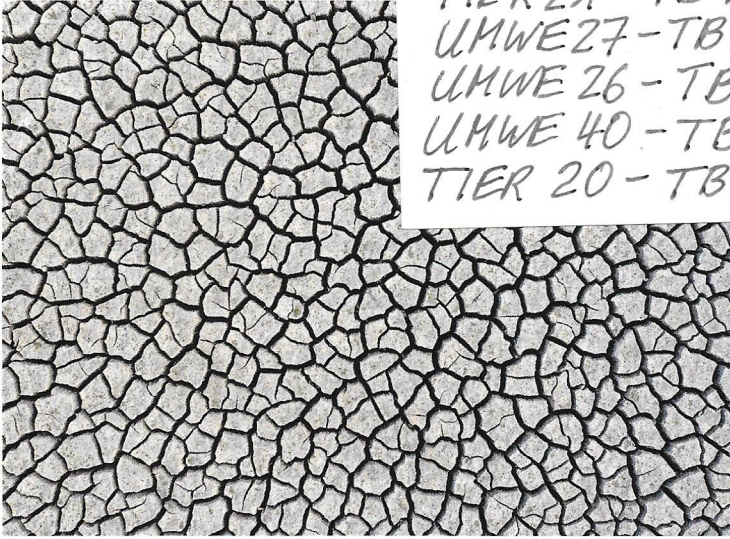


EVAL-INFO-SYSTEM (EIS):

TIER 21 - TB 10
 UMWE 27 - TB 17
 UMWE 26 - TB 06
 UMWE 40 - TB 05
 TIER 20 - TB 07

HUNG 48 - TB 04
 GESE 91 - TB 03
 GESE 99 - TB 29
 WIRT 99 - TB 24



Ausgedörrter Boden in Kalifornien, Dürre in Spanien, Wüstenbildung in Südamerika, Waldbrand in Brasilien: Massensterben im Untergrund

Die dritte Krise

RAUBBAU Unbemerkt von der Öffentlichkeit vollzieht sich in den Böden weltweit ein Desaster. Sie werden weggespült, vergiftet, ausgelaugt, überdüngt oder versalzen. Dabei braucht es sie, um den Hunger der Menschen zu stillen und den Klimawandel zu bremsen. Forscher suchen Mittel, sie zu retten.

C leopatra war er heilig, Aristoteles sprach mit Ehrfurcht von ihm, Darwin widmete ihm das letzte seiner Werke: der Regenwurm. Über diese unscheinbare Kreatur schrieb Darwin, sie habe einen so starken Einfluss auf die Geschichte der Erde gehabt wie kaum ein anderes Tier.

Die Regenwürmer eines Quadratmeters Boden bauen Röhren einer Gesamtlänge von bis zu einem Kilometer. Das durchlüftet die Erde, befördert die Kompostierung und erlaubt die Aufnahme von bis zu 150 Liter Regenwasser pro Stunde. Die Dienste, die Regenwürmer zum Nutzen der Menschheit leisten, wurden auf einen Ge-

samtwert von 250 Milliarden Euro im Jahr geschätzt.

Der Regenwurm ist ein natürlicher Verbündeter des Menschen, und der wird seiner Hilfe bedürfen. Denn die Böden werden knapp auf dem Planeten Erde, und um der Not abzuwehren, tut der Mensch gut daran, sich auf die stillen Helfer im Untergrund zu besinnen: auf die Regenwürmer, aber auch die Asseln, Milben, Insektenlarven, Fadenwürmer, Pilze und Bakterien.

Unter diesen Kreaturen vollzieht sich von der Öffentlichkeit weitgehend unbemerkt ein Massensterben. Der Mensch vernichtet ihren Lebensraum, in Afrika, Asien, Amerika, aber

auch in Europa. Allerorten wird die Ackerkrume weggespült, ausgedörrt, versiegelt, verdichtet, vergiftet, überdüngt, ausgelaugt oder versalzen. Dem aktuellen »Global Land Outlook«-Bericht der Vereinten Nationen zufolge sind 20 bis 40 Prozent aller Landflächen weltweit geschädigt. Wissenschaftler sprechen von »Landdegradation«. Alljährlich geht insgesamt ein Terrain der Größe Ostdeutschlands zusätzlich verloren. Im Mai sind in Abidjan an der Elfenbeinküste 2000 Delegierte zur Weltbodenkonferenz der Vereinten Nationen zusammengekommen. Ihr Ziel: die Landdegradation bis 2030 zum Stillstand zu bringen.

Während die Krise der Artenvielfalt und vor allem die des Klimas inzwischen als Schicksalsfragen der Menschheit begriffen werden, wurde die Vernichtung der Böden lange nicht als die dritte große Gefahr erkannt. Auf der großen Umweltkonferenz in Rio de Janeiro im Jahr 1992 wurde neben der Klima- und der Biodiversitätskonvention nur ein Abkommen zur Bekämpfung der Wüstenbildung (UNCCD) auf den Weg gebracht. Vorrangiges Ziel war es, die Ausdehnung der Sahara in der Sahelzone aufzuhalten. Deutschland sah sich nicht betroffen, ebenso wenig wie die Mehrzahl der anderen Länder des Globalen Nordens.

Doch inzwischen setzt sich die Einsicht durch, dass nicht nur im Wüstengürtel der Erde das fruchtbare Land schwindet. »Der Verlust unserer Böden ist das am stärksten unterschätzte der großen Umweltprobleme unseres Planeten«, sagt der aus Berlin nach Abidjan angereiste Staatssekretär Jochen Flasbarth. Das mache gerade die aktuelle Lage deutlich: »Die durch den Angriffskrieg gegen die Ukraine ausgelöste Lebensmittelkrise zeigt, wie dringend wir Lösungen brauchen.«

Die Schäden, die der Mensch in den Böden anrichtet, sind mannigfaltig und noch längst nicht in ihrem ganzen Ausmaß verstanden. Bewässerung in Trockengebieten etwa kann zur Versalzung der Böden führen und sie unfruchtbar machen. Mikroplastik und Pestizidrückstände stören das unterirdische Ökosystem. Und moderne Erntemaschinen mit dem Gewicht von Dinosauriern komprimieren den Unterboden.

Auf einem Gelände in Berlin-Dahlem kommen all diese Belastungen zusammen. Der Pflanzenökologe Matthias Rillig von der Freien Universität Berlin hat dort ein Experiment angesetzt, bei dem er Böden vielfältigen Formen von Stress aussetzt. »Wir simulieren Degradation«, erklärt er.

Überirdisch ist von all dem wenig zu sehen. Etwas zurückgesetzt von der Straße liegt ein Versuchsacker, etwa doppelt so groß wie ein Basketballfeld, der in 154 kleine Parzellen eingeteilt ist. Auf den meisten davon gedeiht das Grün prächtig: Kniehoch wuchern Gräser, Klee und großblättrige Wegwarte.

Doch der saftig-grüne Schein trügt. Jedes der abgesteckten und durch Wurzelsperren voneinander getrennten Beete ist bestimmten Stressfaktoren ausgesetzt. Einige der Parzellen sind von transparenten Lamellen überdacht, auf diese Weise sorgen die Forscher dafür, dass diese Flecken weniger Regen abbekommen und die Pflanzen unter Trockenstress leiden. Andere sind von Plexiglas umhüllt. Das hält die Wärme und erzeugt Hitzestress.

Weitere Formen von Stress sind von außen nicht zu sehen: Auf einigen der Beete haben die Forscher Pestizide ausgebracht, auf anderen Gummipartikel aus Reifenabrieb. Wieder andere sind überdüngt, künstlich versalzen oder mit Schwermetall versetzt.

Kosmos unter der Erde

Anzahl der Lebewesen in einem Quadratmeter Boden*

Ameisen
zahlreiche Nester und Gänge

Schnecken
etwa 10

Asseln
100 - 200

Regenwürmer
20 - 300

Tausendfüßer
100 - 300

Insektenlarven
1000 - 10.000

Bärtierchen
etwa 10.000

Rädertiere
etwa 100.000

Springschwänze
10.000 - 100.000

Milben
10.000 - 1.000.000

Fadenwürmer
etwa 10 Millionen

in einem Gramm Trockenboden

Pilze
100.000 - 1 Million

Einzeller (Protozoen)
10.000 - 10 Millionen

Algen
etwa 1000 - 100.000

Bakterien
etwa 1 Milliarde

* im Grünland, 0 bis 20 cm Tiefe, Auswahl
S-Quelle: J. Ottow

Insgesamt zehn verschiedene Stressfaktoren werden auf dem Dahlemer Versuchsfeld getestet.

»Wir wollen feststellen, wie die Pflanzen darauf reagieren«, sagt Rillig. Vor allem aber gehe es darum herauszufinden, ob sich die verschiedenen Arten von Stress wechselseitig verstärken. Nach dem Zufallsprinzip haben die Forscher deshalb einige der Parzellen mal zwei, mal vier, sechs oder acht, in einigen Fällen sogar allen zehn Stressfaktoren ausgesetzt.

So ist eines der Beete zum Beispiel versalzen und überdüngt, das nächste leidet gleichzeitig unter Trocken- und Hitzestress, und zusätzlich finden sich dort noch Pestizide und Salz im Boden. »Die überwältigende Mehrzahl aller wissenschaftlichen Arbeiten bisher befasst sich mit nur einem Stressfaktor«, sagt Rillig. In der Wirklichkeit jedoch müssten die Pflanzen auf den Feldern der Landwirte meist mit einer Vielzahl von Widrigkeiten zugleich fertig werden. Wenn alle Daten zusammengetragen sind, hofft Rillig eine Art Gesamtschau der Probleme auf den Äckern der Welt erstellen zu können.

Die meisten Menschen haben für die Lebenswelt unter ihren Füßen wenig übrig. Erde ist für viele bloß Dreck, mit dem sich die Kinder beim Spielen die Hände schmutzig machen. Die Würmer und Larven, die dort wohnen, gelten als hässlich und unappetitlich. Aus dem Blick gerät dabei, dass die Böden ein Ökosystem bilden, das nicht weniger komplex ist als das der Korallenriffe oder Tropenwälder.

Ein bis fünf, in Extremfällen sogar zehn Prozent des Erdbodens bestehen aus lebenden Organismen. Bis zu 300 Regenwürmer, 10 000 Insektenlarven und zehn Millionen Fadenwürmer tummeln sich auf einem Quadratmeter Grünland (siehe Grafik). In einem einzigem Gramm leben bis zu zehn Millionen einzellige Protozoen und eine noch weitaus größere Zahl von Bakterien und Archaeen. Zudem ist der Boden von Myriaden winziger Springschwänze besiedelt; gefressene Raubmilben stehen, gleichsam als Löwen des Untergrunds, an der Spitze der Nahrungskette, während sich Asseln und Tausendfüßer von verrottenden Pflanzen nähren.

Manchen Wissenschaftlern zufolge beherbergen die Böden bis zu einem Viertel der irdischen Biodiversität. Je nachdem ob Ton, Sand oder Lehm vorherrschen, je nach pH-Wert, Temperaturverlauf und Mächtigkeit der Bodenhorizonte unterscheidet sich die Zusammensetzung der Arten. Löss, Nadelwaldhumus, Torferde: Jeder Bodentyp ist anders. Allein bei einer Beprobung der Stadt New York zählten Forscher 46 verschiedene Arten von Böden.

Größer noch als die Vielfalt der Bodentypen ist die Komplexität innerhalb eines jeden von ihnen: Boden ist ein dreidimensionaler, höchst heterogener Lebensraum. Die chemischen Bedingungen, wie etwa Säure-, Sauerstoff- oder Nährstoffgehalt, können

von einem Millimeter zum nächsten drastisch variieren.

Denn Erde besteht aus kleinen Krümeln oder »Aggregaten«, wie die Forscher sie nennen. Bis in ihr Inneres dringt kein Sauerstoff, in den Hohlräumen zwischen ihnen dagegen ist er reichlich vorhanden. Entsprechend radikal unterscheidet sich die mikrobiotische Lebensgemeinschaft in beiden Habitaten. Die Forschung steht hier erst am Anfang, die für die Bodenstruktur so grundlegende Bildung der Aggregate etwa ist noch ein Rätsel. »Der Mensch fliegt bis zum Mond, aber wie die Erde unter seinen Füßen entsteht, hat er noch nicht verstanden«, klagt Ökologe Rillig.

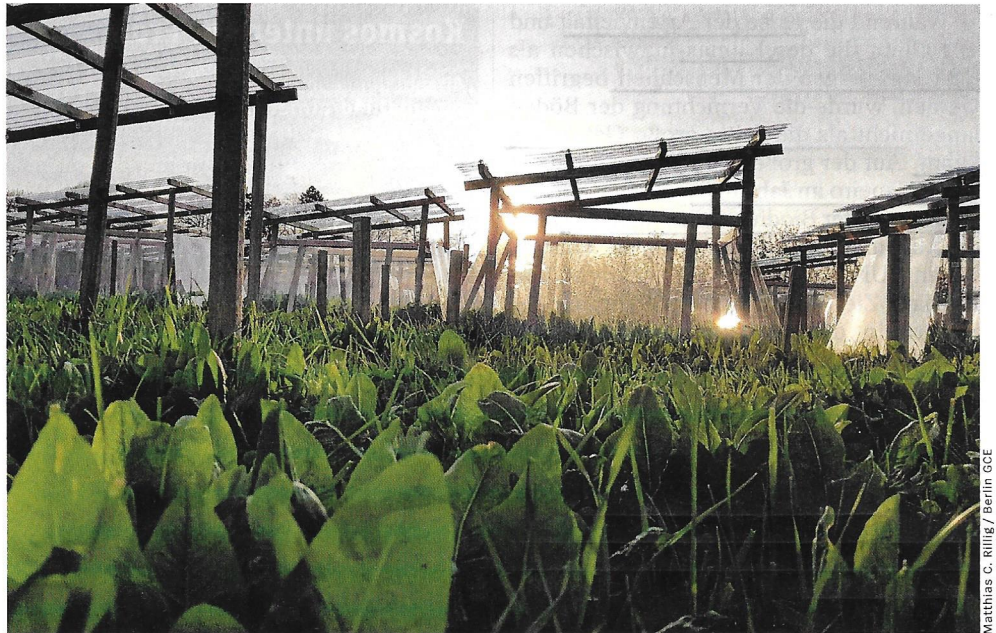
Die zum Verständnis und zum Schutz des unterirdischen Ökosystems wohl wichtigste Organismengruppe sind die Pilze. Ähnlich wie die Pflanzen an Land dominieren, so sind die Pilze die Herrscher des Untergrunds. Und ähnlich wie die Böden das lange vergessene Ökosystem des Planeten Erde waren, so sind die Pilze seine vergessenen Organismen. Sie sind artenreicher als die Pflanzen, und ihre Biomasse ist größer als diejenige aller Tiere. Dennoch wird den Pilzen nur ein Bruchteil der Aufmerksamkeit zuteil, die Tiere und Pflanzen erfahren.

Mit ihren hauchfeinen Hyphen umweben die sogenannten Mykorrhiza-Pilze das Wurzelwerk im Boden. Über die so gespannten Fäden können Pflanzen Wirkstoffe verbreiten und Informationen austauschen. Walnussbäume zum Beispiel verteilen via Pilzhyphen einen Giftstoff, mit dem sie pflanzliche Konkurrenten in ihrer Nähe kleinhalten. Tomaten warnen sich wechselseitig über Hyphenkabel vor Schädlingsbefall.

Vor allem aber versorgen Pilze die mit ihnen vernetzten Pflanzen mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Im Austausch dafür bieten diese den Pilzen Kohlenstoff an, den sie durch Fotosynthese gebunden haben. Einen erheblichen Teil des so erworbenen Kohlenstoffs lagern die Pilze dauerhaft im Untergrund ein. Es kommt ihnen damit eine Schlüsselrolle bei einer Funktion der Böden zu, die zunehmend ins Blickfeld der Forschung rückt: der Klimaregulation.

Denn das Erdreich ist eines der großen Kohlenstoffreservoirs der Erde. Insgesamt rund 2500 Milliarden Tonnen dieses Elements sind dort gespeichert, etwa viermal so viel, wie der Mensch seit Beginn der Industrialisierung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre geleitet hat. Und dieser Kohlenstoffspeicher im Untergrund ist dynamisch: Fortwährend setzt der Stoffwechsel der Bodenorganismen große Mengen des im Untergrund gebundenen Kohlenstoffs in Form von Kohlendioxid frei, gleichzeitig wird eine entsprechende Menge Kohlenstoff von Pflanzenmaterial und Pilzen im Erdreich eingelagert und damit der Atmosphäre entzogen.

Der Umschlag ist gewaltig. Er übersteigt den Ausstoß des Menschen um das Zehnfache. Selbst kleine Veränderungen im Fließ-



Matthias C. Rillig / Berlin GCE

Stresstest für Böden in Berlin-Dahlem: »Wir simulieren Degradation«

gleichgewicht können da große Wirkung haben.

Schon seit Beginn der Landwirtschaft greift der Mensch ein ins komplexe Gleichgewicht der im Boden gebundenen Klimagase. Er legt Reisplantagen an, die Methan ausgasen. Er düngt Acker, was die Entstehung von Lachgas befördert. Er rodet Wälder, was zur Freisetzung von Kohlendioxid führen kann.

Doch wie stark trägt der Raubbau an den Böden zur globalen Erwärmung bei? Und vor allem: Wie wird sich dieser Beitrag in der Zukunft verändern? Werden die Böden, je wärmer es wird, desto mehr Treibhausgase freisetzen und so die Erwärmung noch beschleunigen? Fragen, die noch weitgehend ungeklärt sind.

Zur Schicksalsregion, so viel steht außer Zweifel, wird die Arktis werden. Die Klimamodelle prognostizieren, dass rund ein Viertel der Permafrostböden im Norden bis zum Ende des Jahrhunderts auftauen wird. Damit könnten Hunderte Milliarden dort eingefrorene Tonnen organischer Substanz wieder zurück in den Kohlenstoffkreislauf der Atmosphäre gelangen. Und Studien aus Lappland zeigen, dass selbst geringfügige Erwärmung ausreicht, um die Mikroben in der Tundra zu stimulieren und so die Zersetzung in den Böden anzukurbeln.

Sorge bereitet aber auch der Urwald Amerikas. Dort fürchten Forscher, der globale Klimawandel werde die großen Regensysteme

ins Stocken bringen. Die Folge könnte auch hier die Freisetzung großer Mengen Treibhausgase sein. Der Tropenwald, bisher eine der großen Kohlenstoffsenken der Erde, könnte sich in eine Kohlenstoffquelle verwandeln und so dem Planeten weiter einheizen.

Im Jahr 2005 etwa führte eine damals noch als Jahrhundertdürre bezeichnete Trockenperiode in Amazonien zur Freisetzung von fünf Milliarden Tonnen Kohlendioxid. Schon 2010 und 2015 folgten weitere noch extremere Dürrejahre. Einer im März veröffentlichten Studie zufolge mehren sich die Indizien, dass in Amazonien bald eine kritische Schwelle erreicht wird, jenseits der sich ein Teil des Waldes in Savanne verwandeln könnte. Viele Milliarden Tonnen Kohlenstoff, die derzeit noch in Wald und Waldboden gebunden sind, würden als Treibhausgas in die Atmosphäre gelangen.

Kann es angesichts solcher Katastrophenszenarien überhaupt gelingen, die fruchtbare Krume zu retten und so langfristig die landwirtschaftliche Versorgung von acht oder gar zehn Milliarden Menschen sicherzustellen? Die Delegierten in Abidjan gaben sich hoffnungsfroh – ein Optimismus, der in Anbetracht der Herausforderung erstaunlich anmutet: Dem »Global Land Outlook«-Bericht der Uno zufolge würde die bis 2030 anvisierte Sanierung der Böden weltweit die astronomische Summe von 1,6 Billionen US-Dollar erfordern.

Zwar beteuern die Forscher, die Investition werde sich lohnen. Jeder in die Restauration von Land gesteckte Dollar werde künftig das bis zu 30-Fache an Ertrag abwerfen, verspricht UNCCD-Sekretär Ibrahim Thiaw. Doch blieb in Abidjan offen, woher all das viele Geld kommen soll.

Zudem beruht die Vision von einer Gesundung der Böden bisher auf dürftigen Daten. In vielen Fällen ist nicht einmal klar, was eigentlich ein gesunder Boden ist. Die Experten berufen sich gern auf unscharf definierte

»Der Mensch fliegt bis zum Mond, aber wie die Erde unter seinen Füßen entsteht, hat er noch nicht verstanden.«

Matthias Rillig, Pflanzenökologe

Eigenschaften wie Geruch oder Textur. Als Vorgabe für die Boden-sanierung taugen solch vage Kriterien nicht.

»Vor allem mangelt es an Zeitreihen«, beklagt der Berliner Bodenkundler Rillig. Nur in wenigen Fällen sei über einen längeren Zeitraum hin dokumentiert, wie sich die Eigenschaften eines Bodens im Zuge einer Klimaveränderung oder einer neuen Landnutzung gewandelt haben. Das mache es schwer vorherzusehen, wie sich geplante Maßnahmen zur Bodenrestaurierung auswirken werden.

Klar scheint indes, dass die Intensivierung der Landwirtschaft an vielen Orten mehr Schaden als Nutzen bewirkt hat. Zwar wurde es als Triumph der Chemie gefeiert, als sich seit den 1960er-Jahren durch den Einsatz von Kunstdünger und Pestiziden die Erträge vervielfachten. Und in der Tat sorgte die sogenannte Grüne Revolution für große Fortschritte im Kampf gegen den Hunger.

Doch hat sich inzwischen gezeigt, dass viele der Erfolge auf Kredit erkaufte wurden. Denn die intensive Bewirtschaftung ging auf Kosten der beiden wichtigsten Ressourcen gesunder Böden: Zum einen zehrte die gesteigerte Pflanzenproduktion die organische Bodensubstanz auf, zum anderen ging die biologische Vielfalt infolge der Gift- und Nährstoffschwemme zurück.

Bei der Sanierung der Böden geht es nun darum, die Sünden der Vergangenheit zu reparieren. Statt chemischer wollen die Forscher künftig verstärkt auf biologische Mittel zur Ertragssicherung setzen. »Das Gute ist, dass die meisten unserer Ziele Hand in Hand gehen«, sagt Rachel Creamer von der niederländischen Universität Wageningen. Böden, die reich an Leben sind, sind meist auch fruchtbar und zugleich gut für den Wasserhaushalt. Sie verbessern das lokale Klima, und oftmals speichern sie obendrein Kohlenstoff, was der Atmosphäre Treibhausgas entzieht.

Tröstliche Nachrichten förderten Archäologen aus einer Region zutage, aus der die Klimaforscher Hiobsbotschaften melden: aus Amazonien. Dort scheinen die Ureinwohner einst einen Weg gefunden zu haben, wie sich dauerhaft Böden und Erträge zugleich verbessern lassen. Über Jahrhunderte hin betrieben sie eine Form des Brandfeldbaus, bei der sie Holz- und Pflanzenkohle zusammen mit Fäkalien, Dung und Abfällen unter die Erde mischten.

Auf diese Weise wuchs in den Tropen, wo sonst dünne, sehr nährstoffarme Böden vorherrschen, die sogenannte Terra preta heran. Sie zeichnet sich durch bis zu zwei Meter mächtige, dunkle, kohlen- und nährstoffsatte Bodenhorizonte aus – ein Beispiel für ein Bodenmanagement, das Landwirtschaft und Klima gleichermaßen zugutekommt.

Bodensanierer weltweit werten das als Signal der Hoffnung. Die Terra preta Amazoniens beweise vor allem eines, sagt der Berliner Bodenökologe Rillig: »Es geht.«

Johann Grolle ■