

Earth System Knowledge Platform - die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft, www.eskp.de

Klimawandel · Permafrost

PERMAFROST ERWÄRMT SICH MIT ALARMIERENDER GESCHWINDIGKEIT

Boris K. Biskaborn¹, Stuart Vyse¹

¹ Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI),
Geowissenschaften | Polar-terrestrische Umweltsysteme

Zuerst publiziert: 07. März 2019, 6. Jahrgang

Digitaler Objektbezeichner (DOI): <https://doi.org/10.2312/eskp.031>

Teaser

Weltweit stiegen die Temperaturen im Permafrost um durchschnittlich 0,30 °C zwischen 2007 bis 2016, dies vor allem im Norden Russlands. Die Erwärmung des Permafrosts hat drastische Folgen für das globale Klima, aber auch für die Infrastruktur in der Arktis und das Auskommen der vier Millionen dort lebenden Menschen.

Keywords

Permafrost, Erwärmung, Klimawandel, Arktis, Russland, Infrastruktur, Temperatur, Eis

17 Prozent der Landfläche der Erde ist dauerhaft gefroren, im Boden von Permafrost durchzogen. Permafrostgebiete machen sogar ein Viertel der Landfläche in der nördlichen Hemisphäre aus. Zu diesen Gebieten gehören große Teile Russlands, Kanadas, Alaskas, und Hochgebirge wie die europäischen Alpen oder Tibet. Insbesondere die Menschen, die in der Arktis beheimatet sind - derzeit sind es geschätzt vier Millionen - haben gute Wege gefunden, um mit dem Permafrost zu leben, die Eigenschaften des Bodens für sich zu nutzen. Indigene Nomadenstämme beispielsweise nutzen seit jeher die dauerhaft gefrorenen Bodenschichten, um Speisen und Getränke langfristig zu konservieren. Infrastruktur wird häufig auf und im Permafrost geplant und errichtet, da dessen Eigenschaften Vorteile mit sich bringen. So finden sich Straßen, Öl-, Wasser- und Abwasserleitungen, Flughäfen, aber auch riesige Wohn- und Industriegebiete auf Permafrostböden. Das Auftauen der selbigen würde zu irreversiblen Schäden an dieser Infrastruktur und den darauf erbauten Gebäuden und Anlagen führen.

Abgesehen von diesen lokalen und sicherlich kostspieligen Auswirkungen könnte das Auftauen des Permafrosts das globale Klima verheerend mitbeeinflussen, zumal Permafrost äußerst schnell auf Änderungen der Lufttemperatur reagiert. Selbst solche Anstiege der Lufttemperatur, die die meisten Menschen als überaus geringfügig noch dazu über einen langen Zeitraum wahrnehmen, können schließlich zum Auftauen und zum Verlust von Permafrost führen. Die möglichen Auswirkungen auf das globale Klimasystem sind deshalb so dramatisch, weil es einen sogenannten Permafrost-Kohlenstoff-Rückkopplungseffekt gibt.

Freisetzung von Treibhausgasen

Das erklärt sich so: Permafrostböden sind mit geschätzt 1.400 Gigatonnen gefrorenem Kohlenstoff eine immense Quelle für organischen Kohlenstoff. Die großen Mengen an Kohlenstoff im Boden rühren von Tier- und Pflanzenresten. Was geschieht, wenn der gefrorene Kohlenstoff beginnt, sich zu erwärmen? Wenn Permafrostböden Temperaturen über 0 °C erreichen und zu tauen beginnen, fangen Bakterien an, das organische Material aus den Pflanzen- und Tierresten zu zersetzen. Dieser natürliche Abbau geht mit der Freisetzung von klimaschädlichen Kohlendioxid- und Methangasen einher. Sobald diese in die Atmosphäre gelangen, verstärken sie dort den Treibhauseffekt des gesamten globalen Klimasystems drastisch. Einige Studien schätzen, dass allein dieser weitreichende Zersetzungsprozess im Permafrost zu einem Temperaturanstieg von 0,13 °C bis 0,27 °C um das Jahr 2100 führen könnte (Schuur et al., 2015).

Um die Erwärmung des Permafrosts samt deren globaler Auswirkung besser zu verstehen, haben wir mit einem internationalen Team von Wissenschaftler*innen eine auf größere Zeitperioden angelegte Forschung im Permafrost weltweit durchgeführt. Unsere Studie stützte sich auf Permafrost-Temperaturen, die in den Bohrlöchern des Globalen Terrestrischen Netzwerks für Permafrost (GTN-P) gemessen wurden (Biskaborn et al., 2019).

Kontinuierlich wurden knapp ein Jahrzehnt lang (2007-2016) die Temperaturen in 154 auf der ganzen Welt im Permafrost verteilten Bohrlöchern abgelesen. Damit Jahreszeiten keinen Einfluss auf die Messungen haben, lag die Messstelle im jedem Bohrloch in jeweils 10 Metern Tiefe unter der Bodenoberfläche. Bohrlöcher sind ein wichtiger Schlüssel zur Erfassung von Fluktuationen bei Permafrost-Temperaturen. Mit Hilfe der vertikalen Bohrlöcher kann eine Vielzahl von Erdprozessen untersucht werden. Zum Beispiel ist es möglich Bohrlöcher so zu stabilisieren, dass sie sich zur Messung der Permafrost-Temperatur aber auch für andere Beobachtungen der Gesteins- und Sedimentphysik eignen.

Unsere Erkenntnisse sind alarmierend, denn es erwies sich, dass sich Permafrostböden, die mindestens eine Zwei-Jahresperiode lang bei oder unter null Grad liegen, weltweit rasch erwärmen. Von allen untersuchten und in die Studie einbezogenen Bohrlöchern verzeichneten 71 eine drastische Erwärmung. Bei fünf Bohrlöchern zeigte sich bereits ein Auftauen des Permafrosts auf Temperaturen über 0 °C. Zwölf Bohrlöcher kühlten sich hingegen ab, während der Rest unverändert blieb. Zwei Bohrlöcher an Standorten in Nordsibirien (Samoylov Island und Marre Sale) zeigten einen außergewöhnlichen Anstieg der Permafrosttemperatur: An beiden Standorten betrug der Temperaturanstieg seit 2008 circa 1 °C.



Abb. 1: Typische Permafrostlandschaft in Zentral-Sibirien. Die Permafrost-Erwärmung wird zu dramatischen Veränderungen führen. (Foto: Stuart Vyse)

Gravierendster Temperaturanstieg im Permafrost der Hohen Arktis

Der größte Temperaturanstieg im Permafrost war in Gebieten mit nahezu vollständiger Permafrostbedeckung (90-100%) zu beobachten, es handelt sich um die sogenannte „Arctic Continuous Permafrost Zone“. Wir fanden heraus, dass die Temperaturen dort um durchschnittlich 0,39 °C zwischen 2007 und 2016 anstiegen. Im Vergleich dazu litt die südlicher gelegene „diskontinuierliche Permafrostzone“, in der Permafrostböden weniger als 90% der Landfläche ausmachen, unter einem geringeren, jedoch auch nicht unerheblichen Anstieg der Temperatur um 0,20 °C.

Warum jedoch unterscheidet sich die Erwärmung in den beiden Zonen? Dafür sind mehrere Effekte verantwortlich.

Das wichtigste Signal war der Vergleich der Lufttemperatur- und Schneedickendaten mit den im Permafrost beobachteten Temperaturänderungen. Die Erhöhung der Lufttemperatur könnte die starke Erwärmung des nördlichen Dauerpermafrosts erklären. In der südlicheren Zone des diskontinuierlichen Permafrosts können sowohl Schneehöhen als auch die Verschiebung des Schneebeginns in frühere Monate des Jahres eine große Rolle bei der Steuerung der Permafrosttemperatur spielen.

Der sogenannte „latente Wärmeeffekt“ trägt jedoch auch dazu bei, dass sich der kalte Permafrost schneller erwärmt als der bereits wärmere Permafrost. Wenn die Permafrosttemperatur gegen Null geht und Teile des Eises schmelzen, wird Energie zuerst durch die Phasenänderung von Eis zu Wasser aufgebraucht. Dieser Vorgang verursacht dann

unterm Strich einen Null-Effekt, der Boden taut nicht weiter - ein Effekt, der in den Daten und Zeitreihen der unterschiedlichen Jahreszeiten am besten sichtbar ist. Studien mit Hilfe von Satellitenbildern, die die weitverbreiteten Thermokarst-Seen der arktischen Permafrost-Gebiete unter die Lupe nehmen, haben zudem gezeigt, dass die Ausbreitung der Wasserkörper ebenfalls schnell voranschreitet. Dies gilt als sicheres Zeichen für ein zunehmendes Auftauen von Permafrost in großem Maßstab. Thermokarst-Seen sind Seen, die durch tauenden Permafrost entstanden sind.

Permafrost erwärmte sich auch in den Bergregionen

Das Phänomen der Erwärmung des Permafrostes beschränkt sich jedoch keineswegs nur auf die Arktis. Auch in den Hochgebirgsregionen Europas, Nord- und Zentralasiens erwärmte sich der Permafrost um $0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ein Bohrloch in den Aldan-Bergen von Jakutien (Sibirien) stach besonders hervor: Hier sah man einen außerordentlichen Temperaturanstieg von $1,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, und zwar in einer Tiefe von 25 Metern. Hochgebirge mit Permafrost, wie man sie in Asien oder Europa findet, spielen aber eine wichtige Rolle bei der Wasserversorgung einiger der größten Volkswirtschaften der Welt. Zum Beispiel ist China stark von Flüssen abhängig, die den Großteil ihres Wassers aus Permafrostregionen in Tibet beziehen. Es ist aber schwer, genau vorherzusehen, wie die Temperatur und das Auftauen von Permafrost in Zukunft den Wasserhaushalt und damit die Wasserversorgung dieser Länder beeinflussen werden.

Subsidenz und Schaden für Gemeinden

Die direkten Auswirkungen des Auftauens des Permafrostes auf die rund vier Millionen Menschen in der Arktis dürfen nicht unterschätzt werden. Über weite Teile Russlands führt die Zunahme der jeweils im Sommer auftauenden Bodenschichten bereits zu erheblichen Absenkungen und damit wirtschaftlichen Schäden.

An einigen Gebäuden in Industriestädten Sibiriens, ist bereits zu sehen, wie die sich ausweitenden

Feuchtgebiete nach und nach die Einrichtungen schädigen. Zwei russische Studenten, die an der Expedition des Alfred-Wegener-Instituts „Chukotka 2018“ teilgenommen haben, betonten uns gegenüber die Notwendigkeit eines besseren Verständnisses der Erwärmung von Permafrost: „Unsere Städte und Dörfer leben mit der ständig wachsenden Gefahr,



Abb. 2: Die schlechte Infrastruktur in Regionen wie Jakutien wird durch das Auftauen von Permafrost noch stärker leiden. (Foto: Stuart Vyse)

jederzeit in den Boden sacken zu können. Die Zukunft unserer Gemeinden sieht düster aus, wenn wir uns diesem Problem nicht widmen.“

Wenn sich Permafrost weiter erwärmt und auftaut, werden wohl viele Gemeinden in der Arktis bedroht sein und Menschen werden möglicherweise gezwungen sein auszuwandern, wenn Gebiete unbewohnbar werden. Dies wiederum setzt andere Regionen unter Druck, welche aber unter Umständen bereits die Auswirkungen des Klimawandels spüren: die globale Erwärmung, die auch durch die erhöhte Freisetzung von Kohlenstoff aus den Permafrostböden mitbedingt sein wird.

Referenzen

Biskaborn, B. K., Smith, S. L., Noetzli, J., Matthes, H., Vieira, G., Streletskiy, D. A., ... Lantuit, H. (2019). Permafrost is warming at a global scale. *Nature Communications*, 10:264. doi:10.1038/s41467-018-08240-4

Schuur, E. A. G., McGuire, A. D., Schädel, C., Grosse, G., Harden, J. W., Hayes, D. J., ... Vonk, J. E. (2015). Climate change and the permafrost carbon feedback. *Nature*, 520, 171-179. doi:10.1038/nature14338

Zitiervorschlag

Biskaborn, B. & Vyse, S. (2019, 7. März). Permafrost erwärmt sich mit alarmierender Geschwindigkeit. *Earth System Knowledge Platform* [www.eskp.de], 6. doi:10.2312/eskp.031



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen: eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

eskp.de | Earth System Knowledge Platform - die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft