

Permafrost – Pandoras Gefrierschrank?

Von globaler Erwärmung, einem Teufelskreis und einer Zeitbombe

Die Arktis wird oft als Eiswüste betrachtet. Doch sie ist die Klimaanlage der Erde. Denn Eis und Schnee reflektieren Sonnenstrahlen. Und Permafrost – mindestens zwei Jahre infolge gefrorener Boden – speichert Kohlenstoff in Form von fossilen Tier- und Pflanzenresten. Taut der Permafrost, wird dieser Kohlenstoff als Treibhausgas in die Atmosphäre freigesetzt. Dies führt zu weiterer Erwärmung und weiterem Tauen – ein Teufelskreis. Um dessen Ausmaß zu erforschen, habe ich Menge und Qualität des Kohlenstoffs im Permafrost untersucht. Ich fand zweimal so viel Kohlenstoff wie in allen Pflanzen der gesamten Erde. Daraus konnte ich ermitteln, dass das Tauen von Permafrost bis zum Jahr 2300 einen globalen Temperaturanstieg von 0,4°C bewirken könnte. Bezogen auf die vom Weltklimarat beschlossene maximale Gesamterwärmung von 1,5°C wäre dies bereits mehr als ein Viertel. Dies zeigt, dass es höchste Zeit ist, den Faktor Permafrost in den Fokus von Klimaforschung und Klimapolitik mit einzubeziehen.

Permafrost – Regionaler Fokus, globale Bedeutung: Eine Einleitung

Permafrost nimmt als eines der prägenden Merkmale der arktischen Landgebiete rund ein Viertel der Landfläche der Nordhalbkugel ein. Das Gebiet der BRD würde mehr als 64 Mal hineinpassen. Wir in Deutschland wohnen sehr weit entfernt von den Hauptverbreitungsgebieten des Permafrosts in Sibirien und der nordamerikanischen Arktis. Gleichwohl gewann neben den Diskussionen über die Zukunft der dort lebenden Bevölkerungsgruppen, dem Schicksal von Eisbären oder der neuen Verfügbarkeit von Bodenschätzen und Schifffahrtsrouten im hohen Norden auch das Auftauen des ewigen Frostes bei uns an öffentlichem Interesse. Ist es die Faszination Arktis, die Sehnsucht weckt nach Abenteuern wie die des Baron von Toll und Alfred Wegener, dem Namensgeber des Instituts an dem ich forsche? Oder können diese abgelegenen Gebiete unser Leben hier in Europa tatsächlich beeinflussen? Im Folgenden möchte ich veranschaulichen, warum ich in Alaska bei minus 20°C zelten war und im sibirischen Sommer bei plus 20°C im Mückenschwarm stand – und warum das Schicksal des arktischen Permafrosts uns alle etwas angeht.

Permafrost als Quelle von Treibhausgasen

Wie kommen Treibhausgase in den Permafrost? Tiere und Pflanzen bestehen zum Großteil aus Kohlenstoff. Wenn diese sterben werden die Überreste im Permafrost eingefroren und so konserviert. Dieses Einfrieren geht zum Teil so schnell, dass manche Mammuts, Wollnashörner und andere eiszeitliche Säugetiere im Permafrost eingefroren samt Haut und Haaren die Jahrtausende überdauern. Mit den Tieren und Pflanzen werden auch Mikroorganismen eingefroren, die allerdings nach dem Tauen wieder aktiv werden. Diese wandeln dann den organischen Kohlenstoff, der ihnen als Nahrung dient, in Treibhausgase um. So gelangt der Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre, was dazu führt, dass noch mehr Permafrost taut, der weiteren Kohlenstoff freisetzt und so weiter und so fort. Aufgrund dieses Teufelskreises wird Permafrost gelegentlich als „Pandoras Gefrierschrank“, „schlafender Riese“ oder gar als „Zeitbombe“ bezeichnet. Doch sind diese pathetischen und dramatischen Bilder wirklich gerechtfertigt? Mit meiner Dissertation wollte ich herausfinden, wie relevant der Beitrag des Permafrosts zum Klimawandel tatsächlich ist. Die Schwerpunktfragen meiner Doktorarbeit waren daher: (1) Wie viel Kohlenstoff ist im Permafrost gespeichert? und (2) Wie ist die Qualität dieses Kohlenstoffs? Dies wiederum ist relevant für die Frage: Wie viel des gespeicherten Kohlenstoffs kann infolge mikrobieller Zersetzung als Treibhausgase wieder freigesetzt werden?

Um diese Fragen zu beantworten habe ich im Rahmen von zwei Expeditionen nach Sibirien und Alaska Permafrostproben genommen und diese mit modernsten Methoden der Sedimentologie, der molekularen Biogeochemie, der Fernerkundung sowie der statistischen Analyse und mit computergestützter Modellierung untersucht. Um meine Forschung in den gesamtarktischen Kontext zu stellen, habe ich zusammen mit Kollegen eine Kohlenstoff-Datenbank des gesamten arktischen Permafrosts zusammengestellt. Die Datenbank ermöglichte es mir die Gesamtmenge des Kohlenstoffs in Permafrost abzuschätzen.

Quantität: Wie viel Kohlenstoff ist im Permafrost gespeichert?

Um abzuschätzen welche Menge an Treibhausgasen aus Permafrost freigesetzt werden und damit zur Erderwärmung beitragen können, musste ich zunächst einmal wissen, wie viel Kohlenstoff als Ausgangsmaterial im Permafrost enthalten ist. Hierbei entdeckte ich, dass sowohl in oberflächlichem Permafrost (null bis drei Meter tief) als auch in tieferliegendem Permafrost (bis 50 Meter tief) sehr viel organischer Kohlenstoff enthalten ist. Dazu ein Beispiel: In einer Region mit dem Namen Beringia – einem auch während der letzten Eiszeit weitestgehend gletscherfreiem Gebiet von Sibirien bis Kanada – sind im tiefen Permafrost mehr als 200 Gigatonnen Kohlenstoff im ewigen Eis eingeschlossen. Als Größenvergleich: „Nur“ dieser eisreiche, tiefgründige Permafrost enthält so viel Kohlenstoff wie derzeit in allen tropischen Regenwäldern der Erde zusammen gespeichert ist. Darüber hinaus habe ich mit Kollegen berechnet, dass in der gesamten Permafrostregion weit mehr Kohlenstoffreserven vorhanden sind. Nämlich insgesamt zwischen 1100 und 1500 Gigatonnen.

Qualität: Der molekulare Fingerabdruck als Gütesiegel

Relevant ist aber nicht allein, wie viel Kohlenstoff im Permafrost enthalten ist, sondern auch, von welcher Qualität dieser ist. Denn die Qualität entscheidet darüber, wie gut der Kohlenstoff von den im tauenden Permafrost erwachenden Mikroorganismen verwertet werden kann. Und dies wiederum ist relevant dafür, wie viel Kohlenstoff als Treibhausgase in die Atmosphäre freigesetzt wird. Um die Qualität des Kohlenstoffs zu messen, schaute ich mir bestimmte Teile des Kohlenstoffs an, die organischen Lipide. Denn diese sind – bei guter Lagerung – stabil und bleiben daher auch im Permafrost über Jahrtausende erhalten. Man nennt diese organischen Lipide daher auch molekulare Fossilien oder molekularer Fingerabdruck. Dabei entdeckte ich, dass die Kohlenstoffqualität auch mit zunehmender Tiefe (und damit mit zunehmendem Alter) konstant bleibt. Das Alter des Permafrosts sagt also nicht unbedingt etwas über dessen Kohlenstoffqualität aus. Es findet sich vielmehr in jeder Tiefe Permafrost in verschiedenen Qualitäten, der für die Mikroorganismen unterschiedlich gut verwertbar ist. Einfach ausgedrückt: Nach dem Auftauen schmeckt es den Mikroorganismen die „Tiefkühlkost aus Permafrost“ gleich gut, egal ob die Tiefkühlkost 20 oder 20000 Jahre gefroren war.

Was passiert nun, wenn man diesen Gefrierschrank öffnet? Zusammen mit Forscherkollegen veröffentlichte ich ein Modell, das erstmals die Freisetzung von tiefliegendem Kohlenstoff durch sogenannte Thermokarstprozesse mit einbezieht. Diese Thermokarstprozesse funktionieren wie folgt: Wenn sich an einer Stelle Tauwasser zu einem See sammelt, frisst sich dieser immer tiefer und tiefer – bis zu 40 Meter tief – in die Oberfläche. Auf Grundlage dieses Modells konnte ich prognostizieren, dass die Permafrostregion bis zum Jahr 2100 ~140 Gigatonnen Kohlenstoff und bis 2300 ~310 Gigatonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre freisetzen könnte. Dies wiederum könnte zu einer Erwärmung der Erde von bis zu ~0,1°C bis 2100 und bis zu ~0,4°C bis 2300 führen. Für den ein oder anderen mag sich das nach nicht viel anhören. Auf der Klimakonferenz der Vereinten Nationen in Paris im letzten Dezember wurde vereinbart, dass die künftige globale Erwärmung nicht mehr als 1,5°C erreichen soll. Und dabei ist der Beitrag aus Permafrost, der allein schon mehr als ein Viertel davon ausmachen könnte, noch nicht einmal mit berücksichtigt worden. Die Notwendigkeit, den Faktor Permafrost künftig in die Klimaforschung und Politik mit einzubeziehen, liegt damit auf der Hand.

Ein Fazit

Um zu dem vorhergehend dargestellten Bild zurück zu kehren: Eine „Zeitbombe“ konnte ich im Permafrost nicht finden. Denn der Kohlenstoffvorrat wird nicht explosionsartig freigesetzt werden, sondern kontinuierlich. Dass es sich aber um einen riesigen Kohlenstoffvorrat handelt, konnte ich mit meiner Arbeit zeigen. Diesen „schlafenden Riesen“ zu wecken ist für unsere auf 1,5 °C begrenzten Klimaschutzziele ein herber Rückschlag. Bleibt nur noch die Beantwortung der Titelfrage, nach Pandoras Gefrierschrank: Der Kohlenstoffvorrat des Permafrosts wird klimarelevant, wenn dieser durch Tauen „geöffnet“ wird. Bis hierhin stimmt das Bild. Wenn erst einmal geöffnet, wird aber nicht alles sofort freigesetzt, und wir haben noch Zeit zu reagieren. Pandoras Büchse war nach Öffnung nicht mehr zu beeinflussen. Der Teufelskreis durch tauenden Permafrost vermutlich schon, indem wir Menschen unsere Treibhausgasemissionen reduzieren.