



Polarforschung 78 (2), 129 – 132. 2008 (erschienen 2009)

Das Internationale Polarjahr 2007/08



An dieser Stelle berichtet die Deutsche Kommission für das Internationale Polarjahr über deutsche Aktivitäten im IPY 2007/08. Aktuelle Informationen gibt es bei www.polarjahr.de.

Folge 22: Permafrost und der globale Klimawandel

Permafrost – dauerhaft gefrorener Boden

Permafrost bildet sich in Gebieten mit einer sehr niedrigen Jahresmitteltemperatur und ist definiert als Untergrund (Boden und/oder Festgestein einschließlich Eis oder organisches Material), der über mindestens zwei aufeinander folgende Jahre ständig unter 0 °C bleibt. In der Arktis und in den nicht vergletscherten Gebieten der Antarktis ist Permafrost ein allgemein bekanntes Phänomen. Die Mächtigkeit des Permafrosts variiert weltweit zwischen weniger als 1 m und einigen hundert Metern und kann in Zentralsibirien sogar mehr als 1500 m erreichen. In vielen Regionen der Arktis ist sogar unter den heutigen Schelfmeeren Permafrost anzutreffen. Während Zeiten mit Meeresspiegeltiefständen, also in den Glazialzeiten der Eiszeiten, lagen weite Schelfgebiete der Arktis trocken und es bildete sich Permafrost, der auch heute – nach der Überflutung dieser Gebiete – als submariner Permafrost überdauert.

Der Prozess des Gefrierens führt dazu, dass sich das Eisvolumen um ca. 10 % vergrößert – Eis wächst zum Beispiel hügelartig aus dem Boden heraus. Solche Erscheinungen, die in Alaska und im Nordwesten Kanadas häufig vorkommen, werden Pingos genannt (Abb. 1). Sie können bis zu mehrere Tausend Jahre alt sein und „leben“ von dem saisonalen Wechsel von Gefrieren und Auftauen. Eine weitere charakteristische Form des Eises im Permafrost sind Eiskeile, die durch Frostrisse im Boden wachsen (Abb. 2). Im Frühjahr werden diese Risse von Schmelzwasser gefüllt, das zu Eisadern gefriert. Wiederholt sich dieser Vorgang alljährlich, so kommt es zur Ausbildung von Eiskeilen, die den Permafrostboden wie ein Netzwerk durchziehen. Im Luftbild ist diese netzartige Struktur der Eiskeil-Polygone sehr gut zu erkennen (Abb. 3).

Reaktion von Permafrost auf Erwärmung

Der Prozess des Auftauens erfasst in den Sommermonaten die Oberfläche der Permafrostgebiete und erreicht je nach Klimabedingungen und Bodenbeschaffenheit eine Tiefe von 50 cm bis einige Meter. Die Dicke der Auftauschicht hängt dabei stark von der Lufttemperatur, der Schneebedeckung und der Vegetation ab. An der Oberfläche entsteht ein Wasserstau, da das Schmelzwasser wegen des gefrorenen Unterbodens nicht versickern kann. Der entstehende Auftauboden ist daher besonders stark wasserdurchtränkt und sehr beweglich. Schon bei geringer Hangneigung kommt es zum Bodenfließen (Solifluktion).



Abb. 1: Im kontinuierlichen Permafrostboden bilden sich Pingos, wenn das Wasser austrocknender Seen gefriert und dabei feines Sediment nach oben gedrückt wird (Foto: J. Boike).



Abb. 2: Eiskeil im Permafrostboden in der sibirischen Arktis (Foto: D. Wagner).

Seit den späten 1960er Jahren werden an vielen Stellen in der Arktis, aber auch in Hochgebirgen, Veränderungen des Permafrosts durch Erwärmung beobachtet; Neubildung von Permafrost ist dagegen nur minimal. Eine anfängliche Erwärmung der Permafrostoberfläche führt dazu, dass die untere Grenze der Auftauschicht zunächst weiter nach unten wandert. Erst wenn die Erwärmung anhält, wird sie sich bis in tiefere Permafrostschichten auswirken.





Abb. 3: Tundra mit Eiskeil-Polygonen im Lena-Delta, sibirische Arktis (Foto: K. Piel). Datei: Polygone-Piel.jpg

Eine nicht zu unterschätzende Konsequenz durch tauenden Permafrost ist die Emission von Gasen, die aus mikrobiologischen Prozessen stammen, also vor allem Kohlendioxid und Methan. Durch tauenden Permafrost können sich die Vegetationszonen (z.B. die Baumgrenze) weiter nach Norden verschieben und damit das gesamte arktische Ökosystem verändern. Großflächig sind die Beobachtungen von tauendem Permafrost eher indirekt und orientieren sich an Veränderungen der Vegetation von Tundra und Wäldern, an der Absenkung des Bodens, dem Vernässen einer Landschaft oder auch dem Verschwinden von Seen (siehe Folge 19 – Studenten am Polarkreis).

Sichere Prognosen zur Veränderung von Permafrost erfordern umfangreiche Geländeuntersuchungen und Beobachtungen aus der Luft und dem Weltraum mit Hilfe von Flugzeugen und Satelliten, und zwar möglichst über lange Zeiträume. Wichtig ist eine weltweite Langzeitbeobachtung des Temperaturstatus des Permafrosts (TSP) in den verschiedenen Landschaften der Permafrostgebiete, um die hydrologischen Beziehungen und die zukünftigen Veränderungen in der Permafrostverbreitung besser zu verstehen, damit sie in globale und regionale Modelle einfließen können.

Deutsche Mitarbeit an Projekten zur Permafrost-Forschung im IPY

Die International Permafrost Association (IPA) hat zum IPY 2007/08 eine Reihe von Projekten initiiert, die ein breites Spektrum der Permafrost-Forschung abdecken und an denen deutsche Wissenschaftler beteiligt sind. Dies sind die Projekte

- (1) TSP – Thermal State of Permafrost.
- (2) CAPP – Carbon Pools in Permafrost Regions.
- (3) ACCOnet – Arctic Circumpolar Coastal Observatory Network.
- (4) Past Permafrost Records in Arctic Siberia als Teilthema von BIPOMAC (vgl. Folge 7).
- (5) ANTPAS – Antarctic Permafrost and Periglacial Environments.

Die ersten vier Projekte befassen sich mit dem Permafrost der

Arktis, wo eine reiche Vegetation und menschliche Besiedlung vorkommt, das fünfte Projekt mit der unbesiedelten Antarktis. An allen diesen Projekten haben sich deutsche Wissenschaftler maßgeblich beteiligt und die nachfolgend skizzierten Forschungsthemen bearbeitet.

Thermal State of Permafrost – TSP Hierzu wurden mit deutscher Beteiligung im Wesentlichen zwei Themen intensiv bearbeitet.

• **Langzeitmessungen auf Samoylov im Lena-Delta:** Um besser verstehen zu können, warum Permafrost an manchen Stellen taut, wie beispielsweise auf Spitzbergen, und an anderen nicht, werden vor allem die Transportprozesse von Wärme und Wasser in verschiedenen arktischen Ökosystemen untersucht. Darauf aufbauend soll ein prozessgesteuertes Modell für die in der Arktis vorherrschenden Permafrostsysteme entwickelt werden, um die Abläufe im Untergrund besser vorhersagen zu können. Neben Samoylov (Abb. 4) fanden Untersuchungen auf Spitzbergen (Ny Alesund) und in der hohen kanadischen Arktis am Polar Bear Pass statt.



Abb. 4: Messfeld an der Samoylov-Station im Lena-Delta, Sibirien im August 2008 (Foto: H.W. Hubberten).

• Temperaturstatus des Permafrost in Bohrungen

Gemeinsam mit russischen Kollegen wurden vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) mehrere Bohrungen im sibirischen Permafrost abgeteuft und mit Thermistorketten instrumentiert.

a) Mamontovy Klyk. Während der Bohrkampagne COAST 2005 wurden im Rahmen des Projektes System Laptewsee eine Reihe von Bohrungen, ausgehend von der Küste bis ca. 12 km in das Meer hinein, vom Meereis gebohrt. Das 77 m tiefe Bohrloch am Kap Mamontovy Klyk (Mammut-Eckzahn), zwischen den Flüssen Olenok und Anabar an der Küste der Laptewsee gelegen, wurde mit einer Thermistorkette versehen und registriert seitdem die Permafrosttemperaturen. Die Daten werden alle zwei Jahre an Land ausgelesen und die Datenlogger neu gestartet (Abb. 5).

b) Elgygytyn-See, Tschukschen-Halbinsel, Ostsibirien. In der ersten Phase des deutsch-russisch-amerikanischen Bohrprojektes Elgygytyn-See wurde im November/Dezember 2008 eine Bohrung in den Permafrost in der Umgebung des Kratersees abgeteuft, aus der ein 141 m langer Bohrkern mit gefrorenen Permafrostablagerungen gewonnen wurde. Diese Bohrung wurde mit einer Thermistorkette instrumentiert und wird in Zukunft kontinuierlich Temperaturdaten liefern, die in



Abb. 5: Paul Overduin und Conrad Kopsch (AWI Potsdam) beim Auslesen der Temperaturdaten im August 2008 (Foto: H.W. Hubberten).



Abb. 6: Lutz Schirmeister und Georg Schwamborn bei ersten Temperaturmessungen im Bohrloch des Elgygytgyn-Sees im November 2008 (Foto: B. Chaplignin).

das Global Terrestrial Network Permafrost (GTN-P) einfließen werden (Abb. 6).

CAPP – Carbon Pools in Permafrost Regions – CAPP

Unter den feuchtkalten Bedingungen arktischer Permafrostgebiete reichert sich abgestorbenes und gefrorenes Pflanzenmaterial im Permafrostboden an. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa ein Drittel des weltweit in Böden gespeicherten organischen Kohlenstoffs im Permafrost gespeichert ist. Ein Teil dieses Kohlenstoffs wird selbst unter Permafrostbedingungen durch Mikroorganismen zu Treibhausgasen wie Methan und Kohlendioxid umgewandelt. Ein geringer Anstieg der Temperatur beispielsweise von -6 auf -3 °C bewirkt dabei schon einen deutlichen Anstieg der Methanbildung. Dies sind erste Hinweise darauf, dass bei einer weiteren zunehmenden Erwärmung der Arktis die Freisetzung des Treibhausgases Methan ansteigen könnte.

Arctic Circumpolar Coastal Observatory Network – ACCOnet

In internationalem Verbund wurde mit der Einrichtung eines zirkumarktischen Netzwerks von Küstenobservatorien

begonnen (Abb. 7). Es sollen Veränderungen der arktischen Küste quantifiziert werden, um daraus digitale Geländemodelle zu errechnen und die Einträge an Sediment, Kohlenstoff und Schadstoffen in die arktischen Küstenmeere und den Ozean abschätzen zu können (Abb. 8). Dieses Vorhaben wird von der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA durch die Bereitstellung von 350 detaillierten Satellitenbildern ausgewählter Küstenbereiche des Arktischen Ozeans unterstützt.



Abb. 7: Satelliten-Karte der Arktis mit den 41 Stationen, die zum Arctic Circumpolar Coastal Observatory Network (ACCOnet) gehören (Karte: H. Lantuit, 2008).



Abb. 8: Rückschreitende Erosion an der Yukon-Küste, Herschel-Insel, Beaufortsee, Kanada, die durch auftauenden Permafrost verursacht wird. Durch diese Rutschmassen gelangen episodisch Sediment und Kohlenstoff in das Schelfmeer. Das Küstenkliff im Bild bestehen fast völlig aus Eis und sind mehr als 20 m hoch (Foto: H. Lantuit).

Past Permafrost records in Arctic Siberia als Teil von BIPOMAC (vgl. Folge 7).

Im Rahmen dieses Projekts wurden in den Sommern 2007 und 2008 in Nordostsibirien zwei gemeinsame russisch-deutsche Landexpeditionen an der Dimitrii-Laptewstraße (Bol'shoy Lyakhovsky Insel, Oyogos Yar Küste) und an der unteren Kolyma (Duvanny Yar, Abb. 9) mit zehn bzw. sechs Teilnehmern durchgeführt.



Abb. 9: Eisreicher Permafrost am Standort Duvanny Yar am östlichen Ufer der Kolyma. Die Permafrostabfolgen werden als Umweltarchiv betrachtet, da in ihnen zahlreiche fossile Reste der Pflanzen- und Tierwelt eingefroren sind (Foto: S. Wetterich).

Die dabei untersuchten Permafrostabfolgen enthielten sowohl Spuren warmzeitlicher Permafrostdegradation (z.B. eemzeitliche sowie holozäne Eiskeilpseudomorphosen, Seesedimente und Torfablagerungen) als auch eisreiche Schichten mit großen Eiskeilen, die während der Saale- und der Weichsel-Kaltzeit gebildet wurden. Umfangreiches Probenmaterial wird derzeit analysiert, um das Bild der Permafrostdynamik in der sibirischen Arktis während Klimaschwankungen in der Vergangenheit zu erhalten. Erste Ergebnisse zeigen die Entwicklung von Thermokarstsenken in Abhängigkeit von spätquartären Klimaschwankungen.

Antarctic Permafrost and Periglacial Environments – ANTPAS

Die Antarktis stellt aufgrund ihrer geographisch isolierten Lage und wegen des geringen anthropogenen Einflusses ein natürliches Labor für die Untersuchung zur Entwicklung mikrobieller Lebensgemeinschaften in Böden dar. Im Rahmen des IPY wurden zwei Expeditionen, eine in die klimatisch gemäßigte Region der antarktischen Halbinsel, und eine in die klimatisch extremere Ostantarktis (Abb. 10), durchgeführt. Erste Untersuchungen zeigen eine hohe Diversität der Mikroorganismengemeinschaften in den verschiedenen Untersuchungsgebieten, obwohl die Böden wenig entwickelt und durch geringe Nährstoffgehalte sowie sehr trockene Verhältnisse gekennzeichnet sind.

Literatur

Brown, J., Ferrians Jr., O.J., Heginbottom, J.A. & Melnikov, E.S. 1998: revised February 2001. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Digital Media.

Burgess, M.M., Smith, S.L., Brown, J., Romanovsky, V. & Hinkel, K. 2000: The Global Terrestrial Network for Permafrost (GTNet-P): Permafrost monitoring contributing to global climate observations.- In: Current Research 2000E, Geol. Surv. Canada.

Links: <www.ipy.org/index.php?ipy/detail/past>
<www.ipa-permafrost.org> International Permafrost Association IPA
<[permafrost records in arctic siberia/](http://permafrost.records.in.arctic.siberia/)> Spuren von altem Permafrost.
<www.awi.de/en/go/sparc> zu Thermal State of Permafrost.

Kontakt: Prof. Dr. Hans-Wolfgang Hubberten, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Telegrafenberg A43, 14773 Potsdam, <hans-wolfgang-hubberten@awi.de>

Zusammenstellung: Julia Boike, Hans-Wolfgang Hubberten, Hugues Lantuit, Paul Overduin, Lutz Schirrmeister, Dirk Wagner und Monika Huch.



Abb. 10: Blick vom Feldlager über die küstennahen eisfreien Gebiete der Larsemann-Berge, Prydz-Bucht, Ostantarktis (Foto: D. Wagner).

