

Jens Boy, Robert Mikutta und Georg Guggenberger

Es grünt so grün

In der Antarktis entsteht seit Jahrtausenden durch Erwärmung und Gletscherrückzug neues Land. Ein Netzwerk von Bodenwissenschaftlern, Algenforschern und Molekulargenetikern studiert den durch den Klimawandel noch forcierten Prozess. An ihm zeigt sich für das ganze Ökosystem Erde, wie durch die Koevolution von Pflanzen und Böden aus Geröll fruchtbare Natur wird.





Panoramablick auf die Ostküste der Fildes-Halbinsel über die Fildes-Bucht hinweg. Vorne: Die russische Forschungsstation „Bellinghousen“, dahinter die vom Instituto Nacional Chileno betriebene Station „Profesor Julio Escudero“.

Auf den Südlichen Shetlandinseln, maritime Antarktis: Seit Tagen ist der Seegang zu stark. Keine Chance, über die Fildes-Bucht und zu den Flächen am Rand des Collins-Gletschers zu gelangen. Über Nacht hat auch noch ein Schneesturm eingesetzt. Das Probendepot vom Vortag scheint unter der Neuschneedecke verschwunden, der Boden ist hart gefroren. Die letzten Gruben der Sommerkampagne müssen wohl noch etwas warten. Ja, es war schon einfacher, ein Bodenkundler zu sein – aber selten interessanter. Denn die rauen Bedingungen der Antarktis ermöglichen eine einmalige Zeitreise zu dem, was sich am Beginn der Landnahme durch die Pflanzen abgespielt haben könnte.

Hier, auf einem Zipfel der maritim-antarktischen Insel King George,

entsteht seit dem Ende der letzten Kälteperiode vor etwa 7000 Jahren neues antarktisches Land. Die voranschreitende Erwärmung und der damit einhergehende Rückzug der Gletscher sind dafür verantwortlich. Durch den Klimawandel verstärkt sich dieser Prozess in letzter Zeit sogar deutlich. Die zurückweichenden Gletscher hinterlassen eisfreie Flächen, die umso älter sind, je weiter sie vom heutigen Gletschertrand entfernt liegen. Entlang dieser gedachten Linie, „Chronosequenz“ genannt, und im konkreten Fall in drei Stunden Fußmarsch zu durchmessen, lässt sich wie in Zeitlupe die Entwicklung von Boden- und Ökosystemen beobachten. Fein säuberlich nach Alter aufgereiht, wie auf einer Perlenkette, offeriert die Chronosequenz dabei alle Zwischenstadien. Dies macht sie zum

idealen Ort, um zu verstehen, wie aus einem Haufen Geröll fruchtbare Erde wird.

Bei dieser wundersamen Verwandlung von etwas Totem in etwas sehr Lebendiges spielen Organismen, die sich diesen wenig einladenden Lebensraum als neue Heimat ausgesucht haben, eine entscheidende Rolle. Denn die Notwendigkeit, sich immer wieder zu verändern, ist die zentrale Herausforderung, die sich diesen neuen Siedlern stellt. Um erfolgreich Fotosynthese betreiben zu können, brauchen sie Wasser und Nährstoffe. Einige Nährstoffe bekommen sie zwar frei Haus aus der Atmosphäre – Kohlenstoff vor allem, aber auch Stickstoff im Falle entsprechend angepasster Mikroorganismen. Allerdings bleibt zunächst die Mehrzahl der ansonsten

Harte Arbeit bei eisigen Temperaturen: Proben werden am Sturmstrand genommen. Im Hintergrund ist die der Fildes-Halbinsel vorgelagerte Insel Ardley zu sehen.



benötigten Elemente scheinbar un-erreichbar im Gestein verborgen.

Bis vor Kurzem glaubte man, dass die Verwitterung des Gesteins durch physikalische und chemische Prozesse den Takt vorgeben würde. Inzwischen zeigen die Befunde, dass eine aktive Einflussnahme der Photosynthese betreibenden Organismen auf die Verwitterung eher die Regel als die Ausnahme ist. Denn wer Sonnenlicht in Zucker verwandeln, also die flüchtige Energie einer Strahlung in die einer chemischen Bindung eines Moleküls umformen kann, welches speicherbar, transportabel und beliebig in andere Stoffe umwandelbar ist, der wird es sich doch wohl auch leisten können, seinen Lebensraum so zu gestalten, wie er es gerne hätte. Und zwar einfach, indem er etwas von seinem Zucker an jene abgibt, die viel besser Gestein verwittern können als er selbst: Pilze und Bakterien.

Eine effiziente, arbeitsteilige Gesellschaft im Kleinen, von der Sonne betrieben und im Dunklen vollendet – die nicht den Gegebenheiten folgt, sondern im steten Wettstreit mit diesen sich zu immer neuen Höhen aufschwingt und letztlich Neues schafft. Sollte diese Annahme zutreffen, ginge die erste Bodenbildung auf unserem Planeten im Endeffekt viel schneller und auch zielgerichteter vonstatten als lange gedacht.

In der Antarktis geht es also um die Frage, ob diese „Koevolution“ zwischen Pflanze und Boden existiert und wie sie wirkt. Es geht auch darum, ab welchem Zeitpunkt in der Entwicklung eines Ökosystems solche Umgestaltungsmaßnahmen des Lebensraums Boden einsetzen. Und ob es nicht einfach sein könnte, so die Forschungs-idee, dass sich

Oben: Boden und Pflanzen in einem eingesenkten PVC-Ring. Darunter: Gemessen wird der CO₂-Gasfluss aus dem Mikro-ökosystem, und zwar über verschiedene Messzeitpunkte hinweg. Viele Proben werden direkt an Stängeln oder Wurzeln genommen, aber das aus dem Boden kommende CO₂ muss aufwendiger gemessen werden. Darunter: Biwakhütte am Collins-Gletscher auf einem eisfreien Sporn. Die durchsichtige Messanlage dient ebenfalls der Gasmessung. Ganz unten: Blick in einen Laborbereich der Escudero-Forschungsstation auf der antarktischen Insel King George.

diese Umgestaltung umso effizienter vollzieht, je besser die „Zuckerproduzenten“ mit dem Boden vernetzt sind. Diese besseren Vernetzungen könnten die zunehmend komplexer und tiefer in den Boden hineinreichenden Symbiosen darstellen – zum Nutzen vorteilhaft enger Lebensgemeinschaften.

Diese haben sich im Laufe der Evolution zwischen Alge, Pflanze, Pilz und Bakterium in mannigfaltiger Form ausgebildet und etabliert. Ein „Zuckerhighway“ in den Boden, der nach und nach ausgebaut wurde. Das Ziel: immer anspruchsvollere, aber auch leistungsfähigere Produzenten auf immer raffiniertere und direktere Art mit den Organismen zu verbinden. Wobei die Organismen im Gegenzug die in Auftragsarbeit aus den Mineralen gewonnenen Nährstoffe liefern.

Klingt nicht recht verständlich? Vielleicht hilft ein gedanklicher Ortswechsel ins All. Wer an grüne Welten „irgendwo da draußen“ glaubt, kommt nicht umhin, nach dem Entstehen der ersten Lebensräume zu fragen. Dass es überall im Universum in den Grundzügen ähnlich ablaufen sollte, ist die gängige Vermutung



der Astrobiologie. Dabei werden sogenannte Analoge gebraucht, also vergleichbare Bedingungen, um sich wenigstens halbwegs ein Bild machen zu können. Planet Antarktis.

Möchte man solche Analogstudien abseits der Wüsten durchführen, sieht man sich einem Problem

gegenüber: Viel zu schnell dringen Organismen aus der Nachbarschaft in die zu untersuchenden „initialen Habitate“ ein. Organismen, die es eigentlich noch gar nicht geben dürfte, wenn man es wirklich mit einem einfachen, gerade im Entstehen begriffenen System zu tun hätte.

Schnell finden sich in gemäßigteren und weniger isolierten Regionen wie zum Beispiel den Gletscherrückzugsgebieten der Alpen erste Zwergweiden oder Steinbrechgewächse ein. Erfolgreiche Pionierpflanzen allemal, aber aus einer anderen Zeit, nämlich Hunderte von Millionen Jahre jünger. Der vorläufige Endpunkt der Entwicklung, nicht ihr Anfang.

Hier liegt der besondere Charme der maritimen Antarktis: Mit einem Gras (*Deschampsia antarctica*) und einem Nelkengewächs (*Colobanthus quitensis*) ist die Liste höherer Pflanzen bereits vollständig. Keine dieser beiden Arten kann sich ohne eine Zusatzdüngung durch Vogelexkremente dauerhaft am Standort halten, kommt also von einem schmalen Küstenstreifen de facto nicht los. So muss die (Boden-)Sukzession in der maritimen Antarktis über viele Tausend Jahre hinweg mit Algen und Cyanobakterien, Flechten und Moosen auskommen. Ganz so wie früher.

Was konnte bei der Feldarbeit auf den Shetlands und entlang der Chronosequenzen gefunden werden? Als Ergebnis von Studien, bei denen den organischen Siedlern ausgewählte Minerale zum Verwittern „angeboten“, der Stoffwechsel durch Stabilisotopen weiter untersucht und die Böden und organische Hinterlassenschaften näher analysiert werden konnten?

Ganz am Anfang geht es noch nicht um Nährstoffe aus dem Gestein. Blaualgen legen den Grundstock der Ökosystembildung, da sie Luftstickstoff binden können, von dem dann auch zunehmend Grünalgen profitieren. Es dauert nur wenige Jahrzehnte, bis sich Flechten den freiliegenden Gesteinsoberflächen widmen. Ihre Interaktion mit

Ausdauernde Gräser (Deschampsia antarctica) an einem mikroklimatisch begünstigten Standort. Erst der Kot der Raubmöwen sorgt für ausreichend Überlebensnährstoffe.





Pinguine an einem sogenannten Paläo-Strand. Sie verhindern mit ihrem scharfen Kot, dass viel wächst – allenfalls noch ein dünner Algenfilm wie im Vordergrund.

dem Boden erhöht langsam die organische Bodensubstanz, sprich den „Humus“. Von diesem Nährstoff- und Nahrungspool profitieren zunehmend Bakterien, die in keiner direkten Verbindung zu den Primärproduzenten stehen und sich somit noch auf eigene Rechnung der Verwitterung widmen.

Etwa nach 4000 Jahren ist der neu gebildete Boden in der Lage, genügend Wasser und Nährstoffe zu speichern, sodass die ersten Flechten und Moose erscheinen können, die in den Boden eindringen und über Symbiosen verfügen. Erstmals wird hier eine direkte Verbindung zwischen den Orten der Fotosynthese und der Verwitterung im Boden hergestellt. Fortan beschleunigt sich die biologisch getriebene Verwitterung, wenn auch auf vergleichsweise niedrigem Niveau.

Ebenso drastisch ändert sich die Art und Weise, wie sich die organische Substanz im Boden bildet und

wie sie umgesetzt wird. Hieß es bis eben noch, von der Streu allein zu leben, fließen nun schneller umsetzbare organische Substanzen wie zum Beispiel Zucker und organische Säuren direkt in den Boden und ändern dort Natur und Beschaffenheit der organischen Bodensubstanz ebenso nachhaltig. Unterm Strich entwickelt sich der Boden rasant, und es erfolgt eine erste biologisch bedingte Horizontierung, sozusagen eine „Schichtung“ der Böden. Genau dies ist ein Charakteristikum gut entwickelter Böden.

Nach 7000 Jahren schließlich hält man staunend Erde in den Händen, die sich auf den ersten Blick kaum vom Gewohnten unterscheidet. Alles ohne das Zutun höherer Pflanzen! Wer diese Endpunkte einer Bodenentwicklung „aus eigener Kraft“ vergleicht mit den Flächen in der Nachbarschaft, die mit *Deschampsia*-Gras bewachsen sind und

durch Vogeldung extern mit Nährstoffen versorgt werden, der versteht, dass hier eine weitere Schallmauer in Sachen Verwitterung und Stoffflüssen durchbrochen wird. Die Prognose für eine wohl nicht mehr allzu ferne Zukunft: Wenn die Verwitterungsleistung der Moose und Flechten ausreichend Nährstoffe im Ökosystem angesammelt hat, dürfte es *Deschampsia* gelingen, auch abseits der Vogelkolonien als Teil der natürlichen Besiedlung Fuß zu fassen. Dann stände einer grünen Antarktis wenig im Wege!



Dr. Jens Boy

ist Hochschulassistent am Institut für Bodenkunde der Leibniz Universität Hannover und Projektleiter im Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung“.

Professor Dr. Robert Mikutta

ist Professor für Bodenkunde und Bodenschutz an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Professor Dr. Georg Guggenberger

leitet das Institut für Bodenkunde der Leibniz Universität Hannover.

Adresse: Institut für Bodenkunde (IFBK) der Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover

Förderung des Forschungsprojekts in Zusammenarbeit mit dem Instituto Antartico Chileno (INACH) im Rahmen des SPP 1158.

www.spp-antarktisforschung.uni-rostock.de/

