

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

PERMAFROST

Die große Unbekannte im Klimawandel

Klimawandel
Tauende Tundra

Megafeuer
Der andere Teufelskreis

Tiermumien
Dino, Mammut und Co



Antje Findekle
E-Mail: findekle@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
die Permafrostgebiete mit ihren speziellen Umweltbedingungen gehören zu den großen Unbekannten in den Zukunftsprognosen: Was passiert, wenn der Klimawandel die dauerhaft gefrorenen Böden doch zum Tauen bringt – in der Arktis oder den Hochgebirgen? Wie viel Methan wird aus dem jetzt noch konservierten, aber nicht zersetzten organischen Material entweichen? Welche Überreste von Mammut bis Moos werden Forscher dort finden? Und welche Gefahr stellen »wiedererweckte« Viren oder Parasiten dar, die die kalten Jahrtausende im Eis überdauert haben?

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 02.09.2019

Folgen Sie uns:



CHEFREDAKTEURE: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)
REDAKTIONSLEITER: Dr. Daniel Lingenhöhl
ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove
LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL: Antje Findekle, Dr. Michaela Maya-Mrschtik
VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE229038528
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle
MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.), Michaela Knappe (Digital)
LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an service@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE
04

KLIMAWANDEL
Tauende Tundra



ELIZABETH / STOCK.ADOBE.COM

SEITE
32

GEOLOGIE
Wenn die Erde nachgibt



WANDERVOGEL / BERGSTURZ VON RANDÅ / CC BY-SA 3.0 (CC BY-SA)

TIERMUMIEN
Dino, Mammut & Co

SEITE
39



AUNTS PRAY / STOCK.ADOBE.COM

NATURSCHUTZ
Hoher Einsatz im hohen Norden

SEITE
53



PUM.EVA / GETTY IMAGES / ISTOCK

- 04 KLIMAWANDEL
Tauende Tundra
- 12 ARKTIS
Auf dünnem Eis
- 20 SATELLITENMESSUNG
Wie viel Methan setzt die Arktis frei?
- 22 MEGA-FEUER AM POLARKREIS
Der andere arktische Klima-Teufelskreis
- 26 BUSCHFEUER
Warum Grönlands Tundra brennt
- 28 DÜRRE
Arktis steht weiter in Flammen
- 30 GEOMORPHOLOGIE
In Sibirien explodiert die Erde
- 32 GEOLOGIE
Wenn die Erde nachgibt
- 39 TIERMUMIEN
Dino, Mammut & Co
- 51 ÜBERLEBENDE AUS DER EISZEIT
Auferstehung nach zehntausenden Jahren
- 53 NATURSCHUTZ
Hoher Einsatz im hohen Norden

KLIMAWANDEL

TAUENDE TUNDRA

von Edward A. G. Ted Schuur

Die vielerorts steigenden Temperaturen erwärmen auch riesige Permafrostflächen in den Polarregionen. Vermutlich wird das die globale Erwärmung weiter anfachen. Nur wie stark?

Plötzlich entgleitet mir der 20 Kilogramm schwere Block aus Eis und Schnee. Trotz der Gummihandschuhe rutscht er aus meinen Händen und fällt krachend in den Graben zurück, den ich gerade aushebe. Ich richte mich auf, hole Atem und strecke mich. Mein Rücken schmerzt, obwohl ich extra einen Gewichthebergürtel angelegt habe. Es ist ein klarer, kalter Tag in der Tundra Zentralalaskas. Zusammen mit fünf Kollegen schaufele ich seit mehr als einer Woche verkrusteten Schnee. Tonnen von Schnee, die sich an einem von sechs Fangzäunen gesammelt haben, hier, an einem leicht geneigten Hang unweit des Denali-Nationalparks.

Die harte Arbeit ist Teil eines Experiments, mit dem wir die Auswirkungen der globalen Erwärmung in dieser abgelegenen Gegend simulieren wollen. Die acht

Edward A.G. »Ted« Schuur ist Professor für Ökosystem-Ökologie an der Northern Arizona University in Flagstaff. Er betreibt seit fast zwei Jahrzehnten Feldforschung in der Arktis und ist leitender Wissenschaftler des Permafrost Carbon Network, einer internationalen Forschergruppe, die neue Erkenntnisse über den Kohlenstoff im Permafrost und dessen Einfluss auf das Klima zusammenführt.

Meter langen und eineinhalb Meter hohen Zäune errichten wir jeden Herbst an dieser Stelle. Der Schnee, der sich an ihnen sammelt, schützt den Permafrostboden vor der eisigen Winterluft – er wirkt gewissermaßen wie eine Decke. Dadurch bleibt die Oberfläche des gewöhnlich ganzjährig gefrorenen Bodens wärmer, als sie normalerweise wäre. Im Frühjahr entfernen wir den überschüssigen Schnee, damit der Frühling unsere Versuchsflächen zur gleichen Zeit trifft wie die umliegende Tundra.

Indem wir den gefrorenen Boden im Winter wärmer halten, taut er im Sommer früher und bis in tiefere Schichten auf. Das soll Prognosen zufolge auch dann passieren, wenn die Temperaturen überall in der Arktis und in den Waldgebieten südlich davon steigen. Die Erwärmung schreitet hier momentan doppelt so schnell voran wie im weltweiten Durchschnitt. Aber was macht das mit dem Permafrostboden? So viel wissen wir: Er besteht aus Gestein, gefrorenem Erdreich und Eis. Daher schmilzt er bei Erwärmung nicht, sondern taut. Wie ein Stück Hackfleisch, das aus dem Gefrierfach kommt, wird er weich, aber nicht flüssig. Dabei erwachen Mikroorganismen darin aus ihrem Kälteschlaf. Sie zersetzen die

AUF EINEN BLICK

Zeitbombe Permafrost

- 1 Permafrost – ganzjährig gefrorener Boden – taut in weiten Teilen der Arktis auf. Mikroben zersetzen dann Überreste von Pflanzen und Tieren, wobei sie Kohlendioxid und Methan in die Atmosphäre freisetzen.
- 2 Die ausgedehnte Permafrostregion der Nordhalbkugel speichert knapp 1,5 Billionen Tonnen organischen Kohlenstoff, etwa das Doppelte der in der Erdatmosphäre enthaltenen Menge.
- 3 5 bis 15 Prozent dieses Reservoirs könnten in diesem Jahrhundert entweichen und den Klimawandel beschleunigen. Der beste Weg, das zu verhindern, ist, die globale Erwärmung insgesamt zu drosseln.

Überreste von Pflanzen und Tieren, die sich im gefrorenen Boden über Jahrtausende hinweg angesammelt haben und heute vor allem aus Kohlenstoff bestehen. Die Mikroben verwandeln dieses Material in die Treibhausgase Kohlendioxid oder Methan, die in die Luft entweichen.

Der Permafrostgürtel auf der Nordhalbkugel enthält solch gewaltige Mengen an organischem Material, dass schon die Freisetzung eines Teils davon den Klimawandel stark anfachen würde. Der durchgängig gefrorene Boden erstreckt sich über 16,7 Millionen Quadratkilometer – eine Fläche fast so groß wie Südamerika. Zusammen mit anderen Forschungsvorhaben soll unser Projekt in Alaska ergründen, wie groß die Erwärmung durch Permafrost in den kommenden Jahrzehnten tatsächlich sein wird.

BOHRKERN

Wissenschaftler haben einen Bohrkern aus dem Permafrostboden am Forschungsstandort Eight Mile Lake bei Healy, Alaska, gezogen. Farbe und Textur der Probe deuten auf einen hohen Gehalt an organischem Material hin. Mikroorganismen zersetzen es, wodurch Treibhausgase in die Luft gelangen.



Es ist allerdings alles andere als einfach, diese Frage mit genauen Zahlen zu beantworten. Zwar können Satelliten Veränderungen der Eisbedeckung aufzeichnen, wie sie etwa in Grönland stattfinden. Doch ein flächendeckendes Fernerkundungssystem für Permafrostregionen gibt es nicht. Wissenschaftler werten daher die Daten von Bodensensoren aus, die sie an bestimmten Stellen installiert haben. Lange gab es zu wenige dieser Messpunkte, weshalb wir laufend zusätzliche Sensoren installiert haben. Zusammen bilden sie das Global Terrestrial Network for Permafrost. Es umfasst mittlerweile mehr als 1000 mit Instrumenten ausgekleidete Bohrlöcher. In ihnen zeichnen Messfühler die Temperaturen auf, sowohl in den oberen als auch in tieferen Bodenschichten.

Wie die Messungen des Sensornetzes zeigen, hat sich der Permafrostboden innerhalb der vergangenen Jahrzehnte stetig erwärmt, wobei in den letzten Jahren an vielen Standorten neue Wärmerekorde zu verzeichnen waren. Die dramatischsten Anstiege gab es dort, wo die Bodentemperaturen in der Vergangenheit sehr niedrig lagen, bei minus zehn bis minus fünf Grad Celsius. Wir haben aber auch dort höhere

Temperaturen registriert, wo der Boden mit minus zwei bis null Grad Celsius näher am Gefrierpunkt liegt und daher bereits eine Veränderung von einem Grad erhebliche Folgen haben kann. An einigen dieser Stellen taut außerdem im Frühling eine immer dickere Schicht an der Oberfläche auf.

50 Kilogramm Kohlenstoff in jedem Kubikmeter

Wenn wir alle weltweit aufgezeichneten Daten kombinieren, gewinnen wir ein gutes Verständnis dafür, wie sich die Bodentemperaturen in der Arktis verändern. Uns interessiert dabei nicht nur, wie viel Permafrost auftauen könnte. Wir wollen auch wissen, wie hoch der Anteil organischer Substanz in den aufweichenden Böden ist. Um diese Frage zu beantworten, hat mein Team im Frühjahr 2016 Löcher in den Untergrund gebohrt und Bodenproben entnommen. Seit Beginn unseres Projekts vor einem Jahrzehnt haben wir das immer wieder getan. Diese und andere Messreihen zeigen, dass der oberste Kubikmeter Boden etwa 50 Kilogramm organischen Kohlenstoff enthält. Das ist die fünffache Menge im Vergleich zu Böden der gleichen Region, die nicht dauerhaft gefroren sind. Und sogar das 100-Fache

dessen, was Sträucher und andere Pflanzen in der Arktis speichern.

Mit organischem Kohlenstoff ist der Kohlenstoff gemeint, der in teilweise zersetzten, gefrorenen Organismen gebunden ist. Diese Präzisierung ist wichtig, da im Gestein so genannter anorganischer Kohlenstoff steckt, der sich bei Temperaturveränderungen aber meistens nicht löst. Insgesamt schätzen Forscher die im Permafrost der Nordhalbkugel gespeicherte Menge von organischem Kohlenstoff auf 1330 bis 1580 Milliarden Tonnen – etwa das Doppelte des atmosphärischen Kohlenstoffgehalts. Allein die obersten drei Meter Boden im Permafrostgürtel enthalten ein Drittel der weltweiten Reserve in dieser obersten Schicht. Dabei nimmt die Zone gerade mal 15 Prozent der globalen Bodenfläche ein.

Wissenschaftler erfassen mittlerweile auch das Inventar organischen Kohlenstoffs an zuvor nie untersuchten Stellen, etwa am Meeresgrund der arktischen Schelfgebiete. Dieser submarine Permafrost löst sich langsam auf, wenn Meerwasser in ihn einsickert. Wir wissen noch nicht genau, wie viel organischer Kohlenstoff dort lagert. Fest steht, dass er ebenfalls in