1029/2005PA001147.
- Swann, G.E.A., Leng, M.J., Sloane, H.J., Maslin, M.A., Onodera, J., 2008. Isotope offsets in marine diatom $\delta^{18}\text{O}$ over the last 200 ka. *Journal of Quaternary Science* 23, 389-400.
- Takahashi, K., 1986. Seasonal fluxes of pelagic diatoms in the subarctic Pacific, 1982-1983. *Deep Sea Research*, 33, 1225-1251.
- Takahashi, K., Billings, J.D., Morgan, J.K., 1990. Oceanic province: Assessment from the time-series diatom fluxes in the northeastern Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 35, 154-165.
- Takahashi, K., 2005. The Bering Sea and paleoceanography. *Deep-Sea Res. II* 52, 2080-2091.
- Tanaka, S., Takahashi, K., 2005. Late Quaternary paleoceanographic changes in the Bering Sea and the western subarctic Pacific based on radiolarian assemblages. *Deep-Sea Res. II* 52, 2131-2149.
- Tarasov, L., Peltier, W.R., 2005. Arctic freshwater forcing of the Younger Dryas cold reversal. *Nature* 435, 662-665.

- Tomczak, M., Godfrey, J.S., 1994. Regional oceanography: An introduction. Elsevier Science Ltd., Oxford, 391 pp.
- Valet, J.-P., Meynadier, L., Guyodo, Y., 2005. Geomagnetic dipole strength and reversal rate over the past two million years. *Nature* 435, 802-805.
- Waelbroek, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J.C., McManus, J.F., Lambeck, K., Balbon, E., Labracherie, M., 2002. Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. *Quaternary Science Reviews* 21, 295–305.
- Weijers, J.W.H., Schouten, S., Spaargaren, O.C., Sinnighe Damsté, J.S., 2006. Occurrence and distribution of tetraether membrane lipids in soils: Implications for the use of the TEX₈₆ proxy and the BIT index. *Organic Geochemistry* 37, 1680-1693.
- Winckler, G., Anderson, R.F., Fleisher, M.Q., McGee, D., Mahowald, N.M., 2008. Covariant glacial-interglacial dust fluxes in the Equatorial Pacific and Antarctica. *Science* 320, 93-96.
- Zahn, R., Rushdi, A., Pias, N.G., Bornhold, B.D., Blaise, B., Karlin, R., 1991. Carbonate deposition and benthic $\delta^{13}\text{C}$ in the subarctic Pacific: implications for changes of the oceanic carbonate system during the past 750,000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 103, 116-132.