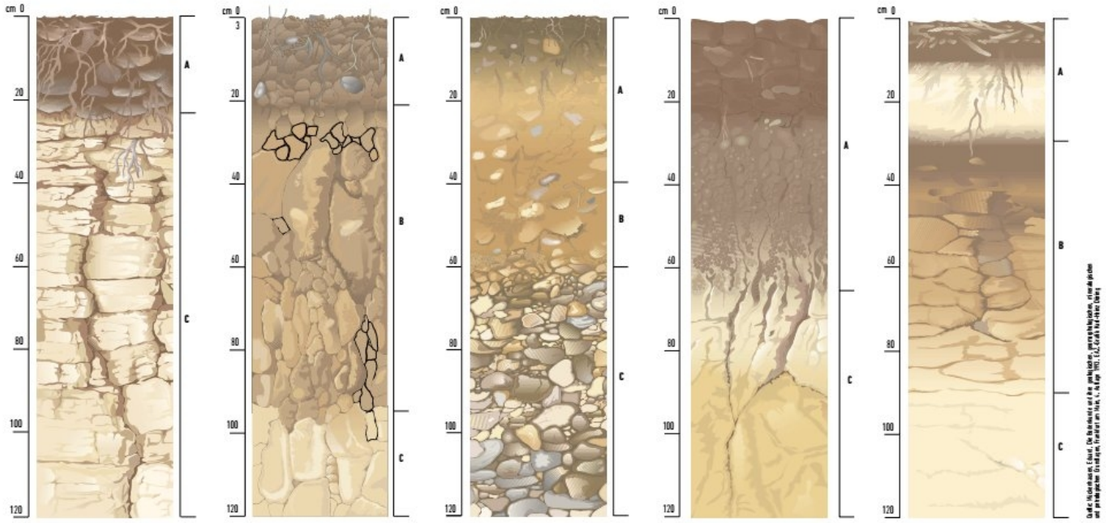


Die **Rendzina** ist ein flachgründiger Boden, der sich vor allem in Karstgebieten bildet und auch oft im Mittel- und Hochgebirge anzutreffen ist. Der Oberboden ist sehr humos, darauf folgt direkt das Ausgangsgestein – als Ackerboden kaum geeignet.

Die **Braunerde** gehört zu jenen Böden, die sich typischerweise im humiden Klima Mitteleuropas bilden. Im Oberboden reichern sich durch Verwitterung Tonminerale und Eisenoxide an, die für die namensgebende Farbe sorgen. Die Fruchtbarkeit schwankt.

In **Parabraunerde** lagern sich Tonminerale und Eisenoxid in tieferen Horizonten ab. Diese tiefgründigen Böden sind gute Ackerflächen, allerdings auch anfällig für Erosion. Außerdem neigen sie dazu, zu verdichten, wenn sie mit schweren Maschinen befahren werden.

Sehr fruchtbare **Schwarzerden** bilden sich in einem kontinentalen Steppenklima, mit kalten Wintern, heißen Sommern und wenig Regen. Typisch ist ein mächtiger humoser oberer Horizont, der direkt auf dem fossilhaltigen Ausgangsgestein liegt.

Der **Podsol** ist der typische Boden nasskalter Lagen und hierzulande in den Mittelgebirgen häufig zu finden. Darin überwiegt die chemische Verwitterung, es fehlen Tonminerale: Die Böden versauern. Auf Podsol stehen oftmals Nadelwälder.

Der **Gley** ist ein sogenannter Grundwasserboden in Auen und Senken. Ständig durchnässt, ist der Lehmboden für Ackerbau wenig geeignet, dient aber zahlreichen gefährdeten Tieren und Pflanzen als Lebensraum und beheimatet wasserliebende Eschen und Erlen.

Der **Pseudogley** ist ein Stauwasserboden, allerdings wechseln sich Staunässe und Austrocknung je nach Jahreszeit ab. In Mitteleuropa ist dieser Bodentyp weit verbreitet, Wald und Wiesen findet man oft darauf. Vor der Nutzung als Acker wäre eine Drainage notwendig.

Marschböden sind an den Küsten der Nordsee aus Watt- und Flussablagerungen entstanden und sehr kalkreich. Diese Böden sind vergleichsweise jung und fruchtbar, sie werden in der Regel landwirtschaftlich genutzt. Mitunter sind es bedeutende Obstanbaugebiete.

Moorböden sind wassergesättigt und entstehen, wenn ein hoher Grundwasserstand oder ständige Staunässe verhindert, dass hier organisches Material abgebaut wird, das kann sich dann als Torf in großen Mengen ablagern. Moore sind wichtige CO_2-Senken.

Deutsche Böden im Profil: Unter einer humusreichen Schicht ist meist ein mineralischer Horizont zu sehen, darunter liegt das Ausgangsgestein, dessen Verwitterung den Boden langsam gebildet hat.

Das vergessene Universum

Ansehnlich sind sie nicht, die erdigen Massen, die meist nur noch auffallen, wenn irgendwo die Straße aufgerissen wird: Böden sind ein zentraler Teil der Biosphäre, aber es geht ihnen schlecht.

Von Andreas Frey

Alle Probleme beginnen schon damit, dass man dem Boden nicht ansieht, wie schlecht es ihm geht. Von oben betrachtet, ist da nur eine scheinbar lebhafte sandige oder lehmige Masse. Die ist uns egal geworden. Sprach man früher noch voller Wertschätzung von „Muttererde", sehen die meisten Menschen heute im Boden kaum mehr als Dreck, den man am besten überhaupt. Mach dich nicht schmutzig, mahnt man seine Kinder, suhl dich nicht im Matsch. Die Krume ist uns fremd geworden.

Der Boden ist eben kein Panda, dabei sorgen wir uns neuerdings um Insekten und sind auch abstrakteren Naturgütern zugetan. Der Schutz von Wasser, Luft und Klima ist uns wichtig. Der Boden aber wurde vergessen. Naturfreunde zählen begeistert Wintervögel, räuchern aber Maulwürfe aus. Es ist ja wirklich schwierig: Der Boden gilt nicht nur als zu langweilig, um popular zu sein, sondern zugleich als zu komplex, als zu speziell, selbst für Nerds.

François Buscot ist alles andere als ein Nerd, dabei leitet er das Institut für Bodenökologie am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Halle an der Saale. Wenn er über Pilznetzwerke oder Fadenwürmer spricht, kann er seine Hingabe kaum verbergen. Gerade hat er gemeinsam mit anderen Wissenschaftlern einen Beitrag im Fachjournal *Science* veröffentlicht, der sich liest sich wie ein Appell: Die Politik solle den Bodenschutz endlich ernst nehmen. „Die Umweltschutzbemühungen ignorieren die Mehrheit der terrestrischen Artenvielfalt nahezu komplett", schreiben die Autoren. Sie meinen jene Lebewesen, die unsichtbar im Boden leben.

Ohne Forscher wie François Buscot würde die Menschheit gar nicht merken, welch wertvolles Ökosystem da unter unseren Füßen gerade verlorengeht. Es ist ein vor Leben wimmelndes Universum, entstanden in Jahrtausenden, dessen Organismen zu über neunzig Prozent noch unbekannt sind. Die Biologie des Bodens sei bislang kaum berücksichtigt worden, sagt Buscot. Böden wurden einzig nach chemischen und physikalischen Prozessen bewertet. Dabei stellt gerade deren Biodiversität eine Reihe lebenswichtiger Funktionen kostenlos zur Verfügung. Das Erdreich dient als Filter für Schmutz, Keime und Schadstoffe, als Puffer für pH-Wert-Veränderungen und als Recyclingraum, in dem Nährstoffe aufbereitet und verteilt werden. Außerdem dämpft der Boden die Erderwärmung, sofern er genügend Wasser hält.

Doch diese Funktionen sind zunehmend gefährdet: „Wenn die Bodenorganismen verschwinden, werden die Ökosysteme schon bald an Leistung einbüßen", schreiben Buscot und seine Kollegen. Um das zu verhindern, bauen die Bodenforscher gerade ein weltweites Monitoring-Netzwerk namens „Soil Bon" auf. Es soll die Biodiversität des Bodens messen und mögliche Verluste überwachen, eine Art Frühwarnsystem für den Boden. Die Forscher möchten den Entscheidungsträgern damit künftig Standards zur Verfügung stellen, um wirksamen Bodenschutz zu ermöglichen. „Wenn wir den Boden für die kommende Generation nicht schützen, kann die Vielfalt des Lebens im Boden und die Nahrungsmittelproduktion nicht mehr gewährleistet werden", warnen die Forscher. Denn die Böden stecken in der größten Krise seit Jahrzehnten.

Ist diese Darstellung übertrieben? Martin Schädler findet das nicht, und das sei nicht nur sein persönlicher Eindruck, sondern ließe sich belegen. Der Bodenökologe arbeitet ebenfalls am Helmholtz-Zentrum in Halle, mitten in jener Region, die man als Epizentrum der seit drei Jahre währenden Dürre in Deutschland bezeichnen könnte. Im gesamten Jahr 2018 fielen dort nur 260 Liter Regen auf jeden Quadratmeter – unterhalb von 300 Litern beginnt per Definition die Steppe. Und weder 2019 noch 2020 wurde es viel besser. Der Unterboden ist nahezu leer, alle Wasserspeicher sind aufgebraucht.

Die Dürre gibt den Böden den Rest, denn sie sind ohnehin seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts argem Stress ausgesetzt. Zunächst waren es die Pestizide und Mineraldünger der konventionellen Landwirtschaft, jetzt kommt die Klimaerwärmung hinzu. „Ich wüsste nicht, mit welcher Situation in der Vergangenheit dies vergleichbar sein sollte", sagt Schädler. Dabei ist von bekannten Problemen wie Bodenerosion oder Bodenverdichtung noch gar nicht die Rede. Die setzen der Krume seit Anbeginn des Ackerbaus zu und verschärfen sich ebenfalls, ohne dass Politik und Gesellschaft davon größere Notiz nähmen.

Martin Schädler erforscht die Auswirkungen des Klimawandels auf das Leben im Boden. Seit sieben Jahren leitet er am Lehrstuhl von Buscot einen veritablen Feldversuch. In Bad Lauchstädt, wenige Kilometer vom Institut in Halle entfernt, untersucht sein Team auf fünfzig gleich großen Versuchsparzellen eines sieben Hektar großen Areals, wie sich der Klimawandel auf Böden und Feldfrüchte auswirkt. Es sei der weltweit größte Versuch dieser Art, sagt Schädler. Regelmäßig nehmen die Forscher Bodenproben, zählen und vermessen Bodenorganismen, bestimmen die Biomasse, sequenzieren DNA, messen pH-Werte, Wassergehalt und Nährstoffkonzentrationen. Die fünfzig Felder sind dabei in fünf verschiedene Landnutzungsarten unterteilt: Konventionell und ökologisch wird hier angebaut, Grünland intensiv und extensiv genutzt, und außerdem weiden Schafe. Auf dem konventionellen Acker wird die typische Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste eingehalten, auf dem ökologischen wächst anstelle des Rapses ein Stickstofffänger wie Weißklee. Auf dem intensiven Grünland ist die übliche Saatmischung mit fünf Sorten ausgesät, im extensiven und auf der Schafweide eine regionale Auswahl von sechzig Arten. Clou des Projekts: Jeweils fünf Felder einer Anbauart wachsen in der Gegenwart, die jeweils anderen hat man künstlich ins Jahr 2070 versetzt. Möglich wird diese Simulation der Klimabedingungen der Zukunft durch fahrbare Dächer, die über die eine Hälfte der Felder gespannt werden. Diese verhindern nachts die Abkühlung, steigern so die Temperatur, halten im Sommer Regen zurück; zusätzlich wird im Winterhalbjahr beregnet. Die andere Hälfte ist Regen, Sonne und Wind der Gegenwart ausgesetzt. Als Zukunft simuliert der Aufbau ein eher konservatives Szenario: Ein Klima, wie man es in etwa fünfzig Jahren für Mitteldeutschland erwartet.

Die Grundlage des Versuchs ist ein Boden, der unter Landwirten sehr beliebt ist: Schwarzerde. Sie gehört zu den fruchtbarsten Böden des Planeten, mit einem mächtigen humosen Oberboden, gut durchwühlt und durchlüftet dank der Mithilfe fleißiger Ziesel und Hamster. Ausgebildet hat sich die Schwarzerde direkt auf kalkhaltigem Löss, der während der Eiszeiten herangeweht wurde. Dank seiner krümeligen, porösen Struktur kann er einsickerndes Wasser hervorragend halten. Solche Lockerböden bilden sich im kontinentalen Klima, mit kalten Wintern und heißen Sommern und insgesamt wenig Regen oder Schnee. In der Ukraine und Russland kann die Schwarzerde mehrere Meter mächtig werden.

In Bad Lauchstädt ist die Schwarzerde einen halben Meter dick. „Wenn man das Säen nicht vergisst, erntet man auf diesem Boden eigentlich immer etwas", sagt Schädler. Das Säen haben die Forscher in den vergangenen Jahren zwar nicht vergessen, aber das Ernten stellte sich dann nicht mehr ein. Die Zukunftsdürre hat veränderten sich schneller, als Schädler und seine Kollegen es erwartet hatten. „Wir haben sofort die Veränderung gespürt", sagt er, und das habe ihn ziemlich überrascht. Zu Beginn des Versuchs sei man noch davon ausgegangen, dass die Schwarzerde alles puffern könnte und mit dem Klimawandel zurechtkäme.

Es sollte anders kommen. Zuerst verschwanden die Tiere. Schädler registrierte in den ersten beiden Jahren eine deutliche Abnahme an Individuen auf den Zukunftsfeldern, vor allem die größeren Arten waren schon nach kurzer Zeit stark dezimiert. Betroffen waren alle Anbauarten, tendenziell steckten aber Grünland und ökologischer Landbau die Veränderungen besser weg. Zudem fiel auf, dass die Tiere auf den künstlich erwärmten Feldern sogar schrumpften: Sie verloren ein Zehntel ihrer Körpergröße. „Das ist wie das Insektensterben", sagt Martin Schädler. „Es kriegt nur keiner mit."

Wenn Bodenforscher über mittelgroße und große Tiere sprechen, meinen sie nicht etwa Maulwürfe, sondern Milben, Springschwänze oder Regenwürmer. Diese unscheinbare Fauna besiedelt hauptsächlich die Hohlräume des Oberbodens und zersetzt organisches Material wie Wurzelreste oder Laub. Diese kleinen Lebewesen beeinflussen damit maßgeblich den Nährstoffhaushalt des Bodens und dessen Fruchtbarkeit, und die Dezimierung der Bodenfauna wirkt sich direkt auf diese Prozesse aus: Bevölkern weniger Tiere den Oberboden, verliert dieser an Fruchtbarkeit. Das System Boden wird träger, je geringer die Biodiversität ist. Zudem stellen die Forscher eine stärkere Schwankungsbreite bei Nährstoffen und wohl eine Folge sich verlängernder Trocken- und Regenphasen.

Mikroorganismen reagierten zwar weniger sensibel als diese Bodenfauna auf das neue Klima im Feldversuch. Aber auch ihre Abnahme trägt dazu bei, dass sich die biologische Aktivität verlangsamt, wie Schädlers Kollege Thomas Reitz herausfand. Die Robustheit der Bodenbakterien beispielsweise führt er auf ihren Fähigkeit zurück, Sporen zu bilden. Damit sind sie gegen Hitze und längere Trockenperioden gewappnet. Mehrere Millionen Individuen von Bakterien und Pilze leben in einem Gramm Boden, die allermeisten davon sind unbekannt. Es seien zähe Überlebenskünstler, erklärt Reitz, man finde sie daher auch in der Wüste und im ewigen Eis. Ein Rätsel ist dem Bodenkundler die nicht endende Dürre in seiner Region. Seit Jahren sind die Regenmengen unterdurchschnittlich, im 2018 hat sich die Trockenheit noch verschärft. Im Jahr 2019, dem Höhepunkt der Dürre in dieser Region, hatten die Forscher Schwierigkeiten, im Boden überhaupt noch einen Wurm zu finden. Prompt brachen auch die Ernten ein.

Das ist wenig verwunderlich. Wasser ist der Motor aller Prozesse im Boden. Doch selbst Schwarzerde, die Wasser gut halten kann, kommt hier an ihre Grenzen. „Ein Sandboden hätte längst aufgegeben", sagt Reiz. Daher sei er überrascht, dass es überhaupt noch Erträge gebe. Die Dürre traf vor allem den konventionellen Anbau, dort blieb die Krume wochenlang staubtrocken. Das intensiv bewirtschaftete Grünland ging 2019 völlig ein und musste komplett umgebrochen werden. Im Ökobau hingegen hielt sich der Boden kühler und feuchter, weil die Krume stärker beschattet wurde. Und das extensive Grünland kam ebenfalls mit der Trockenheit besser zurecht und erholte sich schneller.

Wenn Bodenkundler über Dürre sprechen, meinen sie nicht die meteorologische, sondern die landwirtschaftliche Definition. Sie interessieren sich weniger für ausbleibenden Regen, die Bodenfeuchte spielt für sie eine viel größere Rolle. Diese Größe wird in der Klimadebatte unterschätzt, obwohl ihr Einfluss für die Erde und deren Bewohner viel kritischer ist als variable Niederschläge, denn die Bodenfeuchte reagiert sehr sensibel auf Veränderungen der Atmosphäre. Gewitter hat nur vom Regen beeinflusst, sondern von der Bodenart und seiner Bedeckung, der Sonneneinstrahlung, der Temperatur sowie von der Qualität des Niederschlags.

Im Sommerhalbjahr versickert Wasser schlechter. Die höhere Verdunstung während der häufiger werdenden Hitzewellen lässt die Böden deutlich schneller austrocknen, dadurch verringert sich die hydraulische Leitfähigkeit: Der Boden ist wie imprägniert. Fällt nun sehr viel Regen auf einmal, kommt nur wenig unten an. Das Wasser fließt in Bäche, Seen oder in die Kanalisation. Höhere Temperaturen vergrößern daher indirekt die Dürregefahr, sie trocknen den Oberboden aus und verringern die Wasseraufnahmefähigkeit. Obendrein saugen sich Pflanzen während der länger werdenden Vegetationsperiode mit Wasser voll, was einem Boden zusätzlich Wasser entzieht.

Es gehört nicht viel Phantasie dazu, sich vorzustellen, was das am Ende für unsere Nahrungsmittelproduktion bedeuten könnte, wenn all diese Ereignisse zum Dauerzustand werden. Die Krise unter unseren Füßen ist eben nicht nur ein Umweltproblem unter vielen. Und der Boden wird die Menschen bald ganz anders berühren, wenn er zu Staub zerfallen ist.

„Der ist dann erst einmal weg"

Erosion ist die andere Bedrohung für die Böden der Welt. Ein Gespräch mit der Pedologin Christine Alewell

Frau Alewell, weltweit verschwinden jedes Jahr 36 Milliarden Tonnen fruchtbaren Bodens. Verlieren wir damit die Grundlage des Lebens?

Ja und nein. Wir haben glücklicherweise sehr viel Boden. Bis er erodiert, dauert es sehr lange. Andererseits sind die Verluste des fruchtbaren Oberbodens enorm. Zusätzlich verlieren wir fruchtbaren Boden durch Versiegelung. Das liegt vor allem daran, dass der Mensch schon immer dort gesiedelt hat, wo die Erde fruchtbar ist.

Sie beschäftigen sich mit Modellen der weltweiten Bodenerosion durch Wasser. Wie hoch ist der Verlust in Deutschland?

Nach den Zahlen des European Soil Data Centre verlieren wir allein von den Ackerböden 23 Millionen Tonnen pro Jahr. Der Boden geht meistens unmerklich verloren, die Partikel werden durch Wasser und Schwerkraft in die Gewässer und Ozeane gespült. Rillen bilden sich hierzulande seltener, nur bei Starkregenfällen. In Regionen mit extremem Klima und nicht angepasster landwirtschaftlicher Praxis bilden sich sogar richtige Furchen. Das sind dann meist die schlimmen Bilder, die wir mit der Bodenerosion verbinden.

Ist der Boden für immer verloren?

Der ist dann erst einmal weg. Und bildet sich in menschlichen Maßstäben auch nicht wieder.

Das klingt nach einem Problem …

Die Frage ist: für wen? Für Landwirte in Mitteleuropa ist der Bodenverlust kein großes Problem. Sie können im Moment noch mit Dünger und Kalk kompensieren, was verlorengeht, ohne Ernteeinbußen zu beklagen. In Entwicklungsländern allerdings verursacht ein weggeschwemmter Oberboden große Probleme. Der Verlust bedeutet nicht selten Hunger.

Und was bedeutet er für die Natur?

Für sie ist die Bodenerosion ebenfalls ein gewaltiges Problem. Wir unterscheiden dabei Onsite- und Offsite-Schäden. Mit Onsite ist der Verlust auf dem Feld selbst gemeint und mit Offsite die Schäden, die das Sediment dort anrichtet, wo es hingeschwemmt wird, beispielsweise im Gewässer. Die teils scharfkantigen Sedimente können die Kiemen der Fische verletzen, feine Sedimente verstopfen zudem die Gewässersohle. Darunter leiden dann alle Lebewesen im Gewässer.

Und was passiert mit den Nährstoffen der fortgeschwemmten Äcker?

Die landen ebenfalls in den Gewässern. Den Stickstoffeintrag bestimmt nicht so sehr die Erosion, denn dieser leicht lösliche Nährstoff wird schon mit dem Wasser ausgespült. Phosphor hingegen ist nur schwer löslich und wird deswegen hauptsächlich über die Bodenerosion in die Gewässer eingetragen. Das führt am Ende zur Eutrophierung von Seen, Flüssen und Meeren. Der Verlust von Phosphor führt aber zu noch ganz anderen Problemen. Er wird als Dünger auf die Äcker gebracht; Düngemittel mit mineralischem Phosphor werden schon in einigen Jahren knapp sein. Alle europäischen Länder müssen ihn importieren, die letzten großen Lagerstätten werden in Marokko und den Subsahara-Staaten sein. Aber dort dürfte auf lange Sicht nicht Europa am Zug sein, sondern China, Amerika und Russland. In der Schweiz hat man beschlossen, die Kreisläufe wieder zu schließen. Jegliche phosphorhaltigen Produkte, von Tierprodukten bis zum Klärschlamm, müssen künftig recycelt werden.

Vor zehn Jahren wehte ein Sturm trockenen Ackerboden auf die A 19 bei Rostock. Das verursachte eine Massenkarambolage, acht Menschen starben. Wird Erosion durch Wind noch immer unterschätzt?

Das Ereignis damals war auch für mich neu. Winderosion ist ein schleichender Prozess, der Boden bleibt an Hindernissen hängen und wird nicht gezielt in Gewässer eingetragen. Je weniger Hecken und Bäume eine Landschaft hat, desto anfälliger wird sie für die Winderosion. Zudem hängt das Fortragen der Körnchen von der Bedeckung des Ackers ab, und die ist wiederum abhängig von der Bewirtschaftung. Eine Mulchauflage, Zwischenfrüchte und Gründüngung verhindern solche Prozesse eher, sorgen für ein stabiles Bodengefüge mit verklebten Körnchen, die wir Aggregat nennen. Ein aggregierter Boden kann nicht weggetragen werden, kleine trockene Einzelkörnchen schon.

Der Pflug lockert den Boden und macht ihn anfälliger für Erosion. Wird zu häufig gepflügt?

Der Pflug lockert den Boden, das stimmt natürlich. Aber bei pfluglosen Verfahren werden Herbizide wie zum Beispiel Glyphosat gespritzt.

Was raten Sie also?

Wir müssen grundsätzlich auf extensive Bewirtschaftung umstellen und dazu unsere Ernährungsgewohnheiten auf weniger Tierprodukte umstellen und den Lebensmittelabfall drastisch reduzieren. Dann könnte effektiver produziert werden bei höheren Preisen. Wir hätten eine extensivere Landwirtschaft, mit kleineren Maschinen und weniger, aber besser strukturierter Fläche, mit Hecken, Büschen, Bäumen und Wiesenrandstreifen.

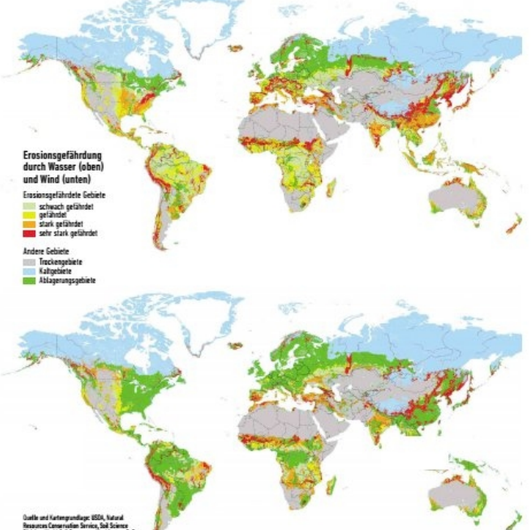
Jetzt laden Sie die Verantwortung beim Konsumenten ab.

Schon, aber die Politik handelt ja nicht. Ein Großunternehmer wie Tönnies wird unterstützt, kleine Biobetriebe sind im Überlebenskampf, und das Landwirtschaftsministerium ist nicht ambitioniert, etwas zu ändern.

Überall auf der Welt degradieren die Böden, als Folge des Ackerbaus?

Ein Drittel der Böden weltweit ist degradiert, Tendenz steigend. Die Ursachen sind zu neunzig Prozent auf landwirtschaftlich genutzten Flächen zu finden, besonders dort, wo sich die Landwirtschaft intensiviert. Was mich noch mehr schockiert, ist, dass die Biodiversität in Europa massiv einbricht. Seit 1990 ist sie im landwirtschaftlichen Gebiet auf Talfahrt. Das ist eine klare Folge der ungebremsten Intensivierung der Landwirtschaft.

Christine Alewell lehrt Umweltwissenschaften an der Universität Basel. Die Fragen stellte Andreas Frey.



Quelle und Kartengrundlage: USDA, Natural Resources Conservation Service, Soil Science Division, World Soil Resources, Washington, D. C. F.A.Z.-Bearbeitung sie.