

© Schwerpunkt »Landwirtschaft & Ernährung für eine Welt im Umbruch«

Carbon Farming – Klimaschutz oder Greenwashing?

Eine Analyse der Carbon-Farming-Initiative der Europäischen Kommission

von Andrea Beste

Im Frühjahr 2022 veröffentlichte die Europäische Kommission ihre zuvor im Rahmen der Farm-to-Fork-Strategie angekündigte Carbon-Farming-Initiative. Als Beitrag gegen den Klimawandel soll auf natürliche Weise, z. B. durch das Wiedervernässen von Mooren und die Vergabe von CO₂-Zertifikaten in der Landwirtschaft, aber auch auf technische Weise CO₂ im Boden gespeichert werden. Zwar benennt die Kommission selbst eine Reihe von Problemen bei den von ihr vorgeschlagenen Lösungen, kommt unter dem Strich aber zu einer positiven Beurteilung von Carbon Farming. Positive Ansätze attestiert auch die Autorin des nachfolgenden Beitrages der Initiative, stellt gleichzeitig jedoch große Lücken fest. So fehlen in den Vorschlägen der EU beispielsweise Aussagen zum Abbau der Tierzahlen, zur Förderung der Weidehaltung oder Reduktionsziele für die Herstellung und Ausbringung von synthetischem Stickstoffdünger. Der Fixierung auf die Herstellung und Zertifizierung der Kohlenstoffspeicherung im Boden, die den Kommissionsvorschlag kennzeichnet, wird die Einführung agrarökologischer Systeme entgegengestellt.

Im Rahmen der Farm-to-Fork-Strategie der Europäischen Kommission¹ wurde auch eine Carbon-Farming-Initiative angekündigt. Diese wurde im Frühjahr 2022 veröffentlicht. Sie ist Teil der EU-Strategie für nachhaltige Kohlenstoffkreisläufe.² Um das Ziel zu erreichen, bis 2050 mehr Klimagase zu speichern als ausgestoßen werden, soll CO₂ jeweils zur Hälfte auf natürliche und technische Weise gespeichert werden. Zu den technischen Lösungen zählen auch noch nicht ausgereifte Techniken des Geoengineering wie z. B. Carbon Capture and Storage (CCS). Bis 2030 sollen nach Kommissionsplänen EU-weit fünf Millionen Tonnen CO₂ durch *direct air capture*, bei dem freigesetztes Kohlenstoffdioxid aus der Luft gefiltert werden soll, entfernt werden. Zu den sog. »natürlichen Lösungen« (*nature based solutions*) gehören z. B. das Wiedervernässen von Mooren (organische Böden) und CO₂-Zertifikate für die Speicherung von Kohlenstoff in mineralischen Böden – also im Ackerbau. Der sehr technische Fokus des Carbon Farming und die enge Fixierung auf die Kohlenstoffspeicherung mit dem Ziel des Klimaschutzes (statt einer systemischen Klimaanpassung) zusammen mit der geringen Klimarelevanz bestimmter Praktiken machen aus der zunächst gut klingenden Idee allerdings ein falsch aufgezümmtes Pferd.

Die Carbon-Farming-Initiative der Kommission

Das Initiativpapier der Kommission, inklusive Leitfaden vom April 2021, ist sehr detailliert.³ Es werden fünf thematische Schlüsselbereiche ausgewählt: Torfwiederherstellung und Wiedervernässung, Agroforstwirtschaft, Erhaltung und Verbesserung des organischen Kohlenstoffs auf Mineralböden, Grünland und Kohlenstoff-Audits in der Tierhaltung. Im Papier wird auch sehr genau auf die wissenschaftlich gut beschriebenen Unzulänglichkeiten eingegangen, die es bei der Umsetzung gibt:

Die Speicherung von Kohlenstoff

- ist nur sehr langsam möglich,
- ist über die Zeit abnehmend,
- kann Kohlenstoffverluste auf anderen Flächen bewirken (*carbon leakage*),
- ist reversibel
- und schwer zu messen.

Das Initiativpapier kommt dabei zu ähnlich kritischen Bewertungen wie eine umfassende Studie des BonaRes-Projektes, das vom deutschen Bundesforschungsministerium gefördert wurde.⁴ Mit dem Unterschied, dass im Papier der Kommission die Machbarkeit den-

noch abschließend positiv bewertet wird, während die BonaRes-Studie zu dem Schluss kommt, dass CO₂-Zertifikate für die Landwirtschaft vielleicht doch keine so gute Idee sind.⁵ Das Papier der Kommission geht auch auf die erheblichen technischen und juristischen Schwierigkeiten für eine faire und rechtlich belastbare Vergütungsstruktur ein.

Die Kommission schreibt: »Es gibt zwei Hauptausforderungen für die großflächige Umsetzung ergebnisorientierter Kohlenstoffbewirtschaftungssysteme in der EU, die in der Planungsphase des Systems angegangen werden sollten. Dabei handelt es sich um Faktoren, die die Beteiligung der Landwirte einschränken, und um Faktoren, die die Fähigkeit eines Systems einschränken, effektiv und effizient eine Klimawirkung zu erzielen. Effektivität bedeutet in diesem Zusammenhang die zusätzliche, tatsächliche und dauerhafte Bindung von Kohlenstoff oder die Vermeidung von Emissionen, und Effizienz bedeutet die Berücksichtigung von sozialen Kosten und Nutzen, einschließlich ökologischer und sozialer Externalitäten, in allen Phasen der Planung. Die Klimawirkung kann durch Barrieren wie Schlupflöcher, inkonsistente Politiken, Carbon Leakage oder negative externe Effekte behindert werden.«

Positive Ansätze und große Lücken

Positiv ist, dass in dem Kommissionsvorschlag die Tierhaltung mitgedacht wurde, auch, wenn hier nur das Management betrachtet wird und nicht das größte Klimapotenzial: der Abbau der Tierzahlen. Dieses Thema wird konsequent ausgeklammert. Die Bindung der Tierzahlen an die zur Eigenfütterung ausreichende Fläche und die Förderung der Weidehaltung wären außerordentlich wichtige Stellschrauben für den Klimaschutz. Besonders die Weidehaltung trägt aufgrund des unter Grünland gespeicherten Humus besonders zum Klimaschutz bei.

Abgesehen von Böden in Permafrostgebieten enthalten Moore und Grasland den größten Teil des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs. Diese Biome zu schützen, muss daher erste Priorität haben. Grasland ist neben Wald das größte Biom auf unserem Planeten und bedeckt etwa 40 Prozent der bewachsenen Landfläche.⁶ Doch für den Schutz des Grünlands braucht man Wiederkäuer, denn nur beweidetes Grünland bleibt auch bestehen; und je regelmäßiger es beweidet wird, desto mehr Humus wird aufgebaut. Vor diesem Hintergrund müssen demnach auch die Wiederkäuer anders bewertet

werden als nur nach ihrem Methanausstoß. Denn auf der Weide sind sie aktive Klimaschützer.⁷

Was auch völlig fehlt, ist ein Reduktionsszenario für den klimaschädlichsten Bereich der Landwirtschaft. Denn der größte Beitrag der Landwirtschaft zum Klimawandel entsteht durch die Herstellung und Ausbringung von synthetischem Stickstoffdünger. Die globalen, vom Menschen verursachten Emissionen aus der Landwirtschaft, die vor allem durch Stickstoffeinträge in Ackerflächen verursacht werden, sind in den letzten vier Jahrzehnten um 30 Prozent gestiegen.⁸ Würde man die Verwendung von Mineraldünger zugunsten der Stickstofflieferung aus der Luft mittels Leguminosen zurückfahren, wäre mehr als die Hälfte der landwirtschaftlichen Treibhausgase schon eingespart (Abb. 1) und gleichzeitig Humus aufgebaut.⁹ Außerdem beeinträchtigen Mineraldünger das Bodenleben, was zu Bodenverdichtung, Erosion, Fruchtbarkeitsverlusten und Emissionen von Lachgas führt.¹⁰

Positiv ist im Kommissionspapier, dass Agroforstsysteme einen prominenten Platz einnehmen und dass Synergieeffekte wie die Förderung von Artenvielfalt, Wasserspeicherfähigkeit und Erosionsschutz berücksichtigt werden sollen. Warum die Kommission dann aber dennoch die mit erheblichen technischen Schwierigkeiten behafteten »ergebnisbasierten« Modelle, bei denen die gemessene Kohlenstoffspeicherung im Boden Grundlage der Vergütung ist, den »aktionsbasierten« Modellen vorzieht, wo die Praktizierung von Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung (die auch vielen anderen Ökosystemkomponenten zugutekommen) vergütet werden, bleibt unbeantwortet.

Auch Sebastian Lakner, Professor für Agrarökonomie an der Universität Rostock kommentiert die Initiative kritisch: »Carbon-Farming verspricht als Begriff

Abb. 1: Treibhausgaspotenziale unterschiedlicher Düngungsmethoden¹¹



Das gesamte Treibhausgaspotenzial einer Stickstoffdüngung mit Leguminosen steht gegenüber einer mineraldüngerbasierten Düngung im Verhältnis 36 zu 100.

mehr als es hält. Es gibt sehr viele politische Möglichkeiten, die Klimabilanz der Landwirtschaft und des Sektors Landnutzung zu verbessern. Mir leuchtet nicht ein, warum man jetzt ausgerechnet auf diese Lösung zurückgreift, die besonders unsicher, kompliziert und förderpolitisch fragwürdig ist. Landwirtschaftliche Betriebe sind durch das Bodenschutzgesetz zum Humuserhalt verpflichtet und sollten ein eigenes ökonomisches Interesse haben, den Humus-Anteil ihrer Böden zu erhöhen.«

Würde man nun über Carbon Farming eine neue Subvention einführen, würde, so Lakner, »ein Ziel gefördert, das eigentlich gesetzlich vorgeschrieben ist und das Betriebe, wenn sie vernünftig wirtschaften, ohnehin selbst erreichen wollen«. Eine breit angelegte Förderung wäre somit weder besonders zielführend noch effizient.¹²

Eine weitere, damit zusammenhängende ungeklärte Frage beim Carbon Farming und der Vergütung durch CO₂-Zertifikate ist, wie Betriebe bewertet werden, die bei Beginn der Vergütungsmaßnahme bereits einen höheren Humusgehalt vorweisen als andere, denn das Maß des Humusaufbaus verringert und verlangsamt sich mit der Zeit. Engagierte Betriebe, wie z. B. Biobetriebe, die seit Jahren Humusaufbau betreiben, wären also benachteiligt, und Betriebe, die sich bisher nicht um die Humusbilanz gekümmert haben, wären deutlich im Vorteil. Fair ist das nicht.

Die Kohlenstoffspeicherung in Ackerboden hat für einen effizienten Klimaschutz nur ein sehr geringes Potenzial. Humusaufbau ist dagegen von entscheidender Wichtigkeit für Bodenfruchtbarkeit, Erosionsschutz, Grundwasserbildung und Hochwasserschutz und macht Landwirtschaft klimaresilienter. Das heißt, er hilft dabei, die Landwirtschaft an die Extreme des Klimawandels besser anzupassen, sodass die Böden sowohl gegen Starkregen als auch Dürreperioden besser gewappnet sind.¹³ Für ein Carbon-Farming-Modell mit CO₂-Zertifikaten eignet sich der Humusaufbau als solcher allerdings nicht.¹⁴ Was vergütet werden könnte, wären stattdessen Best-Practice-Maßnahmen des Humusaufbaus, um die Böden klimaresilienter zu machen. Dieser Fokus auf *Klimaanpassung* ist im Ackerbau dringend notwendig. Für den *Klimaschutz* hingegen sind Moor- und Grünlandschutz sowie der Verzicht auf Mineraldünger und der Abbau der Tierzahlen ausschlaggebender.

Auch zahlreiche deutsche und europäische Nichtregierungsorganisationen haben sich kritisch zum Thema CO₂-Zertifikate geäußert, weil sie das Konzept für einen nachhaltigen Humusaufbau als zu eng gefasst beschreiben.¹⁵ Den Rechtsrahmen für die Zertifizierung des Kohlenstoffabbaus will die Kommission bis Ende 2022 veröffentlichen, er lag bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Permanenz der Kohlenstoffspeicherung – kontraproduktiv

Aufgrund der oben genannten Probleme, Kohlenstoff im Boden anzureichern und auch dort zu halten, konzentriert sich die aktuelle Diskussion von Wissenschaft und Politik inzwischen mehr und mehr auf die »Permanenz« der Kohlenstoffspeicherung. Diese nachzuweisen soll die oben genannten Schwächen ausschließen und Basis für seriöse Zertifikate sein. Diese angestrebte Permanenz der Speicherung ist allerdings bei naturbasierten kohlenstoffliefernden Substraten (z. B. Komposten, Wurzeln) nicht gegeben und steht im Widerspruch zur Förderung des aktiven Bodenlebens. Dieses braucht zur Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen dringend *abbaubare* Kohlenstoffsubstrate. Ein aktives Bodenleben bedeutet Humusaufbau, aber immer auch Um- und Abbau. Gute Bodeneigenschaften und eine gesunde Pflanzenernährung sowie Bioporen für die Wasserspeicherung und -reinigung können nur mit hoher biologischer Aktivität erzeugt werden. Dabei wird immer auch CO₂ freigesetzt (die Wissenschaft bezeichnet diesen immerwährenden Fluss das sog. *soil continuum model* – SCM¹⁶). Je stabiler der Kohlenstoff im Boden ist, desto weniger hat das Bodenleben davon.

Die Fixierung auf die Dauerhaftigkeit der Kohlenstoffspeicherung ist daher unnatürlich und aus bodenökologischer Sicht zur optimalen Förderung der Bodenfunktionen nicht wünschenswert. Insofern steht diese Zielorientierung auch im Widerspruch zur Biodiversitätsstrategie und zur Bodenstrategie der EU-Kommission, in der das Bodenmikrobiom geschützt und sein Beitrag zu den Ökosystemdienstleistungen Wasserspeicherung, Wasserreinigung und Aufbau der Bodenfruchtbarkeit stärker berücksichtigt werden soll.

Pflanzenkohle nicht zielführend

Eine Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes im Boden ist nicht grundsätzlich gleichzusetzen mit einem nachhaltigen Landwirtschaftsmodell und dem Aufbau von qualitativ hochwertigem Humus. Wenn Stabilität der Fokus ist, können auch Maßnahmen ergriffen werden, die sich nachteilig auf Böden auswirken können oder einfach unsinnig sind, wie z. B. der Einsatz von Pflanzenkohle/Biochar. Diese ist angeblich besonders stabil, was allerdings bisher in Feldversuchen nicht bestätigt werden konnte.¹⁷ Mehrere Studien kommen außerdem zu dem Schluss, dass es keine ausreichenden Belege gibt, die die Potenziale zur Eindämmung des Klimawandels untermauern.¹⁸ Denn um einen Einfluss auf das Klima zu haben, müssten riesige Mengen an Pflanzenkohle eingesetzt werden: Um etwa ein Pro-

zent des Treibhausgas-Reduktionsziels für Deutschland 2030 zu erreichen, müsste die gesamte verfügbare Biomasse Deutschlands zu Pflanzenkohle verarbeitet werden.¹⁹ Ein unrealistisches Szenario. Die seit Hunderten von Jahren bekannten und im Ökolandbau optimierten Techniken einer ausgeglichenen Fruchtfolge mit vielfältiger tiefer Durchwurzelung,²⁰ Permakultur, Agroforst, der Rückführung von organischer Substanz in Form von Festmist, Ernteresten sowie Qualitätskompost²¹ sind in ihrer vielfältig positiven Wirkung eindeutig vorzuziehen. Zur Bodenverbesserung und Erhöhung des Humusgehaltes und der Fruchtbarkeit ist Qualitätskompost ganz besonders gut geeignet und viel effektiver als Pflanzenkohle. Nach aktuellem Wissensstand sind es außerdem Wurzeln, die die größte Effizienz beim Humusaufbau aufweisen.²²

Darüber hinaus gibt es bei pyrolysierten Pflanzenkohle ein dauerhaftes Schadstoffpotenzial. Beim Prozess der Pyrolyse (Verkohlung ohne Sauerstoff und mit hohem Druck) werden, weitgehend unabhängig von den Ausgangsstoffen, immer eine Vielzahl an aromatischen organischen Substanzen gebildet. Dazu gehören auch eine Reihe von schwer abbaubaren Schadstoffen, insbesondere polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die krebserregend und erbgutverändernd sind.²³ Diese Schadstoffe können nicht vollständig beseitigt werden, weil sie zu stark an das Material gebunden sind. Messmethoden erfassen sie aus dem gleichen Grunde nur ungenügend, weshalb die Einhaltung vorgegebener Grenzwerte nur wenig

Aussagekraft über die tatsächliche Schadstofffracht hat.²⁴ Das beinhaltet eine potenzielle Gefährdung der Böden bei der Gabe von Pflanzenkohle. Aktuell ist der Einsatz von Pyrolysekohle zur Kohlenstoffspeicherung in Deutschland auch gar nicht zugelassen.²⁵

In Systemen denken

Die Gesundheit der Böden in vielen Teilen der Welt ist gefährdet, da sie durch jahrzehntelange industrielle Landwirtschaft und Bodendegradation ausgelaugt sind und durch den Klimawandel weiter bedroht werden. Das gilt auch für Europa. Gleichzeitig können gesunde Böden die Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaschocks erhöhen und die Artenvielfalt sowohl über als auch unter der Erde steigern, was sie zu einem entscheidenden Element zur Sicherung unserer Ökosysteme und von Maßnahmen und Praktiken zur Anpassung an den Klimawandel und dessen Abschwächung, zur Erhaltung der biologischen Vielfalt, zur Sicherung unserer Wasserressourcen und zur nachhaltigen Entwicklung macht. Es ist bei Weitem zu kurz gesprungen, Böden mit einer fragwürdigen »Klimaschutzargumentation« zu Kohlenstofflagerstätten zu machen und Heerscharen von Zertifizierern mit ungenauen Messinstrumenten auf die Äcker zu schicken, die vielleicht Kohlenstoff, aber nicht Humus messen können. Der Fokus muss viel *weiter* werden, nämlich auf Systeme gerichtet: Agrarökologische Systeme wie Ökolandbau, Agroforst und Permakultur bringen systemische Lösungen mit sich, die eine Vielfalt positiver Effekte beinhalten. Sie sind es, die ausreichend und dauerhaft gefördert werden müssen!

Folgerungen & Forderungen

- Carbon Farming ist nur dann sinnvoll, wenn das Ziel ein natürlicher Humusaufbau zur Förderung der Bodenfunktionen und der Bodenbiologie ist, der vor allem Klimaanpassung zum Ziel hat.
- Für den Klimaschutz sind Moor- und Grünlandschutz sowie der Verzicht auf Mineraldünger und der Abbau der Tierzahlen von entscheidender Bedeutung.
- Die Permanenz der Kohlenstoffspeicherung darf nicht zu einer Beeinträchtigung oder Verschlechterung der Lebensbedingungen des Bodenmikrobioms führen.
- Potenzielle Schadstoffeinträge durch das Einbringen von Kohlenstoff-Anreicherungs substraten (z. B. Pyrolysekohle) sind auf jeden Fall auszuschließen.
- Ehrliche »Klimaschutz-Zertifikate« müssen den ganzen Betrieb mit einbeziehen.
- Die vielfältigen Effekte des Ökolandbaus sowie von Agroforstsystemen und der Permakultur für Klimaschutz und Klimaanpassung müssen besser honoriert werden.

Anmerkungen

- 1 European Commission: A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. COM 381 final. Brussels 2020.
- 2 Europäische Kommission: Die Initiative »Klimawandel – Wiederherstellung nachhaltiger Kohlenstoffkreisläufe«. Brüssel 2021 (https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13066-Climate-change-restoring-sustainable-carbon-cycles_de).
- 3 »Commission sets the carbon farming initiative in motion«. Press release European Commission dated 27. April 2021 (https://ec.europa.eu/clima/news-your-voice/news/commission-sets-carbon-farming-initiative-motion-2021-04-27_en?s=09).
- 4 BonaRes = »Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie«. Bei dieser vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsinitiative steht die nachhaltige Nutzung der knappen Ressource Boden im Vordergrund. Ziel von BonaRes ist es, das wissenschaftliche Verständnis von Bodenökosystemen zu erweitern und die Produktivität der Böden und ihre anderen Funktionen zu verbessern sowie neue Strategien für eine nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung von Böden zu entwickeln. Die erwähnte Studie zu CO₂-Zertifikaten findet sich unter: <https://tools.bonares.de/doi/doc/26/>.

- 5 A. Beste: Greenwashing & viel Technik! Wiesbaden 2021 (www.gesunde-erde.net/media/greenwashing_und_viel_technik_gross_mit_links.pdf).
- 6 R. White, S. Murray and M. Rohweder: Pilot analysis of global ecosystems: Grassland ecosystems. Ed. by World Resources Institute. Washington D.C. 2000 (www.wri.org/research/pilot-analysis-global-ecosystems-grassland-ecosystems).
- 7 A. Idel und A. Beste: Technikgläubigkeit und Big Data. Vom Mythos der Klimasmarten Landwirtschaft – oder warum weniger vom Schlechten nicht gut ist. Wiesbaden 2018 (www.gesunde-erde.net/media/mythos-klimasmarte-landwirtschaft_idel-beste_2-auflage.pdf).
- 8 M. Sutton et al. (Eds.): The European nitrogen assessment: Sources, effects and policy perspectives. Cambridge 2011. – H. Tian et al.: A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. In: *Nature* 586 (2020), pp. 248–256 (www.nature.com/articles/s41586-020-2780-0).
- 9 Vgl. Idel und Beste (siehe Anm. 7.) und U. Köpke and Th. Nemecek: Ecological services of faba bean. In: *Field Crops Research* 115 (2010), pp. 217–233 (www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429009002792).
- 10 A. Beste and N. Lorentz: Ecosystem soil – Bringing nature-based solutions on climate change and biodiversity conservation down to earth. Ed. by Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Bonn 2022 (www.gesunde-erde.net/media/giz_eba_ecosystem-soil_final.pdf).
- 11 Quelle: Eigene Berechnung nach Robertson et al. 2000 in Köpke und Nemecek 2010 (siehe Anm. 9).
- 12 Science Media Center: Klimaschutz mit Carbon Farming – eine gute Idee? 3. Februar 2022 (www.sciencemediacenter.de/angebote/science-response/details/news/klimaschutz-mit-carbon-farming-eine-gute-idee/). – V. Kern: »Carbon Farming verspricht mehr, als es hält«. *Klimareporter* vom 7. Februar 2022 (www.klimareporter.de/europaische-union/carbon-farming-verspricht-mehr-als-es-haelt).
- 13 Beste and Lorentz (siehe Anm. 10).
- 14 Diese Bewertung findet sich auch schon in der Stellungnahme des Thünen-Institutes 2018 zur 4-Promille-Initiative. Vgl. A. Don et al.: Die 4-Promille-Initiative »Böden für Ernährungssicherung und Klima« – Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland. Thünen Working Paper 112. Braunschweig 2018 (www.literatur.thuenen.de/digbib_extern/dno60523.pdf).
- 15 WWF Deutschland (Hrsg.): Position zur Festlegung von Kohlenstoff in Böden und ihrer möglichen Honorierung mittels CO₂-Zertifikaten. Berlin 2021 (www.gesunde-erde.net/media/kohlenstoff_in_boeden_positionspapier_10122021_final.pdf). – H. Tordjman: Carbon farming – A »new business model« ... for who? Ed. by European Coordination Via Campesina. Brussels 2022 (www.eurovia.org/wp-content/uploads/2022/03/ECVC-Carbon-farming-ENG.pdf).
- 16 J. Lehmann, M. Kleber: The contentious nature of soil organic matter. In: *Nature* 528 (2015), pp. 60–68 (www.nature.com/articles/nature16069).
- 17 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Pflanzenkohle/ Biokohle im Ackerbau (www.lfl.bayern.de/iab/boden/266039/index.php).
- 18 N. P. Gurwick et al.: A systematic review of biochar research, with a focus on its stability *in situ* and its promise as a climate mitigation strategy. In: *PLoS ONE* 8/9 (2013), e75932 (<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0075932&type=printable>). – M. Bach, B. Wilske and L. Breuer: Current economic obstacles to biochar use in agriculture and climate change mitigation. In: *Carbon Management* 7 (2016), pp. 183–190.
- 19 I. Teichmann: Klimaschutz durch Biokohle in der deutschen Landwirtschaft: Potentiale und Kosten. *DIW Wochenbericht* Nr. 1+2, 2014 (www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.434583.de/14-1-1.pdf).
- 20 M. Lange et al.: Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. In: *Nature Communications* 6 (2015), 6707 (www.nature.com/articles/ncomms7707). – N. Gentsch et al.: Catch crop diversity increases rhizosphere carbon input and soil microbial biomass. In: *Biology and Fertility of Soils* 56 (2020), pp. 943–957 (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01475-8>).
- 21 M. Diacono and F. Montemurro: Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. In: *Agronomy for Sustainable Development* 30 (2010), pp. 401–422 (<https://link.springer.com/article/10.1051/agro/2009040>). – A. Beste und A. Faensen-Thiebes: Terra Preta/Pyrolysekohle. BUND-Einschätzung ihrer Umweltrelevanz. Berlin 2015 (www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/_migrated/publications/150504_bund_sonstiges_bodenschutz_terra_preta_einschaetzung.pdf).
- 22 Gentsch et al. (siehe Anm. 20).
- 23 T. Bucheli et al.: Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar. In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.): *Biochar for environmental management*. London 2015, pp. 593–622. – Umweltbundesamt: Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar?. Dessau-Roßlau 2016. – J. M. De la Rosa et al.: Effect of pyrolysis conditions on the total contents of polycyclic aromatic hydrocarbons in biochars produced from organic residues: Assessment of their hazard potential. In: *Science of the Total Environment* 667 (2019), pp. 578–585 (www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719309313).
- 24 Mündliche Auskunft am 22. März 2022 von Prof. Große Ophoff, Chemiker, Pyrolyseexperte und seit 2001 Leiter des Zentrums für Umweltkommunikation der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.
- 25 Bayerische Landesanstalt (siehe Anm. 17).

Förderhinweis

Die redaktionelle Bearbeitung dieses Beitrags erfolgte im Rahmen des von der Landwirtschaftlichen Rentenbank geförderten Projektes »Klimawandel und multifunktionale Landwirtschaft«.



Dr. Andrea Beste

Diplomgeografin, Agrarwissenschaftlerin und Bodenexpertin. 2001 Gründung des Büros für Bodenschutz & Ökologische Agrarkultur. Analyse, Beratung, Fortbildung, in Mainz.

gesunde-erde@posteo.de
www.gesunde-erde.net