



**EMPFEHLUNGEN DER KOMMISSION BODEN-
SCHUTZ BEIM UBA // DEZEMBER 2024 //**

Der Boden als Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsenke

Impressum

Herausgeber:

Kommission Bodenschutz beim UBA (KBU)

Die KBU ist ein Gremium unabhängiger Expertinnen und Experten. Sie unterstützt das Umweltbundesamt durch sachverständige Beratung. Die Kommissionsmitglieder bearbeiten nicht nur Themen des Bodenschutzes, sondern auch angrenzende Themenfelder.

Vorsitzender:

Prof. Dr. Bernd Hansjürgens

Autorinnen und Autoren:

Sonoko Dorothea Bellingrath-Kimura

Gabrielle Broll

Uta Eser

Christine Fürst

Peter Grathwohl

Georg Guggenberger

Bernd Hansjürgens

Christina von Haaren

Heinrich Höper

Friederike Lang

Stefan Möckel

Moritz Nabel

Martina Roß-Nickoll

Sören Thiele-Bruhn

Geschäftsstelle:

Umweltbundesamt

Fachgebiet II 2.7

Postfach 14 06

06813 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-3302

jeannette.mathews@uba.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

Satz und Layout:

Atelier Hauer + Dörfler GmbH

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Titel: <https://pixabay.com/photos/fields-field-landscape-agriculture-3442666/>

Urheber: https://pixabay.com/users/fritz_the_cat-2101387/

Stand: Dezember 2024

ISSN 2363-8273



Umwelt
Bundesamt

**EMPFEHLUNGEN DER KOMMISSION BODEN-
SCHUTZ BEIM UBA // DEZEMBER 2024 //**

**Der Boden als Kohlenstoffspeicher
und Kohlenstoffsенke**

Inhalt

Zusammenfassung	6
Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim UBA	7
Informationen zu den Empfehlungen	8
1. Funktionen von Böden als Kohlenstoffspeicher und als potentielle Kohlenstoffsенke stärker in die Klimapolitik einbeziehen	8
2. Funktionen von Böden als Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsенke in Gesetzgebungsverfahren stärker berücksichtigen.....	9
3. Kohlenstoff-Speicherfunktion von Böden erhalten und Landnutzung mit hohem Speicherpotenzial für organischen Kohlenstoff fördern	9
4. Senkenpotenzial für organischen Kohlenstoff in ackerbaulich genutzten Böden durch geeignetes Management	10
5. Die Schaffung zusätzlicher Kohlenstoffsенken durch Vermarktung des Kohlenstoffs ist problematisch.....	11
6. Kooperation mit der Wissenschaft stärken	13
Literatur	14

Zusammenfassung



Gewaltige Vorräte an organischem Kohlenstoff befinden sich in den Böden. Dieser Kohlenstoff kann unter dem Einfluss des Klimawandels und nicht-nachhaltiger Landnutzung verstärkt als Kohlenstoffdioxid (CO₂) in die Atmosphäre gelangen. Dieses gilt es zu verhindern. Vom politischen Handeln heute hängt es ab, ob wir Kohlenstoff in unseren Böden auch in Zukunft als Humus speichern (Kohlenstoffspeicherfunktion) und eventuell sogar weiter anreichern (Kohlenstoffsensenfunktion) oder ihn als CO₂ verlieren. Ein Fokus der Maßnahmen sollte dabei auf der Erhaltung des organischen Kohlenstoffs liegen. Zum Beispiel können durch die Vernässung von Mooren die dort gespeicherten Kohlenstoffvorräte erhalten, möglicherweise auch erhöht werden. In ackerbaulich genutzten Böden kann neben einer Erhaltung auch eine Erhöhung des organischen Kohlenstoffs angestrebt werden. Die erfolgten oder geplanten Novellierungen und Erweiterungen zum nationalen und europäischen Recht (u. a. die EU-Verordnung 2024/1991 zur Wiederherstellung der Natur) bieten die große

Chance, die Kohlenstoffspeicherfunktion unserer Böden verbindlich und langfristig im Sinne des Klimaschutzes und der Klimaanpassung zu sichern und an geeigneten Standorten zusätzliche Kohlenstoffsensenken zu schaffen.

Definitionen (Don et al. 2023)

- ▶ **Humus:** Gesamtheit des abgestorbenen organischen Materials im Boden, das zu ungefähr 58 % aus organischem Kohlenstoff besteht
- ▶ **Kohlenstoffspeicher:** die absolute Menge („Vorrat“) an organischem Kohlenstoff im Boden
- ▶ **Kohlenstoffsensenke:** die Fähigkeit des Bodens, Kohlenstoff als organische Substanz zusätzlich zu speichern und so CO₂ in der Atmosphäre zu reduzieren
- ▶ **Kohlenstoffsequestrierung:** Prozess der Transfers von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in den Boden durch Pflanzen und andere Organismen oder durch menschliche Aktivitäten, der zu einem langfristigen Anstieg des Kohlenstoffvorrates im Boden auf einer definierten Fläche führt.

Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim UBA

1. **Böden und Klima zusammen schützen.** Die KBU begrüßt die Berücksichtigung des Handlungsfeldes „Boden“ im Klimaanpassungsgesetz (KANg). Sie plädiert dafür, die **Funktionen von Böden als Kohlenstoffspeicher und als potentielle Kohlenstoffsenke stärker in die Klimapolitik** und in die Fortschreibung der deutschen Klimaanpassungsstrategie **einzu beziehen**. So können die Böden einen effektiven Beitrag zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung leisten.
2. **Kohlenstoffbindung in Böden in laufenden Gesetzgebungsverfahren stärker berücksichtigen.** Die KBU empfiehlt, die Funktionen des Bodens als Kohlenstoffspeicher und als potentielle Kohlenstoffsenke bei den aktuellen Novellierungen des **Bundesbodenschutzgesetzes** (BBodSchG) und des **Bundeswaldgesetzes** (BWaldG) wirksam einzubeziehen und dabei zugleich eine zeitnahe und effektive Umsetzung der Ziele und Vorgabe der im Juli 2024 verabschiedeten **EU-Verordnung 2024/1991 zur Wiederherstellung der Natur** anzustreben. Des Weiteren sollte die Bundesregierung im europäischen Gesetzgebungsprozess zum Vorschlag der Europäischen Kommission COM (2023) 416 über eine **Richtlinie zur Bodenüberwachung und Bodenresilienz** auf anspruchsvolle Ziele und Anforderungen zur Kohlenstoffbindung hinwirken.
3. **Kohlenstoffvorräte im Boden sichern und deren Verluste reduzieren.** Die Speicherfunktion von Böden für organischen Kohlenstoff muss dringend erhalten werden. Das Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz des BMUV ist daher auch aus Bodenschutzsicht sehr wichtig. Der Klimawandel kann durch geringere pflanzliche Kohlenstoffeinträge und verstärkten Abbau der organischen Substanz zur Verringerung des Kohlenstoffspeichers von Böden führen. **Maßnahmen zum Erhalt dieses Speichers haben daher Priorität.**
4. **Zusätzliche Kohlenstoffsenken schaffen.** Die Schaffung von Bodenkohlenstoffsenken kann Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität helfen. Sehr wirksam ist z. B. der Ausbau der Kohlenstoffvorräte im Boden durch die **Anlage von Hecken und Agroforsten** sowie durch **Erhöhung der Biodiversität** in der Agrarlandschaft. Grundsätzlich ist es auch möglich, den Kohlenstoffvorrat in **Ackerböden** zu erhöhen. Bei der Wiedervernässung von Mooren steht der Erhalt von noch bestehenden C-Vorräten im Vordergrund; langfristig kann durch eine, wenn auch sehr langsame Neubildung von Torf, auch hier Kohlenstoff im Boden festgelegt werden.
5. **Anreize für die Schaffung zusätzlicher Kohlenstoffsenken durch Vermarktung des Kohlenstoffs zu setzen ist problematisch.** Die Möglichkeiten der Kohlenstoffanreicherung in der Landwirtschaft, des **Carbon farming**, sieht die KBU als begrenzt an. Die möglichen Vorteile müssen sorgfältig mit den Risiken abgewogen werden. So sieht die KBU eine Anreicherung der landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Zugabe von **Pflanzenkohle** sehr kritisch. Die Vergabe von **Humuszertifikaten** lehnt sie wegen zahlreicher offener Flanken, wie Effizienz und Dauerhaftigkeit der Maßnahmen sowie ungelöster Fragen zu Verlagerungseffekten und Fairness, ab.
6. **Die Kooperation der für den Boden zuständigen Institutionen und der Wissenschaft sollten gestärkt werden.** Dies gilt in besonderer Weise für das Monitoring der Boden-Kohlenstoffvorräte – und falls möglich auch der Kohlenstoffflüsse – in jenen Ländern, in denen die Datengrundlagen hinsichtlich Speicher- und Senkenfunktion einerseits und Kohlenstoffemissionen andererseits fehlen, lückenhaft oder unsicher sind.

Informationen zu den Empfehlungen

1. Funktionen von Böden als Kohlenstoffspeicher und als potentielle Kohlenstoffsенke stärker in die Klimapolitik einbeziehen

Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel sind in Deutschland gleichermaßen voranzutreiben. In diesem Zusammenhang erlangen auch die Böden an Bedeutung, da sie aufgrund der dort enthaltenen organischen Bodensubstanz eine ganz wesentliche Funktion für die Klimaregulation erfüllen. Bodenorganismen humifizieren organische Reststoffe und integrieren diesen so stabilisierten organischen Kohlenstoff fest in Ton-Humus-Komplexen. Durch ihre **Kohlenstoff (C)-Speicherfunktion** binden Böden nahezu vier Mal so viel Kohlenstoff wie sämtliche Vegetation der Erde und ca. doppelt so viel C wie im atmosphärischen Kohlenstoffdioxid (IPCC, 2021). Grundsätzlich sind Böden damit neben Ozeanen der wichtigste dynamische C-Speicher der Erde. Im Boden enthaltener Humus, also abgestorbenes organisches Material, besteht zu ca. 60 Prozent aus Kohlenstoff. In Deutschland speichern Moore als C-reiche Böden insgesamt eine ebenso große Menge Kohlenstoff (ca. 1,3 Gigatonnen) wie die Biomasse aller Wälder zusammen (ca. 1,26 Gigatonnen in lebender Biomasse und Totholz), obwohl sie nur ca. fünf Prozent der Fläche bedecken, während es bei Wäldern hingegen 30 Prozent der Flächen sind (Leopoldina 2024).

Höhere Temperaturen im Zuge des Klimawandels führen bei ausreichender Bodenfeuchte zu höheren Mineralisationsraten und somit zu C-Vorratsverlusten, wenn die höheren Mineralisationsraten nicht durch höhere C-Einträge ausgeglichen werden. Eine infolge der Klimaveränderungen erwartete Verlängerung der Vegetationsperiode sowie der zunehmende CO₂-Gehalt in der Atmosphäre können das Wachstum der natürlichen Vegetation und der Kulturpflanzen, und damit den C-Eintrag in den Boden erhöhen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass genügend Wasser zur Verfügung steht, was oftmals nicht der Fall ist. Ein verändertes Bodenfeuchteregime kann unterschiedliche Folgen haben, denn die Auswirkungen auf pflanzlichen Eintrag und mikrobiellen Abbau organischer Substanz - und damit auf die Freisetzung von Treibhausgasen - sind komplex. Im Allgemeinen gilt

aber, dass Trockenheit bei landwirtschaftlich genutzten Böden zu einer Abnahme der C-Vorräte im Boden führt, weil weniger Kohlenstoff über Ernterückstände in den Boden eingetragen werden. Dies gilt auch für Waldböden, wobei allerdings temporär bei absterbenden Wäldern auch höhere Einträge erfolgen können. Extreme Witterungsereignisse können im Boden zu einem sprunghaften Anstieg der Zersetzung organischer Materials und damit zu CO₂-Emissionen und einem C-Vorratsabbau führen. Die Degradation von Permafrostböden in den Polargebieten und darauf folgende CO₂- sowie Methan (CH₄)-Emissionen sind im globalen Maßstab die bedeutendste Reaktion der Böden auf den Klimawandel, die sich nicht nur lokal, sondern auch global auswirken.

Ein hoher C-Vorrat ist auch für andere Funktionen von Böden im Umgang mit dem Klimawandel wichtig. Unversiegelte Böden mit hohem Humusgehalt können aufgrund ihrer Wasserspeicherfähigkeit Überschwemmungen vorbeugen und eine wichtige Kühlungsfunktion in Städten übernehmen.

Die **C-Senkenfunktion** unterscheidet sich von der C-Speicherfunktion von Böden durch eine **Netto-Aufnahme** von atmosphärischem Kohlenstoff, welcher dann zusätzlich im Humus gebunden ist. Bei den Maßnahmen zur Anpassung an die Klimafolgen, wie etwa dem naturnahen Waldumbau oder der Wiederaufforstung sowie der Schaffung von Grünflächen im urbanen Raum, sollte die C-Senkenfunktion noch stärker beachtet werden. Die Vernässung von Mooren kann zwar zu einer Festlegung von Kohlenstoff in Form von Torf und damit zu einer C-Senke führen. Bezogen auf die Klimawirkung wird dieses jedoch, insbesondere in den Niedermooren, durch eine erhöhte Methanfreisetzung mehr als ausgeglichen, so dass nasse Moore, wie im übrigen auch natürliche Moore, bezüglich aller Treibhausgase bestenfalls als klimaneutral angesehen werden müssen (Tiemeyer et al. 2020).

2. Funktionen von Böden als Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsenke in Gesetzgebungsverfahren stärker berücksichtigen

Die oben benannte stärkere Einbeziehung von Böden in die Klimapolitik benötigt einen gesetzlichen Rahmen. Die humuserhaltende Bodennutzung ist seit 1999 in § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz (**BBodSchG**, Absatz 7) durch die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft gesetzlich vorgeschrieben. Gleichwohl mangelt es an der Umsetzung, wie unter anderem die Bodenzustandserhebung aufzeigt (Jacobs et al. 2018). Die anstehende **Novellierung des BBodSchG** hat zum Ziel, den bestehenden Bodenschutz im Gesetz durch einen verstärkt nachsorgenden Bodenschutz zu erweitern. Der vorsorgende Bodenschutz, der etwa Böden vor Erosion, Verdichtung, aber auch vor Humusverlust schützt, sollte stärker berücksichtigt werden. Hier bietet sich jetzt die Gelegenheit, die Bedeutung der Funktionen von Böden als C-Speicher und C-Senken einzubeziehen.

Die ebenso anstehende Novellierung des Bundeswaldgesetzes (**BWaldG**) eröffnet an vielen Stellen Möglichkeiten zur stärkeren Einbeziehung des Bodenschutzes, insbesondere bei der Erosionsvermeidung. Die vielen infolge Trockenheit und Kalamitäten zurzeit nicht bewaldeten Hänge der Mittelgebirge können Oberbodenmaterial und damit viel organischen Kohlenstoff verlieren. Die Anpassung an den Klimawandel unter Einbeziehung des Bodenschutzes ist auch für Waldstandorte unbedingt erforderlich (BfN 2020).

Weiterhin sind der Erhalt und die Wiederherstellung von Böden als C-Speicher und C-Senke ein Ziel der **EU-Verordnung 2024/1991 zur Wiederherstellung der Natur**, die in den nächsten Jahren bzw. Jahrzehnten von Deutschland umzusetzen ist. In naturnahen Böden geht es dabei insbesondere um den Schutz der C-Speicherfunktion, während v.a. degradierte genutzte Mineralböden bei niedrigen aktuellen Humusgehalten, gute Möglichkeiten zur Anreicherung von organischem Kohlenstoff bieten und damit zur Reduzierung von atmosphärischem Kohlendioxid beitragen. Auch kann durch die Vernässung degradierter, entwässerter Moore der noch vorhandene Bodenkohlenstoffvorrat vor Abbau geschützt werden. Bei erfolgreicher Renaturierung kann zudem eine Kohlenstofffestlegung durch Torfakkumulation erreicht werden.

3. Kohlenstoff-Speicherfunktion von Böden erhalten und Landnutzung mit hohem Speicherpotenzial für organischen Kohlenstoff fördern

Der Klimawandel selbst führt möglicherweise durch abnehmende pflanzliche C-Einträge, aber vor allem durch den verstärkten Abbau der organischen Substanz, zur Verringerung des C-Speichers von Böden. Daher sollte erstes und wichtigstes Augenmerk von Politik und Gesellschaft auf den **Erhalt der Funktion von Böden als C-Speicher** gerichtet sein. Dies erfordert den Schutz insbesondere von **Moorböden**, die mit Abstand die höchsten C-Vorräte aufweisen. Bei der **Renaturierung von Auen** sollte zukünftig auch der Erhalt der C-Vorräte in den Auenböden angestrebt werden. Wegen ihrer großen Menge an organischem Kohlenstoff sind **Waldböden** vor Gefährdungen wie Erosion und Humusverlust (z. B. durch Kahlschlag) zu schützen. **Grünlandböden** enthalten mehr organischen Kohlenstoff als Ackerböden. Deshalb sollte der Umbruch von Dauergrünland weiterhin vermieden und die Umwandlung von Acker in Grünland gefördert werden.

Das C-Speicherpotenzial von Böden hängt neben den standörtlichen Gegebenheiten wie klimatischen Bedingungen, dem Bodenwasserhaushalt und dem geologischen Ausgangsmaterial auch von der **Landnutzung** und der Bodenbearbeitung ab. Es gilt folgende Reihenfolge des **C-Vorrates** in Böden: **Moore** » **Grünland** ≥ **Wald** > **Acker**. In Deutschland stammen mit 55 Mio. t CO₂-Äquivalenten mehr als 40 % der durch landwirtschaftliche Produktion freigesetzten Treibhausgase aus der Entwässerung von Mooren (Tiemeyer et al. 2020). Die Wiedervernässung von Mooren dient vor allem der deutlichen Reduzierung der CO₂-Emissionen durch möglichst weitgehenden Erhalt des noch vorhandenen C-Vorrates. Darüber hinaus können bei günstigen Umständen die Moorkörper langfristig auch langsam wieder anwachsen und CO₂ der Atmosphäre entziehen.

Landnutzungsänderungen von Grünland und Wald zu Acker führen häufig zu **C-Vorratsverlusten**, oft bis zu 50 % in wenigen Jahrzehnten (Paustian et al., 1997). Bei der Trockenlegung von Mooren und beim Torfabbau findet sogar ein weit höherer C-Vorratsabbau statt. (Es gibt aber auch Standorte, zum Beispiel sandreiche Heideböden, deren hoher C-Vorrat nach Nutzungsänderung nach wie vor unverstanden ist.)

Ein **C-Vorratsaufbau, mithin die Nutzung der Funktion von Böden als C-Senke**, nach Aufforstung bzw. nach Überführung von Ackerland in Dauergrünland oder nach Wiedervernässung von Mooren geschieht demgegenüber sehr langsam. Der ursprüngliche C-Vorrat wird dabei auch oft nicht wieder erreicht.

Die KBU unterstützt ausdrücklich die Maßnahmen, die im Rahmen des Aktionsplans **Natürlicher Klimaschutz** zum Schutz und der Wiederherstellung der Moorböden, der Waldböden als Kohlenstoffspeicher und der Entsiegelung von Böden im urbanen Raum begonnen wurden. Aus Bodenschutzsicht ist es in jedem Fall hinsichtlich Zeit, Kosten und Bürokratieaufwand effektiver und lohnender, **Standorte mit hohem natürlichem C-Speicher** angemessen und nachhaltig zu **schützen** und zu **optimieren**, als mit hohem Aufwand und unsicheren oder problematischen Klima- und Umwelteffekten das C-Senkenpotenzial von Ackerstandorten zu verbessern (s. Pkt. 4,5).

4. Senkenpotenzial für organischen Kohlenstoff in ackerbaulich genutzten Böden durch geeignetes Management

Über ein geeignetes **Boden- und Landmanagement** sind Speicher- und Senkenfunktion für den Kohlenstoff gezielt zu steuern, was eine Sicherung des C-Vorrats in Böden ermöglicht und im Idealfall dessen Erhöhung erlaubt. Zugabe von **Kompost** und ähnlichen Substraten stellen eine gute Möglichkeit dar, den C-Vorrat im Boden zu erhöhen, wenn sie unter Berücksichtigung der Düngeverordnung erfolgt und auf Hygiene und Schadstoff-Verunreinigungen geachtet wird. Bei hohen Anteilen von Plastik im Kompost sollte eine Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen hingegen ausgeschlossen werden. Bei Ackernutzung wirkt sich eine **Düngung** positiv auf den C-Vorrat in Böden in folgender Reihenfolge aus: ungedüngt < Mineraldünger < organischer Dünger < organischer Dünger plus Mineraldünger.

Gemeinsamer Futteranbau und Viehhaltung (Mischbetriebe) sind daher die günstigste Bewirtschaftungsform für den C-Vorrat in Böden, indem u. a. ein adäquates, wirtschaftsdüngerbezogenes Düngemanagement gewährleistet werden kann. Leicht abbaubare **Pflanzenreste**, z. B. von Leguminosen, erhöhen den C-Vorrat im Boden gegenüber schwerer abbaubaren Pflanzenresten (z. B. Stroh) aufgrund einer höheren Effizienz der mikrobiellen Nutzung des Substrats

und der Stabilisierung mikrobieller Rückstände. Ständige **Bodenbedeckung**, z. B. durch den Anbau von Zwischenfrüchten, konservierende Bodenbearbeitung und gleichzeitigen Anbau verschiedener Kulturen auf demselben Feld, kann den C-Vorrat im Boden erhöhen. **Diverse Fruchtfolgen** und diverse Zwischenfrüchte erhöhen den C-Vorrat ebenfalls, v. a. bei Verwendung tiefwurzelnder und/oder mehrjähriger Kulturen. Bei der **Bodenbearbeitung** gilt es, standortbezogen abzuwägen, was am besten geeignet ist. Eine Bewirtschaftung des Bodens, die dessen strukturellen Aufbau nur minimal stört, ist zu fördern, insbesondere hinsichtlich der Wassernutzungseffizienz. Minimalbodenbearbeitung und Direktsaatverfahren sind vor allem für die Bodenstruktur (u. a. verbesserte Wasserinfiltration und Wasserverfügbarkeit) und den Erosionsschutz, d. h. für die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel (tendenziell trockeneres Klima mit klimatischen Extremen) von Vorteil. Angesichts vielfältiger technischer Entwicklungen muss konservierende Bodenbearbeitung nicht mehr zwingend zu einem erhöhten Einsatz von Herbiziden führen. Ihre Rolle bei der Eindämmung des Klimawandels wird allgemein überbewertet, weil der Effekt auf den C-Vorrat im gesamten Boden gering ist; einer Zunahme des C-Vorrates im Oberboden steht nicht selten eine Abnahme im Unterboden gegenüber.

Carbon Farming. Wird die Bewirtschaftung darauf abgestellt, den Vorrat an organischem Kohlenstoff im Boden zu erhöhen, wird CO₂ der Atmosphäre entzogen (Carbon Farming, vgl. dazu das auf der 21. Klimakonferenz COP 21 in Paris im Jahr 2015 vorgestellte 4-Promille-Ziel; eine Bewertung hierzu findet sich bei Don et al., 2018). Allerdings stellt sich die Frage, ob genug organisches Material für eine stetige Erhöhung des Kohlenstoffvorrates im Boden zur Verfügung steht. Zum einen ist die Verfügbarkeit von organischem Material durch die auf der Photosynthese basierenden Primärproduktion begrenzt. Hiervon wird zudem ein Teil als Lebens- und Futtermittel oder Rohstoffe stofflich oder auch energetisch genutzt und nur zu Teilen wieder dem Boden zugeführt. Zum anderen steigt mit der Menge zugeführter organischer Substanz auch die mikrobielle Aktivität an, und das zugeführte Material wird schneller abgebaut (s. Pkt. 5). Die Anreicherung von organischem Kohlenstoff im Boden ist zudem abhängig von Standortfaktoren wie der Bodenart, dem Säurezustand oder den Wasserhältnissen. Eine weitere Möglichkeit besteht eventuell darin, den vorhandenen Bodenkohlenstoff, z. B. durch

einmaliges Tiefpflügen, zu „vergraben“ und mit dem Aufbau eines neuen Humusspiegels in dem durch Einmischen von Unterbodenmaterial „verdünnten“ Oberboden Kohlenstoff als Humus zu binden. Unter Carbon Farming wird auch **Agroforstwirtschaft** oder der Gebrauch von **Zwischenfrüchten und Blühstreifen** verstanden, die den C-Vorrat im Boden erhöhen. Hecken und Agroforst können vor allem aufgrund der Bildung von Grobwurzeln langfristig zu einem höheren C-Vorrat im Boden führen. In Diskussion ist, ob Carbon Farming ein zentrales Werkzeug im Rahmen der EU-Bodenstrategie werden könnte, die zum Ziel hat, bis 2050 alle Böden in der EU zu regenerieren (Paul et al. 2023). Die KBU sieht die Möglichkeiten des Carbon Farming zur Kohlenstoffanreicherung im Boden als begrenzt an.

5. Die Schaffung zusätzlicher Kohlenstoffsenken durch Vermarktung des Kohlenstoffs ist problematisch

Humuszertifikate: Anreize zur Nutzung der Senkenfunktion? In Wirtschaft und Politik besteht Interesse, mithilfe von „Humuszertifikaten“ Anreize für eine Anreicherung organischen Kohlenstoffs im Boden zu schaffen. Dies erfordert eine Schaffung von Humuszertifikaten für die Festlegung zusätzlichen Kohlenstoffs in Böden und den Handel dieser Zertifikate auf Grundlage einer Permanenz der Kohlenstoffbindung im Boden. Die Änderung der Vorräte an organischem Kohlenstoff im Boden ist im Rahmen des Monitoring erst nach vielen Jahren nachweisbar. Die Vorstellung ist, dass eine strukturelle Förderung der Steigerung des Humusgehalts landwirtschaftlich genutzter Böden durch die Anrechnung in Form von Humuszertifikaten einerseits einkommenswirksam für die betroffenen Landwirte ist und andererseits eine Kompensation von „unvermeidbaren“ Treibhausgasemissionen anderer Sektoren ermöglicht. Es würden dadurch Mittel aus der Privatwirtschaft aufgebracht, die in die Förderung des Humusaufbaus fließen können.

So interessant die Idee der **Humuszertifikate** auf den ersten Blick erscheinen mag: Die **KBU** steht der Einführung dieses Instruments kritisch gegenüber und **lehnt** es letztendlich **ab**. Folgende Gründe und Argumente sind hierfür ausschlaggebend (siehe auch Schäfer et al. 2022, Paul et al. 2023; Bundesrat 2023):

Effizienz der Maßnahmen. Bei den Veränderungen des Humusgehalts im Boden gilt es, eine Nettobilanz zu erstellen, die aufzeigt, ob Humus in Summe

aufgebaut wird. Veränderungen des Humusvorrats können dabei aber auch von anderen Faktoren als der Bewirtschaftung abhängen, wie z. B. von Klima- oder Witterungsereignissen. Es besteht das Risiko, dass die gewählten Maßnahmen nicht zu einer Erhöhung des C-Vorrates im Boden führen und dass dies erst nach einiger Zeit (z. B. nach 10 Jahren) durch das Monitoring festgestellt werden kann.

Dauerhaftigkeit und Reversibilität. Ein Humuszertifikat kann nur einmal je Standort und nur für einen begrenzten Zeitraum dazu genutzt werden, den C-Vorrat im Boden zu erhöhen. Danach gilt es, diesen Zustand mit geeigneten Maßnahmen aktiv zu erhalten. Kohlenstoff, der durch eine humusaufbauende Landwirtschaft über viele Jahre in den Boden gelangt ist, kann demnach bei veränderter landwirtschaftlicher Praxis oder auch durch klimatische Veränderungen und extreme Witterung in kurzer Zeit wieder abgebaut und als CO₂ emittiert werden. Es besteht keine Gewähr, dass der Humusaufbau langfristig erfolgt. Eine Dauerhaftigkeit der Maßnahme ist daher nicht gewährleistet.

Verlagerungseffekte. Bisher können Humuszertifikate nicht ausschließen, dass humusaufbauende Maßnahmen innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebs auf zertifizierte Felder konzentriert werden und gleichzeitig auf nicht zertifizierten Feldern zurückgefahren werden. Dies gilt z. B. für den Einsatz von organischen Düngemitteln, die nur begrenzt zur Verfügung stehen.

Fairness. Landwirte, die über die vergangenen Jahre mit Blick auf den Humusvorrat ihrer Böden sehr sorgsam gearbeitet haben, und daher eher hohe Werte aufweisen, die nicht mehr gesteigert werden können, würden dann keine zusätzlichen Humuszertifikate mehr generieren können. Sie werden gegenüber jenen benachteiligt, die das bisher nicht getan haben.

Negative Umwelteffekte. Der Aufbau von Humus in Böden kann mit negativen Umwelteffekten einhergehen, wenn beispielsweise übermäßig Stickstoff zugeführt wird oder es infolge des erhöhten Humusgehalts auch zu einer höheren Stickstoffmineralisation und einer höheren Auswaschungsgefahr von Stickstoffverbindungen in Grund- und Oberflächengewässern kommen kann.



Monitoring und Verifikation. Die Einführung von Humuszertifikaten ist mit Blick auf Monitoring und Verifikation sehr aufwändig und fehleranfällig. So ändern sich Gehalte an organischem Kohlenstoff im Boden sehr langsam, und es muss der Vorrat betrachtet werden, wozu es weiterer Untersuchungen zu Lagerungsdichte und Krumenmächtigkeit bedarf. Die für eine Teilnahme am CO₂-Emissionshandel erforderlichen Voraussetzungen hinsichtlich Validität, Dauerhaftigkeit, Überprüfbarkeit und Sanktionsbewährtheit der generierten Zertifikate erscheinen zumindest derzeit nicht gegeben.

Aus Sicht der KBU sind die ungelösten Fragen, Risiken und Unsicherheiten bei Humus-Zertifikaten zu groß, um eine wirkungsvolle Einführung zu gewährleisten. **Vorzuziehen sind Maßnahmen, die auf einen belastbaren rechtlichen Rahmen für die Anrechnung humusmehrender wie humuserhaltender Maßnahmen** abzielen und die zugleich sicherstellen, dass damit effektiv zum Klimaschutz beigetragen wird.

Ähnlich sieht die KBU auch den Einsatz von Pflanzenkohle. Die Ausbringung von **Pflanzenkohle** in Böden führt zwar zur C-Vorratserhöhung, die auch langfristig sein kann. Gegenwärtig sind Aussagen zu Folgen von Pflanzenkohle im Boden jedoch widersprüchlich, und die Umweltrisiken sind schwer abschätzbar. Die Qualität der Pflanzenkohle und damit die Auswirkungen auf die Böden sind sehr stark abhängig von der Art der Biomasse, die verwendet wird. Besonders die Effekte auf die Bodenbiodiversität sind noch nicht ausreichend verstanden. Daher sollte grundsätzlich **Vorsicht** bei der Ausbringung von Pflanzenkohle gelten. Die C-Senkenfunktion wird, wie auch andere Bodenfunktionen, maßgeblich durch aktive Bodenorganismen angetrieben. Diese steht in engster Wechselwirkung mit der organischen Bodensubstanz.

6. Kooperation mit der Wissenschaft stärken

Deutschland ist in der Forschung zur organischen Substanz des Bodens im internationalen Vergleich eines der führenden Länder. Da die Funktionen des Bodens als C-Speicher und C-Senke im Rahmen der Klimafolgenanpassung eine immer größere Rolle spielen werden, ist eine noch intensivere Kooperation zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft sowohl national als auch international wünschenswert, zumal die Empfehlungen der Wissenschaft aus verschiedenen Ländern durchaus voneinander abweichen können.

Während in Deutschland die **Datengrundlage** zum C-Vorrat in Böden im Allgemeinen sehr gut ist, gilt dies nicht für weite Bereiche der Erde, z. B. für boreale und subarktische Bergländer oder für tropische Regenwälder. Der Mangel an international verfügbaren Daten betrifft noch stärker die Erfassung für C-Einträge (Pflanzen) und C-Austräge (Atmosphäre, Hydrosphäre). Die vorhandene Datenlage muss möglichst umfassend genutzt werden, um Maßnahmen gezielt darauf zu begründen. Gleichzeitig sollte die Datengrundlage stetig verbessert und zunehmend belastbarer gemacht werden. Infolge des Klimawandels entstehen immer neue Flächen, z. B. die Kalamitätsflächen in den Wäldern der Mittelgebirge, wo aktuelle Daten erhoben werden müssen. Derzeit besteht generell auch noch ein Defizit bei den Daten zum organischen Kohlenstoff in den Unterböden, während die Oberböden schon sehr gut untersucht sind. Die Rolle der Bodenbiodiversität und ihrer Verluste, besonders in der intensiv genutzten Agrarlandschaft, in Bezug auf das Kohlenstoffsenkenpotenzial der Agrarböden ist ebenfalls nicht befriedigend mit Daten unterlegt.

Die **Variabilität des C-Vorrates in Böden aufgrund abiotischer Faktoren** wie des Reliefs oder der Lagerungsdichte beeinflussen den C-Vorrat markant, was eine statistisch signifikante Analyse von C-Vorratsänderungen erschwert. Für die Speicherung von organischem Kohlenstoff spielt der physikalische Aufbau des Bodens, also die abiotische Seite, eine wesentliche Rolle und muss daher bei der Einschätzung des C-Senkenpotenzials von Böden unbedingt berücksichtigt werden.

Moderne Analyseverfahren zur Erfassung des C-Vorrats in der Fläche unter Berücksichtigung der räumlichen Variabilität entwickeln sich etwa im Bereich der Fernerkundung ständig weiter. Auch die Nutzung von Künstlicher Intelligenz bietet inzwischen erste Ansätze zur Erfassung von Bodenparametern inklusive des Kohlenstoffs. Analyseverfahren zur besseren Einschätzung der Ausnutzung der C-Senkenfunktion von Böden müssen noch weiter verbessert und hinzugezogen werden. Dies ist insbesondere für eine objektive und präzise Bewertung von Carbon Farming und entsprechenden Maßnahmen notwendig.

Literatur

Bundesrat (2023): Vorschläge für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Unionsrahmens für die Zertifizierung von CO₂-Entnahmen, Bundesrat DS 34/23 vom 31.03.2023.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.) (2020): Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität. BfN Positionspapier, Bonn. <https://www.bfn.de/publikationen/positionspapier/waelder-im-klimawandel-mehr-anpassungsfaehigkeit-durch-mehr-vielfalt>

Don A, Seidel F, Leifeld J, Kätterer T, Martin M, Pellerin S, Emde D, Seitz D, Chenu C (2023): Carbon sequestration in soils and climate change mitigation – Definitions and pitfalls. *Global Change Biology* 29 (22), 6163-6169.

Don A, Flessa H, Marx K, Poeplau C, Tiemeyer B, Osterburg B (2018): Die 4-Promille-Initiative „Böden für Ernährungssicherung und Klima“ Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 37 S., Thünen Working Paper 112.

IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte V et al. (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 S.

Jacobs A, Flessa H, Don A, Heidkamp A, Prietz R, Dechow R, Gensior A, Poeplau C, Riggers C, Schneider F, Tiemeyer B, Vos C, Wittnebel M, Müller T, Säurich A, Fahrion-Nitschke A, Gebbert S, Jaconi A, Kolata H, Laggner A, et al. (2018): *Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Report 64.

Leopoldina (2024): Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Klima – Wasserhaushalt – Biodiversität: Für eine integrierende Nutzung von Mooren und Auen, Leopoldina Stellungnahme, Juni 2024.

Paul C et al. (2023) Carbon farming: Are soil carbon certificates a suitable tool for climate change mitigation? *Journal of Environmental Management* 330, 117142.

Paustian K, Collins HP, Paul EA (1997) Management controls on soil carbon. In: *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems – Long Term Experiments in North America* [Paul EA, Paustian K, Elliott ET, Cole CV (Hrsg.)]. CRC Press, boca Raton, Florida, USA, S. 15-49.

Schäfer A, Nordt A, Peters J, Wichmann S (2022). Entwickeln von Anreizen für Paludikultur zur Umsetzung der Klimaschutzziele 2030 und 2050. *Climate Change* 44/2022, Dessau Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwickeln-von-anreizen-fuer-paludikultur-zur>

Tiemeyer B, Freibauer A, Borraz E A, Augustin J, Bechtold M, Beetz S, Beyer C, Ebli M, Eickenscheidt T, Fiedler S, Förster C, Gensior A, Giebels M, Glatzel S, Heinichen J, Hoffmann M, Höper H, Jurasinski G, Laggner A, Leiber-Sauheitl K, Peichl-Brak M, Drösler M (2020). A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 109, 105838.



► **Unsere Broschüren als Download**

Kurzlink: bit.ly/2dowYYI