

DAS GROSSE TAUEN

Ein Bericht von Benjamin Brackel

DER PERMAFROSTBODEN FÄLLT IN VIELEN REGIONEN REGELRECHT ZUSAMMEN. DADURCH KÖNNTE DOPPELT SO VIEL TREIBHAUSGAS FREI WERDEN WIE BISHER PROGNOSTIZIERT.

Was gerade im Norden Russlands passiert, erinnert eher an eine bizarre Fantasiewelt als an die Realität: Dort, wo einst Wälder standen, strömen nun Flüsse und erstrecken sich Seen. Hügel fallen in sich zusammen und Straßen verformen sich. Häuser stürzen ein, umgestürzte Bäume strecken ihre Wurzeln empor, und auf Friedhöfen kippen die Grabsteine um.

Die Landschaft im hohen Norden ist im Wandel begriffen, und das nicht nur in Sibirien, sondern auch in Nordkanada, Alaska und Nordeuropa. Der Grund dafür liegt unter der Erde verborgen: Insgesamt ein Sechstel des Bodens unseres Planeten ist dauerhaft gefroren – ein Relikt aus der letzten Eiszeit. Mancherorts konnte sich der Frost über Jahrtausende in Tiefen von bis zu 1,6 Kilometern arbeiten.

Seit dem Übergang vom Pleistozän zum Holozän vor knapp 15.000 Jahren taut allerdings der Boden auf – lange Zeit noch ganz gemächlich, aber seit den 1990er-Jahren in rasanter Geschwindigkeit. Und das liegt an der Erderwärmung, die der Mensch durch die Verbrennung fossiler Ressourcen antreibt. Dabei erwärmt sich die gesamte Arktis etwa doppelt so schnell wie der Rest des Planeten.

Wo aber der Boden taut, lauern Gefahren. Denn was darin lagert, war in den meisten Fällen nicht dafür gedacht, so schnell wieder an die Oberfläche zu gelangen: So tauten im Sommer 2016 Rentiergräber auf der Jamal-Halbinsel in Nordwest-Sibirien auf, woraufhin in der Region Milzbrand ausbrach. Auch Friedhöfe, auf denen Menschen begraben wurden, die einst an Pest oder Pocken gestorben waren, beunruhigen die Gesundheitsbehörden. Das allein wäre schon alarmierend genug.

Doch der auftauende Permafrost birgt noch eine weitaus größere Gefahr. Wenn der Boden auftaut, werden Mikroben aktiv und beginnen, abgestorbene Pflanzenreste zu zersetzen, die sich dort oft über Jahrtausende abgelagert hatten und bislang vom Eis konserviert wurden. Die Folge: Immer mehr Kohlendioxid und Methan gelangen in die Atmosphäre und kurbeln so den Klimawandel weiter an. Insgesamt sind in den Permafrostböden 1,4 bis 1,6 Billionen Tonnen Kohlenstoff

gespeichert – etwa doppelt so viel, wie sich in der Atmosphäre befindet. Die Frage ist nur: Wie lange noch?

**«DIESER SCHNELLE WANDEL ÜBERTRIFFT ALLES,
WAS WIR ERWARTET HATTEN.»**

PROF. GUIDO GROSSE, GEOWISSENSCHAFTLER AM ALFRED-WEGENER-
INSTITUT, POTSDAM

Eine Vielzahl neuer Studien weist darauf hin, dass die Geschwindigkeit, mit der der Boden auftaut, bislang stark unterschätzt wurde. So hat ein Team internationaler Geologen Anfang 2019 nachgewiesen, dass in manchen Regionen Kanadas schon so viel Permafrost verschwunden ist, wie es bislang erst für das Ende des Jahrhunderts vorhergesagt worden war. «Dieser schnelle Wandel in der Natur übertrifft alles, was wir aufgrund unserer Klimamodelle erwartet hatten», sagt Guido Grosse, Leiter der «Sektion Permafrostforschung» am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung.

Inzwischen setzt ein Umdenken in der Klimaforschung ein: Viel mehr Treibhausgase könnten in die Atmosphäre entweichen als bisher angenommen. Das würde bedeuten, dass wir einer Erwärmung von eineinhalb oder zwei Grad viel näher sind, als wir dachten. Und auch, dass die Regierungen weltweit sich deutlich schneller von Kohle, Öl und Gas verabschieden müssten.

Viele Jahre dominierte die Vorstellung, dass der Permafrostboden in einem langwierigen, kontinuierlichen Prozess auftaut. Klimamodellierer gingen bisher davon aus, dass in den nächsten 300 Jahren etwa 200 Milliarden Tonnen an Kohlendioxid aus den Permafrostböden entweichen werden, sollten wir den Klimawandel weiter antreiben wie bisher. Das wären 15 Prozent aller Klimagase, die im gefrorenen Boden des Nordens gebunden sind.

Guido Grosse hält diese Zahlen allerdings seit Jahren für zu tief gegriffen. Aus seiner eigenen Forschung in der kanadischen Arktis und in Sibirien weiß er, dass der Permafrostboden in vielen Regionen nicht kontinuierlich taut, sondern abrupt. Von «Thermokarst» sprechen die Fachleute. Was sich dahinter verbirgt: Inmitten von Erde, Gestein und Sediment ist etwa ein Viertel des Bodens in der nördlichen Hemisphäre von großen Eisbrocken durchsetzt. Beginnen diese zu tauen, sackt das Land ab. «In vielen Gebieten hat das dramatische Auswirkungen», sagt Grosse.

**«DIE LANDSCHAFT, DIE DA ZERFÄLLT, LÄSST SICH NIE MEHR
WIEDERHERSTELLEN.»**

PROF. GUIDO GROSSE, GEOWISSENSCHAFTLER, ALFRED-WEGENER-INSTI-
TUT

Noch schlimmer wird es, wenn sich Schmelzwasser in den Senken sammelt. Abermillionen von Seen haben sich so in den vergangenen Jahrzehnten gebildet, wie Satellitendaten zeigen. Im Sommer nehmen sie die Wärme der Sonne auf und geben sie an den Untergrund weiter. «Permafrost taut so sehr effektiv ab», sagt Grosse. «Und einmal in Gang gesetzt, lässt sich der schnelle Auftauprozess nicht mehr aufhalten.»

Ein internationales Forscherteam um die kanadische Biologin Merritt Turetsky von der «University of Guelph» hat kürzlich den Forschungsstand dazu zusammengefasst. Es sah sich an, was passiert, wenn «Eistaschen» plötzlich zusammenbrechen, die vorher die Landschaft zusammengehalten haben. «Statt ein paar Zentimetern des Bodens, die jedes Jahr tauen, könnten sich mehrere Meter des Bodens innerhalb von Tagen oder Wochen destabilisieren», schreibt die Gruppe, zu der auch Grosse gehört, in einem «Nature»-Kommentar vom Mai 2019.

Etwa ein Fünftel des gefrorenen Bodens auf der Erde könnte irgendwann abrupt aufzutauen. Und die instabilsten Gebiete seien ausgerechnet auch diejenigen, wo am meisten Klimagas lagern. Bis 2030 könnten deshalb noch einmal 60 bis 100 Milliarden Tonnen Kohlendioxid zusätzlich in die Atmosphäre gelangen, so die Befürchtungen der Wissenschaftler.

Weil aber auch mehr Methan freigesetzt wird, ein noch klimaschädlicheres Gas als Kohlendioxid, könnte der Treibhausgas-Ausstoß beider Prozesse – des kontinuierlichen und des abrupten – sogar gleichauf liegen. Mit anderen Worten: Die bisherige Abschätzung liegt um die Hälfte zu niedrig.

«DAS HABEN DIE MODELLIERER BISHER NICHT AUF DEM SCHIRM GEHABT»

PROF. GUIDO GROSSE, GEOWISSENSCHAFTLER, ALFRED-WEGENER-INSTITUT

Wie aber kann das sein? Schließlich wissen Wissenschaftler ja nicht erst seit gestern vom Thermokarst. Eine Erklärung liegt in den Klimamodellen selbst: Da sie bislang mit einer Auflösung von Kilometern gerechnet haben, spielten kleine Seen praktisch keine Rolle. «Das haben die Modellierer bisher nicht auf dem Schirm gehabt», sagt Guido Grosse.

Inzwischen wird auch in Russland erkannt, dass das Abtauen des Permafrostbodens größere Folgen nach sich zieht als bislang bekannt. Und welcher wirtschaftlicher Schaden entstehen könnte, wenn der Boden taut und damit die Infrastruktur für die Öl- und Gasindustrie sowie für ganze Regionen gefährdet. Mit einem Verlust von zwei Milliarden Euro pro Jahr rechnete kürzlich Alexander Kru-

nikov, Russlands stellvertretende Minister für den Fernen Osten und die Entwicklung in der Arktis.

Das Phänomen des abrupten Auftauens hat es sogar in den UN-Sonderbericht zum Zustand der Ozeane und Eisreservoirs geschafft, der im September 2019 erschienen ist. Wenn auch nur in vorsichtiger Formulierung. Die jüngsten Prognosen seien eben nur Abschätzungen, sagt Christian Knoblauch von der Universität Hamburg. Noch seien viele Prozesse gar nicht richtig verstanden, von denen es abhängt, wie schnell der Permafrostboden auftaut, zum Beispiel die Rolle der Vegetation. Denn steigen Temperaturen und der Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre, steigt auch die Produktivität der Pflanzen – und die können mehr CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen, also die Freisetzung der Klimagase teilweise wieder kompensieren.

Ein Problem ist auch, dass sich fast alle Freilandexperimente auf Nordkanada und Alaska konzentrieren. Der Norden Russlands hingegen ist kaum untersucht, obwohl dort der größte Anteil des Permafrosts weltweit zu finden ist. Je nach Jahreszeit frieren bis zu 65 Prozent der Landesfläche zu. Im Gegensatz zu Kanada und Alaska hatte der Frost in Sibirien Tausende Jahre Zeit, um tief in den Boden einzudringen. Bis heute sind die Winter dort deutlich kälter, mit Minustemperaturen im zweistelligen Celsius-Bereich, während jene in Kanada und Alaska oft am Gefrierpunkt kratzen. Allerdings ist es für Forscher aus praktischen Gründen deutlich schwieriger, die Böden zu untersuchen. «Viele Gebiete liegen im militärischen Sperrgebiet», sagt Knoblauch.

Er hat es trotzdem geschafft, dort zu forschen: Im Sommer 2018 reiste Knoblauch in die Tundra Nordostsibiriens ans Lenadelta, dem größten Delta in der ganzen Arktis. Eine Sumpflandschaft zerschnitten von Flussläufen, wo vor allem Gräser und Moose wachsen, vielleicht noch ein paar vereinzelte Zwergsträucher, die Knoblauch gerade mal bis zu den Knien reichen.

Dort interessierte er sich vor allem für die Eiskeile im Boden, die bis zu 12 Meter breit und 20 Meter tief sind und die das Gelände lange Zeit wie Bindemittel zusammenhielten. Nun aber tauen sie und hinterlassen überall kreisrunde und ovale Senken. Um festzustellen, wie viel Kohlendioxid und Methan entweicht, wenn der Permafrostboden taut, platzierte der Mikrobiologe Hauben auf dem Boden, um ihn von der Atmosphäre abzuschirmen. Die ausströmenden Klimagase wurden durch einen Gasanalysator gepumpt, eine kleine Kammer, in der ein Laser Kohlendioxid und Methan mittels ihrer Absorptionsbänder nachweist.

Die Messungen laufen bereits seit einigen Jahren. Sie zeigen: Der Permafrostboden taut immer tiefer, und es entweichen tatsächlich jede Menge Klimagase. «Wir können nachweisen, dass in wärmeren Jahren auch mehr Methan freigesetzt wird», berichtet Knoblauch. Um stichhaltige Aussagen zum langfristigen Trend treffen zu können, brauche es allerdings noch längere Datenreihen, schließlich müssten sie die Jahresschwankungen herausrechnen.

Aber können wir es uns leisten, so lange zu warten? Im vergangenen Sommer tobten die bislang schlimmsten Brände in der Arktis. Angetrieben durch ungewöhnlich hohe Temperaturen, fingen Wälder und Tundravegetation auf so großem Gebiet und so weit nördlich Feuer, wie es bisher noch nie beobachtet wurde. «Das verschärft die Situation sicher noch zusätzlich», so Knoblauch.

Denn das Feuer dezimiert den Permafrostboden auf dreifache Weise: Erstens direkt durch die Wärme an der Oberfläche. Zweitens, indem es die Vegetation vernichtet, die den Permafrostboden normalerweise vor der Sonne isoliert und davor bewahrt, abzutauen. Es kommt aber noch ein dritter Punkt hinzu: Die Schicht des dunklen, verbrannten Torfbodens in der Tundra nimmt bis zu 70 Prozent mehr Sonnenlicht auf als intakter Torfboden. Und das hat Konsequenzen: Bis zu 20 Jahre lang kann sich die Wärme durch die Feuer im Untergrund ausbreiten.

«DIE BRÄNDE WIRKEN SICH VERHEEREND AUF DEN PERMAFROST AUS.»

CHRISTIAN KNOBLAUCH, UNIVERSITÄT HAMBURG

Wir sind neuesten Erkenntnissen zufolge dem Punkt also deutlich näher, ab dem der Permafrostboden in einen neuen Zustand «kippt» und sich unaufhaltsam von einer CO₂-Senke in eine CO₂-Quelle verwandelt – also mehr Treibhausgase ausstößt, als er mit der Bindung durch Pflanzenmaterial einspart. Womöglich haben wir diesen Punkt auch schon überschritten, wie eine neue Studie im Fachblatt «Nature Climate Change» nahelegt. Die Forscher um Susan Natali vom Woods Hole Research Center in Falmouth, Massachusetts, hatten an mehr als 100 Orten über die Permafrostregion in der nördlichen Hemisphäre verteilt gemessen, wie viel Kohlendioxid dort im Winter entweicht. Es stellte sich heraus, dass die hochgerechnete Gesamtmenge (1,7 Millionen Tonnen Kohlenstoff) um 700.000 Tonnen über der Menge lag, welche die Pflanzen in der Vegetationszeit gebunden hatten.

Während die Menschen in unseren Breiten die Folgen, die sich daraus ergeben, erst in einigen Jahrzehnten zu spüren bekommen, wirken sie sich schon heute auf den Alltag der Bewohner des hohen Nordens aus: Straßen sind von einem Tag auf den anderen nicht mehr passierbar, gefrorene Flüsse, die einst als Verkehrswege dienten, sind nun auch im Winter eisfrei. Und selbst ganze Städte wanken, weil der Boden unter ihnen förmlich dahinschmilzt. Dort, im Gebiet des rapide schwindenden Permafrosts, erkennen die Menschen ihre Welt schon heute nicht mehr wieder.

Der Umwelt zuliebe wurde auf die Wiedergabe von Fotos in der Druckversion verzichtet. Nachdruck, Aufnahme in Online-Dienste sowie die Vervielfältigung auf Datenträgern nur nach Genehmigung des Herausgebers.