

Wenn der Permafrost taut

Seit Jahrzehnten erwärmen sich die riesigen Gebiete mit gefrorenem Bodenmaterial in den hohen Breiten. Taut das Eis des Permafrosts, könnten große Mengen an Treibhausgasen in die Atmosphäre gelangen und die globale Erwärmung verstärken. Zahlreiche Wechselwirkungen des Permafrostbodens mit der Umgebung erschweren allerdings die wissenschaftliche Aufgabe, die Gefahr realistisch einzuschätzen.

Steigende Temperaturen haben zahlreiche Folgen im Klimasystem. Eine Folge betrifft das Methan, das im Permafrostboden gespeichert ist. In Fachkreisen wird seit Jahren diskutiert, ob und wie schnell das Gas aus dem tauenden Permafrost zunehmend nach oben dringt. Als ein potentes Treibhausgas könnte es die Klimaerwärmung zusätzlich verstärken. In diesem Fall läge also eine positive Klimarückkopplung vor.

Von Permafrost sprechen Forscher, sobald die Temperatur eines Bodenmaterials mindestens zwei aufeinanderfolgende Jahre lang unter 0 Grad Celsius lag. Das Material kann aus Gestein, Sedimenten oder Boden ("Erde") bestehen und unterschiedliche Mengen an Eis enthalten. Permafrost ist sehr verbreitet - man findet ihn unter 24 Prozent der Landflächen auf der Nordhalbkugel. In Gebieten Alaskas und Sibiriens, die während der letzten Eiszeit nicht vergletschert waren, haben sich mächtige Permafrostablagerungen gebildet, die einen hohen Gehalt an Eis aufweisen: Teilweise bestehen dort mehr als 70 Prozent des Bodens aus Eis. Der Permafrost kann in Sibirien eine Tiefe von bis zu 1400 m erreichen.



Bildbeschreibung:

Auf dieser Karte ist zu erkennen, wie riesig die Landflächen auf der Nordhalbkugel sind, unter denen sich Permafrost befindet. Von Permafrost spricht man, sobald ein Bodenmaterial mindestens zwei Jahre lang eine Temperatur von weniger als 0 Grad Celsius hatte. In Asien erstrecken sich diese Gebiete sogar bis in mittlere Breitengrade.

Ob der Permafrost stabil bleibt, hängt ganz wesentlich von der Bodentemperatur ab. Diese wiederum wird von vielen weiteren Faktoren beeinflusst - ganz besonders von der Energiebilanz an der Oberfläche, von der Wärmekapazität und -leitfähigkeit des Bodens, von der Vegetation, von der Schneebedeckung sowie von Gewässern und Grundwasser in der Umgebung. Den kältesten Permafrost gibt es derzeit in Sibirien mit Jahresmitteltemperaturen von minus 10 Grad Celsius. Vergleichsweise warm ist der Permafrost auf Spitzbergen mit einer Durchschnittstemperatur von minus 2 Grad. (Diese Mitteltemperaturen werden in einer Tiefe bestimmt, wo die jahreszeitlichen Schwankungen nicht mehr spürbar sind.)

Erwärmung und Empfindlichkeit

In den letzten Jahrzehnten hat sich nicht nur die Atmosphäre erwärmt. Auch die Temperatur der oberen Schichten des Permafrosts ist allgemein gestiegen. Das belegen Aufzeichnungen in Bohrlöchern und andere Messungen. Wenn der Gehalt an flüssigem Wasser einen kritischen Schwellenwert überschreitet, droht der Permafrost komplett abzutauen. Das würde die Landschaftsformen der Region ebenso verändern wie den Wasserhaushalt und die ökologischen Verhältnisse.

Zurzeit untersuchen wir und andere Wissenschaftler, was in Zukunft mit dem Permafrost passieren könnte. Dazu werden die Ergebnisse aufwendiger Feldmesskampagnen mit 2D- und 3D-

Computermodellen des Permafrosts kombiniert, die durch Temperaturszenarien angetrieben werden. Neuesten Studien zufolge könnten Permafrostböden mit aktuellen Temperaturen zwischen 0 und minus 2,5 Grad Celsius ab 2100 signifikant zu tauen beginnen. Das würde fast die Hälfte des gegenwärtigen Permafrostgebiets betreffen.

Die physische Entwicklung des Permafrosts zu prognostizieren, gilt derzeit allerdings noch als äußerst komplexe Aufgabe. Viele Oberflächeneigenschaften ändern sich gleichzeitig, zum Beispiel die Schneedecke und die Vegetation, und dadurch kommt es zu teilweise gegenläufigen Effekten; außerdem greifen auch die Menschen in die Landschaft ein. Vorhersagen sind darum mit großen Unsicherheiten behaftet.



Bildbeschreibung:

Diese polygonalen Seen befinden sich auf der Insel Samoillow mitten im Lenadelta. Das Wasser wird in den Polygonen gestaut wie in einer Badewanne. Darunter ist Permafrost. Die Polygone sind 10 bis 15 m breit. Es handelt sich dabei um biologische "Hotspots" der Tundra. Das bedeutet, dass in den Seen sehr viel organischer Kohlenstoff umgesetzt wird, der als Methan oder Kohlendioxid in die Luft entweichen kann.

Die Erwärmung und schließlich das Tauen des Permafrosts können sowohl Prozesse auslösen, die seinen Zerfall noch beschleunigen, als auch solche, die ihn bremsen. So bilden sich in Sibirien durch das Tauen des Permafrosts vielerorts Seen, und Erosionsprozesse nagen an der Landschaft. Wasser und Wärme dringen rascher in den Boden ein, wodurch der Permafrost beschleunigt tauen kann. Andererseits wird das Schmelzwasser mancherorts durch Erosionsrinnen schneller abgeführt.

Stark kompliziert werden die Prozesse, die den Permafrost verändern, durch den gleichzeitigen Wandel der Vegetation aufgrund der Klimaerwärmung. Die Ausbreitung von Büschen nach Norden hat in den verschiedenen Jahreszeiten entgegengesetzte Wirkungen auf den Permafrost. Im Winter fördern Büsche die Anhäufung dickerer Schneedecken, deren starke Isolationswirkung die winterliche Abkühlung der Böden verringert. Im Sommer jedoch schatten Büsche die Bodenoberfläche stärker ab als flachwüchsiger Tundrapflanzen und haben somit eine kühlende Wirkung, die den Permafrost stabilisiert. Man sieht: Diese Vorgänge sind kleinteilig und hochdynamisch. Sie zu simulieren, stellt für die Forschung eine große Herausforderung dar.

Permafrost in der Vergangenheit und in der Zukunft

Ein Teil des heutigen Permafrosts ist sehr anfällig für das Abtauen, weil er nicht zusammenhängend und unregelmäßig ausgebildet vorliegt und Temperaturen nahe 0 Grad Celsius aufweist. Er hat sich während der Kleinen Eiszeit (1650-1850) gebildet. Damals dehnte sich der Permafrost kurzzeitig aus. Seitdem ist die Fläche des Permafrosts durch die Erwärmung wieder auf den Wert vor der historischen Kälteperiode geschrumpft.

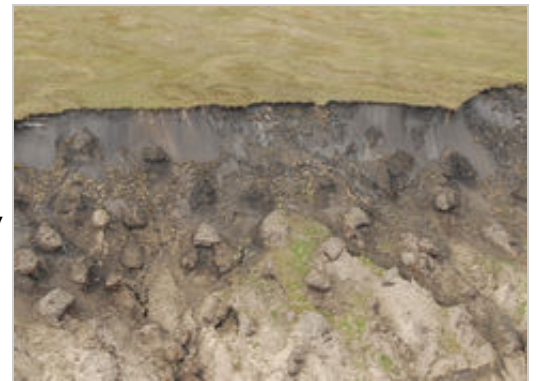
Es ist zu erwarten, dass die Verbreitung und Mächtigkeit des Permafrosts in Zukunft noch kleiner wird. Bis zum Jahr 2100 droht die Ausdehnung sogar unter das Minimalniveau vor 5000 bis 9000 Jahren zurückzugehen, als das Temperaturmaximum des Holozäns herrschte.

Permafrost und der Kohlenstoff

Man schätzt, dass im Permafrost der Landflächen 1672 Gigatonnen organischen Kohlenstoff gespeichert sind. Das ist mehr als doppelt so viel Kohlenstoff, wie die gesamte Vegetation der Erde enthält. Selbst wenn nur ein kleiner Teil dieses Vorrats freigesetzt würde, stiege der atmosphärische Kohlenstoffgehalt - in gebundener Form, das heißt als Methan oder Kohlendioxid - signifikant an. Dabei ist der Permafrost, der sich im Meeresboden arktischer Schelfgebiete befindet, noch gar nicht berücksichtigt. Er bildete sich in der letzten Eiszeit, als der Meeresspiegel zig Meter niedriger lag und die entsprechenden Flächen zur Landmasse gehörten. Wie viel Kohlenstoff aus diesem submarinen Permafrost freigesetzt werden könnte, wenn die Erwärmung anhält, ist noch kaum bekannt.

Fazit und Ausblick

Wie schnell die ausgedehnten Permafrostgebiete durch die Erwärmung auftauen, lässt sich schwer sagen. Das liegt an den vielen Wechselwirkungen des Permafrosts mit seiner Umgebung - etwa durch hydrologische Veränderungen oder mittels der Vegetation. Eine Weile lang könnte der Permafrost den Temperaturanstieg der Atmosphäre regional dämpfen. Dieses Kühlpotenzial ist vor allem beim eisreichen Permafrost sehr groß. Dauert die Erwärmung jedoch an, dann erschöpft sich diese Pufferwirkung irgendwann. Beginnt das Bodenmaterial zu tauen, kann es zu einer positiven Rückkopplung im Klima kommen. Schmelzen tiefe Permafrostschichten, dann wird relativ frische, "tiefgekühlte" organische Bodensubstanz für den Abbau durch Mikroorganismen verfügbar. Dieser Abbau führt letztendlich zur Freisetzung der Treibhausgase Kohlendioxid und Methan. Das

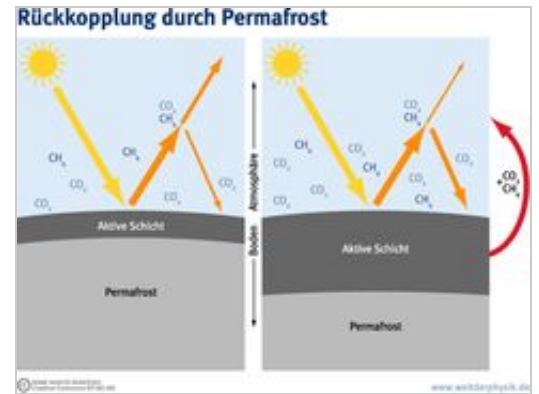


Bildbeschreibung:

Im Delta des sibirischen Flusses Lena sind sehr eisreiche Permafrostsedimente zu finden (dunkelgrau, direkt unter der Oberfläche). Sie stammen aus dem Spätpleistozän. Das ist die Zeit vor 10000 bis 50000 Jahren.

würde die Erwärmung der Atmosphäre verstärken.

Wo der Schwellenwert des Permafrosts liegt, ist bisher nicht bekannt. Die komplizierten Wechselwirkungen zwischen den Klimabedingungen und dem Permafrost müssen erst besser verstanden werden. Dieses Ziel lässt sich nur durch umfangreiche messende und modellierende Forschung erreichen.



Bildbeschreibung:

Durch die Erwärmung (von links nach rechts) wächst in Permafrostgebieten die aktive Schicht. Das ist die Bodenschicht, die im Sommer auftaut und biologisch aktiv ist. Wird sie größer, dann gelangt mehr Methan und Kohlendioxid in die Atmosphäre. Das verstärkt dann den Treibhauseffekt und die Erwärmung.

DOKUMENTINFO

Quelle: Welt der Physik

erstellt: 17.06.2010

Autor: Julia Boike und Lars Kutzbach

Redaktion: Sven Titz

Lizenz: CC 2.0 by-nc-nd

Die Autoren

Die Hydrologin Julia Boike arbeitet am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Potsdam; der Biologe Lars Kutzbach forscht auf dem KlimaCampus der Universität Hamburg.