

Landnutzung im Klimawandel: Herausforderungen für eine zukunftsfähige Landwirtschaft

Ina Meyer^{1*}

Zusammenfassung

Der Agrarsektor ist von den Auswirkungen des Klimawandels direkt betroffen und trägt zugleich zur Freisetzung von Treibhausgasen (THG) bei. Nicht nachhaltige Bodenbewirtschaftungspraktiken gefährden zunehmend die Resilienz und Produktivität landwirtschaftlicher Böden. Landwirtschaft steht folglich im Fokus des Klimaschutzes. Die Sequestrierung von Kohlenstoff durch Humusaufbau gewinnt in der Diskussion über terrestrische Kohlenstoffsinken an Bedeutung. Ein zentraler Indikator für die Qualität des Bodens ist der organische Kohlenstoffgehalt (SOC), der erhöht werden sollte. Managementpraktiken zur Wiederherstellung denaturierter Böden sowie die Renaturierung von Mooren können den SOC Bestand steigern. Der ökologische Landbau flankiert durch eine Umstellung von Ernährungsgewohnheiten hin zu geringem Fleischkonsum kann zu einer erheblichen Verringerung von insbesondere Nicht-CO₂-THG Emissionen der Landwirtschaft beitragen. Diese Maßnahmen sollten im Sinne einer zukunftsfähigen Landwirtschaft gefördert werden.

Schlagwörter: Bodenkohlenstoff, Kohlenstoffsinken in Böden, biologische Landwirtschaft, Fleischkonsum, Ökologisierung der Landwirtschaft

Summary

The agricultural sector is directly affected by the impacts of climate change, and, at the same time, contributes to the release of greenhouse gas (GHG) emissions. Unsustainable soil management practices are increasingly threatening the resilience and productivity of agricultural soils. Consequently, agriculture is a central target for climate protection strategies. Here, carbon sequestration through humus build-up is gaining importance in the discussion of terrestrial carbon sinks. A key indicator of soil quality is the soil organic carbon (SOC) content which should be enhanced. Management practices to restore denatured soils as well as of renaturation of peatlands can increase SOC stocks. Organic agricultural practices flanked by dietary changes towards low meat consumption can contribute to significant reductions, especially in non-CO₂ GHG emissions from agriculture. These measures should be incentivized in the pursuit of sustainable agriculture.

Keywords: soil organic carbon, soil organic carbon sinks, organic farming, meat consumption, sustainable agriculture

Einleitung

Land und seine Böden sind Grundlage für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, von Biomasse für die Energiegewinnung sowie für andere Ökosystemleistungen wie die Regulierung der Wasserqualität und -menge, für Erosions- und Hitzeschutz, die Erhaltung der Biodiversität und die Abschwächung des Klimawandels durch die Bindung von Kohlenstoff im Boden.

¹ Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO), Arsenal Objekt 20, A-1030 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Ina Meyer, email: ina.meyer@wifo.ac.at

Die zunehmende Konkurrenz um Land resultiert in Landnutzungsänderungen. Nicht nachhaltige Praktiken und Schadstoffeinträge verursachen dabei Bodendegradation in verschiedenen Formen (physisch, chemisch und biologisch). Die wichtigsten direkten Ursachen für Bodendegradation, d.h. vom Menschen verursachte Prozesse, die zum Rückgang biologischer Vielfalt und Ökosystemfunktionen oder -leistungen der Böden führen, sind intensive Land- und Forstwirtschaft, Urbanisierung, Infrastrukturausbau und Rohstoffabbau sowie der Klimawandel (IPBES 2018). Land- und Bodendegradation ziehen wirtschaftliche Folgen nach sich, denn sie zerstören das Naturkapital, das die wohlfahrtsrelevanten Ökosystemleistungen hervorbringt. Die Kosten für die Vermeidung von Schäden sind bedeutend geringer (EEA 2020), woraus sich akuter Handlungsbedarf ableitet.

Der Agrarsektor ist von den Auswirkungen des Klimawandels direkt betroffen und trägt zugleich zur Freisetzung von Treibhausgasen bei. Der Klimawandel beeinflusst die landwirtschaftliche Produktivität vor allem durch wärmere Mittel- und Extremtemperaturen, veränderte Niederschlagsregime und erhöhte CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre. Dies wirkt sich z.T. bereits heute nachteilig auf die Ernährungssicherheit aus. Bis 2050 wird ein Rückgang der Ernteerträge um durchschnittlich 10 %, in bestimmten Regionen um bis zu 50 % prognostiziert (IPBES 2018, Jägermeyr et al. 2021, Mbow 2019). Nach Angaben des IPCC¹ werden etwa ein Viertel aller anthropogenen THG Emissionen weltweit durch die Land- und Forstwirtschaft sowie durch Landnutzungsänderungen (AFOLU²) verursacht.³ Der Landwirtschaft kommt daher eine bedeutende Rolle für den Klimaschutz zu.

Aktivitäten in der Landwirtschaft wirken sich direkt auf die Bodenqualität aus und beeinflussen Bodenerosion, Verdichtung, Gehalt an organischer Substanz, biologische Vielfalt, Bodenverschmutzung (Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, Mineraldünger) oder Versalzung (EEIG 2021). Ein wichtiger Indikator für die Qualität des Bodens ist der organische Kohlenstoffgehalt (SOC – soil organic carbon). Organischer Kohlenstoff im Boden verbessert die Bodenstruktur und erhöht das Wasserrückhaltevermögen. Abfluss und Erosion werden so verhindert. Ein Verlust an SOC kann die Fähigkeit des Bodens einschränken, Nährstoffe für eine nachhaltige Pflanzenproduktion zu liefern. Atmosphärisches CO₂ kann als Kohlenstoff in der Vegetation und in den Böden der terrestrischen Ökosysteme gespeichert werden. Landbasierte Kohlenstoffbindung ist ein wichtiger Baustein einer globalen Klimaschutzstrategie (Lal 2004) und einer zukunftsfähigen Landwirtschaft.

Das EU-Klimapaket strebt u.a. eine Anpassung der EU-Verordnung über Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF 2018/841) an, mit dem Ziel, das Potential an Kohlenstoffsinken zu erhöhen. Bis 2030 sollen Kohlenstoffsinken in Höhe von 310 Mio.t CO_{2eq} geschaffen werden und ab 2035 der AFOLU Sektor klimaneutral sein, einschließlich der Nicht-CO₂-Emissionen, etwa Methan aus der Tierhaltung. Es wird eine verschärfte Verpflichtung der Mitgliedsstaaten zur Vorlage integrierter Klimaschutzpläne für den Landsektor angestrebt.

Kohlenstoffsequestrierung in Böden

Die Sequestrierung von Kohlenstoff bzw. die Erhöhung des SOC Bestandes durch Humusaufbau spielt auch aufgrund zahlreicher damit verbundener positiver Effekte auf andere Ökosystemleistungen eine wichtige Rolle bei der Diskussion über terrestrische Kohlenstoffsinken und Klimaschutz. Globale Klimamodelle zeigen, dass das Pariser Klimaziel nur mit negativen Emissionen, d. h. mit der Entfernung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre, erreicht werden kann (Lal 2004). Die Größe des SOC-Pools ist auch einer

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

² Agriculture, Forestry, and other Land Use

³ <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use-land-use-change-and-forestry-lulucf>

von mehreren Qualitätsmaßstäben für die pflanzliche Produktion und die nationale und regionale Ernährungssicherheit (Baumgarten et al. 2021).

Konzepte zur klimaschonenden Bewirtschaftung von Ackerland werden im Rahmen der „4 per mille soils for food security and climate“ Initiative diskutiert (Rumpel et al. 2018, Minasny et al. 2017, Chabbi et al. 2017). Diese Initiative wurde auf der Pariser Klimakonferenz ins Leben gerufen mit dem Ziel, den globalen Bestand an organischer Substanz im Boden um durchschnittlich 0,4 % pro Jahr zu steigern. Die Bodenart (Moore, Gebirge, Wüsten), die oberirdische Vegetation, das Klima und die Geschwindigkeit, mit der die Bodenorganismen den Kohlenstoff verwerten, beeinflussen die Sequestrierungsrate. Eine Studie über den globalen SOC-Bestand in Böden zeigt, dass einige Ackerflächen einen Gehalt aufweisen, der unterhalb kritischer Grenzen liegt (Stockmann et al. 2015). Eine erfolgreiche „4-per-mille“-Strategie kann hier ansetzen und den SOC-Gehalt in degradierten Gebieten durch Ausbringung von Gründüngung, speziellen Fruchtfolgen, Anbau von Deckfrüchten und Kontrolle der Beweidung wiederherstellen.

Der Schutz von Mooren hat in diesem Zusammenhang oberste Priorität. Während in anderen Landökosystemen Kohlenstoff für eine begrenzte Zeit eingespeichert und nach Absterben der Pflanzen wieder freigesetzt wird, kann in Mooren der Kohlenstoff als Torf langfristig gespeichert werden. Mooren enthalten weltweit zwischen 26 % und 44 % des gesamten Bodenkohlenstoffs, obwohl nur 3 bis 4 % der Landfläche von Mooren bedeckt sind. Dennoch wurden 10 bis 20 % der weltweiten Torfgebiete entwässert oder verbrannt und in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt, insbesondere in tropischen Gebieten. Um Moore zu schützen, müssen das Abbrennen von Torfgebieten reguliert, ihre Nutzung in der Landwirtschaft eingestellt und Maßnahmen geplant werden, die den Torf durch anhaltende Nässe erhalten bzw. wieder vernässen. Geschädigte Moore setzen den gespeicherten Kohlenstoff sukzessive wieder frei und sind für etwa 6 bis 7 % der globalen CO₂ Emissionen verantwortlich. Nach Indonesien ist die EU der weltweit zweitgrößte CO₂-Emittent aus degradierten Mooren. Innerhalb der EU ist Deutschland der größte Emittent (BMUV 2021). Naturnahe nicht entwässerte Moore sind für den Arten- und Biotopschutz sowie für den Landschaftswasserhaushalt von Bedeutung.

Bewährte Techniken in der Landwirtschaft für eine Förderung der Kohlenstoffaufnahme sind die ganzjährige Bepflanzung des Bodens, die Zugabe von Ernterückständen wie Mulch, Stroh oder Kompost und die Minimierung von Bodenbearbeitungsmethoden wie Pflügen. Die Böden brauchen regelmäßige Zufuhr von organischem Material. Agroforstliche Systeme, Hecken und Feuchtgebiete können den Bodenkohlenstoff erhöhen. Regionale Strategien zur Erhöhung des Bodenkohlenstoffs müssen unter Berücksichtigung lokaler Bodentypen, klimatischer Bedingungen, der Geschwindigkeit des Klimawandels und sozioökonomischer Kontexte entwickelt sowie gesetzte Maßnahmen unter Einsatz von Technologie (Stichprobenkontrollen oder Fernerkundung) regelmäßig überprüft und evaluiert werden.

Ökologischer Landbau und Ernährungsgewohnheiten

Alternative Bewirtschaftungsformen wie der ökologische Landbau bieten sich an, THG Emissionen aus der agrarischen Landnutzung zu reduzieren und das Ernährungssystem nachhaltiger und resilienter zu gestalten. Ein wichtiger potenzieller Beitrag ökologisch bewirtschafteter Systeme liegt in der sorgfältigen Bewirtschaftung der Nährstoffe und der Verringerung der N₂O-Emissionen aus den Böden durch Vermeidung der Stickstoffdüngung. Das Anbausystem greift überwiegend auf betriebsinterne Ressourcen zurück und vermeidet großteils den Einsatz von externen Hilfsstoffen, wie z.B. auch von Sojafuttermitteln aus Tropenwaldregionen, die in der Kritik stehen, zur Entwaldung und somit zu beträchtlichen THG Emissionen und zur Vernichtung von Senken zu führen. Im ökologischen Landbau werden folglich weniger fossile und mineralische Ressourcen verbraucht. Damit bietet die ökologische Landwirtschaft Alternativen zu energieintensiven

Produktionsmitteln wie synthetischen Düngemitteln. Diese sind ebenso wie Pestizide verboten (El-Hage Scialabba, Müller-Lindenlauf 2010).

Einer Meta-Studie von Skinner et al. (2014) zufolge liegen die N₂O-Emissionen des ökologischen Landbaus bezogen auf die Fläche ackerbaulich genutzter Böden aufgrund des Verzichts auf N-Mineraldünger um 497±162kg CO_{2eq}/ha/a geringer. Die ertragsbezogenen N₂O-Emissionen liegen hingegen um 41±34kg CO_{2eq}/ha/a höher. Dieses schlechtere Abschneiden des Biolandbaus liegt im geringeren Ertrag pro Hektar im Ackerbau begründet, was auf den ersten Blick gegen diese Bewirtschaftungsform spricht. Die Differenz in der Produktivität ist jedoch in hohem Maße kontextabhängig und wird von den System- und Standortmerkmalen sowie den Kulturen beeinflusst (Seufert et al. 2012).

Aufgrund seiner geringeren Produktivität ist der Biolandbau bei gleichem Produktionsoutput auf eine größere Landfläche angewiesen. Hier können systemübergreifende Ansätze wie Änderungen der Ernährungsgewohnheiten, insbesondere ein geringerer Konsum von tierischem Eiweiß ansetzen und die Nachteile eines höheren Flächenbedarfs ausgleichen und zudem zu erheblich geringeren landwirtschaftlichen Emissionen beitragen (Eisen, Brown 2022). Ernährungsgewohnheiten spielen in der Etablierung einer nachhaltigen Landnutzung für die Produktion von Nahrungsmitteln eine zunehmend wichtige Rolle.

Der Biolandbau erbringt eine Vielzahl von erwünschten Ökosystemleistungen über den Klimaschutz hinaus, welche bisher nicht eingepreist sind und welche diejenigen der konventionellen Landwirtschaft übersteigen. Die stetig wachsende Nachfrage nach biologisch erzeugten Lebensmitteln zusammen mit der Förderung aus der 2. Säule der GAP ermöglichen einer steigenden Zahl von Betrieben in dieser Wertschöpfungskette eine wirtschaftliche Existenz sowie innovative Ansätze zu etablieren (ZKL 2021).

Fazit

Die bedeutenden Vorteile des Aufbaus und Erhalts des Humus für eine klimaresiliente und nachhaltige Landwirtschaft, für die Ertragsfähigkeit ihrer Böden und die Ernährungssicherheit, machen die Steigerung des SOC-Gehaltes zu einem zentralen agrarökologischen Handlungsfeld (ZKL 2021). Ziel einer Strategie für eine nachhaltige, d.h. zukunftsfähige Landwirtschaft sollte ein Portfolio an Maßnahmen sein, das sowohl angebotsseitige Managementpraktiken zur Steigerung des SOC Gehalts denaturierter Böden, für den Schutz von Mooren, sowie alternative Bewirtschaftungspraktiken wie den Biolandbau, als auch nachfrageseitige Ansätze, insbesondere Veränderungen im Konsumentenverhalten hinsichtlich einer reduzierten Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln, beinhalten.

Aufgrund des öffentlichen Gut Charakters dieser Leistungen bedarf es eines verstärkten Angebotes von zielgerichteten öffentlich finanzierten Fördermaßnahmen. Agrarsubventionen sollten grundsätzlich an ökologische Verbesserungen geknüpft werden und auf multifunktionale und resiliente Produktionssysteme setzen. Flächenbasierte Direktzahlungen sollten in Zahlungen für Ökosystemleistungen umgewandelt werden. Ziel sollte es sein, das Ernährungssystem und die landwirtschaftliche Produktion so umzugestalten, dass die Degradierung landwirtschaftlicher Böden und steigende volkswirtschaftliche Kosten vermieden werden. Insgesamt ergibt sich daraus das Ziel einer Abkehr von der industriellen Landwirtschaft durch ihre umfassende Ökologisierung.

Literatur

Baumgarten A., Haslmayr H.-P., Schwarz M., Huber S., Weiss P., Obersteiner E., Aust G., Enschlich M., Horvath D., Leitgeb E., Foldal C., Rodlauer C., Bohner A., Spiegel H., Jandl R. (2021) Organic soil carbon in Austria – Status quo and foreseeable trends, *Geoderma*, Volume 402, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115214>

BMUV (2021) Nationale Moorschutzstrategie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit Deutschland, https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/nationale_moorschutz_strategie_bf.pdf

Chabbi A., Lehmann J., Ciais P., Loescher H.W., Cotrufo M.F., Don A., SanClements M., Schipper L., Six J., Smith P., Rumpel C. (2017) Aligning agriculture and climate policy. *Nature Climate Change* 7, 307–309.

EEA (2020) State of nature in the EU - Results from reporting under the nature directives 2013-2018, EEA Report, ISBN 978-92-9480-260-6.

EEA (2019) The European environment - state and outlook 2020, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2800/96749.

EEIG ALLIANCE ENVIRONNEMENT (2021) Evaluation support study on the impact of the CAP on sustainable management of the soil, Executive summary, European Union, doi: 10.2762/487172.

Eisen M.B., Brown P.O. (2022) Rapid global phaseout of animal agriculture has the potential to stabilize green-house gas levels for 30 years and offset 68 percent of CO₂ emissions this century, *PLOS Climate* 1(2), <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000010>

El-Hage Scialabba E., Müller-Lindenlauf M. (2010) Organic agriculture in climate change, *Renewable Agriculture and Food Systems*: 25(2); 158–169, doi:10.1017/S1742170510000116.

IPBES (2018) Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.

Jägermeyr J., Müller C., Ruane A.C. et al. (2021) Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>.

Lal R. (2004) Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change, *Geoderma* 123(1-2):1-22, DOI:10.1016/j.geoderma.2004.01.032

Mbow C. et al. (2019) Food Security. In: Special Report on Climate Change and Land, (eds P.R. Shukla et al., IPCC), J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Portner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)).

Minasny B. et al. (2017) Soil carbon 4 per mille, *Geoderma* 292 (2017) 59–86, ISSN 0016-7061, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>.

Nemecek T., Dubois D., Huguenin-Elie O., Gaillard G. (2011) Life cycle assessment of Swiss farming systems: Integrated and organic farming. *Agricultural Systems* 104, 217–232. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.10.002>.

Rumpel C., Amiraslani F., Koutika L.-S., Smith P., Whitehead D., Wollenberg E. (2018) Put more carbon in soils to meet Paris climate pledges. *Nature* 564, 32–34.

Seufert V., Ramankutty N., Foley J.A. (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>

Shukla P., Skea J., Slade R., Van Diemen R., Haughey E., Malley J., Pathak M., Pereira J.P. (Eds.) (2019) IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystem, chap. Technical Summary, 37–74.

Stockmann U., Padarian J., McBratney A., Minasny B., de Brogniez D., Montanarella L., Hong S.Y., Rawlins B.G., Field D.J. (2015) Global soil organic carbon assessment. *Glob. Food Sec.* 6, 9–16.

WBGU (2020) Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Berlin.

ZKL (2021) Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft, Rangsdorf.