

6.6 Intensive Landwirtschaft und Bodendegradation

JULIANE FILSER

Gesunde Böden sind außerordentlich arten- und individuenreiche Ökosysteme, deren vielfältige Leistungen für das menschliche Leben unerlässlich sind. Landwirtschaftliche Nutzung ist die Hauptursache für die Verarmung und den Verlust von Böden, der dramatische Ausmaße angenommen hat. Um dem entgegenzusteuern, ist ein interdisziplinäres Vorgehen unerlässlich. Entscheidungsträger:innen sind gefordert, mutige Entscheidungen auf Basis der Grenzen verfügbarer Ressourcen zu treffen anstatt wie bisher blind dem Wachstumsdogma zu folgen.

Intensive agriculture and soil degradation: *Healthy soils are ecosystems hosting extremely diverse and abundant communities whose manifold services are essential for human life. Agricultural land use is the prime cause for soil degradation and loss, which have reached an alarming rate. In order to counteract this, interdisciplinary approaches are indispensable. Decisionmakers are required to make courageous decisions based on planetary boundaries instead of continuing to blindly follow the dogma of growth.*

Agricultura intensiva y degradación del suelo: *Los suelos sanos son ecosistemas extraordinariamente ricos en especies e individuos y cuyos diversos servicios son esenciales para la vida humana. El uso agrícola es la principal causa del empobrecimiento y pérdida de suelos, que ha alcanzado proporciones dramáticas. Para contrarrestar esto, es fundamental un enfoque interdisciplinario. Los responsables de la toma de decisiones se enfrentan al desafío de tomar decisiones valientes basadas en los límites de los recursos disponibles en lugar de seguir ciegamente el dogma del crecimiento como antes.*

Boden – eine essenzielle, aber endliche Ressource

Oberflächlich betrachtet erscheint landwirtschaftlicher Boden als eine unerschöpfliche Ressource. Aus größerer Perspektive ändert sich das Bild jedoch rasch: Bekanntlich sind etwa zwei Drittel der Erde mit Meerwasser bedeckt, und ein großer Teil der Landmasse ist aus klimatischen, physiogeographischen oder geologischen Gründen landwirtschaftlich nicht oder kaum nutzbar. Weltweit werden etwa fünf Milliarden Hektar, entsprechend 38% der Landmasse, landwirtschaftlich genutzt – davon wiederum ein Drittel als Acker-, der Rest als Grünland (FAO 2020a). Was wir landläufig als Boden bezeichnen, ist jedoch nur eine hauchdünne Haut, die über lange Zeiträume im Zusammenspiel von Klima, Ausgangsgestein, Grundwasser und Organistentätigkeit entstanden ist. Verkleinerte man zur Veranschaulichung die Erde mit ihren ca. 12.000 km Durchmesser auf die Größe eines Apfels von 12 cm Durchmesser, dessen Schale den Boden repräsentiert, so wäre diese Schale nur 1-10 nm dünn (1 nm = 1 Millionstel mm).

Hochleistungsorganismus Boden

Fruchtbare Böden sind die unabdingbare Grundlage menschlichen Lebens: 90-95 Prozent aller Nahrungsmittel sind terrestrischen Ursprungs. Böden produzieren außerdem Holz und Pflanzenfasern, v.a. Baumwolle, bauen organische Stoffe aller Art ab (einschließlich anthropogener organischer Schadstoffe) und filtern damit Grund- und Oberflächengewässer. Zudem spielen sie eine essenzielle Rolle im weltweiten Kohlenstoffhaushalt, der im Kontext lebensbedrohlicher globaler Umweltveränderungen aktuell wichtiger denn je ist:

Böden enthalten – noch – mehr als doppelt so viel Kohlenstoff wie die Atmosphäre. Dies ist nur ein kleiner Überblick der wichtigsten Bodenfunktionen. Eine umfassende Übersicht der vielfältigen Leistungen von Böden findet sich in FAO & ITPS (2015). Weitaus weniger bekannt als die Leistungen von Böden ist jedoch, dass sie eine derartige Vielfalt und Menge an Organismen beherbergen, dass sie als »the poor man's tropical rainforest« bezeichnet werden (USHER et al. 1979). Eben diese Organismen vollführen im Zusammenspiel und in Wechselwirkung mit den unbelebten Komponenten des Bodens, Mineralien und tote organische Substanz, die genannten Leistungen.

Den Löwenanteil leisten dabei Mikroorganismen, also Pilze, Bakterien und Archaeen: Nach den Pflanzenwurzeln, die den größten Teil der belebten Biomasse im Boden ausmachen, dominieren sie den Lebensraum Boden sowohl in der Masse als auch in der Artenzahl (CROWTHER et al. 2019). Mikroorganismen besitzen ein unüberschaubares biochemisches Arsenal, um organische Stoffe aller Art – einschließlich der meisten menschengemachten organischen Schadstoffe – abzubauen und letztendlich zu mineralisieren. Die so gebildeten Gase, in erster Linie CO₂ und N₂, aber auch potente Treibhausgase wie Methan und Lachgas, entweichen in die Atmosphäre, während die gebildeten Mineralien in der Bodenlösung wieder von Pflanzen aufgenommen werden können. Besonders wichtig für die Pflanzenernährung sind jedoch andere Leistungen von Bodenmikroorganismen: zahllose frei oder symbiontisch in Pflanzenwurzeln lebende Bakterien können Luftstickstoff binden, und der weitaus größte Teil der Pflanzenwurzeln profitiert von Symbiosen mit Mykorrh-

hizapilzen. Diese bauen zum einen organische Substanz ab, zum anderen können sie aufgrund des feinen Durchmessers ihrer Hyphen Wasser- und Nährstoffvorräte weitaus effektiver erschließen als Pflanzenwurzeln.

Mikroorganismen sind zudem wichtig für die Bodenstruktur: Exopolymere und Pilzhyphen verkleben Mineralpartikel miteinander und mit toter organischer Substanz, sowohl im Boden als auch an der Oberfläche. So sorgen sie für eine verbesserte Wasserhaltekapazität und Erosionsstabilität, insbesondere auch durch Krustenbildung auf Sandböden. Hier kommen auch noch Algen und Flechten – Symbiosen aus Algen und Pilzen – mit ins Spiel. Intakte Krusten wirken nicht nur der Desertifikation entgegen, sie gehören auch zu den Pionieren bei der Bodenneubildung auf Oberflächen der verschiedensten Arten von Ausgangsgesteinen. Aufgrund dieses enormen Leistungspotenzials spielen Mikroorganismen eine zentrale Rolle im Kohlenstoffhaushalt und in allen anderen biogeochemischen Prozessen im Boden (CROWTHER et al. 2019).

Aufgrund der zahlenmäßigen Dominanz von Mikroorganismen im Boden wird allerdings immer wieder übersehen, dass Mikroorganismen und Pflanzen-

wurzeln nicht die einzigen Akteure im Boden sind: ihre Aktivität und Zusammensetzung wird ganz entscheidend von Bodentieren beeinflusst, die ebenfalls eine beeindruckende Bandbreite an Größen, Formen, Umweltansprüchen und Aktivitäten abdecken (FAO et al. 2020b). Größere Bodentiere wie Maulwürfe, Regenwürmer, Termiten oder Ameisen (Abb. 6.6-1) verändern allein durch ihre quantitativ bedeutsame Grabtätigkeit den Wasserhaushalt eines Bodens ganz beträchtlich. Durch das Fressen von abgestorbener organischer Substanz, häufig gemeinsam mit Bodenmineralen, wird die durch Mikroorganismen besiedelbare Oberfläche drastisch erhöht. Dadurch steigt ihre Biomasse erheblich, aber die Zusammensetzung verändert sich nach der Darmpassage. Die resultierenden Ausscheidungen bilden die Grundlage eines qualitativ hochwertigen, produktiven Bodens: gegenüber dem Umgebungsboden sind Wasserhaltekapazität, Erosionsstabilität und Nährstoffgehalt deutlich erhöht. Kleinere Bodentiere wie Springschwänze, Milben, Fadenwürmer oder tierische Einzeller ernähren sich überwiegend von Mikroorganismen. Durch das Befressen von Algen-, Pilz- und Bakterienrasen werden die Mikroorganismen in der ex-



Abb. 6.6-1: Auswahl von Bodenorganismen. Von links oben im Uhrzeigersinn: Pilze, Hosenbiene (*Dasyptoda* sp.), Wolfsspinn (Pardosa sp.), Mistkäfer (*Geotrupes* sp.), Bandfüßer (*Polydesmuss* p.) und Asseln (*Armadillidium vulgare*, *Oniscus asellus*), Maulwurf (*Talpa europaea*), Regenwurm (*Lumbricus* sp.), Blattschneiderameisen, Springschwanz (*Orchesella villosa*). Größenverhältnisse nicht maßstabsgetreu.

ponentiellen Wachstumsphase und damit ihre Aktivität konstant gehalten oder sogar gesteigert; zudem sorgen Bodentiere für ihre Verbreitung (FILSER et al. 2016).

Gefahren durch die Landwirtschaft

Doch Böden, Bodenorganismen und damit die von ihnen vollführten Leistungen sind massiv bedroht. Zum einen hat sich aufgrund des Bevölkerungswachstums die pro Kopf zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche zwischen 1961 und 2016 halbiert (FAO 2020a), einhergehend mit einer massiven Intensivierung der Nutzung – sprich: Ertragsoptimierung durch Züchtung und gentechnische Modifikationen, vor allem aber durch erhöhten Einsatz von Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln (AMUNDSEN et al. 2015). Zunehmend wurde und wird aufgrund der gestiegenen Nachfrage immer mehr Wald in Agrarland umgewidmet, insbesondere in tropischen Ländern. Zwischen 1990 und 2020 ging – fast ausschließlich in Südamerika und Afrika und hauptsächlich durch Brandrodung – eine Waldfläche von 178 Millionen ha verloren, was in etwa der Größe Libyens entspricht (FAO 2020b). Weniger als die Hälfte des in Wäldern gebundenen Kohlenstoffs befindet sich in der pflanzlichen Biomasse, der Rest ist im Boden. Bei Umwidmung in landwirtschaftliche Nutzfläche geht ein großer Teil dieses Kohlenstoffs in sehr kurzer Zeit verloren – je nach den herrschenden Umweltbedingungen durch Erosion, durch Auswaschung oder Ausgasung, im ungünstigsten Fall als Methan. Die umgewidmeten Böden werden zumeist überweidet (Abb. 6.6-2), was zu weiteren Kohlenstoffverlusten führt und die Desertifikation befördert.

Mit dem organischen Kohlenstoff, der die Nahrungsgrundlage der Mikroorganismen darstellt, geht auch der Lebensraum für das Ökosystem Boden verloren. Insbesondere der Oberboden, in dem die Mehrheit lebt, verändert sich drastisch: Ein großer Teil



Abb. 6.6-2: Überweideter Boden im Norden Kameruns.

der Bakterien wird von Pilzen abgelöst, und das davon lebende Nahrungsnetz schrumpft deutlich (FAO et al. 2020). Besonders betroffen sind größere Wirbellose, die sich, wenn überhaupt, oft erst nach Jahrzehnten wieder erholen. Derart verarmter Boden weist erhebliche Qualitätseinbußen auf: die Anfälligkeit für Pathogene steigt, die Fruchtbarkeit sinkt und damit auch die Erträge. Mit dem Verlust eines großen Teils des Bodenlebens einher geht unweigerlich Erosion durch Wind oder Wasser, verbunden mit weiterem Kohlenstoffaustrag und nur allzu oft unwiederbringlichem Verlust des Oberbodens selbst. Etwa 30% - 40% der globalen Landfläche sind von Bodendegradation betroffen (RUMPEL et al. 2018). Der größte Teil davon geht auf Kosten der Landwirtschaft (DRENCKHAHN et al. 2020), insbesondere durch Abholzung und Brandrodung. Auswertungen zahlreicher Studien ergaben bei Umwandlung von Wald in Ackerland im Mittel einen Verlust an organischem Kohlenstoff von 25%-41% (Tropen), 36%-52% (gemäßigte Breiten) und 31% in der borealen Klimazone. Sehr große Verluste resultierten auch aus der Umwandlung von Weide- in Ackerland, z.B. 32% für gemäßigtes Klima oder 59%, gemittelt über gemäßigtes und tropisches Klima. Die beispielhaft genannten Zahlen variieren zwar auch zwischen Metaanalysen, bedingt durch methodische Details, betrachtete Zeiträume und weil die Kohlenstoffentwicklung in tieferen Bodenschichten nur unzureichend untersucht und damit wenig verstanden ist, jedoch der grundsätzliche Trend ist eindeutig (FAO & ITPS 2015).

Die bedeutendsten Kohlenstoffvorräte liegen im kühl-gemäßigten und vor allem borealen Klima der Nordhalbkugel (CROWTHER et al. 2019). Hier ist nicht nur Abholzung relevant, sondern vor allen Dingen Entwässerung von Mooren und Sümpfen, um diese Flächen landwirtschaftlicher Nutzung zugänglich zu machen. Zwischen 32% und 46% des gesamten Boden-Kohlenstoffs sind in Mooren und Sümpfen gebunden, jedoch wurden bereits 10%-20% davon in Agrarland umgewandelt (s. Kap. 3.6) (RUMPEL et al. 2018). Mit dieser Maßnahme gehen wegen der resultierenden Freisetzung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas nicht nur gigantische Mengen an Kohlenstoff verloren, sondern aufgrund des extrem hohen Treibhauspotenzials von Methan und vor allem Lachgas verstärkt sich auch die globale Klimaerwärmung drastisch (FAO & ITPS 2015). Erwärmung in borealen Klimazonen und damit Verschiebung derselben setzt weitere Anreize zur landwirtschaftlichen Nutzung, womit sich der Teufelskreis verstärkt. AMUNDSEN et al. (2015) belegen eindrucksvoll den bedeutenden Anteil der Landwirtschaft an Bodendegradation und den Zusammenhang mit globalen Klimaveränderungen.

Der Fokus auf Produktion und Stoffströme (Biomasse, Kohlenstoff, Stickstoff usw.) verschleiert häufig, dass sämtliche biotischen Prozesse auf Wasser angewiesen sind. In ariden und semiariden Gebieten ist Bewässerung an der Tagesordnung, doch diese berücksichtigt häufig nicht die Niederschlags- und Grundwasserneubildungsrate. Markantestes Beispiel dafür ist der fast vollständig ausgetrocknete Aralsee – Folge von Bewässerung für den Baumwollanbau. Folge solcher Maßnahmen sind Absinken des Grundwasserspiegels und versalzte Oberböden, die je nach Schweregrad nicht oder kaum mehr nutzbar sind. Zum Teil wird Brauchwasser zur Bewässerung eingesetzt, was durch dessen Salzgehalt und die hohen Verdunstungsraten zu einer noch rascheren Versalzung führt. Vollkommen unerklärlich ist, warum in trocken-heißen Gegenden immer noch Sprinklerbewässerung vorzufinden ist – obwohl es doch wesentlich sparsamere Alternativen gibt, etwa der lange etablierte Trockenfeldbau, Tropfbewässerung sowie geschickte Sortenwahl oder Feldanlage (s. Kap. 3.3) (Abb. 6.6-3). Die Dürren der drei Sommer 2018-2020 haben in den Blickpunkt gerückt, wie vulnerabel land- und forstwirtschaftliche Nutzung in Mitteleuropa, und wie brandanfällig Wälder nicht nur in Australien oder Kalifornien, sondern auch in der borealen Zone sind.



Abb. 6.6-3: Weinanbau auf Lanzarote. Die Stöcke der trockenresistenten Rebsorte *Malvasia* sitzen auf Vulkanasche in trichterförmigen Mulden. Halbmondförmige, gegen den Hang gerichtete Steinmüerchen sammeln zusätzlich Tau und halten bei Niederschlägen ablaufendes Wasser im Trichter (»mini-catchment«).

Dass Pestizide und Antibiotika aus der Tierproduktion weit mehr Schaden anrichten als nur die Zielorganismen abzutöten, ist hinlänglich bekannt (FAO & ITPS 2015). GUNSTONE et al. (2021) analysierten über 400 Studien zu Bodeninvertebraten und kamen zu dem Schluss, dass über 70% der in den Artikeln dargestellten Parameter durch Pestizide aller Art beeinträchtigt wurden. Dabei ist noch nicht oder kaum berücksichtigt, dass viele der modernen, hoch wirksamen und daher nur in geringen Konzentrationen ausgebrachten Pestizide im Gelände häufig unter der analytischen Nachweisgrenze liegen, ihre Metaboliten nicht bekannt, nicht gemessen oder gar noch toxischer sind als die Ausgangssubstanz, und dass sich die Wirkungen mehrerer Substanzen in der Regel addieren, im schlimmsten Fall sogar multiplizieren. Auch indirekte Effekte, etwa wenn durch Herbizide den für die Vogelbrut notwendigen Insekten die Nahrungsgrundlage entzogen wird, finden bei der Chemikalienregulierung keine Berücksichtigung (SCHÄFFER et al. 2018). SCHÄFFER et al. (2019) verweisen auf diese Defizite im Zulassungsverfahren und machen konkrete Vorschläge, wie die Umweltregulierung angepasst werden könnte, um einen weiteren Verlust an Biodiversität in Agrarlandschaften verhindern zu helfen.

Revitalisierung

Kohlenstoffverluste und der damit verbundene Verlust von Lebensraum sind nicht irreversibel (solange die Bodenmatrix nicht durch Erosion verlorengegangen ist). Metaanalysen haben ergeben, dass z.B. durch Rückwandlung von Ackerland zu Sekundärwald die Kohlenstoffgehalte um 53% stiegen, ja, selbst bei Umwidmung von Urwald zu Weideland um 8% (FAO & ITPS 2015). Doch auch auf landwirtschaftlichen Nutzflächen kann das Bodenleben stimuliert werden. Durch Erhöhung des Kohlenstoffgehalts um 0,4% pro Jahr (entsprechend der 4-Promille-Initiative) in Afrika, Asien, und Lateinamerika erhöhten sich die Erträge um 1,3% (RUMPEL et al. 2018).

In den 1990er Jahren wurde mit dem Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) das größte Agrarökosystemforschungsprojekt Europas auf Landschaftsebene durchgeführt. Das Klostergut Scheyern mit einer Fläche von insgesamt 143 ha liegt im bayerischen Tertiärhügelland und beinhaltet eine große Vielfalt an Bodentypen. Bis 1990 war es konventionell genutzt worden, 1991/1992 wurde die gesamte Ackerfläche zunächst mit Winterweizen, dann mit Sommergerste bestellt, um in den darauffolgenden Jahren auf standort- und umweltgerechte Nutzung umzustellen (Abb. 6.6-4). Auf den wertvolleren Böden wurde eine

viergliedrige Fruchtfolge nach den Richtlinien des integrierten Pflanzenbaus eingeführt, während auf den weniger ertragreichen sandigen und z.T. kiesigen Standorten ein ökologisches Bewirtschaftungssystem mit siebengliedriger Fruchtfolge etabliert wurde. Erosionsgefährdete Bereiche wurden in Brachen umgewandelt, und es wurden einige Hecken angelegt (FILSER et al. 2002). In den fünf Jahren nach Nutzungsumstellung stieg die mikrobielle Biomasse in allen Nutzungsformen an, lediglich auf Grünland, das schon vorher so genutzt worden war, nicht. Die Anzahl an Springschwänzen ging zurück, während gleichzeitig die Regenwurmbiomasse fast überall deutlich anstieg (Abb. 6.6-5). Besonders markant war dieser Anstieg auf der Fläche O3, einem ehemaligen Hopfenfeld: durch die langjährige Intensivwirtschaft mit hohem Pflanzenschutzmitteleinsatz waren in den ersten Jahren der Studie praktisch keine Regenwürmer mehr vorhanden. Sechs Jahre nach Umstellung auf ökologischen Landbau hatte sich die Population weitgehend erholt.

Auch der berühmte DOK-Versuch, ein Langzeitexperiment in der Schweiz, dokumentierte eindrucksvoll, dass landwirtschaftliche Nutzung keineswegs mit Bodenverschlechterung einhergehen muss: sowohl im ökologischen als auch im biologisch-dynamischen

System war 21 Jahre nach Versuchseinrichtung nicht nur das Bodenleben wesentlich vielfältiger und aktiver als in den beiden konventionellen Systemen (mit Mist- bzw. mineralischer Düngung), sondern auch die Bodenstruktur hatte sich nachhaltig zum Besseren verändert. Das Kohlenstoff-Akkumulationspotenzial ökologisch genutzter landwirtschaftlicher Oberböden in gemäßigten Klimazonen belegen auch spätere Metaanalysen (z.B. GATTINGER et al. 2012, LORI et al. 2017). Lori et al. berichten von Steigerungen der mikrobiellen Biomasse und Aktivität zwischen 32% und 84% im Vergleich zu konventioneller Nutzung, die vor allen Dingen auf vielfältige Fruchtfolgen mit Leguminosen und organische Einträge zurückzuführen sind. Jedoch ist zu bedenken, dass der positive Effekt ökologischer Landnutzung kontextabhängig ist (SEUFERT & RAMANKUTTY 2017) und die Erträge anfälliger für Schwankungen sind als in konventionellen oder anderen extensivierten Anbausystemen (KNAPP & VAN DER HEIJDEN 2018). (Für weitere Maßnahmen gegen Bodendegradation siehe Kap. 7.6)

Ursachenbekämpfung statt Symptome behandeln

Der menschliche Einfluss auf die globalen Stoffkreisläufe hat seit Langem einen äußerst kritischen Punkt erreicht. Planetare Grenzen sind an mehreren Stellen überschritten, und alle vier – Phosphor, Stickstoff, Landnutzungsänderung und Süßwassernutzung – sind eindeutig primär auf die Landwirtschaft zurückzuführen (STEFFEN et al. 2015). Wie AMUNDSEN et al. (2015) darlegen, sind Böden längst bei Alarmstufe Rot angelangt: die produktivsten landwirtschaftlichen Böden weltweit sind erschöpft, und Erosionsraten übersteigen die jährliche Bodenneubildungsrate um das 20- bis 100fache (DRENCKHAHN et al. 2020). So optimistisch die zuvor und in Kap. 7.6 genannten konkreten Möglichkeiten zur Bodenverbesserung auch stimmen mögen: die Degradationsraten von Böden steigen weiter an, wenn auch in den letzten Jahren zumindest bei der dafür hauptverantwortlichen Entwaldung in etwas geringerem Ausmaß (FAO 2020a). Ursache dafür ist in erster Linie der steigende Bedarf an Nahrungsmitteln und anderen Verbrauchsgütern, aber auch an Profit. Es ist höchste Zeit, die Dinge beim Namen zu nennen und die Ursachen entschlossen anzupacken. Dies erfordert Geschick, Geduld und sehr viel Diplomatie – vor allem aber Mut zu politischen Entscheidungen. Die wichtigsten Punkte sind:

- Reduktion des Bevölkerungswachstums. Ganz entscheidende Steuergröße ist hier Bildung von Frauen, vor allem in Ländern des globalen Südens (VOLLSET



Abb. 6.6-4: Ansicht des Versuchsguts Scheyern vor (1992) und nach Umstellung (1994) von konventioneller Nutzung auf standortgerechte Nutzung – Blick auf integrierten Pflanzenbau und Brachland.

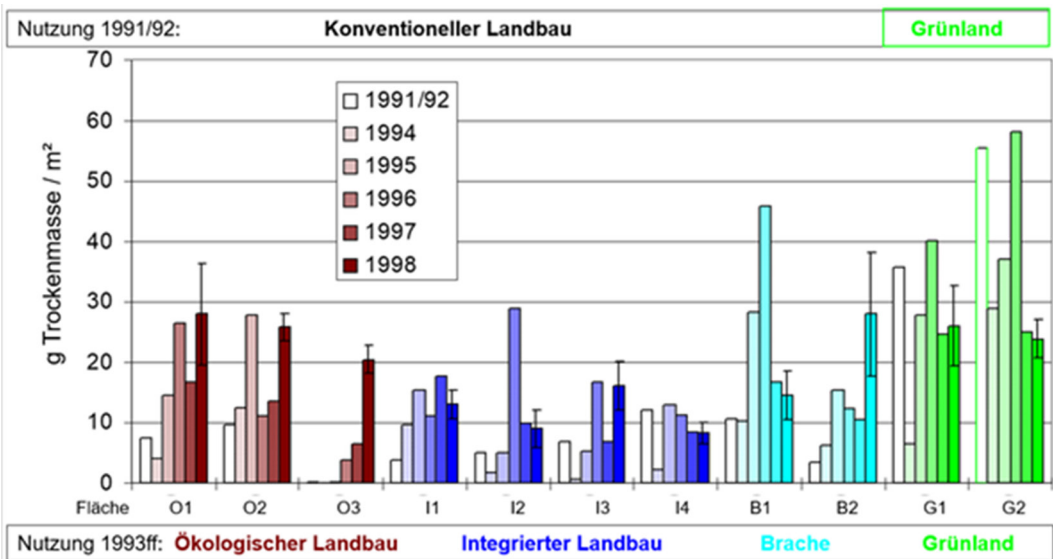


Abb. 6.6-5: Regenwurmbiomasse auf ausgewählten Flächen des Versuchsguts Scheyern vor (1991/1992) und nach Nutzungsumstellung. Verändert nach FILSER et al. (1999)

- et al. 2020). Wahrscheinlich noch wichtiger wäre die Verabschiedung der Kirchen vom Wachstumsdogma: Das althergebrachte »Seid fruchtbar und wachset und mehret euch« ist nicht vertretbar, wenn der resultierende Nachwuchs zwangsläufig Naturkatastrophen, Krankheiten und Hungersnöten zum Opfer fällt oder als Kanonenfutter oder »Märtyrer« missbraucht wird.
- Erneuerung der Lebensmittelindustrie. Alle seriösen Publikationen zu Welternährung, Klimawandel oder zur Biodiversitätskrise verweisen auf die Wichtigkeit, den Fleischkonsum drastisch zu reduzieren (DRENCKHAHN et al. 2020). Vor diesem Hintergrund kann es nicht länger angehen, Billigfleisch so massiv zu bewerben und die tierische Massenproduktion weiter voranzutreiben. Stattdessen ist es ratsam, eine progressive Besteuerung von Fleischwaren entsprechend der produktionsbedingten Umweltschäden – dies sind keineswegs nur klimarelevante – einzuführen. In puncto Weidehaltung ist gründlich zu rechnen, welche Form das größte C-Speicherungspotenzial hat und ob damit womöglich die vieldiskutierten Methanemissionen kompensiert werden können.
 - Wirtschaftliche Transformation. Die planetaren Grenzen sind fast 50 Jahre nach »Die Grenzen des Wachstums« (MEADOWS et al. 1972) endlich anzuerkennen. Wirtschaftswachstum darf nicht mit weiterem Ressourcenverbrauch einhergehen, sondern muss in Richtung Nachhaltigkeit gelenkt werden. Geldströme sind in Richtung Ressourcenschonung zu steuern. Dafür unerlässlich sind multidisziplinäre

Ansätze in der Forschung und ein intensiver Dialog zwischen allen Beteiligten (AMUNDSEN et al. 2015).

- Mutige politische Entscheidungen. Es kann nicht länger angehen, dass lange verabschiedete Gesetze nicht angewendet werden, politische Entscheidungen in erster Linie parteipolitischen Zielen dienen und in dem Ausmaß durch Lobbyismus auf interessensgeleitete Ziele von Großunternehmen ausgerichtet sind wie bisher. Politik hat den Interessen der Bevölkerung zu dienen. Wie weit der gesetzliche Auftrag von der Realität abweicht, haben DRENCKHAHN et al. (2020) kürzlich herausgestellt: »Die 36 Prozent der EU-Haushaltsmittel, die in die Landwirtschaft fließen (jährlich etwa 55 Milliarden Euro, davon Deutschland etwa 6 Milliarden Euro) sind gegenüber einem 1,44 Prozent Anteil am Bruttoinlandsprodukt der EU-Landwirtschaft (Deutschland 0,7 Prozent) erheblich und eröffnen bedeutende finanzielle Perspektiven für biodiversitätsfördernde Agrarumweltprogramme«.
- Akzeptanz befördern. Damit die getroffenen Entscheidungen erfolgreich umgesetzt werden können, müssen die einzelnen Schritte mit Betroffenen aller Gruppen gemeinsam erarbeitet werden. Auf Verbote sollte dabei, wo immer möglich, verzichtet werden, stattdessen sollten Anreizsysteme etabliert werden, die umweltverträgliches Verhalten befördern. Diese Anreizsysteme sollten primär die breite Bevölkerung adressieren, um eine entsprechend großflächige Wirkung zu erzielen. Für eine langfristig anhaltende Wirkung ist es essenziell, bereits in früher Kindheit

das Bewusstsein in Richtung Umwelt zu lenken und in der Schulbildung nachhaltige Entwicklung in die gesamte Ausbildungsphase zu integrieren.

Literatur

- AMUNDSON, R., A. BERHE, J. HOPMANS, C. OLSON et al. (2015): Soil and human security in the 21st century. *Science*, 1261071-1261071, 348(6235). doi:10.1126/science.1261071.
- CROWTHER, T., J. VAN DEN HOOGEN, M. WAN, M. MAYES et al. (2019): The global soil community and its influence on biogeochemistry. *American Association for the Advancement of Science*, 365(6455). doi: 10.1126/science.aav0550.
- DRENCKHAHN, D., A. ARNETH, J. FILSER et al. (2020): Diskussionspapier (Diskussion Nr. 24). Globale Biodiversität in der Krise – Was können Deutschland und die EU dagegen tun? = Global biodiversity in crisis: What can Germany and the EU do about it? 2020_Diskussionspapier_Biodiversitätskrise_web.pdf (leopoldina.org).
- FAO (2020a). Land use in agriculture by the numbers: <http://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/>; Zugriff: 01.09.2021.
- FAO (2020b): Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- FAO, ITPS, GSBI, CBD and EC (2020): State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>.
- FAO & ITPS (2015): Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- FILSER, J., A. DETTE, H. FROMM, A. LANG et al. (1999): Reactions of soil organisms to site-specific management: the first long-term study at the landscape scale. *EcoSys. (Supplement)*, 28, 139-147.
- FILSER, J., K.-H. MEBES, K. WINTER, A. LANG & A. KAMPICHLER (2002): Long-term dynamics and interrelationships of soil Collembola and microorganisms in an arable landscape following land use change. *Geoderma* 105: 201-221.
- FILSER, J., J. H. FABER, A. TIUNOV et al. (2016): Soil fauna: key to new carbon models. *Soil* 2, 565-682. doi:10.5194/soil-2-565-2016.
- GATTINGER, A., A. MULLER, M. HAENI et al. (2012): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 18226-18231. doi:10.1073/pnas.1209429109.
- GUNSTONE, T., T. CORNELISSE, K. KLEIN et al. (2021): Pesticides and Soil Invertebrates: A Hazard Assessment. *Frontiers in Environmental Science*, 9. doi:10.3389/fenvs.2021.643847
- KNAPP, S. & M. VAN DER HEIJDEN (2018): A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications*, 9(1). doi:10.1038/s41467-018-05956-1.
- LORI, M., S. SYMNACZIK, P. MÄDER et al. (2017): Organic farming enhances soil microbial abundance and activity - A meta-analysis and meta-regression. *PLoS One*, 12(7), e0180442. doi: 10.1371/journal.pone.0180442.
- MEADOWS, D. H., J. RANDERS & D. L. MEADOWS (1972): *The Limits to Growth*. Yale University Press, 2013.
- RUMPEL, C., F. AMIRASLANI, L. S. KOUTIKA, P. SMITH et al. (2018): Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges. *Nature* 564, 32-34.
- SCHÄFER, R. B., M. LIESS, R. ALTENBURGER, J. FILSER et al. (2019): Future pesticide risk assessment: narrowing the gap between intention and reality. *Environmental Sciences Europe*, 31:21. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0203-3>.
- SCHÄFFER, A., J. FILSER, T. FRISCHE et al. (2018): Der stumme Frühling: zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes. Diskussion Nr. 16. Nationale Akademie der Wissenschaften - Leopoldina, Halle (Saale): 1-65. English title: The Silent Spring – On the need for sustainable plant protection. Detailview (leopoldina.org).
- SEUFERT, V. & N. RAMANKUTTY (2017): Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture. *Science advances*, 3(3), e1602638. doi: 10.1126/sciadv.1602638.
- STEFFEN, W., K. RICHARDSON, J. ROCKSTRÖM et al. (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). doi:10.1126/science.1259855.
- USHER, M. B., P. DAVIS, J. HARRIS & B. LONGSTAFF (1979): A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities. In: ANDERSON, R. M., B. D. TURNER & L. R. TAYLOR (eds): *Population Dynamics*. pp. 359-84. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- VOLLSET, S., E. GOREN, C. YUAN et al. (2020): Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 1285-1306, 396(10258). doi:10.1016/S0140-6736(20)30677-2.

Kontakt:

Prof. Dr. Juliane Filser
Allgemeine und Theoretische Ökologie
Universität Bremen
filser@uni-bremen.de

FILSER, J. (2021): *Intensive Landwirtschaft und Bodendegradation*. In: LOZÁN J. L., S.-W. BRECKLE, H. GRAßL & D. KASANG (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung*. S. 291-297. *Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg*. www.warnsignal-klima.de. DOI:10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.41