

### 3. AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE MEERE

Seit Beginn der Industrialisierung verändert der Mensch zunehmend die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre. Die erhöhten Konzentrationen der Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  und der halogenierten Kohlenwasserstoffe führen zu einem Temperaturanstieg in der unteren Atmosphäre und an der Erdoberfläche, also auch des Wassers an der Oberfläche der Meere. Die Meereisflächen in der Arktis sowie das Inlandeis auf Grönland und der westlichen Antarktis schmelzen. Der Meeresspiegel steigt vor allem durch das Schmelzwasser und die thermische Ausdehnung des Meerwassers. Durch die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme des Meerwassers sinkt dessen pH-Wert. Diese »Versauerung« des Meeres kann sich negativ vor allem auf die Kalk bildenden Organismen des Planktons, der Korallen, Muscheln und Schnecken auswirken. Mißbildungsraten während der Larven-Stadien Kalk bildender Organismen werden häufiger. Durch den Rückgang des Meereises verlieren viele Tiere und manche Algen Teile ihrer Lebensräume. Eine Erwärmung des Bodenwassers könnte zu höherer Freisetzung von Methan aus den Gashydratvorräten in den Meeresböden führen. Dieses Kapitel befasst sich mit diesen und weiteren Auswirkungen des Klimawandels in den Meeren. In den ersten Teilkapiteln bis 3.10 handelt es sich um physikalisch-chemische und ab 3.11 um biologische Effekte.

#### 3.1 Submariner Permafrost

SEBASTIAN WETTERICH, PIER PAUL OVERDUIN,  
FRANK GÜNTHER & HANS-WOLFGANG HUBBERTEN

*Submarine permafrost refers to solid earth below modern sea level that have year-round temperatures below 0 °C. Almost all submarine permafrost formed on portions of the arctic continental shelves that were inundated following the end of the last glacial period 18,000 years ago. Most of this permafrost is located beneath the Siberian shelf. Almost everywhere, inundation has increased the mean annual temperature at the sediment surface since the mean annual sea bottom temperature is higher than the surface of the land before inundation. This increase leads to the thawing of permafrost below the seabed. Thawing can occur as a result of temperature increase, but also due to the penetration of salt-water into the seabed, which lowers the freezing point of the sediment's porewater. Thus, submarine permafrost can have temperatures below 0°C but contain little or no ice. Submarine permafrost is an important component in the global carbon system. It contains significant amounts of methane and organic carbon which may be released to the atmosphere during permafrost warming and thawing. Gas hydrates, and in particular methane hydrates, have been observed trapped within and below arctic permafrost. Recent observations of high methane concentrations in Siberian shelf waters may indicate a shift in release rates connected to submarine permafrost degradation.*

Der Begriff »Submariner Permafrost« beschreibt den langjährigen Zustand von Gesteinen (meist Lockergesteinen und Sedimenten) unterhalb des heutigen Meeresspiegels bei Temperaturen unter 0 °C (VAN EVERDINGEN 1998). Er bildet sich (a) bei Wassertemperaturen unter 0°C am Meeresgrund oder stellt (b) relik-tischen Permafrost dar, der unter terrestrischen Bedingungen bei Meeresspiegeltiefständen, z.B. während der Kaltzeiten in der jüngeren Erdgeschichte, gebildet und später im Zuge von Meeresspiegelanstieg während der Warmzeiten überflutet wurde.

Ein eindrückliches Beispiel ist die Überflutung der ostsibirischen Schelfmeere nach dem letzten glazialen Maximum vor ca. 18.000 Jahren, als der Meeresspiegel ca. 120 m tiefer lag. Sie zeigt, in welchen Zeiträumen große Landmassen der ostsibirischen Küstentiefländer überflutet wurden (Abb. 3.1-1).

Mit dieser Überflutung der ostsibirischen Tiefländer begann die Degradation des während zehntausenden von Jahren gebildeten und heute unter Wasser liegenden, submarinen Permafrostes auf dem ostsibirischen Schelf, das durch ein sehr flaches unterseeisches Relief mit geringen Wassertiefen gekennzeichnet ist.

Dieser relik-tische Permafrost stellt den weitaus größten Anteil des gefrorenen Untergrunds im marinen Milieu der arktischen Flachscheffmeere. Eine weitere, eher seltene Bildungsmöglichkeit von submarinem Permafrost ist das Gefrieren von Flusswasser am temperierten Meeresboden beim Einstrom in die Meere oder die Abkühlung von Meeresboden auf unter 0°C bei direktem Kontakt mit Meereis in sehr flachen Uferbereichen.

Die Verbreitung und der Aufbau von submarinem Permafrost (Abb. 3.1-2) lassen sich vornehmlich durch Bohrungen in den Meeresboden bestimmen.

Da Bohrkampagnen einen großen logistischen und finanziellen Aufwand erfordern, werden zudem schiffsbasierte geophysikalische Methoden (Reflexionsseismik) eingesetzt, um die Permafrostgrenze im Untergrund zu bestimmen und eine größere räumliche Auflösung der submarinen Permafrostverbreitung zu erreichen (REKANT et al. 2005, 2009). Bestehende Verbreitungskarten von submarinem Permafrost beziehen neben großklimatischen Einflussfaktoren auch geomorphologische und paläogeographische Aspekte ein. Sie integrieren die Permafrostmächtigkeiten in der Vergangenheit mit Meeresregressionen und -transgressionen auf dem Schelf der arktischen Meere entsprechend der Glazial-Interglazial-Zyklen der jüngeren geologischen Vergangenheit und neotektonische Bewegungen (OSTERKAMP 2001, ROMANOVSKII et al. 2000).

**Thermische und chemische Degradation**

Da die Stabilität von Permafrost allgemein vom Temperaturregime abhängt, wird die potentielle Permafrostverbreitung und Mächtigkeit einerseits von der Intensität der geothermalen Flüsse aus dem Erdinneren abgeleitet (ROMANOVSKII & HUBBERTEN 2001). Die für die Verteilung des submarinen Permafrosts entscheidenden Temperaturverhältnisse finden sich jedoch wie auch für terrestrischen Permafrost an seiner oberen

Grenze und werden durch die Oberflächentemperatur des Meeresbodens bestimmt, die wiederum von der Meerwassertemperatur abhängt.

Basierend auf Wassertemperaturdaten des Arctic Climatology Project (1997, 1998) zeigen sich in 10 m Wassertiefe zwischen 1950 und 1989 insbesondere in den Sommermonaten leichte Erwärmungen in der kanadischen Beaufort See während auf weiten Teilen des Ostsibirischen Schelfs keine Änderungen oder leichte Abnahmen der Temperatur in 10 m Wassertiefe zu verzeichnen sind (Abb. 3.1-3).

Steigende Umgebungstemperaturen beeinflussen zwangsläufig das thermale Regime des Permafrosts, der sich dann ebenfalls erwärmt, bis das thermale Gleichgewicht mit der Umgebungstemperatur hergestellt ist. Dieser Prozess kann tausende Jahre dauern und begann für den heutigen submarinen Permafrost bereits mit der Überflutung ca. 11.000 Jahren vor heute (Abb. 3.1-1). Hohe Küstenerosionsraten in der Arktis setzen diese Überflutung heute noch fort, wobei die Küstenmorphologie, die Lithologie der erodierten Küste und hydrodynamische Prozesse Einfluss auf die Degradation des submarinen Permafrosts haben (GRIGORIEV 2006). Abb. 3.1-4a zeigt den Effekt einer im Vergleich zu heutigem Permafrost an Land ca. 12 °C wärmeren Permafrost unter dem Meer bis in 77 m Tiefe unter dem Meeresspiegel in der westlichen Laptev

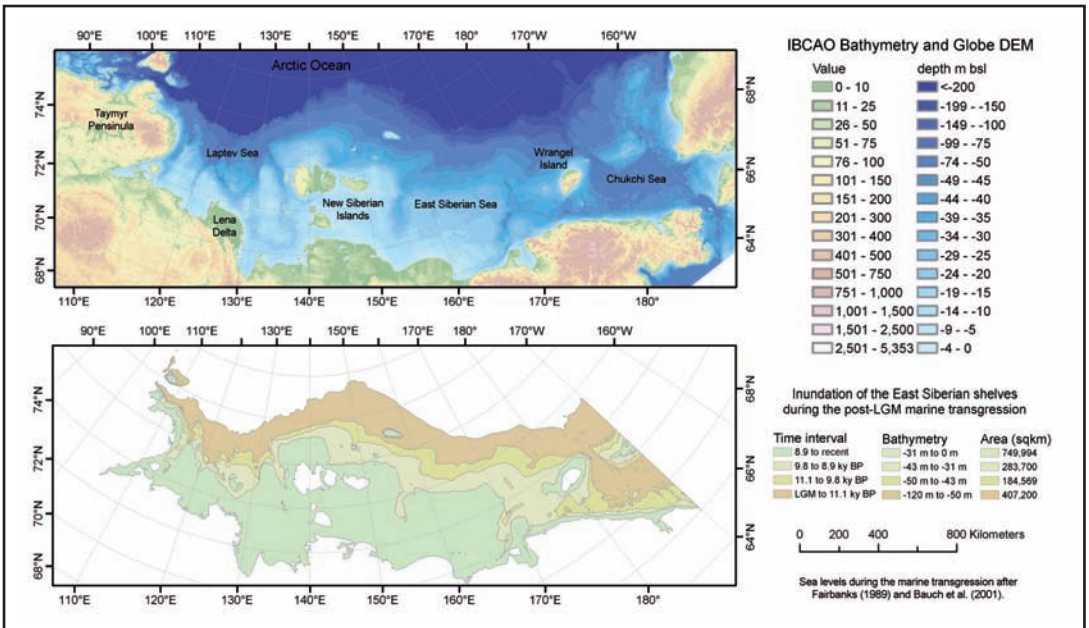
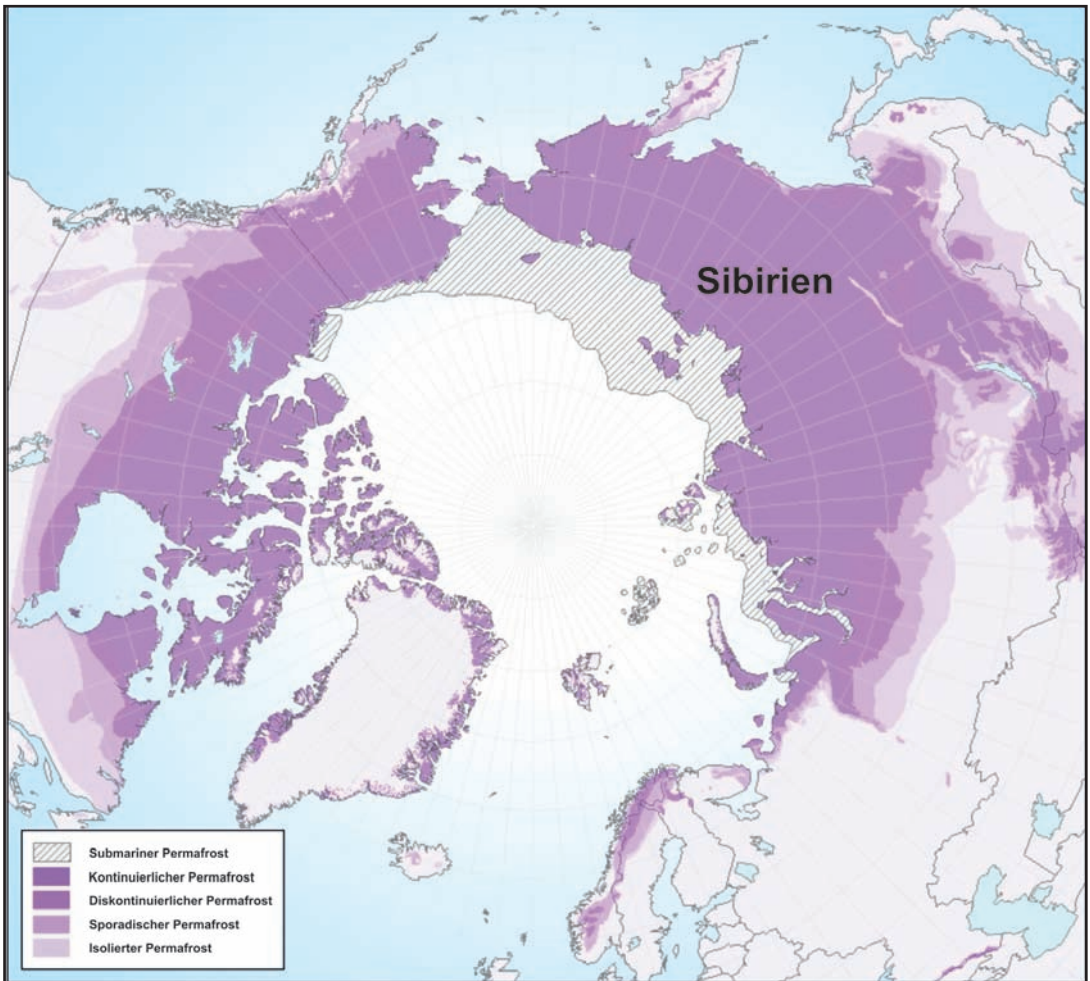


Abb. 3.1-1: Ausdehnung der Ostsibirischen Schelfgebiete und Flutungsetappen seit dem letzten glazialen Maximum basierend auf der heutigen Bathymetrie. Im hier dargestellten Szenario beträgt die geflutete Schelffläche zwischen 105° Ost und 190° Ost insgesamt 1.625.460 km². Karte erstellt von Guido Grosse (University of Alaska, Fairbanks, USA), verändert nach WALTER et al. (2007).



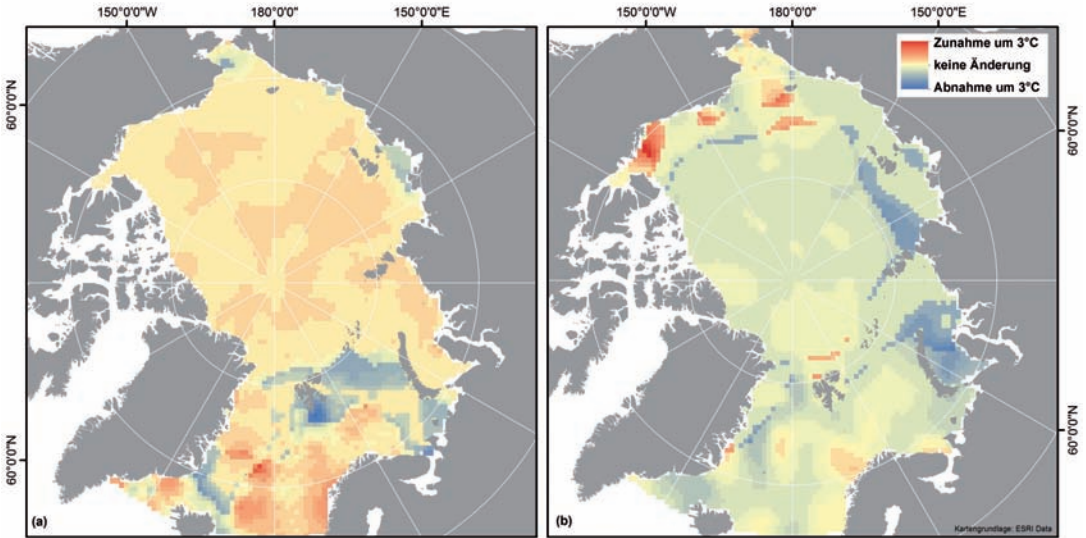
**Abb. 3.1-2:** Permafrostverbreitungskarte der Nordhemisphäre als kontinuierlicher, diskontinuierlicher, sporadischer und isolierter Permafrost an Land und als submariner Permafrost. Karte erstellt von Hugues Lantuit, International Permafrost Association (IPA) basierend auf BROWN et al. (1998).

See (Kap Mamontov Klyk:  $73^{\circ}36'22''$  N;  $117^{\circ}10'38''$  E). Diesen Daten zufolge hat der submarine Permafrost über mehrere Dekameter tief sein thermisches Gleichgewicht, das im salzigen Milieu der Meerwassers bei ca.  $-2$  bis  $-1$  °C liegt, bereits erreicht. Jede weitere Erwärmung zum Beispiel durch steigende Bodenwassertemperaturen, die durch den aktuellen Klimawandel bedingt sein können (s.Kap. 2.6: Hagemann et al.), führt unweigerlich zur Destabilisierung (Tauen) des submarinen Permafrostes.

Neben dem thermischen Einfluss des wärmeren Meerwassers auf submarinen Permafrost wird dessen Stabilität auch durch den Salzgehalt des Meerwassers beeinflusst. Da unter salzigen Bedingungen der Taupunkt herabgesetzt wird, taut das Eis im Permafrost, auch wenn die Temperatur weiterhin  $< 0^{\circ}\text{C}$  ist. Das

Eindringen salziger Lösungen destabilisiert den submarinen Permafrost also über den thermischen Einfluss des Meerwassers hinaus. Diese geochemische Permafrostdegradation ist in *Abb. 3.1-4b* am oben genannten Beispiel aus der westlichen Laptev See dargestellt, wo sich der marine Einfluss durch das Eindringen sehr salziger Porenwässers bis in eine Tiefe 40 m unter dem Meeresspiegel nachweisen lässt, was die Grenze zwischen eisgebundenem und eisfreiem Permafrost markiert.

Das Fortschreiten der Degradation von submarinem Permafrost lässt sich erfassen, wenn man die regionale Transgressionsgeschichte (BAUCH et al. 2001) in Betracht zieht und moderne Erosionsraten einbezieht, an Kap Mamontov Klyk  $4,5\text{--}5$  m pro Jahr. Der an Land gebildete Permafrost, der sich im unteren Bereich des



**Abb. 3.1-3:** Differenz der Wassertemperaturen in 10 m Wassertiefe zwischen 1950 und 1989 (a) in den Wintermonaten und (b) in den Sommermonaten (ARCTIC CLIMATOLOGY PROJECT 1997, 1998). Karte erstellt von Frank Günther, AWI Potsdam.

12 km vor der heutigen Küste erbohrten Kerns C2 befindet, wurde vor ca. 2.500 Jahren geflutet und degradiert seitdem mit einer Rate von ca. 1 cm pro Jahr, der Geschwindigkeit mit der sich der marine Einfluss des warmen und salzigen Meerwassers in die Tiefe fortsetzt (s. Abb. 3.1-4b).

### Methan und Gashydrate im submarinen Milieu

Zunehmend wird die Bedeutung von submarinem Permafrost als Methanquelle untersucht (z.B. LEIFER et al. 2006, ROMANOVSKII et al. 2005, SHAKHOVA et al. 2005, 2007, 2010a, 2010b) (s. Kap. 4.5: Wallmann et al.). Methan ist ein klimawirksames Gas, das überwiegend als Gashydrat im marinen Untergrund insbesondere der Schelfgebiete gespeichert ist (MASLIN et al. 2010, SHAKHOVA & SEMILETOV, 2009). Gashydrate sind chemische Verbindungen, bei denen Gasmoleküle in Kristallstrukturen des Eises fixiert und unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen stabil sind (KVENVOLDEN 1995).

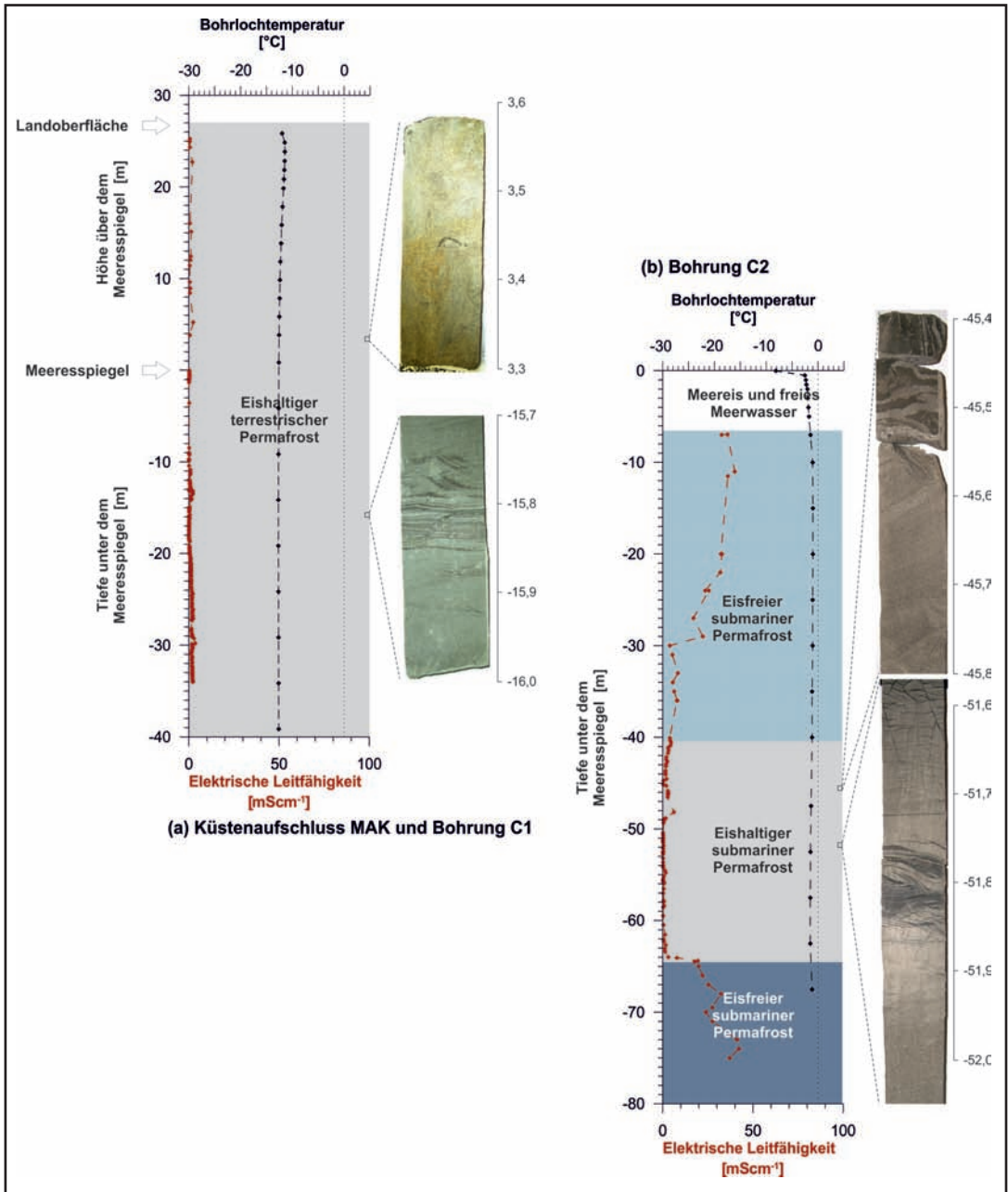
Dabei werden primäre, sekundäre und reliktsche Gashydrate unterschieden. Primäre Gashydrate bilden sich in den arktischen Schelfmeeren am Meeresgrund in Wassertiefen über 200 m bei niedrigen Temperaturen und hohem Druck durch die darüberliegende Wassersäule, während sekundäre Gashydrate in arktischen Permafrostgebieten an Land ebenfalls in großer Tiefe bei niedrigen Temperaturen und hohem Druck entstehen, und als reliktsche Gashydrate der geologischen Vergangenheit heute im submarinen Milieu zu finden

sein können (SHAKHOVA & SEMILETOV 2009).

Darüber hinaus konnte am Beispiel der bereits erwähnten Permafrostbohrkerne aus der westlichen Laptev See gezeigt werden, dass mikrobielle Methanbildung durch methanogene Archaeen im submarinen Permafrost *in situ* in Sedimenten mit hohem Anteil an organischem Kohlenstoff möglich ist (KOCH et al. 2009). Dabei unterscheidet sich die mikrobielle Lebensgemeinschaft im submarinen Milieu in ihrer Zusammensetzung von der im terrestrischen Permafrost. Dies lässt auf eine Anpassungsfähigkeit dieser Organismen an sich verändernde Lebensbedingungen beim Übergang vom terrestrischen zum submarinen Permafrost schließen.

Das Ostsibirische Schelf erstreckt sich über ca. 25% der gesamten arktischen Schelfgebiete und umfasst vermutlich ca. 80% des submarinen Permafrostes und flachliegender Gashydratvorkommen. Das Methanreservoir im Ostsibirischen Schelf umfasst ca. 540 Gt Methan als Gashydrat und weitere ca. 360 Gt Methan eingeschlossen als freies Gas (zitiert aus SHAKHOVA et al. 2010b).

Dass Teile dieser großen Kohlenstoffvorkommen des Ostsibirischen Schelf freigesetzt werden können, zeigen aktuelle Veröffentlichungen von SHAKHOVA et al. (2005, 2007, 2010a, 2010b) mit mehr als 5.000 Messpunkten an 1.080 Stationen aus den Sommern 2003 bis 2008 (siehe Abb. 3.1-5 - auf Seite 118 im Buch - aus rechtlichen Gründen nur dort erschienen) und dem Winter 2007. Dabei ist jedoch noch ungeklärt, welchen Anteil die zersetzten reliktschen Gashydrate und wel-



**Abb. 3.1-4:** Vergleich der thermischen und geochemischen Charakteristik von terrestrischem und submarinem Permafrost in der westlichen Laptev See (OVERDUIN et al. 2007, RACHOLD et al. 2007, WETTERICH et al. 2010); Bohrlochtemperaturen und Salzgehalt der Porenwässer bzw. des Poreneises der Sedimente gemessen als elektrische Leitfähigkeit (a) an Land und (b) unter dem Meer (12 km von der Küste entfernt). Detailphotos ausgewählter Kernabschnitte zeigen Teile von Sand-Eis-Keilen (jeweils obere Darstellung) und fein geschichtete Sande mit im Sediment gebildeten Eisadern (jeweils untere Darstellung) für jeweils einen Land- und Meerbohrkern (WINTERFELD et al. in press).

chen Anteil durch rezente mikrobielle Aktivitäten an der Oberfläche oder in oberflächennahen Sedimenten gebildetes Methan haben. Mehr als 80% des Bodenwassers und mehr als 50% des Oberflächenwassers sind im Vergleich zur Methankonzentration in der Atmosphäre methan-übersättigt. Dies führt zu einem erhöhten Methanmischungsverhältnis in der Atmosphäre. Als Transportweg für das Methan aus zersetzten Gashydraten werden ganzjährig aktive Tauzonen im submarinen Permafrost angenommen, durch die oberflächennahe Gashydrate und geologische Methanquellen in die Wassersäule und dann in die Luft emittieren.

Die vorliegenden Daten aus dem Ostsibirischen Schelf zeigen signifikante Methanflüsse vom Sediment in die Wassersäule und weiter in die Atmosphäre, die in ihren Konzentrationen deutlich über typischen marinen und atmosphärischen Werten liegen (SHAKHOVA et al. 2010a, 2010b). Eine Permafrostdegradation seit der Überflutung der Schelfe und räumliche Unterschiede in der Permafrostverteilung scheinen ein wesentlicher Kontrollfaktor für die Transportwege von Methan in submarinem Permafrost zu sein.

Eine Freisetzung dieser Methanvorkommen, die im submarinen Permafrost über tausende Jahre fixiert waren, hätte wesentlichen Einfluss auf das jährliche Methanbudget der Atmosphäre mit globalen Auswirkungen, da die geringen Wassertiefen des Ostsibirischen Schelfgebietes einen Transport durch die Wassersäule und somit eine Freisetzung in die Atmosphäre erlauben.

Die künftige Forschung sollte sich einer weiteren Regionalisierung der Methanmessungen im Schelfbereich, der Entstehungsgeschichte des Methans und dem Verständnis der saisonalen Variabilität der Methanflüsse vom Meeresboden in die Atmosphäre widmen, um die Bedeutung der Ostsibirischen Schelfmeere für den globalen Kohlenstoffkreislauf abzuschätzen und die Auswirkungen auf das globale Klima abschätzen zu können. Darüber hinaus sollten zukünftige Untersuchungen dem Aufbau, der Zusammensetzung und der Verbreitung des submarinen Permafrostes gewidmet sein, wobei besonderes Augenmerk auf die Wechselwirkungen zwischen Meerwasser und gefrorenem Untergrund zu legen ist.

## Literatur

- ARCTIC CLIMATOLOGY PROJECT (1998): Environmental Working Group Joint U.S.-Russian Atlas of the Arctic Ocean - Summer Period. Timokhov, L., Tanis, F. (eds.). Environmental Research Institute of Michigan in association with the National Snow and Ice Data Center, Ann Arbor, Michigan. Digital Media.
- ARCTIC CLIMATOLOGY PROJECT (1997): Environmental Working Group Joint U.S.-Russian Atlas of the Arctic Ocean - Winter Period. Timokhov, L., Tanis, F. (eds.). Environmental Research Institute of Michigan in association with the National Snow and Ice Data Center, Ann Arbor, Michigan. Digital Media.
- BROWN J., FERRIANS JR., O.J. HEGINBOTTOM, J.A. & MELNIKOV E.S. (1998): Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions. National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology, Boulder, Colorado. Digital Media.
- BAUCH H.A., MUELLER-LUPP T., TALDENKOVA E., SPIELHAGEN R.F., KASSENS H., GROOTES P.M., THIEDE J., HEINEMEIER J. & PETRYASHOV V.V. (2001): Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin. *Global and Planetary Change* 31: 125-139.
- DICKENS G.R. (2003): Rethinking the global carbon cycle with large, dynamic and microbially mediated gas hydrate capacitor. *Earth and Planetary Science Letters* 213 (3-4): 169-183.
- FAIRBANKS R.G. (1989): A 17,000 year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation. *Nature* 342: 637-642.
- GRIGORIEV M.N. (2006): Morfologiya i dinamika preobrazovaniya podvodnoi merzloty v priberezhno-shelfovoi zone morei Laptevykh i Vostochno-Sibirskogo (Morphology and dynamics of submarine permafrost transition in the coastal shelf of the Laptev and East Siberian Seas). *Nauka i Obrazovanie* 4 (Science and Education 4): 104-109. (Original auf Russisch).
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge and New York, 996 pp.
- KOCH K., KNOBLAUCH C. & WAGNER D. (2009): Methanogenic community composition and anaerobic carbon turnover in submarine permafrost sediments of the Siberian Laptev Sea. *Environmental Microbiology* 11(3): 657-668.
- KVENVOLDEN K.A. (1995): A review of the Geochemistry of Methane in Natural Gas Hydrate. *Organic Geochemistry* 23, 997-1008.
- LEIFER I., LUYENDYK B.P., BOLES J. & CLARK J.F. (2006): Natural marine seepage blowout: Contribution to atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles* 20: GB3008.
- MASLIN M., OWEN M., BETTS R., DAY S., JONES T.D. & RIDGWELL A. (2010): Gas hydrates: past and future geohazard? *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 368: 2369-2393.
- OSTERKAMP T.E. (2001): Sub-sea permafrost. In: *Encyclopedia of Ocean Sciences.* Academic Press, New York, pp. 2902-2912.
- OVERDUIN P.P., HUBBERTEN H.-W., RACHOLD V., ROMANOVSKII N., GRIGORIEV M.N. & KASYMS-

- KAYA M. (2007): Evolution and degradation of coastal and offshore permafrost in the Laptev and East Siberian Seas during the last climatic cycle. *GSA Special Papers* 426: 97-111.
- RACHOLD V., BOLSHIYANOV D. YU., GRIGORIEV M. N., HUBBERTEN H.-W., JUNKER R., KUNITSKY V. V., MERKER F., OVERDUIN P. P. & SCHNEIDER W. (2007): Near-shore Arctic Subsea Permafrost in Transition. *Eos - Transactions of the American Geophysical Union* 88(13): 149-156.
- REKANT P., CHERKASHEV G., VANSTEIN B. & KRINITSKY P. (2005): Submarine permafrost in the near-shore zone of the southwestern Kara Sea. *Geo-Marine Letters* 25: 183-189.
- REKANT P.V., TUMSKOY V.E., GUSEV E.A., SCHWENK T., SPIESS F., CHERKASHEV G.A. & KASSENS H. (2009): Distribution and peculiarity of bedding of sub-sea permafrost near Semenovskoe and Vasil'evskoe shoals (Laptev Sea) revealed by high resolution seismic profiling. In: Kassens, H. et al. (eds.). *System of the Laptev Sea and the adjacent arctic seas*. Moscow University Press, Moscow, pp. 332-348. (Original auf Russisch)
- ROMANOVSKII N.N., HUBBERTEN H.-W., GAVRILOV A.V., TIPENKO G.S., GRIGORIEV M.N. & SIEGERT CH. (2000): Thermokarst and Land-Ocean Interactions, Laptev Sea Region, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes* 11: 137-152.
- ROMANOVSKII N.N., HUBBERTEN H.-W., GAVRILOV A.V., ELISEEVA A.A. & TIPENKO G.S. (2005): Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas. *Geo-Marine Letters* 25(2/3): 167-182.
- ROMANOVSKII N.N. & HUBBERTEN H.-W. (2001). Results of permafrost modeling of the Lowlands and shelf of the Laptev Sea region, Russia. *Permafrost and Periglacial Processes* 12(2): 191-202.
- SHAKHOVA N., SEMILETOV I. & PENTELEEVA G. (2005): The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: implication for the marine methane cycle. *Geophysical Research Letters* 32: L09601.
- SHAKHOVA N. & SEMILETOV I. (2007): Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf. *Journal of Marine Systems* 66: 227-243.
- SHAKHOVA N. & SEMILETOV I. (2009): Methane hydrate feedbacks. In: Sommerkorn, M., Hassol, S.J. (eds.). *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications*. WWF International Arctic Programme, Oslo, pp. 81-92.
- SHAKHOVA N., SEMILETOV I., SALYUK A., YUSUPOV V., KOSMACH D. & GUSTAFSSON Ö. (2010a): Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf. *Science* 327: 1246-1250.
- SHAKHOVA N., SEMILETOV I., LEIFER I., SALYUK A., REKANT P. & KOSMACH D. (2010b): Geochemical and geophysical evidence of methane release over the East Siberian Arctic Shelf. *Journal of Geophysical Research* 115: C08007.
- VAN EVERDINGEN R.O. (ed.) (1998): *Multi-language Glossary of Permafrost and Related Ground-ice Terms*. Arctic Institute of North America, University of Calgary, Calgary.
- WALTER K.M., EDWARDS M.E., GROSSE G., ZIMOV S.A. & CHAPIN III F.S. (2007): Thermokarst lakes as a source of atmospheric CH<sub>4</sub> during the last deglaciation. *Science* 318: 633-636.
- WETTERICH S., WINTERFELD M., MEYER H., SCHIRRMESTER L., OVERDUIN P.P. & GRIGORIEV M.N. (2010): Geochemical studies on subsea permafrost of the Western Laptev Sea. *Reports on Polar and Marine Research* 623: 29-30.
- WINTERFELD M., SCHIRRMESTER L., GRIGORIEV M.N., KUNITSKY V.V., ANDREEV A., MURRAY A. & OVERDUIN P.P. (in press). Coastal permafrost landscape development since the Late Pleistocene in the western Laptev Sea, Siberia. *Boreas*, doi: 10.1111/j.1502-3885.2011.00203.x.

*Dr. Sebastian Wetterich*  
*Dr. Pier Paul Overduin*  
*Dipl.-Geogr. Frank Günther*  
*Prof. Dr. Hans-Wolfgang Hubberten*  
*Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Sektion Periglazialforschung*  
*Telegrafenberg A43, 14473 Potsdam*  
*sebastian.wetterich@awi.de*