

Seminararbeit im Profil „System Erde“ des Oberstufenverbundes der  
Schulen Gymnasium Farmsen, Johannes-Brahms-Gymnasium und  
Gymnasium Osterbek

## **Welche Auswirkungen hat das Auftauen der Permafrostböden durch den Klimawandel auf die sibirische Tundra?**



Vorgelegt von:

Aicha Meskini  
Gleiwitzer Bogen 113  
22043 Hamburg

und

Valeria Lotz  
Borchertring 83  
22309 Hamburg

Hamburg, 09. Dezember 2010

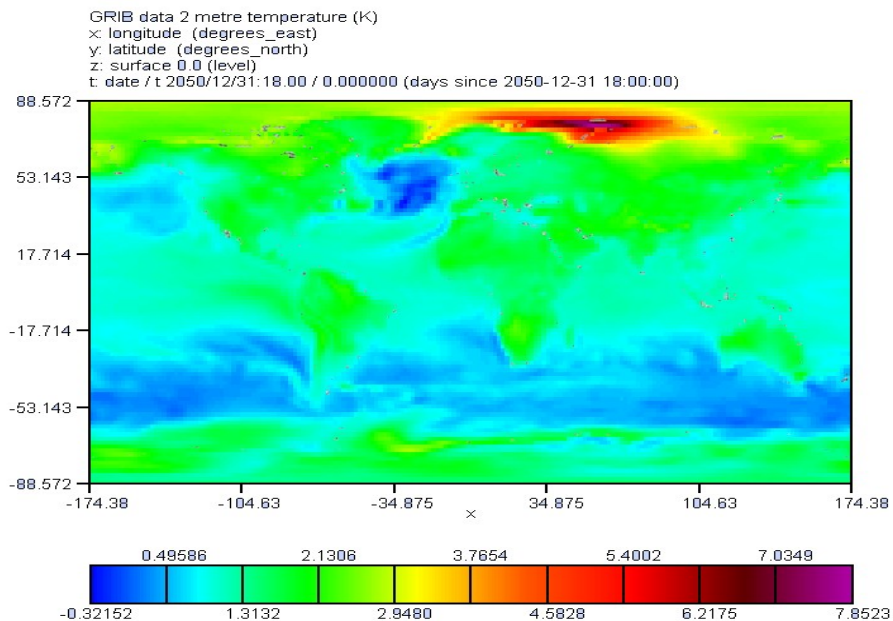
# Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung.....	Seite 1
2. Die sibirische Tundra.....	Seite 3
3. Was ist und wie entsteht ein Permafrostboden?.....	Seite 4
4. Verbreitung von Permafrostboden.....	Seite 6
5. Welche Auswirkungen ergeben sich auf die sibirische Tundra durch das Auftauen der Permafrostböden.....	Seite 7
6. Fazit und Ausblick.....	Seite 11
Literaturverzeichnis.....	Seite 12

## 1. Problemstellung

Die Arktis ist eine Region mit einem kalten Klima, die sich innerhalb des nördlichen Polarkreises befindet (vgl. o. V., o.J.). Sie umfasst die nördlichen Teile der drei Kontinente Nordamerika, Asien und Europa und das gesamte von Eis bedeckte Nordpolarmeer. Grundsätzlich ist die Arktis kein Kontinent, was oft angenommen wird, sondern besteht zu ihrem wesentlichen Teil aus schwimmendem Meereis, was durch Stürme zu festem Packeis zusammen geschoben wird (vgl. o. V., o. J.).

Doch diese „Zonen des ewigen Eises“ sind besonders temperaturempfindlich, denn schon kleine Temperaturschwankungen können die Arktis auffällig verändern. Dort liegen die regulären Temperaturen generell unter dem Nullpunkt und eine Erwärmung könnte große Veränderungen mit sich bringen, da durch sie das Eis und der Schnee schmelzen könnten. Der aktuelle Klimawandel bewirkt also eine Temperaturerhöhung in den nördlichen Breiten (siehe Abb. 1), die durch Klimamodelle bestätigt wird und somit gravierende Auswirkungen für die Arktis haben kann (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 172).



**Abb. 1: Globale Temperaturverteilung im Jahr 2050**

Quelle: Eigene Darstellung nach Daten von Roeckner, Erich; Lautenschlager, Michael; Schneider, Heiko 2006; IPCC-AR4  
MPI-ECHAM5\_T63L31; MPImet/MaD Germany. World Data Center for Climate.

Die Randgebiete der Arktis sind von dieser Temperaturerhöhung ebenfalls betroffen, zeigen jedoch eine andere Reaktion auf diese Veränderung, da sie nicht in dem Ausmaß von Eis und Schnee bedeckt sind wie die Arktis. Sie reagieren auf diese höheren Temperaturen mit dem Auftauen des dauerhaft gefrorenen Perma- bzw. Dauerfrostbodens, der fast alle eisfreien Regionen unterlagert (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 24) und auch häufig submarin unter dem Arktischen Ozean als Relikt der letzten Eiszeit zu finden ist und in Hochgebirgen auftaucht (vgl. KASANG 2007). Verschiedene Landschaftsformen sind von der Bildung und dementsprechend von der Zerstörung des Permafrostbodens abhängig. Durch das Auftauen der gefrorenen Böden kann es zu Landverlusten, Absenkungen der Oberfläche, erhöhten Wasseransammlungen in Senken und sogar einer weiteren Verstärkung der Permafrostdegradation und weiteren gravierenden Auswirkungen kommen (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 217).

Und diese Auswirkungen, ihre Gründe und die damit verbundenen Probleme haben wir uns zur Aufgabe gemacht und möchten sie in dieser Arbeit näher beleuchten. Das Auftauen der Permafrostböden ist in der heutigen Zeit durch die globale Erwärmung ein aktuelles Thema, denn wenn man diesem nicht entgegen wirken würde, könnte sich durch die Klimaerwärmung die Auftautiefe des Permafrostbodens vergrößern und zu schwerwiegenden Folgen führen (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 217). Durch die Gegenwärtigkeit und Wichtigkeit dieses Themas wurde somit unser Interesse geweckt. Da wir uns aber nicht mit dem gesamten Spektrum dieses bedeutenden Themas in unserer Arbeit befassen können, haben wir uns entschlossen uns gezielt auf die sibirische Tundra zu fokussieren. Dort befindet sich schließlich eines der größten Dauerfrostgebiete der Erde (vgl. ALISCH 2008, S.53) und in der sibirischen Tundra wird vor allem der Zusammenhang zwischen Menschen und dem Permafrost besonders deutlich, weil der Permafrost einen wichtigen Faktor für den Lebensraum der Menschen in dieser Region bildet und die Lebensbedingungen bestimmt und somit dort die Folgen besonders hervortreten.

Durch diese Arbeit möchten wir auch Lösungsmöglichkeiten aufzeigen, das Auftauen der Permafrostböden zu verhindern, indem wir Gründe für die Auswirkungen suchen sowie Wege finden ihnen entgegen zu wirken.

## 2. Die sibirische Tundra

Die Tundra ist der Fachbegriff für die baumlose Vegetationsform der subpolaren Gebiete, die in Sibirien, Alaska, Grönland und weiter südlich sogar bis in die Mongolei vorkommt (vgl. LESER 2005, S. 984).

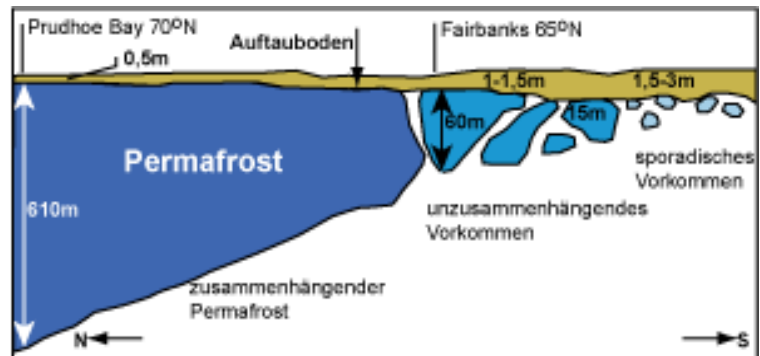
Das Klima in einer subpolaren Vegetation ist kalt und hat lange, dunkle, trockene Winter mit einer Schneedeckendauer von bis zu 300 Tagen pro Jahr. Die Sommer sind kurz und kühl und die Jahresmitteltemperatur bleibt meist unter 0°C. Es gibt also keinen deutlichen Jahreszeitenwechsel, jedoch liegen die wärmsten Monate bei Temperaturen von 6°C-10°C. Außerdem sind auch die Sommerniederschläge sehr gering. Diese subpolare Zone beschreibt die Tundra (vgl. LESER 2005, S. 984).

Der Boden der Tundra besteht hauptsächlich aus Perma- und Dauerfrostböden, die den Landschaftsgürtel zwischen den arktischen Kältewüsten und dem borealen Nadelwald bilden (vgl. LESER 2005, S. 984).

Da sich die sibirische Tundra in einem subpolarem Klima befindet, wird hierdurch das Vorkommen von Pflanzen- und Tierwelt stark beeinflusst. In diesem Gebiet herrscht ein Selektionsdruck, der bewirkt, dass Tiere und Pflanzen sich anpassen müssen, um die extremen Umweltbedingungen überleben zu können. Aufgrund der kühlen Sommer bringen sie nur geringe Wärmesummen mit, dies bedeutet für das Wachstum von Pflanzen (besonders von Bäumen) negative Auswirkungen. Es gibt verschiedene typische Gewächse, die in diesem Gebiet sehr ausgeprägt sind, wie zum Beispiel: Moose, Flechten, Grasföhren sowie die Alpenflora und weitere verwandte höhere Pflanzen und Zwergsträucher. Die Ursachen für dieses verlangsamte Pflanzenwachstum sind kurze, kühle Sommer und lange, sehr eisige, kalte und dunkle Winter mit extremer Schneebedeckungszeit der Erdoberfläche. Außerdem bildet sich Staunässe über dem Permafrostboden, die den gefrorenen Untergrund beeinflusst. Somit ist die Regenerationsfähigkeit der Pflanzen gering und sie brauchen lange Zeiträume, um sich gegen den Frost zu schützen (vgl. LESER 2005, S. 984).

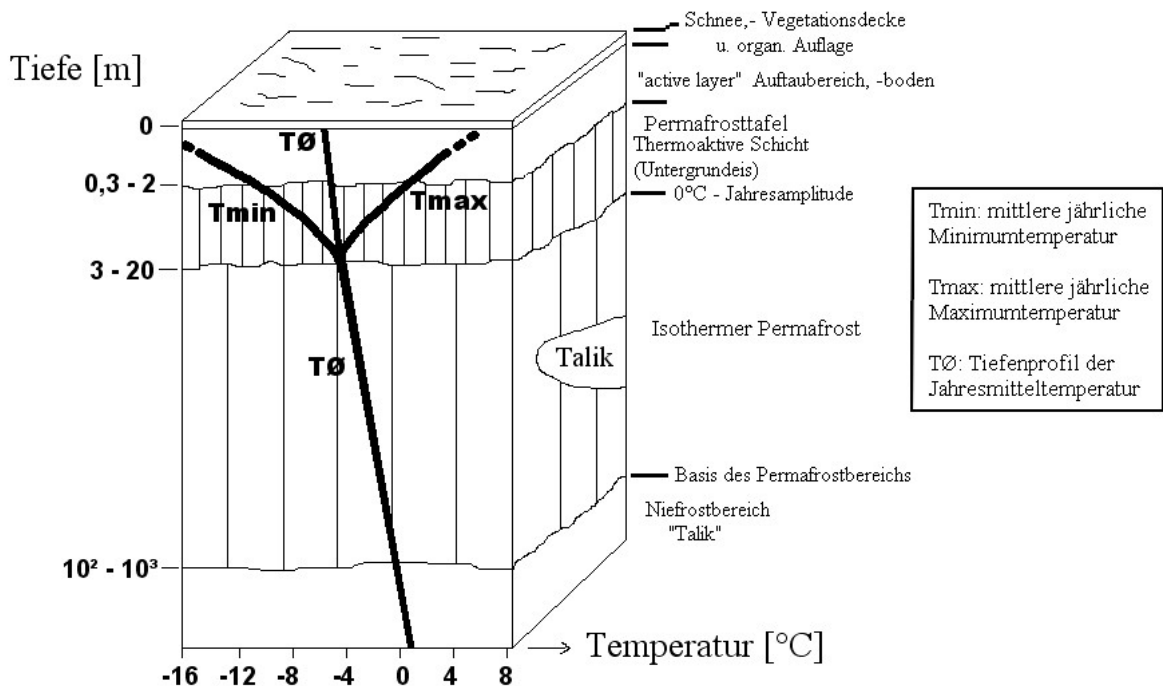
### 3. Was ist und wie entsteht ein Permafrostboden?

In Gebieten, in denen die Temperatur über mehrere Jahre unter 0°C liegt und der Niederschlag gering ist, bildet sich dauerhaft gefrorener Boden, der sogenannte Permafrostboden (KASANG 2007). Die Bildung von Permafrost ist also im Wesentlichen ein Klimaphänomen, was daraus resultiert, dass bei langfristig einwirkenden extrem niedrigen Wintertemperaturen der Boden stark und tief gefriert (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 48).



**Abb. 2: Profil der Permafrostzone in Alaska zwischen 60° und 70° n. Br.**  
 (Quelle: KASANG 2007, Klimawandel-Wiki, Artikel Permafrost: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Permafrostprofil.gif>)

Dabei kann, je nach dem räumlichen Standort des Bodens, in festländischen Gebieten zwischen kontinuierlichem (zusammenhängendem), diskontinuierlichem (unzusammenhängendem) und sporadischem Permafrost unterschieden werden (siehe Abb. 2). Während kontinuierlicher Permafrost den Untergrund lückenlos und meist in Mächtigkeiten von einigen hundert Metern durchsetzt, ist diskontinuierlicher Permafrost mit großen Lücken übersät und weist geringere Mächtigkeiten auf. Sporadischer Permafrost verbreitet sich inselartig (vgl. BLÜMEL, EBERLE 2001, S. 48).



**Abb. 3: Schematischer Aufbau und Temperaturverlauf in der Permafrostzone** (Eigene Darstellung nach: LOZÁN et al. 2006, S. 49)

Die Mächtigkeit eines Permafrostbodens kann somit zwischen über 1000 bis zu nur wenigen Metern schwanken.

Der Permafrost gliedert sich vertikal in unterschiedliche Schichten (siehe Abb. 3). Der oberste Bereich wird von einer sommerlichen Auftauzone gebildet, der aktiven Schicht („active layer“), die je nach der Ausprägung des sommerlichen Wärmehaushalts und der Standortbedingungen zwischen 0,3m und 0,5m bis zu mehreren Metern mächtig sein kann (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 48). Durch das Auftauen der aktiven Schicht kann sich oft Bodenwasser bilden. An die Auftauzone schließt sich die Permafrosttafel an, die thermoaktive Schicht, die trotz ihrer Bodentiefe von bis zu 20m immer noch saisonalen Temperatur- und Volumenschwankungen unterliegt. Dies ist entscheidend für die Bildung von Untergrundeis (vgl. BLÜMEL, EBERLE 2001, S. 49). Noch weiter tiefer befindet sich der isotherme Permafrost, der die unterste Schicht des Permafrostbodens darstellt. Dort lässt nun die Wärmewirkung von der Oberfläche her völlig nach und es können keine Temperaturschwankungen mehr auftreten, da diese letzte Schicht an den Bereich des Niefrostbodens („Talík“) grenzt, welcher niemals gefriert. Der isotherme Permafrost bildet den größten Teil des gesamten Permafrostbodens, denn er kann über eine Tiefe von mehreren 100m reichen (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 48-49).

#### 4. Verbreitung von Permafrost

Die Hauptverbreitungsgebiete des Permafrostes befinden sich in den hohen Breiten der Nordhalbkugel (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 49). Sie werden durch den 60. Breitengrad und das Nordpolarmeer begrenzt (vgl. BLÜMEL, EBERLE 2001, S. 49), welches beinahe ganz von Permafrost umrahmt wird (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 49).

Weiter südlich vom 60. Breitengrad ist die Bildung von Permafrost nicht mehr möglich, da dort ein zu warmes Klima herrscht. Nördlich der Grenze zum Nordpolarmeer hin gibt es auch keinen Permafrost mehr, weil das Meer dort eine zu große Tiefe besitzt, als dass sich Permafrostboden bilden kann. Ein Permafrostboden kann nur dann submarin unter dem Meer entstehen, wenn das gesamte Wasser über dem Meeresboden gefroren ist. Die Hauptverbreitungsgebiete des Permafrostes machen 20 bis 25% der Landoberfläche der ganzen Nordhemisphäre aus (vgl. BLÜMEL, EBERLE 2001, S. 49).

Zusätzlich tritt Permafrost auch in zahlreichen Hochgebirgen, in den wenigen unvergletscherten Gebieten der Antarktis (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 49) sowie als Relikt der letzten Eiszeit am Boden der Schelfgebiete des Antarktischen Ozeans auf (vgl. KASANG 2007).

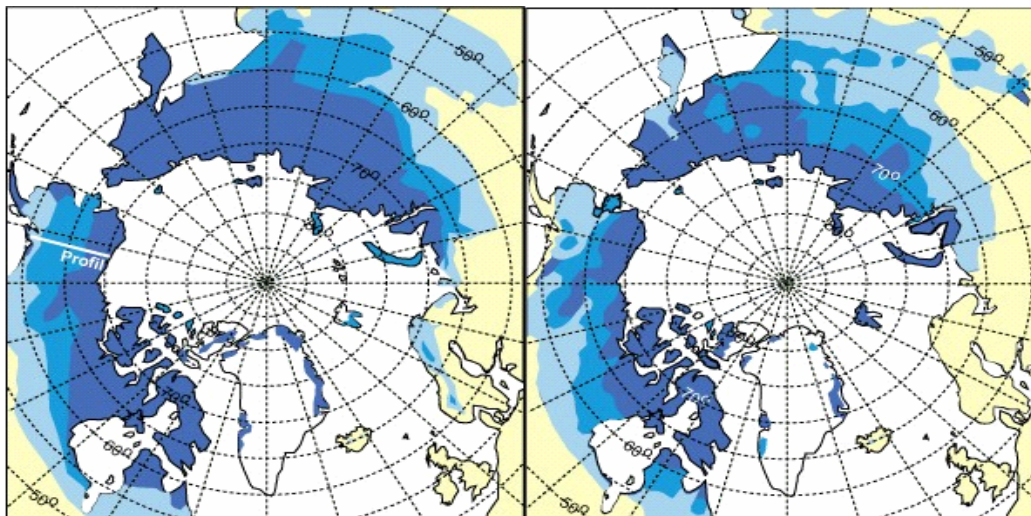
Je nach Standort und den dort herrschenden klimatischen Bedingungen ist der Permafrostboden unterschiedlich ausgeprägt. In kontinental geprägten Räumen (z.B. Ostsibirien, kanadische Arktis) finden sich beispielsweise Gebiete mit kontinuierlichem Permafrost auch noch südlich des Polarkreises, während ozeanisch geprägte Regionen (z.B. Island, Norwegen, Westküste Alaskas) sogar nördlich davon keinen oder nur sporadischen Permafrost aufweisen (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 49). Die Bildung von Permafrost wird also durch die Kontinentalität des Klimas begünstigt (vgl. KASANG 2007). In Sibirien z.B. führt deshalb das extrem kontinentale Klima dazu, dass kalte trockene Luftmassen aus dem fast ganzjährigen polaren Kältehoch nach Süden strömen. Daraus ergeben sich eine weit nach Süden reichende Permafrostzone und große Permafrostmächtigkeiten. Das Eindringen des Frostes wird durch die große Trockenheit und die nur dünne und damit wenig isolierende Schneedecke unterstützt. Es kommt hinzu, dass große Gebiete im Osten Sibiriens während der Eiszeiten nicht vergletschert waren und deshalb dort die isolierenden Gletscherkappen fehlten (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 49).



## 5. Welche Auswirkungen ergeben sich auf die sibirische Tundra durch das Auftauen der Permafrostböden?

Seit einigen Jahrzehnten werden Untersuchungen in Permafrostgebieten zu klimabedingten Veränderungen des Permafrosts durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der beobachtete Anstieg der Lufttemperatur auch eine Erhöhung der Bodentemperatur zur Folge hat (vgl. LOZÁN et al. 2006, S. 52). So sind die Oberflächentemperaturen im Permafrost in Sibirien um ca. 2°C gestiegen.

Der aktuelle Klimawandel sorgt in vielen Gebieten für eine Verringerung der räumlichen Ausdehnung der Permafrostgebiete (siehe Abb. 4) und der Mächtigkeit des dauerhaft gefrorenen Bodens sowie eine Vertiefung des über dem Permafrost liegenden Auftaubodens. Die Südgrenze der Permafrostzonen wandert durch die Erwärmung nach Norden. Doch die Ursache für die Erwärmung des Permafrostbodens liegt nicht nur in der Erwärmung der Atmosphäre, sondern auch in der höheren Schneebedeckung, die eine geringere Auskühlung des Bodens im Winter zur Folge hat (vgl. KASANG 2007).



**Abb. 4: Verbreitung von Permafrost auf der Nordhalbkugel & Permafrostgebiete um das Jahr 2050** (Quelle: KASANG 2007, Klimawandel-Wiki, Artikel Permafrost: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Permafrostverbreitung.gif>; [http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Permafrostverbr\\_progn.gif](http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Permafrostverbr_progn.gif))  
Dunkelblau: zusammenhängender Permafrost  
Blau: unzusammenhängendes Vorkommen  
Hellblau: sporadisches Vorkommen

Die Auflösung von Permafrost und die Vertiefung des Auftaubodens haben weit reichende Folgen für Ökosysteme und Infrastrukturanlagen. Eine wichtige Konsequenz ist die Bildung von Thermokarst. Das sind Bodenabsenkungen und Bodeneinbrüche,

die sich mit Wasser füllen und anschließend vermooren (siehe Abb. 5). Aus diesen Seen können sich Sümpfe bilden, wodurch Methan in die Atmosphäre entweichen könnte. So zeigen Satellitendaten, dass sich in der zusammenhängenden Permafrostzone Sibiriens die von Seen eingenommene Fläche in den letzten 30 Jahren bereits um 12% vergrößert hat.



**Abb. 5: Tundra bei Dudinka am Jenissej in Sibirien**  
(Quelle: Wikipedia-Bilddatenbank Wikimedia  
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e6/Ru200008050084.jpg/800px-Ru200008050084.jpg>)

Taut jedoch der Permafrost ganz bis in die Tiefe auf, versickert dagegen das Wasser und es entsteht eine Verminderung der Anzahl und Fläche der Seen. In solchen Gebieten können sich neue Pflanzengemeinschaften ansiedeln, sodass Strauchvegetation und Wälder ihre Grenzen nach Norden verschieben. Die sich nach Norden ausbreitende Vegetation kann somit mehr Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufnehmen (vgl. KASANG 2007). Jedoch wird dieser klimatische Effekt durch die verringerte Albedo von Strauch und Wald gegenüber den Tundraflächen deutlich übertroffen.

In den Permafrostböden sind außerdem riesige Mengen an Kohlenstoff und Methan eingelagert, die beim Auftauen des Bodens freigesetzt werden. Die Wachstumsphase der dort heimischen Pflanzen, in der sie Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufnehmen, dauert in Gebieten mit Permafrostboden nur zwei bis drei Monate, danach sterben sie ab und werden von Mikroorganismen zersetzt. Durch das angestaute Wasser, das wegen der darunterliegenden ganzjährig gefrorenen Erdschicht nicht versickern kann, entsteht Sauerstoffmangel im Boden. Somit entstehen Fäulnisprozesse und es bildet sich Methan (LESER 2005, S. 53).

Das Freisetzen von diesem Treibhausgas könnte dazu beitragen, dass die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre noch weiter zunimmt und die globale Erwärmung sich erhöht, denn Methan hat im Vergleich zu anderen Treibhausgasen wie z.B. Kohlenstoffdioxid eine viel höhere Klimawirksamkeit. Dies könnte somit zu einem Rückkopplungsprozess führen, da die Klimaerwärmung wiederum das Auftauen von weiteren Permafrostböden mit sich bringen würde (LESER 2005, S. 54).

Auftauender Permafrost kann auch die Wasserführung der Flüsse erhöhen, mit Konsequenzen möglicherweise sogar für die ozeanischen Zirkulationssysteme, die sich durch die Zufuhr von Süßwasser verändern können (vgl. KASANG 2007).

Durch das verstärkte Auftauen der Permafrostböden werden aber auch die Infrastruktur und die industriellen Tätigkeiten in Sibirien in Mitleidenschaft gezogen, die vollständig auf die dortigen Verhältnisse zugeschnitten sind. Vielfach ist der Überlandverkehr in dieser schwer erreichbaren Region auf die Monate beschränkt, in denen der Boden durchgehend gefroren ist, denn Straßen und Brücken werden größtenteils durch das Eis des Untergrunds stabilisiert (LESER 2005, S. 54), da durch das Auftauen des Permafrostbodens die Untergrundstabilität verloren geht (vgl. KASANG 2007). Innerhalb der vergangenen 30 Jahre hat sich bereits der Zeitraum, in dem die Tundra nach ökologischen Gesichtspunkten befahrbar ist, um die Hälfte (auf ungefähr 100 Tage) reduziert. Deshalb ist die Öl- und Gasförderung um die Hälfte zurückgegangen und die Holzwirtschaft wurde behindert, weil sie bei ihren Transportwegen auf gefrorene Böden angewiesen ist (LESER 2005, S. 54-55), aber viele Transportwege nicht mehr befahrbar sind, weil sie im auftauendem Boden absacken.

Dazu kommen große Schäden durch deformierte Bahnschienen und Flugzeug-Landebahnen und Umweltverschmutzungen durch beschädigte Pipelines und auch Industrieanlagen (LESER 2005, S. 55), die für die Natur verheerend wären. Da in Sibirien größere Siedlungszentren in Permafrostgebieten liegen (vgl. KASANG 2007), können auch Wohnhäuser vielerorts instabil werden oder Risse bekommen (vgl. LESER 2005, S. 55). Einige Häuser sind von der Gefahr bedroht, komplett einzustürzen, und somit ist das Leben der Menschen in Sibirien auch gefährdet. Das Auftauen der Permafrostböden kann zu erheblichen Zerstörungen der Verkehrswege und Bauten in der sibirischen Tundra führen, welche nur mit hohen Kosten reparabel sein können oder sogar zur Aufgabe der jeweiligen Anlagen führen können (vgl. KASANG 2007).

Ein weiteres Problem stellt die Auflösung von Permafrost in den Gebirgen dar, denn hier leidet vor allem die Bodenfestigkeit an steilen Hängen. Durch das Auftauen fällt die Stabilisierung der gefrorenen Böden weg und die Berghänge verlieren ihre Stabilität. Es kommt unweigerlich zu Felsstürzen, Gerölllawinen und Muren, die ganze Siedlungen vernichten und auch die Infrastruktur bedrohen können (vgl. LESER 2005, S. 55-56).

Die Erwärmung der Permafrostböden hat auch Auswirkungen auf die darüber liegende Vegetation, da der Boden auftaut und seine Festigkeit verliert. Die Pflanzen können sich somit mit ihren Wurzeln nicht mehr im Boden verankern und kippen seitwärts um.

Das Auftauen der Permafrostböden könnte aber auch die Möglichkeit bieten an Bodenschätze heranzukommen, die sich in der Erde befinden könnten. Dafür müsste der Boden jedoch bis zu mehreren 100 m auftauen, da Bodenschätze meistens erst ab so einer Tiefe zu finden sind. Außerdem besteht die Möglichkeit, Fossilien der Flora und Fauna aus früheren Zeiten im Auftauboden vorzufinden.

Zusammenfassend ist also zu sagen, dass das Auftauen von Permafrostböden hauptsächlich nur negative Aspekte für den Menschen und die Natur mit sich bringt. Es wäre also hilfreich Methoden zu finden, dem Auftauen von Permafrost entgegen zu wirken.

## 6. Fazit und Ausblick

Die Permafrostodynamik und die globale Klimaentwicklung sind stark miteinander verbunden und es kann zwischen ihnen zu zahlreichen Wechselwirkungen und Effekten führen. Die Kombination der Ergebnisse von Paläoumweltforschung, Beobachtung und Messung der heutigen Prozesse und Simulation der zukünftigen Entwicklung ist deshalb eine der wichtigsten Aufgaben für die Permafrostforschung, da dadurch die Veränderungen im Permafrost aufgeführt und überhaupt erst nachgewiesen werden können. Die klimatischen Folgen von Veränderungen der sibirischen Permafrostgebiete sind heute aber kaum erkennbar. Noch sind die zeitlichen und räumlichen Skalen sehr verschieden, noch sind nicht alle physikalisch-chemischen Wechselbeziehungen verstanden, noch fehlen darüber hinaus exakte Bilanzen, um den globalen Einfluss der Permafrostveränderungen abschätzen zu können. Es ist jedoch gesichert, dass ein Auftauen des Permafrosts dramatische Änderungen des Ökosystems, der Landschaft und der Infrastruktur von Sibirien bewirken wird (LOZÀN et al. 2006, S. 53). Es sollten deshalb bessere Methoden entwickelt werden, um die Permafrostveränderungen genauer erforschen zu können, da somit die damit verbundenen Folgen absehbarer werden würden.

Die Menschen besitzen zwei Möglichkeiten, einerseits das Auftauen der Permafrostböden und andererseits die damit verbundenen Folgen zu verhindern. Erstens können sie versuchen, den Klimawandel aufzuhalten, indem sie beispielsweise die landwirtschaftlichen und industriellen Emissionen und die Emissionen aus den privaten Haushalten verringern. Somit würde möglicherweise die globale Erwärmung reduziert werden und die gefrorenen Böden würden nicht mehr weiter auftauen.

Andererseits haben sie die Möglichkeit ihre Infrastruktur nach dem Auftauen der Permafrostböden auf die Veränderung des Bodens anzupassen. Alle Gebäude dürften zum Beispiel nur noch auf Holzpfählen errichtet werden, damit diese gestützt werden, wenn der gefrorene Boden unter ihnen auftaut. Die Verkehrswege müssten auch gestützt werden und es sollte für ihren Bau nur dehnbares Material verwendet werden, damit diese befahrbar bleiben, falls der Boden unter ihnen wegbrechen oder aufreißen sollte. Dies wären alles Optionen, das Leben in dieser Region besser zu gestalten, auch wenn das Auftauen des Permafrosts immer noch ein schwerwiegendes Problem für das Leben in der sibirischen Tundra darstellt.

## Literaturverzeichnis

Alisch, T. (2008): Klimawandel Klimaschutz.

Blümel, W. D.; Eberle J. (2001): Global Warming in Permafrostgebieten.

Leser, H. (2005): Wörterbuch Allgemeine Geographie.

Lozán, J. L. et al. (2006): Warnsignale aus dem Polarregionen. Wissenschaftliche Fakten.

## Internetquellen:

Hugentobler, A. (o. J.): In Sibirien tickt Klima-Zeitbombe.

Online unter: [http://www.heissezeiten.com/2008\\_02\\_01\\_archive.html](http://www.heissezeiten.com/2008_02_01_archive.html) (abgerufen am 7.12.2010)

Kasang, D. (2007): Klimawandel und die Kryosphäre. Permafrost.

Online unter: <http://bildungsserver.hamburg.de/das-klimasystem/2064130/kryosphaere-artikel.html>

Klimawandel-Wiki, Artikel Permafrost:

Online unter: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Permafrost> (abgerufen am 8.11.2010)

o. V. (o.J.): Arktis. Der Hohe Norden.

Online unter: <http://www.polartravel.de/wissen/arktis/index.html> (abgerufen am 4.11.2010)

## Abb. Titelblatt:

Wikimedia Commons: Permafrost - [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Permafrost\\_-\\_ice\\_wedge.jpg?uselang=de](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Permafrost_-_ice_wedge.jpg?uselang=de)