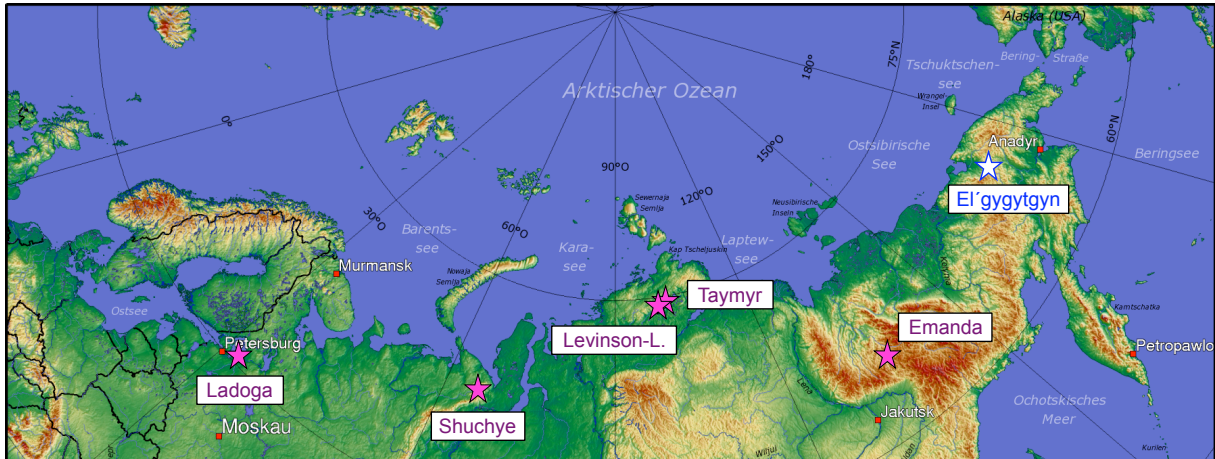


PLOT: Paläolimnologischer Transekt – Synthese

FKZ: 03F0830



Nov. 2019 – Dez. 2021

Abschlussbericht

Teilprojekte

TP1 „Koordination“ und „Paläoklimatologie“ (Universität zu Köln)

TP2 „Seismik“ (Universität zu Kiel)

TP3 „Isotope“ und „Modellierung“ (AWI Potsdam und Bremerhaven)

Antragsteller:

Universität zu Köln
Prof. Dr. Martin Melles, apl. Prof. Dr. Bernd Wagner
Zülpicher Str. 49a
50674 Köln

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Prof. Dr. Sebastian Krastel
Olshausenstrasse
24098 Kiel

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
Dr. Martin Werner, Dr. Hanno Meyer
Postfach 12 01 61
27515 Bremerhaven



Juni 2022

Autoren

Prof. Dr. Martin Melles Prof. Dr. Bernd Wagner	Universität zu Köln, Institut für Geologie und Mineralogie
Prof. Dr. Sebastian Krastel	Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften
Dr. Martin Werner Dr. Hanno Meyer	Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven Alfred-Wegener-Institut, Forschungsstelle Potsdam

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzbericht	2
1.1	Ursprüngliche Aufgabenstellung	2
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	2
1.3	Ablauf des Vorhabens	3
1.4	Wesentliche Ergebnisse	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen	4
2	Eingehende Darstellung	5
2.1	Ergebnisse	5
2.1.1	Koordination TP 1 (Universität zu Köln).....	5
2.1.2	Wissenschaft TP 1 (Universität zu Köln).....	7
2.1.3	Wissenschaft TP 2 (Universität zu Kiel)	15
2.1.4	Wissenschaft TP 3 (Alfred-Wegener-Institut)	27
2.2	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	42
2.3	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	43
2.4	Abschlussarbeiten, Tagungsbeiträge und Veröffentlichungen	43
2.5	Literaturverzeichnis	43
3	Erfolgskontrollbericht	45
3.1	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis und Erfahrungen	45
3.2	Fortschreibung des Verwertungsplanes	45
3.3	Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	46
3.4	Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	46
4	Kurzfassungen	47
4.1	Berichtsblatt / Control sheet Verbundprojekt	48
4.2	Berichtsblatt / Control sheet TP 1 (Universität zu Köln)	50
4.3	Berichtsblatt / Control sheet TP 2 (Universität zu Kiel)	52
4.4	Berichtsblatt / Control sheet TP 3 (Alfred-Wegener-Institut)	54

Anlagen

- (1) Liste Abschlussarbeiten
- (2) Liste Tagungsbeiträge
- (3) Liste und Kopien von Publikationen und Manuskripten
- (4) Liste und Kopien Öffentlichkeitsarbeit

1 Kurzbericht

1.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Übergeordnetes Ziel des BMBF-Verbundprojektes „PLOT-Synthese“ war es, die paläoklimatischen Ergebnisse des übergeordneten deutsch-russischen Projektes "PLOT" (Paläolimnologischer Transekt) von sechs Seen im nördlichen Russland (Abb. 1) abzurufen und vollumfänglich der Wissenschaftsgemeinschaft zugänglich zu machen.

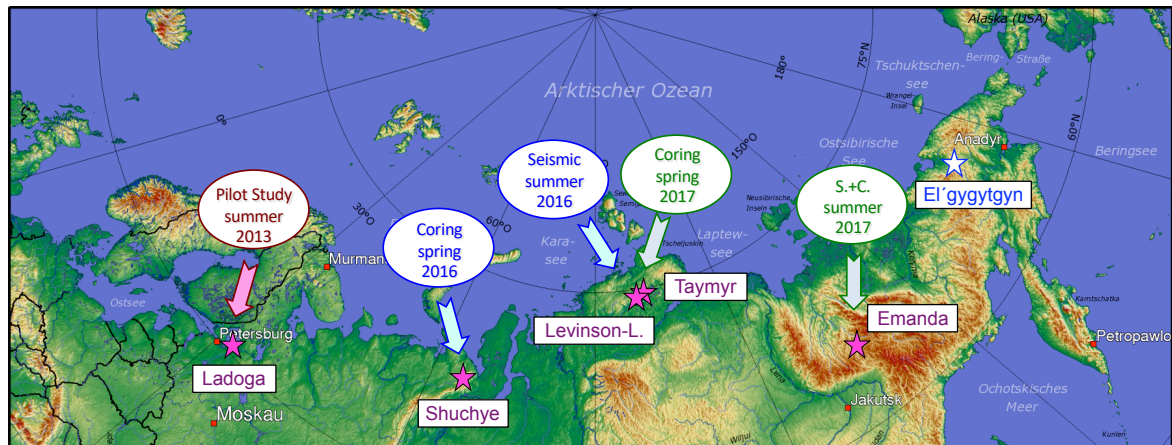


Abb. 1: Übersichtskarte des nördlichen Russlands mit den Arbeitsgebieten und den realisierten Feldkampagnen im Rahmen des PLOT-Projektes.

Dazu sollten im Einzelnen folgende Arbeiten durchgeführt werden: (1) Erweiterung der vorliegenden oberen Sedimentabfolge aus dem See Emanda im östliches Werchojansker Gebirge bis zur Seesedimentbasis, (2) multi-disziplinäre geowissenschaftliche Analyse dieser neuen Seesedimente, (3) Erweiterung der isotopengeochemischen Datensätze auf bisher noch nicht analysierte Seesedimentabfolgen, (4) Zusammenführung von Proxy-Datensätzen und Modellierungsergebnissen, (5) weiterführende Interpretation der seismischen Daten der Seen Ladoga, Levinson-Lessing, Taymyr und Emanda durch Integration der Bohrergebnisse, (6) Interpretation und Publikation der noch nicht veröffentlichten Daten und Erkenntnisse und (7) Synthese der Umweltentwicklung des nördlichen Eurasiens entlang des Transektes vom Ladoga-See im Westen bis zum Elgygytyn-See im Osten.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Vorhaben konnte auf umfangreiche Erfahrungen aufbauen, die zunächst am AWI, später auch an den Universitäten Leipzig und Köln 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“, „System Laptev See“ und „ICDP-Elgygytynsee“. Durch diese Projekte konnten nicht nur vielfältige lokale Kontakte in Russland geknüpft werden, sondern es wurden auch die administrativen Erfordernisse, logistischen Möglichkeiten und

potentiellen Probleme in der russischen Arktis in einer Tiefe kennengelernt, welche realistische Planungen von Geländekampagnen in diesen Regionen überhaupt erst möglich macht.

Auf dieser Grundlage wurde das deutsch-russische Forschungsprojekt "PLOT" (Paläolimnologischer Transekt) konzipiert, das im Jahr 2011 in die Liste gemeinsamer Forschungsinitiativen der „Fachvereinbarung über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Meeres- und Polarforschung“ zwischen den deutschen und russischen Forschungsministerien aufgenommen wurde. Zentrales Ziel des PLOT-Projektes ist es, die spätquartäre Klima- und Umweltgeschichte entlang eines mehr als 6000 km langen longitudinalen Transektes über das nördliche Eurasien (Abb. 1) erstmals detailliert zu rekonstruieren, wobei der Schwerpunkt auf der bisher wenig bekannten Geschichte vor dem Letzten Glazialen Maximum (LGM) liegt. Dazu sollten entsprechend alte Sedimente aus fünf Seen auf dem Transekt neu erschlossen und ausgewertet sowie mit Daten von vorhandenen Kernen aus dem Elgygytgyn-See verschnitten werden.

Die deutschen Arbeiten im Rahmen des bilateralen PLOT-Projektes wurden als Verbundprojekte für eine Pilotstudie am Ladoga-See (April - Dez. 2013), für das Hauptprojekt (Nov. 2015 - Okt. 2018) und für die hier behandelte Synthese (Nov. 2019 - Dez. 2021) vom BMBF gefördert. Diese Projekte gliederten sich in zwei, später drei Teilprojekte: Dem TP 1 (Universität zu Köln) zur Gewinnung und multidisziplinären Analyse von Sedimentkernen aus den zu untersuchenden Seen, dem TP 2 (Universität zu Kiel) zur vorherigen seismischen Erkundung der Sedimentmächtigkeit und -architektur in diesen Seen und dem TP 3 (Alfred-Wegener-Institut Potsdam und Bremerhaven) zu isotopengeochemischen Analysen an den Seesedimenten sowie paläoklimatischen Interpretationen mit Hilfe eines Erdsystem- und eines Atmosphärenmodells. Am TP 1 war darüber hinaus die Koordination des Verbundprojektes angesiedelt. Hauptpartner auf russischer Seite waren das *Arctic and Antarctic Research Institute* (AARI) und die *Sankt Petersburg State University* (SPSU) in St. Petersburg.

1.3 Ablauf des Vorhabens

Das Verbundprojekt PLOT-Synthese ist in weiten Teilen wie geplant verlaufen. Wie vorgesehen wurden die isotopengeochemischen Datensätze auf bisher noch nicht analysierte Seesedimentabfolgen erweitert, die Proxy-Datensätzen wurden mit den Modellierungsergebnissen weiter zusammengeführt, die Interpretation der seismischen Daten von den Seen Ladoga, Levinson-Lessing, Taymyr und Emanda wurde durch die Integration der Bohrerergebnisse verbessert und die Daten und Erkenntnisse sowohl zu den einzelnen Seen als auch zur Umweltentwicklung des nördlichen Eurasiens entlang des Transektes vom Ladoga-See im Westen bis zum Elgygytgyn-See im Osten wurden in begutachteten Fachzeitschriften publiziert. Nicht realisiert werden konnte dagegen aufgrund der Corona-Pandemie die angestrebte Erweiterung der vorliegenden oberen Sedimentabfolge aus dem See Emanda im östlichen Werchojansker Gebirge sowie die daran geknüpfte multi-disziplinäre geowissenschaftliche Analyse dieser neuen Seesedimente.

1.4 Wesentliche Ergebnisse

Das Verbundprojekt PLOT-Synthese hat wichtige neue Erkenntnisse zur Klima- und Umweltgeschichte im nördlichen Russland geliefert, mit Schwerpunkt auf der wenig bekannten Geschichte vor dem Holozän, der aktuellen Warmzeit. Im Verlauf des Projektes wurden die im Rahmen der PLOT-Vorgängerprojekte gewonnenen geophysikalischen Daten und erbohrten Sedimentabfolgen aus den Seen Ladoga, Bolshoye Shuchye, Levinson-Lessing, Taymyr, Emanda und Elgygytgyn abschließend analysiert. Die Ergebnisse wurden bezüglich der regionalen Klima- und Umweltgeschichte interpretiert und, unterstützt durch numerische Simulationen, in einen überregionalen Kontext gestellt. Die Erkenntnisse sind in zahlreichen Abschlussarbeiten (Anlage 1), Tagungsbeiträgen (Anlage 2) und Publikationen (Anlage 2) dargestellt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Das Projekt PLOT-Synthese wurde in enger Kooperation mit mehreren russischen Forschungseinrichtungen durchgeführt. Das betrifft insbesondere das *Arctic and Antarctic Research Institute (AARI)* in St. Petersburg (u.a. Grigory Fedorov), die *St. Petersburg State University* (u.a. Larisa Savelieva), die *Herzen State Pedagogical University of Russia* in St. Petersburg (u.a. Dmitri A. Subetto), das *Institute of Limnology* der Russischen Akademie der Wissenschaften (RAS) in St. Petersburg (u.a. Anna V. Ludikova), die *Kazan State University* (u.a. Ludmila Syrykh) und die *North-East Federal University* in Yakutsk (u.a. Ludmila A. Pestryakova).

Darüber hinaus hat es eine sehr fruchtbare und enge Zusammenarbeit mit dem norwegisch-russischen Projekt CHASE (*Climate History along the Arctic Seaboard of Eurasia*) gegeben, das von John Inge Svendsen (Universität Bergen) geleitet wird. Die Zusammenarbeit mit dem CHASE Projekt konzentrierte sich auf den See Bolshoye Shuchye im Polarural, mit Bohrungen des PLOT-Projekts auf der Grundlage von seismischen Daten und Erkenntnissen von kürzeren Kernen des CHASE Projekts. Sie manifestiert sich unter anderem in einem Sonderheft der Fachzeitschrift *Journal of Quaternary Science*, das 2022 mit Gasteditoren und zahlreichen Beiträgen von den PLOT- und CHASE-Projekten erscheinen wird.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Ergebnisse

Das Verbundprojekt PLOT-Synthese bestand aus drei Teilprojekten: Dem TP 1 an der Universität zu Köln zur Gewinnung und paläoklimatologischen Analyse von Seesedimentkernen, dem TP 2 an der Universität Kiel zur seismischen Erkundung und genetischen Interpretation der Sedimentfüllungen und dem TP 3 am Alfred-Wegener-Institut in Potsdam und Bremerhaven zu Isotopenanalysen an den Seesedimenten und regionalen Paläoklimasimulationen mit einem Erdsystemmodell und einem Atmosphärenmodell. Im TP 1 war zudem die Koordination des Verbundprojektes angesiedelt.

2.1.1 Koordination TP 1 (Universität zu Köln)

Die Koordination des Verbundprojektes durch das TP 1 umfasste vor allem Aktivitäten, mit denen die Rahmenbedingungen und administrativen Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung des Projektes geschaffen wurden. Die Koordinationsarbeiten sind zu großen Teilen planmäßig verlaufen. Ausgenommen davon sind vor allem Projektkomponenten, die mit Auslandsreisen verbunden sind und daher durch die Corona-Pandemie eingeschränkt oder verhindert wurden.

Vertretung der deutschen Interessen im bilateralen Forschungsprojekt

Die Datennutzung, Probenverteilung, Analysenrechte und Publikationsrechte im Verlauf des Projektes wurden gemeinsam mit den deutschen Projektteilnehmern und russischen Partnern frühzeitig besprochen und einvernehmlich beschlossen. Das TP 1 des Verbundprojektes hatte hier eine leitende Funktion. Außerdem wurde das Projekt durch den Koordinator (M. Melles) gemeinsam mit dem leitenden russischen Projektpartner (G. Fedorov) auf den Arbeitstreffen der bilateralen Fachvereinbarung auf dem Gebiet der Polar- und Meeresforschung vertreten.

Gastwissenschaftler

Die Aufenthalte russischer Gastwissenschaftler an den Instituten der deutschen Projektpartner hätten bei der PLOT-Synthese eine besondere Rolle gespielt, weil sie für den wissenschaftlichen Austausch und die Zusammenführung und einvernehmliche Interpretation der deutschen und russischen Projektdaten sehr hilfreich gewesen wären. Es waren 12 Gastwissenschaftler-Monate vorgesehen, die mit Aufenthaltsdauern von 1-2 Monaten von unterschiedlichen Kolleginnen und Kollegen in Anspruch genommen werden sollten. Leider konnte aufgrund der Corona-Pandemie lediglich ein Aufenthalt des russischen Kooperationspartners G. Fedorov im November 2021 in Köln realisiert werden.

Feldarbeiten am Emanda See

Auf der für Sommer 2020 geplanten Feldkampagne zum Emanda See im östlichen Werchojansker Gebirge (Abb. 1) sollte eine 2017 im Rahmen des PLOT-Projektes gewonnene, ca. 6 m lange Sedimentabfolge nach unten erweitert werden. Die angestrebte Bohr-

tiefe war ca. 15 m, da die 2017 gewonnenen hydro-akustischen Daten bis in diese Tiefe stratifizierte Sedimente zeigen. Die angestrebte Feldkampagne wurde zunächst auf Frühjahr 2021 verschoben und musste aufgrund der weiteren Entwicklung der Corona-Zahlen sowohl in Russland als auch in Deutschland schließlich ersatzlos abgesagt werden.

Archivierung des Daten- und Probenmaterials

Die Archivierung des im Rahmen der PLOT-Synthese gewonnenen Proben- und Datenmaterials in Datenbanken (insbesondere PANGAEA) und Probenlagern wird durch die beteiligten Teilprojekte langfristig gewährleistet. Die Koordination hat die Archivierungsarbeiten unterstützt und sichergestellt.

BMBF-Berichte und -Änderungsanträge

Vom TP 1 wurden der hier vorliegende Abschlussbericht sowie im April 2021 der Zwischenbericht für das Verbundprojekt PLOT-Synthese erstellt. Dabei wurden die übergreifenden Berichtsteile zusammengetragen und formuliert, und die Beiträge der Teilprojekte integriert.

Im Januar 2021 wurde von der Koordination beantragt, das TP 1 kostenneutral bis Ende 2021 zu verlängern und nicht verausgabte Mittel, insbesondere für die Expedition zum Emanda See (s.o.), anderweitig einsetzen zu dürfen. Die Anträge würden erfreulicherweise genehmigt, was den Projekterfolg sehr befördert hat.

Koordinierte Präsentation von Projektergebnissen

Die Präsentation der Projektergebnisse erfolgte in Eigenverantwortung der drei Teilprojekte, wurde aber zwischen den Teilprojekten und mit den nationalen und internationalen Partnern intensiv abgestimmt. Eine besondere Rolle kam der Koordination des Verbundprojektes bei der Erstellung eines Sonderheftes der Zeitschrift *Journal of Quaternary Science* zu. Dieses Sonderheft behandelt die in Seesedimentabfolgen dokumentierte Klima- und Umweltgeschichte in hohen nördlichen Breiten, wobei 8 der 20 Beiträge von der PLOT-Synthese beigesteuert wurden (s. Anlage 3). Das Heft wurde vom TP 1 angeregt und maßgeblich editiert (mit den Leitern des TP 1 M. Melles und B. Wagner als Gast-Editoren). Dadurch konnte gewährleistet werden, dass die Projektergebnisse in dem Heft sehr gut aufeinander abgestimmt sind, dass wichtige Querbezüge aufgezeigt werden und dass die PLOT-Synthese durch die gebündelte Form der Publikation eine besondere Sichtbarkeit in der Wissenschaftsgemeinschaft erlangt hat.

Öffentlichkeitsarbeit

Die Presseaktivitäten im Rahmen der "PLOT-Synthese" wurden maßgeblich von und mit Herrn Henning Kraudzun betrieben, der die Wissenschaftskommunikation im Bereich Küsten-, Meeres- und Polarforschung beim Projektträger Jülich verantwortet. Es sind insgesamt drei Internet-Veröffentlichungen erschienen, "Einblicke in den Klimawandel" im Newsletter "Nachhaltigkeit" der Bundesregierung (Februar 2020), "Uralte Seen geben

Klima-Geheimnisse preis" auf den Webseiten des BMBF (März 2020) sowie "Sedimente erlauben Einblicke in letzte Kaltzeit" auf der "Earth System Knowledge Platform" der Helmholtz-Gemeinschaft (Sept. 2020) (Anlage 4).

2.1.2 Wissenschaft TP 1 (Universität zu Köln)

Personal

Die Beschäftigung der Projektmitarbeiter ist im Berichtszeitraum überwiegend wie geplant erfolgt. Allerdings hat die Technische Angestellte Dorothea Klinghardt (70% E9), die zur Corona-Risikogruppe zählt, aufgrund der Corona-Pandemie ihr Arbeitsverhältnis auf eigenen Wunsch vorzeitig (am 30.09.2020 anstatt 30.06.2021) beendet. Die dadurch frei gewordenen Personalmittel wurden auf der Grundlage eines im Januar 2021 eingereichten Antrages kostenneutral auf wissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte umgewidmet. Dadurch konnte der vorgezogene Ausfall von Frau Klinghardt gut aufgefangen werden.

Abschlussarbeiten

In der Projektlaufzeit der PLOT-Synthese wurde die MSc-Arbeit von Michael Pielorz an der Universität zu Köln erfolgreich abgeschlossen. Im Rahmen der Arbeit wurden sedimentologische und geochemische Analysen an dem PLOT-Sedimentkern vom Emanda See (Abb. 1) durchgeführt und bezüglich der dokumentierten Klima- und Umweltgeschichte interpretiert. Darüber hinaus wurden in der Projektlaufzeit zwei Doktorarbeiten an der Universität zu Köln abgeschlossen, die ausschließlich bzw. teilweise an Sedimentkernen des PLOT-Projektes durchgeführt wurden, und zwar von Doktoranden, die ihre Forschungsarbeiten anschließend als Post-Doktoranden im Rahmen der PLOT-Synthese weitergeführt haben. Während sich die Dissertation von Marlene Lenz (geb. Baumer), die überwiegend im Rahmen des PLOT-Hauptprojektes durchgeführt wurde, auf die Kerne von den Seen Emanda und Bolshoye Shuchye konzentrierte, hat Matthias Lenz für seine Dissertation, die im Rahmen eines separaten DFG-Projektes durchgeführt wurde, die Auswertung von geophysikalischen Daten und Sedimentkernen vom Imandra See auf der Kola Halbinsel um entsprechende Untersuchungen an Proben- und Datenmaterial des PLOT-Projektes vom Levinson-Lessing See erweitert.

Tagungsbeiträge

Die Präsentation der Projektergebnisse der PLOT-Synthese auf nationalen und internationalen Tagungen, Arbeitstreffen und Kolloquien war durch die Corona-Pandemie sehr stark behindert. So konnten beispielsweise Beiträge von Scheidt et al. zur Paläomagnetik des Kerns vom Levinson-Lessing See sowie von Fedorov et al. zum PLOT-Projekt, die für das "17th Castle Meeting" im Aug. 2020 in Trakoscan, Kroatien, sowie für die "4. Intern. Conf. Paleolimnology of Northern Eurasia" im Sept. 2020 in Irkutsk, Russland, mit Kurzfassungen angemeldet worden waren, aufgrund von Corona-bedingten Ausfällen der Tagungen nicht gehalten werden.

Daher beschränken sich die Tagungsbeiträge des TP 1 in der 26-monatigen Projektlaufzeit (Nov. 2019 - Dez. 2021) auf lediglich acht Vorträge und ein Poster auf internationalen Konferenzen, die überwiegend nicht in Präsenz vor Ort sondern online präsentiert wurden (Anlage 2).

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Die Projektergebnisse des TP 1 sind bisher in 17 begutachteten und zwei nicht begutachteten Veröffentlichungen präsentiert, von denen 15 in den Jahren 2021 und 2022 erschienen, eine im Druck und drei eingereicht sind (Anlage 3). Zu den TP 1-Autoren zählen neben den Antragstellern (Martin Melles und Bernd Wagner) und den aus der PLOT-Synthese finanzierten wissenschaftlichen Mitarbeitern (Raphael Gromig, Matthias Lenz, Marlene M. Lenz, geb. Baumer) auch die Wissenschaftler Stephanie Scheidt, die an der Universität zu Köln mit anderweitiger Finanzierung ihrer Stelle die Gesteins- und Paläomagnetik an den PLOT-Sedimentkernen durchführt und auswertet sowie Volker Wennrich, der auf einer Dauerstelle der Universität zu Köln als Laborleiter in die PLOT-Auswertungen eingebunden ist.

Mit den 19 Veröffentlichungen wurde ein erheblichen Erkenntnisgewinn bzgl. der Klima- und Umweltgeschichte im nördlichen Russland erzielt (siehe folgende Zusammenfassung der Ergebnisse). Acht der Arbeiten stellen Beiträge zu einem Sonderheft der Zeitschrift *Journal of Quaternary Science* dar, das aktuell von den leitenden Wissenschaftlern des bilateralen PLOT-Projektes (Martin Melles, Bernd Wagner, Grigoriy Fedorov) gemeinsam mit dem Leiter des norwegisch-russischen CHASE-Projektes (John Inge Svendsen, Bergen) sowie der federführenden US-amerikanischen Wissenschaftlerin der ICDP-Bohrungen am Elgygytgyn See (Julie Brigham-Grette, Amherst) als Gasteditoren zum Thema „Northern High Latitude Lakes - Quaternary Environmental and Climatic History“ herausgegeben wird.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die im Rahmen der PLOT-Synthese vom TP 1 erzielten Ergebnisse bauen auf das Proben- und Datenmaterial auf, das von sechs Seen (Abb. 1) im Rahmen des zentralen PLOT-Projektes oder vorangegangener Projekte in den hohen nördlichen Breiten Russlands gewonnen und bereits teilweise analysiert und ausgewertet wurde. In der Synthese-Phase des PLOT-Projektes sollten die Analysen an dem Kernmaterial vervollständigt und zum Abschluss gebracht werden, um aus den Daten neue Erkenntnisse insbesondere zur präglazialen Klima- und Umweltgeschichte entlang des durch die Seen gezeichneten West-Ost-Transektes über das gesamte nördliche Russland zu gewinnen. Im Folgenden sind die Ergebnisse des TP 1 von den untersuchten Seen sowie dem übergeordneten Transekt zusammengefasst (für Publikationen vor der PLOT-Synthese siehe Literaturverzeichnis in Kapitel 2.5, die Publikationen der PLOT-Synthese sind in Anlage 3 aufgeführt und beige-fügt).

Ladoga See

Die Ergebnisse vom Sedimentkern Co1309, der im Rahmen der Pilotstudie für das PLOT-Projekt 2013 nach seismischen Vorerkundungen aus einem Becken des Ladoga-Sees bei St. Petersburg gezogen werden konnte, sind bereits im Rahmen des zentralen PLOT-Projektes im Detail in den Veröffentlichungen von Andreev et al. (2019), Gromig et al. (2019), Kostrova et al. (2019) sowie Savelieva et al. (2019) dargestellt (5).

Im Rahmen der PLOT-Synthese wurden Diatomeen-Analysen im unteren, präglazialen Teil des Sedimentkernes abschließend ausgewertet und mit publizierten Diatomeen-Daten aus dem Umfeld des Sees verglichen (Ludikova et al. 2021). Die Ergebnisse liefern erstmals detaillierte Erkenntnisse zu den hydrologischen Bedingungen in der Region in der frühen Weichselzeit, nachdem das Ladoga-Becken in der vorangegangenen Eem-Warmzeit Teil einer Meeresverbindung zwischen Ostsee und Arktischem Ozean war. Die Diatomeenvergesellschaftungen in den untersuchten Sedimenten deuten auf eine hoch-energetische Flachwassersedimentation in einem Süßwassersee hin, in den marine Diatomeen aus eemzeitlichen Ablagerungen im Einzugsgebiet des Sees eingetragen wurden.

Daneben hat sich das TP 1 mit Erkenntnissen von dem Sedimentkern an der Veröffentlichung von Lebas et al. (2021) beteiligt, die unter Federführung von TP 2 erstellt wurde. Diese Arbeit fokussiert auf die reflexionsseismischen Daten, die 2013 im Rahmen der PLOT-Pilotstudie aus weiten Teilen des Ladoga-Sees gewonnen wurden und die tiefe Einblicke in die bis zu 90 m mächtige Verfüllung des Ladoga-Beckens mit Lockersedimenten gewähren. Aus der genetischen Interpretation der seismischen Sequenzen sowie der Verknüpfung mit dem gut datierten Sedimentkern Co1309 konnten umfangreiche neue Erkenntnisse zur regionalen Vereisungsgeschichte gewonnen werden, aber auch zu Seespiegelschwankungen und glazialtektonischen Aktivitäten im Verlauf des Postglazials.

Bolshoye Shuchye See

Die analytischen Arbeiten an dem 2016 gebohrten Kern Co1321 aus dem See Bolshoye Shuchye im Polarural, der mit ca. 54 m eine ungewöhnlich große Länge aufweist, konnten im Rahmen des zentralen PLOT-Projektes ebenfalls bereits sehr weit vorangetrieben werden. Die Daten konnten jedoch wegen Schwierigkeiten bei der Erstellung des Alters/Tiefen-Modells lange nicht final ausgewertet und publiziert werden. Daher beschränkte sich die Publikationstätigkeit in der zentralen PLOT-Phase auf Beiträge des TP 1 zur Veröffentlichung von Hafliðason et al. (2019), in der die ursprüngliche Interpretation der seismischen Daten aus dem See mit chronostratigraphischen Daten vom Kern Co1321 revidiert wurde.

Aufbauend auf dieser Revision konnten vom TP 1 das finale Altersmodell für den Kern erstellt und die komplexen Analysedaten ausgewertet und bei Lenz et al. (2021a) dargestellt und interpretiert werden. Daraus zeigt sich, dass der Kern Co1321 aus dem Seezentrum an der Basis nur wenige tausend Jahre älter ist als die wesentlich kürzeren Kerne des norwegisch-russischen CHASE-Projektes aus geringeren Wassertiefen in den nörd-

lichen und südlichen Seebereichen. Auf der anderen Seite hat der PLOT-Kern mit Sedimentationsraten von teilweise über 5 mm/a eine wesentlich höhere zeitliche Auflösung, die es erlaubt, auch kurzfristige Klimaereignisse mit Dauern von wenigen Jahrzehnten oder Jahrhunderten zu detektieren. Darüber hinaus reicht der Kern Co1321, anders als die norwegisch-russischen Kerne, bis in die Zeit des Mittelweichsel-Interstadials. Er liefert damit erste wichtige Erkenntnisse zu den Klima- und Umweltbedingungen in der damaligen Zeit und während des Klimaumschwungs in das Spätweichsel-Glazial.

Darüber hinaus wurde der Sedimentkern Co1321 aufgrund seiner guten Alterskontrolle und stratigraphischen Reichweite in eine DNA-Studie von Schulte et al. (einger.) einbezogen, bei der die Verbreitung und Migration von zwei Lärchen-Arten (*Larix sibirica* und *Larix gmelinii*) in Sibirien seit dem letzten Glazial rekonstruiert wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verbreitung der Lärchen-Arten primär durch Klimaveränderungen geprägt wurden, woraus Implikationen für zukünftige Vegetationsänderungen im Zuge des anthropogenen Klimawandels abgeleitet wurden.

Levinson-Lessing See

Auch bei dem im Frühjahr 2017 gebohrten, ca. 46 m langen Kern Co1401 aus dem Levinson-Lessing See auf der Taymyr-Halbinsel (Abb. 1) verzögerte sich die Publikation der umfangreich erhobenen Kerndaten aufgrund von Schwierigkeiten bei der Erstellung des Alters/Tiefen-Modells. Deswegen beschränkte sich die Publikationstätigkeit in der zentralen PLOT-Phase auf die Auswertung der seismischen und hydroakustischen Daten, die im Sommer 2016 in einem dichten Netz über den gesamten See erhoben wurden (Lebas et al. 2019). Die Auswertung erfolgte federführend durch TP 2, mit Beiträgen von TP 1 insbesondere zu Ergebnissen vom Kern Co1401. Sie lieferte wichtige neue Erkenntnisse zur Vereisungsgeschichte und zu Seespiegelschwankungen im Levinson-Lessing See seit dem Frühweichsel-Glazial.

Im Rahmen der PLOT-Synthese wurden vom TP 1 das endgültige Alters/Tiefen-Modell für den Kern Co1401 erstellt und die sedimentologischen, geochemischen und palynologischen Daten bezüglich der regionalen Klima- und Umweltgeschichte interpretiert. Dabei beschränkten sich die Auswertungen auf die obersten ca. 38 m des Sedimentkerns, da die tieferen Kernsegmente offensichtlich bei der Bohrung Material nicht nur in der Zieltiefe, sondern teilweise auch in den überlagernden Sedimenten aufgenommen haben. Für das Altersmodell spielten in diesem Fall die paläomagnetischen Daten eine besondere Rolle. Zunächst konnte mittels gesteinsmagnetischer Analysen gezeigt werden, dass die Sedimente Schwankungen in der relativen Paläointensität (RPI) des Erdmagnetfelds sehr gut aufgezeichnet haben (Scheidt et al. 2021). Das ermöglichte zum einen, die detektierten RPI-Schwankungen mit publizierten RPI-Daten zu vergleichen und damit als Fixpunkte für das Alters/Tiefen-Modell zu nutzen, und lieferte zum anderen die erste hochauflösende RPI-Kurve für die letzten 62.000 Jahre, die zukünftig als wichtiger Master-Record für paläomagnetische Arbeiten dienen kann (Scheidt et al. 2022).

Die aus der Sedimentzusammensetzung und dem ungewöhnlich belastbaren Alters/Tiefen-Modell des Kerns Co1401 vom TP 1 abgeleitete Rekonstruktion der Klima- und Umweltbedingungen liefert wichtige Einblicke in die Geschichte der Region seit dem späten Frühweichsel-Glazial (Lenz et al. 2021b). Dabei zeigt sich unter anderem, dass die kurzfristigen Klimaschwankungen in der Weichselzeit im Bereich des Atlantiks die Taymyr Halbinsel erst nach dem Abschmelzen des Eurasischen Eisschildes am Ende des letzten Glazials beeinflusst haben.

Darüber hinaus wurden an dem Sedimentkern Co1401 aus dem Levinson-Lessing See DNA-Analysen durchgeführt und mit entsprechenden Analysen an vier weiteren Kernen aus Sibirien zusammengeführt (von Hippel et al., *eing.*). Die Ergebnisse liefern erstmals detaillierte Erkenntnisse zur räumlichen und zeitlichen Kovariation von Pflanzen und Pilzen. Es zeigt sich, dass die Klimaschwankungen in den vergangenen 47.000 Jahren deutliche Auswirkungen nicht nur auf die Pflanzen- sondern auch auf die Pilzvergesellschaftungen hatten, wobei die funktionellen Gruppen der Pilze bei den Klimaempfindlichkeiten antagonistisch reagiert haben. Die Erkenntnisse sind für Vorhersagen der Waldausbreitung, Artenvielfalt und Ökosystemstabilität im Zuge des aktuellen Klimawandels von großer Bedeutung.

Taymyr See

Die im Sommer 2015 aus dem tiefsten Bereich des Taymyr Sees gewonnenen hydroakustischen Daten sowie die im Frühjahr 2017 im nördlichen Teil des Sees gebohrten Sedimentkerne Co1407 und Co1408 (Abb. 1) sind im Rahmen der zentralen PLOT-Phase nur ansatzweise analysiert und ausgewertet worden. Daher liegen aus der Zeit keine Manuskripte oder Veröffentlichungen zu diesem Daten- und Probenmaterial vor.

Tiefer in die Auswertung eingestiegen wurde erst im Rahmen der PLOT-Synthese. Die hydroakustischen Daten wurden vom TP 2 prozessiert und bei den Sedimentkernen wurden vom TP 1 die Analysen von Einzelproben abgeschlossen, wobei besonderes Gewicht auf die Gewinnung von Altersdaten mittels Radiokarbon (^{14}C) und Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) Datierung sowie Pollen-Stratigraphie gelegt wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass der Taymyr See seit dem letzten Glazial eine bewegte Geschichte erlebt hat, die durch Veränderungen im Klima, in der regionalen Vereisung und im globalen Meeresspiegel verursacht wurde (Gromig et al. 2021). Der See war im letzten Glazial ausgetrocknet, ehe er vermutlich durch eine Eiszunge vor seinem Ausfluss bis auf 20 m über dem heutigen Niveau aufgestaut wurde. Der Ausfluss des Eisstausees im frühen Holozän hat den Seespiegel kurzfristig bis ca. 15 m unter das heutige Niveau gesenkt.

Die erheblichen Seespiegelschwankungen in Kombination mit der Größe des Taymyr-Sees legten die Vermutung nahe, dass sich das beschriebene Ausflussereignis des Eisstausees auf die Sedimentation auf dem vorgelagerten Karasee-Schelf (Abb. 1) ausgewirkt hat. Tatsächlich deuteten erste publizierte Analysen an einem vom FS "Polarstern" vor dem Ausfluss des Taymyr-Sees gewonnenen Kern (PS2719) eine Veränderung der Sedimenta-

tionsbedingungen in den entsprechend alten Sedimenten an. Daher wurde vom TP 1 der Sedimentkern nach Köln überführt und mit zusätzlichen geochemischen, granulometrischen, gesteinsmagnetischen und paläoökologischen Analysen untersucht. Die Ergebnisse liefern detaillierte neue Erkenntnisse zur Überflutung des Schelfs nach dem letzten Glazial und insbesondere zum Einfluss des Ausflusses vom Taymyr See im Frühholozän auf die Schelfsedimentation (Gromig et al. *eing.*). Das Ausflussereignis spiegelt sich auf dem Schelf unter anderem in erhöhten Werten der magnetischen Suszeptibilität wider, die sich auch in anderen Sedimentkernen aus der Region andeuten.

Emanda See

Die Feldarbeiten am Emanda See wurden im Sommer 2017 durchgeführt. Dabei handelte es sich um eine Pilotexpedition, mit der das Potential des zuvor unerforschten Sees für die Paläoklimaforschung untersucht werden sollte. Zur Minimierung der Transportkosten beschränkten sich die Feldarbeiten auf hydro-akustische Messungen und die Verwendung einer recht leichten Kerntechnik, mit der ein nur 6 m langer Pilotkern (Co1412) gewonnen wurde. Das Daten- und Probenmaterial wurde in der zentralen PLOT-Phase initial analysiert.

Die Auswertearbeiten an dem Material wurden im Rahmen der PLOT-Synthese vervollständigt und die Ergebnisse wurden in vier Veröffentlichungen präsentiert und interpretiert. Unter Federführung vom TP 1 konnten Baumer et al. (2021) anhand der hydro-akustischen Profile sowie chronostratigraphischer, sedimentologischer und geochemischer Daten von dem Sedimentkern zeigen, dass die Sedimente im Emanda See mit einer geringen Rate gebildet wurden, und somit eine recht geringe zeitliche Auflösung aufweisen, jedoch ungewöhnlich weit in die Vergangenheit reichen. Der 6 m lange Sedimentkern spiegelt die Klima- und Umweltgeschichte in der Region seit zumindest dem frühen Mittelweichsel wider. Da die gekernte Sedimentabfolge nach den hydro-akustischen Messungen von wenigstens 9 m weiteren stratifizierten Sedimenten unterlagert wird (bis zu einer Multiplen in ca. 15 m Tiefe) ist davon auszugehen, dass der Emanda See einer der ganz wenigen Seen im Norden Russlands ist, der eine lückenlose Abfolge von Sedimenten bis in das Marine Isotopenstadium (MIS) 5, möglicherweise einschließlich des Eems oder darüber hinaus, enthält.

Aufbauend auf den Arbeiten von Baumer et al. (2021) führten Andreev et al. (2022) am Sedimentkern Co1412 Pollen- und Chironomiden-Analysen durch und berechneten Absolutwerte der Juli-Temperaturen und der Jahresniederschläge mittels der *Modern Analogue Technique* (MAT) Transferfunktion. Die Ergebnisse liefern detaillierte neue Erkenntnisse zur Klima- und ökologischen Geschichte in der Region seit der Weichselzeit. Allerdings steht die zeitliche Einstufung der präholozänen Sedimente im Widerspruch zu dem zuvor publizierten Alters/Tiefen-Modell.

Darüber hinaus sind DNA-Analysen an dem Sedimentkern Co1412 aus dem Emanda-See in die bereits erwähnte Studie von Schulte et al. (*eing.*) zur Verbreitung und Migration

von zwei Lärchen-Arten (*Larix sibirica* und *Larix gmelinii*) in Sibirien seit dem letzten Glazial eingeflossen. Außerdem wurden durch das TP 3 der PLOT-Synthese die Vergesellschaftungen und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse in Diatomeen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$) in den spätglazialen und holozänen Sedimenten des Kerns Co1412 analysiert (Kostrova et al. 2021). Die Ergebnisse liefern wichtige ergänzende Informationen zur Klima- und Umweltdynamik in der außergewöhnlich kontinental geprägten Region des Emanda Sees.

Elgygytgyn See

Das im Rahmen früherer BMBF-Projekte und unter Ko-Finanzierung des ICDP gewonnene Kernmaterial aus dem Elgygytgyn See liefert die derzeit besten Daten zur langfristigen Klimaentwicklung der Arktis seit dem Pliozän. Um zu untersuchen, wie repräsentativ diese Daten für die gesamte russische Arktis sind wurden während der zentralen PLOT-Phase weiterführende Auswertungen des Kernmaterials durchgeführt, die in sieben Veröffentlichungen präsentiert und interpretiert sind. In den Publikationen von Wennrich et al. (2016) und Melles & Wennrich (2017) wurden bereits vorher veröffentlichte Detailkenntnisse zu den drei Bohrkernen aus dem Elgygytgyn-Krater bzw. zur Klimaentwicklung am Elgygytgyn-See im Verlaufe des Quartärs, wie sie in den Seesedimenten dokumentiert ist, zusammengeführt und übergeordnet diskutiert. Andreev et al. (2016), Herzsuh et al. (2016) und Zhao et al. (2018, 2019) diskutierten palynologische Ergebnisse aus ausgewählten Zeitabschnitten im Lichte der regionalen Klima- und Umweltgeschichte. Und schließlich präsentierten Fedorov et al. (2019) eine modifizierte Rekonstruktion der Seespiegelschwankungen seit dem MIS 6 (Saale-Kaltzeit), abgeleitet aus der Zusammensetzung und neuen Datierungen an kurzen Sedimentkernen aus dem Flachwasserbereich des Elgygytgyn-Sees sowie Seeterrassen oberhalb des heutigen Seespiegels.

Im Rahmen der PLOT-Synthese sind unter Federführung bzw. Mitwirkung des TP 1 vier Publikationen entstanden, welche die Erkenntnisse zur Vegetations-, Vereisungs- und Klimageschichte am Elgygytgyn See behandeln. Andreev et al. (2021) untersuchten den Einfluss des Meteoriteneinschlags, der vor ca. 3,58 Ma den Elgygytgyn-Krater geschaffen hat, auf die damalige Vegetation. Die Arbeit präsentiert und diskutiert die Quantifizierung von Pollen, Nicht-Pollen Palynomorphen und Holzkohlen in Sedimentserien, die in Flusstälern in der Region aufgeschlossen sind und einen "Chaotischen Horizont" enthalten, der mit dem Impakt-Ereignis in Verbindung gebracht wird. Die Daten deuten darauf hin, dass der Meteoriteneinschlag zu weit verbreiteten Waldbränden geführt hat. Eine nachhaltige Veränderung der Vegetation durch den Einschlag konnte nicht festgestellt werden; diese Aussage ist jedoch durch Probleme bei der Datierung der Sedimentserien eingeschränkt.

Die Vegetationsgeschichte zwischen ca. 3380 und 3180 ka BP wird von Andreev et al. (2020) thematisiert. Dieser etwa 200.000 Jahre umfassende Zeitraum schließt das MIS M2-Abkühlungsereignis sowie die Mittel-Pliozäne Wärmeperiode (*mid-Pliocene Warm Period*, mPWP) ein. Mittels einer deutlichen Verdichtung der Pollendaten in den entsprechenden Sedimenten konnten die klimabedingten Vegetationsveränderungen in einzigartiger Jahrtausend-Auflösung rekonstruiert und interpretiert werden. Daneben deutet das Auf-

treten zahlreicher auf Mist gedeihender (*coprophilous*) Pilzsporen die Anwesenheit von grasenden Großsäugern um den See während der M2-Abkühlung hin.

Zhao et al. (2022) konzentrierten ihre palynologischen Analysen auf den Mittel-Pleistozänen Übergang (*Mid-Pleistocene Transition*, MPT). Zu diesem Zweck wurden für die Zeitscheiben 2150 - 2100, 1091 - 715 und 240.5 - 181.5 ka BP bereits veröffentlichte Pollendaten und Biomrekonstruktionen synthetisiert und um Pollen-Diversitätsanalysen erweitert. Die Daten bestätigen, dass die Vegetationsänderungen am Elgygytgyn See maßgeblich durch die Glazial-Interglazial Zyklen als Folge von regelmäßigen Veränderungen der Erdbahnparameter kontrolliert sind. Dabei wurde die Expansion von Waldbiomen in der Region durch Maxima in der "Schiefe der Ekliptik" ausgelöst. Eine langfristige Abnahme in den Baum- und Strauch-Populationen seit der MPT ging mit einer Abnahme des Florenreichtums einher. Die dafür ursächliche tendenzielle Abnahme der Temperaturen und Niederschläge wird auf positive Rückkopplungen durch die hohe Schnee- und Eis-Albedo zurückgeführt.

Darüber hinaus wurde im Rahmen der PLOT Synthese von Melles & Wennrich (2020) ein nicht begutachteter Kommentar zu einem Manuskript von Zhang et al. in *Climate of the Past Discussions* veröffentlicht. Zhang et al. behaupten in ihrem Manuskript auf Grundlage von Modellrechnungen, dass der Elgygytgyn See im Verlauf des Quartärs mehrmals von einem mehr als 2 km dicken Eisschild überfahren worden ist. Diese Behauptung wird in dem Kommentar mit Verweis auf die geologischen Evidenzen, die eindeutig eine durchgehende Eisfreiheit belegen, sowie die entsprechenden Publikationen, widerlegt.

Transekt-Vergleiche

Durch den Vergleich der Ergebnisse von den sechs im Rahmen des PLOT-Projektes untersuchten Seen soll entschlüsselt werden, wie das Klima und die Umwelt im nördlichen Eurasien entlang des ca. 6000 km langen PLOT Transektes (Abb. 1) im Verlauf des Spätquartärs auf externe Einflüsse und Rückkopplungsmechanismen reagiert haben. Diese übergreifende Betrachtung und Bewertung der Einzelergebnisse steht noch sehr am Anfang, weil ein großer Teil der Einzelergebnisse erst jetzt zur Publikation geführt werden konnte. Ursächlich dafür sind überwiegend Verzögerungen bei der Fertigstellung der Alters/Tiefen-Modelle für die Seesedimentkerne.

Vom TP 1 wurden erste vorläufige Erkenntnisse in der Einführungsveröffentlichung zum Sonderheft der Zeitschrift "Boreas" präsentiert, das in der zentralen PLOT-Phase von Wissenschaftlern des TP 1 gasteditiert wurde (Melles et al. 2019). Weiter gehende Aussagen wurden in der Einführungsveröffentlichung zum Sonderheft der Zeitschrift "Journal of Quaternary Science" gemacht, das während der PLOT-Synthese gasteditiert wurde (Melles et al. eing.). Darüber hinaus wurde von Fedorov et al. (2020) in einer nicht begutachteten Veröffentlichung eine kurze übergeordnete Einführung in das PLOT-Projekt präsentiert.

2.1.3 Wissenschaft TP 2 (Universität zu Kiel)

Zielsetzung

Ziel des Teilprojektes 2 (Seismik - Tektonische und sedimentäre Geschichte der Seen) des Verbundprojektes PLOT-Synthese war es, die in dem Projekt PLOT gesammelten seismischen Daten unter Einbeziehung der Bohrerergebnisse zu interpretieren. Für die Seen Levinson-Lessing, Taymyr und Ladoga sollte die strukturelle Entwicklung rekonstruiert werden. Konkrete Zielsetzungen waren a) Korrelation zwischen seismischen und Bohrdaten, um die Punktinformationen aus den Bohrungen in der Fläche zu interpretieren, b) die Weiterentwicklung der seismisch-stratigraphischen Modelle der Seen Levinson-Lessing und Taymyr, und c) die Verbesserung des Modells der sedimentären und tektonischen Entwicklung des Ladoga Sees.

Arbeitsprogramm

Die Basis der geplanten Arbeiten waren die in dem PLOT-Projekt gesammelten seismischen Daten der Seen Levinson-Lessing, Taymyr und Ladoga. Diese Daten lagen komplett bearbeitet vor und sind auch bereits vorläufig seismisch-stratigraphisch interpretiert worden. Als die erste Interpretation durchgeführt wurde, standen die Informationen aus den Bohrungen jedoch noch nicht zur Verfügung. Für eine weitergehende Interpretation wurden daher in diesem Synthese-Projekt alle verfügbaren Daten in die Interpretation integriert. Dazu wurden folgende Schritte durchgeführt: 1) Korrelation zwischen seismischen und Bohrlochdaten; 2) Weiterführende stratigraphische Interpretation der Daten, um die sedimentologische und tektonische Entwicklung der Seen zu rekonstruieren.

Von grundlegender Bedeutung für eine gemeinsame Interpretation der seismischen und Bohrlochdaten ist die Korrelation dieser beiden Datensätze, die nicht trivial ist, da die seismischen Daten in Zweiweg-Laufzeit vorliegen, während Informationen aus den Bohrkernen in Tiefe in Metern vorliegen. Um diese Daten zu korrelieren, haben wir die am Kern gemessenen Parameter (p-Wellen Geschwindigkeit und Dichte) genutzt. Diese können verwendet werden, um synthetische Seismogramme zu berechnen; allerdings haben Tests gezeigt, dass die Berechnung synthetischer Seismogramme zu keiner signifikanten Verbesserung im Vergleich zu einer kombinierten Korrelation mittels Geschwindigkeiten und prägnanter Strukturen führt, da in den synthetischen Seismogrammen aufgrund von Messfehlern in den physikalischen Daten auch diverse ‚falsche‘ Reflektoren enthalten sind. So konnten für alle untersuchten Seen verlässliche Korrelationen zwischen der Seismik und den Bohrlochdaten generiert werden (siehe Ergebnisse). Unter Verwendung der Ergebnisse aus den Bohrungen wurden dann alle Daten mittels der Software IHS Kingdom interpretiert.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Seismische Daten wurden für die Seen Ladoga, Levinson-Lessing und Taymyr interpretiert. Für die Seen Ladoga und Levinson-Lessing existiert ein Messnetz über die gesamte See-

fläche, während für den Taymyr-See nur für einen kleineren Teil der Gesamtfläche des Sees Daten vorhanden sind. Für alle Seen sind Bohrungen vorhanden, die vor allem im TP 1 analysiert wurden. In dem TP 2 wurden die seismischen Daten unter Einbeziehung der Bohrdaten interpretiert.

Korrelation zwischen seismischen und Kerndaten

In einem ersten Schritt wurden seismische und Kerndaten miteinander korreliert (Abb. 2 - 4). Die Korrelation zwischen der Seismik und dem Kern Co1309 aus dem Ladoga See ist in Abbildung 2 gezeigt. Die Korrelation zeigt, dass von der seismischen Einheit S2 nur der obere Teil beprobt wurde, was den unteren 9.45 m des Kernes entspricht. Die Lithologie in der seismischen Einheit S2 ist variabel und besteht aus einer Wechsellagerung von Sand-, Ton- und Schluffschichten. OSL-Alter und Pollenstratigraphie (in TP1 erstellt, Gromig et al., 2019) zeigen, dass die Sedimente dieser Abfolge während des MIS 5, vermutlich vom Eem-Interglazial (MIS 5e) bis zur Mittleren Weichseiszeit (MIS 5a), abgelagert wurden. Die Oberkante der Einheit (markante Reflexion Sb2) korreliert mit einer Sandschicht. Das Altersmodell zeigt hier einen ausgeprägten Hiatus. Die seismische Einheit S3 korreliert mit der Lithologischen Zone IV (13,30 bis 2,02 m), die im Wesentlichen aus klastischen Warven besteht. Diese werden in den Sedimentecholotdaten (Abb. 2b) als kontinuierliche parallele Reflektoren erfasst. Die aus dem Kern Co1309 abgeleitete Warvenchronologie

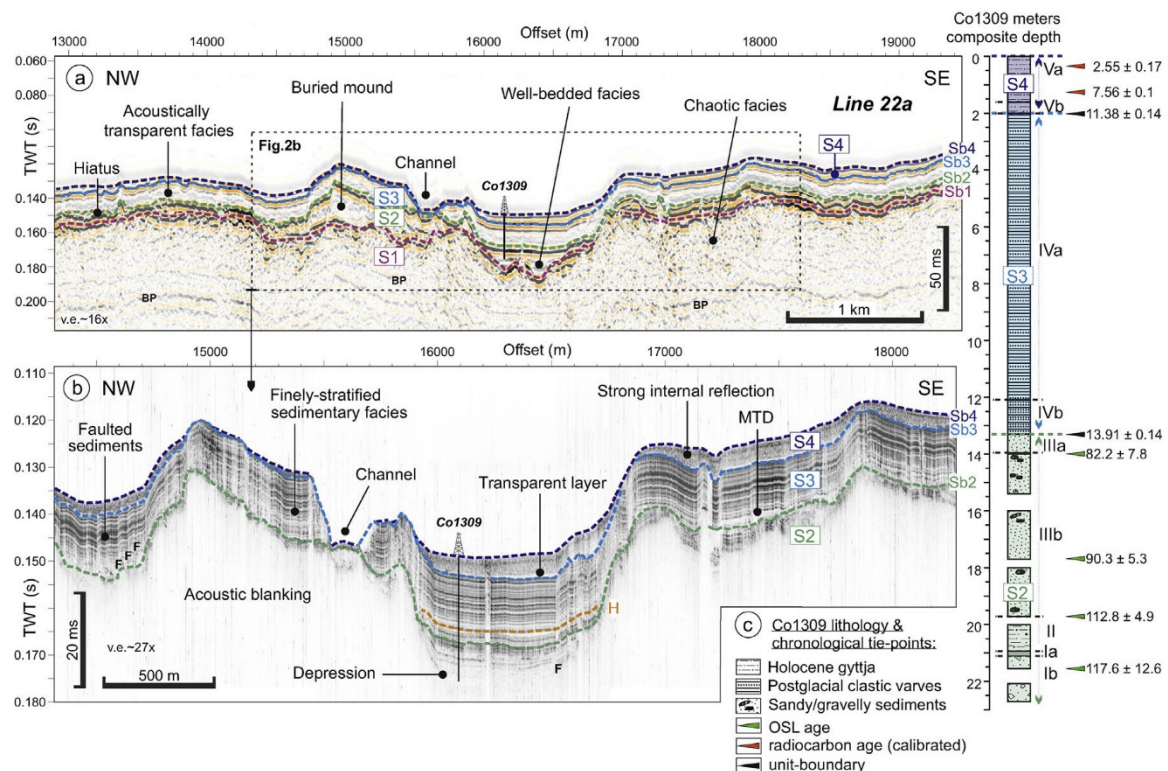


Abb. 2: (a) Seismisches Profil aus dem Ladoga See über den Kern Co1309. Vier seismische Einheiten wurden identifiziert. Die gestrichelte grüne Linie markiert einen Hiatus (siehe Text). (b) Sediment Echolot Profil über den Kern Co1309. (c) Lithologische Zusammensetzung des Kernkomposits Co1309, Alter und lithologische Zonen (LZ I bis V) nach Gromig et al. (2019) und Andreev et al. (2019). Abbildung aus Lebas et al. (2021).

(siehe TP 1, Gromig et al. 2019) deutet auf eine Ablagerung von $13,910 \pm 140$ bis $11,380 \pm 140$ cal a BP hin, mit einer daraus resultierenden mittleren Sedimentationsrate von 4,4 mm/a (Gromig et al., 2019). Die seismische Einheit S4 besteht aus Gytija; diese Einheit wurde von 11,380 cal a BP bis heute abgelagert. Die durchschnittliche Sedimentationsrate beträgt 0,18 mm/a und ist damit ~24-mal niedriger als die während der Bildung von S3.

Die Korrelation zu dem 45.9 m langen Sedimentkern aus dem Levinson-Lessing-See ist in Abbildung 3 gezeigt. Von den fünf identifizierten seismischen Einheiten wurden drei mittels der Bohrung beprobt. Die seismische Einheit III umfasst die sedimentäre Zone V. In der Seismik ist diese Zone durch kontinuierliche, parallele Reflektoren mittlerer Amplitude charakterisiert, die als marine Sedimente interpretiert werden. Das Aussehen und die Konsistenz der erbohrten Sedimente sowie die deutlichen Veränderungen und Muster in den geochemischen und magnetischen Daten deuten darauf hin, dass diese Einheit im Kern durch Bohrartefakte stark gestört ist. Daher ist eine sedimentologische Charakterisierung schwierig. Die seismische Einheit II ist durch unregelmäßige, diskontinuierliche, subhorizontale und subparallele Reflexionen charakterisiert. Sie umfasst die sedimentären Zonen II – IV (6,5 – 38,0 m); die seismische Einheit kann jedoch nicht weiter unterteilt werden. Die Basis der sedimentären Zone IV hat ein Alter von ca. 62 ka, während der Top der Zone II ca. 14 ka alt ist. Das Klima während der Ablagerung der sedimentären Zone IV (spätes MIS 4 und frühes MIS 3) war kalt und relativ feucht. Trotz des relativ feuchten Klimas deuten die seismischen Daten sowie die Häufigkeit des Auftretens von Turbiditen auf einen niedrigen Seespiegel hin. Die sedimentäre Zone III wurde im mittleren und späten MIS 3 abgelagert; das Klima war in diesem Zeitraum trockener und milder im Vergleich zur vorherigen Phase. Im MIS 2 (sedimentäre Zone 2) blieb es trocken und deutlich kälter. Die seismische Einheit I entspricht der sedimentären Zone I (14 ka BP bis heute), die unter deutlich wärmeren und feuchteren Bedingungen abgelagert wurde.

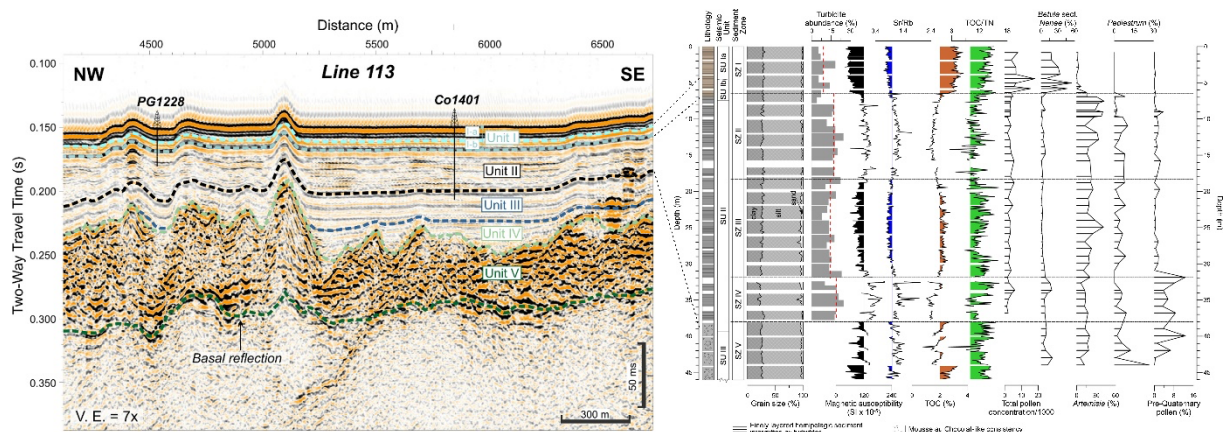


Abb. 3: Seismisches Profil aus dem Levinson-Lessing See über die Bohrungen Co1401 und PG1228 (links) und lithologische Beschreibung sowie gemessene Parameter des Kerns Co1401 (rechts). Modifiziert nach Lenz et al. (2021).

Im Taymyr See wurden 2 Kerne erbohrt (Abb. 4). Die seismischen Daten und Kerndaten korrelieren gut miteinander. Insbesondere die ausgeprägte Diskordanz in den seismischen Daten ist in den Kerndaten deutlich sichtbar.

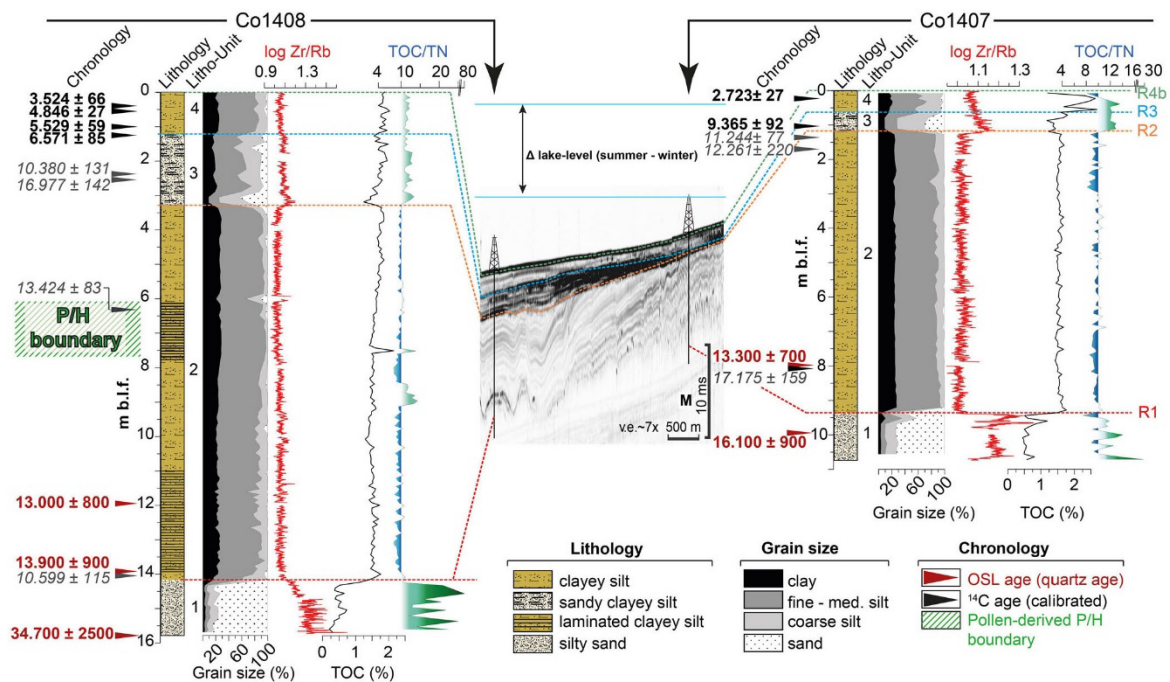


Abb. 4: Korrelation der Sediment Echolotdaten aus dem Taymyr See mit den Bohrungen Co1407 und Co1408. Dick gedruckte Alter sind verlässlich, während kursiv markierte Alter verworfen wurden (aus Gromig et al., 2021).

Weiterentwicklung der seismisch-stratigraphischen Modelle der Seen Levinson-Lessing und Taymyr

Ein erstes seismisch-stratigraphisches Modell des Levinson-Lessing Sees wurde bereits im Vorgängerprojekt entwickelt (Lebas et al., 2019), allerdings ohne Einbeziehung der Daten aus der Bohrung. Insgesamt wurden 5 seismische Einheiten identifiziert (Abb. 3). Dabei handelt es sich um die glaziale Einheit V, die sub- bzw. pro-glaziale Einheit IV, die marine Einheit III, die fluviatile-lakustrine Einheit II und die lakustrine Einheit I. Insbesondere die Einheiten I und II können durch die Bohrung jetzt sehr viel detaillierter interpretiert und für eine integrative Analyse der Klimageschichte dieses Sees genutzt werden. Die Ergebnisse sind im *Journal of Quaternary Science* veröffentlicht (Lenz et al., 2021). Details zu der gemeinsamen Interpretation der seismischen und Kern-Daten sind bereits oben zusammengefasst. Die Umweltveränderungen im Einzugsgebiet des Levinson-Lessing Sees werden hauptsächlich durch zwei Faktoren beeinflusst, die die lokalen Klimabedingungen steuern: die sommerliche Sonneneinstrahlung und die Variationen der Gletscherausdehnung auf der Nordhalbkugel. Generell sind die Klimaschwankungen nicht extrem stark ausgeprägt; das Einzugsgebiet des Levinson-Lessing Sees scheint seit dem MIS 5d-5b nicht von einem Eisschild bedeckt gewesen zu sein. So weit reicht der Kern zwar nicht zurück, aber die seismischen Daten zeigen, dass die seismische Einheit V (Abb. 3) die jüngste

glaziale Einheit darstellt. Diese Einheit besteht aus Stauch- bzw. Endmoränen, die der Gletscher nach seinem Rückzug hinterlassen hat. Die lineare Interpolation des Altersmodells ergibt, dass die seismische Einheit vor ~110 – 115 ka abgelagert worden ist. Während des Abschmelzens der Gletscher sind die Sedimentationsraten vermutlich jedoch deutlich höher gewesen, so dass die seismische Einheit V vermutlich jünger ist. Daher vermuten wir, dass die seismische Einheit V während der Eisvorstöße des Barents-Kara Eischildes (BKIS) im MIS 5d-5b (~85-115 ka) abgelagert wurde. Der Zeitraum 85 ka bis 62 ka ist in den seismischen Einheiten IV und III enthalten, die entweder nicht erbohrt wurden oder stark gestört sind. Die detaillierte Analyse der Kerndaten der seismischen Einheit II zeigt nur geringfügige Veränderungen zwischen einem kalten/nassen späten MIS 4 und dem frühen MIS 3, einem milden/trockenen mittleren und späten MIS 3 und einem kalten/trockenen MIS 2. Die seismische Einheit I ist im Holozän abgelagert worden mit insgesamt wärmeren und feuchteren Bedingungen, die zu einem hohen Seespiegel geführt haben.

Die seismischen Daten aus dem Taymyr See wurden gemeinsam mit den verfügbaren Kernen interpretiert. Diese Arbeiten sind im *Journal of Quaternary Science* veröffentlicht (Gromig et al, 2021). Die hydroakustischen und seismischen Daten des Taymyr Sees erlauben eine Unterteilung der sedimentären Abfolge in vier seismisch-stratigraphische Einheiten (SU1 bis SU4), die durch prominente Reflektoren (R1 - R4) begrenzt werden (Abb. 5). SU1 entspricht der untersten und ältesten seismischen Einheit. Die Oberfläche dieser Einheit ist als der akustisch harte Reflektor R1 in den seismischen Profilen 500 und 600 erkennbar (Abb. 5). Dort zeigt R1 eine unregelmäßige und teilweise hügelige Form, mit unterbrochenen und nur schwach ausgeprägten Reflektoren, die auf grobkörnige oder stark verfestigte Sedimente schließen lassen. Die Basis von SU1 ist auf keinem aufgezeichneten Profil sichtbar, da das akustische Signal nur eine begrenzte Eindringung hat. SU1 wird von SU2 überlagert; SU2 ist in allen hydroakustischen und seismischen Profilen sichtbar (Abb. 5). Diese seismische Einheit ist stratifiziert und weitgehend ungestört. Gaseinschlüsse treten unregelmäßig auf, führen aber nicht zum akustischen Blanking der Sedimente an und zwischen den beiden Bohrungen Co1407 und Co1408 (Abb. 5b). Die Reflektoren sind im Allgemeinen nach Süden, d.h. in Richtung des Beckenzentrums, geneigt. Sie weisen eine wellenförmige Form auf, wahrscheinlich als Folge der Sedimentation auf das hügelige Relief von Reflektor R1 (Abb. 5). Dies deutet auf eine Bildung bei relativ hohem Seespiegel hin. Die geneigten Reflektoren von SU2 bis zu einer Tiefe von mindestens 25 m unter dem heutigen Seespiegel werden von einem akustisch harten seismischen Reflektor abgeschnitten, der im Folgenden als R2 bezeichnet wird (Abb. 5b-d), was darauf hindeutet, dass R2 zumindest bis zu dieser Wassertiefe eine Erosionsfläche ist. Die überlagernde Einheit SU3, die oben von dem Reflektor R3 begrenzt wird, zeigt eine deutliche Ausdünnung zum Seeufer hin sowie eine schlechte Stratifizierung im flachen Wasser und kaum Eindringung in den hydroakustischen Daten im tiefsten Teil des Sees (Abb. 5b und c). Diese Merkmale deuten auf eine Flachwasserumgebung hin. Die Sedimente über dem Reflektor R3 repräsentieren die Einheit SU4. Diese seismische Einheit ist in größeren Wassertiefen, und damit auch an der Lokation der Bohrung PG1227, in die Untereinheiten SU4a und SU4b unterteilt, die durch den Reflektor R4a getrennt sind, während sie in flache-

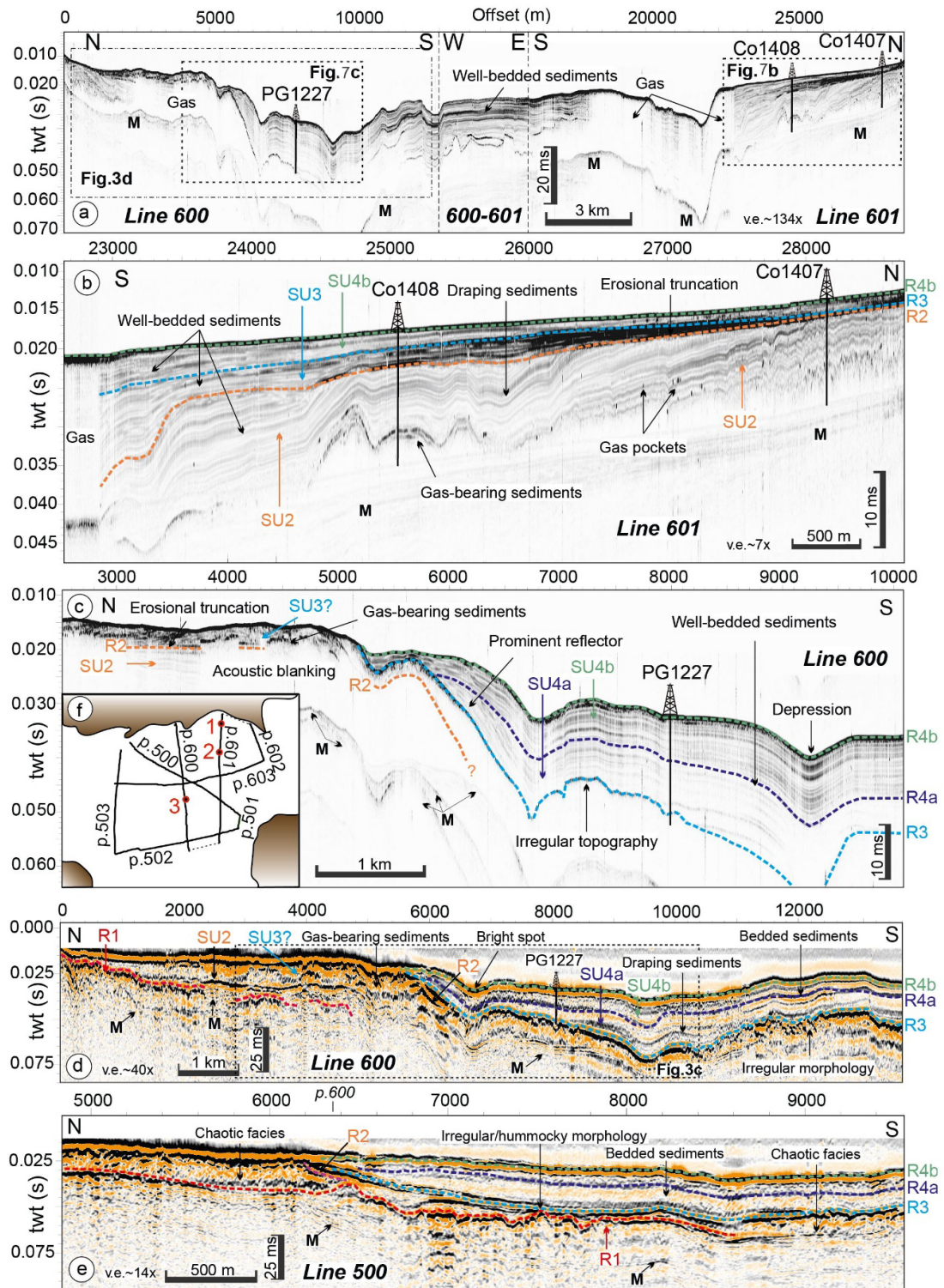


Abb. 5: Hydroakustische und seismische Profile aus dem Taymyr See. (a) Zusammengesetztes Hydroakustisches Profil bestehend aus den Linien 600, 600-601, und 601. Das Profil zeigt die Sedimentstruktur im zentralen Teil des Taymyr Sees. (b) Details des Profils über die Kernlokationen Co1407 und 1408. (c) Details des Profils über die Kernlokation PG1227. (d) Seismisches Profil über die Kernlokation PG1227. Der Reflektor R3 wurde an dieser Lokation erbohrt. Reflektor R1 ist nördlich der Bohrlokation im flachen küstennahen Bereich sichtbar. (e) Seismisches Profil (Detail der Linie 500), das die unregelmäßige/hügelige Form des Reflektors R1 hervorhebt und die erosive Natur von R2 und R3 illustriert. (f) Lageplan der Profile und Bohrungen (1 = Co1407, 2 = Co1408, und 3 = PG1227). Aus Gromig et al. (2021).

ren Gewässern auf SU4b beschränkt ist. Das keilförmige Auftreten von SU4a und die erhebliche Ausdünnung von SU4b mit abnehmender Wassertiefe lassen vermuten, dass die Sedimente im Zuge eines steigenden Seespiegels abgelagert wurden.

Die Verbindung zwischen den seismischen Einheiten (SU1 – 4) und den lithologischen Einheiten (LU1-4) ist in Abbildung 6 gezeigt. Die Basis der Kerndaten deuten auf ein weitgehend, wenn auch nicht vollständig ausgetrocknetes Becken hin, in dem fluviale oder alluviale Ablagerungen vorherrschten. Diese trockenen Bedingungen begannen vermutlich früher als 30 ka BP. Ab 16-14 cal ka BP staute eine Zunge des Karasee-Eisschildes das Tal des Unteren Taymyra-Flusses auf und bewirkte einen Anstieg des Seespiegels im Becken des Taymyr-Sees auf bis zu 20 m über das heutige Niveau. Der Zusammenbruch der Zunge und geringe Niederschläge führten zu einer zweiten Austrocknungsphase mit einem Seespiegel, der mindestens 32 m unter dem heutigen Niveau lag. Die erneute Überflutung des Taymyr-Sees im frühen und mittleren Holozän wurde hauptsächlich durch die verringerte Reliefenergie infolge des postglazialen Meeresspiegelanstiegs gesteuert. Die Überflutung kulminierte auf dem heutigen Niveau von 5 m ü.d.M. um 6,6 cal ka BP.

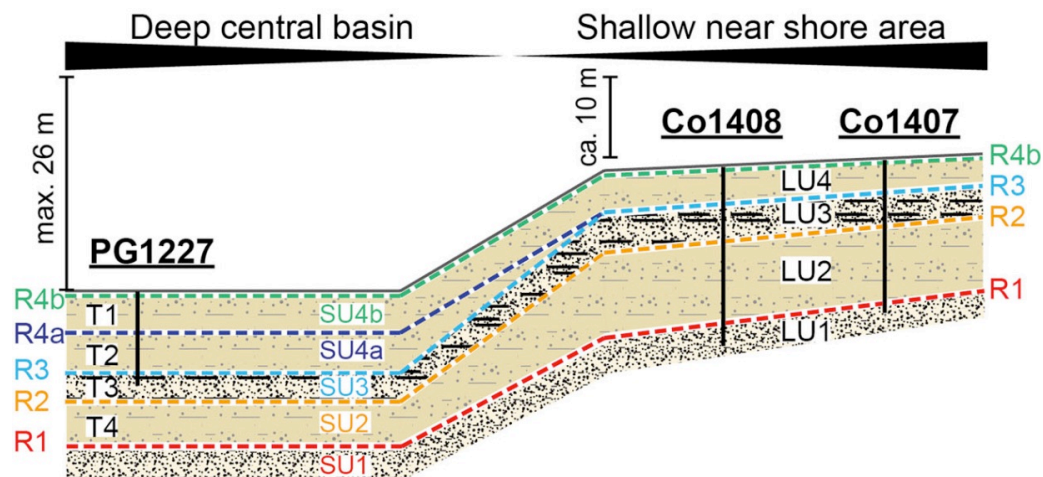


Abb. 6: Schemazeichnung zur Illustration der Beziehungen der seismischen Reflektoren (R1-R4); der seismischen Einheiten (SU1 - SU4) und der lithologischen Einheiten (LU1 - LU 4) im Taymyr See. Aus Gromig et al. (2021).

Modell der sedimentären und tektonischen Entwicklung des Ladoga Sees

Die integrierte Interpretation von Seismik- und Kerndaten wurde genutzt, um die sedimentäre Geschichte des Ladoga Sees zu interpretieren und daraus Rückschlüsse auf die Entwicklung des skandinavischen Eisschildes zu ziehen. Diese Arbeit ist als Lebas et al. (2021) in *Quaternary Science Reviews* veröffentlicht.

Die außergewöhnlich gute Qualität der seismischen Daten zeigt an ungestörten Lokationen eine bis zu 90 m mächtige sedimentäre Auflage, die in vier Sequenzen unterteilt werden kann. Diese Sequenzen konnten in noch nicht verfügbarem Detail dokumentiert und interpretiert werden (Abb. 2). Die tiefste Sequenz S1 repräsentiert höchstwahrscheinlich das Grundgebirge des lakustrinen Beckens, das während der nachfolgenden Vergletscherun-

gen umgestaltet wurde. Die darüber liegende Sequenz S2 enthält großflächige Mounds, die auf eine komplexe Entstehungs- und Deformationsgeschichte schließen lassen. Die in den seismischen Daten abgebildeten Mounds, die teils am Seeboden anstehen und teils unter den später abgelagerten S3- und S4-Sedimenten begraben sind, zeigen eine große Vielfalt an Morphologie, Größe und interner Architektur, die entlang eines Profils und innerhalb des Seebeckens variieren. Abbildung 7 illustriert diese Vielfalt. Die Ausdehnung der Mounds variiert beträchtlich, mit Längen zwischen Hunderten von Metern und mehreren (bis zu 8) Kilometern, und Höhen von <10 m bis 170 m in der nördlichsten Region. Der relativ große Profilabstand erlaubt keine genaue Charakterisierung der Mound Dimensionen und Morphologien. Daher ist es möglich, dass die Mounds größere Längen und Höhen erreichen als oben angegeben. Die interne Architektur der Mounds ist komplex und variiert stark über das Becken. Abbildung 7a zeigt exemplarisch zwei Typen von Mounds, die am Ladoga See gefunden wurden. Während der Mound im Südosten eine insgesamt konische Form mit zwei ausgeprägten Spitzen aufweist, ist der Mound im Nordwesten durch eine geglättete, abgerundete Morphologie charakterisiert. Die Mounds auf dem Profil (Abb. 7a) sind ~3 km und ~2,3 km lang, und ~69 m bzw. ~53 m hoch. Der südöstliche Mound besteht hauptsächlich aus gut geschichteten und parallelen, geneigten Reflektoren von geringer bis mittlerer Amplitude; an der Basis des Mounds liegt ein konkav-abwärts gerichteter markanter Reflektor (Abb. 7a, links). Zwei Hauptfazies charakterisieren auch den nordwestlichen Mound: gering geneigte, parallele Reflexionen mit mäßiger Amplitude, die von einer chaotischen Fazies mit geringer Amplitude überlagert werden (Abb. 7a, rechts). Stratifizierte, ~15 m mächtige Sedimente trennen die beiden Mounds über Hunderte von Metern (Abb.

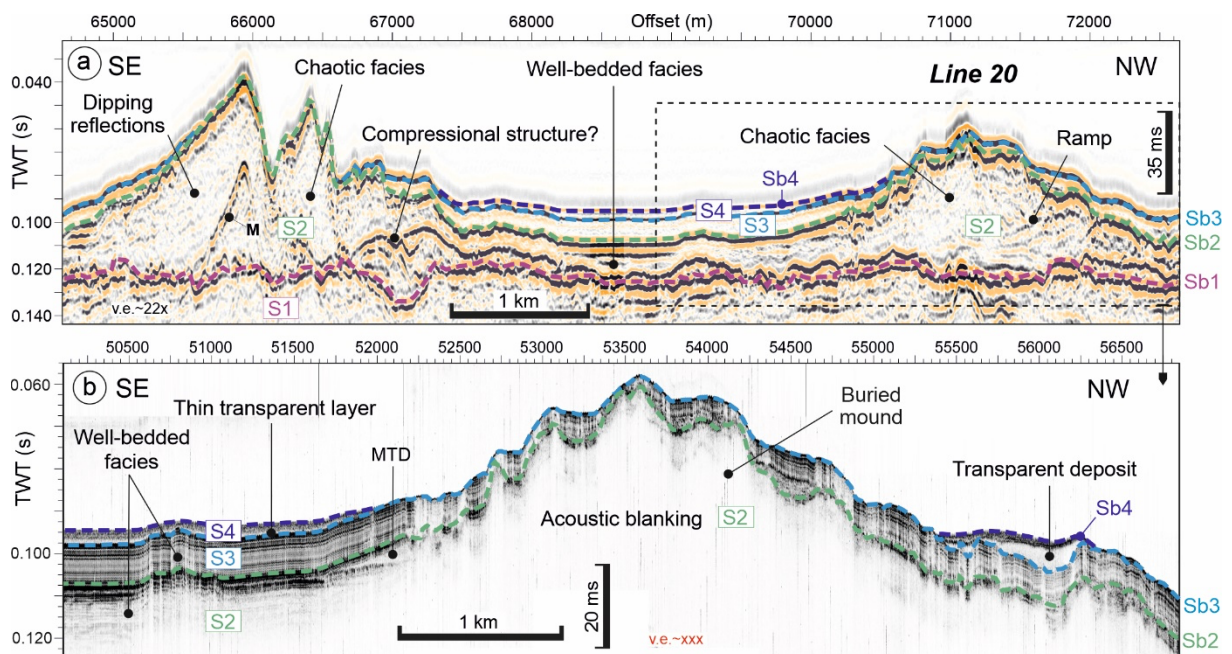


Abb. 7: (a) SE-NW seismische Linie 20, die zwei verschiedene Typen von kilometergroßen Mounds zeigt, die im Ladoga See identifiziert wurden. Die innere Architektur der Hügel wird in den seismischen Daten detailliert abgebildet, während akustisches Blanking die Hügel in den Echolotdaten charakterisiert. Sb1 und Sb2 markieren jeweils die untere und die obere Grenze der Mounds. (b) Vergrößerte Ansicht der Sedimentecholotdaten über den nordwestlichen Hügel. Aus Lebas et al. (2021).

7a). Wir interpretieren die Mounds als einen Moränenmoundkomplex, der durch Schub- und Bulldozing-Prozesse von vorher abgelagerten, subglazialen Sedimenten während des Rückzugs des skandinavischen Eisschildes nach dem letzten glazialen Maximum entstanden ist.

Die über den Mounds abgelagerte feingeschichtete Sequenz S3 fällt mit den gewarvten Sedimenten im Kern Co1309 zusammen. Diese sind bei dem Abschmelzen des Skandinavischen Eisschildes im Ladogabecken abgelagert worden. Die jüngste Sequenz S4, gekennzeichnet durch eine semitransparente Fazies in den akustischen Daten, entspricht lakustrinen Sedimenten im Kern Co1309, die während des Holozäns abgelagert wurden.

Abbildung 8 zeigt ein konzeptionelles Modell zur Entwicklung der lakustrinen Sedimente im Ladoga See, das aus einer kombinierten Interpretation der seismischen und Kerndaten abgeleitet ist. Während der Saale-Eiszeit wurden Täler in das Basement erodiert. Die Sedimente der Einheit S2 sind während MIS 5e-5a als lakustrine Sedimente abgelagert worden. Darüber befindet sich auf vielen Profilen ein Hiatus von ca. 60 ka, der als Folge der überlagernden Eisdecke im drauffolgenden Glazial entstanden ist. Oszillationen des skandinavischen Eisschildes nach dem letzten glazialen Maximum haben dann zur Bildung des Moränenmoundkomplexes geführt. Der unterschiedliche Erhaltungsgrad der Mounds deutet auf Oszillationen des skandinavischen Eisschildes während des Rückzuges hin, während die relativ gut erhaltene Stratigraphie im Süden des Sees auf einen weniger erosiven Charakter des skandinavischen Eisschildes hinweist, d.h. auf einen progressiven Rückzug. Insbesondere unterhalb des Eises haben sich als Folge von Schmelzwasserabflüssen Kanäle gebildet. Während der weiteren Abschmelzung des Eises wurden dann die gewarvten Sedimente der Einheit S3 abgelagert, gefolgt von lakustrinen holozänen Sedimenten (Einheit S4). Massive transparente Ablagerungen dokumentieren vermutlich die Drainage des baltischen Eisstausees in die Nordsee, während eine signifikante Absenkung des Seespiegels durch einen markanten Horizont hoher Amplitude gekennzeichnet ist. Erosive Strukturen in der rezenten lakustrinen Sedimentabfolge (S4) markieren die Entstehung des Flusses Newa (moderner Abfluss) und damit das Ende der Ladoga-Transgression (~3,35 cal ka BP).

Der Ladoga See ist auch aus tektonischer Sicht höchst interessant, da er an der Grenze zwischen Baltischen Schild und Russischer Plattform liegt. Eine Publikation zu diesem Thema ist in Vorbereitung.

Nach dem letzten glazialen Maximum war der Baltische Schild, der Ladoga See eingeschlossen, massiver tektonischer Aktivität aufgrund der fehlenden Auflast der Eismassen ausgesetzt. Isostatische Hebungsprozesse führten zu einer Veränderung der Oberfläche des Sees, was in bathymetrischen Karten zu sehen ist. Vor allem der nördliche Teil des Sees zeigt massive Anhebungen aufgrund der genannten Prozesse. Dementsprechend wurden hier die meisten Verwerfungen in Form von Abschiebungen (normal faults, Abb. 9) gefunden. Die Entstehung dieser Verwerfungszonen lässt sich anhand unserer Daten auf

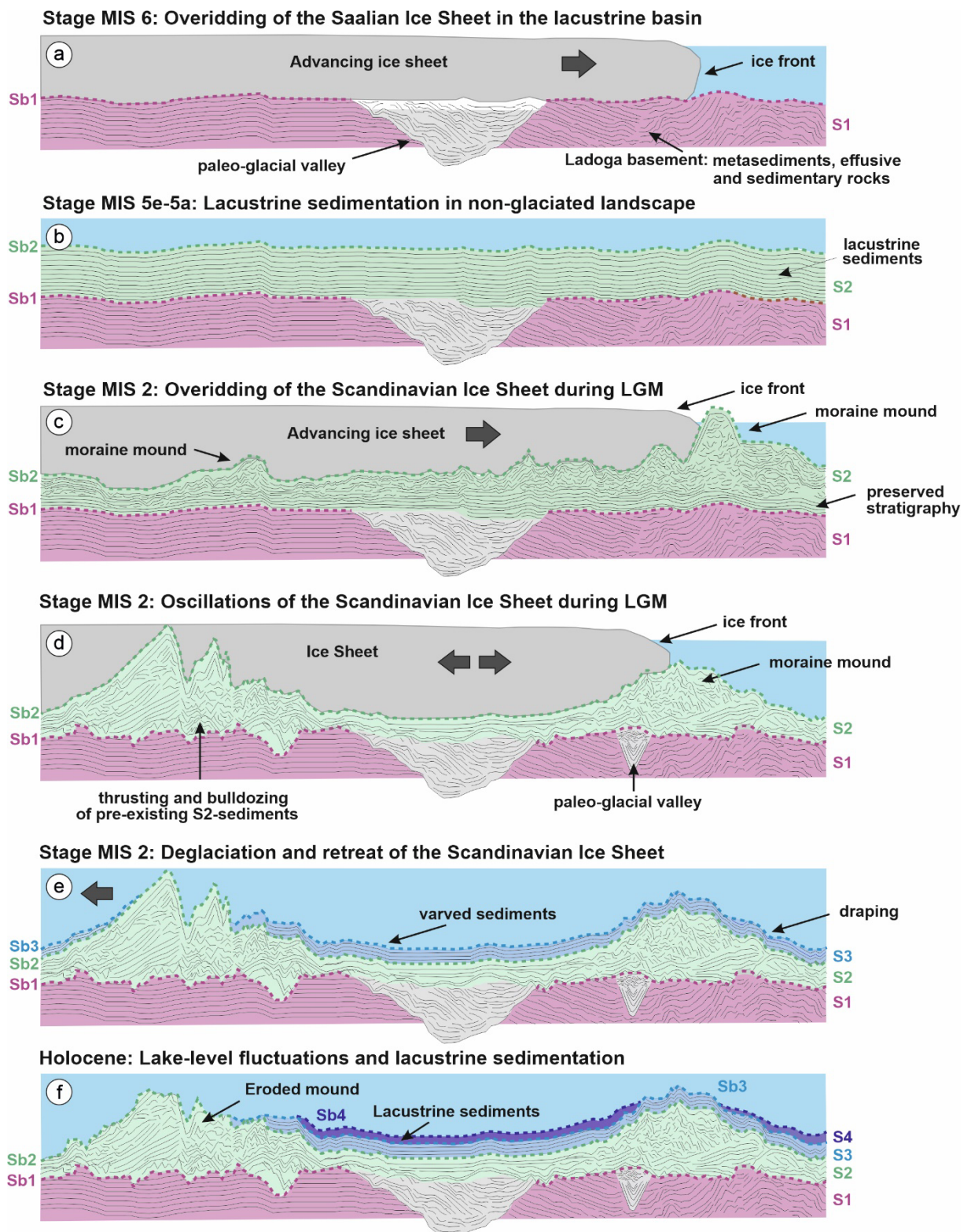


Abb. 8: Strukturelles Modell der Entwicklung der lakustrinen Verfüllung des Ladoga Sees. Aus Lebas et al. (2021).

die Zeit nach dem letzten glazialen Maximum eingrenzen. Korrelationen der seismischen Daten und dem geologischen Kern Co1309 (siehe Abb. 2) ergaben, dass ein starker Reflektor (grün gestrichelt in Abb. 9) einen Hiatus von ca. 65.000 Jahren markiert. Dieser ist

durch Erosion aufgrund der bewegten Eismassen erklärt worden. Da dieser Reflektor in den Profilen ebenfalls gestört ist, entstanden die Verwerfungen nach dem letzten glazialen Maximum und im Zuge der isostatischen Anhebung. Die durch die genannten Prozesse entstandenen Täler sind durch jüngere Sedimente teilweise wieder verfüllt. Diese zeigen in vielen Fällen gut erkennbare, nahezu horizontale Reflektoren. Verfüllte Bereiche innerhalb der Täler, in denen keine Reflektoren zu erkennen sind, werden als Rutschungsablagerungen interpretiert. Diese befinden sich an der Basis der teilweise verfüllten Täler und sind ebenfalls Indikatoren für stattgefundene tektonische Aktivitäten.

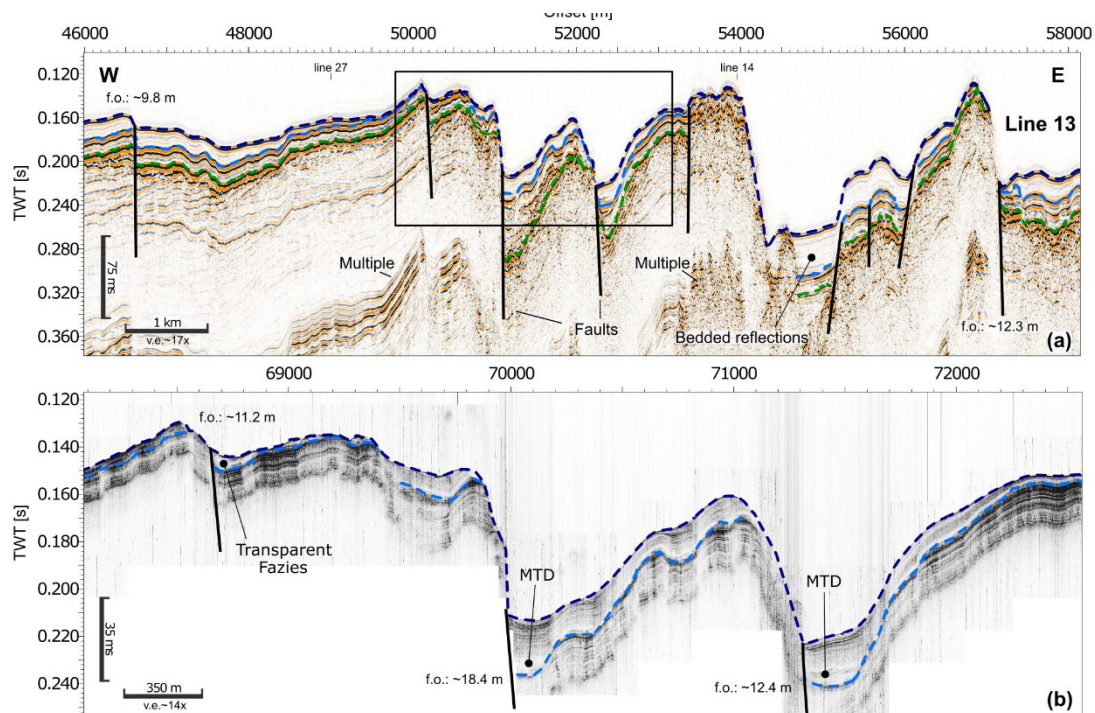


Abb. 9: (a) Seismisches Profil 13 im nördlichsten Teil des Ladoga Sees im zentralen Bereich des Störungssystems. Der grün gestrichelte Reflektor zeigt den im Text genannten Hiatus. Abschiebungen sind in schwarz hervorgehoben. (b) Vergrößerte Ansicht der Sedimentecholotdaten, die Lage des Ausschnittes ist in (a) markiert. Die transparenten Bereiche werden als Rutschungskörper an der Basis der Abschiebungen interpretiert.

Insgesamt wurden mehr als 40 Verwerfungen - hauptsächlich Abschiebungen - identifiziert (Abb. 10). Die meisten von ihnen, die auch durch den größten vertikalen Versatz (bis zu 19 m) gekennzeichnet sind, befinden sich an den Hängen stark gehobener Rücken in der tektonisch aktiven Region der Baltischen Schildzone. Im Gegensatz dazu gibt es im mittleren und südlichen Teil des Ladoga Sees nur kleinere Abschiebungen (<10 m Versatz). Sie können wahrscheinlich auf die Reaktivierung alter Schwächezonen in diesem Gebiet zurückgeführt werden (Abb. 10). Ein generelles NO-O-gerichtetes Fallen der Verwerfungen kann mit einem Streichen der Morphologie in S-SW Richtung in Verbindung gebracht werden. Ein visueller Vergleich der Verwerfungen auf verschiedenen Linien unterstützt diese Interpretation (Abb. 11). Unsere Daten zeigen, dass mehrere Verwerfungen im nördlichen Teil des Sees eine große Ähnlichkeit in Bezug auf Ausrichtung und vertikalen Versatz aufweisen und daher vermutlich denselben Ursprung haben. Außerdem ist die Ausrichtung

der kombinierten Verwerfungen in Abbildung 11 mit der Ausrichtung der alten Grundgebirgsverwerfungen des Raahe-Ladoga-Scherzonen-Komplexes vergleichbar. Aufgrund des großen Abstandes zwischen den seismischen Profilen ist eine Interpolation jedoch mit Vorsicht zu genießen, aber Lage und Richtung dieser Störungen unterstützen die Interpretation der Verwerfungen als Abschiebungen als Folge des post-glazialen isostatischen Uplifts des Baltischen Schildes.

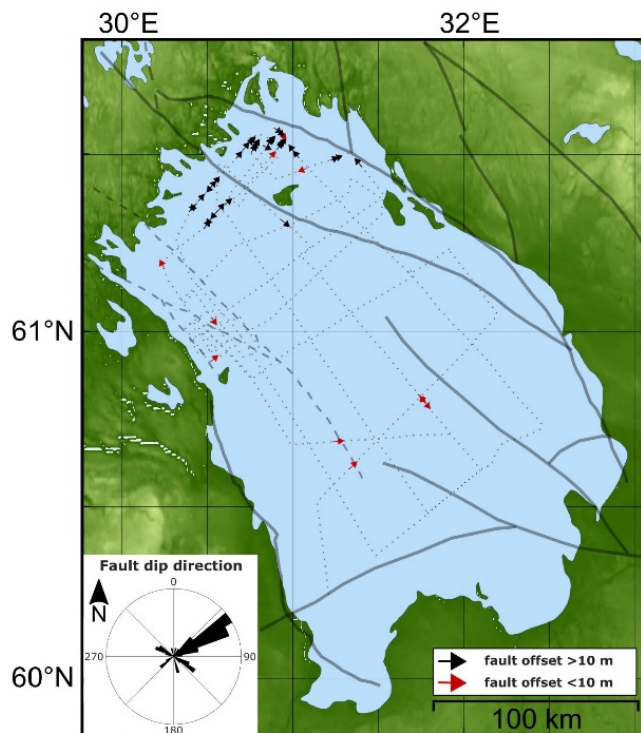


Abb. 10: Verteilung der Abschiebungen im Ladoga See. Die farbigen Pfeile zeigen die Dip-Richtung und den vertikalen Versatz (schwarz: > 10m; rot: < 10 m). Die Verteilung aller gemessener Dip-Richtungen ist unten links gezeigt. Die grauen Linien zeigen bekannte regionale tektonische Verwerfungen nach Kolod-yazhny et al. (2020).

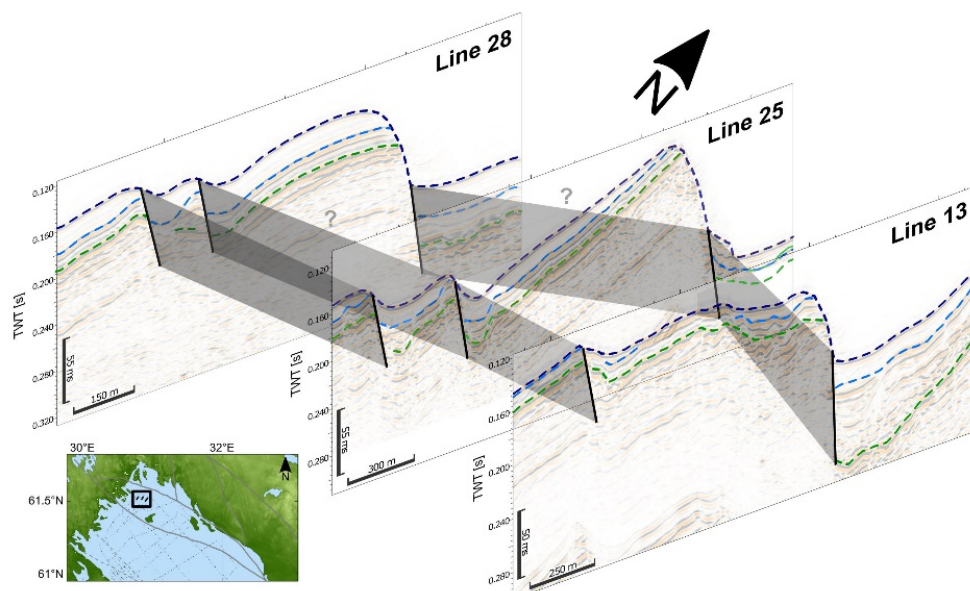


Abb. 11: Interpretation der Abschiebungsrichtung im nördlichen Teil des Ladoga Sees. Die visuelle Interpolation (graue Rechtecke) ähnlicher vertikaler Versätze auf benachbarten Linien deutet auf ein NW-SO bis W-O-Streichen der Abschiebungen hin.

2.1.4 Wissenschaft TP 3 (Alfred-Wegener-Institut)

Wissenschaftlich-technische Ergebnisse und Ereignisse TP 3

Im BMBF-Verbundprojekt „PLOT-Synthese“ sind die Arbeiten des TP3 trotz der Corona-Pandemie weitgehend nach Zeit- und Finanzplan verlaufen. Die wissenschaftliche Auswertung der vom PLOT-Projekt vorliegenden Proben und paläoklimatischen Ergebnisse der ausgewählten Seen im Transsekt über das nördliche Russland, sowie die Durchführung der unterstützenden Klimasimulationen ist weitgehend abgeschlossen. Wie bereits im Zwischenbericht erwähnt, konnten auch für TP 3 Projektkomponenten, die mit Auslandsreisen verbunden waren, nicht stattfinden (so die für Sommer 2020 geplante Feldkampagne zum Emanda See oder geplante Tagungsteilnahmen).

Für TP 3 wurden Frau Dr. Kostrova im Teilprojekt TP 3a (vom 1.11.2019 bis 31.3.2021) sowie Herr Dr. Danek im TP 3b (vom 1.1.2020 bis 30.4.2021) als PostDoktoranden eingestellt. Da die Personalmittel in TP 3 deutlich vor Abschluss der Projektlaufzeit ausgelaufen sind, sind die Fortschritte seit dem letzten Zwischenbericht überschaubar. Daher enthält dieser Abschlussbericht Teile des Zwischenberichtes für diejenigen Projektteile, die bis zum Zwischenbericht weitgehend abgeschlossen waren (z. B. die Arbeiten am Ladoga-, Emanda und Taymyr-See, Analyse von Holozän-Klimasimulationen).

Darüber hinaus wurde im Isotopenlabor des AWI Potsdam die umfangreiche Aufbereitung an den Sedimentproben vom Ilirney-See abgeschlossen, und aufgereinigtes Probenmaterial für die Diatomeen-Isotopenanalytik gewonnen. Hier wurden die bewilligten Mittel für studentische Hilfskräfte eingesetzt. Leider konnten die Isotopenanalysen am Ilirney-See nur zu einem Drittel bis zu diesem Abschlussbericht finalisiert werden, durch Corona-Einschränkungen und Geräteproblemen zum Ende des Vertrages von Frau Kostrova im März 2021. Die Isotopen-Messungen dieser Proben werden nun im Sommer 2022 abgeschlossen und ausgewertet. Erste Ergebnisse des innovativen Bioproduktivitäts-Proxies $\delta^{30}\text{Si}$ sind in diesen Abschlussbericht eingearbeitet. Diese wurden an gleichen Aliquoten der Diatomeen-Proben gemessen wie die Sauerstoff-Isotope und zeigen einen Zusammenhang mit Indikatoren für die Bioproduktivität (TOC, biogener Opal, Diatomeen-Konzentration).

Die am AWI Bremerhaven durchgeführten Analysen von transienten Klimasimulationen des Holozäns wurden abgeschlossen und die wichtigsten Ergebnisse daraus sind mittlerweile publiziert. Die erzielten Ergebnisse zum komplexen Zusammenspiel von arktischen Temperatur-, Niederschlags- und atmosphärischen Zirkulationsschwankungen während des Holozäns, und zum erstmals durchgeführten Vergleich von simulierten Sauerstoff-Isotopenänderungen im Niederschlag mit lakustrinen Datensätzen, sind für zukünftige Arbeiten in diesem Bereich von großer Relevanz. Die Projektergebnisse des TP 3 wurden in Form von Vorträgen auf nationalen und internationalen Tagungen und Arbeitstreffen präsentiert. Im Berichtszeitraum für die PLOT-Synthese konnten jedoch Beiträge von Meyer et al. zur PalaeoArc Conference 2020 sowie weitere geplante Konferenz-Beiträge (z.B. EGU, AGU) aufgrund von Corona-bedingtem Ausfall der Tagungen nicht gehalten werden. Daher be-

schränken sich die Tagungsbeiträge im Berichtszeitraum auf die vier Vortragspräsentationen (siehe Anlage 3; Mitarbeiter des TP 3 mit der Ziffer 3 gekennzeichnet).

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Darüber hinaus sind im Berichtszeitraum sieben Veröffentlichungen und ein eingereichtes Manuskript unter Beteiligung von Mitarbeitern des TP 3 entstanden: Fedorov et al. (2020), Harding et al. (2020), Kostrova et al. (2020, 2021), Baumer et al. (2021), Cauquoin & Werner (2021), Danek et al. (2021) und Meyer et al. (inger.) (s. Anlage 3).

Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Teilprojekt 3 umfasst isotopengeochemische Untersuchungen am AWI Potsdam (TP 3a) sowie Klimamodellierungen am AWI Bremerhaven (TP 3b). Die im Rahmen der PLOT-Synthese vom TP 3 erzielten Ergebnisse bauen auf das Proben- und Datenmaterial auf, das von den PLOT-Seen im Rahmen des zentralen PLOT-Projektes oder vorangegangener Projekte (El'gygytgyn-See; Ilirney-See), in den hohen nördlichen Breiten Russlands gewonnen, analysiert und ausgewertet wurde (Abb. 12). In der Synthese-Phase des PLOT-Projektes wurden die Analysen an dem Kernmaterial vervollständigt und weitgehend zum Abschluss gebracht, um aus den Daten neue Erkenntnisse zur Klima- und Umweltgeschichte entlang des durch die Seen gezeichneten West-Ost-Transektes über das gesamte nördliche Russland zu gewinnen. Die Datenanalyse wurde hierbei durch eine Serie von Paläoklimasimulationen gestützt und ergänzt. Der Fokus lag dabei auf den räumlichen und zeitlichen Änderungen des Wasserkreislaufs und seiner isotopischen Signaturen im nördlichen Eurasien.

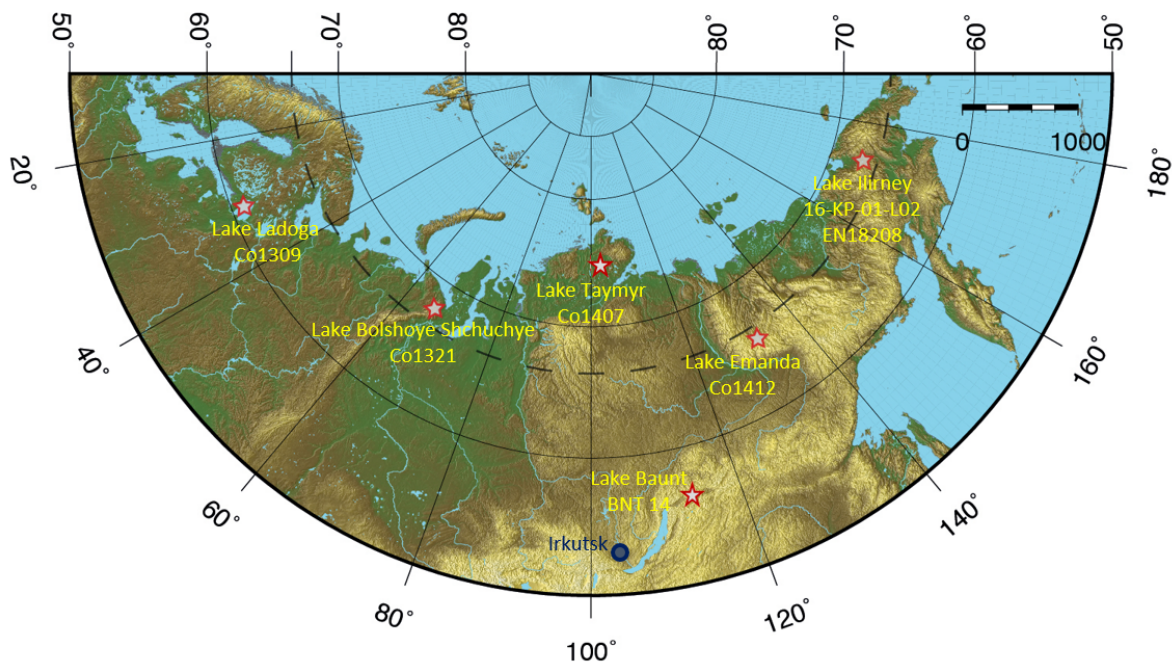


Abb. 12: Standorte der vom TP 3 untersuchten Datensätze: Ladoga-See, Bolshoye Shchuchye-See, Taymyr-See, Emanda-See, Ilirney-See, sowie Baunt-See, Irkutsk (52°17'N, 104°18'O, 498 m ü.M.).

Der ursprüngliche Arbeitsplan des TP 3a unterteilte sich hierbei in (Task 1) Feldarbeiten zur Beprobung der tieferen Sedimente des Emanda-Sees, (2) abschließende Laborarbeiten an den Sedimenten des Taymyr-Sees und des Emanda-Sees, (3) die abschließende Interpretation der Isotopendatensätze ($\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$) zur räumlich-zeitlichen hydrologischen Variabilität in Eurasien, sowie (4) die Interpretation des Stellvertreter-Datensatzes ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$) zur zeitlichen Variabilität der Bioproduktivität der jeweiligen Seen. Der Arbeitsplan von TP 3b umfasste einen (5) erweiterten Modell-Modell-Vergleich, (6) die detaillierte Analyse einer zusätzlichen Klimasimulation des Holozäns und (7) einen Vergleich der Holozän-Simulationen mit Modellergebnissen der letzten Warmzeit. Alle Projektpartner aus TP 3a und TP 3b arbeiteten während der gesamten Synthesephase gemeinsam an der Verschneidung der isotopengeochemischen Untersuchungen mit den Ergebnissen der Klimasimulationen, der Synthese der Daten im globalen Kontext und der Veröffentlichung der Ergebnisse.

Isotopengeochemische Untersuchungen - TP 3a

Die Sedimentabfolgen der im PLOT-Projekt untersuchten Seen sind einzigartige Archive zur Erforschung der quartären Klima- und Umweltgeschichte. An den Sedimentkernen des PLOT-Transektes wird die Analyse stabiler Isotopen an Diatomeen genutzt, um vergangene Klima- und Umweltveränderungen direkt nachzuvollziehen. $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ ist ein innovativer Proxy, der direkt mit den regionalen hydrologischen bzw. klimatischen Bedingungen verknüpft ist. Gut datierte Zeitreihen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ zeigen je nach Verfügbarkeit von Kieselalgen und Seesystem-Typ (temperatur- oder evaporationsgesteuert) die glazial-interglaziale hydrologische und Klima-Entwicklung der PLOT-Seen, sowie ihre regionalen Unterschiede und hemisphärischen Gemeinsamkeiten. Eine quantitative Beschreibung der Verknüpfung zwischen Klimavariationen und Isotopensignal im Niederschlag wird in TP 3b mit Hilfe von globalen Klimasimulationen erreicht. Diese beinhalten eine explizite Modellierung des Sauerstoff-Isotopenverhältnisses im Wasserkreislauf und ermöglichen dadurch einen direkten Vergleich von Modellergebnissen und durchgeführter Isotopenanalytik.

Im Rahmen des PLOT-Projekts wurden neue Sauerstoffisotopen-Daten an biogenem Opal (Diatomeen) aus den PLOT-Seen Ladoga, Bolshoye Shchuchye, Taymyr und Emanda generiert (Abb. 12, Tabelle 1). Meist wurden die $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Datensätze bei der Interpretation mit der rezenten Isotopenhydrologie, seeinternen Sediment-Parametern, sowie der Diatomeen-Taxonomie kombiniert, um die hydrologischen und klimatischen Bedingungen im Norden Russlands zu charakterisieren. Darüber hinaus wurden Sedimente aus dem Ilirney-See (Abb. 12) zur Diatomeenextraktion für die Sauerstoffisotopen-Analytik vorbereitet, und mit den Analysen begonnen. Durch fehlendes Personal konnten die Arbeiten am Ilirney-See zwar fortgesetzt, aber nicht abgeschlossen werden. Im Projektzeitraum wurde zusätzlich die Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung von Diatomeen aus dem Baunt-See (Baikalregion, Abb. 12; Harding et al., 2020), sowie die Isotopenzusammensetzung in Niederschlägen in der Baikalsee-Region (Irkutsk) untersucht und veröffentlicht (Kostrova et al., 2020).

Tabelle 1: Anzahl der Proben, die für Diatomeen-Isotopenmessungen aufbereitet wurden.

See	aufbereitet	rein	Proben gemessen $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$	inkl. Mehrfach- Messungen $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$	$\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ Proben/ Messungen
Ladoga	25	24	24	57	23/38
Bolshoye Shchuchye	92	61	61	133	6/8
Emanda	80	65	65	132	30/35
Taymyr	24	1	1	2	-
Iirney	66	49 von 50	16	32	-

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse von den einzelnen PLOT-Seen (Ladoga, Emanda, Bolshoe Shchuchye, Taymyr) einzeln dargestellt, durch weiterführende, beige-stellte Arbeiten (Baunt-See und Iirney-See) ergänzt und aus allen verfügbaren Datensätzen für die Kernregion nördliches Eurasien allgemeingültige Schlüsse gezogen. Zusätzlich werden erste Ergebnisse des innovativen Proxy $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ vorgestellt, die kürzlich in Zusammenarbeit mit den Kollegen des AWI Bremerhaven gemessen werden konnten.

Ladoga-See (unverändert zum Zwischenbericht)

Die Arbeiten am Ladoga-See waren bereits in der PLOT-Projektphase abgeschlossen und führten zu einer Publikation von Kostrova et al. (2019). Die Studie ergab, dass in den letzten ca. 10,8 Tausend Jahren (Kalender-Jahre) der Ladoga-See als ein turbulentes, gut durchmischtes Süßwasserreservoir ohne Anzeichen von brackischen oder marinen Bedingungen bestand. Generell hohe $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werte um +33,5 ‰ (Abb. 13) kennzeichnen ein Seesystem, das von anhaltender Verdunstung geprägt ist. Der Diatomeen-Isotopenrecord spiegelt die abnehmende Sommer-Sonneneinstrahlung im Holozän, sowie den damit verbundenen abnehmenden Temperaturtrend auf der Nordhalbkugel wider. Eine kontinuierliche Abnahme im $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ seit ca. 6.1 cal. ka BP zeigt eine deutliche Abkühlung im mittleren und späten Holozän. Relativ höhere $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werte um +34,7 ‰ zwischen ca. 7,1 und 5.7 cal. ka BP spiegeln das holozäne thermische Maximum wider. Die Region des Ladogasees hat erhebliche hydrologische Veränderungen erfahren: die Isolierung des Seebeckens im frühen Holozän durch isostatische Hebung sowie die damit einhergehenden hydrologischen Änderungen, wie die Öffnung des Zuflusses des Vuoksi-Flusses um ca. 5.7 cal. ka BP, sind mit Änderungen des Seespiegels verbunden und als jeweilige Maxima in der Ladoga $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Zeitreihe sichtbar, während die Öffnung des Newa-Ausflusses um ca. 4.4–4.0 cal. ka BP an jeweiligen Minima im $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ erkennbar ist (Abb. 13).

Emanda-See (unverändert zum Zwischenbericht)

Die Arbeiten am Emanda-See (Task 2) waren bereits in der PLOT-Projektphase weitgehend abgeschlossen, wurden aber noch durch weitergehende Analysen deutlich verdichtet, um die Auflösung des Datensatzes zu erhöhen. Die Ergebnisse liegen vollständig vor und

sind mittlerweile in einer Publikation in der Zeitschrift *Quaternary Science Reviews* erschienen (Kostrova et al., 2021, Anlage 3). Für den Datensatz wurden insgesamt 10 Oberflächen- und 70 Co1412-Kernproben (Tabelle 1) entnommen, von denen 10 Oberflächenproben rein genug und in ausreichender Menge für $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Analysen vorlagen. Von 70 Kernproben waren 56 Proben rein genug für $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Analytik. Zusätzlich wurden 3 Proben der schweren Fraktion (für die Kontaminationsabschätzung) analysiert.

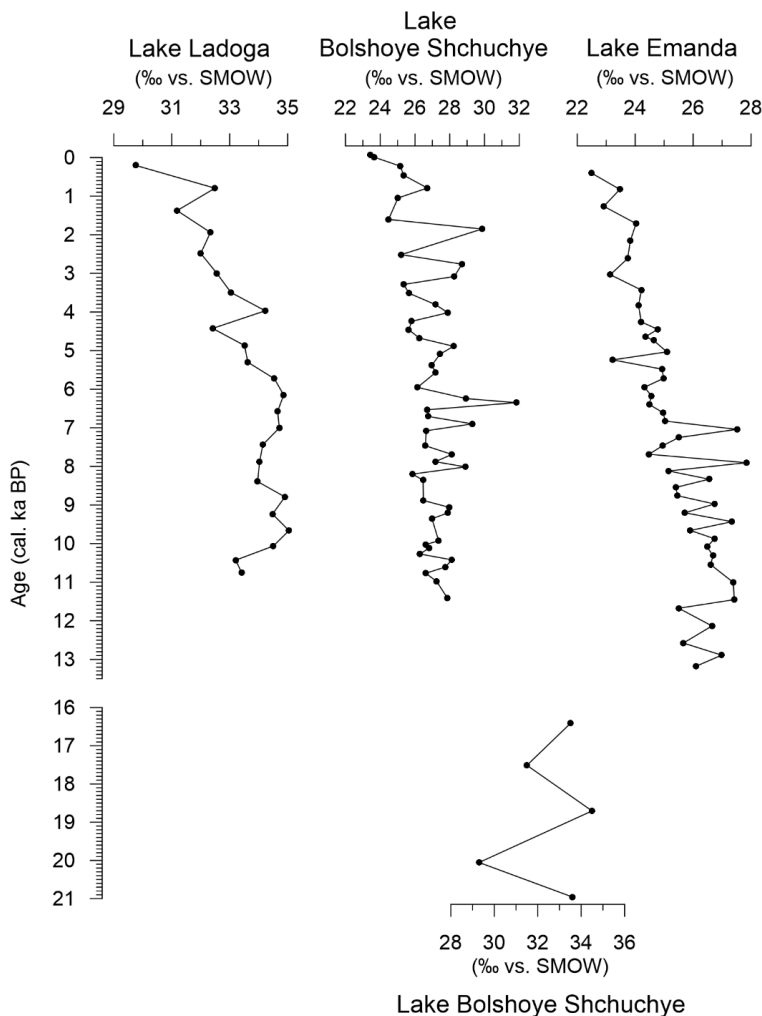


Abb. 13: Diatomeen-Sauerstoffisotopen-Zeitreihen vom Ladoga-See, Bolshoye Shchuchye-See und Emندا-See (veränderte Isotopen-Skala beachten).

Der Datensatz zeigt, dass der Emندا-See während der letzten ~13,2 cal. ka BP als ein relativ kaltes oligotrophes Süßwassersystem existierte. Die $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Variabilität ist eher mit Änderungen von $\delta^{18}\text{O}_{\text{lake}}$ als mit denen der Seetemperatur zu erklären. Der $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Trend folgt ebenfalls der Abnahme der sommerlichen Sonneneinstrahlung, und damit der regionalen und nordhemisphärischen Temperaturgeschichte (Abb. 13). Das frühe Holozän ist gekennzeichnet durch eine deutliche Verschiebung von ~2‰ in $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ und signifikante Veränderungen in den Diatomeen-Artenvergesellschaftung bei 11., 7-11.5 cal. ka BP. Das absolute Maximum in $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ von +27,7‰, das mit hohen Werten der Diatomeen-Indizes übereinstimmt, lässt auf ein mittelholozänes thermisches Optimum bei ~7.9-7.0 cal. ka BP schließen. Eine kontinuierliche Abnahme von $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ seit ~5,0 cal. ka BP wurde als mittel- bis spätholozäne Abkühlung interpretiert, die ihr absolutes Minimum bei 0,4 cal. ka

BP (in der Kleinen Eiszeit) erreichte. Der $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Record aus dem Emanda-See ist dem des El'gygytgyn-Sees (Abb. 12) sehr ähnlich, trotz ihrer hydrologischen Unterschiede und Seecharakteristika, was auf ein gemeinsames "östliches" regionales Feuchtigkeitssignal in beiden Datensätzen hinweist. Für den Emanda-See wurden für heute gleichwertige Anteile von westlicher, nordatlantischer und östlicher, nordpazifischer Feuchte gefunden, die in die Untersuchungsregion transportiert werden.

Bolshoye Shchuchye-See (aktualisiert aus Zwischenbericht)

Die Arbeiten am Bolshoye Shchuchye-See sind mittlerweile abgeschlossen und ein Manuskript (Meyer et al., resubmitted) ist im Journal *Quaternary Science Reviews* derzeit in der Begutachtung (Anlage 3). Es ist von einer Veröffentlichung im Sommer 2022 auszugehen.

Der Bolshoye Shchuchye-See (67°53'N; 66°19' E; 186 m ü.d.M.) ist der größte und tiefste Süßwassersee im Polarural. Von den holozänen und pleistozänen Teilen des Kerns Co1321 aus dem Seezentrum wurden insgesamt 92 Proben (Task 2) entnommen. 61 von ihnen waren rein genug und hatten eine ausreichende Diatomeen-Konzentration, um deren Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung zu analysieren. Von diesen 61 Proben stammten 9 Proben aus gestörten Teilen mit holozänem Alter. Wie für alle anderen Seen folgt der $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Datensatz des Bolshoye Shchuchye-Sees dem Sommertemperatur-Verlauf der Nordhemisphäre, sowie der Abnahme der sommerlichen Sonneneinstrahlung (Abb. 13).

Der See Bolshoye Shchuchye ist jedoch außergewöhnlich, da er kurzfristige Änderungen (auf der 100-Jahr-Skala) von 5-7 ‰ im $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ zeigt, besonders im mittleren und späten Holozän. Da die meisten dieser Minima und Maxima durch mehr als einen Datenpunkt bestätigt werden, sind sie keine methodischen Artefakte. Der rezente hydrologische Kontext des Bolshoye Shchuchye-Sees zeigt diesen als gut durchmischten monomiktischen See, der mehr als die Hälfte des Jahres von Eis bedeckt ist, was Verdunstungseffekte reduziert. Als tiefer und voluminöser See müssen ca. 30-50% des Wassers des Bolshoye Shchuchye-Sees innerhalb kurzer Zeit mit isotopisch leichtem Wasser ausgetauscht werden, um diese 5-7‰ Isotopenverschiebungen im $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ zu erklären. Diese holozänen Schwankungen sind gleichzeitig mit Gletscher-Vorstößen der Nordhemisphäre. Größere holozäne Gletschervorstöße sind im Einzugsgebiet des Bolshoye Shchuchye-Sees jedoch nicht bekannt und es gibt keine signifikanten Spuren in der Sediment-Biogeochemie des Sees (Baumer et al., 2020). Daher ist die einzige weitere Quelle für die leichte Isotopenzusammensetzung der Schnee, von dem bekannt ist, dass er in erheblichen Mengen und mit großer Variabilität auf die Leeseite des polaren Urals transportiert wird. Dies ist das erste Mal, dass solch drastische und schnelle hydrologische Veränderungen in einem tiefen See mit lakustrinen Diatomeen-Sauerstoffisotopendaten dokumentiert wurden. Der Bolshoye Shchuchye-See ist der einzige See im PLOT-Projekt (neben dem El'gygytgyn-See und dem noch zu analysierenden Ilirney-See), der über pleistozäne Diatomeen-Isotopendaten verfügt (Abb. 13).

Taymyr-See (unverändert zum Zwischenbericht)

Vom Taymyr-See wurden insgesamt 14 Sedimentproben aus dem Kern Co1408 und 10 Sedimentproben aus dem Kern Co1407 (Tabelle 2) für die $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Analytik bearbeitet (Tasks 2 und 3). Alle vorbereiteten Kieselalgenproben waren außergewöhnlich schmutzig, enthielten nach Aufbereitung oft weit mehr als 2,5% Al_2O_3 und waren daher nicht für die Isotopen-Analyse am biogenen Opal geeignet. Weitere Reinigungsschritte der Proben waren aufgrund kleiner Restmengen des Materials nicht möglich. Eine einzige Probe mit einer ausreichenden Menge reinen Opals konnte jedoch auf Sauerstoffisotope analysiert werden.

Aufgrund der unzureichenden Menge an Kieselalgen in den Seesedimenten war die Vorbereitung von Proben aus dem Taymyr-See für die Erstellung einer Zeitreihe mit Diatomeen-Sauerstoffisotopen also wider Erwarten nicht möglich. Im Allgemeinen sind sowohl der Co1408 als auch die Co1407 nicht für die Diatomeenisotopen-Analytik geeignet. Alternativ wurden daher - in Abstimmung mit dem PI des Projektes, Prof. Martin Melles - die vorliegenden Seesedimente mit ausreichend hoher Kieselalgen-Konzentration vom Ilirney-See in Chukotka (Abb. 12) ausgewählt und bzgl. Sauerstoffisotopenanalyse an biogenem Opal bearbeitet.

Ilirney-See (aktualisiert aus Zwischenbericht)

Der Ilirney-See (67°21'N, 168°19'E) wurde für ergänzende Analysen ausgewählt, da er als arktischer See im Norden Chukotkas hervorragend in den PLOT-Transsekt passt, weil präholozäne Sedimente bekannt sind und weil ausreichend hohe Diatomeen-Konzentrationen aus holozänen und pleistozänen Sedimenten vorliegen (Vyse et al., 2020).

Aus dem Ilirney-Kern 16-KP-01-L02 wurden 54 Proben für die Sauerstoff-Isotopenanalyse von Diatomeen ausgewählt, ergänzt durch 11 Proben aus dem Kern EN18208 (der diatomeenreiche Sedimente des MIS 3 enthält; Tabelle 1). Insgesamt sind mittlerweile 65 Proben aufbereitet und mit der EDX-Analyse auf Kontamination untersucht worden. Alle Proben (mit einer Ausnahme) haben eine ausreichend reine Opalfraktion, die für die Isotopenanalyse genutzt werden kann. Leider ist es durch die Corona-Einschränkungen und damit verbundenem Personalmangel, sowie einem Geräteausfall kurz vor Projektende nicht mehr möglich gewesen, den vollständigen Datensatz des Ilirney-Sees bis zum Projektende abzuschließen. Es liegen aber Messdaten von 16 Proben (als Duplikate; 32 Messungen) vor, die eine Übersicht der Klima- und Umweltgeschichte der letzten etwa 17.000 Jahre zeigen, sowie zwei Proben aus dem MIS 3 bei ca. 35.000 Jahren (Abb. 14). Weitere 44 Proben warten auf die Sauerstoff-Isotopenanalyse im Sommer 2022. Für die Kontaminations- Korrektur wurden drei Proben des mineralischen Detritus gemessen (mittlerer Al_2O_3 -Gehalt 17.9%, SiO_2 -Gehalt: 67.8%, bei einem mittleren $\delta^{18}\text{O}_{\text{cont.}}$ der Kontamination von +7.8‰). Es ergibt sich daraus eine mittlere Kontaminations-Korrektur für die bisher gemessenen Proben von etwa +0.6‰, die den generellen Kurvenverlauf aber nur leicht beeinträchtigt (Abb. 14). Generell ist eine starke Änderung zu leichteren $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -

Werten vor etwa 2.000 Jahren zu beobachten, während die Werte bis 17.000 J.v.H. nur geringe Variationen im $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ um +23‰ aufweisen. Die Gründe für dieses ungewöhnliche Muster (geringe Schwankungen in MIS 3, MIS 2 und Frühholozän) sind noch unklar. Vor etwa 2000 Jahren scheint es eine deutliche hydroklimatische Änderung im Ilirney-See oder seinem Einzugsgebiet gegeben zu haben.

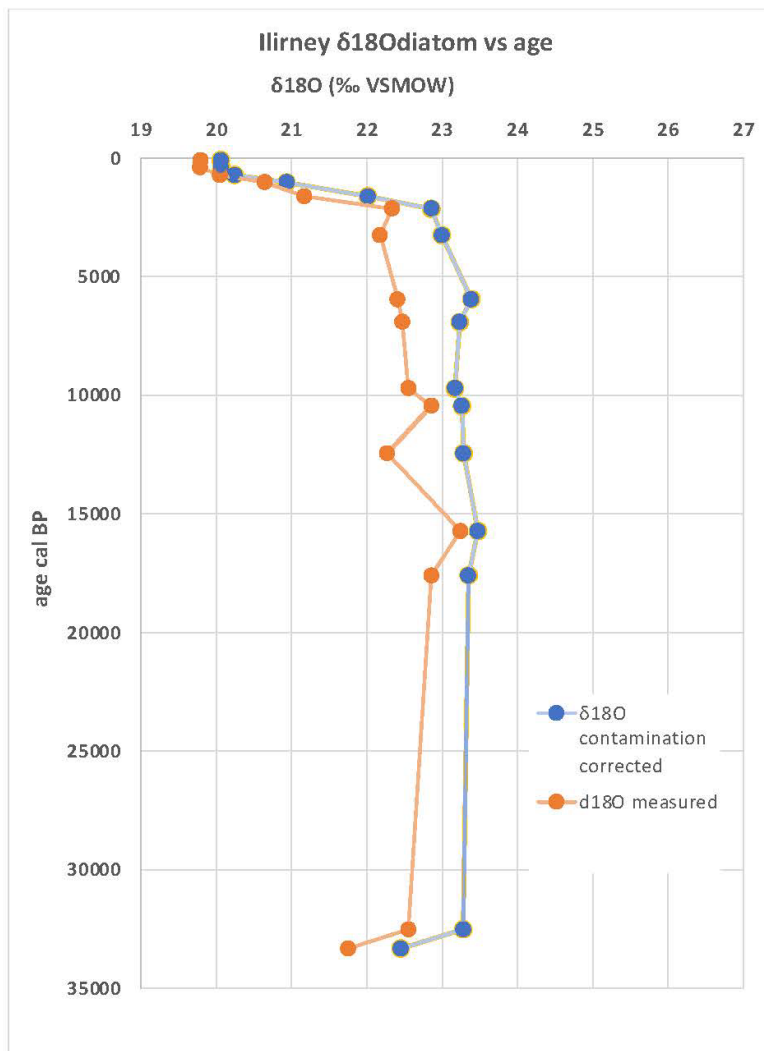


Abb. 14: Vorläufige Diatomeenbasierte Sauerstoff-Isotopen-Zeitreihe des Ilirney-Sees. (blau) kontaminations-korrigiertes $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$; (orange) unkorrigierte Meßdaten ($\delta^{18}\text{O}_{\text{measured}}$).

Baunt-See (unverändert zum Zwischenbericht)

Die Studie am Baunt-See aus Südsibirien, an der wir über englische Kooperationspartner beteiligt waren, ergab einen ergänzenden Datensatz für das Holozän, der für die PLOT-Synthese zur Verfügung steht (Harding et al., 2020, siehe Anlage 3). Die relevanten Schlüsselergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst: Relativ stabile $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werte zwischen ~13.0-11.7 ka cal BP vom Baunt-See-Datensatz implizieren kurze, ausreichend warme Sommer aufgrund einer ausgeprägten Saisonalität. Ein relativ hohes Niveau der $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werte im Frühholozän korrespondiert mit einer hohen sommerlichen Sonneneinstrahlung, einem allgemeinen Anstieg der Lufttemperatur und einer Zufuhr von Luftfeuchtigkeit überwiegend aus dem Süden in die Region. Starke Schwankungen im $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ bei ~11.7-8.2 ka BP wurden vermutlich durch das lokale Abschmelzen der Gletscher verur-

sacht. Die kontinuierliche Abnahme der $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werte nach ~ 8.2 ka BP ist mit der allgemeinen Abkühlung durch die Abnahme der sommerlichen Sonneneinstrahlung, sowie mit der Zunahme atlantischer Feuchte im Wasserhaushalt der Region verbunden.

Vergleich der in PLOT generierten Datensätze (neu)

Fasst man die in PLOT und PLOT Synthese bearbeiteten (sowie bislang für Eurasien publizierten) Seen und deren Diatomeen-Isotopen-Zeitreihen zusammen, so lassen sich die folgenden allgemein gültigen Aussagen treffen:

- (1) Die meisten Seen umfassen das Holozän und nur in Ausnahmefällen das MIS 2, das MIS 3 oder darüber hinaus. Ältere Datensätze $>$ MIS 3 sind für Eurasien nur aus dem El'gygytgyn-See und dem Baikal-See bekannt. Keiner der neu erbohrten Seen enthält Sedimente älter als 35-40 kyr und gleichzeitig Diatomeen in ausreichender Menge für die Diatomeen-Isotopenanalytik.
- (2) Alle Zeitreihen zeigen einen negativen $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Trend über das Holozän und ihr absolutes Minimum in $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ in den rezenten Proben. Diese Entwicklung folgt dem holozänen Sommer-Insolationstrend und der Temperaturentwicklung der Nordhemisphäre und ist daher von der Lufttemperatur gesteuert.
- (3) Mittel- oder frühholozäne $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Maxima (interpretiert als Klimaoptima) sind in nahezu allen Datensätzen zu finden. Ebenso wird oft eine verstärkte mittel- bis spätholozäne $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Abnahme beobachtet, die mit der neoglazialen Abkühlung in Verbindung gebracht werden kann.
- (4) Zusätzlich zu den klimatischen Faktoren spielen jedoch auch hydrologische Faktoren bei der Interpretation eine große Rolle: So sind isotopengeochemische Veränderungen des Seewassers, die sich in die Kieselalgen (und $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$) durchpausen, z.B. durch isostatischen Uplift und neue Zuflüsse im Einzugsgebiet (wie die Nawa am Ladoga-See) oder Veränderungen des Schmelzwassereintrags in den See (wie am Beispiel des Bolshoye Shchuchye-Sees) zu erklären. Zudem müssen Änderungen atmosphärischer Zirkulationsmuster und Beiträge verschiedener Feuchtigkeitsquellen zur lokalen Wasserbilanz berücksichtigt werden.
- (5) Die kaltzeitlichen Proben sind generell schwieriger zu interpretieren und folgen entweder dem Temperaturmuster (etwa bei sehr niedrigeren $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werten zum LGM, dem Letzten Glazialen Maximum), wie am Beispiel des El'gygytgyn-Sees, oder durch die gleichzeitig sehr trockenen Verhältnisse der Evaporation (bei variableren und eher sehr hohen $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ -Werten zum LGM), wie am Bolshoye Shchuchye-See beobachtet (Abb. 13). Die Mechanismen, wann bei einem Wechsel von warm-feuchtem zu kalt-trockenem Klima eher der Temperaturpfad oder der Evaporationspfad beschritten wird, sind noch unklar und liegen vermutlich in den hydrologischen Eigenschaften des jeweiligen Einzugsgebietes begründet.

Zusammenfassend kann man sagen, dass $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ ein exzellenter Klimaindikator für die jeweiligen Standorte der in PLOT untersuchten Seen ist. Das gilt insbesondere, wenn Informationen zu Änderungen zur Hydrologie, Temperatur, Atmosphärenzirkulation oder zum evaporativen Charakter eines Sees (z.B. aus Klimamodellen oder anderen Stellvertreter-Datensätzen) abgeleitet werden können.

Der innovative Proxy $\delta^{30}\text{Si}$ (neu)

Da bei der Laserfluorinierung der Diatomeen-Proben neben Sauerstoff auch Siliziumtetrafluorid (SiF_4) als Beiprodukt entsteht, kann man am gleichen Aliquot einer aufgereinigten Diatomeen-Probe auch die Silizium-Isotopen-Zusammensetzung messen. Dazu wurde für das Finnigan MAT 252-Massenspektrometer am AWI Bremerhaven eingesetzt, das jedoch in Projektzeitraum der PLOT-Synthese wegen eines Defektes lange außer Betrieb war, der in Coronazeiten schwer und zeitintensiv zu beheben war. Dennoch konnten im letzten halben Jahr der Projektlaufzeit an drei PLOT-Seen (Ladoga, Bolshoye Shchuchye, Emanda) die Silizium-Isotopen-Zusammensetzung ($\delta^{30}\text{Si}$) gemessen und holozäne $\delta^{30}\text{Si}$ -Zeitreihen generiert werden (Tabelle 1). Am gereinigten Material des Ladoga-Sees wurden 38 Messungen durchgeführt, vom Emanda und Bolshoye Shchuchye liegen 35 bzw. acht $\delta^{30}\text{Si}$ -Datenpunkte vor. Die Zusammenstellung und Interpretation der Datensätze ist noch nicht abgeschlossen. Für diesen Abschlussbericht wird stellvertretend der $\delta^{30}\text{Si}$ -Datensatz des Ladoga-Sees präsentiert (Abb. 15) und diskutiert.

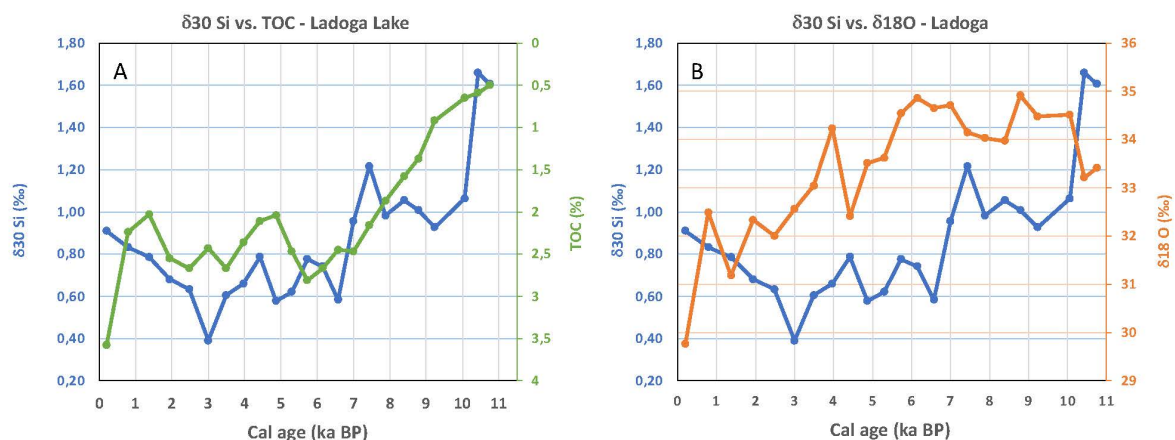


Abb. 15: Diatomeen-basierte Silizium-Isotopen-Zeitreihe des Ladoga-Sees. (A) $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ (blau) gegen den TOC Gehalt (grün); (B) $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ (blau) gegen $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ (orange).

In Abbildung 15A erkennt man eine kontinuierliche Abnahme des $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ von hohen Werten um $+1.6\text{‰}$ im Frühholozän zum absoluten Minimum von $+0.4\text{‰}$ vor etwa 3000 Jahren, die abschließend wieder auf ca. $+0.9\text{‰}$ ansteigen. Diese Werte sind mit dem TOC-Gehalt ($r = -0.7$), aber auch mit der nicht dargestellten biogenen Opal- und Diatomeen-Konzentration negativ korreliert ($r = -0.92$ und -0.67). Es gibt somit einen direkten Bezug zwischen $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ und typischen Anzeigern für die Bioproduktivität. Die Antikorrelation deutet jedoch darauf hin, dass der normalerweise beobachtete Prozess der fortlaufenden Verarmung des Reservoirs an leichten Si-Isotopen durch das Diatomeen-Wachstum (vgl.

de la Rocha, et al., 1998; Opfergelt et al., 2011) durch einen anderen Effekt überkompensiert wird. Eine mögliche Erklärung wäre die Veränderung der relativen Beiträge verschiedener Silizium-Quellen in den See. Die Änderungen des Eintrages durch die in den Sauerstoff-Isotopen sichtbaren Wechsel der Wasserquellen (Abb. 15B; z.B. die Newa-Öffnung vor ca. 4000 Jahren) hat in den $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ -Daten jedoch keine deutliche Entsprechung. Hier sind weitere Arbeiten zur finalen Interpretation der Daten erforderlich.

Klimamodellierungenm - TP 3b

Für das Untersuchungsgebiet der eurasischen Arktis gab es vor Beginn des PLOT-Projekts nur wenige Modellstudien, welche die spätquartäre Vergletscherung und die dafür relevanten Antriebsfaktoren im Klimasystem untersucht haben. Diese Studien beruhten zwar schon auf voll-gekoppelten Klimamodellen, wurden allerdings alle ohne eine explizite Simulation von Isotopenänderungen im Wasserkreislauf durchgeführt. Sie ermöglichten daher bisher nur einen indirekten Vergleich von simulierten Klimaänderungen (Temperatur, Niederschlag) mit bestehenden Proxydatensätzen.

Rezente Isotopen-Werte (unverändert zum Zwischenbericht)

Für die isotopische Zusammensetzung des rezenten Niederschlags über Sibirien wurde innerhalb der PLOT-Projektphase für eine hochaufgelösten ECHAM5-wiso Klimasimulation bereits eine generell gute Übereinstimmung mit Messungen an verschiedenen Stationen des GNIP-Netzwerks (Global Network of Isotopes in Precipitation, IAEA, Wien) festgestellt. Für die simulierten Isotopenwerte im Niederschlag an den verschiedenen PLOT-Seen zeigt sich, dass der in den Seen gefundene West-Ost-Gradient der stabilen Wasserisotope mit isotopisch schwereren Werten im Westen, einer Abreicherung Richtung Osten und den isotopisch leichtesten Werten auf der Taymyr-Halbinsel im Modell im Großen und Ganzen korrekt wiedergegeben wird. Änderungen in der isotopischen Signatur des Niederschlags lassen sich dabei vor allem durch eine mittlere bis hohe Korrelation zwischen dem $\delta^{18}\text{O}$ -Wert im Niederschlag und der bodennahen Oberflächentemperatur im mittleren bis späten Holozän erklären. Diese Korrelation ist noch ausgeprägter, wenn statt einer arithmetisch gemittelten Oberflächentemperatur eine niederschlagsgewichtete Temperatur von verschiedenen Zeiträumen betrachtet wird.

Modell-Modell-Vergleich (unverändert zum Zwischenbericht)

In einer dem PLOT-Projekt beigestellten Arbeit wurden die Simulationsergebnisse des bisherigen ECHAM5-wiso Modells mit Resultaten, welche mit dem neueren ECHAM6-wiso Modell erzielt wurden, verglichen. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die Simulationsergebnisse für die Isotopensignatur des Niederschlags für beide Modell-Versionen trotz wesentlicher allgemeiner Modellverbesserungen nur geringfügig unterscheiden (Cauquoin & Werner, 2021; siehe Anlage 3). Auf den vorgesehenen weitergehenden Modell-Modell-Vergleich für die verschiedenen PLOT-Lokationen (Task T5) konnte daher aufgrund der vorliegenden Simulationsergebnisse verzichtet werden.

Transiente Holozäne Simulationen (unverändert zum Zwischenbericht)

Die Analysen der durchgeführten Klimasimulationen haben sich daher auf den Vergleich von zwei verschiedenen voll-gekoppelten Klimasimulationen mit dem Erdsystem-Model COSMOS bzw. ECHAM5-wiso/MPI-OM beschränkt (Task T6). Hierbei wurde die in der PLOT-Projektphase analysierte Klimasimulation der letzten 8.000 Jahre, welche mit der Technik der orbitalen Beschleunigung durchgeführt wurde, mit einer äquivalenten Simulation ohne orbitale Beschleunigung im Detail verglichen. Die Simulationsergebnisse des vollständig gekoppelten Klimamodells ECHAM5/MPI-OM weisen auf ein empfindliches Gleichgewicht von negativen (z.B. vulkanische Aerosole) und positiven Strahlungsantrieben (z.B. Treibhausgase) während des Holozäns hin. Ein bekannter Wärme-Bias vieler Klimamodelle im westlichen Nordatlantik/Europa-Sektor (Liu et al., 2014) dominiert dabei die Modellergebnisse, unabhängig davon, ob die Klimasimulation mit oder ohne orbitaler Beschleunigung gerechnet wurde. Allerdings führt die Technik der orbitalen Beschleunigung zu einem schwächeren oder verzögerten Wärme-Bias, insbesondere im Ozean. Der

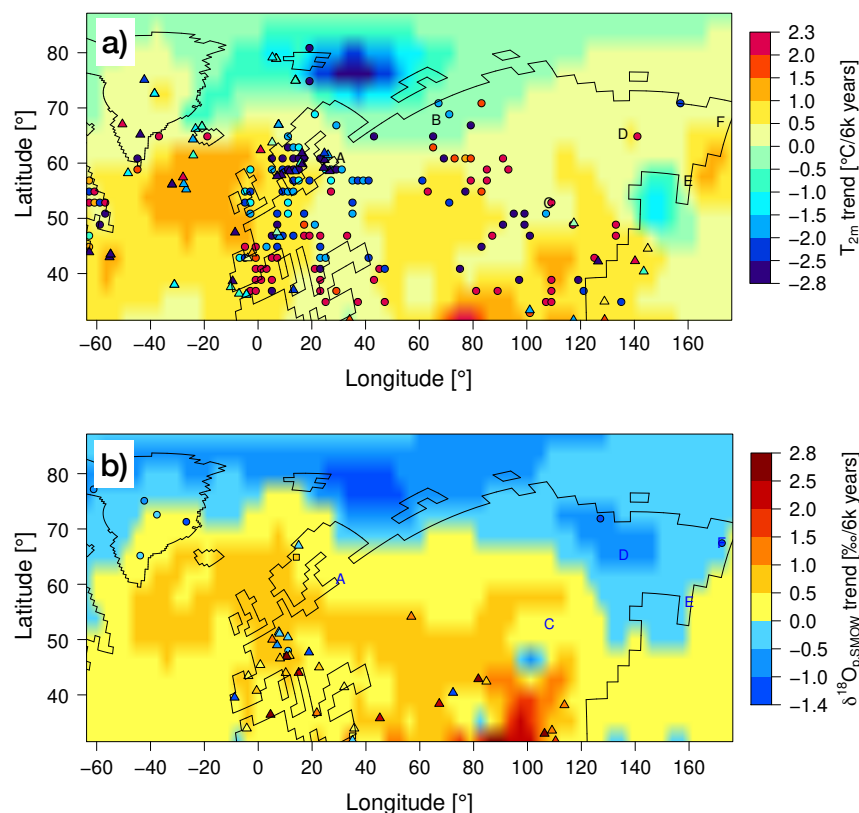


Abb. 16: a) Holozäner Trend der jährlichen mittleren 2m-Temperatur (in °C/6k Jahre), abgeleitet aus der transienten, nicht-beschleunigten ECHAM5-wiso/MPI-OM-Simulation. Positive Werte zeigen einen Temperatur-Anstieg von 6k bis 0 BP an. Farbige Kreise repräsentieren 155 Temperatur-Proxy-Trends von Bartlein et al. (2011). Farbige Dreiecke repräsentieren 69 Temperaturtrends (Kaufman et al., 2020). b) Holozäner Trend des jährlichen mittleren $\delta^{18}\text{O}$ -Werts im Gesamtniederschlags (in ‰/6k Jahre), abgeleitet aus der transienten, nicht-beschleunigten ECHAM5-wiso/MPI-OM-Simulation. Positive Werte zeigen einen $\delta^{18}\text{O}$ -Anstieg von 6k bis 0 BP an. Farbige Kreise, Dreiecke und Quadrate repräsentieren $\delta^{18}\text{O}$ -Trends aus den Datenbanken Temp12k 1.0.0 (Kaufman et al., 2020), SISAL 2.0 (Comas-Bru et al., 2020) und Iso2k 1.0.0 (Konecky et al., 2020). Großbuchstaben zeigen die Standorte der eurasischen Seen (A: Ladoga, B: Bolshoye Shchuchye, C: Kotokel, D: Emanda, E: Two-Yurts, F: El'gygytgyn). Die schwarze Kontur ist die Küstenlinie des Ozeanmodells.

Vergleich unserer Studie mit anderen Modellstudien legt dabei nahe, dass die transienten Treibhausgasänderungen, wie sie für Holozän-Simulationen in Klimamodellen vorgeschrieben werden, als Strahlungsantrieb möglicherweise überschätzt werden, falls negative Antriebsfaktoren, wie z.B. vulkanische Aerosole, nicht gleichzeitig mitberücksichtigt werden. Bei der Analyse der räumlichen Verteilung der holozänen $\delta^{18}\text{O}$ -Änderungen im eurasischen Niederschlag zeigt sich, dass diese Trends in beiden transienten Klimasimulationen stark durch die großräumigen Temperatur- und Niederschlagsmuster beeinflusst werden (Abb. 16).

Daten-Modell-Vergleich (unverändert zum Zwischenbericht)

Obwohl das ECHAM5-wiso/MPI-OM-Modell die gemessenen heutigen $\delta^{18}\text{O}$ Werte im Niederschlag sehr gut abbildet, werden holozäne Isotopentrends, welche an den Diatomeen aus den PLOT-Seen gemessen wurden, nicht immer korrekt simuliert. Dieses ist vor allem für den Ladoga-See und den Kotokel-See aufgrund des festgestellten „warm bias“ in den Holozän-Simulationen der Fall (Abb. 17). Beim Emanda-See hingegen gibt es eine gute Übereinstimmung des holozänen kontinentalen $\delta^{18}\text{O}$ -Trends in Ostsibirien mit den gemessenen Diatomeen-Isotopenwerten.

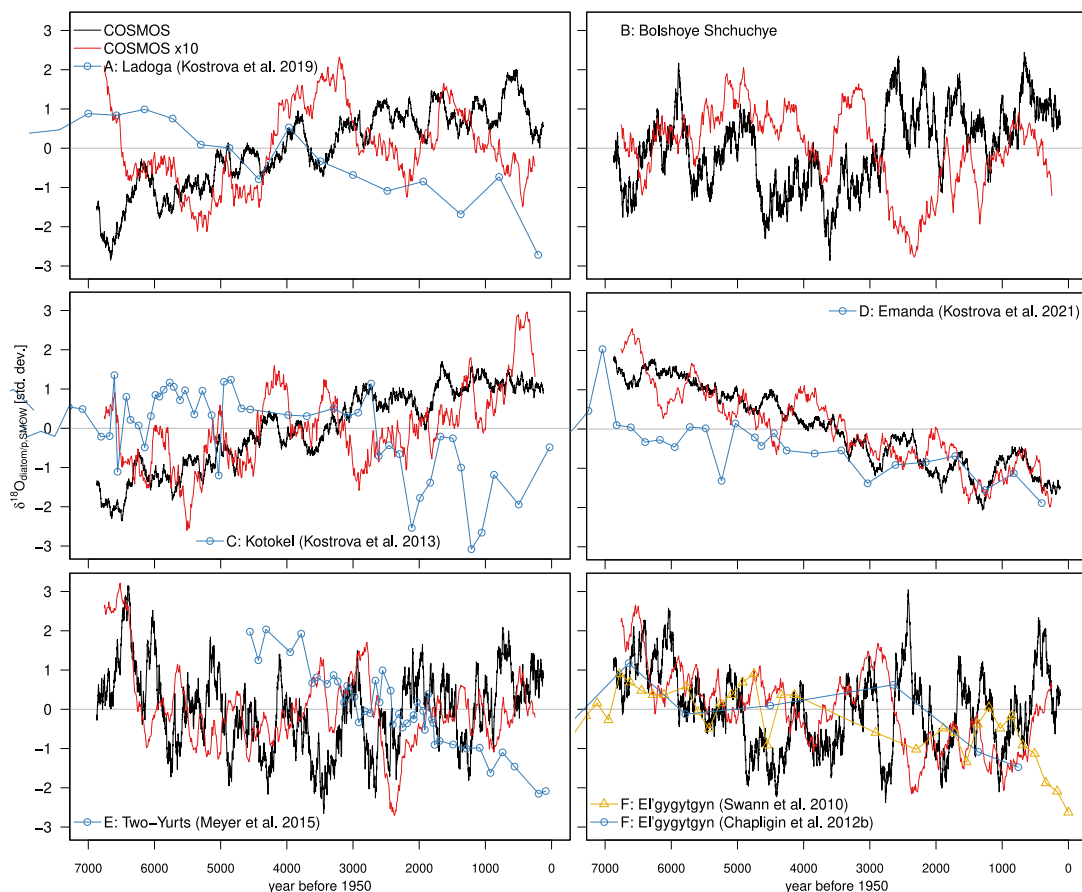


Abb. 17: $\delta^{18}\text{O}$ -Index-Zeitreihen aus Diatomeen-Aufzeichnungen (blaue oder gelbe Symbole) und aus Niederschlägen, wie sie in den transienten nicht-beschleunigten (schwarz) und beschleunigten (rot) ECHAM5-wiso/MPI-OM-Klimasimulationen des Holozäns an eurasischen Seen modelliert wurden. Um die langfristigen Trends besser darzustellen, wird ein gleitender Durchschnitt von 250 bzw. 50 Datenpunkten von den nicht-beschleunigten bzw. beschleunigten Modelldaten gezeigt.

Anhand der Modellergebnisse lassen sich die simulierten jeweiligen Langzeittrends im $\delta^{18}\text{O}$ Signal und ihre Variabilität auf dekadischen Zeitskalen durch verschiedene dominante atmosphärische Zirkulationsmuster am Bolshoye Shchuchye (Nord-Atlantische Oszillation, NAO) und an den östlichsten Seen Two-Yurts und El'gygytgyn (Aleutentief) erklären. Die identifizierten Isotopenprozesse und Zusammenhänge deuten darauf hin, dass der im PLOT-Projekt angestrebte Vergleich von gemessenen $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der Diatomeen und modellierten Sauerstoff-Isotopenverhältnissen im Niederschlag (Task T8) prinzipiell möglich ist, auch wenn die komplexen Fraktionierungsprozesse zwischen Diatomeen, Seewasser und Niederschlag in Klimamodellen nicht im Detail abgebildet werden. Allerdings wird aus den bisherigen Ergebnissen auch sehr deutlich, dass die Diatomeen-Isotopendaten der verschiedenen PLOT-Seen nicht direkt und ausschließlich mit Temperatur oder Niederschlag verknüpft sind. Vielmehr bleibt die Interpretation dieser Daten und ihr Vergleich mit Klimamodellen weiterhin eine Herausforderung.

Vergleich mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung

Die Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung ist im Berichtszeitraum im Verbundprojekt wie im TP 3 in weiten Teilen umgesetzt worden. Da die für Sommer 2020 vorgesehenen Feldarbeiten am Emanda-See (Task 1) aufgrund der Corona-Pandemie ersatzlos gestrichen werden mussten, liegen von diesem See keine weiteren Proben vor. Tasks 2 und 3 sind weitgehend umgesetzt. Die Untersuchungen am Taymyr-See ergaben nicht ausreichend Diatomeen für die Diatomeen-Isotopenanalytik, so dass von der Taymyr-Halbinsel aus TP 3 nur wenige Ergebnisse vorliegen. In Abstimmung mit dem PI des PLOT-Projektes, Martin Melles, wurde stattdessen auf den Ilirney-See ($67^{\circ}21'\text{N}$, $168^{\circ}19'\text{E}$) in Chukotka zu fokussiert, da von diesem See bereits Kernmaterial vorlag, das präholozäne Sedimente und ausreichend Diatomeen enthält. Die Arbeiten am Ilirney-See sind vielversprechend aber noch nicht final abgeschlossen.

Ein Aspekt, der im PLOT Synthese-Projekt umgesetzt werden sollte, ist die Analyse und Interpretation des Stellvertreter-Datensatzes ($\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$) zur zeitlichen Variabilität der Bioproduktivität der jeweiligen Seen (Task 4). $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ ist ein im lakustrinen Bereich innovativer Parameter, der die Nutzung vom Nährstoff Silizium durch die Kieselalgen und somit die Bioproduktivität anzeigt. Der Silizium-Kreislauf ist eng mit dem Kohlenstoff-Kreislauf gekoppelt. In Zusammenarbeit mit den Kollegen vom AWI Bremerhaven wurden vom AWI Potsdam mittlerweile für die drei PLOT Seen (Ladoga, Emanda, Bolshoye Shchuchye) Silizium-Isotope gemessen. Tabelle 1 zeigt, wieviele $\delta^{30}\text{Si}_{\text{diatom}}$ -Analysen an PLOT-Proben mittlerweile vorliegen. Die Interpretation der Datensätze wurde kurz vor Projektende begonnen.

Bei den durchgeführten Klimasimulationen haben sich die Analysen der Modellergebnisse auf den Vergleich von zwei transienten voll-gekoppelten Klimasimulationen mit dem Erdsystem-Model COSMOS bzw. ECHAM5-wiso/MPI-OM fokussiert. Die beiden Hauptsimulationen, welche einmal mit und einmal ohne Beschleunigungstechnik für die Antriebsdaten der Orbitalparameter durchgeführt wurden, zeigten an einzelnen PLOT-Standorten sehr

unterschiedliche Ergebnisse. Es wurde etwas mehr Zeit als ursprünglich geplant benötigt, um diese Ergebnisse im Detail zu verstehen und zu bewerten. Daher wurde aus Zeitgründen darauf verzichtet, eine zusätzliche Modellsimulation zur letzten Warmzeit MIS 5 (Task 7) in die Analysen noch mit einzubeziehen. Dieser Verzicht erscheint akzeptabel, da auch die vorliegenden lakustrinen Sauerstoff-Isotopendaten den Bereich der letzten Warmzeit nicht mit abdecken. Die geplanten Synthesearbeiten, welche den Modell-Daten-Vergleich von Klimasimulationen mit den im Berichtszeitraum vorliegenden Diatomeen-Isotopendaten beinhalten (Task 8), wurden erfolgreich durchgeführt und publiziert (Danek et al., 2021).

Wie bei der Koordination des Verbundvorhabens wurde auch bei den wissenschaftlichen Arbeiten des TP 3 zu den räumlichen und zeitlichen Änderungen des Wasserkreislaufs und seiner isotopischen Signaturen im nördlichen Eurasien die Arbeits-, Zeit- und Ausgabeplanung im Berichtszeitraum weitgehend wie im Projektantrag geplant umgesetzt.

Aussichten für die Erreichung der Ziele

Mit den beschriebenen Ergebnissen und Ereignissen haben sich im Berichtszeitraum die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens nicht verändert.

Ergebnisse von dritter Seite

Es sind keine Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind.

Zielsetzung

Es sind keine Änderungen in der Zielsetzung des Vorhabens erforderlich.

Fortschreibung des Verwertungsplans

Der Verwertungsplan kann für das TP 3 uneingeschränkt fortgeschrieben werden.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten sind bei diesem Vorhaben der Grundlagenforschung naturgemäß nur mittel- bis langfristiger Natur. Kurzfristig hat das Vorhaben eher wirtschafts-politische Bedeutung, da es durch die intensive Zusammenarbeit mit russischen Forschungseinrichtungen u.a. zur Vertrauensbildung beigetragen hat. Die Zusammenarbeit war durch die Pandemie-Lage eingeschränkt, und ist aufgrund der aktuellen politischen Situation weitgehend zum Erliegen gekommen.

Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten des Projektes bzw. TP3 sind durch 7 veröffentlichte Arbeiten und ein weiteres eingereichtes Manuskript dokumentiert. Nach den erfolgreichen Geländearbeiten an den verschiedenen Seen (mit Ausnahme der wegen Corona abgesagten zweiten Feldkampagne zum Emanda-See), sowie der weitgehend abgeschlossenen Analyse und Auswertung der dabei gewonnenen Daten und Proben im Verlauf der Pilotstudie und des zentralen PLOT-Projektes, konnten während der PLOT-Synthese-

phase weitere deutliche Fortschritte insbesondere bei der Auswertung und Publikation des Analysedaten gemacht werden. Die Projektfortschritte haben die hohen Erwartungen an das wissenschaftliche Material bestätigt und zeigen, dass das Projekt – trotz teils schwieriger Rahmenbedingungen – sehr erfolgreich war. Die letzte derzeit noch ausstehende, aber bereits eingereichte und zwei Mal begutachtete Arbeit zum Bolshoye Shchuchye-See steht kurz vor der finalen Veröffentlichung.

Eine wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ergibt sich aus der Verfügbarkeit der Isotopen-Daten aus den verschiedenen See-Sedimenten und der Bereitstellung der Klimasimulationsdaten für weiterführende Analysen. Des Weiteren belegen die im Rahmen der anderen Teilprojekte des PLOT-Projektes gewonnenen seismischen und hydroakustischen Daten, dass in den Seen Bolshoye Shchuchye, Levinson-Lessing und Emanda weitere wissenschaftlich sehr wertvolle Sedimente vorhanden sind, die mit den gewonnenen Sedimentkernen trotz Längen bis 54 m nicht erreicht wurden. Diese Erkenntnisse begründen Folgeprojekte mit weiteren Bohrungen und entsprechende Isotopenanalysen der Seesedimente sowie Klimasimulationen von älteren quartären Zeitabschnitten.

2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Das abgeschlossene Verbundprojekt PLOT-Synthese 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 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.

2.3 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Auf nationaler Ebene sind während der Laufzeit der PLOT-Synthese vor allem von Wissenschaftlern der Forschungsstelle Potsdam des AWI, die nicht Teil des TP 3 sind, umfangreiche Forschungsarbeiten zur Klima- und Umweltgeschichte im Norden Russlands aus Seesedimentabfolgen durchgeführt worden. Diese Untersuchungen basieren teilweise auf Kernmaterial, welches im Rahmen des PLOT-Projektes gewonnen wurde (Andreev et al., 2022; Schulte et al. einger., von Hippel et al. einger.), teilweise aber auch auf Kernmaterial von anderen Feldkampagnen. In beiden Fällen liefern sie wertvolle ergänzende Informationen zu den Ergebnissen der PLOT-Synthese.

Auf internationaler Ebene gibt es nach unserer Kenntnis nur ein größeres Projekt, das ähnliche Fragestellungen verfolgt wie das PLOT-Projekt: Das norwegisch-russische Projekt CHASE ("*Climate History along the Arctic Seaboard of Eurasia*"). Mit dem Chase-Projekt wurde und wird intensiv kooperiert, beginnend in der Hauptphase des PLOT-Projektes mit gemeinsamen Feldarbeiten am See Bolshoye Shuchye (Abb. 1) im Frühjahr 2016, gemeinsamer Arbeitstreffen an der Universität zu Köln (Febr. 2017) und der Universität Bergen (Mai 2018) sowie der gemeinsamen Herausgabe eines Sonderhefts der Zeitschrift *Boreas* im Jahr 2019 (*Northern Eurasian Lakes - Late Quaternary Glaciation and Climate History*), in dem zahlreiche Arbeiten aus beiden Projekten veröffentlicht sind. Im Rahmen der PLOT-Synthese wurde gemeinsam mit dem CHASE Projekt ein Sonderheft der Zeitschrift *Journal of Quaternary Science (Northern High Latitude Lakes - Quaternary Environmental and Climatic History)* editiert, das im Juli/August 2022 erscheinen wird. Mit diesem Heft, zu dem die PLOT-Synthese sieben Artikel beigesteuert hat (s. Anlage 3), wird die Fragestellung von der Russischen Arktis auf die gesamte Arktis ausgeweitet. Daraus wird deutlich, dass das PLOT-Projekt wichtige Impulse für die internationale Paläoklimaforschung in der gesamten Arktis gesetzt hat.

2.4 Abschlussarbeiten, Tagungsbeiträge und Veröffentlichungen

Die Abschlussarbeiten, Tagungsbeiträge und Veröffentlichungen der PLOT-Synthese sind in den eingehenden Darstellungen der Ergebnisse von den Teilprojekten (Kap. 2.1) aufgeführt und erläutert. Auflistungen finden sich in den Anlagen 1 (Abschlussarbeiten), 2 (Tagungsbeiträge) und 3 (Veröffentlichungen), wobei die Veröffentlichungen in Anlage 3 nicht nur aufgelistet sondern auch beigefügt sind.

2.5 Literaturverzeichnis

In diesem Literaturverzeichnis sind alle Veröffentlichungen aufgeführt, die - zusätzlich zu den Veröffentlichungen der PLOT-Synthese im Berichtszeitraum (siehe Anlage 3) - in diesem Bericht zitiert sind.

Andreev A., Tarasov P.E., Wennrich V. & Melles M. (2016): Millennial-scale vegetation changes in the north-eastern Russian Arctic during the Pliocene/Pleistocene transition (2.7 - 2.5 Ma) inferred from the pollen record of Lake Elgygytgyn. - *Quaternary Science Reviews*, 147: 245-258. doi: dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.03.030.

- Andreev A., Shumilovskikh L., Savelieva L., Gromig R., Fedorov G., Ludikova A., Wagner B., Wennrich V., Brill D. & Melles M. (2019): Environmental conditions in northwestern Russia during MIS 5 as inferred from the preglacial pollen record in Lake Ladoga. - *Boreas*, 48: 377-386. doi: 10.1111/bor.12382.
- Bartlein P.J., Harrison S.P., Brewer S., Connor S., Davis B.A.S., Gajewski K. et al. (2011): Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: a global synthesis. - *Climate Dynamics*, 37(3-4): 775–802. doi: 10.1007/s00382-010-0904-1.
- Comas-Bru L., Rehfeld K., Roesch C., Amimezhad Mozhdehi S., Harrison S.P., Atsawawaranunt K. et al. (2020): SISALv2: a comprehensive speleothem isotope database with multiple age–depth models. - *Earth System Science Data*, 12(4): 2579–2606. doi: 10.5194/essd-12-2579-2020.
- De La Rocha C., Brzezinski M.A., DeNiro M.J. & Shemesh A. (1998): Silicon-isotope composition of diatoms as an indicator of past oceanic change, - *Nature*, 395: 680-683.
- Fedorov G., Andreev A., Raschke E., Wennrich V., Schwamborg G., Glushkova O., Juschus O., Zander A. & Melles M. (2019): Middle to Late Pleistocene lake-level fluctuations of Lake El'gygytgyn, far-east Russian Arctic. - *Boreas*, 48: 516-533. doi: 10.1111/bor.12367.
- Gromig R., Wagner B., Wennrich V., Fedorov G., Savelieva L., Lebas E., Krastel S., Brill D., Andreev A., Subetto D. & Melles M. (2019): Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments. - *Boreas*, 48: 330-348. doi: 10.1111/bor.12379.
- Hafliadason H., Zweidorff J.L., Baumer M., Gyllencreutz R., Svendsen J.I., Gladyshev V. & Logvina E. (2019): The Lastglacial and Holocene seismostratigraphy and sediment distribution of Lake Bolshoye Shchuchye, Polar Ural Mountains, Arctic Russia. - *Boreas*, 48: 452–469. doi: 10.1111/bor.12387.
- Herzschuh U., Birks H.J.B., Laepple T., Andreev A., Melles M. & Brigham-Grette J. (2016): Glacial legacies on interglacial vegetation at the Pliocene-Pleistocene transition in NE Asia. - *Nature Communications*, 7: 11967. doi: nature.com/articles/ncomms11967.
- Kaufman D., McKay N., Routson C., Erb M., Davis B., Heiri O. et al. (2020): A global database of Holocene paleotemperature records. - *Scientific Data*, 7(1): doi: 10.1038/s41597-020-0445-3.
- Kolodyazhny S.Y., Terekhov E. & Baluev A. (2020): Structural-kinematic parageneses and dynamic evolution model of the Baltic–Mezen Shear Zone in the Phanerozoic, the northwestern part of the East European Platform. - *Geotectonics*, 54: 188–211. doi: 10.1134/S0016852120020077.
- Konecky B.L., McKay N.P., Churakova Sidorova O.V., Comas-Bru L., Dassié E.P., DeLong K.L. et al. (2020): The Iso2k database: a global compilation of paleo- $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ records records to aid understanding of Common Era climate. - *Earth System Science Data*, 12(3): 2261–2288. doi: 10.5194/essd-12-2261-2020.
- Kostrova S.S., Meyer H., Bailey H.L., Ludikova A.V., Gromig R., Kuhn G., Shibaev Y.A., Kozachek A.V., Ekaykin A.A. & Chaplignin B. (2019): Holocene hydrological variability of Lake Ladoga, northwest Russia, as inferred from diatom oxygen isotopes. - *Boreas*, 48: 361-376. doi: 1111/bor.12385.
- Lebas E., Krastel S., Wagner B., Gromig R., Fedorov G., Baumer M., Kostromina N. & Hafliadason H. (2019): Seismic stratigraphical record of Lake Levinson-Lessing, Taymyr Peninsula: evidence for ice-sheet dynamics and lake-level fluctuations since the Early Weichselian. - *Boreas*, 48: 470-487. doi: 10.1111/bor.12381.
- Liu Z., Zhu J., Rosenthal Y., Zhang X., Otto-Bliesner B.L., Timmermann A. et al. (2014): The Holocene temperature conundrum. - *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(34): E3501–E3505. doi.: 10.1073/pnas.1407229111
- Melles M. & Wennrich V. (2017): Arctic glacial and interglacial variability throughout the Quaternary: evidence from Lake El'gygytgyn, northeastern Russia. - *Polarforschung*, 87(1): 43-60. doi: 10.2312/polarforschung.87.1.43.
- Melles M., Svendsen J.I., Fedorov G. & Wagner B. (2019): Northern Eurasian lakes – late Quaternary glaciation and climate history – introduction. - *Boreas*, 48: 269-272. doi: 10.1111/bor.12395.
- Opfergelt S., Eiriksdottir E.S., Burton K.W., Einarsson A., Siebert C., Gislason S.R. & Halliday A.N. (2011): Quantifying the impact of freshwater diatom productivity on silicon isotopes and silicon

fluxes: Lake Myvatn, Iceland. - *Earth and Planetary Science Letters*, 305(1–2): 73-82. doi: 10.1016/j.epsl.2011.02.043.

Savelieva L., Andreev A., Gromig R., Subetto D., Fedorov G., Wennrich V., Wagner B. & Melles M. (2019): Vegetation and climate changes during the Late Glacial and Holocene inferred from the Lake Ladoga pollen record. - *Boreas*, 48: 349-360. doi: 10.1111/bor.12376.

Vyse S., Herzs Schuh U., Andreev A., Pestryakova L.A., Diekmann B., Armlage S.J. & Biskaborn B. (2020): Geochemical and sedimentological responses of arctic glacial Lake Ilirney, chukotka (far east Russia) to palaeoenvironmental change since ~51.8 ka BP. - *Quaternary Science Reviews*, 247: 106607. doi: 10.1016/j.quascirev.2020.106607.

Wennrich V., Andreev A.A., Tarasov P.E., Fedorov G., Zhao W.W., Gebhardt C.A., Meyer-Jacob C., Snyder J.A., Nowaczyk N.R., Chaplign B., Anderson P.M., Lozhkin A.V., Minyuk P.S., Koeberl C. & Melles M. (2016): Impact processes, permafrost dynamics, and climate and environmental variability in the terrestrial Arctic as inferred from the unique 3.6 Myr record of Lake Elgygytgyn, Far East Russia - a review. - *Quaternary Science Reviews*, 147: 221-244. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.03.019.

Zhao W., Tarasov P.E, Lozhkin A.V., Anderson P.M., Andreev A.A., Korzun J.A., Melles M., Nedorubova E.Y. & Wennrich V. (2018): High-latitude vegetation and climate changes during the Mid-Pleistocene Transition inferred from a palynological record from Lake El'gygytgyn, NE Russian Arctic. - *Boreas*, 47(1): 137-149. doi: 10.1111/ bor.12262.

Zhao W., Andreev A.A., Tarasov P.E., Wennrich V. & Melles M. (2019): Vegetation and climate during the penultimate interglacial of northeastern Russian Arctic: the Lake El'gygytgyn pollen record. - *Boreas*, 48: 507-515. doi: 10.1111/bor.12373.

3 Erfolgskontrollbericht

3.1 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis und Erfahrungen

Die PLOT-Synthese hat ihr übergeordnetes wissenschaftliches Ziel, die paläoklimatischen Ergebnisse des deutsch-russischen PLOT-Projektes von sechs Seen im nördlichen Russland abzurunden und vollumfänglich der Wissenschaftsgemeinschaft zugänglich zu machen, weitestgehend erreicht. Die Analysen an den zu Projektbeginn vorhandenen Daten und Proben sind überwiegend wie geplant durchgeführt worden und die Ergebnisse sind in diversen Abschlussarbeiten (Anlage 1), Tagungsbeiträgen (Anlage 2) und Publikationen (Anlage 3) der Wissenschaftsgemeinschaft zugänglich gemacht worden. Darüber hinaus steht das Proben- und Datenmaterial in den Archiven der beteiligten Institute und über frei zugängliche Datenbanken für weiter gehende Analysen zur Verfügung.

Bei den technischen Zielen der PLOT-Synthese wurde die Daten- und Probenanalyse weitestgehend wie geplant durchgeführt. Allerdings hat die Corona-Pandemie dazu geführt, dass die ebenfalls vorgesehene Feldkampagne am Emanda See, auf der die vorhandene Sedimentabfolge nach unten erweitert werden sollte, erst verschoben und dann abschließend abgesagt werden musste. Damit wurde ein wichtiges technisches Ziel verfehlt, wodurch der Gesamterfolg des Projektes jedoch nur unwesentlich geschmälert wird.

3.2 Fortschreibung des Verwertungsplanes

Der Verwertungsplan kann für das Verbundprojekt uneingeschränkt fortgeschrieben werden. Im Rahmen der PLOT-Synthese wurden keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen gemacht oder in Anspruch genommen. Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach

Projektende sind bei diesem Vorhaben der Grundlagenforschung naturgemäß lediglich mittel- bis langfristiger Natur (s. Kap. 2.2).

Allerdings ergeben sich durch das im Rahmen des PLOT-Projektes gewonnene Proben- und Datenmaterial wissenschaftliche Erfolgsaussichten, die über die bisher geleisteten Abschlussarbeiten, Tagungsbeiträge und Veröffentlichungen (s. Kap. 2.4, Anlagen 1 - 3) deutlich hinaus gehen. Eine wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für die Projektpartner ergibt sich aus den tiefgreifenden Erkenntnissen zu den aktuellen Bedingungen und zur langfristigen Geschichte der untersuchten Seen, die eine wichtige Grundlage für weiter gehende Forschungsarbeiten an den Seen darstellen. Das schließt Untersuchungen der Ökosystemdienstleistungen ein, wie Biodiversität, Fischerei, Tourismus, Transport, Wasserkraft oder andere industrielle Nutzungen der Seen, die im Rahmen des ICELESS-Projektes (Impact of Climatic and Environmental Changes on Arctic Lake Ecosystem Services) untersucht werden sollten. Das ICELESS-Projekt wurde gemeinsam mit russischen Partnern konzipiert und für die bilaterale Fachvereinbarung auf dem Gebiet der Polar- und Meeresforschung vorgeschlagen. Es wurde als vielversprechendstes Projekt von 14 Vorschlägen bewertet, konnte aber aufgrund der aktuellen politischen Entwicklungen in Russland nicht gefördert werden. Eine daraufhin vorgeschlagene Modifizierung des Projektes auf westeuropäische Seen, unter Beibehaltung der zentralen Zielsetzungen, deutschen Projektpartner und Untersuchungsmethoden, wurde vom BMBF leider abgelehnt.

Unabhängig davon steht das einzigartige Daten- und Probenmaterial vom PLOT-Projekt der Wissenschaftsgemeinschaft für zukünftige Auswertearbeiten zur Verfügung. Ein Beispiel dafür sind DNA-Analysen an den PLOT-Sedimentkernen durch das AWI, die bereits während der Laufzeit der PLOT-Synthese begonnen und zu ersten Manuskripten geführt haben (Schulte et al. einger., von Hippel et al. einger.). Darüber hinaus werden an den PLOT-Kernen aktuell beispielsweise durch US-amerikanische Partner detaillierte Untersuchungen zur Feuerhäufigkeit über Konzentrationsschwankungen von *Black Carbon* (Joe McConnell, *Desert Research Institute Reno*, und andere) und zu Klimaerwärmungsereignissen über Biomarker und Pflanzenwachsotope (Elizabeth Thoma, *Univ. Buffalo*, und andere) durchgeführt.

3.3 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Mit Ausnahme der Feldarbeiten am Emanda See, die aufgrund der Corona Pandemie letztlich abgesagt werden mussten (s.o.), konnten die Arbeiten im Rahmen der PLOT-Synthese weitestgehend wie geplant durchgeführt werden und haben zu guten bis sehr guten Lösungen geführt (s. Kap. 2.1).

3.4 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Die Ausgaben- und Zeitplanung für die PLOT-Synthese wurde in weiten Teilen eingehalten. Zu den größeren Ausnahmen zählt beim TP 1 die Corona-bedingte Streichung der Feldkampagne am Emanda See und die nur sehr eingeschränkte Realisierung der Gast-

wissenschaftler-Aufenthalte in Deutschland. Darüber hinaus hat das vorzeitige Ausscheiden der Technischen Angestellten D. Klinghardt Modifikationen bei den Abläufen der Laboranalysen erfordert, die jedoch durch Umwidmung von Mitteln auf studentische Hilfskräfte und wissenschaftliche Mitarbeiter zu keinen größeren Verzögerungen geführt haben.

Daneben traten lediglich kleinere Abweichungen von der ursprünglichen Planung auf, beispielsweise bei der Zeitplanung für die analytischen Arbeiten an den Sedimentkernen und bei der Publikation der Ergebnisse.

4 Kurzfassung

Kurzfassungen sowohl des abgeschlossenen Verbundvorhabens „PLOT-Pilotphase“ als auch der beteiligten drei Teilprojekte sind in deutscher und englischer Sprache den folgenden Berichtsblättern bzw. *Control Sheets* zu entnehmen.

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-Verbundprojekts „PLOT-Synthese“	
3b. Titel der Publikation PLOT-Synthese	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Melles, Martin; Wagner, Bernd; Krastel, Sebastian; Werner, Martin; Meyer, Hanno	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. Dezember 2021
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)): Melles, Martin; Wagner, Bernd; Krastel, Sebastian; Werner, Martin; Meyer, Hanno	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, D-50674 Köln Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Otto-Hahn-Platz 1, D-24118 Kiel Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Postfach 120161, D-27515 Bremerhaven	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03F0830 A, B, C
	11a. Seitenzahl Bericht 55 plus Anhang
	11b. Seitenzahl Publikation noch nicht bekannt
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 23 extern, 24 intern
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Verbundprojekt PLOT-Synthese hat wichtige neue Erkenntnisse zur Klima- und Umweltgeschichte im Verlauf des letzten Glazial/Interglazial-Zyklus entlang eines mehr als 6000 km langen longitudinalen Transektes über das nördliche Russland geliefert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der wenig bekannten Geschichte vor dem Holozän, der aktuellen Warmzeit. Das Projekt hat die Analyse und Interpretation von geophysikalischen Daten und Sedimentkernen aus den Seen Ladoga, Bolshoye Shuchye, Levinson-Lessing, Taymyr, Emanda und Elgygytyn vervollständigt, die im Rahmen von Vorgängerprojekten gewonnen wurden. Die Arbeiten wurden in drei sich ergänzenden Teilprojekten durchgeführt. Dabei konzentrierte sich das Teilprojekt 1 (TP 1) an der Universität zu Köln auf die multidisziplinäre Analyse der Sedimentkerne, das Teilprojekt 2 (TP 2) an der Universität zu Kiel auf die seismische Erkundung der Sedimentmächtigkeit und -architektur in den Seen und das Teilprojekt 3 (TP 3) am Alfred-Wegener-Institut in Potsdam und Bremerhaven auf isotopengeochemische Analysen an ausgewählten Seesedimenten sowie paläoklimatische Simulationen mit einem Erdsystem- und einem Atmosphärenmodell. Am TP 1 war darüber hinaus die Koordination des Verbundprojektes angesiedelt. Hauptpartner auf russischer Seite waren das <i>Arctic and Antarctic Research Institute (AARI)</i> und die <i>Saint Petersburg State University (SPSU)</i> in St. Petersburg. Die Ergebnisse zur Klima- und Umweltgeschichte an den einzelnen Seen wurden in einen überregionalen Kontext gestellt. Das erlaubt Rückschlüsse auf die regional unterschiedlich wirkenden Antriebsmechanismen, von externen Faktoren wie Insolationsschwankungen aufgrund von Änderungen der Erdbahnparameter bis hin zu Wechselwirkungen mit den regionalen Eisschilden, den benachbarten Ozeanen und der Vegetation und Permafrostverbreitung an Land. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Abschlussarbeiten, Tagungsbeiträgen und Publikationen dargestellt und auch über die Archivierung in internationalen Datenbanken der Wissenschaftsgemeinschaft zugänglich gemacht.	
20. Verlag	21. Preis

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

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. Type of Report Final report
3a. Report Title Joint final report of the BMBF collaborative project „PLOT Synthesis“	
3b. Title of Publication PLOT Synthesis	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Melles, Martin; Wagner, Bernd; Krastel, Sebastian; Werner, Martin; Meyer, Hanno	5. End of Project 31 December 2021
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Melles, Martin; Wagner, Bernd; Krastel, Sebastian; Werner, Martin; Meyer, Hanno	6. Publication Date planned
8. Performing Organization(s) (Name, Address) University of Cologne, Institute of Geology and Mineralogy, Zùlpicher Str. 49a, D-50674 Cologne Christian Albrechts University of Kiel, Institute of Geosciences, Otto-Hahn- Platz 1, D-24118 Kiel Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, P.O. Box 120161, D-27515 Bremerhaven	7. Form of Publication scientific journal
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 03F0830 A, B, C
	11a. No. of Pages Report 55 plus attachments
	11b. No. of Pages Publication not yet known
	12. No. of References 23 external, 24 internal
	14. No. of Tables 1
	15. No. of Figures 17
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract The collaborative project 'PLOT Synthesis' has provided important new findings concerning the climatic and environmental history in the course of the last glacial/interglacial cycle along a more than 6000 km long longitudinal transect over the Russian north. Special emphasis was put on the poorly known history before the Holocene, the current warm stage. The project complemented the analyses and interpretations of geophysical data and sediment cores from the lakes Ladoga, Bolshoye Shuchye, Levinson-Lessing, Taymyr, Emanda and Elgygytgyn, which had been recovered within the scope of preceding projects. The work was separated into three subprojects, which complemented each other. Subproject 1 at the University of Cologne focused on the multi-disciplinary analyses of the sediment cores, subproject 2 at the University of Kiel on the seismic exploration of the sediment thickness and architecture in the lakes and subproject 3 at the Alfred Wegener Institute in Potsdam and Bremerhaven on isotope-geochemical analyses of selected sediment records as well as paleoclimate simulations by means of Earth System and Atmosphere Models. The project coordination was conducted in the framework of subproject 1. Major collaborators in Russia were the <i>Arctic and Antarctic Research Institute (AARI)</i> and the <i>Saint Petersburg State University (SPSU)</i> in St. Petersburg. The results obtained about the climatic and environmental histories at the investigated lakes were put into a supra-regional context. They allow to draw conclusions on the regionally different driving forces, from external factors such as insolation changes due to variations of the Earth's orbit to feedback mechanisms between the regional ice sheets, the adjacent oceans and the vegetation and permafrost distribution on land. The results were made accessible for the science community by numerous qualification theses, conference contributions and publications, and via data archiving in international data bases.	
19. Keywords Palaeoclimate, palaeoenvironment, palaeolimnology, seismic, Arctic, Siberia, Quaternary	
20. Publisher	21. Price

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 Abschlussbericht des Teilprojekts 1 „Koordination und Paläoklimatologie“ des BMBF-Verbundprojekts „PLOT-Synthese“	
3b. Titel der Publikation Teilprojekt 1 der PLOT-Synthese	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Melles, Martin; Wagner, Bernd	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. Dezember 2021
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)): Melles, Martin; Wagner, Bernd	6. Veröffentlichungsdatum geplant
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität zu Köln, Institut für Geologie und Mineralogie, Zülpicher Str. 49a, D-50674 Köln	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03F0830 A
	11a. Seitenzahl Bericht 55 plus Anhang
	11b. Seitenzahl Publikation noch nicht bekannt
	13. Literaturangaben 23 extern, 24 intern
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Verbundprojekt PLOT-Synthese hatte zum Ziel, wichtige neue Erkenntnisse zur Klima- und Umweltgeschichte entlang eines mehr als 6000 km langen longitudinalen Transektes über das nördliche Russland zu gewinnen. Die Untersuchungen gliederten sich in drei einander ergänzende Teilprojekte und wurden vom Teilprojekt 1 an der Universität zu Köln koordiniert. Im Rahmen des Teilprojektes 1 wurden darüber hinaus multi-disziplinäre geowissenschaftliche Analysen an Bohrkernen aus den Seen Ladoga (bei St. Petersburg), Bolshoye Shuchye (Polarural), Levinson-Lessing und Taymyr (Taymyr-Halbinsel), Emanda (Werchojansker Gebirge) sowie Elgygytgyn (Tschukotka) erweitert und abgeschlossen, die im Rahmen von Vorgängerprojekten begonnen worden waren. Die Ergebnisse wurden bezüglich der regionalen Geschichte interpretiert, mit den Ergebnissen der beiden anderen Teilprojekte verschnitten und zu einer Synthese zusammengeführt. Damit hat das Teilprojekt 1 wesentlich zum wissenschaftlichen Erfolg des Verbundprojekts beigetragen. Von besonderer Bedeutung ist das wesentlich verbesserte Verständnis des Klimageschehens im nördlichen Russland im Verlauf des letzten Glazial/Interglazial-Zykluses, mit den komplexen Antriebsmechanismen und Wechselwirkungen, die auch für Prognosen zukünftiger Entwicklungen relevant sind. Die Ergebnisse sind in zahlreichen Abschlussarbeiten, Tagungsbeiträgen und Publikationen dargestellt und auch über die Archivierung in internationalen Datenbanken der Wissenschaftsgemeinschaft zugänglich gemacht.	
19. Schlagwörter Paläoklima, Paläoumwelt, Paläolimnologie, Arktis, Sibirien, Quartär	
20. Verlag	21. Preis

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

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. Type of Report Final report
3a. Report Title Final report of the subproject 1 „Coordination and Paleoclimatology“ of the BMBF collaborative project „PLOT Synthesis“	
3b. Title of Publication Subprojekt 1 of the PLOT-Synthesis	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Melles, Martin; Wagner, Bernd	5. End of Project 31. Dezember 2021
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Melles, Martin; Wagner, Bernd	6. Publication Date planned
	7. Form of Publication scientific journal
8. Performing Organization(s) (Name, Address) University of Cologne, Institute of Geology and Mineralogy, Zùlpicher Str. 49a, D-50674 Cologne	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 03F0830 A
	11a. No. of Pages Report 55 plus attachments
	11b. No. of Pages Publication not yet known
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. No. of References 23 external, 24 internal
	14. No. of Tables 1
	15. No. of Figures 17
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract <p>The collaborative project PLOT Synthesis aimed at new important results concerning the climatic and environmental history along a more than 6000 km long longitudinal transect crossing northern Russia. The work was separated into three complementary subprojects, with the coordination carried out by subproject 1 at the University of Cologne. Besides, subproject 1 expanded and completed multi-disciplinary geoscientific investigations on sediment cores from lakes Ladoga (close to St. Petersburg), Bolshoye Shuchye (Polar Urals), Levinson-Lessing and Taymyr (Taymyr Peninsula) as well as Emanda (Verkhoyansk Mountains), which had started within the framework of preceding projects. The results were interpreted with respect to the regional histories, merged with the findings of the other two subprojects, and integrated into the project synthesis. Thereby, subproject 1 significantly contributed to the scientific success of the collaborative project. Of particular value is the strongly improved understanding of the climate variability in northern Russia in the course of the last glacial/interglacial cycle, with the complex driving forces and feedback mechanisms, which are relevant also for predictions of future developments. The results are presented in numerous qualification theses, conference contributions and publications, and are made accessible for the science community also via their archiving in international data bases.</p>	
19. Keywords Paleoclimate, palaeoenvironment, paleolimnology, Arctic, Siberia, Quaternary	
20. Publisher	21. Price

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 Abschlussbericht des Teilprojekts 2 „Seismik - Tektonische und sedimentäre Geschichte der Seen“ des BMBF-Verbundprojekts „PLOT – Synthese“	
3b. Titel der Publikation PLOT - Synthese, Teilprojekt 2	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Krastel, Sebastian	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. Dezember 2021
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)): Krastel, Sebastian	6. Veröffentlichungsdatum geplant
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Institut für Geowissenschaften, Otto-Hahn-Platz 1, D-24118 Kiel	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03F0830B
	11a. Seitenzahl Bericht 55 plus Anhang
	11b. Seitenzahl Publikation noch nicht bekannt
	13. Literaturangaben 23 extern, 24 intern
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Ziel des Teilprojekts 2 „Seismik - Tektonische und sedimentäre Geschichte der Seen“ des Verbundprojekts PLOT-Synthese war es, die in dem Projekt PLOT gesammelten seismischen Daten unter Einbeziehung der Bohrergebnisse zu interpretieren, um für die Seen Levinson-Lessing, Taymyr und Ladoga die strukturelle Entwicklung zu rekonstruieren. Für die Bohrungen konnte eine verlässliche Korrelation zwischen seismischen und lithologischen Einheiten erstellt werden, um die Altersmodelle auf die seismischen Daten zu übertragen. Für den See Levinson-Lessing stellt die aus Stauch- bzw. Endmoränen bestehende seismische Einheit V die jüngste glaziale Einheit dar. Diese Einheit wurde während der Eisvorstöße des Barents-Kara Eisschildes im MIS 5d-5b (~85-115 ka) abgelagert. Darüber folgen die sub- bzw. pro-glaziale Einheit IV, die marine Einheit III, die fluviatile-lakustrine Einheit II und die lakustrine Einheit I. Die hydroakustischen und seismischen Daten des Taymyr Sees erlauben eine Unterteilung der sedimentären Abfolge in vier seismisch-stratigraphische Einheiten. Die kombinierte Interpretation aller Daten zeigt seit dem späten Weichsel-Glazial eine komplexe Geschichte mit Seespiegelschwankungen von mehr als 50 m. Die Veränderungen des Seespiegels sind nicht nur durch das lokale Klima, sondern auch durch den relativen Meeresspiegel des angrenzenden Arktischen Ozeans und die regionale Eisschildgeschichte gesteuert. Die Daten des Ladoga Sees zeigen, dass während der Saale-Eiszeit Täler in das Basement erodiert wurden. Die Sedimente der darüber liegenden Einheit S2 sind während MIS 5 als lakustrine Sedimente abgelagert worden. Darüber befindet sich ein Hiatus von ca. 60 ka, der als Folge der überlagernden Eiskecke im drauffolgenden Glazial entstanden ist. Oszillationen des skandinavischen Eisschildes nach dem letzten glazialen Maximum haben zur Bildung eines Moränenmound-Komplexes geführt. Während der weiteren Abschmelzung des Eises wurden gewarnte Sedimente der Einheit S3 abgelagert, gefolgt von lakustrinen holozänen Sedimenten (Einheit S4). Zahlreiche Störungen (vor allem Abschiebungen) im nördlichen Teil des Taymyr Sees sind als Folge des post-glazialen isostatischen Uplifts des Baltischen Schildes entstanden.	
19. Schlagwörter Paläoumwelt, Paläolimnologie, Seismik, Arktis, Sibirien, Quartär	
20. Verlag	21. Preis

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

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planned	2. Type of Report Final report
3a. Report Title Final report of the subproject 2 „Seismic – Tectonic and Sedimentary History of the Lakes “ of the BMBF collaborative project „PLOT – Synthesis“	
3b. Title of Publication PLOT - Synthese, Subprojekt 2	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Krstel, Sebastian	5. End of Project 31 December 2021
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Krstel, Sebastian	6. Publication Date planned
	7. Form of Publication scientific journal
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Kiel University Institute of Geosciences Otto-Hahn-Platz 1, D-24118 Kiel	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 03F0830B
	11a. No. of Pages Report 55 plus attachments
	11b. No. of Pages Publication not yet known
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. No. of References 23 external, 24 internal
	14. No. of Tables 1
	15. No. of Figures 17
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract The aim of Subproject 2 "Seismic - Tectonic and Sedimentary History of the Lakes" of the collaborative project PLOT-Synthesis was to interpret the seismic data collected in the project PLOT by including the drilling results in order to reconstruct the structural evolution for the lakes Levinson-Lessing, Taymyr and Ladoga. A reliable correlation between seismic and lithologic units at the drill sites allowed to apply the age models to the seismic data. For Lake Levinson-Lessing, Seismic Unit V, consisting of push-moraines and end moraines, represents the youngest glacial unit. This unit was deposited during the ice advances of the Barents-Kara Ice Sheet during MIS 5d-5b (~85-115 ka). The sedimentary succession on top consists of the subglacial or proglacial unit IV, marine unit III, fluvial-lacustrine unit II, and lacustrine unit I. The hydroacoustic and seismic data from Lake Taymyr allow subdivision of the sedimentary sequence into four seismic-stratigraphic units. The combined interpretation of all data shows a complex history with lake level fluctuations exceeding 50 m since the late Weichselian glacial. Lake-level changes were controlled not only by the local climate, but also by the relative sea level of the adjacent Arctic Ocean and regional ice sheet history. Lake Ladoga data shows that valleys were eroded into the basement during the Saalian Glaciation. Sediments of overlying Unit S2 were deposited as lacustrine sediments during MIS 5. A hiatus of about 60 ka developed as a result of erosive power of the overlying ice sheet during the succeeding glacial. Oscillations of the Scandinavian Ice Sheet after the last glacial maximum have led to the formation of a moraine mound complex. During the further melting of the ice, varved sediments of unit S3 were deposited followed by lacustrine Holocene sediments (unit S4). Numerous faults (mainly normal faults) in the northern part of Lake Taymyr developed as a result of post-glacial isostatic uplift of the Baltic Shield.	
19. Keywords Palaeoenvironment, palaeolimnology, seismic imaging, Arctic, Siberia, Quaternary	
20. Publisher	21. Price

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 Abschlussbericht des Teilprojekts 3 des BMBF-Verbundprojekts „PLOT - Paläolimnologischer Transekt - Synthese Räumlich-zeitliche Dynamik des hydrologischen Kreislaufs und ihre Isotopensignaturen im nördlichen Eurasien“	
3b. Titel der Publikation PLOT - Synthese, Teilprojekt 3	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Meyer, Hanno; Werner, Martin	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. Juni 2021
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)): Krstel, Sebastian	6. Veröffentlichungsdatum geplant
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Postfach 120161, D-27515 Bremerhaven	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 03F0830C
	11a. Seitenzahl Bericht 55 plus Anhang
	11b. Seitenzahl Publikation noch nicht bekannt
	13. Literaturangaben 23 extern, 24 intern
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Verbundprojekt „PLOT Synthese“ hatte zum Ziel, die Klima- und Umweltgeschichte im Spätquartär entlang eines mehr als 6000 km langen longitudinalen Transektes über das nördliche Eurasien erstmals detailliert zu rekonstruieren. Die Untersuchungen gliederten sich in drei einander ergänzende Teilprojekte. Im Rahmen des TP 3 am Alfred-Wegener-Institut in Potsdam und Bremerhaven wurden glazial-interglaziale Veränderungen des hydrologischen Kreislaufs in der eurasischen Arktis mit einem kombinierten Daten-Modell-Ansatz untersucht. Von den im Rahmen von PLOT bearbeiteten Seen wurden mittels Analyse der Sauerstoff-Isotopenzusammensetzung in lakustrinen Kieselalgen (Diatomeen) Informationen über lokale Temperatur- und Niederschlagsänderungen im Einzugsgebiet der verschiedenen PLOT-Seen rekonstruiert (TP 3a). Die proxy-basierte Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte zeigt Ähnlichkeiten (wie eine holozäne Temperaturabnahme), aber auch lokale hydrologische Unterschiede der einzelnen Seen. Der innovative Proxy $\delta^{30}\text{Si}$ hat Potential für die Rekonstruktion vergangener Bioproduktivitäts-Zustände. Die proxy-basierte Rekonstruktion wurde durch transiente Holozän-Klimasimulationen ergänzt, die mit einem vollständig gekoppelten Erdsystem-Modell durchgeführt wurden, welches um die explizite Simulation von stabilen Wasserisotopen erweitert war (TP 3b). Diese Erweiterung ermöglichte einen direkten Vergleich der Modellergebnisse mit der gemessenen Sauerstoffisotopenzusammensetzung in lakustrinen Diatomeen der verschiedenen PLOT-Seen. Das komplexe Zusammenspiel von Temperatur-, Niederschlags- und atmosphärischen Zirkulationsschwankungen während des Holozäns auf die Sauerstoff-Isotopenänderungen an den verschiedenen See-Standorten wurde analysiert, und die Modellergebnisse wurden für eine verbesserte Interpretation der verschiedenen lakustrinen Diatomeen-Datensätze verwendet.	
19. Schlagwörter Paläoklima, Paläohydrologie, Diatomeen-Isotope, Isotopenmodellierung, Arktis, Sibirien, Quartär	
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 Final report of the subproject 3 „Temporal and spatial dynamics of the hydrological cycle and its isotopic signatures in northern Eurasia“ of the BMBF collaborative project „PLOT – Synthesis“	
3b. Title of Publication PLOT - Synthesis, Subproject 3	
4a. Author(s) of the Report (Family Name, First Name(s)) Meyer, Hanno; Werner, Martin	5. End of Project 31. Juni 2021
4b. Author(s) of the Publication (Family Name, First Name(s)) Meyer, Hanno; Werner, Martin	6. Publication Date planned
	7. Form of Publication scientific journal
8. Performing Organization(s) (Name, Address) Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Post Box 120161, D-27515 Bremerhaven	9. Originator's Report No.
	10. Reference No. 03F0830C
	11a. No. of Pages Report 55 plus attachments
	11b. No. of Pages Publication not yet known
13. Sponsoring Agency (Name, Address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	12. No. of References 23 external, 24 internal
	14. No. of Tables 1
	15. No. of Figures 17
16. Supplementary Notes	
17. Presented at (Title, Place, Date)	
18. Abstract The collaborative project 'PLOT - Synthesis' aimed at the first detailed reconstruction of the climatic and environmental history during the Late Quaternary along a more than 6000 km long longitudinal transect crossing northern Eurasia. The work was separated into three subprojects, which complement each other. In the frame of subproject 3 at the Alfred Wegener Institute in Potsdam and Bremerhaven glacial-interglacial changes of the hydrological cycle in northern Eurasia were investigated with a combined data-model approach. Local temperature and precipitation changes in the catchment areas of the different PLOT lakes were reconstructed by analyzing the oxygen isotope composition in lacustrine diatoms (TP 3a). This proxy-based reconstruction of the Late Quaternary climate and environmental history shows similarities (such as a Holocene temperature decrease), but also local hydrological differences of the individual PLOT lakes. The innovative proxy 30Si has potential for reconstructing past bioproductivity states. The proxy-based reconstruction was complemented and encompassed by transient Holocene climate simulations performed with a fully coupled Earth system enhanced by the explicit simulation of stable water isotopes (TP 3b). This model enhancement allowed to directly compare simulation results with the measured oxygen isotope composition in lacustrine diatoms of the different PLOT lakes. The complex interplay of temperature, precipitation, and atmospheric circulation variations during the Holocene on oxygen isotope changes at the different lake locations was analysed and model results were used for an improved interpretation of the various lacustrine diatom records.	
19. Keywords Palaeoclimate, palaeohydrology, diatom isotopes, isotope modelling, Arctic, Siberia, Quaternary	
20. Publisher	21. Price

Liste Abschlussarbeiten

Unterstrichen⁽¹⁾ = Mitarbeiter Verbundprojekt
[⁽¹⁾Univ. zu Köln, ⁽²⁾Univ. zu Kiel, ⁽³⁾AWI Brhv. und Potsdam]

2020

Baumer, Marlene Margit⁽¹⁾ (2020): Late Quaternary climate and environmental reconstructions based on lake sediments from the Siberian Arctic.- Doktorarbeit, Universität zu Köln.

Lenz, Matthias⁽¹⁾ (2020): Last glacial-interglacial climate and environmental reconstructions based on lake sediments across a transect between Greenland and East Siberia.- Doktorarbeit, Universität zu Köln.

2019

Pielorz, Michael⁽¹⁾ (2019): Pleistozäne und Holozäne Umweltgeschichte des Emanda Sees, Werchojansker Gebirge, Russland.- M.Sc.-Arbeit, Universität zu Köln.

Liste Tagungsbeiträge

Unterstrichen⁽¹⁾ = Mitarbeiter Verbundprojekt
[⁽¹⁾Univ. zu Köln, ⁽²⁾Univ. zu Kiel, ⁽³⁾AWI Brhv. und Potsdam]

2021

- Chellman N., McConnell J.R., Arienzo M.M., Wennrich V.⁽¹⁾, Melles M.⁽¹⁾ & Brigham-Grette J. (2021): 1.5 million years of black carbon deposition from Lake El'gygytyn, Siberia. - Vortrag auf dem *AGU Fall Meeting*, Dez. 2021, online.
- Dietze E., Andreev A., Mangelsdorf K., Theuerkauf M., Kraamwinkel C., Melles M.⁽¹⁾, Chapligin B., Meyer H.⁽³⁾, Tessendorf T., Wennrich V.⁽¹⁾ & Herzschuh U. (2020): Fires to support biome shifts in E Siberia? Interglacial fire-vegetation-climate feedbacks reconstructed from marine-isotope-stage-11-sediments of Lake El'gygytyn, NE Siberia. - Vortrag bei dem *Intern. Meeting on Organic Geochem.*, Sept. 2021, online.
- von Hippel B., Stoof-Leichsenring K.R., Schulte L., Courtin J., Seeber P., Epp L.S., Lenz M.⁽¹⁾, Scheidt S.⁽¹⁾, Herzschuh U. (2021) Fungi and plant co-variation in Arctic Siberia inferred from sedaDNA metabarcoding. - Vortrag auf dem *PAGES Young Scientist Meeting*, Mai 2021, online.
- Meyer H.⁽³⁾, Kostrova S.⁽³⁾, Meister P., Lenz M.M.⁽¹⁾, Nazarova L., Kuhn G. & Dvornikov, Y. (2021): Short-term hydroclimate changes in the Lake Bolshoye Shchuchye biogenic silica isotope record ($\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$) linked to snow variability in the catchment. - Vortrag, online, auf der PALEOARC 2021 - 2nd International Conference on 'Processes and Palaeo-environmental changes in the Arctic from past to present', Mai 2021.
- Meister P., Biskaborn B.K., Chapligin B., Diekmann B., Herzschuh U., Kostrova S.⁽³⁾, Narancic B. & Meyer, H.⁽³⁾ (2021): Lacustrine oxygen isotope records from biogenic silica ($\delta^{18}\text{O}_{\text{BSi}}$) – a global compilation and review. - Vortrag, online, EGU General Assembly, April 2021.
- Courtin J., Schulte L., Andreev A.A., Stoof-Leichsenring K., Lenz M., Melles M.⁽¹⁾, Herzschuh U. (2021): Effects of forest invasion and retreat on tundra biodiversity inferred from sedimentary ancient DNA of lake Levinson Lessing, Taymyr Peninsula, Russia. - Vortrag bei dem *EGU General Assembly 2021*, April 2021, online.
- von Hippel B., Stoof-Leichsenring K.R., Schulte L., Seeber P., Epp L.S., Melles M.⁽¹⁾ & Herzschuh U. (2021): Fungi and plant co-variation in Arctic Siberia inferred from sedaDNA metabarcoding. - Vortrag auf der *Arctic Science Summit Week*, März 2021, online.

2020

- Dietze E., Andreev A., Chapligin B., Kraamwinkel C., Mangelsdorf K., Melles M.⁽¹⁾, Meyer H.⁽³⁾, Tessendorf T., Wennrich V.⁽¹⁾ & Herzschuh U. (2020): Glacial-to-interglacial fire-

vegetation-climate feedbacks during marine isotope stages 11 and 12: a multi-fire proxy study using sediments of Lake El'gygytgyn, NE Siberia. - Vortrag bei dem *AGU Fall Meeting*, Dez. 2020, online.

Kostrova S.⁽³⁾, Meyer H.⁽³⁾, Pestryakova L., Biskaborn B.K., Fernandoy F. & Baumer M.⁽¹⁾ (2020): Environmental and climate dynamics in northeastern Siberia according to diatom oxygen isotopes. - Vortrag auf der *EGU General Assembly*, Mai 2020, online.

Kostrova S.⁽³⁾, Meyer H.⁽³⁾, Fernandoy F., Tarasov P., Bezrukova E., Mackay A. & Harding P. (2020): Reconstructing moisture origin using stable isotopes: modern and fossil records from Baikal Siberia. - Vortrag auf dem Workshop *Archaeology in East Asia: Bridge Building to Natural Sciences*. Febr. 2020, Berlin.

2019

Savelieva L., Kostromina N., Lenz M.⁽¹⁾, Krikunova A., Fedorov G., Kol'ka V. & Melles M.⁽¹⁾, (2019): Vegetation and climate of Kola Region (NW Russia) inferred from complex studies of Late Glacial and Holocene lake sediments. - Poster auf dem *AGU Fall Meeting*, Dez. 2019.

Liste Publikationen

Unterstrichen⁽¹⁾ = Mitarbeiter Verbundprojekt
 [(⁽¹⁾Univ. zu Köln, (⁽²⁾Univ. zu Kiel, (⁽³⁾AWI Brhv. und Potsdam)]

eingereicht

- (a) Gromig R.⁽¹⁾, Grunert P., Scheidt S.⁽¹⁾ & Melles M.⁽¹⁾ (einger.): Postglacial shelf erosion, riverine input and lake drainage in the eastern Kara Sea, Russia. - *Marine Geology*.
- (b) Meyer H.⁽³⁾, Kostrova S.⁽³⁾, Meister P., Lenz M.M.⁽¹⁾, Nazarova L., Kuhn G. & Dvornikov Y. (einger.): Lacustrine diatom oxygen isotopes as palaeo precipitation proxy - Holocene environmental and snowmelt variations recorded at Lake Bolshoye Shchuchye, Polar Urals, Russia. - *Quaternary Science Reviews*.
- (c) Schulte L., Meucci S., Stoof-Leichsenring K., Heitkam T., von Hippel B., Diekmann B., Melles M.⁽¹⁾, Petryakova L., Krutovsky K.V. & Herzschuh U. (einger.): Spatial distribution of *Larix* species in Siberia since the Last Glacial captured from sedimentary ancient DNA. - *Communications Biology*.
- (d) von Hippel B., Stoof-Leichsenring K.R., Schulte L., Kauserud H., Seeber P., Epp L.S., Biskaborn B.K., Diekmann B., Melles M.⁽¹⁾, Petryakova L. & Herzschuh U. (einger.): Long-term fungus-plant covariation from multi-site sedimentary ancient DNA metabarcoding. - *Quaternary Science Reviews*.

im Druck

- (e) Melles M.⁽¹⁾, Svendsen J.I., Fedorov G., Brigham-Grette J. & Wagner B.⁽¹⁾ (im Druck): Quaternary environmental and climatic history of the northern high latitudes - recent contributions and perspectives from lake sediment records. - *Journal of Quaternary Science*.

2022

- (f) Andreev A.A., Nazarova L.B., Lenz M.M.⁽¹⁾, Böhmer T., Syrykh L., Wagner B.⁽¹⁾, Melles M.⁽¹⁾, Petryakova L.A. & Herzschuh U. (im Druck): Late Quaternary paleoenvironmental reconstruction from sediments of Lake Emanda (Verkhoyansk Mountains, East Siberia). - *Journal of Quaternary Science*. doi: 10.1002/jqs.3419, online first.
- (g) Scheidt S.⁽¹⁾, Lenz M.⁽¹⁾, Egli R., Brill D., Klug M., Fabian K., Lenz M.M.⁽¹⁾, Gromig R.⁽¹⁾, Rethemeyer J., Wagner B.⁽¹⁾, Federov G. & Melles M.⁽¹⁾ (2022): A 62 kyr geomagnetic palaeointensity record from the Taymyr Peninsula, Russian Arctic. - *Geochronology Preprint*, 4: 87-107. doi: 10.5194/gchron-4-87-2022.
- (h) Zhao W., Andreev A.A., Wennrich V.⁽¹⁾, Li Q. & Melles M.⁽¹⁾ (2022): Quaternary environmental changes in central Chukotka (NE Russia) inferred from Lake El'gygytgyn pollen records. - *Journal of Quaternary Science*. doi: 10.1002/jqs.3408, online first.

2021

- (i) Andreev A., Dietze E., Glushkova O., Smirnov V., Wennrich V.⁽¹⁾ & Melles M.⁽¹⁾ (2021): The environment at Lake El'gygytgyn area (northeastern Russian Arctic) prior to and after the meteorite impact at 3.58 Ma - *Frontiers in Earth Science*, 9: 636983. doi: 10.3389/feart.2021.636983.
- (j) Baumer M.M.⁽¹⁾, Wagner B.⁽¹⁾, Meyer H.⁽³⁾, Leicher N., Lenz M.⁽¹⁾, Fedorov G., Pestryakova L.A. & Melles M.⁽¹⁾ (2021): Climatic and environmental changes at Lake Emada, Yana Highlands, Yakutia, over the last c. 60.000 years. - *Boreas*, 50: 114-133. doi: 10.1111/bor.12476.
- (k) Cauquoin A. & Werner M.⁽³⁾ (2021). High-resolution nudged isotope modeling with ECHAM6-wiso: Impacts of updated model physics and ERA5 reanalysis data. - *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13: e2021MS002532. doi: 10.1029/2021MS002532.
- (l) Danek C.⁽³⁾, Gierz P., Kostrova S.S.⁽³⁾, Meister P., Meyer H.⁽³⁾ & Werner M.⁽³⁾ (2022): Eurasian Holocene climate trends in transient coupled climate simulations and stable oxygen isotope records. - *Journal of Quaternary Science*. doi: 10.1002/jqs.3396, online first.
- (m) Gromig R.⁽¹⁾, Lebas E.⁽²⁾, Savelieva L., Pushina Z., Fedorov G., Brill D., Lenz M.M.⁽¹⁾, Krastel S.⁽²⁾, Wagner B.⁽¹⁾, Kostromina N., Mustafin M. & Melles M.⁽¹⁾ (2021): Sedimentation history of Lake Taymyr, central Russian Arctic, since the Last Glacial Maximum. - *Journal of Quaternary Science*. doi: 10.1002/jqs.3342, online first.
- (n) Kostrova S.S.⁽³⁾, Biskaborn B.K.⁽²⁾, Pestryakova L.A., Fernandoy F., Lenz M.M.⁽¹⁾ & Meyer H.⁽³⁾ (2021): Climate and environmental changes of the Lateglacial transition and Holocene in northeastern Siberia: Evidence from diatom oxygen isotopes and assemblage composition at Lake Emada. - *Quaternary Science Reviews*, 259: 106905. doi: 10.1016/j.quascirev.2021.106905, online first.
- (o) Lebas E.⁽²⁾, Gromig R.⁽¹⁾, Krastel S.⁽²⁾, Wagner B.⁽¹⁾, Fedorov G., Görtz C., Averages T., Subetto D., Naumenko M. & Melles M.⁽¹⁾ (2021): Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia - evidence from Lake Ladoga. - *Quaternary Science Reviews*, 251: 106637. doi: 10.1016/j.quascirev.2020.106637.
- (p) Lenz M.M.⁽¹⁾, Andreev A., Nazarova L., Syrykh L.S., Scheidt S.⁽¹⁾, Haflidason H., Meyer⁽³⁾, H., Brill D., Wagner B.⁽¹⁾, Gromig R.⁽¹⁾, Lenz M.⁽¹⁾, Rolf C., Kuhn G., Fedorov G., Svendsen J.I. & Melles M.⁽¹⁾ (2021a): Climate, glacial and vegetation history of the polar Ural Mountains since c. 27 cal ka BP, inferred from a 54 m long sediment core from Lake Bolshoye Shchuchye. - *Journal of Quaternary Science*. doi: 10.1002/jqs.3400, online first.
- (q) Lenz M.⁽¹⁾, Lenz M.M.⁽¹⁾, Andreev A., Scheidt S.⁽¹⁾, Gromig R.⁽¹⁾, Lebas E.⁽²⁾, Fedorov G., Krastel S.⁽²⁾, Melles M.⁽¹⁾ & Wagner B.⁽¹⁾ (2021b): Climate and environmental history at Lake Levinson-Lessing, Taymyr Peninsula, during the last 62 kyr. - *Journal of Quaternary Science*, 10-21 online, doi: 10.1002/jqs.3384, online first.

- (r) Ludikova A.V., Subetto D.A., Andreev A.A., Gromig R.⁽¹⁾, Fedorov G.B. & Melles M.⁽¹⁾ (2021): The first dated preglacial diatom record in Lake Ladoga: long-term marine influence or redeposition story? - *Journal of Paleolimnology*, 65: 85-99. doi: 10.1007/s10933-020-00150-0.
- (s) Scheidt S.⁽¹⁾, Egli R., Lenz M.⁽¹⁾, Rolf C., Fabian K & Melles M.⁽¹⁾ (2021): Mineral magnetic characterization of highlatitude sediments from Lake Levinson-Lessing, Siberia. - *Geophysical Research Letters*, 48: e2021GL093026. doi: 10.1029/2021GL093026.

2020

- (t) Andreev A.A., Tarasov P.E., Wennrich V.⁽¹⁾ & Melles M.⁽¹⁾ (2020): Millennial-scale vegetation history of the north-eastern Russian Arctic during the mid-Pliocene inferred from the Lake El'gygytgyn pollen record. - *Global and Planetary Change*, 186: 103111. doi: 10.1016/j.gloplacha.2019.103111.
- (u) Fedorov G., Andreev A., Baumer M.⁽¹⁾, Bolshiyarov D., Cherezova A., Gromig R.⁽¹⁾, Kostromina N., Kostrova S.⁽³⁾, Krastel S.⁽²⁾, Lebas E.⁽²⁾, Ludikova A., Melles M.⁽¹⁾, Meyer H.⁽³⁾, Pestryakova L., Savelieva L., Shumilovskikh L., Subetto D., Wagner B.⁽¹⁾, Wennrich V.⁽¹⁾ & Werner M.⁽³⁾ (2020): Northern Eurasian large lakes history: sediment records obtained in the frame of Russian-German research project "PLOT". - *Limnology and Freshwater Biology*, 2020(4): 517-519. doi:10.31951/2658-3518-2020-A-4-5 [non-reviewed extended abstract]
- (v) Harding P., Bezrukova E.V., Kostrova S.S.⁽³⁾, Lacey J.H., Leng M.J., Meyer H.⁽³⁾, Pavlova L.A., Shchetnikov A., Shtenberg M.V., Tarasov P.E. & Mackay A.W. (2020): Hydrological (in)stability in Southern Siberia during the Younger Dryas and early Holocene. - *Global and Planetary Change*, 195: 103333. doi: 10.1016/j.gloplacha.2020.103333.
- (w) Kostrova S.S.⁽³⁾, Meyer H.⁽³⁾, Fernandoy F., Werner M.⁽³⁾ & Tarasov P.E. (2020): Moisture origin and stable isotope characteristics of precipitation in southeast Siberia. *Hydrological Processes*, 34: 51-67. doi: 10.1002/hyp.13571.
- (x) Melles M.⁽¹⁾ & Wennrich V.⁽¹⁾ (2020): Interactive comment on "Rapid waxing and waning of Beringian ice sheet reconcile glacial climate records from around North Pacific" by Zhongshi Zhang et al. - *Climate of the Past Discussions*. doi: 10.5194/cp-2020-38-SC2 [non-reviewed reply].

Presseaktivitäten

- (a) Februar 2020:
"Einblicke in den Klimawandel" (s. Anlage 4a)
im Newsletter Nachhaltigkeit der Bundesregierung
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/plot-forschungsprojekt-1716082>

- (b) März 2020:
"Uralte Seen geben Klima-Geheimnisse preis"
auf den Webseiten des BMBF (s. Anlage 4b)
<https://www.bmbf.de/de/uralte-seen-geben-geheimnisse-zum-klima-preis-11038.html>

- (c) September 2020:
"Sedimente erlauben Einblicke in letzte Kaltzeit" (s. Anlage 4c)
auf der Earth System Knowledge Platform der Helmholtz-Gemeinschaft
<https://www.eskp.de/klimawandel/sedimente-erlauben-einblicke-in-letzte-kaltzeit-9351102/>