

Gemeinsamer Abschlussbericht

– BMBF Verbundprojekt WTZ RUS –

„Sedimentation im Elgygytgyn-See (NE-Sibirien) seit dem Pliozän - Tiefbohrungen im Rahmen des ICDP“



(Kurztitel: „ICDP Elgygytgyn-See“)

Teilprojekte

TP1 (Universität zu Köln)
„Paläolimnologie des Elgygytgyn-Sees seit dem Pliozän“
und
„Koordination des Verbundvorhabens“

TP2 (Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven)
„Sedimentphysikalische Untersuchungen im Rahmen der ICDP-Bohrung“

TP3 (Alfred-Wegener-Institut Potsdam)
„Permafrost im periglazialen Umfeld des Elgygytgynsees“

TP4 (GeoForschungsZentrum Potsdam)
„Geochronologie der Sedimente im Elgygytgyn-Krater“

FKZ: 03G0642

Zuwendungsempfänger:

Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Postfach 12 01 61
27515 Bremerhaven

GeoForschungsZentrum
Telegraphenberg
14473 Potsdam



GFZ
Helmholtz Centre
POTSDAM

Autoren

Prof. Dr. Martin Melles	Universität zu Köln, Institut für Geologie und Mineralogie
Dr. Frank Niessen	Stiftung Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven
Prof. Dr. Hans-W. Hubberten	Stiftung Alfred-Wegener-Institut, Potsdam
Dr. Norbert Nowaczyk	GeoForschungsZentrum Potsdam

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzbericht	2
1.1	Aufgabenstellung	2
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	5
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2	Eingehende Darstellung	7
2.1	Ergebnisse	7
2.1.1	Koordination TP1 (Universität zu Köln)	8
2.1.2	Wissenschaft TP1 (Universität zu Köln)	13
2.1.3	Wissenschaft TP2 (AWI Bremerhaven	23
2.1.4	Wissenschaft TP3 (AWI Potsdam)	32
2.1.5	Wissenschaft TP4 (GFZ Potsdam)	36
2.2	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	41
2.3	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	41
2.4	Veröffentlichungen	42
2.5	Literaturverzeichnis	43
3	Berichtsblatt / Control sheet	44

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung

Der Elgygytgynsee liegt in NE-Sibirien, in einem vor ca. 3,6 Mio Jahren durch einen Meteoriteneinschlag entstandenen Krater (Abb. 1), und dürfte nach umfangreichen Voruntersuchungen seitdem ununterbrochen existiert haben. Mit dem Verbundprojekt "ICDP-Elgygytgynsee" sollten in Zusammenarbeit insbesondere mit russischen und amerikanischen Wissenschaftlern im Rahmen des *International Continental Scientific Drilling Program* (ICDP) die gesamte Seesedimentabfolge, die unterlagernden Impaktgesteine sowie die oberen Schichten der Permafrostablagerungen im Umfeld des Sees für komplexe geowissenschaftliche Untersuchungen erschlossen werden. Die Bohrkerne von den Seesedi-

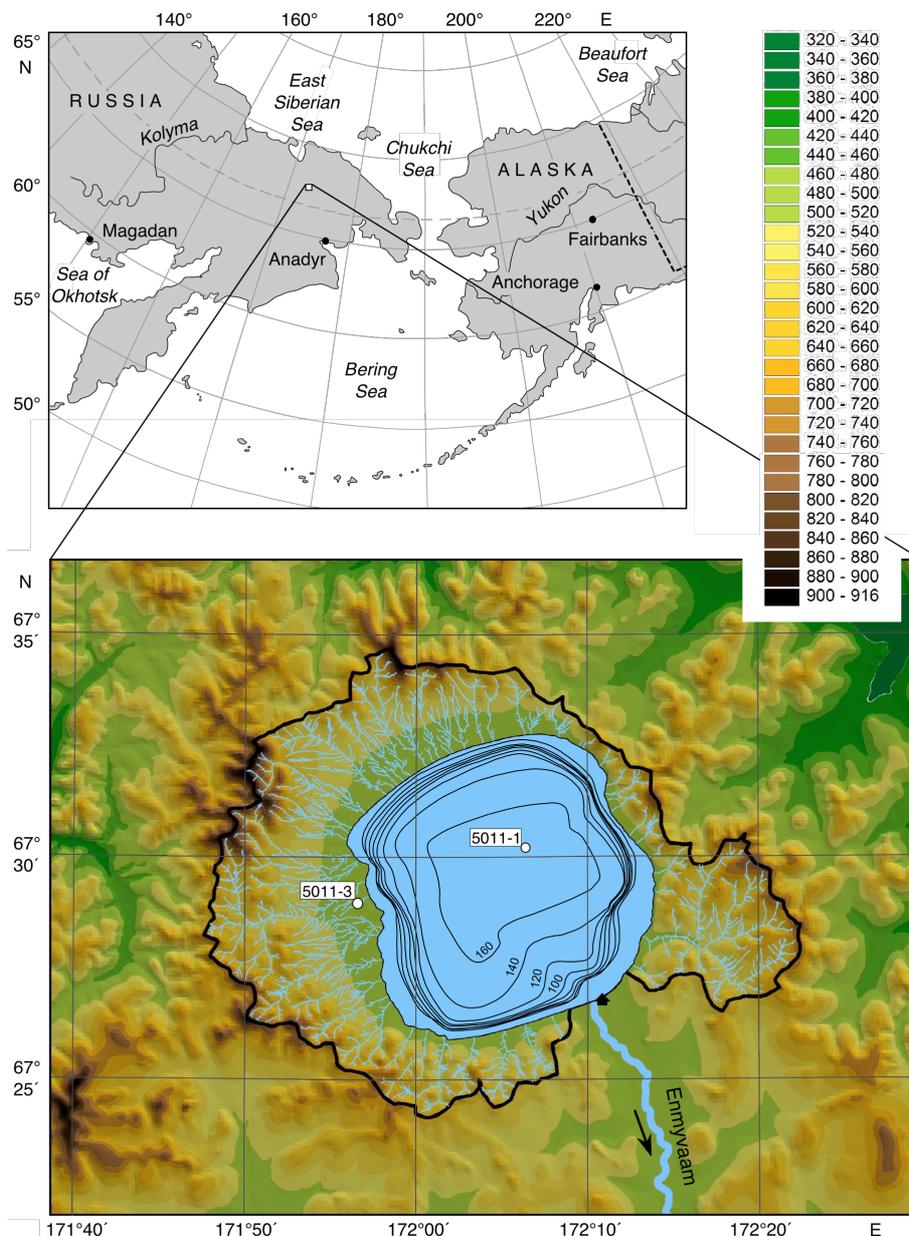


Abb. 1: Lage des Elgygytgyn-Sees in NE-Sibirien (oben), sowie Einzugsgebiet mit Wasserscheide, Bathymetrie und Positionen der 2008/09 gewonnenen Tiefbohrkerne (unten).

menten und Permafrostablagerungen sollten an der Universität zu Köln und am Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven prozessiert (Öffnung, Beschreibung, Dokumentation, Scanning, Logging) und für weitergehende Untersuchungen durch das Verbundprojekt sowie nationale und internationale Kooperationspartner unterbeprobte werden.

Die Arbeiten gliederten sich in vier einander ergänzende Teilprojekte. Im Rahmen des Teilprojektes 1 (TP1), das 2006 an der Universität Leipzig eingerichtet und 2007 mit dem Wechsel des Koordinators (M. Melles) an die Universität zu Köln überführt wurde, sollten aus der Untersuchung der Seesedimente wesentliche Beiträge zur Rekonstruktion der Klima- und Umweltgeschichte in der sibirischen Arktis seit dem Pliozän geleistet werden. In diesem TP war zudem die Koordination des Verbundprojektes angesiedelt. Die wissenschaftlichen Arbeiten sollten durch sedimentphysikalische und geochronologische Untersuchungen an dem Kernmaterial durch das TP2 des AWI Bremerhaven und TP4 des GeoForschungsZentrums (GFZ) Potsdam ergänzt werden. Im Rahmen des TP3 des AWI Potsdam sollte der Permafrostkern bezüglich der Permafrostgeschichte analysiert und das Bohrloch für langfristige Temperaturmessungen im Permafrost erschlossen werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben konnte auf umfangreichen Erfahrungen aufbauen, die zunächst am AWI, später auch an der Universität Leipzig seit Anfang der 1990er Jahre mit quartärgeologischen Projekten in deutsch-russischer Kooperation im nördlichen Sibirien gewonnen wurden. Hervorzuheben sind dabei besonders die Arbeiten im Rahmen der BMBF-Verbundprojekte „Taimyr“ und „System Laptev See“. Die für das Vorhaben essentiellen Voruntersuchungen im Elgygytgyn-Krater konnten von 2002 bis 2005 im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Vorstudie Elgygytgyn-See“ (FKZ 03G0586) abgeschlossen werden.

Durch diese Projekte konnten in den Jahren 1998, 2000 und 2003 erste Expeditionen zum Elgygytgynsee durchgeführt werden. Dadurch waren die örtlichen Gegebenheiten bekannt und es konnten lokale Kontakte geknüpft werden. Außerdem bestanden durch die Vorarbeiten intensive Kontakte und positive Erfahrungen mit den internationalen Kooperationspartnern vom *North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute* (NEISRI) in Magadan, Russland, *Arctic and Antarctic Research Institute* (AARI) in St. Petersburg, Russland, *University of Massachusetts* (UMass) in Amherst, USA, und *University of Alaska* in Fairbanks (UAF), USA, die auch Heute noch eine federführende Rolle im internationalen Projekt spielen.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde weitestgehend wie geplant durchgeführt. Die einzige große Ausnahme ist die durch finanzielle Engpässe und logistische Probleme bedingte Verschiebung der Bohrkampagne am Elgygytgynsee vom Winter 2007/08 auf den Winter 2008/09. Das hatte zur Folge, dass alle Teilprojekte des Vorhabens die geplanten wissenschaftlichen Arbeiten

Projektes haben von der Beschäftigung einer Koordinationsassistentin im TP1 sehr profitiert. Unerwartet hoch war dagegen die Belastung des Projektes durch Dienstreisen des Koordinators, die für die administrative Vorbereitung der Bohrkampagne unerlässlich waren.

Die Konzeption des Verbundprojektes hat sichergestellt, dass die deutschen Arbeitsgruppen - wie bei der erfolgreich durchgeführten Vorstudie - eine federführende Rolle im internationalen Tiefbohrprojekt am Elgygytgynsee spielen. Dazu hat zum einen eine angemessene finanzielle Beteiligung an der Bohroperation beigetragen. Zum anderen konnten zentrale Koordinationsaufgaben übernommen werden, die eine sinnvolle und ordnungsgemäße Probenaufteilung und -bearbeitung, eine intensive Kooperation zwischen den Projektpartnern, die langfristige Zugänglichkeit der analytischen Ergebnisse und eine zeitgemäße Außendarstellung des Projektes sichergestellt haben. Außerdem konnte gewährleistet werden, dass die deutschen Arbeitsgruppen, die direkt an der Bohrung beteiligt waren, wissenschaftliche Schlüsselbeiträge in dem internationalen Projekt geliefert haben. Dabei hat es sich bewährt, dass sich die deutschen Gruppen auf analytische Arbeiten konzentriert haben, die von besonderer Bedeutung für die Klima- und Umweltrekonstruktion sind, frühzeitig interpretierbare Ergebnisse liefern und grundlegende Daten für die weiteren Arbeitsschritte aller Projektteilnehmer darstellen.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Quartärgeologische Untersuchungen in West- und Mittelsibirien, die in den vergangenen zwei Jahrzehnten in Kooperation zwischen westeuropäischen und russischen Wissenschaftlern u.a. im Rahmen der europäischen Projekte QUEEN (*Quaternary Environmental Evolution of the Eurasian North*) und APEX (*Arctic Paleoclimate and its Extremes*) durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass das Eurasische Eisschild im Quartär die maximale östliche Ausdehnung in Mittelsibirien gehabt hat. Dieses Ergebnis bestätigten geomorphologische Untersuchungen russischer Wissenschaftler in Ostsibirien, die für Chukotka zwar lokale Gletscher und ganzjährige Schneefelder für die jüngeren quartären Kaltzeiten zeigten, welche jedoch keine Verbindung zum Eurasischen Eisschild aufwiesen und weite Teile der Landschaft eisfrei belassen haben dürften. Letzteres gilt auch für den Elgygytgyn-Krater, von dem bekannt war, dass er vor etwa 3,6 Mio Jahren durch einen Meteoriteneinschlag entstanden ist. Die Hinweise auf eine sehr alte, vermutlich nie vergletscherte Hohlform auf dem Kontinent, in der naturgemäß Sedimente kontinuierlich abgelagert werden können, führte uns zu der Arbeitshypothese, dass der im Elgygytgyn-Krater heute vorhandene See eine einzigartige Sedimentsequenz birgt, mit der erstmals die Klima- und Umweltgeschichte in der terrestrischen Arktis seit dem Pliozän lückenlos und mit einer guten zeitlichen Auflösung rekonstruiert werden kann.

Vor diesem Hintergrund wurden in den Jahren 1998 und 2000 gemeinsam mit den russischen und amerikanischen Kooperationspartnern erste Vorexpeditionen zum Elgygytgynsee durchgeführt. Auf diesen Expeditionen konnten erste Erkenntnisse zu den rezenten klimatischen Bedingungen und zu den hydrologischen Verhältnissen im See gewonnen, ein

erster 13 m langer Sedimentkern geborgen und erste seismische Daten zur Mächtigkeit und Lagerung der tieferen Seesedimente gewonnen werden. Diese Ergebnisse bekräftigten die Arbeitshypothese einer ungestörten, bis zu 3,6 Mill Jahre alten Seesedimentsequenz am Grund des Elgygytynsees, wiesen aber noch entscheidende Lücken für die Begründung einer Tiefbohrkampagne auf. Unzureichend verstanden blieben insbesondere die rezenten Prozesse der Sedimentgenese im Krater, der Einfluß des Permafrostes in der Umrandung des Sees auf die Seesedimentbildung, die Aussagekraft der Seesedimente für die Klima- und Umweltrekonstruktion in der Region und die genaue Mächtigkeit und Lagerung der gesamten Sedimentfüllung im Krater. Diese Wissenslücken konnten auf der Grundlage einer Expedition 2003 geschlossen werden, die im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens „Vorstudie Elgygytyn-See“ durchgeführt und ausgewertet wurde.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Vorhaben stellte einen Beitrag zu einem internationalen Forschungsprojekt dar. Die wichtigsten internationalen Kooperationspartner sind das NEISRI und AARI in Russland sowie die UMass und UAF in den USA (s. Kap. 1.2). Darüber hinaus gab es eine besonders enge Zusammenarbeit mit Vera Ponomareva (Petropavlosk, Russland) bzgl. Tephren, Pat Anderson (Univ. Washington, USA) bzgl. Pollen, Jeff Snyder (Bowling Green Univ., USA) bzgl. Diatomeen und Peter Rosén (Univ. Umeå, Schweden) bzgl. FTIRS.

Auf deutscher Seite sind neben den Verbundpartnern eine Reihe von Wissenschaftlern als Antragsteller oder Mitarbeiter von assoziierten DFG-Projekten intensiver in das Vorhaben eingebunden. Die DFG-Projekte wurden im Rahmen des Schwerpunktprogramms „ICDP“ eingeworben (Tab. 1). Sie betrieben bzw. betreiben ergänzende wissenschaftliche Arbeiten an dem Proben- und Datenmaterial, das im Rahmen dieses Verbundprojektes bzw. seines Vorgängerprojektes („Vorstudie Elgygytyn-See“) gewonnen wurde.

Tab. 1: DFG-Projekte im Rahmen des Schwerpunktprogramms „ICDP“, die an Proben- und Datenmaterial vom Elgygytyn-Krater durchgeführt wurden bzw. werden.

Antragsteller	Institution/en	Bewilligung	Thema
O. Juschus (Eigene Stelle)	Uni Leipzig	2007	Paläolimnologie Vorstudie
G. Schwamborn	AWI Potsdam	2007, 2008	Permafrost Vorstudie
H. Meyer & H.-W. Hubberten	AWI Potsdam	2007, 2009	Diatomeenisotope Vorstudie
K. Mangelsdorf & D. Wagner	GFZ, AWI-Potsd	2008, 2010	Mikrobiologie Permafrost, Seesed.
U. Reimold & R. Schmidt	HU Berlin	2010	Impaktereignis
G. Schwamborn & J. Willenbrink	AWI-Potsd, GFZ	2010	Kosmogene Nuklide Permafrost
M. Melles & O. Juschus	Uni Köln	2010, 2012	Massenbewegungen Seesedim.
M. Melles & U. Herzsuh	Uni Köln, AWI-P	2011	Pollen Seesedimente
A. Prokopenko (Eigene Stelle)	Uni Köln	2012	Vergleich mit Baikalsee-Kernen

Eine entscheidende Voraussetzung für die Realisierung des Vorhabens war die Tatsache, dass die Arbeiten seit 1999 ununterbrochen in der „Fachvereinbarung über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Meeres- und Polarforschung“ zwischen den deutschen und russi-

schen Forschungsministerien enthalten sind. Eine wichtige Rolle spielte darüber hinaus das deutsch-russische „Otto Schmidt Labor“ (OSL), welches das Projekt logistisch unterstützt und russischen Projektmitarbeitern Zugang zu Analytik und Arbeitsmöglichkeiten gewährt hat.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Ergebnisse

Das Verbundvorhaben bestand aus vier Teilprojekten (Abb. 3). Im TP1 der Universität zu Köln war die Koordination des Vorhabens angesiedelt. Darüber hinaus sollten vom TP1 die Seesedimentkerne prozessiert und bezüglich der regionalen Klima- und Umweltgeschichte seit dem Pliozän interpretiert werden. Vom TP2 des AWI Bremerhaven sollten die sedimentphysikalischen Eigenschaften der Sedimentkerne bestimmt und bezüglich der Sedimentgenese interpretiert werden. Dabei sollten die Messungen bereits am See in einem Laborcontainer begonnen werden. Das TP3 des AWI Potsdam hatte zum Ziel, den Permafrostkern multi-disziplinär zu untersuchen, die Ablagerungen bezüglich der Permafrostgeschichte zu interpretieren und das Bohrloch für langfristige Temperaturmessungen zu erschließen. Die Datierung der Sedimentkerne schließlich war die zentrale Aufgabe vom TP4 des GFZ Potsdam. Dazu sollten vor allem paläomagnetische Daten und Vergleiche

TP 1	<p>Universität zu Köln <u>Paläolimnologie</u> - Sedimentologie und Geochemie an den Seesedimenten</p>	<p><u>Koordination</u> - Beteiligung an der Bohrkampagne</p>
TP 2	<p>AWI Bremerhaven <u>Geophysik</u> - Sedimentphysikalische Eigenschaften an allen Kernen</p>	<p>- Kernöffnung, -dokument. u. -beprobung - Datierungen (¹⁴C, Lumineszenz, Ar/Ar) - Datenbank (Datenrekrut. u. -einspeisg.)</p>
TP 3	<p>AWI Potsdam <u>Permafrost</u> - Geokryologie und Sedimentologie am Permafrostkern</p>	<p>- Öffentlichkeitsarbeit (u.a. Internetauftritt) - Arbeitstreffen (in Deutschland)</p>
TP 4	<p>GFZ Potsdam <u>Geochronologie</u> - Paläo- und Gesteinsmagnetik und Farbscans an allen Kernen</p>	<p>- russische Gastwissenschaftler - Studentische Hilfskräfte</p>

Abb. 3: Struktur des BMBF-Verbundvorhabens mit vier Teilprojekten (TP) und der Koordination als Teil des TP1 der Universität zu Köln.

der Sedimentproxies mit der globalen marinen Isotopenstratigraphie und regionalen Insolationsschwankungen herangezogen werden.

2.1.1 Koordination TP1 (Universität zu Köln)

Die Koordination des Verbundvorhabens durch das TP1 der Universität zu Köln umfasste - wie im Antrag ausgeführt - eine Vielzahl von Aufgaben, die den Bereichen „Bohrkampagne“, „Bohrkernauswertung“, „Öffentlichkeitsarbeit“ und „Sonstiges Management“ zugeordnet werden können.

Bohrkampagne

Für die deutsche Beteiligung an der internationalen Bohrkampagne am Elgygytgynsee im Winter 2008/09 wurden von der Koordination insbesondere die folgenden Beiträge geleistet:

(1) *Beteiligung am LEAP*

Während der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der Bohrkampagne hat M. Melles an zahlreichen Treffen und Telefonkonferenzen des *Lake Elgygytgyn Advisory Panel* (LEAP) teilgenommen und gemeinsam mit der leitenden US-amerikanischen Wissenschaftlerin J. Brigham-Grette die regelmäßigen 'LEAP Reports' verfasst.

(2) *BMBF-Berichte, Aufstockungs- und Umwidmungsanträge*

Für das Verbundvorhaben wurden von der Koordination 6-monatige Zwischenberichte erstellt, in welche die Beiträge der Teilprojekte integriert wurden. Außerdem wurden für eine angemessene Beteiligung der deutschen Seite an gestiegenen operationellen Kosten und für Anpassungen in der Nutzung der bewilligten Mittel beispielsweise für Dienstreisen und Studentische Hilfskräfte (SHK) mehrere Aufstockungs- und Umwidmungsanträge für das Verbundvorhaben gestellt.

(3) *Diplomatie-Reisen nach Russland*

Gemeinsam mit J. Brigham-Grette und russischen Partnern (z.B. G. Fedorov, M. Voevodskaya) hat M. Melles eine Reihe von Diplomatie-Reisen nach Russland durchgeführt, auf denen bei wichtigen Entscheidungsträgern für Unterstützung des Bohrprojektes geworben wurde, beispielsweise bei Treffen in der RAS, in *Roshydromet*, in der US-amerikanischen Botschaft oder im AARI.

(4) *DOSECC Safety Panel Meeting*

Am 05.11.2007 fand an der Universität zu Köln das 'DOSECC Safety Panel Meeting' statt, auf dem unter Mitwirkung externer Spezialisten sicherheitsrelevante Aspekte der Bohrkampagne (z.B. Eisfestigkeit, Gefahr von Gasausbrüchen) diskutiert und Sicherheitsmaßnahmen beschlossen wurden. Das Treffen wurde von der Koordination des Verbundprojektes vorbereitet und organisiert. An diesem Treffen hat neben M. Melles auch C. Gebhardt vom TP2 (AWI) teilgenommen, die die vorhandenen seismischen Daten vorgestellt hat.

(5) *Logistik-Planungen und -Abstimmungen*

Die Koordination des Verbundvorhabens war intensiv in die Logistik-Planungen und -Abstimmungen mit den beteiligten Dienstleistern für die Bohrkampagne eingebunden. Das gilt insbesondere für das Konsortiums amerikanischer Universitäten DOSECC (*Drilling, Observation and Sampling of the Earth's Continental Crust*), den Logistik-Dienstleister CPS (*CH2M Hill Polar Services, ehem. VECO Polar Resources*), die lokale Bohrfirma CMGC (*Chaun Mine Geological Company Ltd.*), die amerikanische Forschungsförderungsorganisation CRDF (*U.S. Civilian Research & Development Foundation*), das amerikanische Bohrkernlager LacCore (*U.S. National Lacustrine Core Repository, University of Minnesota*), den kanadischen Eislogistik-Dienstleister EBA (*EBA Engineering Consultant Ltd., Kanada*) und die ICDP OSG (*Operational Support Group*). Die Mitwirkung geschah u.a. durch die Teilnahme an zahlreichen Treffen in Deutschland, in den USA und in Russland.

(6) *Logistik-Dienstleistungen*

Aufgrund von finanzrechtlichen Problemen bei der Verausgabung von Mitteln durch die NSF in Russland sowie für die Reduzierung der damit verbundenen Overhead-Kosten bei amerikanischen Dienstleistern wurde ein Teil der beim ICDP zusammengeführten Mittel für die Bohrkampagne an die Universität zu Köln überführt. Von dort wurden die Mittel durch die Koordination des Verbundprojektes verausgabt. Das beinhaltete beispielsweise die Buchung und Zahlung von Inlandsflügen in Russland (für die 37 ausländischen Teilnehmer an der Bohrkampagne), Helikopter-Charter (15 Flüge zum See insbesondere für Personen- und Proben-transport), Flugzeug-Charter (für Proben-transport nach St. Petersburg) und die Bezahlung lokaler Helfer in Pevek und am Elgygytgynsee. Die Mittel wurden teilweise in bar, teilweise mittels Überweisungen an das AARI im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung zwischen dem AARI und der Universität zu Köln verausgabt.

(7) *Finanzübersicht und -kontrolle*

Zur Übersicht und -kontrolle der Finanzen und logistischen Erfordernisse bei der Bohrkampagne wurde von CPS das Projektmanagement-Programm „Primavera“ eingerichtet und betrieben. In Primavera waren alle Aktivitäten des Bohrprojektes mit den verantwortlichen Personen und Institutionen, den damit verbundenen Kosten und den Zeiten, zu denen Sie erfolgen müssen, aufgeführt. Die Koordination des Verbundprojektes hat die Daten in Primavera regelmäßig kontrolliert und als Datenmanager für Aktivitäten fungiert, für die sie zuständig war (siehe u.a. (6)).

(8) *Teilnahme an Bohrkampagne*

Die Koordination des Verbundprojektes war in der ersten Phase der Seebohrungen in Person von M. Melles als leitendem Wissenschaftler für alle Entscheidungen vor Ort verantwortlich. Die Aufgaben von M. Melles schlossen das Verfassen von 'Weekly Reports' und 'Daily News' ein. Diese wurden im Verlauf der gesamten Bohrkampagne von der Koordinationsassistentin F. Schürhoff-Goeters an die Geldgeber, an

die beteiligten Wissenschaftler und an Angehörige der Expeditionsteilnehmer versendet und zusätzlich auf den Internetseiten des Projektes an der Universität zu Köln und des ICDP einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die Einstellung der Studentischen Hilfskräfte (SHK) aus Deutschland, die an der Bohrkampagne als Helfer und z.T. Übersetzer teilgenommen haben (J. Karls, V. Götte und C. Meyer-Jacobs von der Universität zu Köln sowie J. Gottschalk von der Universität Bremen), erfolgte aus den Koordinationsmitteln des Verbundprojektes.

(9) *Probenexport*

Für den Export der Bohrkerne nach Deutschland wurden vom AARI im Rahmen der Kooperationsvereinbarung mit der Universität zu Köln die erforderlichen Genehmigungen eingeholt. Der Probentransport nach Deutschland per LKW, sowie die Weiterverteilung der Proben nach Bremerhaven (Permafrost-Kerne), Berlin (Impakt-Kerne) und Köln (Seesediment-Kerne) wurde durch die Koordination des Verbundvorhabens organisiert.

Bohrkernauswertung

Die im Rahmen des internationalen Projektes aus dem Elgygytgyn-Krater gewonnenen Bohrkerne wurden und werden in Deutschland prozessiert (Permafrost-Kerne am AWI in Bremerhaven, Impakt-Kerne am Naturkunde-Museum in Berlin und Seesediment-Kerne an der Universität zu Köln). Um eine effiziente und faire analytische Bearbeitung und Auswertung der Bohrkerne durch das internationale Team von Wissenschaftlern (‘Science Team’) zu gewährleisten, wurden von der Koordination des Verbundprojektes die folgenden Beiträge geleistet.

(10) *Organisation der Wissenschaft*

Für die Regelung der analytischen Bearbeitung der Bohrkerne durch das Science Team wurden von den leitenden Wissenschaftlern M. Melles (Köln), J. Brigham-Grette (USA), P. Minyuk (Russland) und C. Koeberl (Österreich) zwei Dokumente erarbeitet, die an die Wissenschaftler des Projektes verteilt und über die Webseiten am ICDP und an der Universität zu Köln bekannt gemacht wurden. Das Dokument ‘Sample, Data and Obligations Policy’ (SDOP) regelt den Umgang mit Proben- und Datenmaterial im Elgygytgyn-Projekt, einschließlich der Publikation der gewonnenen Erkenntnisse. Mit der ‘Sample Request Form’ (SRF) können Proben von den Bohrkernen angefordert werden. In diesem Dokument sind die spezifischen Probenwünsche (z.B. angestrebte Analysen, Anzahl, Tiefen, Mengen, besondere Behandlung) und der Zeitraum ihrer Bearbeitung aufgeführt. Es ermöglicht den leitenden Wissenschaftlern, Duplizierungen von Analysen auszuschließen und Wechselwirkungen zwischen Arbeitsgruppen zu erkennen. Mit der Abgabe der SRF stimmen die Wissenschaftler der SDOP zu.

(11) *Bearbeitung der Seesedimentkerne*

Die deutliche Mehrzahl der am internationalen Elgygytgyn-Projekt beteiligten Wissenschaftler führt Analysen an den Seesediment-Bohrkernen durch. Über die unter (10)

genannten Rahmenbedingungen hinaus erfolgte die Abstimmung der analytischen Arbeiten an diesem Kernmaterial auf mehreren Treffen der leitenden Wissenschaftler M. Melles (Köln), J. Brigham-Grette (USA) und P. Minyuk (Russland). Es wurde beschlossen, dass die initiale Kernbearbeitung, mit Kernöffnung, Kernbeschreibung, Kerndokumentation, Ganz- und Halbkern-Messungen mittels Loggern und Scannern sowie die Unterbeprobung der Kerne in Deutschland erfolgen, vor allem an der Universität zu Köln. Die Koordination des Verbundprojektes hat die Verantwortung dafür übernommen, dass die erforderlichen Arbeitsschritte in hoher Qualität durchgeführt werden, und dass den beteiligten Wissenschaftlern die angeforderten Proben zeitnah aus Köln zugeschickt werden. Diese Übereinkunft gilt bis zum abschließenden Export der Archivkerne zum amerikanischen Bohrkernlager LacCore, voraussichtlich im Sommer 2012, wo die Kerne der internationalen Wissenschaftsgemeinschaft langfristig zugänglich gemacht werden.

Öffentlichkeitsarbeit

Die Koordination des Verbundprojektes hat maßgeblichen Anteil an der sehr guten Außerdarstellung des internationalen Forschungsprojektes. Die Öffentlichkeitsarbeit durch das TP1 konzentrierte sich im einzelnen auf die folgenden Aktivitäten (siehe Anlage 10).

(12) *Internet-Auftritt*

Von besonderer Bedeutung ist der Aufbau und die Pflege der zentralen Webseite für das internationale Bohrprojekt (www.elgygytgyn.uni-koeln.de/) durch die Koordinationsassistentin F. Schürhoff-Goeters. Die Webseite stellt in deutscher und englischer Sprache vielfältige Informationen zum Projekt zur Verfügung. Dabei reicht das Spektrum von den Zielsetzungen über das bisher Erreichte bis hin zu den geplanten Arbeiten. Die Besucher finden zudem eine umfangreiche Dokumentation vor, beispielsweise zur Bohrkampagne, zu den Projektmitarbeitern, zu Workshops, zu Publikationen und zur Öffentlichkeitsarbeit.

(13) *Veranstaltungen*

Das Forschungsprojekt wurde durch die Koordination auf verschiedenen Veranstaltungen der Öffentlichkeit präsentiert. Zu den Aktivitäten zählen öffentliche Vorträge durch den Koordinator, die Präsentation von Ausschnitten des Dokumentarfilms zur Permafrostbohrung (s.u.) in einer Endlosschleife und ein Schulprojekt, das von der Studentin J. Gottschalk, die als SHK der Universität zu Köln an der Bohrkampagne teilgenommen hat, durchgeführt wurde. Darüber hinaus wurde 2010 im Rahmen der Kölner „KinderUni“ ein „Feldforscher-Projekt“ zum Elgygytgynsee mit großem personellen Aufwand über mehrere Wochen durchgeführt. Seit Okt. 2011 beteiligt sich das Verbundprojekt zudem an einer Wanderausstellung zur Polar- und Meeresforschung im Rahmen des deutsch-russischen Wissenschaftsjahres. Auf der Ausstellung wird u.a. ein 1,6 m hohes Modell zum Elgygytgyn-Bohrprojekt gezeigt, bei dem über einen integrierten Bildschirm Videosequenzen abgerufen werden können.

(14) *Pressemitteilungen*

Zwischen Nov. 2008 und Juli 2011 wurden insgesamt fünf Presseerklärungen zum Elgygytgyn-Projekt veröffentlicht. Die ersten vier Presseerklärungen, zur Zielsetzung, zum Beginn, zum Verlauf und zur Beendigung der Bohrkampagne, wurden von der Universität zu Köln herausgegeben, in einem Fall gemeinsam mit dem AWI. Die fünfte Presseerklärung stammt von der Fachhochschule Köln. Sie bezieht sich auf eine Darstellung der Bohrkampagne in 3D auf Google Earth, die von Studenten der FH Köln gemeinsam mit der Koordination des Verbundprojektes erarbeitet wurde.

(15) *Fernsehen, Hörfunk und Internet-TV*

Eine besondere Sichtbarkeit hat das Forschungsprojekt durch einen Dokumentarfilm zur Permafrostbohrung erlangt, der im Febr. 2009 auf dem Sender „arte“ ausgestrahlt im Febr. 2010 auf dem Sender „phoenix“ wiederholt wurde. Die Erstellung des Dokumentarfilms wurde primär vom TP3 des AWI Potsdam begleitet, unterstützt durch Abstimmungen mit der Produktionsfirma „Hoferichter und Jacobs“ durch das TP1. Von großer Bedeutung ist darüber hinaus die Präsentation des Bohrprojektes in 11 Videoclips auf DFG Science TV (www.dfg-science-tv.de), mit dem Jugendliche für Forschung begeistert werden sollen. Die Clips zum Elgygytgyn-Projekt wurden von der Koordination mit eigenen Filmaufnahmen erstellt. Sie begleiten die Arbeiten von der Bohrkampagne bis in das Labor. Neben dem Dokumentarfilm und den Beiträgen auf DFG Science TV sind im Berichtszeitraum neun Hörfunk-Beiträge mit Interviews von Projektmitarbeitern gesendet worden, und das Projekt ist in zwei Fernsehbeiträgen von Nachrichtensendern behandelt worden.

(15) *Print- und Onlinemedien*

Das Elgygytgyn-Projekt ist während des Projektzeitraumes zudem umfassend in Print- und Onlinemedien präsentiert worden. Die Beiträge basieren in der Mehrzahl auf den Presseerklärungen, die von der Projektkoordination herausgegeben wurden (siehe (13)). Darüber hinaus haben die Printmedien die Veranstaltungen im Rahmen des Projektes (siehe (12)), insbesondere die Kölner KinderUni, umfangreich aufgegriffen.

Sonstiges Management

Neben den beschriebenen Aktivitäten zur Bohrkampagne, zur Bohrkernauswertung und zur Öffentlichkeitsarbeit hat sich die Koordination des Verbundprojektes insbesondere bei den internationalen Workshops und bei der Betreuung von Gastwissenschaftlern engagiert.

(16) *Workshops*

Im Berichtszeitraum wurden mit finanzieller Unterstützung durch das Verbundprojekt drei internationale *El'gygytgyn Lake Workshops* durchgeführt: Am 2./3. Nov. 2007 in Köln, am 15./16. Aug. 2008 Potsdam und am 21./22. Mai 2010 Köln. Die Koordination hat die Workshops mit Rundbriefen angekündigt, mit den leitenden Wissenschaftlern aus den USA und Russland die Programme erstellt und die offiziellen Einladungs-

schreiben für die russischen Kollegen verfasst, die teilweise aus Mitteln des Projektes eingeladen werden konnten, teilweise im Rahmen von Gastwissenschaftler-Aufenthalten teilgenommen haben. Bei den Workshops in Köln hat sich die Koordination zudem um die organisatorischen Details gekümmert, wie Organisation der Räume, der Infrastruktur, des Catering und des Rahmenprogramms. Beim folgenden Workshop am 15.-18. Mai 2011 in Amherst, der von den US-amerikanischen Kooperationspartnern ausgerichtet wurde, hat sich der Beitrag der Koordination dagegen auf die Programm-Gestaltung beschränkt.

(17) *Gastwissenschaftler*

Die Bohrkernbearbeitung und -auswertung in Deutschland wurde durch diverse Besuche von ausländischen Wissenschaftlern in Köln, Bremerhaven und Potsdam flankiert. Von besonderer Bedeutung waren dabei die insgesamt 16 Monate Gastwissenschaftler-Aufenthalte russischer Kollegen vom AARI (G. Fedorov, A. Makarov, N. Ostanin, E. Morozova) und vom NEISRI (O. Glushkova, P. Minyuk), die eine enge Einbindung der Kollegen in das Forschungsprojekt sehr gefördert haben. Weitere Aufenthalte russischer Gastwissenschaftler konnten über Anträge beim DAAD eingeworben werden. Darüber hinaus haben sich zahlreiche amerikanische Kollegen von der UMass (J. Brigham-Grette, T. Cook, K. Murdock, A. Holland) und von LacCore (A. Noren) an der Kernbearbeitung in Köln beteiligt. Die Koordination des Verbundprojektes hat die Bezahlung der russischen Gäste (Reisekosten und Gehalt) organisiert sowie die Gastwissenschaftler in Köln während ihrer Aufenthalte betreut.

2.1.2 Wissenschaft TP1 (Universität zu Köln)

Zielsetzung

Übergeordnetes wissenschaftliches Ziel des Teilprojektes 1 war es, aus der gesamten Sedimentsequenz im Elgygytgynsee (Abb. 1) erstmals lückenlose Informationen zur Klima- und Umweltgeschichte der terrestrischen Arktis seit dem Pliozän zu gewinnen. Von besonderem Interesse sind der Übergang vom Pliozän in das Pleistozän vor etwa 2,6 Mio Jahren, die Entwicklung der quartären Klimazyklen bis Heute und die Klimavariabilität innerhalb der quartären Kalt- und Warmzeiten.

Zur Erreichung der wissenschaftlichen Ziele sollten die im Rahmen des Projektes gewonnenen Bohrkern von den Seesedimenten an der Universität zu Köln geöffnet, dokumentiert, unterbeprobte und insbesondere sedimentologisch und geochemisch analysiert werden. Aus den gewonnenen Daten sollten komplexe und zeitlich hochauflösende Informationen beispielsweise zur Seeisgeschichte, zu hydrologischen Veränderungen und zu den Sedimentquellen und -bildungsprozessen in Abhängigkeit vom regionalen Klima, von der Landschaftsentwicklung und von der Permafrostgeschichte abgeleitet werden. Die rekonstruierte lokale und regionale Klima- und Umweltgeschichte sollte abschließend durch Vergleiche mit publizierten Erkenntnissen aus anderen Regionen in den überregionalen und globalen Kontext gestellt werden.

Arbeitsprogramm

Vorbereitung und Methodenentwicklung

In Vorbereitung der hochauflösenden geochemischen Messungen der Seesedimentkerne aus dem Elgygytgynsee musste in den Laboren des Instituts für Geologie und Mineralogie der Universität zu Köln zunächst die benötigte Infrastruktur geschaffen werden. Dazu wurde im September 2007 ein ITRAX XRF Kernscanner installiert, mit dem in einer maximalen Auflösung von 200 μm die chemische Elementzusammensetzung von Sedimentkernen bestimmt werden kann. Nach umfangreichen Testmessungen, die hauptsächlich von den Projektmitarbeitern Dr. Volker Wennrich und Armine Shahnazarian durchgeführt wurden, wurde der ca. 16 m lange Pilotkern Lz1024 (Abb. 2), der im Rahmen einer Vorexpedition 2003 zum Elgygytgynsee gewonnen worden war, hochauflösend mit dem XRF Kernscanner analysiert. Diese Daten dienten später der Vervollständigung des Kompositprofils der Tiefbohrung, deren Kernsequenz bohrbedingt erst in einer Sedimenttiefe von 5.66 mblf (meter below lake floor – Meter unter Seeboden) einsetzte. Der Pilotkern wurde dazu in der Maximalauflösung (200 μm) gescannt, um mit Hilfe der Daten ein Verständnis der kleinskaligen Elementverteilungen in den Sedimenten des Elgygytgynsees, z.B. in laminierten glazialen Bereichen, zu erlangen.

Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse halfen später entscheidend bei der Interpretation der Messergebnisse von den Kernen der Tiefbohrung. Die Daten wurden später mit konventionell gemessenen geochemischen Daten an Einzelproben (5-cm Auflösung) verglichen, die von Dr. P. Minyuk gemessen wurden, einem der leitenden Wissenschaftler des Projektes vom NEISRI in Magadan. Der Vergleich ermöglichte Rückschlüsse über die Reproduzierbarkeit der XRF-Scanner-Daten und über Nachweisgrenzen der einzelnen chemischen Elemente, und diente später der Ausarbeitung einer detaillierten Messstrategie für die Tiefbohrung.

Kernöffnung und Kernbearbeitung

Nach Ankunft der Seesedimentkerne aus den Bohrlöchern 1A, 1B und 1C (Abb. 2) in Köln im September 2009 wurde im Oktober 2009 mit ihrer Öffnung begonnen (Abb. 4). Die Kerne aus Loch 1A und Loch 1B erreichen Endteufen von 141 m (Kernsegment 1A-51E) bzw. 112 m (Kernsegment 1B-40E) unter Sedimentoberkante (mblf). Bei Loch 1C erfolgte die Kernöffnung bis zum Übergang zur Impaktbrekzie bei ca. 317 mblf (Kernsegment 1C-98A). Zusätzlich wurden diverse sogenannte Kernfängerproben, z.T. ungestörte Sedimente vom Ende des Kernrohres, geöffnet. Die Kernöffnung und konnte am 10.01.2011 zum Abschluss gebracht werden.

Nach der Kernöffnung wurden die Sedimente beschrieben, auf der in Köln aufgebauten Fotomessbank des AWI Bremerhaven hochaufgelöst fotografisch dokumentiert und die einzelnen Kernsegmente basierend auf der lithologischen Ansprache zu einem Kompositprofil kombiniert. Während der Kernbeschreibung wurden zudem Ablagerungen von Massenbewegungen wie Rutschungen, Gleitungen oder Trübestrome dokumentiert, um zum einen

deren Genese besser zu verstehen, zum anderen diese „Ereignis-Lagen“ für die anschließende Erstellung eines Alters-Tiefen-Modells aus der Seesedimentabfolge herausrechnen zu können.

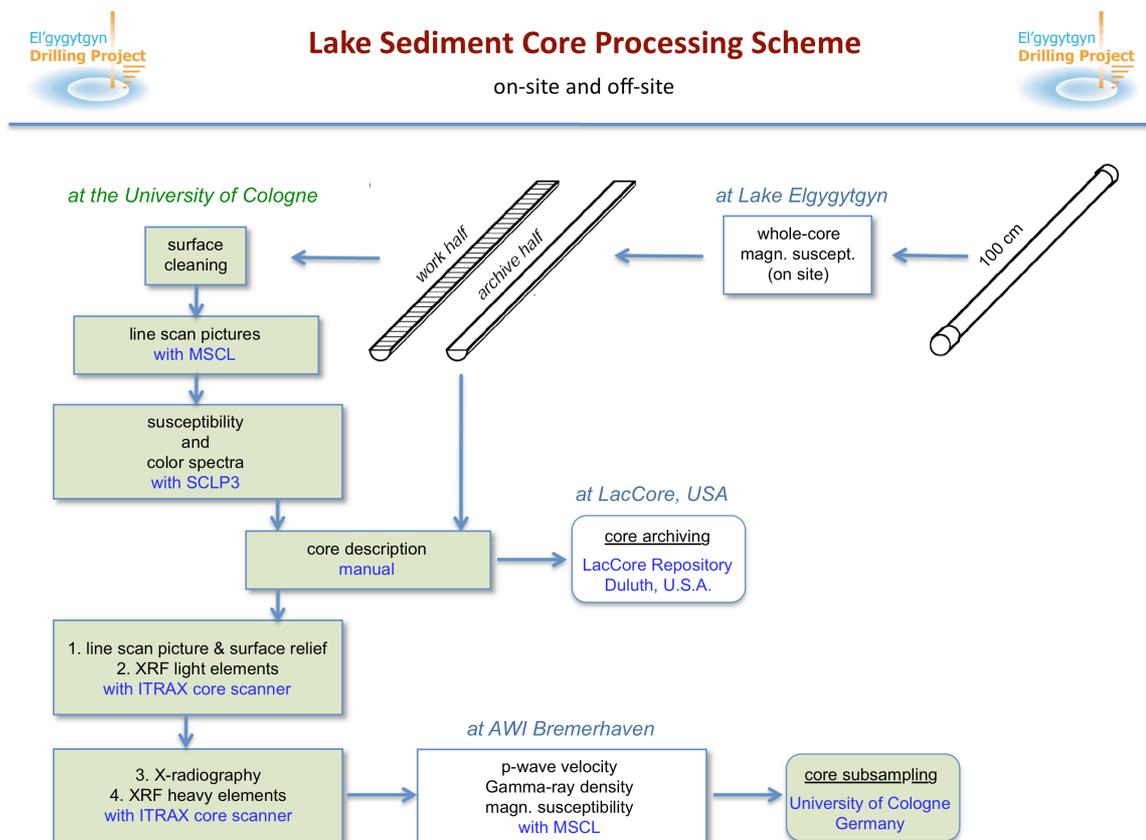


Abb. 4: Schema der Öffnung und Bearbeitung der Seesediment-Bohrkerne (grüne Kästen = Arbeitsschritte an der Universität zu Köln).

Die Daten der initialen Kernbeschreibung sowie die hochaufgelösten Kernfotos stehen der wissenschaftlichen Community sowohl über einen passwortgeschützten Bereich auf der Internetseite des ICDP als auch über die Internetseite „<http://coreref.org/>“ zur Verfügung. Nach Abschluss der Kernöffnung wurde die Fotomessbank des AWI Bremerhaven Ende Februar 2011 wieder abgebaut.

Parallel zur Kernöffnung wurden darüber hinaus die magnetische Suszeptibilität und die Farbspektren der Sedimente räumlich hochaufgelöst an den Kernhälften von insgesamt 423 Kernsegmenten gemessen. Dies geschah mit der Kernmessbank des GFZ Potsdam, die vom TP 4 entwickelt und an der Universität zu Köln aufgebaut wurde.

Elementanalyse

Nach der initialen Kernbeschreibung erfolgten an den Kernhälften hochaufgelöste (2 mm) Messungen der Elementkonzentrationen mittels XRF-Scanner (Abb. 4). Um ein möglichst großes Elementspektrum mit der optimalen Nachweisgrenze zu erfassen, wurden alle Kernsegmente mit zwei verschiedenen Röntgenröhren gemessen. Aufgrund des notwen-

digen Röhrenwechsels, der im 3-Wochenrhythmus durchgeführt wurde, konnten die XRF-Scannermessungen erst etwas zeitversetzt mit der Kernöffnung im Januar 2012 zum Abschluss gebracht werden.

Zusätzlich wurden an ca. 320 ausgewählten Proben aus dem obersten Kernabschnitt bis ca. 20 mblf XRF-Scannermessungen an getrockneten und gemahlten Pulverproben durchgeführt. Die Analysen erfolgten ebenfalls mit beiden Röntgenröhren und unter identischen Einstellungen wie bei den Halbkernmessungen. Die Ergebnisse lieferten wichtige Aussagen zu Matrixeffekten durch organische Sedimentanteile, Wassergehalt oder biogenes Opal, welche die Scannermessungen beeinflussen. Aufgrund des Vergleiches der Halbkerndaten mit den Pulverdaten konnten später für einzelne Elemente Korrekturfunktionen errechnet werden, mit denen die Matrixeffekte korrigiert werden können. Erste Ergebnisse der XRF-Scannermessungen konnten zudem während zweier Aufenthalte von Pavel Minyuk (NEISRI Magadan) in Köln mit Daten klassischer Röntgenfluoreszenz-Messungen verglichen werden, die von den russischen Kollegen erhoben wurden. Aufgrund eines solchen Vergleichs an einem größeren Datensatz soll später eine Kalibration der korrigierten XRF-Scannerdaten (in Zählraten) gegen absolute Elementkonzentrationen durchgeführt werden.

Kernbeprobung - reguläre Proben

Für diverse Analysen an Einzelproben (Abb. 5) sollten die ´pelagischen´ Sedimente am Grund des Elgygytgynsees lückenlos beprobt werden. Diese reguläre Probennahme erfolgte in 2 cm mächtigen Horizonten an dem Kompositprofil, das aus den verfügbaren Sedimentkernen nach der beschriebenen initialen Kernbearbeitung (s.o.) vorlag. Die im Kompositprofil enthaltenen Ablagerungen aus Massenbewegungen wurden von der regulären Probennahme ausgeklammert.

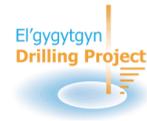
Die Entnahme der regulären Proben konnte im Projektzeitraum (bis Okt. 2011) weitestgehend abgeschlossen werden. Bis dato (Stand 21.06.2012) wurden ca. 6700 Horizonte bis in eine Komposittiefe von ca. 300 mblf genommen. Die Beprobung der verbleibenden 19 Kernsegmente bis zur Basis der limnischen Sedimente soll bis Ende Juli 2012 zum Abschluss gebracht werden. Dann werden insgesamt ca. 7300 Probenscheiben genommen sein.

Die Probenscheiben werden nach der Entnahme in insgesamt 9 Probenaliquote unterschiedlicher Größe aufgeteilt (Abb. 5), so dass am Ende ca. 66.000 reguläre Einzelproben von den Seesedimenten vorliegen werden. Diese Einzelproben werden je nach Verwendungszweck an der Universität zu Köln teilweise gefriergetrocknet und analysefein gemahlen, ehe sie für die vorgesehenen Analysen an die verschiedenen Kooperationspartner in Russland (NEISRI, Magadan), in den USA (Universität Massachusetts, Universität Bowling Green) und in Schweden (Universität Umeå) versendet werden. Das Versenden der Einzelproben erfolgt im Abstand von wenigen Wochen, so dass die internationalen Kooperationspartner mit nur geringem zeitlichen Versatz gegenüber den deutschen Partnern ihre Analysen durchführen können.



Lake Sediment Analyses and Sampling Scheme

Regular subsamples with amount of material and responsible institutions



U-channel

- ① 1. paleomagnetics
2. thin sections and archive
2 x 2 cm (ca. 15 g / 2 cm)
GFZ, UMass, Cologne, NEISRI et al.

Freeze-drying & grinding

- ② $\delta^{13}\text{C}$, opal, rock magnetics, bulk mineral.
1.5 g
UMass, LacCore et al.
- ③ TOC, TC, TN, TS, FTIRS bulk mineralogy
1.5 g
Cologne, Umea, et al.
- ④ Inorganic geochemistry
8 g
NEISRI et al.

Freeze-drying only

- ⑤ diatoms
0.5 g
Bowling Green, RAS-FEB et al.
- ⑥ diatom isotopes
ca. 2,0 g (tube of 1 cm \varnothing)
standby
- ⑦ pollen
ca. 2,0 g (tube of 1 cm \varnothing)
NEISRI, Cologne, et al.
- ⑧ H_2O /porosity, density, ^{10}Be
ca. 2,0 g (tube of 1 cm \varnothing)
Cologne, ^{10}Be standby, et al.

Clastic sedimentology

- ⑨ pretreatment of samples:
 - H_2O_2 (organic carbon)
 - NaOH (opal)
 - Acid (vivianite)
 analyses of remaining fractions:
 - gravel/sand/silt/clay
 - laser particle analysis
 - clay mineralogy
 - heavy minerals
 - sand grain surfaces (SEM)
 10-20 g (rest after samples 1 - 8)
Cologne, UMass, NEISRI et al.,
(final distribution to be decided after core opening)

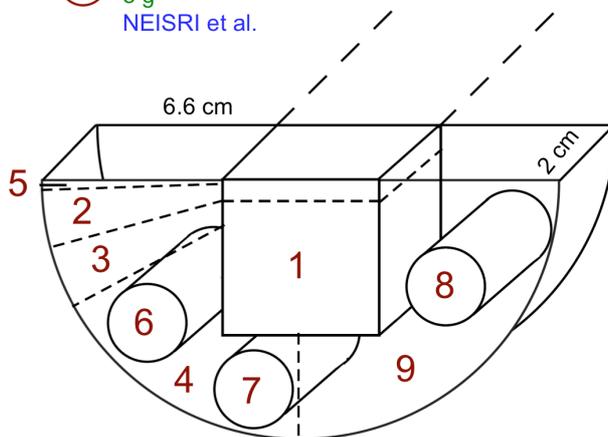


Abb. 5: Schema der Aufteilung der kontinuierlich aus den pelagischen Sedimenten entnommenen 2 cm mächtigen Probenscheiben in neun Aliquote, mit den entsprechenden Probenmengen und verantwortlichen Instituten.

Kernbeprobung - irreguläre Proben

Neben den regulären Proben (Abb. 5) wurden für verschiedene Spezialuntersuchungen irreguläre Einzelproben aus dem Kompositprofil entnommen. Dabei erfolgte die Probenahme i.d.R. aus den Kernfängern oder den Archivhälften.

- Insgesamt 122 Kernfängerproben, die während der Tiefbohrung genommen und in Plastikrohren orientiert archiviert wurden, wurden für eine initiale Messung der magnetischen Polarität beprobt. Die Proben wurden anschließend am GFZ Potsdam analysiert (TP4); die Ergebnisse dienten als Basis für die Entwicklung eines ersten Altersmodells für die Seesedimentabfolge. Dieses Altersmodell konnte später durch paläomagnetische Messungen an insgesamt 230 U-Kanälen aus den Löchern 1A und 1B sowie dem oberen Teil von 1C, die im Labor in Köln vor der Beprobung aus den Arbeitshälften der Kerne entnommen wurden, deutlich verfeinert werden. Zusätzlich

wurden von Dr. Eeva Haltia-Hovi (GFZ-Potsdam) vom 28.02. - 03.03.2011 orientierte Einzelproben aus den stärker verdichteten Bereichen zur Basis der Sequenz hin genommen, um die päläomagnetischen Messungen zu vervollständigen.

- Der MSc-Student Jeremy Wie (Universität Massachusetts) hat für Untersuchungen der Tonmineralogie und der organischen Geochemie exemplarische Kernbereiche außerhalb des Kernkomposits beprobt. Ziel der Analysen ist es, Aufschlüsse über die Genese der deutlichen Farbwechsel in den Sedimenten des Elgygytgynsees zu erhalten.
- Während eines Aufenthalts von Dr. Tim Cook (Universität Massachusetts) vom 06.07. - 13.08.2010 wurden Proben für Sedimentdünnschliffe von verschiedenen Sedimenttypen genommen und an der Universität zu Köln mit Epoxydharz imprägniert. Aus den Sedimentblöcken wurden später in den USA Dünnschliffe für eine anschließende mikroskopische Untersuchung präpariert. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die Analyse der Mikrostrukturen der Ablagerungen, aus denen die Sedimentationsbedingungen abgeleitet werden sollen, die über die Zeit zur Herausbildung verschiedener Sedimentfazies im Elgygytgynsee geführt haben.
- Aus ausgewählten Tiefenbereichen außerhalb des Kompositprofils wurden für die Universität Massachusetts ca. 40 großvolumigen Proben genommen, an denen Biomarkeruntersuchungen durchgeführt werden.
- Bei insgesamt drei Aufenthalten von Kollegen des AWI-Potsdam bzw. GFZ-Potsdam (Arbeitsgruppe D. Wagner) wurden insgesamt 135 Proben für die Analyse mikrobieller DNA genommen.
- Aus den obersten 30 Kernmetern wurden zudem Proben für Datierungen mittels IRSL bzw. IR-RF genommen. Die Probennahme erfolgte bereits vor der Öffnung der Kerne, um die Kontamination durch Licht auszuschließen. Dazu wurden von den Ganzkernen jeweils 10 cm lange Stücke abgeschnitten und lichtdicht verpackt. Die Auswahl der Proben erfolgte auf der Grundlage der magnetischen Suszeptibilität, die durch das TP 2 bereits am Elgygytgynsee an den Ganzkernen gemessen wurde. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass es sich um Kernbereiche handelt, die sowohl in Loch 1A als auch Loch 1B vollständig vorhanden und nicht durch Rutschungen gestört sind.

Nach Abschluss der regulären Beprobung des Kompositprofils, voraussichtlich Ende Juli 2012, werden die danach noch vorhandenen Archivkerne an LacCore in den USA überführt, wo sie langfristig für Folgearbeiten archiviert werden. Ab diesem Zeitpunkt müssen Nachbeprobungen durch Mitglieder der *Elgygytgyn Science Party* oder externe Wissenschaftler selbst bei LacCore oder durch LacCore-Mitarbeiter erfolgen.

Geochemische und sedimentologische Analysen an Einzelproben

An dem gemahlten und homogenisierten Probenaliquot für Geochemie und Gesamtmineralogie (Probe 3 in Abb. 5) wurden am Institut für Geologie und Mineralogie der Universität

zu Köln geochemische Untersuchungen durchgeführt, die u.a. Aussagen zur Bioproduktivität des Elgygytgynsee in der Vergangenheit, aber auch zur Herkunft und Erhaltung der Organik erlauben. Bis dato liegen von ca. 5700 Proben aus den obersten ca. 220 m des Kompositprofils die Konzentration von Gesamtkohlenstoff (TC), -schwefel (TS) und -stickstoff (TN) sowie vom gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) vor. Die Ergebnisse dienen neben der Paläoumweltrekonstruktion durch die Universität zu Köln auch den Kooperationspartnern bei der Festlegung ihrer Beprobungsstrategie, beispielsweise für Biomarkeranalysen an der Universität Massachusetts.

Messung der Korngrößenverteilung

Um Variationen in der Korngrößenverteilung der Sedimente des Elgygytgynsees zu rekonstruieren, wurden an insgesamt 1108 Proben des Kernkomposits 5011-1 Korngrößenmessungen durchgeführt und oberhalb des Kerns durch 171 Messungen an dem Pilotkern Lz1024 ergänzt. Dabei ergibt sich ein mittlerer Probenabstand von 8 cm.

Für die Korngrößenmessungen wurden die gefriergetrockneten Proben zunächst einem aufwendigen Präparationsprozess unterzogen, in dem in verschiedenen Vorbehandlungsschritten biologische Komponenten (Diatomeenschalen, Organik) sowie postsedimentäre gebildete Minerale (Vivianit) entfernt wurden. Diese Vorbehandlungsprozedur wurde im Rahmen einer Diplomarbeit zuvor speziell für die Bedingungen der Elgygytgynseesedimente entwickelt und ihre Anwendbarkeit anhand von Proben des Kerns Lz1024 demonstriert. Im weiteren Verlauf wurden die Proben mit einem Suspensionsmittel versetzt und mittels Laserpartikel-Analysator gemessen.

Um die Variationen der Korngrößenparameter über die Geschichte die Elgygytgynsees besser interpretieren zu können, wurden zudem Korngrößenuntersuchungen an insgesamt 55 Oberflächenproben des Sees durchgeführt. Diese Messungen wurden später mit Analysen der Gesamtmineralogie und der Elementzusammensetzung verglichen (Wennrich et al. 2012), um die rezenten Sedimentationsprozesse im Elgygytgynsee besser zu verstehen.

Weiterentwicklung Anbindung Corelyzer-DIS-Psicat

Wissenschaftliche Tiefbohrprojekte, an Land (ICDP) wie im marinen Bereich (IODP), nutzen i.d.R. spezielle Computerprogramme für die Darstellung, Bearbeitung und Archivierung der umfangreichen Daten. Dazu zählen Programme wie *Corelyzer* für die Kerndarstellung, *Psicat* für die grafische Eingabe von Kernbeschreibungen und *DIS*, das Dateninformationssystem vom ICDP. Das Elgygytgyn-Projekt wurde als eines von zwei Beispielprojekten ausgewählt, mit denen „bei laufendem Betrieb“ die Anbindung zwischen den Programmen für zukünftige Tiefbohrprojekte verbessert werden sollte. Dazu trafen sich Volker Wennrich (TP1), Ronald Conze (Datenadministrator ICDP), Josh Reed (Entwickler von Psicat), Frank Krysiak (Fa. Smartcube, Entwickler des DIS) und Anders Noren (LacCore Kernlager) vom 16. - 20. November 2009 in Köln. Bei dem Treffen wurden Schnittstellen der Programme sowie des DIS für den bidirektionalen Datenaustausch untereinander entwickelt, und die Programme z.T. an die speziellen Gegebenheiten des Elgygytgyn-Projektes angepasst.

Die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit wurden in einem nicht begutachteten Artikel der Zeitschrift „Scientific Drilling“ zusammengefasst (Conze et al. 2010, siehe Anlage 1).

Zusammenfassung der Ergebnisse

Elementverteilung

Die Ergebnisse der XRF-Scannermessungen zeigen sehr markante Wechsel in der Elementzusammensetzungen der Sedimente des Elgygytgynsees für die letzten 3,6 Mio Jahre. Besonders Parameter für den klastischen Eintrag (z.B. Titan - Ti, Kalium - K, Rubidium-Rb) und für die Primärproduktion im See (Silizium/Titan-Verhältnis - Si/Ti) variieren im Wechsel von Glazial- und Interglazialphasen deutlich. Dabei kommt der Korrelation des Si/Ti-Verhältnisses, das den Anteil an Kieselalgenschalen im Sediment des Elgygytgynsee widerspiegelt, zur Globalen Marinen Sauerstoffisotopenkurve von Lisiecki & Raymo (2005) eine besondere Bedeutung zu, da eine deutliche Ähnlichkeit beider Kurven zu verzeichnen ist (Melles et al. 2012). Daher stellen die Elementkonzentrationen und -verhältnisse, neben anderen Parametern, die Basis für die Erarbeitung der Chronologie der Sedimente des Elgygytgynsees dar, die in sehr enger Zusammenarbeit mit den Kollegen des GFZ-Potsdam (TP4) erstellt wurde.

Darüber hinaus zeigen einige redoxsensitive Elemente (Mangan - Mn, Eisen - Fe) und deren Elementverhältnisse deutliche Schwankungen in den Redoxbedingungen am Seeboden bzw. im Sediment an (Melles et al. 2012). Aus dem Vergleich mit der magnetischen Suszeptibilität (MS) wird ersichtlich, dass diese Variationen offensichtlich durch Unterschiede in der Eisbedeckung des Sees in der Vergangenheit verursacht wurden. Besser noch als die hochfrequent fluktuierenden MS-Werte deuten die Mn/Fe-Verhältnisse auf eine markante Umstellung in den Redoxbedingungen am Übergang Pliozän/Pleistozän hin, die allerdings nicht abrupt erfolgte, sondern eher einen graduellen Wechsel zwischen zwei Modi darstellt. Auffällig ist, dass dieser Wechsel nicht direkt an der Pliozän/Pleistozän-Grenze vor 2.6 Ma passiert, sondern erst deutlich verzögert bei ca. 2.0 Ma einsetzte und bis ca. 1.8-1.7 Ma anhielt. Die Ursachen dieser veränderten Redoxbedingungen sind bisher noch unklar, stehen aber möglicherweise mit Veränderungen der Hydrologie des Sees als Folge einer geänderten ozeanischen Zirkulation im Nordpazifik im Zusammenhang, die für diesen Zeitraum postuliert wird.

Die methodischen Arbeiten mit dem XRF-Scanner erbrachten fundamentale Erkenntnisse zu Matrixeffekten während der Messung der wassergesättigten Sedimentkerne. Überraschenderweise ergab sich dabei eine Beeinflussung der Werte, die über die bisher bekannten Effekte des Wassergehalts und des Anteil des organischen Materials hinausgeht (Supplementary Online Material, SOM, zu Melles et al. 2012). Gerade in Sedimenten mit sehr hohem Anteil an biogenem Opal scheint die Abschwächung der Fluoreszenzstrahlung bei gleichem Wassergehalt noch verstärkt zu werden, und führt zu einer Unterrepräsentation einzelner Elemente bei der Messung. Dadurch ergibt sich zwingend die Notwendigkeit, die Werte solcher Elemente nachträglich um die Matrixeffekt zu korrigieren,

um möglichst originale Werte zu erhalten. Diese Erkenntnisse sind für die wachsende Gruppe an weltweiten XRF-Scanner-Nutzern wichtig, die sich i.d.R. schwerpunktmäßig mit See- oder Meeressedimenten beschäftigt.

Biogeochemische Parameter

Die Messungen der Gehalte an Gesamtkohlenstoff (TC), -schwefel (TS) und -stickstoff (TN) sowie an organischem (TOC) und anorganischem (TIC) Kohlenstoff erbrachten zahlreiche neue Erkenntnisse zu den seeinternen Prozessen (Primärproduktion, Abbau von Organik), die wiederum durch lokale, regionale und überregionale Prozesse gesteuert werden. So fällt auf, dass gerade die TOC-Werte in ihrem Verlauf über das Quartär sehr große Ähnlichkeiten zur magnetischen Suszeptibilität zeigen, wobei hohe TOC-Gehalte mit niedrigen MS-Werten und umgekehrt korrelieren. Dies ist auf den verminderten Organikabbau während anoxischer Phasen am Seeboden zurückzuführen. Aufgrund dieses Zusammenhangs wurde auch TOC als weiterer Parameter für die Erstellung des Altersmodells verwendet (Melles et al. 2012, Nowaczyk et al. in Vorb.), wobei die Werte gegen die lokale Sommerinsolation korreliert wurden. Im Verlauf des Pliozäns ändert sich das Muster im TOC hingegen; dort zeigt TOC sehr große Ähnlichkeiten zum Globalen Isotopenstack. Dies deutet möglicherweise auf das Fehlen einer mehrjährigen Eisbedeckung des Elgygytgynsees und damit permanent oxische Bedingungen am Seeboden hin. Zusätzlich stellen die TOC-Daten eine Grundlage für Kohlenstoffisotopenmessungen an der organischen Substanz dar, die derzeit an der Universität von Massachusetts in den USA gemessen werden.

Überraschend war das Auftreten von vereinzelt TIC-Peaks, die auf das Vorkommen von Karbonaten im Sediment des Elgygytgynsees hindeuten. Dabei handelt es sich vermutlich um das Mineral Siderit, ein Eisenkarbonat, das unter reduzierenden Bedingungen bei Anwesenheit von Karbonat-Ionen gebildet wird. Die speziellen Bedingungen, die zur Ausfällung gerade dieses Minerals führten, sind noch Gegenstand der aktuellen Forschung.

Korngrößenverteilungen

Die Korngrößenmessungen an dem Kernmaterial offenbaren markante Schwankungen in der Korngrößenverteilung im Zentrum des Elgygytgynsees, die sehr gut die Glazial/Interglazialwechsel während der letzten 3.1 Mio. Jahre widerspiegeln. Dabei zeigen Glazialphasen generell eine feinere Korngrößenzusammensetzung, vermutlich als Folge einer längeren bzw. permanenten Eisbedeckung, die den strömungsinduzierten Transport von größerem Material ins Beckenzentrum behindert. Wie für die Rezentbedingungen belegt (Wennrich et al. 2012), ist in den Interglazialen dagegen in der Sommermonaten ein zweizelliges Strömungssystem aktiv, das gröberes Material von den Schelfen in das Seezentrum transportiert, und somit eine gröbere Korngrößenverteilung bewirkt.

Erstaunlich ist, dass die Korngröße selbst graduelle Unterschiede innerhalb der einzelnen Glaziale/Interglaziale anzeigt, was die Sensitivität des Strömungssystems selbst gegenüber geringfügigen Klimaschwankungen andeutet. Da sich dabei eine sehr große Ähnlichkeit der

mittleren Korngröße zum Globalen Isotopenstack zeigt wurden die Korngrößendaten für die Entwicklung des Altersmodells mit herangezogen (Nowaczyk et al. in Vorb.).

Publikationen und Manuskripte

Die im Rahmen des Tiefbohrprojektes und der Vorstudie zu diesem Projekt gewonnenen wissenschaftlichen Ergebnisse wurden unter Beteiligung von Mitarbeitern des TP1 auf zahlreichen Tagungen und Arbeitstreffen präsentiert (Anlage 9) und umfassend publiziert (Anlagen 1 - 8). Außerdem sind sie teilweise in Qualifizierungsarbeiten an der Universität zu Köln eingeflossen (Anlage 1). Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf eine Übersicht der Veröffentlichungen in begutachteten Fachzeitschriften.

Die Publikationen konzentrierten sich zu Beginn der Projektlaufzeit auf die bis zu 16 m langen Pilotkerne, die teilweise die Lücke zwischen der Sedimentoberfläche und dem Top der Tiefbohrkerne schließen. Dabei wurden vom TP1 federführend sedimentologische, geochemische und z.T. chronostratigraphische Untersuchungen der Sedimentkerne und der Oberflächensedimente durchgeführt (Juschus et al. 2007, 2009, 2011, Melles et al. 2007, Vogel et al. 2008, Wennrich et al. 2012). Außerdem ist das TP1 an zahlreichen Publikationen der Projektpartner beteiligt. Die Publikationen behandeln die seismische Erkundung der Sedimentfüllung im Elgygytgyn-Krater (Niessen et al. 2007) sowie die genetische Interpretation der Permafrostsedimente (Schwamborn et al. akzept.) und die Wasser- und Sedimentbilanz im See (Fedorov et al. in Vorb.), fokussieren aber deutlich auf die multidisziplinäre Bearbeitung der Pilotkerne (Brigham-Grette et al. 2007, Forman et al. 2007, Lozhkin et al. 2007, Minyuk et al. 2007, 2009, Nowaczyk et al. 2007, Rosén et al. 2010, 2011, Swann et al. 2010).

Die ersten Publikationen zu Ergebnissen der Tiefbohrkerne sind unter Federführung des TP1 erschienen. Sie liefern einen Überblick über das gesamte Bohrprojekt mit ausgewählten initialen Ergebnissen (Melles et al. 2011), über die Ergebnisse von den pollenkundlichen Arbeiten am Permafrostkern 5011-3 (Andreev et al. 2012) und eine erste umfassende und weitreichende Interpretation der Klima- und Umweltgeschichte seit 3,6 Ma aus dem Seesedimentkern 5011-1 (Melles et al. 2012). Daneben sind die meisten der bisher vorliegenden Ergebnisse vom Permafrostkern 5011-3 unter Federführung des TP3 in einer Publikation zusammengefasst worden (Schwamborn et al. 2012).

Neben diesen erschienenen Publikationen zu den Seesediment- und Permafrost-Kernen ist inzwischen eine erste Publikation zu den Impakt-Gesteinen eingereicht (Koeberl et al. einger.). Von anderen Publikationen liegen Manuskripte für ein Sonderheft der Zeitschrift *Climate of the Past* vor (Andreev et al. in Vorb., Gebhardt et al. in Vorb., Kukkonen et al. in Vorb., Nowaczyk et al. in Vorb.). Diese Manuskripte können jedoch erst eingereicht werden, wenn eine Publikation zum unteren Teil des Seesedimentkerns von der amerikanischen Kooperationspartnerin J. Brigham-Grette bei der Zeitschrift *Science* eingereicht und entschieden ist (voraussichtlich im Juli/Aug. 2012), weil sie Daten für diese Publikation beinhalten.

2.1.2 Wissenschaft TP2 (AWI Bremerhaven)

Zielsetzung

Die Aufgabe des Teilprojektes war es, mit Hilfe von sedimentphysikalischen Parametern Veränderungen in den Kernen der Tiefbohrungen im Elgygytgynsee (Abb. 1 und 2) zu bestimmen, um die Ablagerungen petrophysikalisch zu charakterisieren und Kerne untereinander sowie mit den vorliegenden seismischen Profilen zu korrelieren. Mit Hilfe einer modifizierten Kernmessbank sollten wichtige Basisdaten quantifiziert werden, die eine Grundvoraussetzung darstellen, um eine lückenlose Abfolge zu bohren, zu einer einheitlichen Stratigraphie zu gelangen und die Bohrkerndaten mit in-situ-Bedingungen im Bohrloch zu korrelieren bzw. zu vergleichen. Zudem sollte erreicht werden, dass die über die Basisdaten hinausgehenden Informationen der P-Wellen-Transmissions-Seismogramme messdaten-technisch erfassbar sind und numerisch ausgewertet werden können. Sie sollen als Proxi für die Veränderung von Korngrößen im Sediment dienen. Ferner sollten die Daten aus diesem Teilprojekt einen wichtigen Bestandteil der Paläoumwelt-Interpretation der letzten 3,6 Millionen Jahre durch Datenverknüpfung (Multi-Proxy-Interpretation) des Gesamtvorhabens liefern.

Im Verlauf des Projektes wurde das hier beschriebene Teilprojekt um eine weitere Komponente zur Archivierung von russischen Daten aufgestockt, um eine Korrelation der Projektergebnisse mit externen Datensätzen aus allen paläoklimatischen Archiven zu ermöglichen. Die technischen Möglichkeiten der PANGAEA Datenbibliothek sollten eine Verschneidung ausgewählter Daten aus unterschiedlichen Gebieten und Archiven ermöglichen. Aufgabe der Archivierung war die Identifizierung entsprechender Daten die auch den Zeitraum des Elgygytgyn-Kernes abdecken und bisher nicht digital verfügbar sind. Schwerpunkt sollte auf schwer zugängliche Daten aus russischen Archiven gelegt werden. Die Archivierung der digitalisierten Paläoklimadatenätze hatte in einer nachhaltigen Form zu erfolgen, so dass diese auch über die Laufzeit des Projektes hinaus der Allgemeinheit zur Verfügung stehen.

Arbeitsprogramm

Das Vorhaben wurde in drei Phasen geplant und auch entsprechend durchgeführt: (1) Vor, (2) während und (3) nach der Bohrung. Entgegen der Planung des gesamten Projektes gab es aber zahlreiche Veränderungen, die überwiegend logistisch bedingt waren und nicht in der Verantwortlichkeit dieses Teilprojektes standen. Dieses führte zu einer wiederholten Anpassung im Ablauf des Teilprojektes an veränderte Rahmenbedingungen, was hauptsächlich zu Verzögerungen gegenüber der Planung führte. Diese Anpassungen wurden in den jeweiligen Zwischenberichten detailliert beschrieben und sind unten bei der Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen sowie im Kontrollbericht näher erläutert. Die wichtigsten Veränderungen im Ablauf gegenüber der Planung waren:

- Verzögerung der Bohrung um ein Jahr.
- Mehraufwand durch Logistik für Labor- und Transport-Container.
- Zeitliche Trennung von See- und Permafrostbohrung.

- Reduzierung der Anzahl Seebohrungen von zwei auf eine.
- Notwendigkeit zur zweifachen Messung aller Bohrkernkerne während und nach der Bohrung in Bremerhaven.
- Übernahme der Datenbearbeitung aus der Bohrlochgeophysik.

Die Hauptpunkte des Arbeitsprogramms sind:

- Anpassungen der Kernbank an die Anforderungen des Projektes vor der Bohrung (Verlängerung, variable Sensoranordnung, Tests für Messbetrieb bei niedrigen Temperaturen, Erweiterung zur Erfassung von P-Wellen-Transmissions-Seismogrammen).
- Anschaffung, Vorbereitung und Einrichtung eines Labor-Containers an der Bohrstelle, der nicht vom Projekt zur Verfügung gestellt werden konnte, sowie Anschaffung eines Transport-Containers, Stauung sämtlicher Liner für die Bohrung.
- Erweitern und Anpassen der Software zur Auswertung der P-Wellen-Transmissions-Seismogramme.
- Während der Bohrung Messung, Prozessierung und erste Auswertung der magnetischen Suszeptibilität an allen Bohrkernen (mit Ausnahme des untersten Teils der erbohrten Brekzie), Beteiligung an der Bohrloch-Geophysik, Archivierung der Kerne.
- Nach der Bohrung Aufbau einer Foto/Video-Messbank im Labor des Geologischen Instituts der Universität Köln zur hochauflösenden Dokumentation der dort geschnittenen Kernhälften.
- Transporte aller Kernhälften in 14-tägigen Intervallen von Köln nach Bremerhaven und zurück.
- Nach der Bohrung Messung der Dichte und P-Wellengeschwindigkeit und Aufzeichnung von Transmissions-Seismogrammen (soweit das Sediment dies zuließ) an Kernhälften in Bremerhaven.
- Separate Erfassung der Kerngeometrie mit Hilfe der XRF-Scanner-Daten, Prozessieren der Basisparameter, Bereinigen der Daten, Konvertierung von Transmissions-Seismogrammen.
- Verspleissen von Datensätzen aus Kernsegmenten zur Erstellung von Kompositprofilen.
- Zusammenstellen der Daten und Ergebnisse für eine erste Übersichtspublikation (Melles et al. 2011, in „Scientific Drilling“) mit der Erstellung einer ersten Stratigraphie basierend auf der magnetischen Suszeptibilität der Bohrkernkerne aus dem See.
- Prozessieren der Daten der Bohrlochgeophysik.
- Retro-Digitalisierung von Archiv-Daten für den Bereich der Datenarchäologie anhand der in Russland erstellten Kopien im Pangaea-Datenzentrum.
- Konvertierung von digitalen Tabellen mit Archiv in das Pangaea-Format.
- Archivierung der Daten in Pangaea und Dokumentation mit allen zur Verfügung stehenden Metadaten.

Einige Ziele aus dem Antrag konnten bei Projektende aufgrund der Verzögerungen im Projektablauf wie unten erläutert noch nicht vollumfänglich erreicht werden. Da die maßgeblich am Projekt beteiligten Personen vom AWI weiter beschäftigt werden, wird das Erreichen der Ziele - wie unten beschrieben - mit Priorität voran getrieben.

Zusammenfassung der Ergebnisse

a) Arbeiten vor der Bohrung

Vor der Bohrung wurde wie geplant die Messbank für Messungen an überlangen Kernen (1.5 m) in horizontaler und vertikaler Anordnung der Sensoren angepasst sowie um das Modul zur Erfassung der p-Wellen-Transmissions-Seismogramme erweitert. Während der Bohrung wurde dann allerdings entschieden, die Kerne doch in 1-m-Stücke zu schneiden, weil sie damit besser transportabel waren. Eine Anpassung auf Messbetrieb bei niedrigen Temperaturen war nicht mehr notwendig, nachdem das Design des Messcontainers an das AWI Bremerhaven übertragen wurde und somit sichergestellt werden konnte, dass während des Messbetriebs am See kontrollierte Temperaturbedingungen herrschen würden.

Parallel zur Entwicklung der Hardware des Moduls zur Erfassung der p-Wellen-Transmissions-Seismogramme wurde auch die Software entwickelt, welche die Daten speichert und mit der die weiteren Bearbeitungsschritte (Zuordnen der Header mit den Teufeninformationen, Berechnen der statistischen Werte, Umwandeln in .seggy-Format) vorgenommen werden können.

Zusätzlich zu den im Antrag formulierten Zielen wurden im Vorfeld der Bohrung logistische Aufgaben übernommen. So wurden zwei Container bereitgestellt, mit denen Teile des am See benötigten Equipments (Teile der Messbank, Thermistorenkette des AWI Potsdam zur permanenten Installation im Bohrloch der Permafrostbohrung, Bohrlochgeophysik-Sonden und -Winde, Kern-Liner der Firma DOSECC) nach Sibirien transportiert werden konnten. Der eine Container wurde so präpariert, dass aus dem selbst eingebauten Regal zum sicheren Transport der Kern-Liner vor Ort die Innenausstattung des Laborcontainers gebaut werden konnte.

b) Arbeiten während der Bohrung

Am See wurde während der ersten Tage der Laborcontainer vollumfänglich durch den Techniker des TP2 ausgebaut (inkl. Stromversorgung). Während der eigentlichen Bohrung wurden die Kerne geloggt. Da die radioaktive Quelle nicht nach Russland importiert werden konnte, konnten keine Dichtedaten erhoben werden. Auch stellte sich beim Bohren heraus, dass die Kerne häufig einen geringeren Durchmesser als die Kern-Liner aufwiesen; dadurch konnten keine akustischen Messungen (p-Wellen-Geschwindigkeit, p-Wellen-Transmissionsseismogramme) erhoben werden, weil die Ankopplung ans Sediment deutlich zu schlecht war. Die erhobenen Daten der magnetischen Suszeptibilität wurden vor Ort prozessiert, zwischen den Bohrlöchern (v.a. 1A und 1B) korreliert und bildlich dargestellt, um ggf. direkt bohrbegleitende Entscheidungen zu ermöglichen. Durch eine Korrelation mit dem 2003 an der gleichen Stelle gebohrten Pilotkern Lz1024 konnte festgestellt

werden, dass den 2009 gebohrten Kernen oben ca. 3 m fehlen (bohrtechnisch bedingt durch das zur Stabilisierung der Bohrung ins Sediment getriebene Casing), die aber durch den existierenden Pilotkern gefüllt werden können.

Da es nicht möglich war, das Visum des PostDoc über 3 Monate hinaus zu verlängern, konnten vor Ort nur die Kerne geloggt werden, die in diesem Zeitraum gebohrt wurden. Dies beinhaltet alle in Linern gebohrte Kerne, auch den Übergang vom Seesediment zum Grundgestein und das Festgestein bis ca. 393 m unter Seeboden. Da die Permafrostbohrung zeitlich deutlich vor der Seebohrung stattfand und die Kerne nicht mehr vor Ort waren, konnten auch keine Messungen am Permafrostkern durchgeführt werden.

Zusätzlich zu den im Antrag formulierten Zielen hat der PostDoc mitgeholfen, während dreier Bohrpausen in Bohrloch 1C die Bohrlochmessungen durchzuführen. In Absprache mit den leitenden Wissenschaftlern des internationalen Projektes wurde dem PostDoc auch das Auswerten und Publizieren dieser Daten übertragen, auch da dies vor allem im Zusammenspiel mit den sedimentphysikalischen Parametern Sinn macht.

c) Arbeiten nach der Bohrung

Datenaufbereitung, Auswertung der Daten

MSCL-Daten: Da nicht alle physikalischen Parameter direkt am See gemessen werden konnten, mussten alle Kerne zuhause noch einmal gemessen werden, um die bei der Antragstellung formulierten Ziele zu erreichen. Um akustische Parameter überhaupt erfassen zu können, musste dies an den bereits geöffneten Halbkernen erfolgen. Da die Kerne in Köln geöffnet und beschrieben wurden, fand dazu zweiwöchentlich ein Kerntransport zwischen Bremerhaven und Köln statt. Diese zweite Messkampagne zog sich über die gesamte Öffnungsphase hin und konnte erst im Januar 2011 abgeschlossen werden. Gegenüber der ursprünglichen Planung bedeutet das eine Verzögerung von 8 Monaten. Berücksichtigt man zusätzlich die Verschiebung der Bohrung, ergeben sich 20 Monate.

Gleich zu Beginn der Wiederholungsmessung stellte sich außerdem heraus, dass die verwendeten Messbänke (sowohl die von ICDP geliehene als auch die des AWI) bei der Dickenmessung der Halbkerne an ihre Grenzen stoßen (Dicken von ca. 25 - 35 mm). Korrekte Dickenmessungen sind aber zur Berechnung der Dichten und der p-Wellengeschwindigkeiten essentiell. Daher wurden die Oberflächen-Scans des Kölner XRF-Scanners kalibriert und verwendet. Dies bedeutete einerseits, dass das Processing der MSCL-Daten nicht vor Beendigung der XRF-Messungen abgeschlossen werden konnte; andererseits bedeutete dies einen deutlichen Mehraufwand, da die Daten vollständig manuell und nicht mit der zur Messbank gehörigen Software prozessiert werden mussten. Mittlerweile liegt der Datensatz vollständig und in hoher Auflösung (2 mm) vor und bildet zusammen mit der magnetischen Suszeptibilität die Datenbasis für eine Publikation, die im Sommer in den Sonderband der Zeitschrift „Climate of the Past“ eingereicht werden soll (Gebhardt et al. in Vorb.). Nach Veröffentlichung dieser Publikation werden die Daten in das ICDP-Datenarchiv eingespielen und stehen dann allen Projektpartnern zur Verfügung.

Die bereits am See erfasste magnetische Suszeptibilität wurde während der Kernöffnungsphase dazu genutzt, die Kerne zuverlässig zu korrelieren und somit die jeweils passenden Runs der parallelen Bohrlöcher zu öffnen. Außerdem konnten anhand der Korrelation die Positionen für OSL-Datierungsproben bestimmt werden, die vor der Kernöffnung unter Ausschluss von Licht genommen werden müssen. Damit konnte ein wichtiges wissenschaftlich-technisches Ziel der Meilensteinplanung erreicht werden.

Mit der Anschaffung des Kölner ITRAX-XRF-Scanners wurde die geplante AWI-Investition in eine Geotek-Radiographie-Messbank hinfällig, da der ITRAX-Scanner standardmäßig hochauflösende Radiographien der gescannten Kerne mit aufzeichnet. Die Radiographien wurden daher in Köln erfasst, am AWI archiviert und stehen für die weitere Auswertung zur Verfügung. Aktuell werden sie einerseits von der Kölner Doktorandin (M. Kukkonen) für die Charakterisierung der Umlagerungshorizonte, andererseits von einem amerikanischen PostDoc (T. Cook) zur Beschreibung der verschiedenen lithologischen Faziestypen verwendet.

Bohrlochgeophysik: Die in drei Bohrpausen erhobenen Bohrlochdaten umfassen folgende Parameter: Temperatur, magnetische Suszeptibilität, elektrische Leitfähigkeit, Total- und Spektralgamma, Magnetfeld, Televiwer. Die bereits am See vom ICDP-OSG-Team vorprozessierten Daten wurden nachprozessiert und fließen in die Publikation von Gebhardt et al. (in Vorb.) mit ein. Die Daten sind im Datenbanksystem des ICDP archiviert.

Leider konnten die elektrische Leitfähigkeit und die magnetische Suszeptibilität der obersten 143 m nicht verwendet werden, da diese Daten durch die nahegelegene, steckengebliebene Metallverrohrung der Bohrlöcher 1A und 1B gestört sind. Die magnetische Suszeptibilität ist der einzige Parameter, der sowohl an den Kernen, als auch am Bohrloch gemessen wurde. Daher konnte dieser Parameter verwendet werden, um die Kernstücke innerhalb des Bohrlochs zu verorten, um die Bohrlochdaten mit den Kerndaten vergleichbar zu machen und das Altersmodell richtig auf die Proben übertragen zu können. Vor allem im mittleren Bereich vom Kern 1C (ca. 150 bis 270 m), in dem die Bohr-Recovery sehr schlecht ist, war dies allerdings nicht mit allen Kernstücken zuverlässig möglich.

Kalium und Thorium der Spektralgammawerte werden in vielen Bohrungen dazu verwendet, den Tongehalt der Sedimente/Gesteine zu berechnen. Dabei wird davon ausgegangen, dass Kalium und Thorium vor allem in der Tonfraktion zu finden sind. Für die am Elgygytgynsee gemessenen Daten wurde diese Berechnung durchgeführt und der Tongehalt aus den bohrlochgeophysikalischen Parametern berechnet. Im Vergleich mit diskret gemessenen Korngrößen (Uni Köln, TP 1) konnte allerdings keine Korrelation mit der Tonfraktion festgestellt werden; der mit der Bohrlochgeophysik ermittelte Tongehalt korreliert auch mit keiner anderen Korngrößenfraktion. Dies spricht dafür, dass diese einfache Näherung am Elgygytgynsee nicht gilt bzw. dass Kalium und Thorium auch in anderen Fraktionen vorkommen. Dies mag vor allem daran liegen, dass die Verwitterungsabfolge zwischen Liefer- und Sedimentationsgebiet im Falle des Elgygytgynsees nicht vollständig ablaufen kann, da

das Liefergebiet nur sehr klein ist (Durchmesser Liefergebiet = Krater = 18 km) und das Ablagerungsgebiet komplett einschließt (Durchmesser Ablagerungsgebiet = See = 12 km).

Kernfotos: Die während der Beprobungsphase in Köln gemessenen Kernfotos wurden im Datenbanksystem des AWI Bremerhaven archiviert und stehen den Projektpartnern für ihre Arbeiten zur Verfügung.

p-Wellen-Transmissions-Seismogramme: Die p-Wellen-Transmissions-Seismogramme wurden entlang der Seesedimentkerne in 2-mm-Auflösung erfasst. Die Tiefenzuordnung (Tiefe im einzelnen Run - Teufe im Bohrloch - ggfs. Tiefe im Kompositprofil) wurde für sämtliche Seismogramme berechnet und steht als Header-Information zur Verfügung. Die Daten wurden im Datenbanksystem des AWI Bremerhaven archiviert.

Publikationen und Manuskripte

Scientific Drilling: Für die erste Publikation nach der Bohrung in der Zeitschrift *Scientific Drilling* (Melles et al. 2011) wurden die Abbildungen 2 und 4, zur Seismik sowie der Querschnitt durch den See mit der Bohr-Recovery erstellt. Außerdem wurden für die Abbildung 5 der Publikation die magn. Suszeptibilitäts-Daten der Bohrlöcher 1A, 1B und 1C zum Vergleich mit dem auf der magn. Polarität basierenden ersten Altersmodell zur Verfügung gestellt. Die Kompilierung verschiedener Datensätze zur zentralen Abbildung 6 (Si/Ti-Verhältnisse sowie magn. Suszeptibilität im Vergleich zwischen dem Pilotkern Lz1024 und den Bohrkernen 1A, 1B) wurde ebenfalls in Zusammenarbeit mit dem Kölner PostDoc (V. Wennrich) übernommen.

Climate of the Past: In die geplante Publikation im Sonderband der Zeitschrift *Climate of the Past* (Gebhardt et al. in Vorb.) werden die MSCL-Daten, Teile der Bohrlochgeophysik sowie in der Pilotphase gemessene Seismikprofile einfließen. Die MSCL-Daten wurden gemäß der gesetzten Ziele anhand der Beprobungsliste zu einem Kompositprofil verspleißt. In dieser Form können sie mit den Bohrlochdaten verglichen werden. Die MSCL-Dichte wurde mit der an den Einzelproben gemessenen Feucht- und Trockendichte verglichen, wobei gezeigt werden konnte, dass die MSCL-Dichte in vielen Bereichen deutlich besser ist. Dies liegt vermutlich daran, dass die MSCL-Dichte kurz nach Öffnen der Kerne gemessen wurde, während die Einzelproben teilweise erst Monate später genommen wurden und somit bereits angetrocknet waren. Die Dichte zeigt deutliche Schwankungen und die niedrigsten Werte dort, wo auch die höchsten Gehalte an biogenem Silika gemessen werden (Abb. 6).

Die Bohrlochdaten zeigen deutlich den Übergang von den Seesedimenten zur darunter liegenden Brekzie an (v.a. elektrische Leitfähigkeit, Kalium, Thorium), ansonsten sind außer in der magnetischen Suszeptibilität keine großen Schwankungen zu sehen. Die Bohrlochdaten werden in Gebhardt et al. (in Vorb.) der Seismik (Reflexions- und Refraktionsseismik) aus der Pilotphase gegenübergestellt und verglichen. Die in der Pilotphase ausgewerteten refraktionsseismischen Daten zeigten den Übergang von Seesedimenten zu der Impaktbrekzie in einer Teufe von ca. 330 m unter Seeboden; die Bohrung bestätigte diesen Über-

gang in ca. 320 m Teufe. Der Wechsel von pleistozänen zu pliozänen Sedimenten in einer Teufe von ca. 123 m kann in der Reflexionsseismik als Wechsel von deutlich schwächeren (Pliozän) zu ausgeprägteren Amplituden (Pleistozän) festgestellt werden (Abb. 7). Ein zweiter Wechsel, der sich in den Bohrlochdaten bei ca. 220 m Teufe andeutet, liegt in der Reflexionsseismik unterhalb der Multiplen und kann daher nicht beobachtet werden.

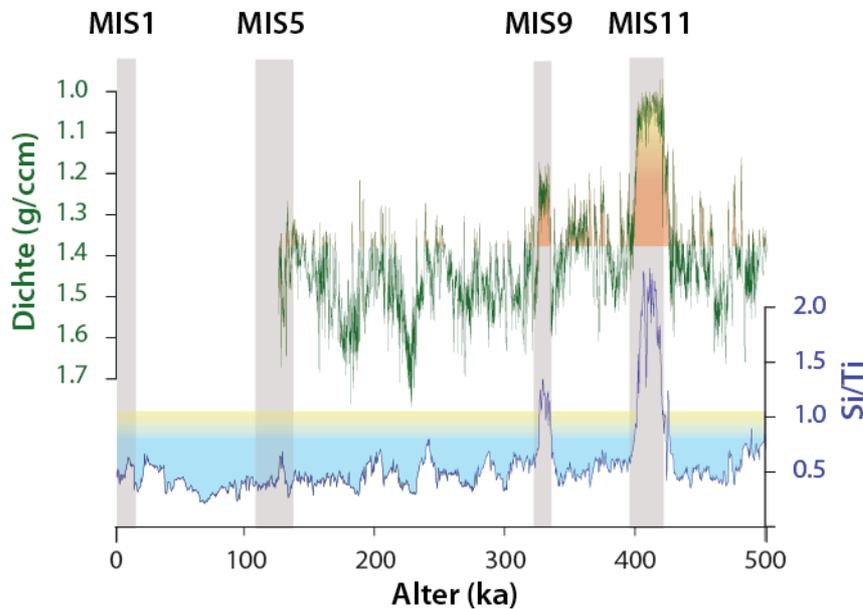


Abb. 6: Dichte und Si/Ti versus Alter. In warmzeitlichen Sedimenten sind häufig die Gehalte an biogenem Silizium (Diatomeen) deutlich erhöht, was sich in niedrigen Dichten widerspiegelt

Die Dichte zeigt charakteristische Muster in den Umlagerungshorizonten und kann daher zu deren Identifizierung/Beschreibung verwendet werden. Die Dichtedaten fließen daher in eine Publikation der Kölner Doktorandin mit ein, die ebenfalls in *Climate of the Past* publiziert werden soll (Kukkonen et al. in Vorb.).

Geplante Publikationen

Um die durch die Bohrlochgeophysik angedeuteten Wechsel in einen Zusammenhang mit der tatsächlichen Lithologie zu stellen, wurde anhand der detaillierten Kernbeschreibung in enger Kooperation mit dem Kölner PostDoc (V. Wennrich) ein lithologisches Profil erstellt. Dieses steht jetzt auch für eine geplante Publikation unter Federführung der amerikanischen Projektleiterin (J. Brigham-Grette) in der Zeitschrift *Science* zur Verfügung. Für diese Publikation übernimmt der PostDoc aktuell (d.h. nach Ende der Projektlaufzeit) die Zusammenstellung zweier relevanter Abbildungen, die diverse Parameter verschiedener Projektpartner für den pliozänen Teil des Sedimentkernes zusammenführt. Außerdem wurden für diese Publikation anhand der hochauflösenden Dichtedaten die Akkumulationsraten für Parameter anderer Projektpartner berechnet.

Nach Erscheinen des Sonderbands in *Climate of the Past*, voraussichtlich Ende 2012, stehen die darin publizierten Basisdaten auch den anderen Projektpartnern zur Verfügung. Unter Hinzuziehung dieser Daten sind die folgenden weiteren Arbeiten und Publikationen geplant:

a) eine gemeinsame Publikation mit der Kölner Doktorandin (M. Kukkonen), in der die im Sedimentkern beschriebenen und datierten Umlagerungshorizonte mit der hochauflösenden 3.5 kHz-Seismik der Pilotstudie korreliert werden. Über diese Korrelation lassen sich die seismischen Reflektoren in der 3.5 kHz-Seismik datieren. Durch Auskartieren aller in der Seismik sichtbaren Umlagerungshorizonte in allen Profilen soll eine Aussage über die Triggermechanismen der Umlagerungs-Events gemacht werden.

b) Die Ergebnisse der Korngrößenmessungen mittels Laser-Methode (Uni Köln) sollen dafür verwendet werden, die Transmissionsseismogramme zu kalibrieren. Ist dies geschehen, können die hochauflösenden Transmissionsseismogramm-Messungen (Messabstand: 2 mm) wiederum dazu verwendet werden, einen hochauflösenden Korngrößen-Datensatz zu generieren. Es soll daraus einerseits eine methodische Publikation zu den Transmissionsseismogrammen entstehen, andererseits sollen aber auch die wissenschaftlichen Ergebnisse interpretiert und publiziert werden. Dazu sollen die Korngrößendaten gemeinsam mit anderen Parametern (ggfs. auch geochemikalische Parameter und Radiographien - Zusammenarbeit mit der Uni Köln) mit statistischen Methoden (Clustern, Zeitreihenanalysen) ausgewertet und mit anderen bekannten Datenreihen verglichen werden (z.B. anderen Tiefbohrungen, Eiskerndaten).

c) Anhand der p-Wellen-Transmissions-Seismogramme und der im XRF-Scanner (Uni Köln) gemessenen Kerndicken lassen sich auch die p-Wellen-Geschwindigkeiten im Kern ermitteln. Im Rahmen der Auswertung der p-Wellen-Transmissions-Seismogramme sollen daher auch die p-Wellen-Geschwindigkeiten berechnet und dieser Datensatz mit den bereits vorliegenden seismischen Profilen verglichen werden. Dies soll in eine weitere Publikation resultieren.

Archivierung schwer zugänglicher Daten aus russischen Archiven

Entsprechende Datensätze wurden durch einen Kenner der russischen Datenarchive und Bibliotheken identifiziert. Dr. Evgeny Gurvich recherchierte in Archiven in St. Petersburg und Moskau. Eine Retro-Digitalisierung erfolgte anhand der vor Ort erstellten Kopien im Pangaea-Datenzentrum. Die digitalen Tabellen wurden in das Pangaea-Format konvertiert, im System archiviert und mit allen zur Verfügung stehenden Metadaten dokumentiert. Der Umfang beläuft sich zum Berichtszeitpunkt auf 6000 Datensätze zu 700 Publikationen von 38.000 weltweit verteilten geologischen Lokationen.

Alle Datensätze stehen mit ihren Zitaten und einem dauerhaften Identifikator (DOI) im Open Access zur Verfügung. Die Zitate wurden an den Bibliothekskatalog der TIB übergeben und sind im GetInfo (und damit in weiteren überregionalen Katalogen) recherchierbar. Damit steht dem Elgygytgyn-Projekt und darüber hinaus der internationalen Paläoklimaforschung ein bisher einmaliges Archiv an geologischen Analysen in digitaler Form zur freien Verfügung.

2.1.4 Wissenschaft TP3 (AWI Potsdam)

Zielsetzung

Permafrost ist im Elgygytyn-Krater kontinuierlich verbreitet und hat Einfluss auf geomorphologische Prozesse wie die Verwitterung, die Erosion und den Transport von detritischem Material ins Seebecken. Das Sedimentarchiv des Elgygytynsees möglichst umfassend zu interpretieren schließt damit auch die Geschichte des Permafrostes im Einzugsgebiet des Sees ein und verlangt, die Permafrostdynamik bei der Interpretation des Klima- und Umweltwandels auf die Seesedimentation zu berücksichtigen.

Permafrost hat sich etwa zeitgleich mit dem Einsetzen der quartären Abkühlung in den kalt-klimatischen Klimagürteln oder um die Gletscher und Eisschilde gebildet. Dies gilt auch für die Region um den Elgygytyn-Krater. Der Aufbau von Permafrost hat mutmaßlich Auswirkungen auf die erhöhte Stabilisierung der Hänge und damit auf Erosions- und Transportraten von detritischem Material ins Seebecken. Im Umkehrschluss kann die Degradation von Permafrost hypothetisch Erosions- und Transportraten ansteigen lassen.

Mithilfe einer tieferen Sedimentbohrung in den Permafrostrand des Sees sollte geklärt werden, inwieweit sich quartärer Umweltwandel auf die Morphologie der Kraterhänge und die Sedimentdynamik im Einzugsgebiet des Sees niedergeschlagen hat und damit den Sedimenteintrag in den See mitkontrolliert hat.

Der Elgygytynsee liegt heute nicht im Zentrum des Karters, sondern ist nach Südosten versetzt. Die Seeumrandung im westlichen und nördlichen Bereich wird von einer Permafrostverebnungsfläche gebildet, deren Oberfläche von fluvialen und alluvialen Schüttungen geprägt ist. In einer zusätzlichen Zielstellung sollte beleuchtet werden, welche geologisch-geomorphologischen Gründe unter Einbeziehung der Permafrostdynamik (z.B. Solifluktion) ausschlaggebend dafür sein könnten, warum das Seebecken nach Südosten verschoben ist.

Die multidisziplinäre Bearbeitung eines gefrorenen Sedimentkernes aus dem westlichen Kraterrand schlossen dabei folgende Untersuchungen ein:

- Die sedimentologische Zusammensetzung lässt Rückschlüsse auf die Entstehungsgeschichte der westlichen Permafrostrampe zu.
- Isotopen- und hydrochemische Untersuchungen am Grundeis liefern weitere Daten zur Ablagerungsgeschichte der Sedimente im Randbereich des Sees.
- Kryogene Signale in der Einzelkorn-Mikromorphologie und der Mineralogie (Quarz/Feldspat-Verhältnisse) der Permafrostsedimente werden herausgearbeitet; analog angewendet auf die Seesedimentkerne erlauben sie, das Einsetzen und den Verlauf von Permafrostbedingungen in der Region zu rekonstruieren.
- Quartärzeitliche Schwankungen des Seespiegels werden anhand von Seesedimentschichten, die in Permafrost übergegangen sind, rekonstruiert.

Das Permafrostbohrloch wurde nach Abschluss der Bohrung mit einer Temperaturmesskette instrumentiert. Die Datenauswertung wird dabei wesentliche Aussagen beisteuern:

- Zur modernen regionalen Temperaturentwicklung im Permafrost.
- Zur Paläo-Entwicklung der Temperatur im Permafrost.
- Zum Temperaturfeld im Permafrost und - kombiniert mit einem Temperaturprofil aus dem Seesedimentbohrloch - zum Temperaturfeld unterhalb des Sees; d.h. die Ausdehnung der ungefrorenen Zone unterhalb des Seekörpers (Talík) kann modelliert werden.

Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm setzte sich aus folgenden Unterpunkten zusammen:

1. Dem Verständnis des strukturellen Aufbaus, der lithologischen und geokryologischen Gliederung des Permafrostes im sedimentären Randbereich des Kraters.
2. Der Paläoumweltinterpretation abgeleitet aus den Sediment- und Grundeisabfolgen im Permafrostbohrkern.
3. Der Bestimmung der Intensität des nordhemisphärischen Permafrostes durch kombinierte Untersuchungen am Permafrost- und am Seesedimentkern.
4. Dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Permafrostaggradation/-degradation im Seeinzugsgebiet und der Akkumulation der Seesedimente im Becken.
5. Der Temperaturlaufzeichnung im Permafrost- und im Seesediment-Bohrloch und der Modellierung der ungefrorenen Zone (Talík) im Umfeld des Kratersees.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Elgygytyn-Permafrostkern (ICDP 5011-3) hat die einmalige Gelegenheit geboten, die sedimentäre Zusammensetzung des westlichen Kraterandes zu studieren und die Entstehungsgeschichte der westlichen Permafrostverebnungsfläche abzuleiten. Das über zwei Jahre gemessene Permafrosttemperaturprofil hat dazu verholfen, das Temperaturfeld im Untergrund des El'gygytyn-Kraters zu simulieren.

a) Sedimentologie der Fächerschüttung

Der 141,5 m lange Sedimentkern besteht aus einem Wechsel von Sand-, Kies- und diamiktischen Sedimentlagen, die insgesamt als Abfolge eines alluvialen Schuttfächers interpretiert werden (Schwamborn et al. 2006, 2008b, 2012, Melles et al. 2011). Das angeschwemmte Material wird durch Verwitterungs-, Transport- und Hang-Prozesse angeliefert (Schwamborn et al. 2008a, akzept.), wobei der untere Kernbereich (141,5-117,0 m) aus eiszementierten Lagen aus matrix-gestütztem sandigen Kies und eingeschalteten Sandlagen aufgebaut ist. Die Sandlagen weisen Feinschichtung im cm-Bereich auf und deuten auf eine Ablagerung in tiefer gelegenen Beckenbereichen hin. Die darüber abgelagerten Schichten zwischen 117,0 - 24,25 m bestehen aus gefrorenen Lagen matrix-gestützter sandiger Kiese, die als Vorschuttkegel des alluvialen Fächers interpretiert werden. Die Sedimentlagen zwischen 24,25 - 8,5 m setzen sich aus matrix-gestützten sandigen Kiesen zusammen, ähnlich den oben genannten, sie sind jedoch von mehreren mittel-grobsandigen Lagen durchsetzt. Diese Sandlagen werden als Überflutungshorizonte interpretiert, die

zu Zeiten relativen Seespiegelhochstandes entstanden sind. Die Deckschichten zwischen 8,5 - 0,0 m bestehen aus Lagen von eiszementiertem sandigen Kies, die modernen Hang- und Flussablagerungen auf den Kraterhängen entsprechen. In den oberen zwei Metern ist feinverteilt organisches Material zu finden, das den Bereich der Auftauschicht markiert, in der der moderne Tundraboden aufgearbeitet wird. Radiokohlenstoff-Datierungen aus diesem Bereich zeigen ausnahmslos moderne Alter.

b) Klima- und Seespiegelgeschichte

Palynologische Untersuchungen im Rahmen der Vorstudie für das Bohrprojekt haben gezeigt, dass klimabedingte Veränderungen in der Vegetation aus den Pollen- und Sporenvergesellschaftungen in den Permafrostsedimenten des Elgygytyn-Kraters rekonstruiert werden können (u.a. Andreev et al. 2012). Aus geomorphologischen und paläolimnologischen Untersuchungen ist bekannt, dass der Seespiegel des Elgygytynsees im Verlauf des Quartärs stark geschwankt ist (u.a. Juschus et al. 2011). Die Wasserbilanz des Sees, die für die heutigen Bedingungen im Detail studiert wurde (Fedorov et al. 2009, in Vorb.), muss daher im Zuge von Klimaveränderungen variiert haben.

Im Permafrostkern ICDP 5011-3 belegen verschiedene sandige Markerhorizonte im Bereich zwischen 24,25 - 8,5 m, dass sich der Seespiegel wiederholt auf relativen Hochständen bewegt hat (Melles et al. 2011, Schwamborn et al. 2012). Diese Markerhorizonte werden als Überflutungsmarker zu entsprechenden Zeiten gedeutet.

Beispielsweise markiert der oberste Sandhorizont bei 9,5 m Kerntiefe, dass eine solche Überflutung während des Alleröd stattgefunden hat. Die zeitliche Einordnung basiert auf einer Alleröd-zeitlichen Pollengemeinschaft, die in diesem Markerhorizont gefunden wurde. Aufgrund von Ergebnissen aus Pilotstudien ist bekannt, dass sich der Seespiegel nach dem Alleröd-zeitlichen relativen Hochstand während des Holozän um ca. 5 m abgesenkt hat. Die Schichtenabfolge im Permafrostkern ICDP 5011-3 unterstreicht den Übergang des Sedimentationsmilieus vom aquatischen in den subaerischen Bereich. Zum einen kann in den Schichten oberhalb von 9,5 m Kerntiefe basierend auf dem Polleninhalte eine reguläre Schichtenfolge aus dem Alleröd, der Jüngeren Dryas und aus dem Holozän nachvollzogen werden. Zum anderen führt diese stratigraphische Abfolge ein Grundeis, das pH-Werte in diesen Schichten <7 hat und damit dem des modernen Oberflächenwassers gleicht. Dies legt nahe, dass es sich bei diesen Schichten um subaerisch abgelagerte Schichten mit überfrorenem Bodenwasser auf dem westlichen Kraterhang handelt.

Ein weiterer Überflutungshorizont befindet sich bei 19,8-19,3 m Kerntiefe und wird aufgrund des Polleninhalts dem marinen Isotopenstadium (MIS) 7 zugeordnet. Das Auftreten von Pollen im Kern ist dabei unterhalb 10 m lückenhaft und hängt vermutlich mit einer starken Hydrodynamik zusammen, die bei der Ablagerung vieler Schichten eine Rolle gespielt hat. Dieser Schluss wird dadurch gestützt, dass das Kernmaterial keinen Ton führt, der vermutlich ebenfalls bei der Sedimentation des grobklastischen Materials hydrodynamisch abtransportiert wurde

c) Talikrückgefrierung im Seerandbereich

Im Kernbereich 141,5-9,5 m weisen die Schichten pH-Werte >7 im Grundeis auf (Melles et al. 2011). Diese Werte illustrieren, dass sich die Grundeisgenese in diesem Bereich von der subaerischen Entstehung der darüber liegenden Schichten unterscheidet. Der Unterschied erklärt sich dadurch, dass die Bohrlokation zu Zeiten relativen Seespiegelhochstandes Teil des Sees gewesen ist. Die unter der Wassersäule abgelagerten Schichten waren demnach zunächst nicht gefroren. Erst nach der Migration der Permafrostumrandung in Richtung Beckeninneres aufgrund einer Seespiegelabsenkung liegt dieser ehemalige Randbereich des Sees nun gefroren vor. Dieser Überfrierungsvorgang hat auch die Signale der stabilen Sauerstoff- und Wasserstoffisotope geprägt; während die Alleröd-zeitlichen und zeitlich später abgelagerten Schichten eine Variabilität aufweisen, die sich parallelisieren lässt mit dem bekannten Klimaverlauf vom Alleröd-zeitlichen Wärmeimpuls über die Abkühlung während der Jüngerer Dryas bis zur Erwärmung am Beginn des Holozäns, nimmt sie im Kernbereich 141,5 - 9,5 m drastisch ab. Der Verlust dieser Variabilität steht im Zusammenhang mit dem homogenen Wassersignal im Porenwasser der Seesedimente über die untersuchte Kernlänge hinweg. Nach der Überfrierung im Anschluss an die laterale Migration der Permafrosttafel lässt sich erkennen, dass dieser Talikgefrierungsvorgang mindestens zweimal stattgefunden hat.

d) Entstehung des Sedimentfächers und tektonische Lage im Untersuchungsgebiet

Der Sedimentkern besteht aus einer Schichtenfolge, die eine Progradation der Schichtenfolge von unten nach oben erkennen lässt (Melles et al. 2011, Schwamborn et al. in Vorb.). Der Ablagerungsraum bewegt sich dabei vom westlichen Kraterrand Richtung Seezentrum. Der alluviale und fluviale Sedimenteintrag in den Seerand liefert Material in Seerandbereich und kann Rutschungen und Massenbewegungen ins tiefere Becken auslösen. Dies legt das zahlreiche Auftreten von turbiditischen Lagen im Seesedimentkern ICDP 5011-1 nahe bzw. kann umgekehrt helfen, die Interpretation und Frequenz der zahlreichen Turbidite zu erklären.

Der untersuchte Sedimentfächer im westlichen Kraterrand ist vermutlich eine dominante Quelle der Massenrutschungen, die am Beckenrand ausgelöst werden. Dabei ist er repräsentativ für mehrere Sedimentfächer im westlichen und nördlichen Bereich des Elgygytyn-Kraters, die aneinander gereiht eine Schüttungsebene mit wildernden Fluss- und Bachläufen aufbauen und den See zur Hälfte umgeben. Die ursprüngliche Ursache für die Bildung der Schwemmebene im westlichen und nördlichen Sektor des Kraters liegt in der lokalen und regionalen tektonischen Situation, wo nach vorliegenden Studien eine teilweise Block-Hebung im westlichen Kraterbereich identifiziert worden ist. Es handelt sich dabei regionaltektonisch um Blockbewegungen im Ochotskisch-Tschuktschischen-Gebirgsgürtel. In den regionalen und lokalen tektonischen Hebungsbewegungen wird auch die Ursache für die Fächerschüttung an sich und eine tektonische Verkippung des Kraters gesehen, die den Versatz des Sees aus dem Zentrum des Kraters Richtung Osten begründet.

e) Permafrostmächtigkeit und moderne Talikausdehnung

Auf Grundlage von Temperaturmessungen im Permafrostbohrloch (ICDP 5011-3) und im Seesedimentbohrloch (ICDP 5011-1) konnte mithilfe einer 2D-numerischen Modellierung das Temperaturfeld im El'gygytgyn-Krater simuliert werden (Mottaghy et al. in Vorb.). Die Permafrostmächtigkeit beträgt demnach an der Bohrlokation von ICDP 5011-3 etwa 330-360 m, womit sie mehr als 100 m tiefer reicht als sie nach den gegenwärtigen Temperaturbedingungen an der Oberfläche sein sollte. Dies verweist auf ein transientes Temperaturprofil in der Tiefe, das noch beeinflusst ist von niedrigeren Temperaturen, die während des letzten glazialen Maximums (LGM) herrschten und die seitdem noch nicht wieder in ein Equilibrium mit den Oberflächenbedingungen zurückgeschwungen sind. Die Permafrosttemperatur in 20 m Bohrlochtiefe (unterhalb des jahreszeitlich beeinflussten Bereichs) beträgt dabei $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Der Talik unterhalb des Sees (d.h. eine ungefrorene Zone umgeben von Permafrost) ist durchgehend; d.h. in den obersten Seesedimentschichten liegen Temperaturen von $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vor, die sich nach unten einem normalen Temperaturgradienten folgend um $3\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ erhöhen.

f) Sonstiges

Über die beschriebenen Projektergebnisse hinaus haben Mitarbeiter der AWI-Forschungsstelle in Potsdam, die nicht im TP3 angestellt sind, wissenschaftliche Beiträge zum Elgygytgyn-Bohrprojekt geleistet. Dazu zählt die Mitarbeit bei der geophysikalischen Erkundung der Sedimentfüllung im Krater (Niessen et al. 2007), bei der multidisziplinären Untersuchung von Pilotkernen für das Bohrprojekt (Melles et al. 2007, Stachura-Suchoples 2008, Chaplignin et al. 2012a, b) und bei ersten Isotopenuntersuchungen von Pflanzenwachsen (Wilkie et al. in Vorb.).

2.1.4 Wissenschaft TP4 (GFZ Potsdam)

Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel des TP 4 („Geochronologie der Sedimente im Elgygytgyn-Krater“) war es, die Chronologie der gesamten Seesedimentabfolge aus dem Elgygytgynsee zu erarbeiten. Dies sollte mit Hilfe eigener Daten der Magnetostratigraphie, einer Zyklusstratigraphie an eigenen und externen Proxy-Daten sowie der Einarbeitung externer Einzeldatierungen (z.B. mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz, OSL, und Tephrostratigraphie) erfolgen. Das Endziel war ein möglichst detailliertes und präzises Altersmodell für die Seesedimentabfolge, das als Basis für alle paläoklimatischen Interpretationen dienen sollte.

Arbeitsprogramm

Es wurden an dem gesamten Kernmaterial der drei Bohrungen ICDP Site 5011-1A, -1B und -1C hochauflösend (mm-weise) die magnetische Suszeptibilität und das Farbspektrum (36 Linien von 380 bis 730 nm) erfasst. Dies geschah mit einer am GFZ entwickelten und ge-

bauten Kernmessbank, die für die Messungen temporär an die Universität zu Köln überführt und dort von Projektmitarbeitern des TP4 und des TP1 betrieben wurde. Die Datenauswertung erfolgte anschließend durch das TP4 in Potsdam.

Parallel dazu wurden die paläomagnetischen Arbeiten durchgeführt. Dabei wurde der Großteil des Kernmaterials, bis ca. 150 m Bohrteufe (d.h. im wesentlichen 5011-1A und B), kontinuierlich mit U-channels (2x2 cm Querschnitt) beprobt. Unterhalb ca. 150 m Bohrteufe (ausschließlich Kerne von 5011-1C) erfolgte in der Regel eine diskrete Beprobung mit Plastikdöschen (2x2x1.5 cm), mit Probenabständen von etwa 10 cm. In Kernbereichen, in denen die Sedimente nicht zu sehr konsolidiert und hinreichend ungestört waren, konnten noch gelegentlich U-channels verwendet werden. Die untersten ca. 5 m der Seesedimentabfolge wurden in Form von irregulären Proben (5 – 10 cm³) bearbeitet, die direkt aus den Kernen entnommen wurden.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Identifikation der geomagnetischen Chrons (Brunhes, Matuyama und Gilbert) sowie deren Subchrons (Jaramillo, Cobb Mountain, Olduvai, Réunion in der Matuyama Chron, sowie Kaena und Mammoth in der Gauss Chron) führte zur Definition der ersten präzisen Stützstellen für das Altersmodell für die ICDP Bohrung (Haltia-Hovi et al., in Vorb.) (Abb. 8). Im untersten Abschnitt des 5011-1 Kernkomposits wurden nur steile normale Richtungen gemessen (Abb. 9), so dass entsprechend der Datierung von Layer (2000) der Impakt definitiv nach der Gilbert-Gauss Umpolung (3.588 Ma) stattgefunden haben muss. Damit hat sich gezeigt, dass die Sedimente der Lokation 5011-1 die letzten 3.580 Ma Jahre umfassen. Hierbei wurde das Alter des Impakts von Layer (2000) übernommen.

Neben den Suszeptibilitäts- und Farbdaten (GFZ-Potsdam) wurden weitere sedimentologische, physikalische und geochemische Datensätze der Kooperationspartner herangezogen, um weitere Stützpunkte für das Altersmodell zu bestimmen: der Gehalt an biogenem Silizium (BSi), bestimmt durch Fourier Transform InfraRed Spectroscopy (FTIRS, Umeå Universität, Abisko, Schweden), das Si/Ti-Verhältnis basierend auf hochauflösenden Röntgenfluoreszenzmessungen (X-Ray Fluorescence, XRF, Universität Köln), der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (Total Organic Carbon, TOC, Universität Köln), Korngrößenanalysen (Universität Köln), sowie abschnittsweise Pollenanalysen (NEISRI, Magadan, Russland; Universität Köln). Als Referenzkurven diente der Sauerstoffisotopenstack benthischer mariner Foraminiferen LR04 (Lisiecki & Raymo, 2005) und Insolationdaten nach Laskar et al. (2004). Hierfür wurden die Daten für 67.5°N von Mai bis August (Sommerinsolationssignal) aufsummiert. Korreliert wurden jedoch nicht die einzelnen Kernprofile A,B,C, sondern ein Kernkomposit aus diesen drei Bohrungen, wobei Turbiditlagen als Lücken integriert wurden um ein in erster Linie klimatisch kontrolliertes Sedimentprofil zu erhalten. Durchgeführt wurde die Multiparameterkorrelation ('tuning') mit einem am GFZ Potsdam (N.R. Nowaczyk) für das Betriebssystem Linux entwickelten synoptischen und interaktiven „wiggle matching“ Programm (extended tool for correlation, xtc). Dieses Programm lässt sich auch auf Windows- und Macintosh-Rechnern einsetzen.

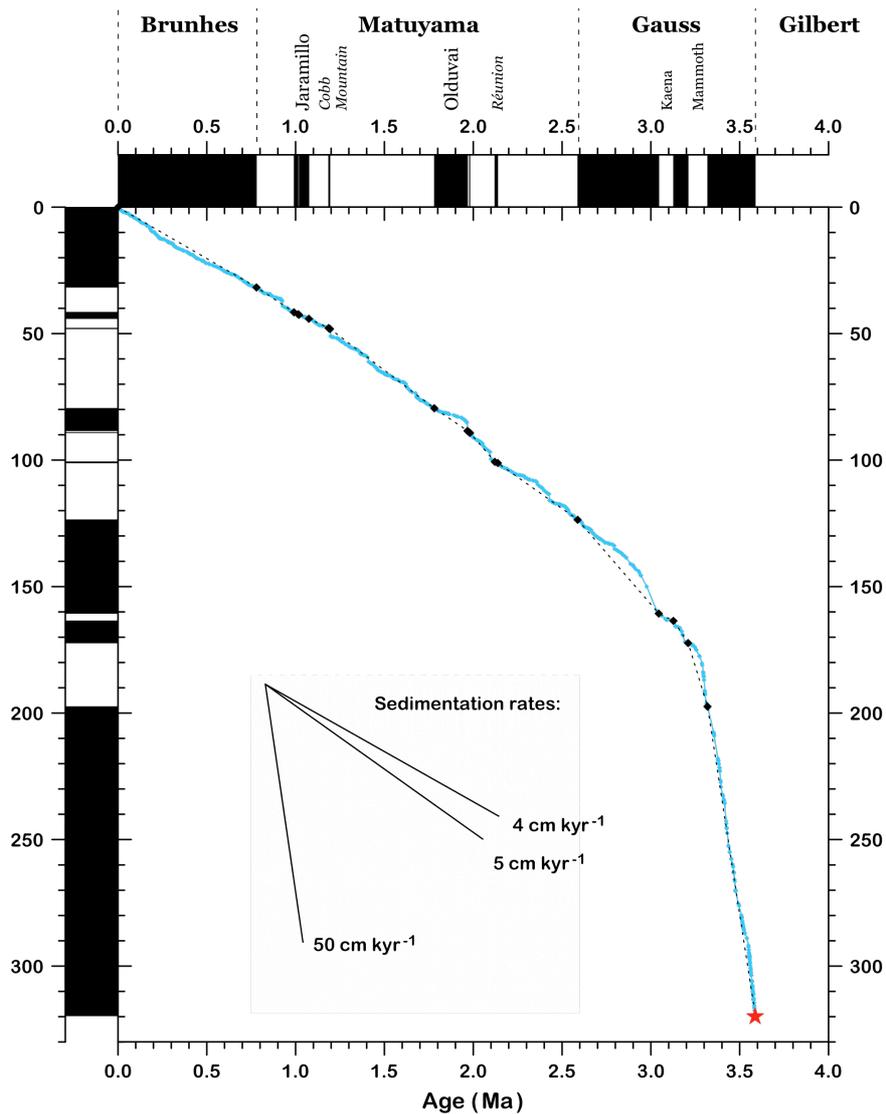
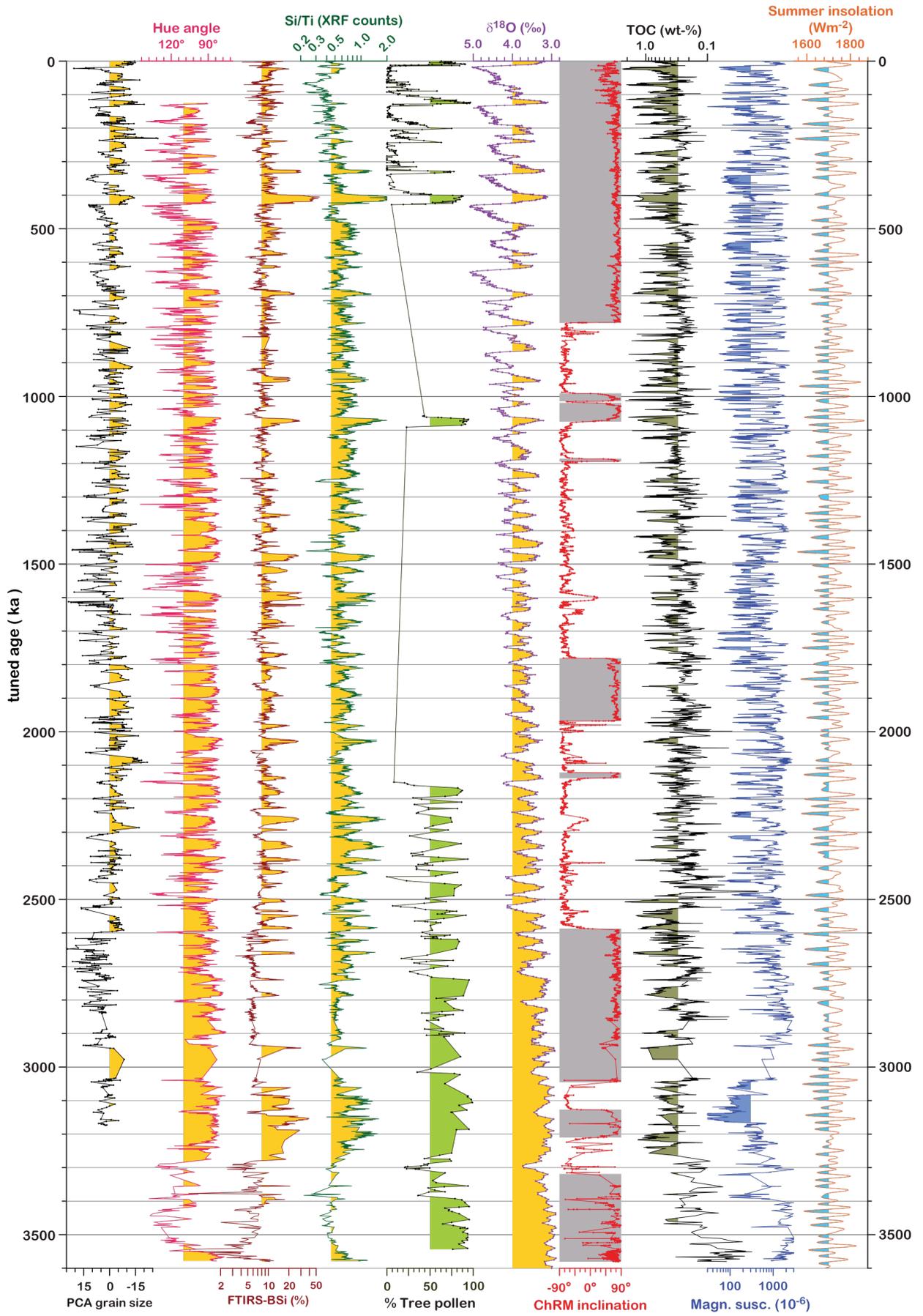


Abb. 8: Altersmodell des Kernkomposits ICDP Site 5011-1 basierend auf paläomagnetischen Analysen (schwarze Rauten) durch Haltia-Hovi et al. (in Vorb.), der Datierung des Impakts (roter Stern) nach Layer (2000), sowie einer synoptischen Multiparameterkorrelation (blaue Rauten, Nowaczyk et al., in Vorb.) der El'gygytgynsedimente mit Referenzdaten (Lisiecki & Raymo, 2005; Laskar et al., 2004). Schwarz (weiß) markiert eine normale (inverse) Polarität des Erdmagnetfeldes in der Polarität-Zeit-Skala (oben) beziehungsweise der untersuchten Sedimente (links).

Abb. 9 (Folgeseite): Chronostratigraphische Darstellung der für die Erstellung des Altersmodells herangezogenen Daten des ICDP Site 5011-1 Kernkomposits: a) Korngrößenanalysen (grain size, principle component analysis, PCA), mit negativen (positiven) Werten für grob- (fein-) körniges Material, b) Farbton (Hue angle) basierend auf photospektrometrischen Messungen, c) biogenes Silizium (BSi) basierend auf 'Fourier Transform InfraRed Spectroscopy' (FTIRS), d) Si/Ti-Verhältnis basierend auf Röntgenfluoreszenzanalyse (X-Ray Fluorescence, XRF), e) Prozentanteile von Baumpollen (Tree Pollen), f) globale marine Sauerstoffisotopen-Stratigraphie ($\delta^{18}\text{O}$, Lisiecki and Raymo, 2005), g) Inklination der charakteristischen remanenten Magnetisierung (ChRM, rot), mit grau (weiß) für normale (inverse) Polarität, h) Gesamtgehalt des organischen Kohlenstoffs (Total Organic Carbon, TOC), i) Magnetische Suszeptibilität, und j) kummulative Nordhemisphäreninsolation im Sommer (Mai bis August) entsprechend der Orbitalmodelle von Laskar et al. (2004).



Ausgehend von den paläomagnetisch definierten Stützstellen konnte gezeigt werden, dass der Gehalt an biogenem Silizium (Proxy für die primäre Bioproduktion in der oberen Wassersäule) sowie das Si/Ti-Verhältnis (= biogenes+lithogenes Silizium gegen lithogenen Hintergrund), die an der Universität Umeå in Schweden und vom TP1 gemessen wurden, sehr gut mit dem Klimasignal der globalen LR04-Isotopenkurve (Lisiecki & Raymo 2005) korreliert werden kann (Melles et al. 2012., Nowaczyk et al. in Vorb.). Dies trifft auch für die Korngrößendaten des TP1 und die Farbdaten des TP4 zu. Demgegenüber folgen die Daten von TOC und der magnetischen Suszeptibilität (MS) von TP1 und TP4 phasenverschoben mehr den Variationen im kumulativen Sommerinsolationssignal und den dadurch beeinflussten Redox-Verhältnissen am Seeboden (durchmischt = oxisch, geschichtet = anoxisch). Unterhalb eines bestimmten Schwellwertes kommt es zu Lösung der magnetischen Phase (MS niedrig), bei guter Erhaltung der organischen Materie (TOC hoch, anoxische Verhältnisse), während es oberhalb dieses Schwellwertes zur Zersetzung der organischen Materie (TOC niedrig) bei guter Erhaltung der magnetischen Phase kommt (MS hoch, oxisch). Ausgeprägte (wärmere) Interglaziale bilden hierbei eine Ausnahme, da hier durch den erhöhten Eintrag organischen Materials trotz oxischer Verhältnisse relativ viel TOC erhalten blieb.

Vor dem Hintergrund dieses Proxy-Verständnisses ließen sich mehr als 600 Stützstellen für das Alters-Tiefen-Modell (Abb. 8) definieren (Melles et al. 2012, Nowaczyk et al. in Vorb.). Demnach liegen die mittleren Sedimentationsraten während der ersten etwa 0.3 Ma nach dem Impakt in der Größenordnung von etwa 50 cm ka^{-1} . Dieser Zeitabschnitt, ungefähr 8 % des insgesamt dokumentierten Zeitraums von 3.58 Ma, umfasst aber 45 % des Kernkomposits. Obwohl hier der mittlere Kerngewinn nur bei etwa 50 % lag, konnten durch die hohen Sedimentationsraten hinreichend viele Stützstellen für das Altersmodell definiert werden. Der Zeitraum der letzten etwa 3.0 Ma Jahre ist durch um einen Faktor von 10 geringere Sedimentationsraten, mit lediglich 4 bis 5 cm ka^{-1} , charakterisiert. Die Übergangsphase zu niedrigen Sedimentationsraten fällt zusammen mit der ersten globalen Abkühlung im Pliozän, im wesentlichen dem Stadium 'M2' im LR04 stack, was sich in den Sedimenten des Elgygytgynsees sehr deutlich in einem drastischen Rückgang im Anteil an Baumpollen von 95 % vor 3.4 Ma auf 20 % im 'M2' zeigt. Möglicherweise ist hiermit der Beginn der Permafrostbildung markiert, die zu einer besseren Fixierung des Sedimentmaterials im Einzugsgebiet des Sees innerhalb des Elgygytgyn-Kraters geführt haben könnte.

Neben der Datierung des ICDP Site 5011-1 Kernkomposits erfolgte auch für die Pilotkerne Lz1024 (2003, l=16.6 m), dessen oberer Teil (0 - 5.67 m) im 5011-1 Komposit enthalten ist, sowie PG1351 (1993, l=12.7 m) durch paralleles 'tuning' mit dem 5011-1 Komposit eine Erstellung von neuen Altersmodellen (Nowaczyk et al. in Vorb.). Für diese Pilotkerne erfolgten auch Cluster-Analysen (Frank et al. in Vorb.) auf Basis gesteinsmagnetischer sowie geochemischer Parameter. Hiermit konnte gezeigt werden, dass sich die in den Elgygytgyn-Sedimenten ausgeprägten klimatischen Zyklen exakt mit mathematischen Methoden erfassen und von einander absetzen lassen.

2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Das abgeschlossene Verbundprojekt ist in der Grundlagenforschung angesiedelt. Der wirtschaftliche Nutzen, der aus den erzielten Ergebnissen erwächst, ist naturgemäß nur mittel- bis langfristiger Natur. Kurzfristig hat das Vorhaben eher wirtschaftspolitische Bedeutung, da es durch die intensive Zusammenarbeit mit russischen Forschungseinrichtungen u.a. zur Vertrauensbildung beigetragen hat. Außerdem wurde durch die starke Einbindung von Studenten und jungen Wissenschaftlern auf beiden Seiten die Qualität in der Ausbildung gesichert bzw. gesteigert.

Mittel- und langfristig werden darüber hinaus die erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse auch wirtschaftliche Bedeutung haben, da ein besseres Verständnis der langfristigen Entwicklungsgeschichte in der Arktis entscheidende Beiträge zu besseren Prognosen der zukünftigen Entwicklungen liefern. Das betrifft zum einen die Zukunft der Arktis, mit zu erwartenden Veränderungen beispielsweise in der Meereisbedeckung auf dem Arktischen Ozean und in der Vegetation und Permafrostverbreitung an Land. Diese Veränderungen werden sich unmittelbar auf die wirtschaftliche Nutzung der arktischen Meeres- und Landgebiete auswirken, beispielsweise auf die Schifffahrt (Nördliche Seeroute), die Fischerei, die Rohstofferkundung und -gewinnung, die Forstwirtschaft und die ackerbauliche Nutzung. Zum anderen stehen die Veränderungen in der Arktis in direktem Zusammenhang mit den Entwicklungen in anderen Regionen der Erde. Die Ergebnisse des Vorhabens tragen daher zu einem komplexeren Verständnis des „Systems Erde“ bei, und damit zu gesicherteren Prognosen zukünftiger globaler Entwicklungen.

Neben den wissenschaftlichen Ergebnissen hat das Verbundprojekt auch wissenschaftliche Infrastruktur für zukünftige deutsch-russische Untersuchungen in Russland geschaffen. Das betrifft die Bohrtechnik, die 2009 am Elgygytgynsee eingesetzt wurde. Die für Arbeiten auf arktischen Gewässern modifizierte Technik wurde permanent nach Russland eingeführt und steht dort für zukünftige Bohrprojekte der Geldgeber des *El'gygytgyn Drilling Project* zur Verfügung.

2.3 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Bohrkern vom Elgygytgynsee, die im Rahmen des Verbundprojektes gewonnen und bearbeitet wurden, ermöglichen erstmals die lückenlose und zeitlich hoch aufgelöste Rekonstruktion der langfristigen Klima- und Umweltgeschichte in der Arktis, die nach ersten Erkenntnissen (Melles et al. 2012) nur im Kontext der globalen Klima- und Umweltentwicklung verstanden werden kann. Vor diesem Hintergrund sind alle paläoklimatischen Arbeiten für das Verbundvorhaben relevant, die den Zeitraum der letzten 3,6 Mio. Jahre beinhalten. Von besonderer Bedeutung sind dabei die folgenden wissenschaftlichen Bohrprojekte.

(1) Die im Herbst 2004 im Rahmen des *Integrated Ocean Drilling Program (IODP)* durchgeführten Tiefbohrungen im zentralen Arktischen Ozean (Lomonosov-Rücken). Die *IODP Arctic Coring Expedition (ACEX)* konnte bis zu etwa 60 Mio Jahre alte Sedimente aus bis zu 430 m Sedimenttiefe bergen (Moran et al. 2006). Die Bearbeitung des Kernmaterials

lieferte erstmals detailliertere Einblicke in die langfristige Entwicklungsgeschichte des Arktischen Ozeans. Allerdings sind die daraus abzuleitenden Informationen zur zeitgleichen Entwicklungsgeschichte in den angrenzenden arktischen Landgebieten stark eingeschränkt. Außerdem weisen die gewonnenen Bohrkerne einige größere Schichtlücken auf und haben eine wesentlich schlechtere zeitliche Auflösung als die Bohrkerne vom Elgygytgyn-See. Die ACEX-Kerne können daher die mit dem Elgygytgyn-Tiefbohrprojekt verfolgten Fragestellungen nicht hinreichend beantworten; sie stellen aber eine wichtige Ergänzung dar, die zu einem besseren Verständnis insbesondere der Wechselwirkungen zwischen den arktischen Land- und Meeresgebieten beitragen.

(2) Die ODP-Expedition 145 mit dem Site 882 vor der Küste von Kamtschatka im Jahr 1992 und die IODP-Expedition 323 in die Beringsee im Jahr 2009. Diese Expeditionen lieferten bzw. liefern grundlegende Informationen zur Paläozeanographie im nördlichen Pazifik (Haug et al. 2005, Takahashi et al. 2011). Sie sind für das Verständnis der Entwicklungsgeschichte am Elgygytgynsee von besonderer Bedeutung, da die Temperatur- und Niederschlagsschwankungen dort nicht nur von den Veränderungen in der Arktis, sondern auch von den Veränderungen im Nordpazifik beeinflusst sein können. Die Untersuchungen der IODP-Kerne aus der Beringsee versprechen darüber hinaus Erkenntnisse zu Warmwasser-einströmungen in den Arktischen Ozean durch die Beringstrasse, die möglicherweise in besonders starken Warmzeiten zu erhöhten Erwärmungen in der Arktis geführt haben (Melles et al. 2012).

(3) Der Sedimentkern AND-1B des internationalen „ANDRILL“-Bohrprojektes, der in der Saison 2006/07 im Rossmeer der Antarktis gewonnen wurde. Diatomit-Lagen in diesem Sedimentkern deuten darauf hin, dass große Teile des Westantarktischen Eisschildes im Quartär wiederholt abgeschmolzen sind (Naish et al. 2009). Da diese Abschmelzereignisse in der Antarktis auffällig gut mit besonders warmen Phasen am Elgygytgynsee in der Arktis korrelieren, dürfte es einen kausalen Zusammenhang zwischen den Ereignissen und damit bisher nicht bekannte interhemisphärische Wechselwirkung geben (Melles et al. 2012). Diese könnten durch Veränderungen in der thermohalinen Zirkulation oder im globalen Meeresspiegel getrieben sein.

2.4 Veröffentlichungen

Die im Rahmen des Vorhabens erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse sind überwiegend in wissenschaftlichen Veröffentlichungen dargestellt, die i.d.R. in internationalen Fachzeitschriften erschienen, im Druck, zum Druck eingereicht oder zum Druck vorbereitet sind (s. Anlagen 1 bis 8). Darüber hinaus wurde ein Teil die Ergebnisse im Rahmen von Qualifizierungsarbeiten gewonnen (Anlage 1) und die Ergebnisse wurden mit zahlreichen Tagungsbeiträgen der internationalen Forschergemeinschaft vorgestellt und zugänglich gemacht (Anlage 9). Die breite Öffentlichkeit wurde im Rahmen von Presseberichten über Meilensteine des Projektes informiert, die von den Medien sehr gut aufgenommen wurden (Anlage 10).

Trotz der umfangreichen Publikationstätigkeit in den vergangenen Jahren ist davon auszugehen, dass die Projektergebnisse erst in einigen Jahren vollständig veröffentlicht sein werden. Das liegt teilweise an der Verschiebung der Bohrungen um ein Jahr, mit einer entsprechenden Verzögerung beim Abschluss der Laborarbeiten. Ursächlich ist darüber hinaus, dass die Publikation einzelner Datensätze erst dann sinnvoll erfolgen kann, wenn ergänzende Datensätze von den internationalen Kooperationspartnern (z.B. Isotopenanalysen in den USA) oder von eigenen Projekten anderer Drittmittelgeber (z.B. zu Ablagerungen durch Massenbewegungen, zu Datierungen mittels kosmogener Nuklide oder zu Pollen, jeweils DFG) zugänglich sein werden.

2.5 Literaturverzeichnis

An den folgenden im Kapitel 2 zitierten Arbeiten sind keine Mitarbeiter des Verbundprojektes beteiligt; diese Arbeiten ergänzen der Literaturliste des Verbundprojektes (Anlage 1).

- Haug G.H, Ganopolski A., Sigman D.M., Rosell-Mele A., Swann G.E.A., Tiedemann R., Jaccard S.L., Bollmann J., Maslin M.A., Leng M.J. & Eglinton G. (2005): North Pacific seasonality and the glaciation of North America 2.7 million years ago. - *Nature*, 433: 821-825.
- 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. *Astron. Astrophys.*, 428: 261-285, 2004.
- Layer P.W. (2000): Argon-40/Argon-39 age of the El'gygytgyn impact event, Chukotka, Russia. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 35: 591-599.
- Liesiecki L.E. & Raymo M.E. (2005): A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records, *Paleoceanography*, 20: PA1003, 17 PP.
- Moran, K., Backman, J., Brinkhuis, H., Clemens, S.C., Cronin, T., Dickens, G.R., Eynaud, F., Gattacceca, J., Jakobsson, M., Jordan, R.W., Kaminski, M., King, J., Koc, N., Krylov, A., Martinez, N., Matthiessen, J., McInroy, D., Moore, T.C., Onodera, J., O'Regan, M., Pälike, H., Rea B., Rio D., Sakamoto T., Smith D.C., Stein R., St. John K., Suto I., Suzuki N., Takahashi K., Watanabe M., Yamamoto M., Farrell J., Frank M., Kubik P., Jokat W. & Kristoffersen Y. (2006): The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean. - *Nature*, 441: 601-605.
- Naish T., Powell R., Levy R., Krissek L., Niessen F., Pompilio M., Scherer R., Talarico F., Wilson G., Wilson T., Browne G., Carter C., Cody R., Cowan C., Crampton J., Dunbar G., Florindo F., Gebhardt C., Graham I., Hannah M., Harwood D., Hansaraj D., Henrys S., Helling D., Kuhn D., Kyle P., Läufer A., Maffioli P., Magens D., Mandernack K., McIntosh W., McKay R., Millan C., Morin R., Ohneiser C., Paulsen T., Persico D., Reed J., Ross J., Raine I., Schmitt D., Sagnotti L., Sjunneskog C., Strong P., Taviani M., Vogel S., Wilch T., Williams T. & Winter D. (2009): Obliquity-paced Pliocene West Antarctic Ice Sheet oscillations. - *Nature*, 458: 322-329.
- Takahashi K., Ravelo A.C., Alvarez Zarikian C.A. & the Expedition 323 Scientists (2011): Proc. IODP, 323: Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.323.2011.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN <p style="text-align: center;">geplant</p>	2. Berichtsart <p style="text-align: center;">Schlussbericht</p>
3a. Titel des Berichts Gemeinsamer Abschlussbericht des BMBF-Verbundvorhabens „Sedimentation im Elgygytyn-See (NE-Sibirien) seit dem Pliozän – Tiefbohrungen im Rahmen des ICDP“	
3b. Titel der Publikation ICDP Elgygytyn-See	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Melles, Martin; Niessen, Frank; Hubberten, Hans-Wolfgang; Nowaczyk, Norbert	5. Abschlussdatum des Vorhabens Oktober 2011
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)): Melles, Martin; Niessen, Frank; Hubberten, Hans-Wolfgang; Nowaczyk, Norbert; Wennrich, Volker; Gebhardt, Catalina; Haltia-Hovi, Eeva; Schwamborn, Georg	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität zu Köln, Institut für Geologie und Mineralogie, Zülpicher Str. 49a, 50674 Köln Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Postfach 12 01 61, 27515 Bremerhaven Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Forschungsstelle Potsdam, Telegrafenberg A43, 14473 Potsdam Helmholtzzentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Telegrafenberg, 14473 Potsdam	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03G0642 A, B, C
	11a. Seitenzahl Bericht 52 plus Anhang
	11b. Seitenzahl Publikation noch nicht bekannt
	12. Literaturangaben 7 plus Anhang
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 9
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Der Elgygytynsee im nordöstlichen Sibiren liegt in einem Krater, der vor 3,6 Mill. Jahren durch einen Meteoriteneinschlag entstanden ist, in einer Region, die im Quartär unvergletschert geblieben ist. Die Sedimente im Krater stellen daher ein einzigartiges, besonders weit in die Vergangenheit reichendes Archiv der Klima- und Umweltgeschichte in der Arktis dar. Um dieses Archiv zu erschließen wurden im Winter 2008/09 in Kooperation mit russischen und amerikanischen Wissenschaftlern die gesamte Sedimentabfolge am Grund des Sees und der obere Teil der Permafrostsedimente in seinem Einzugsgebiet erbohrt. Über das BMBF-Verbundvorhaben wurde eine finanzielle Beteiligung an der Bohrkampagne geleistet und es konnten wesentliche Teile der wissenschaftlichen Auswertung der Seesediment- und Permafrostkerne durchgeführt werden. Die Ergebnisse bestätigen, dass der Elgygytyn-See seit dem Meteoriteneinschlag kontinuierlich Sedimente aufgenommen hat. Gravitative Massenbewegungen sind häufig, haben die pelagischen Sedimente, die über Paläomagnetik und Korrelation mit bekannten Klimaschwankungen sehr gut datiert werden konnten, aber nur geringfügig gestört. Die Zusammensetzung der pelagischen Sedimente spiegelt die regionalen Klima- und Umweltveränderungen mit großer Sensitivität wieder. Es konnten deutliche Klimaschwankungen im Verlauf des Pliozäns nachgewiesen werden. Eine ganzjährige Eisbedeckung wies der See erstmals an der Pliozän/Pleistozän-Grenze vor 2,6 Mill. Jahren auf, die volle Frequenz von Glazialzeiten mit ganzjähriger Eisbedeckung wird jedoch erst vor etwa 1,8 Mill. Jahren erreicht. Die quartären Interglaziale weisen deutliche Intensitäts-Unterschiede auf. Beispielsweise waren während der Marinen Isotopenstadien MIS 31 und MIS 11c die Sommertemperaturen etwa 4-5 °C wärmer und die Jahresniederschläge etwa 300 mm/a höher als während MIS 5e und MIS 1. Die besonders warmen Interglaziale in der Arktis korrespondieren offensichtlich mit Abschmelzereignissen in der Antarktis. Durch die Bohrung in die Permafrostablagerungen am Seeufer wurden ergänzende Informationen beispielsweise zu Seespiegelschwankungen gewonnen und es konnte eine Messstation für Permafrosttemperaturen etabliert werden.	
19. Schlagwörter Elgygytyn-See, Sibirien, Arktis, Paläoklima, Paläoumwelt, Permafrost, Pliozän, Quartär, kontinentale Tiefbohrung	
20. Verlag	21. Preis

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

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN <p style="text-align: center;">planned</p>	2. Type of Report <p style="text-align: center;">Final report</p>
3a. Report Title <p>Joint final report of the BMBF collaborative project „Sedimentation in Lake El’gygytgyn (NE Siberia) since the Pliocene – deep drilling within the framework of the ICDP“</p>	
3b. Title of Publication <p>ICDP Elgygytgyn-See</p>	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Melles, Martin; Niessen, Frank; Hubberten, Hans-Wolfgang; Nowaczyk, Norbert	5. End of Project Oktober 2011
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Melles, Martin; Niessen, Frank; Hubberten, Hans-Wolfgang; Nowaczyk, Norbert; Wennrich, Volker; Gebhardt, Catalina; Haltia-Hovi, Eeva; Schwamborn, Georg	6. Publication Date planned
8. Performing Organization(s) (Name, Address) University of Cologne, Institute of Geology and Mineralogy, Zuelpicher Str. 49a, D-50674 Köln Stiftung Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), P.O. Box 12 01 61, D-27515 Bremerhaven Stiftung Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Research Unit Potsdam, Telegrafenberg A43, D-14473 Potsdam Helmholtz Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences (GFZ), Telegrafenberg, D-14473 Potsdam	7. Form of Publication scientific journal
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Originator’s Report No.
16. Supplementary Notes	10. Reference No. 03G0642 A, B, C
17. Presented at (Title, Place, Date)	11a. No. of Pages Report 52 plus attachments
18. Abstract Lake El’gygytgyn in northeastern Siberia is located in a meteorite impact crater formed 3.6 Million years ago, in a region, which has remained unglaciated during the Quaternary. The sediments deposited in the crater, therefore, represent a unique, far-reaching archive of the climatic and environmental history of the Arctic. In order to make this archive accessible, a drilling campaign was conducted in winter 2008/09 in collaboration with Russian and American scientists, on which the entire sediment record from the bottom of the lake and the upper part of the permafrost deposits in its catchment were recovered. The BMBF collaborative project provided funding for the drilling operation and ensured that significant contributions could be made to the scientific analysis of the lake sediment and permafrost cores. The results confirmed a continuous sediment accumulation in Lake El’gygytgyn since the time of the meteorite impact. Gravitational mass movements are frequent, but led to only minor disturbance of the pelagic sediments, which could be properly dated by paleomagnetic and correlation of sediment proxies to known climate changes. The composition of the pelagic sediments reflects the regional climatic and environmental variability with great sensitivity. For the Pliocene, distinct climate changes were detected. A perennial lake ice cover first occurred at the Pliocene/Pleistocene boundary 2.6 Ma ago, however, full frequency of glacials with perennial lake ice was not obtained before ca. 1.8 Ma. The interglacials during the Quaternary exhibit distinct variability in intensities. For instance, summer temperature and annual precipitation during Marine Isotope Stages MIS 31 and MIS 11c were 4-5 °C and ca. 300 mm/a higher than during MIS 5e and MIS 1, respectively. The most pronounced interglacials in the Arctic obviously correspond with melting events in Antarctica. Drilling into the permafrost deposits at the lake shore provided complementary information, e.g. concerning lake-level changes, and it facilitated the development of a monitoring station for permafrost temperatures.	
19. Keywords Lake El’gygytgyn, Siberia, Arctic, paleoclimate, paleoenvironment, permafrost, Pliocene, Quaternary, continental deep drilling	11b. No. of Pages Publication not yet known
20. Publisher	12. No. of References 7 plus Attachments
21. Price	14. No. of Tables 1
21. Price	15. No. of Figures 9