

4.11 Die Laptewsee im Wandel: Neue Seewege möglich

HEIDEMARIE KASSENS, HENNING A. BAUCH, JENS A. HÖLEMANN,
SERGEY PRIAMIKOV, JÖRN THIEDE & LEONID TIMOKHOV

The Laptev Sea – chances for new sea routes: There is growing concern about the rapidity and extent of climate changes in recent decades in the Arctic. The changes already evident in the Arctic, such as the cyclonic shift in the distribution of Atlantic/Pacific water masses, atmospheric pressure and winds, as well as the thinning and retreat of the sea-ice, will be felt first and most dramatically around the circum-Arctic shelves - nearly 50% of the area of the Arctic Ocean. In this context the Laptev Sea and its Siberian hinterland are of particular interest because of their distance both from the Atlantic and Pacific Oceans. River discharge into the Laptev Sea constitutes a key source for the Arctic freshwater input generating a shallow brackish layer on top of the halocline. The shallow Laptev Sea Shelf is a major area of sea-ice production, linking the Siberian shelves of the Arctic Ocean with the Nordic seas. During the last Glacial Maximum most of these shelves were above sea level and developed thick permafrost sequences which are today sub-marine after they experienced the post-Glacial late Pleistocene and Holocene transgression. The history of the sub-marine permafrost and its modern state of decay are largely unknown.

Moderne Umweltbedingungen in der Laptewsee

Die Arktis spielt eine wichtige Rolle in der Klimaentwicklung unserer Erde, weil diese Region nicht nur sehr schnell auf Veränderungen reagiert, sondern aktiv an Steuerungsmechanismen des globalen Klimas beteiligt ist. Ursache dafür ist die dünne Eisdecke des Nordpolarmeer, die saisonal in ihren Randbereichen großen Veränderungen unterliegt. Die Meereisdecke beeinflusst den Gas- und Wärmeaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre und damit den globalen Wärmehaushalt sowie die Ozeanzirkulation. Umweltveränderungen, wie die weltweite Erhöhung der atmosphärischen Durchschnittstemperatur, werden in naher Zukunft tiefgreifende Veränderungen in der Arktis hervorrufen, die auch das europäische Klima betreffen werden. So ist die mittlere Ausdehnung und Mächtigkeit des Meereises in den letzten 50 Jahren deutlich zurückgegangen und dieser Trend beschleunigt sich, vor allem in den Sommermonaten (ACIA 2004). Das Jahr 2005 wird in diesem Zusammenhang bereits jetzt als Rekordjahr bewertet.

Das eng gekoppelte Land/Meer-System der saisonal eisbedeckten Laptewsee mit dem sibirischen Hinterland und seinen komplexen Verbindungen wie dem Lena-Delta (Abb. 4.11-1) stellt eine einzigartige Schlüsselregion für das Verständnis von Klimaveränderungen dar (BAUCH & KASSENS 2005). Unterstrichen wird dies durch ozeanographische Modelle, die gezeigt haben, dass die hier ablaufenden Prozesse, wie die saisonal stark variierende Flusswasserzufuhr der Lena, von großer Bedeutung für die globale Ozeanzirkulation sind, d.h. maßgeblich zu Steuerungsmechanismen von globalen Umweltveränderungen beitragen können. Welche Ursachen und Auswirkungen Veränderungen einzelner Komponenten dieses extremen und äußerst sensiblen Umweltsystems haben sowie die Raten und das Ausmaß der historischen Veränderungen-Mail-Adresse: hkassens@ifm-geomar.de

lichkeit über das Holozän hinaus, kann bisher allerdings nur in Klimamodellen abgeschätzt werden. Diese prognostizieren einen deutlichen Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur in der Arktis von ca. 3–5° C über den Landgebieten und um bis zu 7° C über den Meeresgebieten (ACIA 2004). Besonders ausgeprägt wird dieser Trend im Winter sein. Deutlich zunehmen werden auch die Niederschläge und die Abflussraten der großen sibirischen Flüsse und ihrer Einzugsgebiete – um bis zu 25% vor allem im Winter und Frühling (ACIA 2004). Parallel dazu wird in diesem Jahrhundert ein Anstieg des Meeresspiegels um bis zu 90 cm in der Arktis erwartet (ACIA 2004).

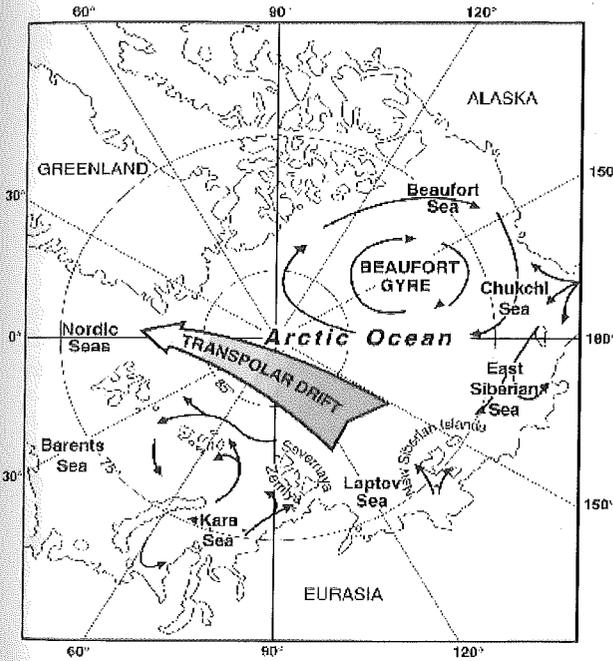
Steuerungsfaktoren wie die atmosphärische Zirkulation, die Meereisbedeckung und der Flusseintrag haben insbesondere Einfluss auf die Flachwasserbereiche der Laptewsee. Vor allem die atmosphärische Zirkulation über der Arktis mit ihren vorherrschenden Hochdruck- bzw. Tiefdruckgebieten und deren Drehrichtung im bzw. gegen den Uhrzeigersinn bestimmt das Strömungssystem und die Verteilung des Flusswasserzustroms auf dem Schelf in den Sommermonaten (PROSHUTINSKY & JOHNSON 1997). Eine wichtige Umweltkomponente in den Wintermonaten ist die Laptewsee-Polynja, ein einzigartiges System aus offenen Wasserflächen jenseits der Festeiskante, die durch anhaltende südliche Winde bis zu einhundert Kilometer breit sein kann (Abb. 4.11-2). Die Kombination von extrem niedrigen Luft- und Wassertemperaturen und hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Gebiet der offenen Wasserflächen führt zu starker Neueisbildung und zu lokal begrenztem erhöhtem Salzgehalt in der Wassersäule (DIMITRENKO et al. 2005). So kann der durchschnittliche Anstieg des Salzgehalts im Oberflächenwasser der östlichen Laptewsee-Polynja bis zu 4 Einheiten erreichen, was der Bildung von drei bis vier Meter Eis entspricht. Die Polynja ist daher eine wichtige Quelle für das Eis der Transpolar drift und für salzhaltiges Schelfwasser.

Die Laptewsee-Polynja ist zentrales Teilgebiet der großen sibirischen Schelfpolynja und zählt zu den am schwierigsten zu kontrollierenden Segment der Nordostpassage (Abb. 4.11-3). Dieser ca. 6.000 km lange Seeweg ist in den vergangenen Jahrzehnten mit Hilfe russischer Technik zu einem im Sommer routinemäßig nutzbaren Schifffahrtsweg geworden (BRIGHAM 1991), dessen weiterer Ausbau und Nutzung von großer ökonomischer Bedeutung auch für Deutschland sein könnten. Die wissenschaftliche Bewertung der Konsequenzen möglicher Klimaveränderungen in der Laptewsee sind deshalb von großem ökonomischen Interesse, weil für die ganzjährige Nutzung der Nordostpassage, dem kürzesten Seeweg zwischen Europa und Ostasien, geeignete Schiffe zu entwickeln sind und weil die Nutzung der Nordostpassage routinemäßig zu allen Jahreszeiten sichergestellt werden muss, um wirtschaftliche (und politische) Akzeptanz zu erzielen. Die wirtschaftliche Nutzung dieser Region wird jedoch auch hohe Risiken mit sich bringen. Zurzeit wird die von extremen Bedingun-

gen gekennzeichnete Umwelt in diesem Bereich noch wenig durch menschliche Aktivität beeinflusst. Den politischen Entscheidungsträgern stehen aber bisher keine detaillierten Informationen über mögliche Konsequenzen und damit verbundene Risiken einer intensiveren Nutzung des Seeweges (z.B. Off-shore-Industrieanlagen, Artenverschleppung durch Ballastwasser, Ölleckagen an Handelsschiffen etc.) oder der Ansiedlung von Hafens- und Industrieanlagen in den Küstenzonen zur Verfügung.

Erste Erkundungen der Nordostpassage fanden im 16. Jahrhundert durch englische und holländische Seefahrer wie Burrough and Barents statt, scheiterten jedoch im Packeis. Anfang des 17. Jahrhunderts gelangten russische Robbenjäger und Händler bis zum Kap Tscheljuskin in der westlichen Laptewsee und 1648 wurde erstmals die Tschuktschen-Halbinsel umsegelt. Küstenabschnitte weiter östlich wurden ab 1733 während der Großen Nordischen Expedition von Vitus Bering erforscht. Die erste Gesamtdurchfahrt, mit einer Überwinterung, gelang

4.11-1: Die Laptewsee mit dem angrenzenden sibirischen Hinterland ist eine Schlüsselregion für das Verständnis von globalen Umweltveränderungen. Seit 1993 werden hier multidisziplinäre Studien im Rahmen des russisch-deutschen BMBF-Verbundvorhabens »System Laptewsee« durchgeführt.



4.11-2: Die Laptewsee-Polynja (hier ca. 1 Kilometer breit) besteht aus offenen Wasserflächen jenseits der Festeiskante, die bis zu einhundert Kilometer breit sein können. Diese eisfreien Gebiete entstehen, abhängig von Windrichtung, Wassertiefe, Flusswasserzufuhr und verschiedenen anderen Parametern, in den Wintermonaten und sind so genannte Meereis-Fabriken. Sie haben auch einen beträchtlichen Anteil an der Bildung von kalten und salzreichen Wassermassen, die in das Nordpolarmeer absinken. Von großer Bedeutung sind diese »blauen Oasen« in der Eiswüste für das Ökosystem.

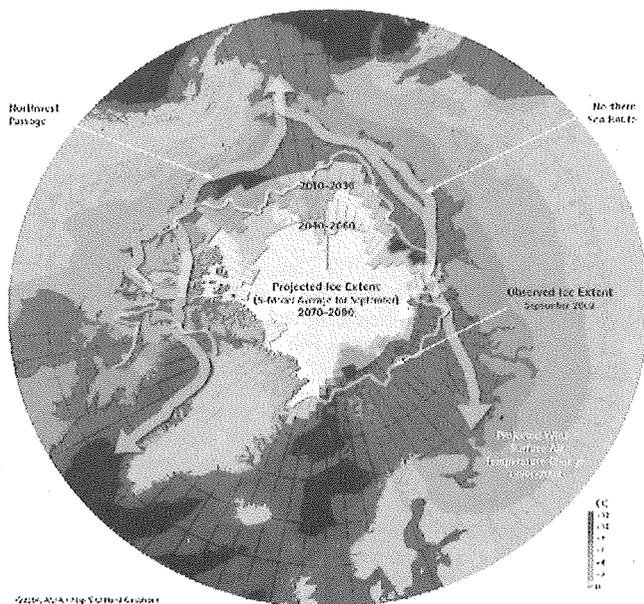
Nordenskiöld 1878–79 und erst dreiundfünfzig Jahre (1932) danach schaffte Schmidt mit dem Eisbrecher Sibirjakow die erste Durchfahrt ohne Überwinterung. Danach wurde der Seeverkehr systematisch ausgebaut und die Schifffahrtsperiode durch den Einsatz leistungsfähiger Atomeisbrecher verlängert. Seit 1991 ist die Nordostpassage für den internationalen Schifffahrtverkehr freigegeben.

Der Lapteewsee – Schnittstelle zwischen Land und Ozean

Der Einschluss von Meeresbodensedimenten und Schwebstoffen im Meereis ist ein gängiges Phänomen auf den flachen sibirischen Schelfen (EICKEN et al. 1997). Selbst bei ruhigen Wetterbedingungen ist das Einsetzen der Meereisbildung ein wichtiger Zeitpunkt für den Materialtransport aus den flachen Schelfgebieten der Lapteewsee in das Nordpolarmeer durch Meereis. Durch die Verbindung von Feldmessungen, Fernerkundung und numerischen Modellen konnte der flache Schelf nahe den Neusibirischen Inseln als eine Schlüsselregion für den Einschluss von Schwebstoffen und Sedimenten im Eis und für die weiträumige Verteilung dieses Materials durch das Meereis identifiziert werden. Ein Gesamtvolumen an im Meereis exportiertem Material von 18,5 Mio. t konnte bei einem einzigen derartigen Ereignis im Winter 1994/1995 beobachtet werden (EICKEN et al., 2000). Dies entspricht etwa dem über ein Jahr gemittelten Schwebstoffeintrag der Lena in die Lapteewsee. Das Meereis spielt auch eine entscheidende Rolle beim weiträumigen Transport und im Kreislauf von Spurenelementen und Radionukliden. Interdisziplinäre Felduntersuchungen zu den Prozessen der einsetzenden Meereisbildung im

Herbst in der Lapteewsee haben gezeigt, dass die Konzentrationen von Schwermetallen im neu gebildeten Eis bis zu 40-mal höher als ihre Konzentration im Meerwasser sowie im Flusswasser im Gebiet der Eisbildung waren (HÖLEMANN et al. 1999). Diese erhöhten Konzentrationen wurden vermutlich durch die Remobilisierung der Spurenelemente aus eistransportierten Sedimentpartikeln verursacht, ein Mechanismus, der eine wichtige Rolle für die Verbreitung von Schwermetallen und Radionukliden in der Arktis spielt. Die Lapteewsee ist damit eines der Hauptstehungsgebiete von »schmutzigem« Meereis, das mit der Transpolardrift über das Nordpolarmeer bis in das Europäische Nordmeer transportiert wird (Abb. 4.11-1). Das Frühjahrshochwasser der Lena spielt dabei eine zentrale Rolle. Zurzeit des höchsten Flussausstroms im Mai und Juni werden etwa 30% des Gesamtvolumens eines Jahres an Flusswasser und 60% der gelösten Stoffe auf den noch eisbedeckten Schelf transportiert (PIVOVAROV et al. 2004, HÖLEMANN et al. 2005). Im Verlauf des Hochwassers wird gelöste und partikuläre Flussfracht innerhalb einer Süßwasserschicht unter das Festeis der Lapteewsee verfrachtet. Diese Transportprozesse vom Fluss ins Meer unterliegen im Jahresvergleich starken Schwankungen, weil die Dynamik des Frühjahrshochwassers und die Ausdehnung des Festeises im Frühling durch kurzzeitliche atmosphärische Vorgänge gesteuert werden.

Die Flusswasserzufuhr kontrolliert auch die Verteilung, die Aktivität und die Gemeinschaftsstruktur des Phyto- und Zooplanktons im gesamten Schelfgebiet (PIVOVAROV et al. 2004, ABRAMOVA & TUSCHLING 2005). Die Intensität seines Einflusses variiert im Verlaufe eines Jahres vor allem mit dem Lena-Ausstrom, wobei die Auswirkungen auf das



4.11-3: Beobachtungen der letzten 50 Jahre zeigen einen Rückgang der Meereisausdehnung und der durchschnittlichen Eisdicke in allen Jahreszeiten. Für das Ende dieses Jahrhunderts wird der nahezu vollständige Verlust der Sommer-Meereisdecke prognostiziert (ACIA 2004). Der Rückgang des Meereises wird die Navigationszeiten durch die Nordostpassage deutlich verlängern und damit den Zugang zu Ressourcen erleichtern. Zurzeit ist die Schifffahrt auf den Zeitraum von Juli bis Oktober beschränkt.

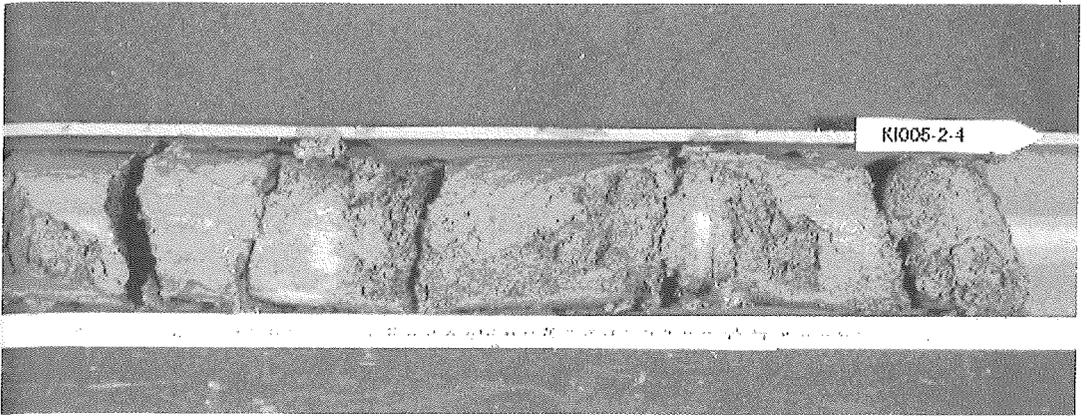


Abb. 4.11-4: Massive Eislagen in submarinen Permafrostablagerungen aus der Lapteewsee (15 m Tiefe; 42 m Wassertiefe). Um den Klimawandel in der sibirischen Arktis auf Zeitskalen über das Holozän hinaus zu untersuchen, wurde im Jahre 2000 eine Bohrkampagne auf dem äußeren Lapteewsee-Schelf durchgeführt. In den Bohrkernen wurden unterschiedliche Eis- und Sedimenttypen, die eine reiche terrestrische Flora sowie Überreste von Käferfaunen beinhalten, identifiziert. Diese lassen in Übereinstimmung mit Radiokarbondatierungen auf ein Alter aus der späten eiszeitlichen Phase schließen.

Ökosystem im Frühling und Frñhsommer, wenn die Ausstrom-Raten hoch sind, am deutlichsten sind. Von diesen starken saisonalen und jährlichen Schwankungen ist nicht nur die Verteilung des Phytoplanktons betroffen. Auch die am Boden lebenden Gemeinschaften zeigen diesen Einfluss sowohl in ihrer Verteilung als auch in ihrer geochemischen Signatur (STEPANOVA et al. 2002, MUELLER-LUPP et al. 2003).

Die Lapteewsee im zeitlichen Wandel

Ein wenig bekannter Faktor in der Lapteewsee, der maßgeblich an dessen Steuerungsmechanismen beteiligt sein könnte, sind submarine Permafrostabfolgen (Abb. 4.11-4), über deren Verbreitung und Struktur es bisher nur wenige Felddaten aus der östlichen Lapteewsee und auf Landbohrungen basierende Modellrechnungen gibt (KASSENS et al. 2001, ROMANOVSKII et al. 2004). Demnach erstrecken sich kontinuierliche, bis zu 1.000 m mächtige Permafrostabfolgen über das gesamte Schelfgebiet der Lapteewsee. Gefrorene, mit Eiskristallen durchsetzte Sedimente treten bereits wenige Zentimeter unter der Meeresbodenoberfläche auf. Die daraus resultierenden Wechselwirkungen mit der Wassersäule sind bisher ungeklärt. Modelle zeigen jedoch, dass in und unterhalb dieser Permafrostabfolgen eingeschlossene Treibhausgase bei ihrer Freisetzung z.B. in Folge von globalen Meeresspiegel- und Temperaturänderungen drastische Auswirkungen auf das globale Umweltsystem haben können.

In der Vergangenheit war das flache Schelfgebiet der Lapteewsee immer wieder von großen Veränderungen geprägt (BAUCH et al. 2001, BAUCH & POLYAKOVA 2003). So vollzog sich während der letzten Enteisungsphase der Wechsel von einer Tundra- über eine Thermokarstlandschaft in ein ausgedehntes Schelfmeer in weniger als 4.000 Jahren. Parallel dazu veränderte sich natürlich auch das Einzugsgebiet und damit die Hydrologie der Lena im

sibirischen Hinterland. Welche Auswirkungen Veränderungen des Flusswassereintrages der großen sibirischen Flusssysteme auf die thermohaline Zirkulation im Nordpolarmeer haben könnten, wurde bisher nur in Modellen abgeschätzt. Dabei zeigte sich, dass bei einer Zunahme der Flusswasserzufuhr die Meereisbildung, vor allem auf den sibirischen Schelfgebieten, deutlich ansteigen würde. Bei einer deutlichen Abnahme der Flusswasserzufuhr, wie Paläoklimadatenätze der letzten Vereisungsphasen zeigen, würde dagegen die Meereisbildung deutlich zurückgehen. Deshalb ist es vor allem für die Prognose und die Abschätzung von möglichen Folgen natürlicher und anthropogener Umweltveränderungen wichtig, die Funktionsprinzipien dieser Naturabläufe zu verstehen.

Schlussfolgerung

Besonders tiefgreifende Umweltveränderungen werden in diesem Jahrhundert für die sibirischen Schelfgebiete prognostiziert. Der Rückgang des Meereises wird die Schifffahrt und den Zugang zu Ressourcen erleichtern und die jetzt kaum besiedelten Küstenregionen zu einem wirtschaftlich attraktiven Lebensraum gestalten. Diese eher positiven Veränderungen in Sibirien können jedoch zu bisher kaum absehbaren Folgen für die Lebensbedingungen bei uns in Europa führen. Wir müssen deshalb vorbereitet in diese neue Zukunft gehen. Dies wird aber nur gelingen, wenn künftige Forschungsstrategien auf internationale zirkumarktische Programme abzielen, die satellitengestützte Beobachtungen, In-situ-Messungen durch Meeresobservatorien, ganzjährige Messungen der hydrographischen, biologischen, chemischen und geologischen Schlüsselparameter und hochauflösende Paläoklimadatenätze in sich vereinen. Nur daraus lassen sich zuverlässige Prognosen für die nächsten Jahre treffen.